

Guide du Navigateur

Méthodes et instruments de navigation

12

Éd. 2012





Ouvrages généraux

12

Guide du Navigateur

Méthodes et instruments de navigation

Version à jour au 12 août 2020
(Groupe hebdomadaire d'[Avis aux Navigateurs](#) n° 33)

Cette version annule et remplace la précédente

Toute correspondance relative à cet ouvrage doit être adressée à :

Shom

13 rue du Chatellier — CS 92803 — 29228 Brest cedex 2

www.shom.fr

Le Shom est certifié ISO 9001 pour l'ensemble de ses activités.

© Shom — France — Tous droits réservés.

Cet ouvrage contient des éléments soumis au copyright, provenant du Shom ou d'autres organismes. Toute reproduction ou adaptation sous quelque forme que ce soit même partielle (y compris par photocopie ou moyens électroniques) est interdite pour tous pays sauf autorisation préalable du Shom et des autres organismes.

ISBN 978-2-11-128326-8 (édition complète)

ISBN 978-2-11-128328-2 (volume)

Avant-propos

- 07 1. Le *Guide du Navigateur*, édition 2012, annule et remplace l'édition 2000 du même ouvrage.
- 13 2. Le *Guide du Navigateur* comporte trois volumes correspondant aux trois aspects importants et complémentaires de la navigation que sont l'information, la pratique de la navigation et la réglementation.
- 19 2.1. Le volume 1, intitulé *documentation et information nautiques* est consacré :
– à l'utilisation des ouvrages et des cartes et à leur tenue à jour ;
– aux différentes formes que revêt l'information nautique et aux moyens utilisés pour sa diffusion ainsi qu'à la contribution du navigateur au recueil de cette information.
- 25 2.2. Le volume 2, intitulé *méthodes et instruments de navigation* traite :
– des principaux instruments et équipements de navigation ;
– des différents modes de navigation possibles selon l'équipement employé et les conditions de navigation rencontrées. Ce volume introduit le concept « e-navigation » de l'Organisation maritime internationale.
- 31 2.3. Le volume 3, intitulé *réglementation nautique*, rassemble les règlements essentiels (références ou textes) concernant le droit de la mer, la préservation de l'environnement marin, la signalisation maritime, la prévention des abordages, la sauvegarde de la vie humaine et le sauvetage en mer, l'organisation du trafic maritime. Ce volume précise en outre le rôle des principales organisations et associations maritimes internationales, ainsi que les attributions, en France des administrations relevant du ministère chargé de la mer. Enfin, il fournit divers renseignements, d'ordre réglementaire, à l'usage des plaisanciers.
- 37 3. Le présent avant-propos et le chapitre 1. (organisation du SHOM) sont communs aux trois volumes.
- 43 4. Tenue à jour. — Les corrections au *Guide du Navigateur* essentielles pour la sécurité de la navigation ou celles jugées importantes sont publiées dans le groupe hebdomadaire d'*Avis aux Navigateurs* (section 2.5).

L'ingénieur général de l'armement (hydrographe)
Laurent KERLÉGUER
directeur général du Shom

Sommaire

0. INTRODUCTION

0.1. Avant-propos.....	5
------------------------	---

1. ORGANISATION DU SERVICE HYDROGRAPHIQUE ET OCÉANOGRAPHIQUE DE LA MARINE

1.1. Missions et attributions du SHOM.....	15
1.2. Éléments-clés.....	16

2. INTRODUCTION À LA NAVIGATION

3. ÉQUIPEMENTS DE NAVIGATION DE BORD – INTÉGRATION DES SYSTÈMES

3.1. Équipements de navigation de bord.....	19
3.1.1. Compas.....	19
3.1.2. Loch.....	27
3.1.3. Centrale inertielle de navigation.....	30
3.1.4. Sondeur.....	32
3.1.5. Anémomètre – girouette.....	38
3.1.6. Pilote automatique.....	39
3.1.7. Radar de navigation.....	39
3.1.8. Système d'identification automatique (AIS).....	51
3.1.9. Récepteurs de radionavigation.....	55
3.1.10. Équipements de visualisation de cartes marines électroniques.....	58
3.2. Intégration des systèmes.....	68
3.2.1. Les systèmes de navigation intégrés (INS).....	68
3.2.2. Systèmes de passerelle intégrée.....	69

4. RADIONAVIGATION

4.1. Généralités.....	71
-----------------------	----

4.1.1. Présentation du chapitre « radionavigation »	71
4.1.2. Radionavigation au large et en zone côtière	71
4.1.3. Normes d'exploitation de l'Organisation maritime internationale	72
4.2. Systèmes de positionnement par satellites	73
4.2.1. Généralités	73
4.2.2. Système GPS	73
4.2.3. Système GLONASS	78
4.2.4. Système Galileo	79
4.2.5. Système mondial de navigation par satellites (GNSS)	80
4.3. Systèmes basés à terre	82
4.3.1. LORAN C	82

5. INTRODUCTION À LA « E-NAVIGATION »

5.1. La stratégie de la « e-navigation »	85
5.1.1. Définition et objet de la « e-navigation »	85
5.1.2. La vision de la « e-navigation »	85
5.1.3. Avantages de la « e-navigation »	86
5.2. Besoins des utilisateurs. Architecture de la « e-navigation ». Fonctions	87
5.2.1. Besoin des utilisateurs	87
5.2.2. Architecture conceptuelle de la « e-navigation »	90
5.2.3. Fonctions	91

6. MÉTÉOROLOGIE

6.1. Généralités	95
6.2. Les grands mouvements de l'air	96
6.2.1. Circulation générale de l'atmosphère	96
6.2.2. Le vent	96
6.2.3. Vents d'origine thermique	98
6.3. L'humidité	100
6.3.1. L'humidité dans l'atmosphère	100
6.3.2. Les nuages	100
6.3.3. Le brouillard	102
6.4. Masses d'air, fronts et perturbations	103
6.4.1. Les masses d'air	103
6.4.2. Les fronts	104
6.4.3. Les dépressions et les perturbations	105
6.5. Phénomènes météorologiques	110
6.5.1. Orage	110
6.5.2. Grains	110
6.5.3. Trombe marine	111

7. OCÉANOGRAPHIE

7.1. État de la mer	113
7.1.1. Houle et mer du vent	113

7.1.2. Prédiction de l'état de la mer.....	113
7.1.3. Propagation des vagues.....	116
7.1.4. Vagues anormales.....	120
7.2. Courants marins.....	121
7.2.1. Courants océaniques.....	121
7.2.2. Courants locaux.....	123
7.3. Marées.....	125
7.3.1. Description du phénomène.....	125
7.3.2. Force génératrice de la marée.....	126
7.3.3. Réponse de l'océan à la force génératrice de la marée.....	127
7.3.4. Types de marée.....	128
7.3.5. Méthode de prédiction des marées.....	131
7.3.6. Documents de prédiction des marées.....	131
7.3.7. Hauteur d'eau à un instant quelconque.....	132
7.3.8. Courants de marée.....	133
7.4. Niveau de la mer.....	137
7.4.1. Niveau de référence.....	137
7.4.2. Hauteur d'eau due à la marée.....	137
7.4.3. Surcotes – décotes.....	137

8. LA NAVIGATION À LA VUE

8.1. Zone de navigation côtière.....	141
8.1.1. Spécificité de la zone.....	141
8.1.2. Caractéristiques de la navigation à la vue.....	141
8.2. Point par trois relèvements simultanés.....	142
8.2.1. Principe.....	142
8.2.2. Qualités d'un amer.....	142
8.2.3. Polygone d'incertitude.....	142
8.2.4. Critique du point.....	143
8.2.5. Réduction du chapeau en cas d'erreur sur la variation.....	143
8.2.6. Pratique du point par trois relèvements.....	144
8.2.7. Relèvement de garde.....	144
8.3. Alignement optique.....	145
8.4. Point par arcs capables.....	146
8.4.1. Principe.....	146
8.4.2. Construction graphique.....	146
8.4.3. Utilisation pratique du point par arcs capables.....	146
8.5. Position par mesure optique de distance.....	147

9. LA NAVIGATION AU RADAR EN ZONE CÔTIÈRE

9.1. Généralités.....	149
9.2. Le paysage radar.....	150
9.3. Réflecteurs et balises radar.....	152
9.3.1. Réflecteurs radar.....	152
9.3.2. Balises radar.....	152
9.4. Le point radar.....	155
9.4.1. Éléments fournis par le radar.....	155

9.4.2. Point par trois distances radar.....	155
9.4.3. Point par une distance radar et des éléments optiques.....	156
9.4.4. Point par une distance et un relèvement radar.....	156
9.4.5. Distance de sécurité (ou de garde).....	156

10. L'ESTIME EN NAVIGATION CÔTIÈRE

10.1. Généralités.....	157
10.2. Éléments de l'estime.....	158
10.2.1. La dérive.....	158
10.2.2. La vitesse.....	158
10.3. Point estimé.....	159
10.3.1. Construction graphique.....	159
10.3.2. Zone d'incertitude de l'estime.....	159
10.4. Transport d'un lieu de position.....	160
10.4.1. Principe.....	160
10.4.2. Point par relèvements successifs.....	160
10.5. Aller d'un point à un autre.....	161
10.6. Calculateurs automatiques d'estime.....	162

11. LA NAVIGATION À LA SONDE

11.1. Généralités.....	163
11.2. Localisation par lignes de sondes.....	164

12. PRATIQUE DE LA NAVIGATION CÔTIÈRE

12.1. Préparation de la navigation.....	165
12.1.1. Réunion de la documentation nautique.....	165
12.1.2. Choix de la route.....	165
12.1.3. Vérifications avant l'appareillage.....	166
12.2. Exécution de la navigation.....	167
12.2.1. Navigation à vue.....	167
12.2.2. Navigation électronique.....	167
12.3. Emploi des systèmes de radionavigation de grande précision et des systèmes de cartes électroniques.....	168
12.3.1. Radionavigation par satellites et diversité des systèmes géodésiques.....	168
12.3.2. Précision de la radionavigation et imprécision des cartes marines.....	170
12.3.3. Précautions d'emploi des systèmes de visualisation de cartes électroniques.....	171
12.4. Surenfacement par petits fonds.....	173
12.4.1. Généralités.....	173
12.4.2. Méthodes empiriques d'évaluation du surenfacement.....	173
12.4.3. Signes d'entrée dans une zone de surenfacement.....	174
12.5. Manœuvres anticollision.....	175
12.5.1. Risques d'abordage.....	175
12.5.2. Manœuvres pour éviter les abordages.....	175

13. NAVIGATION EN EAUX RESSERRÉES

13.1. Exigences de la zone	177
13.2. Caractéristiques évolutives d'un navire en eaux resserrées	178
13.2.1. Avance – transfert	178
13.2.2. Effet des faibles profondeurs et des rives	178
13.3. Pilotage en eaux resserrées	179
13.3.1. Exécution du pilotage	179
13.3.2. Points tournants	179
13.3.3. Emploi des systèmes de visualisation de cartes marines électroniques	180
13.4. Pilotage au radar en eaux resserrées	182
13.4.1. Navigation sur indicateur stabilisé en mouvement relatif	182
13.4.2. Navigation sur indicateur stabilisé en mouvement vrai	182
13.4.3. Navigation sur table traçante	182
13.5. Organisation du bâtiment pour les eaux resserrées	184
13.5.1. Amélioration de la sécurité	184
13.5.2. Amélioration de l'organisation navigation	184

14. ENTRÉE ET SORTIE DE PORT

14.1. Généralités	185
14.2. Stations de contrôle à terre	186
14.2.1. Radars de surveillance	186
14.2.2. Radars de port	186
14.3. Aides à la navigation portuaire	187
14.3.1. Systèmes optiques	187
14.4. Mouillage	188
14.4.1. Choix du mouillage	188
14.4.2. Exécution du mouillage	188
14.4.3. Surveillance du mouillage	188

15. L'ESTIME AU LARGE

15.1. Généralités	191
15.1.1. Objectifs et principe	191
15.1.2. Précision de l'estime au large	191
15.2. Loxodromie	192
15.2.1. Définition de la loxodromie	192
15.2.2. Projection de Mercator	192
15.2.3. Équations de l'estime	194
15.2.4. Calcul inverse de l'estime	195
15.2.5. Calculateurs automatiques d'estime	195
15.3. Orthodromie	196
15.3.1. Définition de l'orthodromie	196
15.3.2. Équations de l'orthodromie	196
15.3.3. Gain en distance de l'orthodromie sur la loxodromie	197
15.3.4. Pratique de l'orthodromie	197
15.4. Orthodromie mixte	200

16. NAVIGATION ASTRONOMIQUE

16.1. Principe du point astronomique	201
16.1.1. Généralités	201
16.1.2. Cercle de hauteur	201
16.2. L'heure en mer	203
16.2.1. Expression du besoin	203
16.2.2. Les échelles de temps	203
16.2.3. Les fuseaux horaires	203
16.3. Le sextant	205
16.3.1. Principe du sextant marine	205
16.3.2. Réglage du sextant	205
16.3.3. Erreurs instrumentales du sextant	206
16.3.4. Correction des hauteurs observées	206
16.3.5. Sextants spéciaux	206
16.4. L'observation astronomique	207
16.4.1. Généralités	207
16.4.2. Observations du soleil	207
16.4.3. Observations de la lune	207
16.4.4. Observation des étoiles	207
16.4.5. Observation des planètes	207
16.4.6. Pratique des observations	207
16.5. L'exploitation de l'observation	210
16.5.1. Le problème de la droite de hauteur	210
16.5.2. Exécution des calculs	211
16.5.3. Précision du point astronomique	212
16.5.4. Cas particuliers remarquables	212
16.6. Autres utilisations des observations astronomiques	214
16.6.1. Azimut par l'heure	214
16.6.2. Lever et coucher du soleil	214

17. ATERRISSAGE

17.1. Généralités	215
17.2. Choix du point et de l'heure d'atterrissage	216
17.2.1. Choix du point d'atterrissage	216
17.2.2. Choix de l'heure d'atterrissage	216
17.3. Pratique de l'atterrissage	217

18. PRATIQUE DE LA NAVIGATION AU LARGE

18.1. Réunion de la documentation nautique et choix de la route	219
18.1.1. Réunion de la documentation nautique	219
18.1.2. Choix de la route	219
18.2. Préparation et exécution de la traversée	222

18.2.1. Préparation de la traversée.....	222
18.2.2. Exécution de la traversée.....	222
18.2.3. Veille anticollision.....	223
18.3. Navigation météorologique.....	224
18.3.1. Navigation météorologique tactique.....	224
18.3.2. Routage météorologique.....	224

19. NAVIGATIONS PARTICULIÈRES

19.1. Navigation par gros temps.....	227
19.1.1. Allures de sauvegarde. Ancre flottante et filage d'huile.....	227
19.1.2. Conduite à tenir en cas de cyclone tropical.....	228
19.2. Navigation aux hautes latitudes.....	234
19.2.1. Particularités de l'environnement.....	234
19.2.2. Particularités d'emploi des équipements et des documents de navigation.....	237
19.2.3. Conséquences sur la navigation aux hautes latitudes.....	238
19.3. Navigation dans les zones de coraux.....	239
19.3.1. Généralités.....	239
19.3.2. Détection des récifs de coraux.....	239
19.3.3. Navigation en zones de coraux.....	240
19.4. Navigation en embarcation de sauvetage.....	241
19.4.1. Généralités.....	241
19.4.2. Exécution de la navigation.....	241

20. ANNEXES

20.1. Annexe A – Échelle anémométrique Beaufort.....	245
20.2. Annexe B – Propagation des ondes électromagnétiques.....	247
20.2.1. Types de propagation.....	247
20.2.2. Propagation des ondes selon leur fréquence.....	248
20.3. Annexe C – Notations utilisées en navigation astronomique.....	249
20.3.1. Signes et abréviations.....	249
20.3.2. Coordonnées sphériques.....	249
20.3.3. Relations entre les coordonnées et les temps.....	252
20.4. Annexe D – Distances entre ports et points de passage.....	253
20.4.1. Distances en milles entre les principaux ports de France.....	253
20.4.2. Distances moyennes en milles entre certains ports importants du monde.....	254
20.4.3. Distances moyennes en milles entre certains points de passage importants du monde.....	255

Index

Alphabétique	257
Illustrations	263
Mise à jour	266
Glossaire	267

Chapitre 1

ORGANISATION DU SERVICE HYDROGRAPHIQUE ET OCÉANOGRAPHIQUE DE LA MARINE

01 1.1. Missions et attributions du SHOM

- 07 La vocation du Service hydrographique et océanographique de la marine ([SHOM](#)) est de garantir la qualité et la disponibilité de l'information décrivant l'environnement physique maritime, côtier et océanique, en coordonnant son recueil, son archivage et sa diffusion, pour satisfaire au moindre coût les besoins publics, militaires et civils. Elle se décline en trois grandes missions : le service hydrographique national, le soutien de la défense et le soutien aux politiques publiques maritimes.
- 13 En ce qui concerne plus précisément le service hydrographique national, le SHOM exerce les attributions de l'État en matière d'hydrographie nationale et de cartographie marine conformément aux obligations internationales de la France, définies notamment par la convention internationale [SOLAS](#) pour la sauvegarde de la vie humaine en mer et par la convention des Nations unies sur le droit de la mer. Elles s'appliquent dans toutes les zones sous juridiction nationale, et dans les zones où la France exerce des responsabilités du fait d'engagements particuliers, en assurant le recueil, l'archivage et la diffusion des informations officielles nécessaires à la navigation maritime.
- 19 Concrètement, le SHOM exécute ou supervise des travaux à la mer pour réunir les informations nécessaires, dans le cadre d'un schéma directeur de l'hydrographie générale des espaces maritimes français, en métropole et outre-mer. Parallèlement, le SHOM définit, élabore, tient à jour et diffuse la documentation nautique générale (cartes marines, ouvrages nautiques).

01 1.2. Éléments-clés

- 07 – 520 personnes hors équipages des bâtiments spécialisés ;
- 13 – 5 navires spécialisés, dont 2 employés conjointement par l'Ifremer ;
- 19 – une zone nationale de responsabilité de 11 millions de km² ;
- 25 – soutien de la marine nationale en hydrographie, océanographie et météorologie (HOM) dans une zone couvrant 40 millions de km² ;
- 31 – un portefeuille d'environ 1 100 cartes papier (170 000 exemplaires diffusés chaque année) et de cartes électroniques de navigation (340 [ENC](#) disponibles début 2012) ;
- 37 – 75 ouvrages diffusés chaque année à 30 000 exemplaires ;
- 43 – un service permanent pour la diffusion de l'information nautique dans la zone Atlantique (Navarea II) et pour le soutien renforcé de la marine avec la mise à disposition de données d'environnement ;
- 49 – sites à Brest, Toulouse, Paris (Saint-Mandé), Toulon, Nouméa et Papeete.

Chapitre 2

INTRODUCTION À LA NAVIGATION

- 13 Ni manuel de navigation à l'usage du profane, ni bréviaire pour les habitués, ce volume du *Guide du Navigateur* se veut néanmoins un document de référence pour le marin avisé.
- 19 Il passe en revue les équipements de navigation en service les plus courants, indique les caractéristiques générales de l'environnement dans lequel évolue le navigateur et rappelle enfin l'ensemble des règles qui font de la navigation un art plus qu'une science.
- 25 Si la science peut être enseignée, l'art doit s'acquérir. C'est ainsi que l'on ne devra jamais attendre d'une observation une certitude absolue, ni faire reposer toute sa conviction sur l'emploi d'un instrument, quelles que soient les performances revendiquées par les constructeurs. Les observations dépendent en effet de facteurs très divers, souvent aléatoires, et ne doivent être acceptées qu'avec prudence.
- 31 De la même façon il convient de rester toujours en alerte, et d'évaluer en permanence les situations qui se présentent, afin de prendre à temps les précautions qui permettent d'éviter les risques inutiles.
- 37 Tout ceci revient à dire que la part du discernement, de l'analyse et de l'expérience reste importante dans l'exercice d'une bonne navigation.
- 43 Destiné à rafraîchir la mémoire du navigateur confirmé, cet ouvrage peut également être utilisé par celui qui souhaite parfaire ses connaissances ou instruire ses coéquipiers.

Pas de texte

Chapitre 3

ÉQUIPEMENTS DE NAVIGATION DE BORD – INTÉGRATION DES SYSTÈMES

- 13 Le présent chapitre comporte un sous-chapitre consacré aux équipements de bord destinés à la navigation et un sous-chapitre présentant l'intégration des équipements de bord.
- 19 Les équipements de bord non destinés à la navigation, comme le **VDR** (enregistreur de données), le **LRIT** (identification et suivi des navires à grande distance) ou le **BNWAS** (système d'alarme de quart à la passerelle de navigation), ne sont pas présentés dans ce sous-chapitre et sont seulement cités dans le volume 3.
- 25 Les équipements du système mondial de détresse et de sécurité en mer (**SMDSM**) sont présentés dans le volume 1 et/ou dans le volume 3 du *Guide du navigateur*.
- 31 Les matériels et systèmes de navigation (et de radiocommunication maritimes), comme les récepteurs **GPS** ou **GLONASS**, le radar, l'électronique chart display and information system (**ECDIS**), etc. font pour la plupart l'objet de normes de performances. Ces normes sont le plus souvent des normes établies par l'organisation maritime internationale (**OMI**) puis reprises par le comité électrotechnique international (**CEI**).

01 3.1. Équipements de navigation de bord

01 3.1.1. Compas

01 3.1.1.1. Généralités

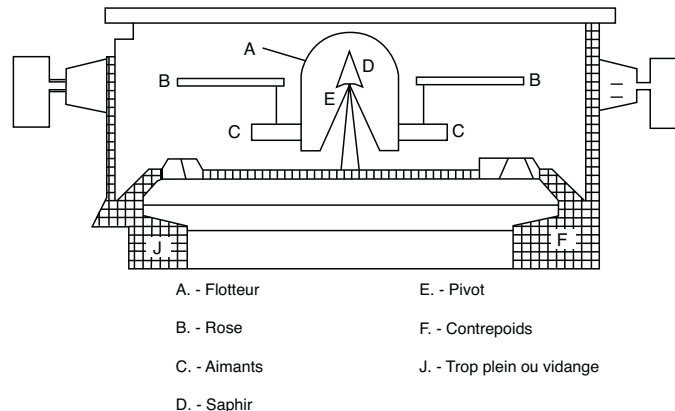
- 07 Le compas permet au navigateur de connaître la direction du Nord et d'en déduire :
- le **cap**, angle entre le Nord et l'axe du navire ;
 - le **relèvement d'une direction quelconque**, angle que fait cette direction avec le Nord.

01 3.1.1.2. Compas magnétique

01 3.1.1.2.1. Principe

- 07 Constitué d'un ensemble de barreaux aimantés fixés sur une rose circulaire en matière plastique libre de s'orienter autour d'un pivot vertical, le compas magnétique indique la direction de la composante horizontale du champ magnétique dans lequel il se trouve (figure 3.1.1.2.1.).
- 13 Pour éviter les frottements, la rose baigne dans un liquide amagnétique. Néanmoins le couple de rappel des aiguilles étant faible, la période d'oscillation de la rose est relativement élevée, supérieure à 20 s.

19



3.1.1.2.1. — Structure du compas magnétique.

01 3.1.1.2.2. Erreurs du compas magnétique

05 Le compas magnétique est soumis à l'action de deux champs :

- le champ magnétique terrestre, dont la projection horizontale fait avec la direction du pôle Nord appelée Nord vrai un angle, la **déclinaison magnétique D**. Cet angle est variable en fonction du lieu et de la date. Sa valeur et la variation annuelle sont indiquées sur les cartes marines ;
- le champ magnétique créé par le navire, induit par les masses ferro-magnétiques et certains circuits électriques. Par rapport à la direction du Nord magnétique, ce champ supplémentaire dévie le compas d'un angle appelé **déviations d**.

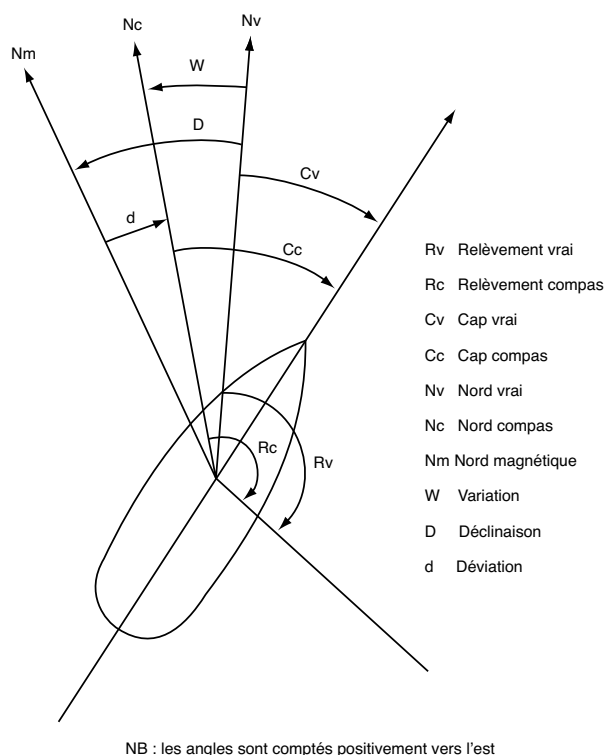
09 Le Nord compas indiqué par la rose du compas fait avec le Nord vrai un angle appelé **variation W**. On retrouve cet écart entre le cap compas et le cap vrai, et entre le relèvement compas d'une direction et son relèvement vrai, et on a algébriquement (figure 3.1.1.2.2.A.) :

13 $W = D + d$

17 $Cv = Cc + W$

21 $Rv = Rc + W$

25



3.1.1.2.2.A. — Les caps des compas magnétiques.

29 a) Compensation du compas

33 On peut diminuer la valeur de la déviation d entre le Nord compas et le Nord magnétique en mettant à proximité de la rose des aimants et des pièces de fers doux qui produisent sur la rose un champ égal et opposé au champ magnétique créé par le navire. Cette opération s'appelle la compensation.

45 Certains ateliers spécialisés mesurent expérimentalement la valeur de la déviation d'un navire à divers caps et en déduisent le nombre et la position des barreaux correcteurs à mettre en place pour la réduire.

49 Une autre méthode possible consiste à effectuer dans l'ordre indiqué les opérations suivantes, le navire étant en route, ou s'évitant sur son mouillage grâce à un moyen auxiliaire :

- au cap magnétique 090°, annuler la déviation grâce à des aimants correcteurs longitudinaux ;
- au cap magnétique 180°, annuler la déviation grâce à des aimants correcteurs transversaux ;
- au cap magnétique 270°, réduire de moitié la déviation lue en jouant sur les aimants longitudinaux ;
- au cap magnétique 000°, réduire de moitié la déviation lue en jouant sur les aimants transversaux ;
- au cap magnétique 135°, réduire de moitié la déviation lue en jouant sur les pièces de fer doux et en les maintenant à égale distance du compas ;
- fixer les aimants correcteurs et pièces de fer doux.

53 **Après compensation, la valeur résiduelle de la déviation ne doit pas dépasser en principe cinq degrés.**

57 Préalablement à l'opération de compensation, les mesures suivantes auront été prises :

- le navire doit être sans gîte, dans ses lignes d'eau usuelles ;
- le compas doit être rigidement solidaire du pont, et sa ligne de foi doit être rigoureusement alignée avec l'axe longitudinal du navire ;
- le matériel environnant doit être à son poste de mer, les circuits électriques en fonctionnement normal.

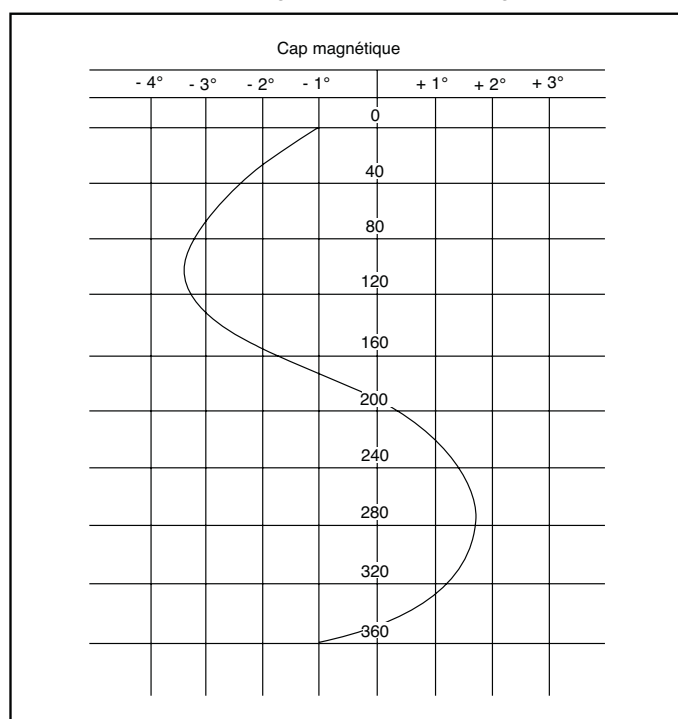
61 Sur un navire comportant des masses métalliques importantes, cette opération de compensation devrait être faite après chaque grande réparation. L'aimantation des pièces correctrices de fer doux dépendant du champ magnétique terrestre, il convient aussi de reprendre la compensation si le navire est venu dans des régions où le magnétisme terrestre est différent de la région où le compas a été compensé.

65 **b) Régulation du compas**

69 **Le champ magnétique dû au navire varie dans le temps. La courbe donnant la déviation en fonction du cap magnétique doit être relevée fréquemment, c'est ce qu'on appelle la régulation.**

73 La **régulation du compas** s'effectue en faisant tourner le navire et en comparant le relèvement compas et le relèvement magnétique ($R_v - D$) d'une direction connue (amer éloigné, alignement d'amers, astre, Nord gyroscopique). La mesure de la déviation observée est portée sur une planchette (ou mise en mémoire dans un appareil de visualisation) en fonction du cap magnétique du navire (figure 3.1.1.2.2.B.).

77



3.1.1.2.2.B. — Exemple de courbe de déviation.

81 La courbe de déviation doit être vérifiée chaque fois qu'est donnée l'occasion de connaître le **relèvement vrai** d'une direction : alignement de deux amers terrestres, astre à son lever ou à son coucher, étoile Polaire si elle n'est pas trop haute. C'est ce qu'on appelle « **faire une variation** ».

85 Une courbe de **déviation du compas** doit être établie pour chaque compas magnétique fixé au pont du navire, sans oublier les compas des embarcations. Par contre elle n'est pas justifiée sur les compas mobiles comme par exemple les compas de relèvement à main : on s'attachera alors à utiliser ces derniers loin de toute masse magnétique ou circuit électrique.

89 **c) Démagnétisation « Degaussing » du compas**

93 Lorsque pour des raisons de sécurité (danger dû aux mines par exemple) le champ rayonné vers l'extérieur par un navire est annulé par la mise en fonction de circuits embarqués de démagnétisation, il convient de reprendre la régulation du compas magnétique. Le compas aura alors deux courbes de déviation, l'une avec les circuits de **démagnétisation « Degaussing »** en fonction, l'autre avec ces circuits isolés.

01 3.1.1.3. Utilisation pratique du compas magnétique

- 07 Sur les bâtiments de plaisance et les embarcations, le compas magnétique est normalement le seul moyen de connaître le Nord. Sur les bâtiments dotés d'autres moyens de détermination du cap, il reste le moyen de contrôle car indépendant de toute source d'énergie et de tout signal extérieur.
- 13 Mais il est peu commode en raison de ses oscillations et n'est normalement pas relié à une centrale de navigation ou à un calculateur d'estime.
- 19 Il peut être soumis à des perturbations magnétiques locales imprévisibles et parfois considérables. Les *Instructions Nautiques* et les cartes mentionnent les lieux où des anomalies magnétiques ont été constatées.
- 25 À proximité des pôles magnétiques terrestres, les lignes d'égale déclinaison (isogones) sont interrompues sur les cartes, la composante horizontale du champ terrestre devenant trop faible, et le compas magnétique n'est plus utilisable (voir § 19.2.).
- 31 **La précision du Nord fournie par un compas magnétique bien compensé et récemment réglé est rarement supérieure à 2°.**

01 3.1.1.3.1. Types de compas magnétiques

- 07 Le compas de route qui sert au barreur pour suivre un cap doit être installé le plus loin possible des masses magnétiques du bord, solidement fixé, et protégé des chocs.
- 13 En le munissant d'une alidade coaxiale, on peut l'utiliser pour mesurer un relèvement : on obtient ainsi un compas de **relèvement**.
- 19 Sur les petits navires de plaisance, la cuvette du compas de route peut être recouverte d'un verre hémisphérique qui fait loupe et qui comporte plusieurs indications de la ligne de foi : le barreur doit se mettre en face de l'une d'elles pour tenir son cap sans erreur sur ce « compas à sphère ». Sur le « compas conservateur de cap », une couronne graduée mobile et coaxiale de la cuvette est orientée vers le cap à suivre et rend la lecture du cap plus aisée.
- 25 Dans la plaisance toujours, on trouve enfin des **compas de relèvement** à main portatifs très pratiques d'emploi.

01 3.1.1.4. Compas électronique « Fluxgate »

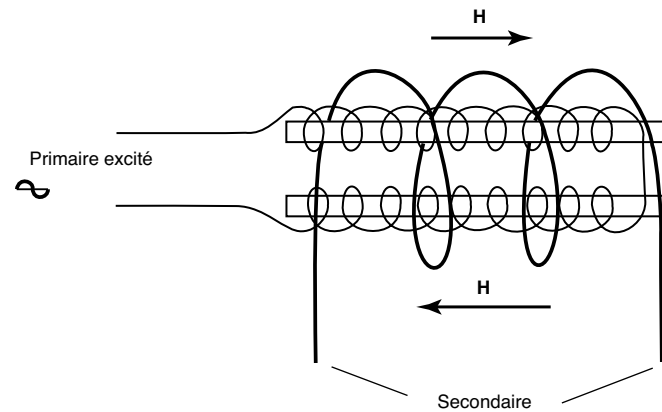
01 3.1.1.4.1. Principe général

- 07 **Compas magnétique sans aucune pièce mobile, le compas électronique à saturation « Fluxgate » mesure les composantes du champ magnétique terrestre selon des axes liés au navire. Par calcul il détermine ensuite le cap magnétique avec une précision qui peut atteindre 1 degré. L'information cap peut être transportée et utilisée facilement dans tout le navire.**

01 3.1.1.4.2. Fonctionnement de l'élément sensible

- 07 Deux barres aimantées de grande perméabilité magnétique et à faible seuil de saturation (permalloy) forment le noyau d'un transformateur. Deux enroulements primaires montés en opposition et parcourus par un courant alternatif saturent le noyau pendant la plus grande partie du cycle. S'il n'y avait pas d'influence magnétique extérieure, le système serait parfaitement symétrique et aucun signal ne serait induit dans l'enroulement secondaire (figure 3.1.1.4.2.A.).

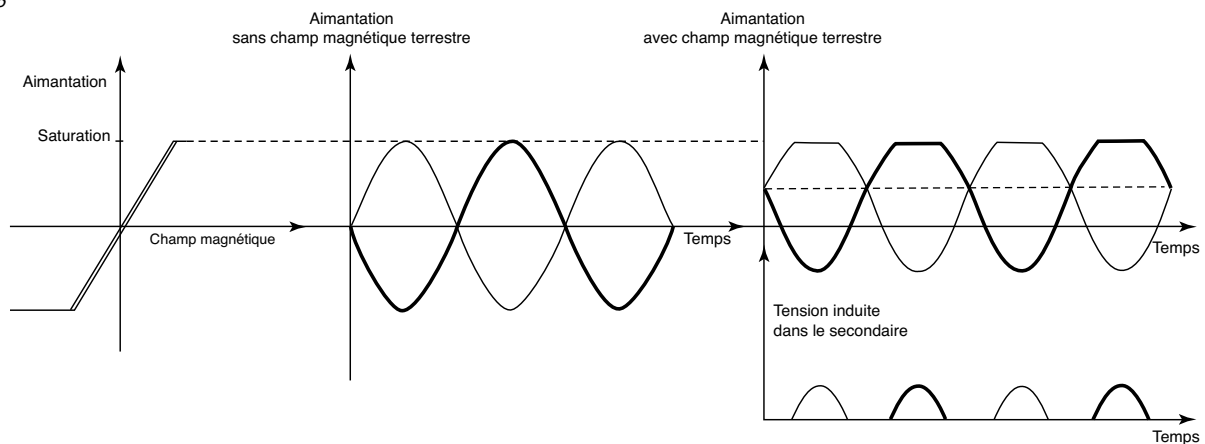
13



3.1.1.4.2.A. — Élément sensible « fluxgate ».

- 19 En réalité le champ magnétique terrestre ajoute une composante continue qui va rompre la symétrie. Un signal électrique sera donc induit dans l'enroulement secondaire, sa phase et son amplitude dépendent de la valeur de la projection du champ magnétique terrestre suivant l'axe des bobines (figure 3.1.1.4.2.B.).

25



3.1.1.4.2.B. — Détection du champ magnétique terrestre.

01 3.1.1.4.3. Traitement du signal

- 07 Trois éléments sensibles « fluxgate » disposés selon trois axes sont reliés à un circuit électronique de traitement qui par comparaison calcule le gisement du champ magnétique terrestre, donc inversement le cap magnétique du bateau.
- 13 L'appareil peut indiquer le cap vrai du bateau, un circuit réglable introduisant la correction de déclinaison magnétique D du lieu, et un dispositif engendrant un flux magnétique compensant la déviation d , dispositif qui remplace les classiques aimants de compensation du compas magnétique (§ 3.1.1.2.2.). Le réglage de ce dispositif peut se faire manuellement par une procédure analogue à la compensation du compas magnétique, ou sur certains compas électroniques par une simple giration de 360° , un microprocesseur effectuant alors automatiquement les mesures d'écart et les corrections convenables.
- 19 L'appareil doit comme tout compas magnétique être installé loin des masses magnétiques et circuits électriques. En raison de son faible poids (de l'ordre du kg) il peut être installé dans les hauts, par exemple en haut d'un mât amagnétique.

01 3.1.1.4.4. Utilisation du signal

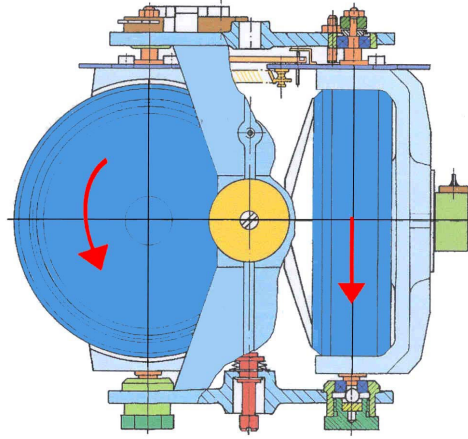
- 07 L'information cap est transmise à un ou plusieurs indicateurs de visualisation numérique ou analogique. Certains indicateurs présentent l'écart par rapport à une route affichée par l'apparition de « bâtonnets » colorés du côté convenable ou par une alarme sonore. D'autres indicateurs fonctionnant en mode différentiel indiquent le taux de la giration en cours, ce qui peut être utile en eaux resserrées.
- 13 Le cap du compas électronique peut aussi être transmis pour stabiliser en azimuth un indicateur de radar de navigation, ou un équipement de radio-navigation, ou envoyé à un calculateur d'estime ou à un pilote automatique.

19 Dans la plaisance on trouve des compas électroniques de relèvement portatifs montés sur jumelles à main.

01 3.1.1.5. Compas gyroscopique

07 Les navires d'un tonnage brut supérieur à 500 doivent, pour indiquer le cap du navire, utiliser un gyrocompas amagnétique. L'utilisation de la technologie inertielle permet de fournir une information de cap autonome.

13



3.1.1.5. — Compas gyroscopique.

01 3.1.1.5.1. Principe général

07 Un gyroscope équipé de dispositifs particuliers s'oriente dans la direction du Nord. Le cap compas qui en est tiré est commode d'emploi et peut être distribué dans tout le navire. Néanmoins il fait avec le cap vrai un angle constant, la variation W , de l'ordre de 0 à 2°, qui peut dériver et qu'il convient de contrôler régulièrement par observation.

13 Le **compas gyroscopique** doit être mis en route 4 à 5 heures avant l'appareillage du navire.

01 3.1.1.5.2. Fonctionnement de l'élément sensible

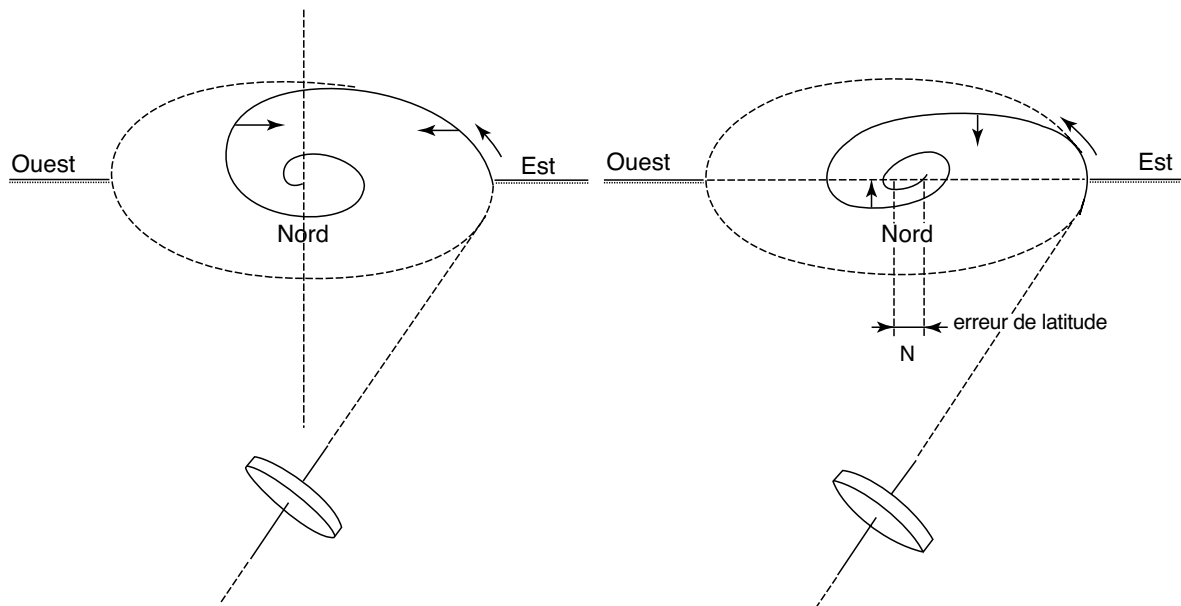
07 Un gyroscope libre, rotor tournant à grande vitesse qui n'est soumis à aucune force, conserve une direction fixe par rapport aux étoiles. Sur terre le gyroscope libre semble donc animé d'un mouvement inverse de la rotation de la terre.

13 Pour le transformer en compas gyroscopique, il faut lui adjoindre un dispositif pour contrebalancer la rotation de la terre. Sperry et Anschütz utilisent un contrepoids et réalisent ainsi un « gyro-pendule ».

19 Mais il faut encore ajouter un amortissement pour que le gyro-pendule rallie de lui-même sa position d'équilibre vers le Nord à l'horizontale du lieu.

25 **Anschütz** utilise les forces de frottement qui tendent à ramener l'axe du gyro-pendule vers le plan du méridien : après plusieurs oscillations de 85 minutes de période, l'axe du gyro-pendule rallie le Nord en décrivant une spirale en 5 heures (figure 3.1.1.5.2.A.).

31



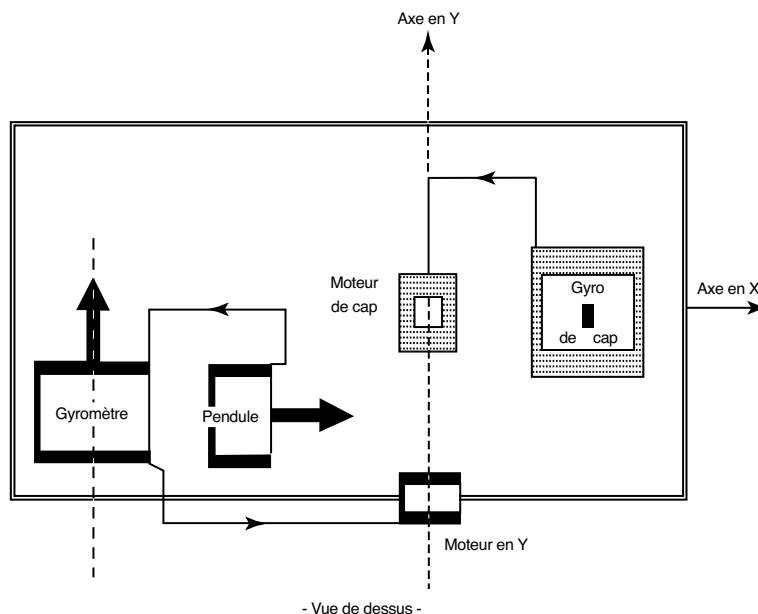
3.1.1.5.2.A. — Ralliement du Nord.

37 **Sperry** ajoute un deuxième contrepoids qui tend à ramener l'axe du gyro-pendule vers le plan horizontal : après plusieurs oscillations de 85 minutes de période, l'axe du gyro-pendule rallie le Nord en décrivant une spirale en 4 heures mais il subsiste une erreur de 1 à 2° appelée « erreur de latitude » (§ 3.1.1.5.4.) [figure 3.1.1.5.2.A.].

43 **Arma-Brown** stabilise d'abord la plate-forme par une ou plusieurs chaînes d'horizontalité constituées chacune d'un gyromètre (gyroscope mesurant les vitesses de rotation) et d'un pendule (qui indique l'inclinaison). Un autre gyroscope solidaire de cette plate-forme indique le Nord. L'amortissement se fait par un circuit électronique et la spirale de ralliement est analogue à celle du compas Sperry mais les délais de ralliement du Nord sont réduits.

49 La centrale de cap et de verticale (CCV) des bâtiments de la marine nationale fonctionne selon ce principe mais avec deux chaînes d'horizontalité.

55



3.1.1.5.2.B. — Plate-forme stabilisée à 2 axes.

61 **Mise au cap rapide.** La durée normale du cycle de ralliement du Nord de 4 ou 5 heures (compas Sperry et Anschütz) peut être réduite sur certains appareils en alignant manuellement le gyroscope vers le Nord avant

de le lancer. Dans ce cas, le gyro-compass est utilisable au bout d'une heure. Cette opération appelée « mise au cap rapide » doit cependant demeurer exceptionnelle.

01 3.1.1.5.3. Utilisation de l'information

07 L'élément sensible suspendu à cardans ou contenu dans une sphère flottant dans un liquide s'oriente vers le Nord. Mais le moindre couple parasite fausserait le résultat. Pour cette raison une sphère concentrique dite fantôme, asservie à l'élément sensible, est utilisée pour relayer l'information du cap sous forme analogique (synchro-transmetteurs) ou numérique aux utilisateurs du bord (répétiteurs-compas de route ou de relèvement, équipements de navigation ou de radionavigation).

13 Ainsi distribuée, l'information du cap compas est stable et commode d'emploi (son couple de rappel est environ dix fois plus élevé que celui du compas magnétique), insensible au magnétisme terrestre, et utilisable pour toutes les latitudes jusqu'à 70° (au-delà, la force directionnelle vers le Nord devient trop faible et il faut utiliser le gyroscopie en conservateur de cap – voir sous-chapitre 19.2.).

01 3.1.1.5.4. Erreurs du compas gyroscopique

07 **Le cap compas reçu par les répétiteurs gyroscopiques et les équipements diffère du cap vrai du navire de la variation gyroscopique W et on a algébriquement :**

13 **Cv = Cc + W** avec : Cv cap vrai, Cc cap compas,

19 **Rv = Rc + W** : Rv relèvement vrai et Rc relèvement compas

25 Ce sont les mêmes formules que celles du compas magnétique (§ 3.1.1.2.2.) mais, contrairement à la variation magnétique, la variation gyroscopique varie peu en fonction du cap du navire. Elle est habituellement de l'ordre de 0 à 2° mais elle peut dériver et doit être fréquemment contrôlée par des observations sur des directions dont on connaît les relèvements vrais (ce qu'on appelle « **faire une variation** » comme dans le cas du compas magnétique).

31 La **variation gyroscopique** est la somme algébrique des erreurs citées ci-après.

37 **a) Erreurs accidentelles** en cas d'avarie de matériel.

43 **b) Erreurs de calage** du maître-compas par rapport à la ligne de foi du navire, et des répétiteurs par rapport au maître-compas. La comparaison entre répétiteurs et maître-compas doit être faite avant chaque appareillage.

49 **c) Erreur de vitesse Nord-Sud** du navire. Un déplacement Nord-Sud agit sur l'équilibre du gyrocompas qui se décale d'un angle δ tel que : δ en degrés = $\frac{V \cos Cv}{15,7 \cos \phi}$

55 avec V vitesse en nœuds, Cv cap vrai et ϕ latitude.

61 Cette erreur qui peut atteindre 2 à 3° est corrigée automatiquement par action sur le dispositif de recopie du maître-compas sur certains compas (la vitesse vient du loch ou est affichée, la latitude est affichée) ou sinon elle peut être calculée par le navigateur.

67 **d) Erreur balistique.** Une accélération dans l'axe Nord-Sud (à la suite d'un changement de route ou de vitesse) dévie le gyro-compass qui revient de lui-même au Nord en suivant la spirale habituelle (§ 3.1.1.5.2.). Sur certains compas, le constructeur dose la correction balistique et celle pour l'erreur de vitesse Nord-Sud de façon que les erreurs se neutralisent aux latitudes habituelles d'emploi du navire. En pratique l'erreur balistique qui peut atteindre 2 à 3° devient négligeable après quelques dizaines de minutes.

73 **e) Erreur de latitude.** La solution Sperry de recherche du Nord laisse subsister une erreur de la forme $\alpha = r \tan \phi$ où r est une constante propre à chaque appareil. Cette erreur de l'ordre de 1 à 2° peut être corrigée automatiquement (la latitude est affichée manuellement) ou calculée par abaque fournie par le constructeur. Elle n'existe pas dans les compas de type Anschütz.

79 **f) Erreur intercardinale de roulis** (ou erreur quadrantale) due à l'effet du roulis sur l'élément sensible lorsque le navire est en route aux alentours des caps intercardinaux 045°, 135°, 225° et 315° (aux caps cardinaux N, S, E, W le roulis n'a pas d'influence sur le cap). Cette erreur peut être supprimée en remplaçant le gyroscopie par deux gyroscopes montés à 90° l'un de l'autre de façon que les erreurs se neutralisent.

85 Une autre solution consiste à accroître l'inertie mécanique par un dispositif retardateur sur le circuit à mercure (lorsqu'il existe) ou par un circuit électronique.

91 **g) Erreur de cardan du répétiteur.** Le navigateur doit attendre que la rose du répétiteur soit horizontale avant de l'utiliser sous peine de créer une erreur de lecture.

01 **3.1.2. Loch**01 **3.1.2.1. Généralités**

07 **La connaissance de sa vitesse est indispensable au navigateur pour en déduire la distance parcourue qui lui permettra d'entretenir son estime** (chapitres 10. et 15.) **et pour apprécier le bon fonctionnement de son bateau.**

13 La distance parcourue doit être connue de façon précise pour la navigation au large car c'est un moyen d'en déduire la longitude, difficile à connaître avec les seules observations astronomiques si on n'a pas de chronomètre précis. Certains systèmes de radionavigation utilisent également l'information vitesse, et leur précision est subordonnée à l'exactitude de l'information reçue.

19 **L'unité de vitesse sur mer est le nœud qui est la vitesse d'un navire parcourant un mille marin (1 852 m) à l'heure.** Le symbole utilisé est **kn** sur les cartes internationales, et **n** sur les anciennes cartes françaises. Le symbole utilisé dans la marine nationale est **nd**.

25 Un nœud correspond donc à 0,5144 mètre par seconde et un kilomètre à l'heure équivaut à 0,5400 nœud.

31 **Certains lochs donnent au navigateur sa vitesse par rapport au fond de la mer, ce qu'on appelle vitesse fond. Les autres indiquent seulement la vitesse par rapport à l'eau qui entoure le navire, c'est la vitesse surface.**

37 Les lochs les plus précis sont les lochs électromagnétiques et les lochs doppler. Les lochs doppler donnent un vecteur vitesse avec une précision de l'ordre de 1 % de la vitesse, 0,1 nœud aux faibles vitesses ; ils peuvent être perturbés par des conditions de propagation particulières mais donnent une vitesse « fond » par petits fonds.

43 Les lochs électromagnétiques atteignent des performances comparables par rapport à l'eau à proximité de la coque ; leur étalonnage est plus délicat.

01 **3.1.2.2. Vitesse déduite de l'allure des machines**

07 Sur les navires à propulsion mécanique, l'allure des machines peut donner une évaluation assez précise de la **vitesse surface**, si est prise la précaution de dresser préalablement par observation et d'entretenir un tableau ou une courbe indiquant la vitesse en fonction du nombre de tours par minute de l'hélice.

13 Inversement si, pour une allure des machines donnée, la vitesse est plus faible que prévue compte tenu de l'effet du vent et de l'état de la mer, cela peut signifier une salissure de carène ou une détérioration de l'appareil de propulsion. L'économètre installé sur certains navires fonctionne sur ce principe.

01 **3.1.2.3. Loch hollandais**

07 L'ancêtre des lochs, le **loch hollandais**, consiste en un simple morceau de bois (en anglais « log », d'où le nom du loch) qu'on jette à l'avant du navire. Le temps que met ce « log » à défiler le long de la coque permet de calculer la **vitesse surface** en divisant la distance entre les deux postes d'observation par l'intervalle de temps chronométré.

13 La mesure de vitesse obtenue par ce procédé est bien sûr très approximative.

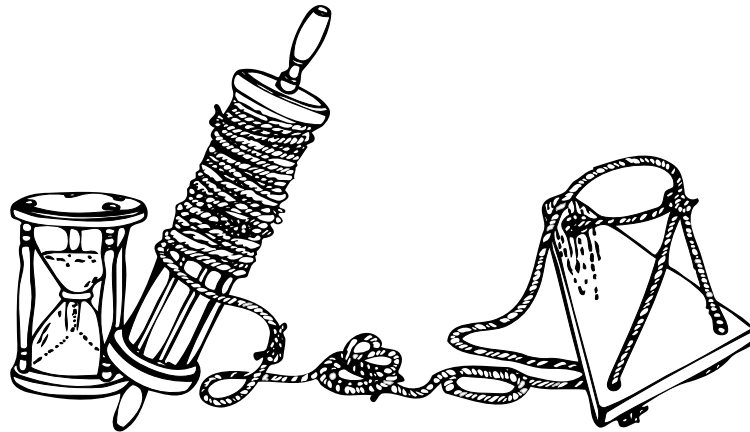
01 **3.1.2.4. Loch à bateau**

07 Le principe du **loch à bateau** consiste à laisser filer une planchette de bois lestée pour flotter à la verticale et reliée par une patte d'oie à une ligne comportant des nœuds espacés de 15,43 m (1/120 de mille marin), et simultanément à retourner un sablier de 30 secondes (1/120 d'heure). Lorsque le sablier indique que les 30 s sont écoulées, on bloque la ligne et on compte le nombre de nœuds qui ont été filés, ce qui donne directement la **vitesse surface** en « nœuds ».

13 Une variante de ce loch est le « loch à fil perdu », avec un flotteur très léger abandonné à chaque mesure. Une autre variante, ou « loch de fond », permet par très faible profondeur de connaître sa vitesse fond : on jette par dessus bord un poids amarré à une ligne légère munie de nœuds, et on opère comme dit précédemment, le poids se posant sur le fond.

19 La précision de ces lochs, fonction de l'habileté des servants, reste aléatoire, et les mesures doivent être utilisées avec prudence.

25

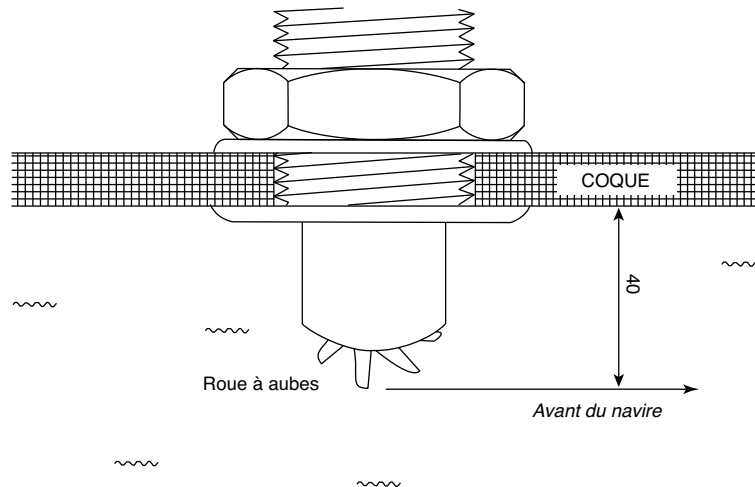


3.1.2.4. — Loch à bateau.

01 3.1.2.5. Loch à hélice et loch à turbine

- 07 Le **loch à hélice** est constitué par un « poisson de loch », hélice en bronze que l'on traîne derrière le bateau et qui entraîne un compte-tours ou une dynamo tachymétrique donnant la **vitesse surface**.
- 13 C'est un véritable instrument de mesure, simple et robuste, mais sa mise en œuvre reste délicate et il est inopérant par faible vitesse (le « poisson » plonge en dessous de quatre nœuds), à trop forte vitesse et en marche arrière. Le « poisson » peut enfin se trouver bloqué par une algue ou rester croché sur le fond.
- 19 Le **loch à turbine** (figure 3.1.2.5.) en est une variante améliorée : une petite hélice ou une roue à aubes est placée dans un tube rétractable qui dépasse de quelques centimètres sous la coque. Ce capteur est relié à une dynamo tachymétrique qui indique directement la vitesse surface.

25



3.1.2.5. — Loch à turbine.

- 31 Le loch à turbine est plus fragile que le loch à hélice remorquée mais il est plus sensible : il fonctionne de 0,5 nœud à 40 nœuds. Il ne fonctionne pas en marche arrière. L'indication de vitesse donnée est continue et peut être envoyée à une centrale de navigation ou à un calculateur d'estime, mais elle peut être perturbée par forts mouvements de plate-forme entraînant des décollements des filets d'eau.
- 37 Si une algue bloque la roue à aubes ou l'hélice, le navigateur s'en aperçoit immédiatement grâce à l'indicateur de passerelle mais le capteur peut être détérioré.

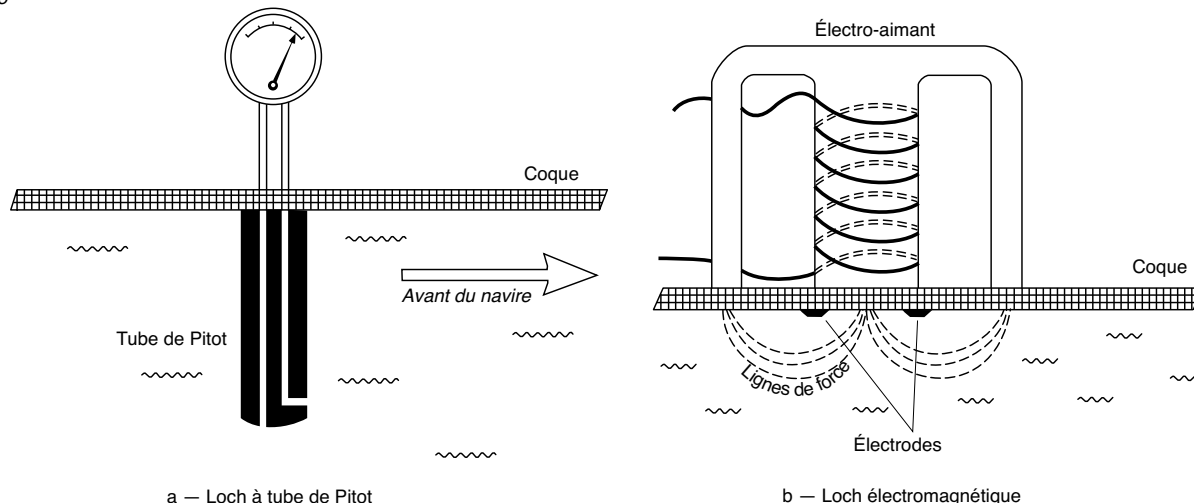
01 3.1.2.6. Loch à pression ou à tube de pitot

- 07 Le **tube de Pitot** est un tube débordant de 50 cm sous la coque et se terminant par un bec en forme de cuiller orientée vers l'avant du navire (figure 3.1.2.6.). La pression mesurée dans ce tube, ou pression dynamique, est comparée avec la pression statique mesurée à l'extrémité d'un tube immergé verticalement.

13 Le résultat obtenu est proportionnel au carré de la **vitesse surface** du navire : le **loch à pression** est donc inutilisable pour des vitesses inférieures à 5 nœuds, mais sa plage d'action va jusqu'à 40 nœuds avec une précision de $\pm 0,5$ nœud pour un appareil bien réglé, sauf par forts mouvements de plate-forme entraînant des décollements des filets d'eau. Le tube de Pitot est inutilisable en marche arrière. Débordant largement sous la coque, il est fragile et doit être rentré en eaux peu profondes.

19 L'indication de vitesse donnée peut être envoyée à une centrale de navigation ou à un calculateur d'estime.

25



3.1.2.6. — Loch à tube de Pitot et loch électromagnétique.

01 3.1.2.7. Loch électromagnétique

07 Un champ magnétique qui se déplace dans un milieu conducteur y induit une force électromagnétique proportionnelle à la vitesse du déplacement. Dans le **loch électromagnétique**, le champ magnétique est produit par un électro-aimant. Le conducteur est l'eau. Le capteur de la force électromagnétique est une paire d'électrodes au contact de l'eau. Il peut être placé sous la coque ou disposé dans un bulbe caréné, souvent rétractable, débordant sous la coque. Voir figure 3.1.2.6.

13 Aux bornes des électrodes, la différence de potentiel est proportionnelle à la **vitesse surface** du navire. Le loch électromagnétique est utilisable de 3 nœuds en arrière jusqu'à 40 nœuds en avant, avec une précision de 2 % de la mesure et une sensibilité aux très faibles vitesses de 0,05 nœud. C'est un appareil fiable, peu fragile, peu sensible aux mouvements de plate-forme, mais son étalonnage est assez délicat. Ses indications peuvent être envoyées à une centrale de navigation ou à un calculateur d'estime.

01 3.1.2.8. Loch doppler acoustique

01 3.1.2.8.1. Principe de fonctionnement

07 Deux sources ultra-sonores très directives appelées « transducteurs » émettant sur la même fréquence sont installées sous la coque de façon que leur axe fasse un angle de 30° avec la verticale. Les signaux émis reviennent aux transducteurs après réflexion sur le fond et on compare les fréquences reçues : l'écart de fréquence mesuré est proportionnel à la **vitesse fond** dans le plan de mesure.

13 L'appareil est affranchi des variations de la célérité du son dans l'eau (en baignant par exemple les transducteurs dans une huile).

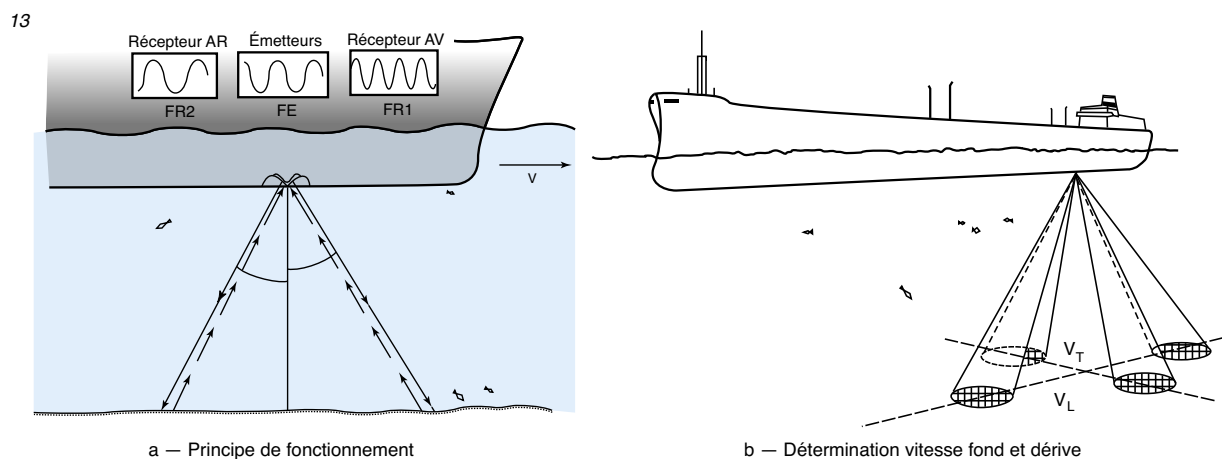
19 Certains lochs recherchent une meilleure pénétration du signal dans l'eau permettant une réflexion sur le fond jusqu'à 300 à 400 mètres de profondeur en envoyant un signal de fréquence basse (de l'ordre de 100 kHz). D'autres appareils privilégient la qualité de la mesure en utilisant un signal de 1 MHz, ce qui permet une précision de 2 % de la mesure jusqu'à 40 nœuds (y compris en marche arrière) et de l'ordre de 1 % aux faibles vitesses ; mais alors la réflexion sur le fond n'est possible que si la profondeur d'eau sous la coque n'est pas supérieure à 20 mètres. La sensibilité est excellente aux très faibles vitesses (0,01 nœud).

01 3.1.2.8.2. Fonctionnement en mode « masse d'eau »

- 07 Lorsque la profondeur est supérieure aux valeurs mentionnées ci-dessus, la réflexion sur le fond ne peut avoir lieu ; une partie de l'énergie revient néanmoins aux transducteurs après réverbération par les particules en suspension dans l'eau (bulles de gaz, micro-organismes, impuretés, etc.). On dit que le loch fonctionne en mode « **masse d'eau** ». L'indication fournie par l'appareil n'est plus alors une vitesse fond mais une vitesse par rapport au volume d'eau, qui s'apparente plutôt à la **vitesse surface**, et la précision est moindre.
- 13 Certains équipements, fonctionnant simultanément dans les deux modes « fond » et « masse d'eau », analysant finement les réverbérés de diverses couches et les comparant avec la réflexion de fond et les indications d'un compas, permettent d'en déduire la vitesse et la direction des courants sous-marins dans ces couches.

01 3.1.2.8.3. Détermination de la dérive

- 07 Avec deux couples de transducteurs judicieusement disposés (figure 3.1.2.8.) on peut mesurer la vitesse fond longitudinale et la vitesse fond transversale, ce qui permet de calculer la vitesse fond et la dérive du navire. Les grands pétroliers qui sont équipés de cet appareil l'utilisent pour achever leur accostage à des vitesses voisines de 0,1 nœud soit 5 cm/s.



3.1.2.8. — Loch Doppler.

01 3.1.2.9. Mesure de la vitesse par récepteur GPS

- 07 Un récepteur de radionavigation par satellites GPS fournit une **vitesse fond** avec une précision de 0,1 à 0,2 m / s en mesurant le doppler des signaux électro-magnétiques envoyés par les satellites [GPS](#).

01 3.1.3. Centrale inertielle de navigation

01 3.1.3.1. Généralités

- 07 Lorsque dans une centrale gyroscopique de cap et de verticale (§ 3.1.1.5.2.) les accéléromètres et gyroscopes ont une précision de classe inertielle, on peut utiliser leurs mesures dans un calculateur numérique pour constituer une centrale qui de façon autonome fournit à tout instant le cap, la vitesse du navire et la distance parcourue depuis l'origine, donc la position : c'est une centrale inertielle de navigation.

01 3.1.3.2. Principe de base

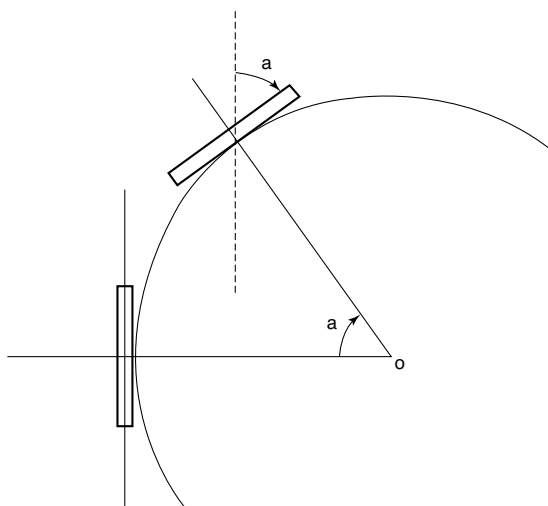
- 07 Le principe est de mesurer les accélérations et, par une double intégration, d'en déduire le déplacement et par conséquent la position du navire, la position initiale étant connue. En fait, le champ de gravité terrestre étant centripète, cela revient à déterminer la verticale et à mesurer l'angle dont elle a tourné pendant le déplacement du navire (figure 3.1.3.3.).
- 13 La centrale inertielle délivre en permanence les informations suivantes :
- le cap et les angles d'attitude du navire (roulis et tangage) ;
 - la vitesse (par rapport au fond) ;
 - la latitude et la longitude.

- 19 Les centrales de navigation « Marine » sont des systèmes hybrides car ils utilisent, en plus de leurs capteurs propres, la vitesse fournie par le loch pour amortir les oscillations.

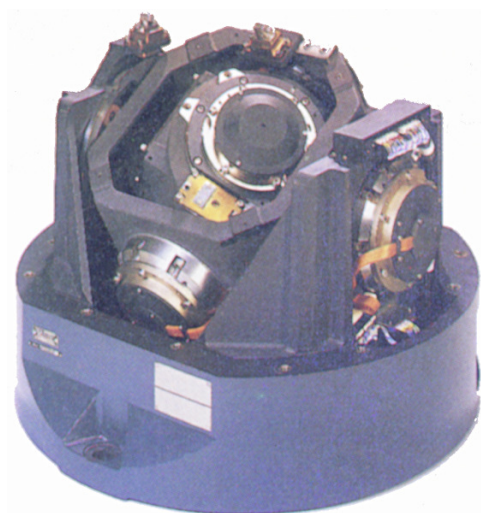
01 3.1.3.3. Constitution de la centrale inertielle

- 07 L'équipement est constitué par une plate-forme réelle ou virtuelle (c'est-à-dire remplacée par des circuits de calculs) asservie à la verticale locale. Un ensemble de capteurs solidaire de la plate-forme mesure la vitesse de rotation de cette verticale selon trois axes. Un calculateur en déduit les déplacements angulaires, donc le déplacement du navire sur le géoïde compte tenu de la rotation terrestre.
- 13 L'asservissement de la plate-forme fait apparaître deux modes oscillatoires purs de périodes fondamentales, la période de Schuler de 84 minutes et la période de rotation terrestre de 24 heures.
- 19 Pour les applications marines, il est indispensable d'amortir ces oscillations. Cet amortissement est réalisé à l'aide du loch.

25



Principe de la centrale inertielle de navigation.



Centrale inertielle.

3.1.3.3. — Principe de la centrale inertielle de navigation et centrale inertielle.

01 3.1.3.4. Performances

- 07 Les performances des centrales inertielles de navigation sont étroitement liées à la qualité des composants inertiels (gyromètres et accéléromètres). L'erreur moyenne en cap et latitude est limitée (car de forme oscillatoire) ; par contre l'erreur en longitude est cumulative. Directement liée à la précision des gyromètres, cette dérive en longitude oblige à recalibrer périodiquement la verticale à l'aide de positions obtenues par radio-navigation ou par visée astrale.
- 13 Il existe deux générations de centrales inertielles de navigation, la première, celle des centrales mécaniques, et la seconde qui reconstitue par calcul la plateforme inertielle.
- 19 La première génération (centrales mécaniques) matérialise physiquement la plateforme grâce à l'utilisation de cardans. Elle utilise des gyromètres mécaniques (toupies à suspension accordée) qui maintiennent la plateforme physiquement stable. En pratique, on obtient dans les centrales inertielles de première génération une précision de l'ordre de 1 mille par heure.
- 25 La seconde génération de centrales (reconstitution par calcul de la plateforme inertielle) utilise des capteurs montés directement sur la structure de l'équipement, de technologie à gyromètre laser, à fibre optique ou à gyromètres vibrants. Des technologies de gyromètre vibrant (MEMS [systèmes microélectromécaniques, Microelectromechanical systems], gyro résonnant hémisphérique) apparaissent depuis peu sur cette gamme de produit.
- 31 Les centrales à gyromètre laser (**gyrolaser**) ont une précision bien supérieure à celle des centrales mécaniques. Apparues récemment, les centrales inertielles à fibre optique ont une précision proche de celle des gyrolaser. Un récepteur **GPS** (ou **Galileo** dans le futur) est souvent associé aux centrales de seconde génération, ce qui permet de bénéficier de la complémentarité des deux sources de navigation (précision de la radio navigation, robustesse et continuité de l'inertie).

- 37 La centrale inertielle est un équipement avant tout destiné aux applications militaires : des attitudes précises sont nécessaires pour les conduites de tir, la localisation du navire doit être faite même en l'absence de moyen externe de radio-navigation. Historiquement, les marines de guerre, et surtout les applications sous-marines ont été et sont un vecteur majeur de développement des technologies inertielles.
- 43 Actuellement limitée à des applications spécifiques nécessitant des fonctions complémentaires par rapport à la seule fonction gyrocompas (attitudes précises pour pilotage d'antenne, stabilisation de ligne de visée, etc.), l'utilisation pour la marine marchande de centrales inertielles pourrait se développer dans le futur.

01 3.1.4. Sondeur

01 3.1.4.1. Généralités

- 07 Le sondeur indique au navigateur la profondeur d'eau qu'il a sous la coque. Cette connaissance lui est très utile pour la sécurité de son navire : elle peut l'alerter et prévenir un éventuel échouement ; elle peut lui donner de précieuses indications sur l'endroit où il se trouve (navigation à la sonde – chapitre 11.), l'aider à atterrir après une longue traversée (chapitre 17.), lever une ambiguïté en cas de doute sur la position obtenue par un autre moyen de navigation.
- 13 Dans les zones où l'hydrographie est encore mal connue et notamment dans les zones du large, le navigateur est invité à communiquer au SHOM le résultat des sondages qu'il a faits, surtout s'ils apportent des éléments nouveaux à l'information hydrographique (voir volume 1).
- 19 En cas de sinistre, l'enregistrement convenablement renseigné couvrant une durée notable avant l'événement et même après si le navire a pu reprendre sa route, est une pièce importante du dossier d'enquête. La précision à rechercher est de 1 % à 3 % de la profondeur jusqu'à une profondeur de l'ordre de 1 000 m.
- 25 **Le sondeur doit être mis en route et systématiquement surveillé chaque fois que la sécurité du navire le rend nécessaire (atterrissage, carte ancienne, relief sous-marin tourmenté, visibilité réduite, etc.). C'est le cas quand la profondeur lue sur la carte est inférieure à 20 m, ou à deux fois le tirant d'eau du navire lorsque ce tirant d'eau est supérieur à 10 m. L'inobservation de l'une de ces consignes est une négligence professionnelle grave.**

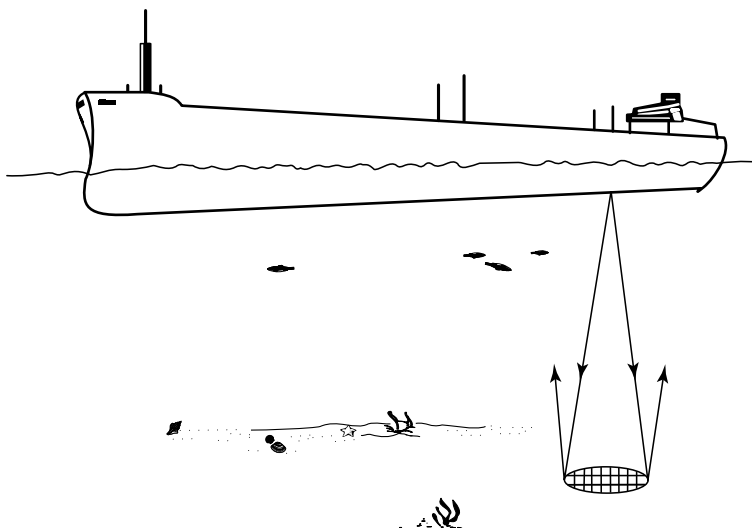
01 3.1.4.2. Sonde à main

- 07 Probablement la plus ancienne des aides à la navigation, et toujours très utile sur les petits bâtiments de plaisance, la **sonde à main** est constituée d'un plomb de sonde de quelques kilogrammes et d'une ligne légère de 50 mètres comportant des marques tous les 5 mètres. Le plomb de sonde a la base évidée pour recevoir du suif, ce qui permet de recueillir un échantillon du fond s'il s'y prête, ou au moins une empreinte démontrant que le fond a bien été atteint. La connaissance de la nature du fond peut s'avérer précieuse pour vérifier la navigation.
- 13 L'usage de la sonde à main n'est possible qu'avec un navire arrêté ou à faible vitesse, et la profondeur maximale mesurable est limitée par la longueur de la ligne.
- 19 La mesure n'est pas continue et est peu précise.

01 3.1.4.3. Principe de l'écho-sondeur (ou sondeur acoustique)

- 07 Une source ultra-sonore très directive appelée « transducteur » émet verticalement dans l'eau sous la coque du navire. Le signal émis revient au transducteur après réflexion sur le fond, et on mesure le temps mis par ce trajet aller et retour : ce temps est proportionnel à la profondeur de l'eau.

13



3.1.4.3. — Écho-sondeur.

01 3.1.4.4. Transducteurs utilisés

01 3.1.4.4.1. Principe du transducteur ultra-sonore

07 À l'émission, un signal électrique de forte puissance est transformé par le transducteur en signal mécanique ultra-sonore. Après réflexion sur le fond, l'écho reçu, très faible signal ultra-sonore, est transformé par le transducteur en signal électrique. Le transducteur est accompagné d'un réflecteur de forme et de dimensions convenables pour assurer une bonne directivité au faisceau ultra-sonore.

13 Dans certaines installations anciennes, le transducteur d'émission est distinct du transducteur de réception, mais dans la plupart des cas, on utilise un transducteur émetteur-récepteur appelé **base** ou **tête de sondeur**.

19 Sur certains voiliers, à cause de la gîte, on dispose deux têtes de sondeur et un contacteur à mercure met en service la tête sous le vent. Dans tous les cas le transducteur doit être installé autant que possible loin des bruits et des filets d'eau perturbés.

01 3.1.4.4.2. Transducteur piézo-électrique

07 Un cristal de quartz convenablement taillé soumis à une vibration ultra-sonore dont la fréquence correspond à sa dimension entre en résonance et produit sur ses faces un signal électrique de même fréquence. Réciproquement ce quartz soumis à un signal électrique de même fréquence résonne et émet une vibration mécanique ultra-sonore. À chaque cristal est associée une fréquence de résonance (dans une gamme de 30 à 50 kHz).

13 Les transducteurs piézo-électriques fonctionnent selon ce procédé, ils sont fidèles mais fragiles et chers, et donc peu répandus.

01 3.1.4.4.3. Transducteur céramique (ou à électro-striction)

07 Une plaque de céramique (formée de petits cristaux réunis par cuisson), dont les dimensions sont fonction de la fréquence utilisée, est insérée entre deux électrodes et soumise, à la fabrication, à un champ électrique puissant qui l'a déformée de façon permanente.

13 Lors de l'utilisation, un signal électrique sinusoïdal appliqué aux électrodes entraîne une nouvelle déformation mécanique alternée, donc un signal ultra-sonore. Et inversement une vibration ultra-sonore frappant la plaque de céramique la déforme et crée un signal électrique aux électrodes.

19 Un transducteur ne travaille que dans une seule fréquence déterminée par les dimensions de sa plaque de céramique, dans une gamme de 28 kHz à 210 kHz.

25 Le transducteur céramique est fidèle et bon marché, et donc extrêmement répandu pour les usages courants. Il est néanmoins fragile et sensible aux chocs, aux surtensions, et aux températures élevées.

01 3.1.4.4.4. Transducteur à magnétostriction

07 Des tranches épaisses de nickel empilées sont entourées d'électro-aimants. Lorsque le nickel est soumis par un électro-aimant à un champ magnétique variable, il entre en vibration mécanique à la même fréquence provoquant une émission d'ultra-sons. Inversement s'il vibre sous l'effet d'un signal ultra-sonore, le nickel gé-

nère aux bornes de l'électro-aimant des oscillations électriques. Dans les deux cas un fort électro-aimant de polarisation maintient le nickel dans un champ magnétique permanent.

- 13 Le transducteur à magnétostriction est robuste mais son rendement et sa fidélité sont mauvais. Il permet des puissances considérables et des fréquences basses (de 15 à 30 kHz) et est donc utilisable pour sonder à de grandes profondeurs.

01 3.1.4.5. Caractéristiques du signal ultra-sonore

- 07 Un sondeur n'émet pas en permanence, il envoie un train d'ondes sinusoïdales pendant une courte durée d'émission suivie d'un long intervalle de silence qui lui permet de détecter les signaux en retour.

01 3.1.4.5.1. Fréquence d'émission

- 07 Les caractéristiques du transducteur utilisé (§ 3.1.4.4.) imposent la fréquence d'émission.
- 13 Une fréquence élevée (200 kHz) permet une durée d'émission plus courte, donc un traitement plus fin de l'information. À dimensions de base égales, il permet une meilleure directivité du pinceau ultra-sonore. Mais à puissance égale la portée est plus faible car l'atténuation du signal dans l'eau est proportionnelle au carré de la fréquence.
- 19 Dans la pratique le sondeur sera équipé du transducteur donnant la fréquence la plus élevée compatible avec la portée recherchée : 200 kHz si une portée de 300 m suffit, 50 kHz pour une portée de 2 000 m, les fréquences très basses qu'on ne peut obtenir qu'avec des transducteurs à magnéto-striction et des appareils très lourds étant réservées aux sondages à très grande profondeur.

01 3.1.4.5.2. Durée d'émission (ou durée d'impulsion)

- 07 Pendant que le transducteur émet, il ne peut recevoir. Étant donné qu'en une milli-seconde le son dans l'eau parcourt 1,5 m, si l'émission dure par exemple 1 ms, l'appareil ne pourra écouter qu'ensuite, il a donc une portée minimale de détection de la moitié de 1,5 m soit 0,75 m.
- 13 Un objet ponctuel sera attaqué par tout le train d'ondes d'une même émission qui se réfléchiront successivement sur lui, et à la réception la profondeur de cet objet ne pourra pas être connue dans l'exemple choisi avec une précision supérieure à 0,75 m. De la même façon deux objets distants verticalement de moins de 0,75 m ne pourront pas être discriminés.
- 19 Le fabricant recherchera donc la durée d'émission la plus courte possible s'il veut privilégier la qualité de la mesure. Mais s'il recherche des grandes portées, elles ne peuvent être obtenues qu'avec une énergie suffisante donc, à puissance donnée, avec une durée d'émission suffisante.
- 25 Dans la pratique la durée d'émission est réglée en fonction de la portée voulue : 0,3 ms pour une portée de 100 m, 3 à 10 ms pour une portée plus longue.

01 3.1.4.5.3. Intervalle d'émission

- 07 L'intervalle d'émission ou période de répétition est l'intervalle du temps en secondes entre deux impulsions successives. La **cadence d'émission** est inversement le nombre d'émissions ultra-sonores par unité de temps. Elle est généralement donnée en nombre d'impulsions par minute.
- 13 Le principe de fonctionnement de l'écho-sondeur étant fondé sur la mesure du temps mis par le trajet aller et retour d'un signal ultra-sonore après réflexion sur le fond, la base de temps de l'appareil est démarrée au début de l'émission et se déroule jusqu'à l'émission suivante. Une nouvelle base de temps sera alors redémarrée. Si l'on recherche une portée donnée, on réglera donc normalement l'intervalle d'émission de façon à ce qu'il soit suffisant pour permettre au signal ultra-sonore de faire le trajet aller et retour. Si par exemple le fond est 730 m, un intervalle d'émission de 1 s couvrant un trajet dans l'eau de 1 500 m (soit 750 m aller et retour) permettra au sondeur de le détecter en fin de cycle.
- 19 Sur les sondeurs en service le même affichage règle simultanément l'intervalle d'émission du transducteur et l'échelle correspondante de lecture de l'indicateur présentant la profondeur (§ 3.1.4.6.).
- 38 De nombreux perfectionnements techniques (couleurs fonctions de la puissance du signal reçu, effet de loupe sur un détail, présentation simultanée d'autres informations...) rendent plus aisée la lecture sur certains indicateurs et facilitent en particulier l'analyse des échos. Sur certains appareils les fonds mesurés peuvent même être mis en mémoire sur bande magnétique.

01 3.1.4.5.4. Erreur due au 2^e balayage

- 07 Si un objet se trouve à une distance supérieure à celle couverte par l'intervalle d'émission affiché, il donnera quand même un écho mais cet écho sera pris en compte par la base de temps suivante, et l'appareil indiquera une profondeur inférieure à la réalité. Dans l'exemple ci-dessus d'un sondeur réglé à un intervalle d'émission de 1 s couvrant un trajet aller et retour du signal ultra-sonore de 750 m, si le fond est à 780 m, il apparaîtra au cycle suivant avec une profondeur apparente de $780 - 750 = 30$ m.
- 13 Les doutes peuvent être levés par changement d'intervalle d'émission (en pratique par affichage d'une nouvelle échelle de lecture). Dans l'exemple ci-dessus une échelle de 1 500 m aurait levé le doute. En cas de sonde insolite, il y a donc toujours intérêt à vérifier immédiatement la mesure en passant sur l'échelle la plus grande possible.
- 19 Sur les sondeurs à microprocesseur (§ 3.1.4.6.2.), cette opération est effectuée automatiquement et ce type d'erreur ne peut se produire.

01 3.1.4.6. Indicateurs de lecture des écho-sondeurs

- 07 La différence de temps entre l'émission et la réception d'un écho est transformée dans tous les écho-sondeurs en l'indication d'une profondeur.
- 13 Certains appareils sont munis d'une alarme à seuil bas (l'alarme se déclenche pour une profondeur inférieure au seuil choisi) et/ou à seuil haut (l'alarme se déclenche pour une profondeur supérieure au seuil choisi).

01 3.1.4.6.1. Indicateur à éclats

- 07 Une diode à éclats rouges est fixée à l'extrémité d'un bras qui tourne en synchronisme avec la base de temps. La diode s'allume au départ de l'émission et lorsque le transducteur reçoit un écho. Une graduation circulaire permet de lire directement la profondeur de l'écho. Le changement d'échelle de lecture se fait en changeant la vitesse de rotation du bras : il faut alors lire la profondeur sur une autre graduation.
- 13 La principale qualité de l'indicateur à éclats est d'être bon marché, mais l'analyse des échos est pratiquement impossible et l'appareil n'enregistre pas les mesures.

01 3.1.4.6.2. Indicateur numérique

- 07 La profondeur du meilleur écho est présentée sous forme numérique. Un microprocesseur analyse toutes les informations reçues, en écarte faux échos et sondes insolites et choisit la profondeur la plus vraisemblable.
- 13 Cet appareil sophistiqué est très simple d'emploi, mais n'effectue pas d'enregistrement de la profondeur.

01 3.1.4.6.3. Enregistreur graphique

- 07 Un chariot portant un style est entraîné par une courroie dans un mouvement rectiligne à vitesse constante. Le style est une petite pointe métallique reliée électriquement à la sortie de l'amplificateur ; une bande de papier métallisé se déplace à son contact avec une vitesse uniforme synchronisée avec la vitesse du chariot. Lorsqu'une impulsion arrive au style, une étincelle se produit entre celui-ci et le papier, carbonisant ce dernier au point de contact et provoquant une marque noire.
- 13 Le temps qui s'est écoulé entre les deux étincelles (donc, normalement, entre le départ de l'impulsion sonore et l'arrivée de l'onde réfléchie) est proportionnel à la distance entre les deux noircissements du papier et le profil du fond de la mer sous le navire, est ainsi enregistré d'une façon continue. Le papier peut être directement gradué en mètres.
- 19 Le changement d'échelle de lecture se fait en changeant la vitesse d'entraînement du chariot en même temps qu'on change l'intervalle d'émission.
- 25 Il est possible, sans changer d'échelle de lecture (donc d'intervalle d'émission), d'avancer les mouvements du chariot par rapport au top de l'émission : par exemple un décalage de 0,2 s entraînera un décalage de lecture de $0,2 \times 750$ soit 150 m ; on obtient alors des **échelles décalées** autrement appelées **gammes** de lecture.
- 31 L'enregistreur graphique est d'un maniement délicat mais il permet une analyse de l'écho par le navigateur et la conservation permanente des profondeurs mesurées.

01 3.1.4.6.4. Indicateur vidéo

- 07 Sur un écran cathodique ou à cristaux liquides à balayage horizontal, une présentation de la profondeur analogue à celle de l'enregistreur graphique est obtenue par un défilement uniforme de l'image en fonction du temps, ce qui donne une représentation spatio-temporelle des fonds mesurés.

- 13 Les changements d'échelle sont possibles de façon continue en les adaptant au fond lu (simultanément ont lieu les changements d'intervalle d'émission).
- 19 De nombreux perfectionnements techniques (couleurs fonctions de la puissance du signal reçu, effet de loupe sur un détail, présentation simultanée d'autres informations, etc.) rendent plus aisée la lecture sur certains indicateurs et facilitent en particulier l'analyse des échos. Sur certains appareils les fonds mesurés peuvent même être mis en mémoire sur bande magnétique.
- 25 Très agréable à l'emploi, l'indicateur vidéo de sondeur (figure 3.1.4.6.4.A.) est fréquemment rencontré sur les navires de pêche et de plaisance. Ce type d'indicateur peut être connecté à d'autres équipements de bord électroniques ou même combiné à un récepteur GPS.

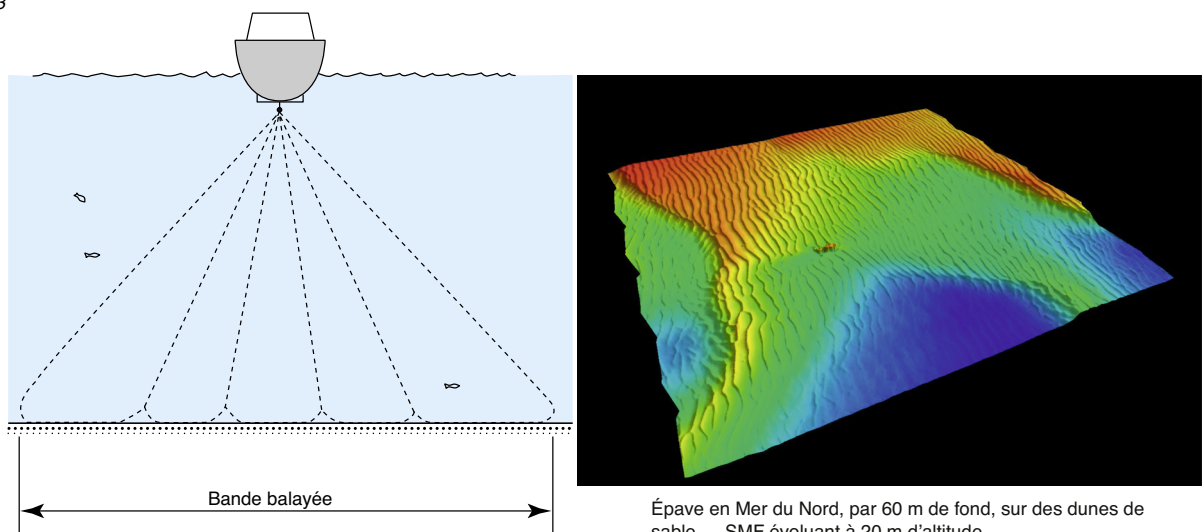
31



3.1.4.6.4.A. — Indicateur vidéo de sondeur.

- 37 Enfin, à l'aide de plusieurs transducteurs fixes ou mobiles judicieusement répartis sous la coque, il est possible d'obtenir la profondeur des points situés à faible distance de part et d'autre de la verticale du navire. C'est le principe du **sondeur multifaisceaux**. L'image du relief sous-marin dans la bande balayée peut être présentée sur un indicateur vidéo adapté. Voir la figure 3.1.4.6.4.B.

43



3.1.4.6.4.B. — Sondeur multifaisceaux et exemple de visualisation.

01 3.1.4.7. Erreurs de mesure des écho-sondeurs

01 3.1.4.7.1. Influence de la célérité du son

- 07 Un écho-sondeur traduit une différence de temps en profondeur en faisant l'hypothèse que la célérité du son dans l'eau est 1 500 m/s, ce qui est vrai à la pression atmosphérique, avec une température de 14 °C et une

salinité de 34 ‰. Or cette célérité peut varier entre 1 450 m/s dans les eaux douces et froides (estuaires nordiques) et 1 550 m/s dans les eaux chaudes et salées. En eau douce et glacée, la profondeur réelle est ainsi inférieure de près de 2 % à la profondeur lue.

- 13 Certains sondeurs permettent d'afficher la célérité, et pour les autres existent des tables de correction.

01 3.1.4.7.2. Erreurs géométriques

- 07 La **correction de séparation** : en raison du déplacement du navire le transducteur n'est pas à la même position à l'émission et à la réception, ce qui entraîne un trajet oblique du faisceau ultra-sonore par petits fonds. Cette correction est négligeable dans la pratique.

- 13 La **correction de pente et de verticalité** s'observe lorsque, sur un navire naviguant le long d'un fond à pente raide, le sondeur peu directif ou mal stabilisé donne un écho sur le fond oblique plus proche que le fond à la verticale du navire. Cette correction n'est normalement pas appliquée.

01 3.1.4.7.3. Étalonnage

- 07 Les sondeurs modernes sont normalement affranchis à la construction des erreurs instrumentales. Le navigateur doit pourtant s'assurer que ces réglages ne varient pas avec le temps et contrôler périodiquement l'étalonnage de son sondeur, c'est-à-dire la différence entre la profondeur réelle et la profondeur lue à l'écho-sondeur.

01 3.1.4.8. Erreurs de lecture et d'interprétation des écho-sondeurs

01 3.1.4.8.1. Double écho

- 07 Il peut arriver qu'un **double écho**, résultant d'un double aller et retour acoustique entre la surface et le fond, apparaisse seul sur l'indicateur compte tenu de l'échelle utilisée, et soit interprété comme écho principal. Cependant un examen attentif de l'indicateur graphique ou vidéo permet, en général, la distinction : le double écho est plus faible et donne à l'enregistrement une pente et une houle apparentes deux fois plus fortes.

- 13 Dans les fonds faibles le double écho est souvent lui-même dédoublé en deux traces parallèles dont l'écart correspond au tirant d'eau du bâtiment (réflexion intermédiaire soit sur la coque, soit sur la surface de la mer). Ce dédoublement ne doit pas être confondu avec celui qui peut affecter l'écho normal lorsqu'on est en présence, par exemple, d'une couche de vase surmontant un fond de roche ; les deux traces ne sont alors en général pas parallèles.

- 19 Il ne faut pas confondre le phénomène de double écho avec l'erreur due au 2^e balayage (§ 3.1.4.5.4.).

01 3.1.4.8.2. Autres faux échos

- 07 D'autres faux échos, d'origines diverses et parfois difficiles à analyser, se superposent aux échos sur le fond ou en rendent la présentation moins claire : bancs de poissons, couches d'eau entre lesquelles la vitesse du son est différente, algues, turbulence due aux courants, isolement électrique défectueux et bruits parasites à bord du navire, etc.

- 13 Enfin, il peut arriver en eau profonde de rencontrer un écho assez net, à quelques dizaines de mètres de nuit et à quelques centaines de mètres de jour, écho qui traduit l'effet de la **couche de diffusion profonde** (en anglais **DSL**, *deep scattering layer*) constituée de plancton.

01 3.1.4.8.3. Correction d'immersion des transducteurs

- 07 Un sondeur est généralement réglé de façon à indiquer la profondeur sous la quille.

- 13 Si le navigateur désire obtenir une lecture directe de la profondeur rapportée à la surface de l'eau, il doit décaler le « zéro » de la valeur du tirant d'eau réel au transducteur.

01 3.1.4.8.4. Correction de marée

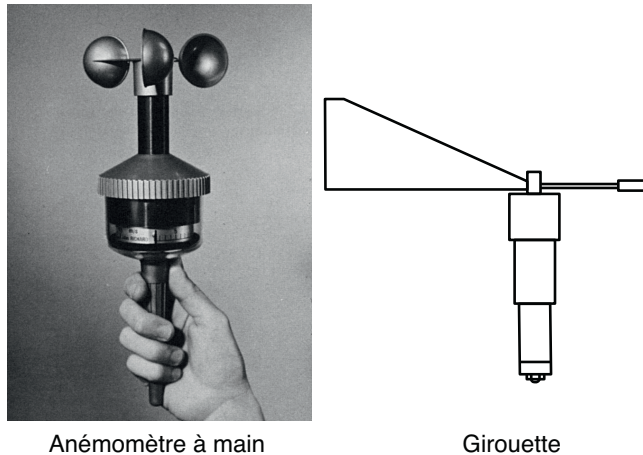
- 07 Si le navigateur veut comparer la profondeur lue au sondeur avec une sonde de la carte, il doit la rapporter au zéro des cartes (§ 7.4.2.) en la corrigeant de la hauteur d'eau due à la marée.

01 3.1.5. Anémomètre – girouette

01 3.1.5.1. Généralités

- 07 La connaissance de la vitesse et de la direction du vent est indispensable sur les navires à voiles et très utile sur les autres.
- 13 L'anémomètre est l'appareil qui mesure la vitesse du vent apparent. La girouette mesure le gisement (angle par rapport à la ligne de foi du navire) d'où vient le vent apparent.
- 19 Ces appareils (figure 3.1.5.1.) peuvent aussi servir aux nouveaux navigateurs à acquérir une expérience chiffrée.

25



Anémomètre à main

Girouette

3.1.5.1. — Anémomètre à main et girouette.

01 3.1.5.2. Anémomètre

- 07 Placé en tête de mât ou bien tenu à la main sur une aire bien dégagée, un moulinet à coupelles hémisphériques à axe vertical entraînées par le vent est solidaire d'un dispositif mesureur de vitesse (dynamo tachymétrique ou cloche à courant de Foucault). L'**anémomètre** indique la vitesse du vent apparent en nœuds ou en mètres par seconde.

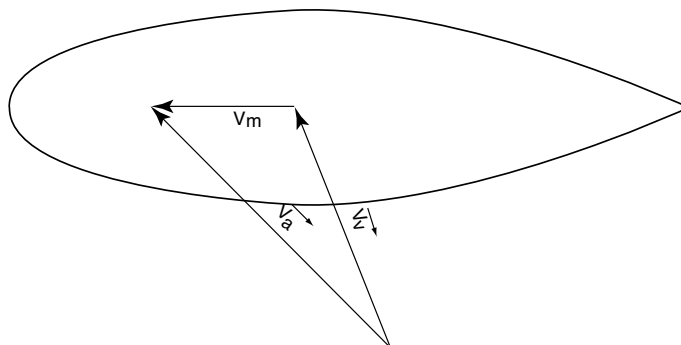
01 3.1.5.3. Girouette

- 07 Simple feuillet rigide à axe vertical s'orientant dans le sens du vent apparent et solidaire d'un potentiomètre qui en transmet le gisement, la **girouette** est souvent associée en tête de mât avec un anémomètre. La direction donnée est celle d'où vient le vent.

01 3.1.5.4. Vent vrai

- 07 Le navigateur transforme les éléments (vitesse et gisement) du vent apparent en éléments (vitesse et direction) du vent vrai par addition du cap au gisement puis par soustraction vectorielle du vent propre dû au mouvement du navire (figure 3.1.5.4.). Ceci peut aussi se faire par un calculateur qui intègre les données du compas et du loch.
- 13 C'est le vent vrai qui est utilisé pour la navigation et transmis dans les messages d'observation météorologique (volume 1).
- 19 Par observation directe de l'état de la mer (échelle de Beaufort § 20.1.), un navigateur expérimenté peut connaître à 5 nœuds près la vitesse du vent vrai, et sa direction au degré près s'il est supérieur à 5 nœuds et si la mer du vent est bien établie.

25



3.1.5.4. — Détermination du vent vrai.

01 3.1.5.5. Centrale de navigation tactique

07 Sur certains bateaux à voiles une **centrale de navigation tactique** intègre les éléments de l'anémomètre, de la girouette et du loch, et en déduit la vitesse de progression réelle du voilier contre le vent ou dans le sens du vent (*velocity made good*, VMG).

01 3.1.6. Pilote automatique

07 Le **pilote automatique** permet de maintenir le navire sur un cap déterminé ou de le faire évoluer pour rejoindre ce cap. L'équipement est toujours aisément débrayable pour une reprise instantanée de la conduite manuelle.

13 Le pilote automatique se compose de :

- un capteur de référence de direction. Cette référence peut provenir d'un compas magnétique, électronique ou gyroscopique, d'une girouette (spécifiquement sur un navire marchant à la voile), d'un récepteur de radionavigation en temps réel (LORAN C, GPS, etc.) ou d'un calculateur de navigation intégrée (§ 3.2.) ;
- un pupitre de commande permettant au navigateur d'afficher la configuration souhaitée pour le pilote automatique, le cap à suivre (ou l'allure par rapport au vent), les réglages de l'asservissement ;
- un calculateur analysant l'écart entre les ordres reçus et leur exécution, et commandant le système d'entraînement de la barre ;
- un capteur d'angle de barre ;
- un système d'entraînement de la barre associé à une unité de puissance électrique ou hydraulique.

19



3.1.6. — Pilotes automatiques.

01 3.1.7. Radar de navigation

07 L'emport de radars est obligatoire pour les navires d'une jauge brute de plus de 300 : au moins un radar dans la bande des 9 GHz pour une jauge brute supérieure à 300, au moins un radar supplémentaire (3 GHz ou 9 GHz) au-dessus de 3 000 tonnes.

13 Les normes OMI les plus récentes de fonctionnement du matériel radar, pour les radars installés depuis le 1^{er} juillet 2008, font l'objet de la résolution MSC.192 (79).

01 3.1.7.1. Principe de fonctionnement

- 07 Le **radar de navigation** permet en tout temps (y compris de nuit ou par mauvaise visibilité) au navigateur de déceler la présence d'un objet sur l'eau et de le localiser par rapport à lui-même en distance et direction. Une exploitation de cette information lui permet de repérer les navires susceptibles d'entrer en collision avec lui et l'aide à sortir de cette situation dangereuse. Une autre exploitation de cette information lui donne des éléments de localisation de son propre navire.
- 13 Un émetteur envoie par l'intermédiaire d'une antenne un faisceau dirigé d'ondes électromagnétiques ultra-courtes. Lorsque ce faisceau rencontre un obstacle, une partie de l'énergie se réfléchit et donne naissance à une onde de retour plus faible captée par l'antenne et amplifiée dans le récepteur. Le temps mis entre le départ de l'impulsion et le retour de l'écho permet de connaître la distance de l'obstacle. La direction de celui-ci est donnée par l'orientation du faisceau (donc de l'antenne).
- 19 Les radars de nouvelle technologie, qui répondent aux normes exigées pour les radars installés depuis le 1^{er} juillet 2008, ont un émetteur à état solide et non plus un émetteur à magnétron ; ces radars utilisent des techniques d'émission et de détection modernes permettant d'améliorer la détection de petits objets, d'optimiser les dispositifs de retour de mer et de pluie et de réduire les effets des lobes secondaires (§ 3.1.7.4.).
- 25 Les radars de nouvelle technologie ont également une meilleure fiabilité que les radar conventionnels.

01 3.1.7.2. Caractéristiques du signal radar

01 3.1.7.2.1. Fréquence d'émission

- 07 La fréquence d'émission du radar de navigation est choisie dans l'une ou les deux bandes suivantes :
- bande X (9,2 – 9,5 GHz), qui correspond aux longueurs d'onde voisines de 3 cm (9 GHz) ;
 - bande S (2,9 – 3,1 GHz), qui correspond aux longueurs d'onde voisines de 10 cm (3 GHz).
- 13 Les radars bande X de 3 cm sont les plus répandus, cette bande permet des appareils légers et de petite taille présentant un bon compromis entre la portée et la finesse de la mesure et offrant un haut pouvoir séparateur. Les radars bande S de 10 cm par contre sont moins vulnérables à l'absorption par l'oxygène et les nuages de l'atmosphère (brouillard notamment) ainsi qu'au retour de pluie et au retour de mer, et permettent des portées plus grandes.
- 19 Les radars de nouvelle technologie en bande S (3 GHz) n'étant pas compatibles avec les balises [Racon](#), l'utilisation d'un radar conventionnel en bande X (9 GHz) est donc nécessaire pour la détection de telles balises.

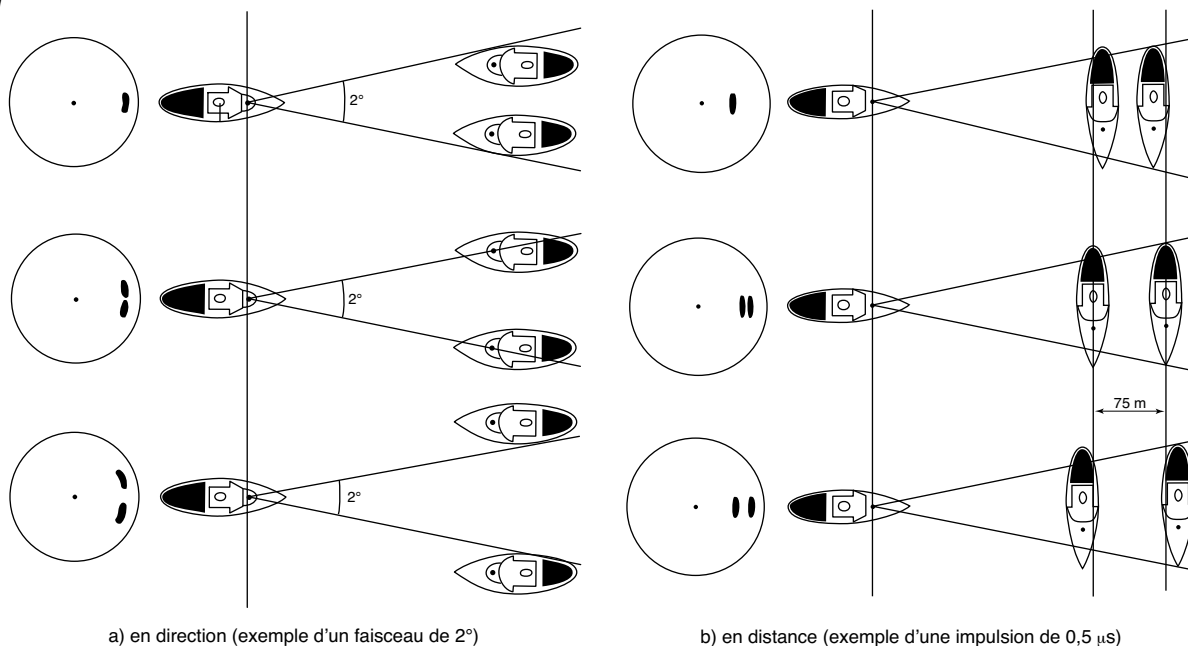
01 3.1.7.2.2. Ouverture du faisceau radar

- 07 L'émetteur transmet l'énergie à une antenne directive qui la concentre dans une direction donnée au moyen d'un réflecteur parabolique ou de fentes dans le cas d'une antenne rectiligne. Les dimensions angulaires du faisceau dépendent des dimensions de l'antenne et de la fréquence d'émission : le faisceau est d'autant plus étroit que la fréquence est plus élevée et la dimension horizontale de l'antenne plus grande. L'ouverture horizontale du faisceau détermine la **résolution en direction du radar**, ou discrimination en azimut : par exemple, avec une ouverture horizontale du faisceau de 2°, deux objets distincts angulairement de moins de 2° ne pourront pas être distingués par le récepteur radar. Voir figure 3.1.7.2.3.
- 13 Dans la pratique, les faisceaux des radars de navigation ont une ouverture horizontale de 1 à 3° et une ouverture verticale de 15 à 30°.

01 3.1.7.2.3. Longueur d'impulsion

- 07 Un radar n'émet pas en permanence, il envoie une impulsion (train d'ondes) pendant une courte durée, impulsion suivie d'une assez longue période de réception des réflexions qui reviennent vers l'antenne. À chaque retour d'énergie, il détecte un écho.
- 13 Pendant la durée de l'émission, ou longueur d'impulsion (en anglais *pulse length*), l'appareil est aveugle. Si par exemple la longueur d'impulsion est 0,5 μ s, le rayon aveugle (avec une célérité des ondes électromagnétiques de 300 000 km/s) est 75 m (soit 150 m aller et retour). De la même façon la distance d'un obstacle réfléchissant successivement tout le train d'ondes ne pourra être connue avec une précision supérieure à 75 m, et deux objets distants radialement de moins de 75 m ne pourront pas être distingués par le récepteur du radar.
- 19 La longueur d'impulsion détermine donc la précision de la mesure en distance et la discrimination théorique ou **résolution en distance du radar** (la résolution en distance pourra par ailleurs être amoindrie si l'échelle de l'indicateur radar n'est pas suffisante). Voir figure 3.1.7.2.3.
- 25 Habituellement l'appareil sélectionne lui-même la longueur d'impulsion selon la portée recherchée, des valeurs couramment observées étant une impulsion courte de 0,05 μ s pour une échelle de 0,125 mille marin (M) et une impulsion longue de 1 μ s pour une échelle égale ou supérieure à 50 M.

31



3.1.7.2.3. — Résolution en direction et distance.

01 3.1.7.2.4. Autres paramètres

- 07 L'**intervalle** entre les impulsions est assez long pour que chacune d'elles ait le temps d'aller à l'obstacle le plus éloigné et d'en revenir sans risque de mélange avec l'impulsion suivante. La cadence d'émission ou **fréquence de répétition** (en anglais *pulse repetition rate* ou *pulse repetition frequency*, PRF) est, inversement, le nombre d'impulsions par seconde, elle est ajustée selon la portée recherchée à des valeurs allant couramment de 500 à 3 200 Hz.
- 13 La **vitesse de rotation de l'antenne** donnée en nombre de tours par minute est réglée en corrélation avec la fréquence de répétition et l'ouverture horizontale pour que chaque obstacle reçoive un nombre d'impulsions suffisant (12 à 15 en moyenne par seconde) mais aussi pour que le navigateur ait sur chacun une cadence d'information suffisante.
- 19 La **puissance de crête** (ordre de grandeur 7 à 40 kW nominal) à l'émission détermine, avec la longueur d'impulsion, l'énergie émise, qui est un des éléments de la portée maximum (§ 3.1.7.3.1.).
- 25 La **sensibilité** de la chaîne de réception et le gain de l'antenne sont également des éléments pouvant influencer la portée. Comme dans tout récepteur, l'écho ne sera détectable que si l'intensité du signal qu'il produit est supérieur au « bruit de fond » dû aux échos parasites (ordre de grandeur du rapport signal sur bruit minimal 6 à 10 dB).

01 3.1.7.3. Performances des radars de navigation

01 3.1.7.3.1. Portée maximale

- 07 Cette portée est avant tout conditionnée par la hauteur de l'antenne du radar, par la hauteur du but, par les conditions de propagation et par les capacités réfléchissantes du but, à condition que les caractéristiques de la chaîne émission-réception (§ 3.1.7.2.) soient suffisantes.
- 13 a) **Portée géographique radar**
- 19 Les ondes radar se propagent, en principe, dans des conditions analogues à celles des ondes lumineuses. Leur portée maximale, pour une puissance suffisante, est un peu supérieure à la portée géographique moyenne. L'expression approchée de la portée géographique radar D peut être calculée, en milles marins (M), par la formule :
- 25 $D (M) = 2,2 (\sqrt{h} + \sqrt{H})$,
- 31 h et H étant les hauteurs exprimées en mètres de l'antenne radar et du but au-dessus du niveau de l'eau.

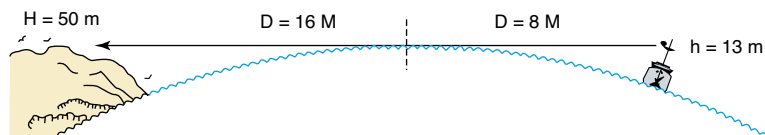
- 37 Le tableau 3.1.7.3.1.A. est une application de la formule pour diverses hauteurs. On obtient la **portée géographique radar** approchée en ajoutant à la distance déterminée par la hauteur de l'antenne la distance déterminée par la hauteur du but (figure 3.1.7.3.1.B.).

43

Hauteur en mètres (m)	Distance en milles (M)	Hauteur en mètres (m)	Distance en milles (M)
6	5	73	19
7	6	80	20
10	7	97	22
13	8	115	24
16	9	137	26
20	10	158	28
24	11	183	30
30	12	207	32
34	13	234	34
40	14	262	36
45	15	292	38
50	16	329	40
57	17	402	45
66	18	506	50

3.1.7.3.1.A. — Portée géographique radar.

49



3.1.7.3.1.B. — Portée géographique radar.

- 55 Dans la plupart des cas, les ondes utilisées peuvent profiter de la réfraction des couches basses de l'atmosphère et surpasser ainsi d'environ 15 % la portée géographique théorique. Dans certaines circonstances exceptionnelles, en particulier par temps calme si une couche d'air chaud et sec (baptisé en anglais *duct*) est située entre deux couches d'air plus froid, des phénomènes analogues au mirage peuvent augmenter cette portée dans de très grandes proportions, mais il sera alors difficile d'identifier les vrais échos des échos parasites de deuxième balayage ainsi obtenus (§ 3.1.7.4.3.).

61 b) Portées pratiques observées

- 67 Pour un radar de navigation dont l'antenne est située à 15 m au-dessus de l'eau, on observe en moyenne les portées maximales de détection radar suivantes :
- navires en bois de petite taille : 1 à 2 M ; bouées de 4 à 5 mètres, petits navires de pêche : 2 à 3 M ; chalutiers de pêche et remorqueurs : 4 à 6 M ; petits navires de longueur 10 mètres : 4 à 5 M ; navires de jauge brute de 1 000 : 6 à 10 M ; navires de jauge brute de 10 000 : 10 à 16 M ; navires de jauge brute de 50 000 : 16 à 20 M ;
 - pointes rocheuses et basses d'élévation moyenne 10 m : 5 M ; falaises élevées d'altitude moyenne 60 m : 20 M ; sommets : portée géographique.

01 3.1.7.3.2. Distance minimale de détection radar

- 07 La longueur d'impulsion détermine une zone aveugle autour de l'antenne (§ 3.1.7.2.3.). Par ailleurs, si cette antenne est située en hauteur et envoie un faisceau à ouverture verticale limitée, celui-ci n'atteindra la surface de l'eau qu'à une certaine distance du navire, ce qui est une autre raison de l'existence d'une zone aveugle autour du navire. Sur les radars courants, si l'on adopte une impulsion courte, on observe une zone aveugle circulaire avec un rayon de l'ordre de 50 mètres.
- 13 Lorsque la mer est agitée, le rayon où on ne peut détecter un but peut être accru jusqu'à 5 M par la saturation du récepteur provoqué par le retour de mer (§ 3.1.7.4.1.).

01 3.1.7.3.3. Précision des informations radar obtenues

- 07 a) **Lecture des distances.** La longueur d'impulsion détermine la précision théorique de la mesure de distance (§ 3.1.7.2.3.). Il faut corriger cette valeur théorique des imprécisions dues à la lecture par l'opérateur ou par le dispositif de poursuite en distance du but s'il existe. En particulier l'usage de cercles de calibration avec interpolation approchée, ou de marqueur variable de distance (en anglais *VRM*, *variable range marker*) qu'il convient d'étalonner fréquemment, exigent une certaine habileté de l'opérateur et on peut espérer dans les meilleures conditions une précision de l'ordre de 1 à 2 % de la distance.

- 13 **b) Lecture des relèvements.** La lecture des relèvements au radar est toujours très approchée. Aux imprécisions sur la direction de la détection causées par l'ouverture horizontale du faisceau (§ 3.1.7.2.2.) il faut ajouter les défauts d'alignement des différents organes du radar, l'erreur sur le cap compas, et l'imprécision de la lecture faite par l'opérateur ou par le dispositif de poursuite du but s'il existe. De plus l'image qui est présentée par l'indicateur radar est déformée par l'étirement des échos dans le sens circulaire surtout s'ils sont larges (§ 9.4.1.), et le navigateur peut se tromper grossièrement en croyant les identifier. Ainsi il n'est pas rare de trouver des erreurs de 3° sur la lecture des relèvements d'objets même correctement identifiés.
- 19 **En conclusion le radar de navigation est un instrument précis de lecture des distances. En revanche, sa précision en azimuth n'est pas suffisante pour une navigation précise. Par ailleurs, à l'imprécision du cap, il faut aussi ajouter la variation du gyrocompas sur lequel le radar est calé.**

01 3.1.7.4. Échos parasites

01 3.1.7.4.1. Échos de retour de mer

- 07 Ce sont des échos produits par la réflexion des ondes radar sur la crête des vagues. La zone affectée par ce phénomène peut s'étendre jusqu'à 5 M autour du navire si la mer est forte et présente sur l'indicateur une tache lumineuse granulée de forme ovale plus marquée au vent. Cette tache risque de masquer des échos proches intéressants.
- 13 Il est possible de réduire cette saturation de l'indicateur pour y discerner les échos importants en réduisant manuellement le gain vidéo. Sur certains radars le dispositif Renforcement (en anglais *enhance* ou *power boost*) renforce les échos d'une certaine taille pour les faire ressortir par rapport aux échos de retour de mer et au bruit de fond.
- 19 Mais il est préférable si l'appareil en est muni de mettre en service le dispositif Suppression d'Écho Proche (SEP) ou Anti Retour de Mer (en anglais *Anti Clutter Sea*, ou *STC Sensitivity Time Control*) qui ne réduit le gain que pour les objets rapprochés. Le dispositif Anti Pluie (en anglais *Anti Clutter Rain*, ou *FTC Fast Time Constant*), qui en réduisant la taille des échos prolongés et étalés permet de distinguer les échos plus faibles qui leur étaient confondus, le dispositif IAGC (*Instantaneous Automatic Gain Control*), qui effectue une différenciation du signal à la réception, ou le Gain automatique, qui sur certains radars agit simultanément et automatiquement sur les dispositifs Anti Pluie et Suppression d'Écho Proche, peuvent aussi aider à détecter des échos dans la zone saturée du retour de mer.
- 25 Tous ces dispositifs ont tendance à faire disparaître les échos faibles, il faut donc s'en méfier et, en cas de mauvaise visibilité, il sera prudent d'effectuer fréquemment des tours d'horizon avec un gain plus élevé afin de s'assurer qu'on ne manque pas certains échos. Il convient également de pas oublier de stopper ces dispositifs dès qu'ils ne sont plus nécessaires, car ils limitent les performances du radar.

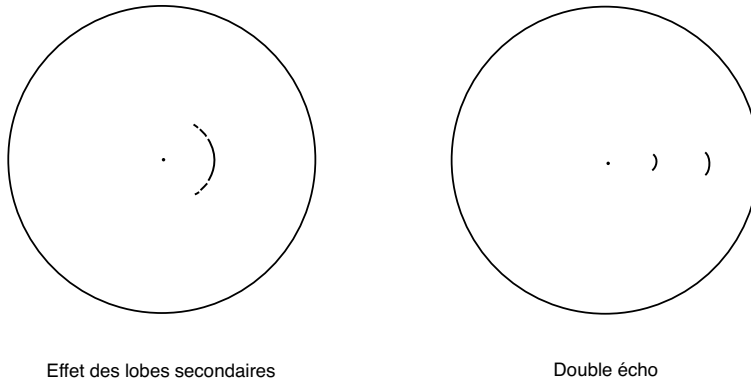
01 3.1.7.4.2. Effets météorologiques

- 07 Certains phénomènes météorologiques peuvent produire deux effets perturbateurs sensibles surtout sur les radars de 3 cm : absorption et atténuation du pouvoir de détection d'une part, échos parasites d'autre part.
- 13 **a) Précipitations.** La pluie épaisse, la grêle, et, à moindre titre, la neige, peuvent produire des échos parasites massifs, analogues à des échos de terre, mais, dans la plupart des cas, il y a surtout réduction de la portée par absorption de l'énergie. Elle peut être en partie corrigée par augmentation du gain vidéo ou mise en service du dispositif IAGC, ou Anti Pluie.
- 19 **b) Nuages.** Les nuages, chargés de gouttelettes d'eau, provoquent, à un moindre degré, une zone étendue de forme irrégulière et floconneuse d'échos parasites, masquant souvent les échos de terre. Les stratus ne donnent que de faibles perturbations. D'une façon générale les échos de nuage se reconnaissent à leur instabilité et à leur déplacement qui est celui du vent en altitude. Le voile qu'ils établissent peut être percé par augmentation du gain vidéo. Les fronts froids et les lignes de grains procurent souvent des échos alignés de forme caractéristique.

01 3.1.7.4.3. Anomalies de propagation

- 07 **a) Effet des lobes secondaires.** L'antenne du radar n'étant pas parfaitement directive, une faible fraction de l'énergie peut être émise en dehors de la direction privilégiée de rayonnement, dans des lobes de rayonnement dits lobes secondaires (figure 3.1.7.4.3.).
- 13 À courte distance, ces émissions obliques donneront sur des buts rapprochés des échos parasites qui sembleront s'aligner avec l'écho principal sur un arc de cercle d'ouverture de 50 à 120°. Les relèvements obtenus sur ces échos seront donc erronés. Il est possible des les atténuer en diminuant le gain vidéo ou en manœuvrant le dispositif Suppression d'Écho Proche, si le radar en est équipé.

19



Effet des lobes secondaires

Double écho

3.1.7.4.3. — Anomalies de propagation.

- 25 **b) Double écho.** Lorsque l'obstacle est important et rapproché, il arrive que l'énergie qu'il réfléchit et qui donne naissance à l'écho soit encore très importante. En même temps que l'écho apparaît, cette énergie se réfléchit à nouveau sur la coque du navire et repart vers le but, dont elle donne un deuxième écho (figure 3.1.7.4.3.). Ce phénomène de double écho se produit assez couramment lorsque deux navires sont à faible distance en route parallèle (ou inverse) et que leur inclinaison réciproque est voisine de 90°.
- 31 **c) Échos de deuxième balayage.** Avec des radars à fréquence de répétition très élevée, dans des cas de propagation exceptionnelle (§ 3.1.7.3.1.), certains échos peuvent revenir de très loin et aborder le récepteur, lorsque l'intervalle de répétition s'est écoulé et qu'une nouvelle impulsion a été émise. L'image qui apparaît alors sera la plupart du temps distordue et inexploitable.

01 3.1.7.4.4. Faux échos

- 07 Certains parasites peuvent apparaître sur les écrans des radars soit par suite de dérèglement interne, soit par interférence avec des émissions de radars opérant sur des fréquences très voisines. L'aspect le plus courant de ces interférences consiste en spirales de points brillants, généralement peu gênantes pour l'observation. Certains radars sont équipés d'un circuit de rejet de ces interférences.

01 3.1.7.5. Indicateur radar

01 3.1.7.5.1. Présentation

- 07 Les indications élaborées par le radar de navigation sont présentées sur un écran cathodique circulaire, ou sur un écran de télévision rectangulaire (indicateur rasterscan) qui a l'avantage d'être utilisable à la pleine lumière.
- 13 Les informations sont fournies sous une visualisation panoramique polaire : le faisceau radar est matérialisé par une ligne lumineuse qui pivote autour de l'image du navire porteur du radar, et les échos apparaissent comme des points surbrillants éventuellement colorés.
- 19 En fonction de l'usage qu'il fait du radar (anticollision, navigation côtière, atterrissage) l'opérateur choisit l'échelle de lecture correspondant à la distance maximale qu'il souhaite voir présentée sur l'écran, 0,5 M, 3 M, 6 M, 12 M, 24 M et plus, tout en conservant une image suffisamment claire.



3.1.7.5.1. — Écran d'indicateur radar.

01 3.1.7.5.2. Lecture de la distance

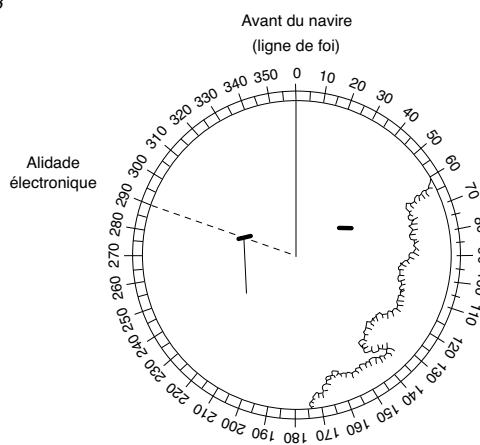
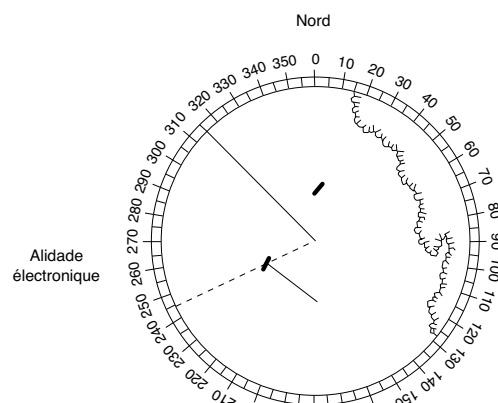
07 L'image d'un écho est présentée à une distance de l'image du navire porteur du radar proportionnelle à la distance mesurée par le radar. La distance peut être évaluée par le décompte du nombre de cercles de calibration, cercles concentriques autour du navire porteur à des distances étalonnées. On interpolera pour un écho situé entre deux cercles.

13 L'indicateur peut également posséder un dispositif de télémétrie : l'opérateur amène sur l'écho un repère électronique ou un cercle lumineux de télémétrie (VRM, *variable range marker*) et la distance est affichée dans un coin de l'indicateur ou sur un cadran annexe.

01 3.1.7.5.3. Lecture de l'azimut ou du gisement

07 L'opérateur amène sur l'écho un repère électronique ou une alidade souvent électronique (en anglais [EBL](#) *electronic bearing line*) pivotant autour de l'image du navire porteur (figure 3.1.7.5.3.).

13

a) indicateur non asservi au compas :
lecture du gisement.b) indicateur stabilisé en azimut :
lecture de l'azimut.

3.1.7.5.3. — Lecture du gisement ou de l'azimut.

19 Si l'indicateur radar n'est pas asservi au compas, le haut de l'écran, origine des graduations en direction, représente la ligne de foi du navire porteur du radar, et l'angle entre l'alidade et la ligne de foi (ou l'indication affichée dans un coin de l'indicateur ou sur un écran annexe) est le **gisement de l'écho**.

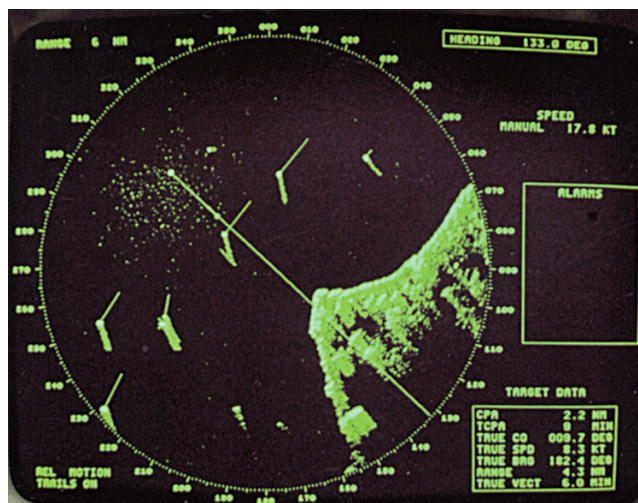
25 Si l'indicateur est par contre stabilisé en azimut, il présente une image qui a le Nord en haut, et l'indication de l'alidade est l'azimut de l'écho. Cette image a le gros avantage de demeurer stable quel que soit le cap du navire porteur.

01 **3.1.7.5.4. Présentation des mouvements**07 **a) Écran en mouvement relatif (figure 3.1.7.5.4.A.).**

13 Dans ce mode de fonctionnement dont tous les indicateurs radar sont capables, l'image du navire porteur reste fixe sur l'écran. Les échos d'objets fixes apparaissent donc animés d'un mouvement inverse, en vitesse et direction, de celui du navire porteur. Et l'image des mobiles voisins se déplace selon la composante de leur mouvement propre et du mouvement inverse du navire porteur : on observe donc le déplacement des mobiles relativement au navire porteur. Ce mode de fonctionnement est particulièrement indiqué en veille surface anti-collision (§ 3.1.7.6.). Ce mode de fonctionnement est également adapté au suivi de la navigation sur repères parallèles.

19 L'image du navire porteur est le plus fréquemment située au centre de l'écran. Mais sur certains indicateurs on peut la déplacer pour mieux présenter une partie de l'écran (habituellement la zone située sur l'avant). Dans ce cas la rose ne doit pas être utilisée pour lire les directions.

25



3.1.7.5.4.A. — Écran en mouvement relatif (navire porteur excentré).

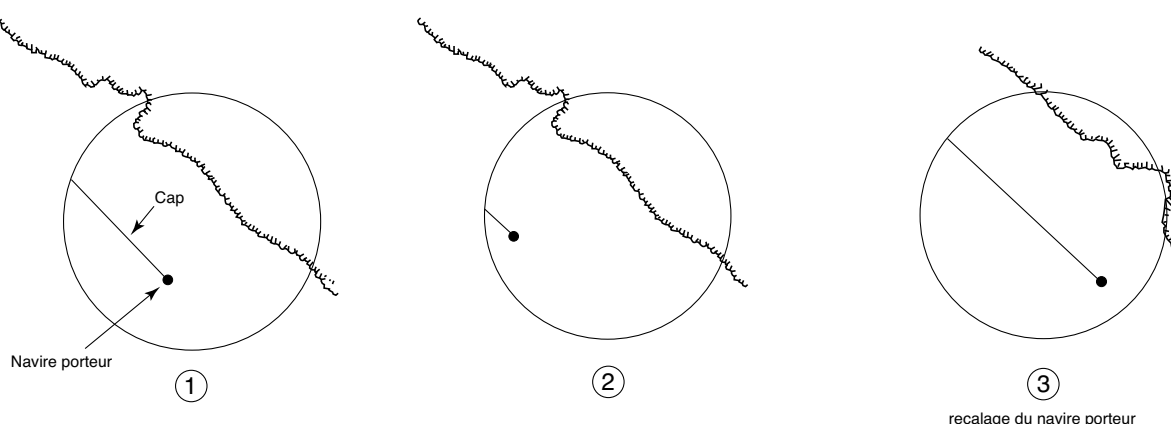
31 **b) Écran en mouvement vrai (figure 3.1.7.5.4.B.).**

37 Dans ce mode de fonctionnement, des microprocesseurs reçoivent du compas et du loch les éléments route et vitesse du navire porteur et élaborent une image radar en mouvement vrai.

43 Les traces du navire porteur et des autres navires voisins se déplacent sur l'écran selon leur route vraie et leur vitesse vraie (compte non-tenu de la dérive vent et courant, encore que certains appareils peuvent poursuivre un amer radar fixe et ponctuel et en déduire cette dérive). Les échos d'objets fixes apparaissent fixes sur l'indicateur.

49 Avant que la trace du navire porteur ne sorte de l'écran, un dispositif permet de la recaler automatiquement.

55



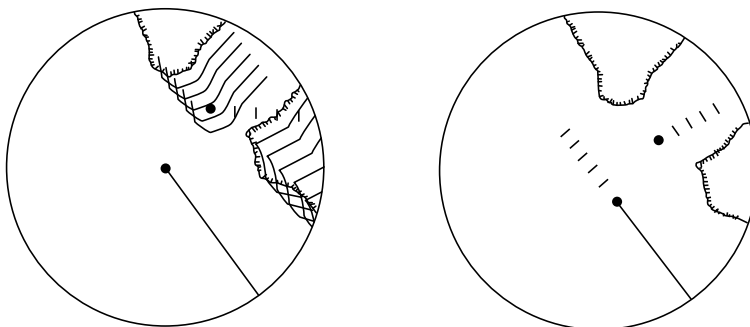
3.1.7.5.4.B. — Écran en mouvement vrai.

01 **3.1.7.6. Exploitation du radar en anticollision**07 **Un radar n'empêche pas la collision mais il prévient le navigateur en cas de situation risquant de devenir dangereuse.**13 La plupart des indicateurs radar installés avant le 1^{er} juillet 2008 sont équipés de la fonction **ARPA** (§ 3.1.7.6.5.) qui assure de façon automatique ou semi automatique suivant le mode choisi, le suivi des pistes, le calcul de leurs éléments de cinématique et de leur point de passage le plus proche.19 Les radars installés depuis le 1^{er} juillet 2008 sont équipés de la fonction poursuite des cibles (*Target Tracking, TT*) qui ne nécessite plus d'être équipé d'un **ARPA**. Outre les fonctionnalités de l'**ARPA** qu'elle reprend, la fonction **TT** prend en compte les informations provenant de l'**AIS**.25 Même si le radar et l'**ARPA** (ou le **TT**) donnent au navigateur des informations précieuses sur les navires voisins et mettent en évidence ceux qui présentent des risques d'abordage avec son propre navire, le navigateur devra toujours surveiller au compas le relèvement de tout navire aperçu à la vue pour vérifier s'il y a ou non risque de collision selon que le relèvement reste constant ou varie. Se reporter au sous-chapitre 12.5.01 **3.1.7.6.1. Poursuite des échos de navires (en anglais *plotting*)**07 Si les positions successives des échos sont pointées sur l'écran, au crayon gras sur une glace anti-parallaxe ou par des marqueurs électroniques, on obtient l'historique de la piste ou traînée (en anglais *trail*).

13

Écran en mouvement relatif

Écran en mouvement vrai



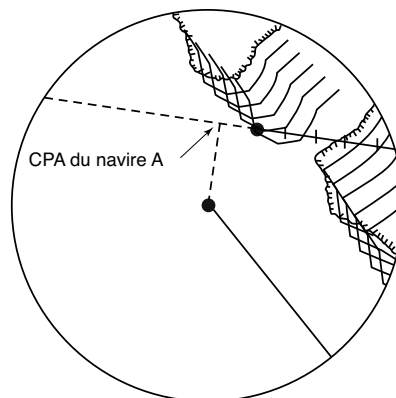
3.1.7.6.1. — Poursuite d'un écho de navire.

01 **3.1.7.6.2. CPA d'un navire**07 L'indicateur en mouvement relatif permet d'apprécier en quelques minutes la distance minimale **CPA** (*closest point of approach*) [figure 3.1.7.6.2.] à laquelle un navire rencontré passera du navire porteur du radar : il faut pour cela, en faisant l'hypothèse que les navires ne changeront ni de route ni de vitesse, extrapoler les positions successives de la piste. L'extrapolation permet de connaître le point de passage à la distance minimale, et l'heure de passage à ce point (**TCPA**, *time of closest point of approach*).13 **Si l'extrapolation de la traînée de l'écho en mouvement relatif passe par l'image du navire porteur, le CPA est nul et le navire rencontré est en route de collision.**

19 Des changements de route et de vitesse du navire rencontré et/ou du navire porteur rendent sans valeur l'extrapolation faite. Il y a donc lieu, après chaque changement de route ou de vitesse, de recommencer la détermination du CPA des navires rencontrés.

25 Pour les indicateurs avec **ARPA** : voir le sous-sous-paragraphe 3.1.7.6.5.

31

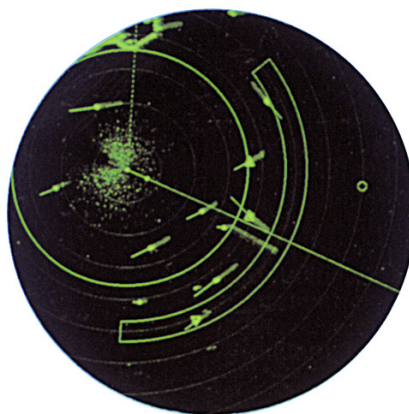
Écran et traînée de l'écho
en mouvement relatif

3.1.7.6.2. — CPA d'un navire.

01 3.1.7.6.3. Zone de garde radar

- 07 Sur certains appareils l'opérateur peut définir des zones sur l'avant ou sur l'arrière de son navire. Tout écho pénétrant dans une telle zone de garde radar déclenche une alarme. Ce dispositif est précieux pour la sécurité des navires naviguant avec un équipage réduit, en particulier dans des eaux peu fréquentées où l'attention pourrait se relâcher.

13

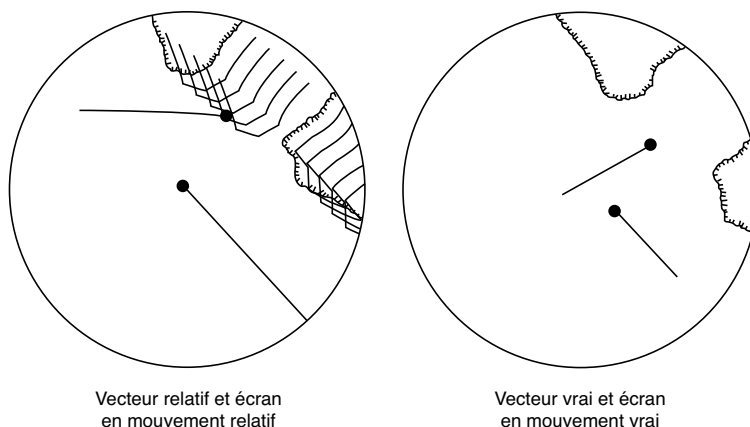


3.1.7.6.3. — Zone de garde.

01 3.1.7.6.4. Détermination de la route et de la vitesse d'un navire

- 07 Les indicateurs radar sont équipés d'un microprocesseur donnant, par extrapolation des positions passées, le vecteur du navire rencontré (supposé à route et vitesse constante). Ce vecteur peut être un vecteur vrai ou un vecteur relatif par rapport au navire porteur (et ce, indépendamment du mode de fonctionnement, mouvement relatif ou vrai, de l'écran) [figure 3.1.7.6.4.]. Le vecteur vrai est d'autant plus exact que le navire observé est depuis plus longtemps en route et vitesse stable. Le vecteur vrai offre l'avantage d'être indépendant des évolutions du navire porteur du radar et donc de détecter (quoique avec un certain retard) les manœuvres du navire rencontré.

13



3.1.7.6.4. — Vecteur futur d'un navire.

01 3.1.7.6.5. Poursuite des cibles (TT) ou aide de pointage radar automatique (ARPA)

05 La fonction **poursuite des cibles radar (TT pour Target Tracking)** qui équipe les radars installés depuis le 1^{er} juillet 2008, remplace l'ARPA. Les fonctionnalités du TT et de l'ARPA sont quasiment identiques, la principale différence étant que le TT doit prendre en compte les informations provenant de l'AIS.

09 a) Rôle de l'ARPA

13 L'aide de pointage radar automatique (ARPA *automatic radar plotting aid*) est un équipement qui est associé à l'indicateur radar pour assurer la poursuite automatique des échos qui lui sont désignés, attirer l'attention sur les navires dangereux (selon les critères que le navigateur lui a préalablement fixés), déterminer le CPA et l'heure du CPA des navires rencontrés, aider le navigateur dans le choix d'une manœuvre pour éviter la collision.

17 Cet équipement est particulièrement précieux dans les zones à fort trafic ou lorsque le navigateur est sollicité par de nombreux autres sujets de préoccupation.

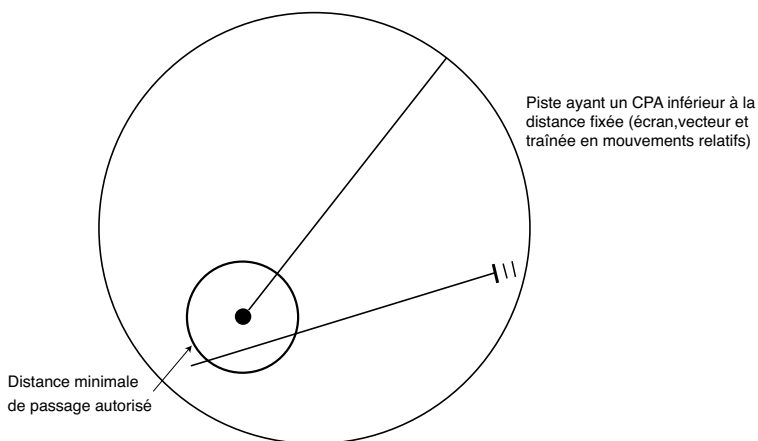
21 b) Désignation des échos à poursuivre

25 L'opérateur peut désigner à l'ARPA en pointant un repère électronique les échos qu'il désire voir poursuivre et sur lesquels il recherche des informations.

29 L'opérateur peut aussi ordonner à l'ARPA que tout navire pénétrant dans une des zones de garde qu'il a établies (§ 3.1.7.6.3.) soit automatiquement pris en poursuite en même temps qu'est déclenchée l'alarme.

33 Pour la plupart des systèmes **ARPA**, l'opérateur peut également fixer une distance minimale de passage autorisée et un temps de réaction (figure 3.1.7.6.5.A.). Tout navire que sa route fait passer à un **CPA** inférieur à la distance fixée dans un délai inférieur au temps fixé est automatiquement indiqué par l'**ARPA** qui déclenche une alarme et entoure l'écho sur l'écran d'un symbole particulier.

37



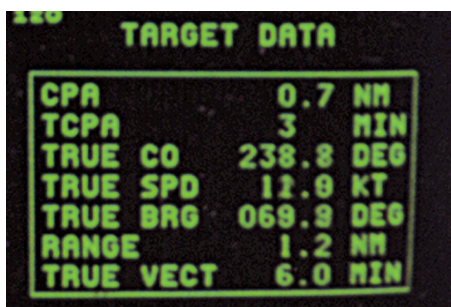
3.1.7.6.5.A. — Désignation d'une piste par l'ARPA.

41 c) Présentation des informations par l'ARPA

45 Selon les fabricants, il existe plusieurs formes de présentation possibles des informations élaborées par l'ARPA. Les formes les plus courantes, qui ne sont pas exclusives les unes des autres, sont les suivantes :

- **affichage des données numériques** sur un tableau dans un coin de l'indicateur ou sur un cadran annexe (figure 3.1.7.6.5.B.) ;

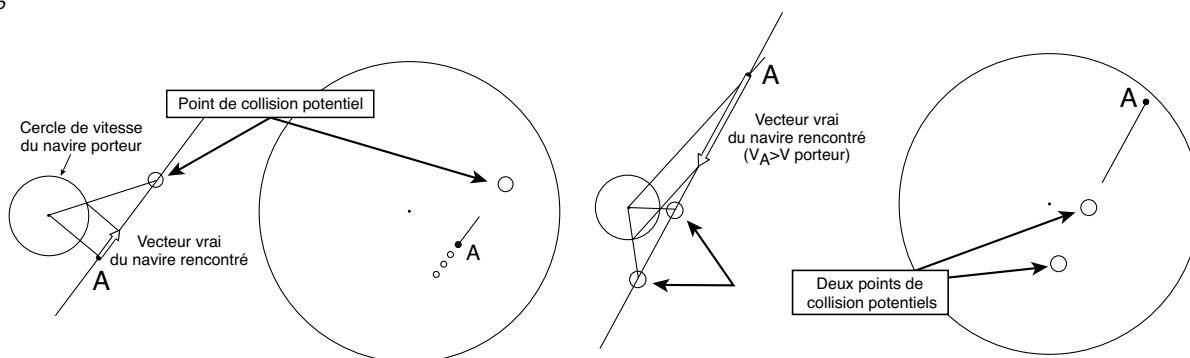
49



3.1.7.6.5.B. — Affichage des données cinématiques d'un écho sur un ARPA.

- 53 – **présentation du vecteur relatif** du navire et éventuellement de sa traînée relative. Le CPA s'évalue à l'œil, en prolongeant éventuellement par la pensée le vecteur futur relatif ;
- 57 – **présentation des points de collision potentiels** (figure 3.1.7.6.5.C.). En supposant stables d'une part la route et la vitesse du navire rencontré, d'autre part la vitesse (et elle seule) du navire porteur du radar, il y aurait risque de collision si le navire porteur faisait une route telle que le relèvement navire porteur-navire rencontré reste constant. Sa route rencontrerait alors celle de l'autre navire au point de collision potentiel (en anglais potential collision point). Il suffit au navigateur de ne pas faire route vers le point de collision potentiel que lui indique l'ARPA pour éviter tout danger à cet égard.
- 61 On peut noter que si la vitesse du navire rencontré est supérieure à celle du navire porteur, la construction géométrique a deux solutions : effectivement dans ce cas l'ARPA donne deux points de collision potentiels.

65



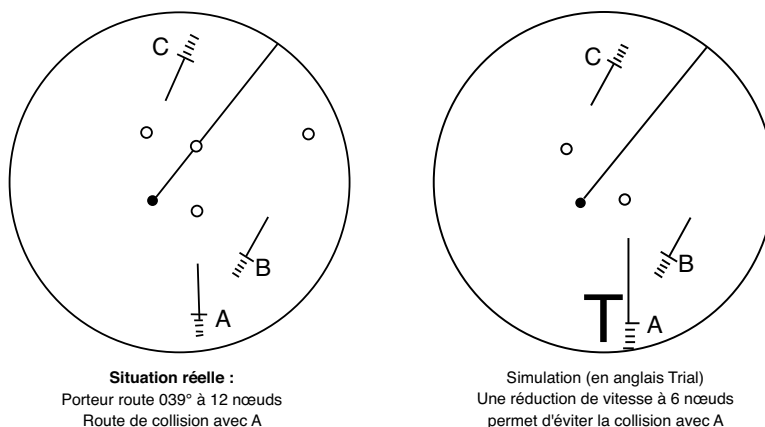
Traduction graphique sur l'indicateur (vecteurs vrais)

3.1.7.6.5.C. — Point (s) de collision potentiel (s) d'un navire.

69 d) Aide au choix de la manœuvre

- 73 Si le navigateur découvre qu'il fait route sur un point de collision potentiel, il a le choix pour éviter la collision soit de varier sa vitesse, soit de changer sa route (en accord bien entendu avec le règlement pour prévenir les abordages en mer, voir volume 3). Il doit avoir à l'esprit que cette manœuvre peut avoir des conséquences néfastes sur les CPA des autres navires voisins.
- 77 Certains ARPA aident le navigateur à faire son choix en lui présentant une simulation des manœuvres envisagées et de leurs conséquences (figure 3.1.7.6.5.D.). Ce perfectionnement est commode mais le navigateur prendra bien garde de ne pas laisser l'indicateur radar sur cette position Simulation (en anglais T, *trial*) qui ne correspond pas à une cinématique réelle.

81



3.1.7.6.5.D. — Simulation par ARPA.

85 e) Autres possibilités de l'ARPA

89 Certains ARPA peuvent fournir d'autres informations non liées à la fonction anticollision, comme la présentation de routes géographiques ou d'amers radar préalablement entrés, permettant le recalage de l'écran en mouvement vrai et l'apparentant ainsi à un lecteur/traceur de cartes (§ 3.1.10.2.).

01 3.1.8. Système d'identification automatique (AIS)

01 3.1.8.1. Généralités

07 L'**AIS (système d'identification automatique)** est un système de diffusion autonome et continue fonctionnant dans la bande **VHF**. Il permet l'échange automatique d'informations (figure 3.1.8.1.) entre navires et entre les navires et la terre pour renforcer la sécurité de la navigation (aide à la prévention des abordages, aide à la navigation) et l'efficacité de la gestion du trafic maritime.

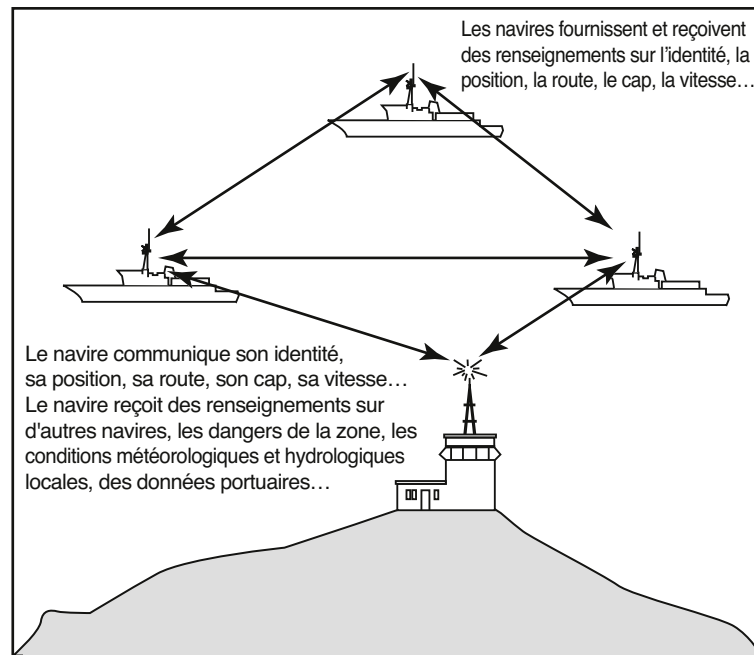
13 Tous les navires d'une jauge brute égale ou supérieure à 300 qui effectuent des voyages internationaux, les navires de charge d'une jauge brute égale ou supérieure à 500 qui n'effectuent pas de voyages internationaux et les navires à passagers doivent, quelles que soient leurs dimensions, être pourvus d'un système d'identification automatique (AIS) de classe A, en tant que système de navigation de bord (règle V/19 du chapitre V de la convention SOLAS). Des équipements de bord AIS de classe B ont été mis sur le marché pour les navires non SOLAS.

19 Sauf cas particuliers strictement limités (par exemple sur demande d'une autorité maritime ou sur décision du capitaine compte tenu des risques), les navires soumis par SOLAS à l'obligation d'emport de l'AIS doivent émettre en permanence et s'assurer que les données entrées manuellement (§ 3.1.8.2.1.) sont à jour et exactes.

25 En matière d'anticollision, l'AIS n'est qu'une aide à la prise de décisions pour éviter un abordage. Bien qu'il fournisse des informations précieuses sur le navire cible (identité, changement de route instantanée et position précise), il ne donne qu'une image incomplète du trafic maritime au voisinage du navire porteur, et il ne peut remplacer des systèmes comme le système de poursuite des cibles radar (TT ou ARPA, § 3.1.7.6.5.). L'AIS et le radar (ou l'ARPA) sont complémentaires et doivent être utilisés conjointement.

31 Au fur et à mesure de l'installation de l'**AIS** à bord des navires et de stations à terre, ce système est de plus en plus utilisé pour les **STM**, les systèmes obligatoires de comptes rendus de navires et les opérations **SAR**.

37 En raison de ses limitations (§ 3.1.8.5.), l'**AIS est à utiliser avec prudence**.



3.1.8.1. — Vue d'ensemble du système AIS.

01 3.1.8.2. Principe de fonctionnement et renseignements AIS

01 3.1.8.2.1. Principe de fonctionnement

07 L'AIS d'un navire :

- transmet en permanence des données concernant le navire porteur à d'autres navires et aux stations STM ;
- reçoit en permanence des données d'autres navires et de stations STM ;
- affiche ces données.

13 L'AIS fonctionne essentiellement sur deux voies VHF spécialisées, AIS 1 (161,975 MHz) et AIS 2 (162,025 MHz), et a donc une portée moyenne de 20 à 30 M.

19 Le mode de diffusion repose sur le principe de l'accès multiple à répartition auto-organisée dans le temps (AMAT) qui permet au système d'écouler près de 100 % des renseignements échangés par des navires se trouvant à moins de 8 à 10 M de distance les uns des autres, et de rejeter si besoin les cibles éloignées, au profit des cibles proches. La capacité du système est donc très importante et permet d'accepter en même temps les émissions d'un grand nombre de navires, ou d'effectuer un filtrage pour n'en exploiter que les plus proches.

01 3.1.8.2.2. Données AIS des navires

07 Un navire transmet en permanence et automatiquement sans intervention du bord, trois types de renseignements AIS différents :

- des renseignements fixes ou statiques qui sont entrés dans l'AIS lors de son installation (à modifier en cas de changement de nom ou de changement de type de navire) ;
- des renseignements dynamiques (position, heure, route et vitesse fond, cap, conditions de navigation, taux de giration) qui sont mis à jour automatiquement par les capteurs du navire auxquels l'AIS est raccordé (les conditions de navigation sont cependant entrées manuellement) ;
- des renseignements concernant le voyage qui sont rentrés et mis à jour manuellement au cours du voyage.

13 Les données sont transmises de manière autonome et mises à jour à une cadence variable. Pour les informations dynamiques, la cadence dépend de la vitesse et du changement de cap, par exemple 3 min pour un navire au mouillage, de 12 s à 2 s pour un navire en route. Les données statiques et celles qui concernent le voyage sont transmises et mises à jour toutes les six minutes ou sur interrogation (réponse automatique sans l'intervention de l'utilisateur).

19 Pour obtenir des renseignements à jour, une station AIS à terre peut interroger un navire donné ou tous les navires à l'intérieur d'une zone maritime définie.

25 **Confidentialité des données AIS.** L'AIS est un système de diffusion qui peut aisément être reçu par tous. Outre les autorités nationales, des sociétés privées se sont spécialisées à des fins commerciales dans le recueil des informations AIS, leur diffusion et le suivi des navires. Enfin, des États ainsi que des sociétés privées effectuent un suivi des navires pour l'ensemble des régions océaniques, par l'emploi de récepteurs AIS à bord de satellites.

01 3.1.8.2.3. Messages-texte

07 Des messages-textes, relatifs à la sécurité ou d'information, à format fixe ou libre, aussi brefs que possible (plus le message sera court, plus il trouvera facilement un espace libre pour la transmission), de 158 caractères au maximum, peuvent être envoyés par un navire ou par un **STM** soit à un destinataire spécifié (**MMSI**), soit à tous les navires de la zone.

13 Les messages relatifs à la sécurité émanant des **STM** ou des navires sont des avertissements de navigation locaux, des renseignements météorologiques ou hydrologiques (houle, vagues, courants) ou des messages de danger (présence d'un iceberg, d'une épave dangereuse, etc.).

19 Des renseignements sur la régulation du trafic ou sur la gestion portuaire sont également envoyés par les **STM** au moyen des messages d'information.

01 3.1.8.2.4. Affichage des données

07 Les données fournies par l'**AIS** sont présentées soit de façon autonome sur un écran minimal/clavier intégré appelé Minimum Keyboard Display (**MKD**) [figure 3.1.8.2.4.], soit par affichage graphique sur n'importe quel dispositif de visualisation approprié (**MKD** de l'**AIS**, **INS**, **ECDIS**, **ARPA**).

13 L'affichage minimal prévu fournit au moins trois lignes de données indiquant le relèvement, la distance et le nom d'un navire sélectionné. D'autres données concernant le navire peuvent être affichées en faisant défiler les données horizontalement, mais il est impossible de faire défiler le relèvement et la distance. Le défilement vertical fera apparaître les autres navires connus de l'**AIS**.

19 L'affichage graphique permet d'afficher les différents types de cibles (passive, activée, choisie, dangereuse, perdue). Cependant, il convient de noter que l'affichage graphique sur le **MKD** n'est pas une obligation spécifiée dans les normes techniques, la seule obligation étant de produire du texte. L'affichage graphique sur un récepteur **AIS** n'est possible qu'à partir d'un récepteur **AIS** classe A et, pour certains symboles, d'un récepteur **AIS** répondant aux normes les plus récentes de l'**OMI** (§ 3.1.8.3.2.).

25



3.1.8.2.4. — Écran MKD d'AIS.

31 Messages binaires **AIS**. À ce jour, il n'existe pas de recommandations ou de normes relatives à la présentation et à l'affichage des données des messages binaires **AIS** sur le matériel ou les systèmes de bord. Bien que le **MKD** permette d'afficher des messages-texte, il n'a jamais été conçu pour l'affichage ou la présentation graphique des données des messages binaires **AIS**. Il existe toutefois un certain nombre de normes internationales générales et spécifiques au matériel, adoptées par l'**OMI**, l'**OHI**, et la **CEI**, qui contiennent des recommandations relatives à la présentation et/ou à l'affichage de différents types de renseignements de navigation sur les écrans de bord.

37 Un affichage cohérent et uniforme des messages binaires **AIS** ne sera pas possible tant que les normes de fonctionnement concernant le matériel et les systèmes individuels de bord ne seront pas alignées sur la *résolution MSC.191 (79)* de l'**OMI**.

01 3.1.8.2.5. Numéros MMSI

- 07 Le numéro MMSI (identité du service mobile maritime) est nécessaire pour l'identification d'un navire ou d'une station AIS à terre.
- 13 On trouve les numéros MMSI des stations AIS à terre dans les volumes concernés de l'ouvrage *Radiocommunications maritimes*. Les AIS des feux sont présentés dans les *Livres des feux*.

01 3.1.8.3. Anticollision et aide à la navigation

01 3.1.8.3.1. Anticollision

- 07 Les informations de position, de route et de vitesse fond proviennent du GPS/DGPS (ou plus généralement du GNSS/DGNSS) et sont en principe (sauf déficience du GPS ou du GNSS) d'une grande précision. La précision d'un CPA (§ 3.1.7.6.2.) est donc très supérieure à celle fournie par le radar (ou l'ARPA).
- 13 Le cap et la vitesse angulaire de rotation faisant partie des informations émises par l'AIS du navire cible, le navire porteur connaît presque immédiatement toute évolution du navire cible, information déterminante pour la prévention des abordages.
- 19 Dans la mesure où les routes et vitesses fournies par l'AIS sont des routes et vitesses fond, il est à noter que le bon usage de l'AIS nécessite une exploitation du radar (ou de l'ARPA) en mouvement vrai avec stabilisation par rapport au fond et non par rapport à la surface de la mer.
- 25 Sauf arrêt de l'AIS du navire cible, la cible acquise n'est jamais perdue et garde son identification (une cible radar peut être perdue : échos parasites, retour de mer, pluie, neige, etc.). Deux cibles AIS proches ne peuvent être confondues.
- 31 La connaissance à tout moment de l'identité et de la position d'une cible AIS permet d'entrer en contact VHF avec le navire cible sans risque de méprise.
- 37 Cependant, malgré ses avantages et en raison de ses limitations (§ 3.1.8.5.), le navigateur ne doit en aucun cas considérer l'AIS autrement que comme une aide supplémentaire à la prévention des abordages, le radar (ou l'ARPA) restant le principal système pour l'assister dans les manœuvres pour éviter les abordages.

01 3.1.8.3.2. Aide à la navigation

- 07 L'AIS peut être installé sur des aides à la navigation fixes ou flottantes et fournir aux navires des renseignements concernant, notamment la position de celles-ci, leur état, la marée et les courants, et les conditions météorologiques et de visibilité environnantes. Son utilisation en tant qu'aide à la navigation correspond à celle d'une balise Racon.
- 13 Un AIS peut être :
 – installé physiquement sur une balise existante. On parle alors de balisage AIS réel ;
 – associé par moyens informatiques (généralisé à partir d'une station à terre) à une balise existante. On parle alors de balisage AIS synthétique ;
 – être créé (par moyens informatiques) pour baliser, normalement temporairement, une zone ou un objet dangereux tel une épave dangereuse. On parle alors de balisage AIS virtuel car l'AIS n'est pas associé à un balisage en place. Cette méthode de balisage virtuel est de plus en plus utilisée dans les zones à forte densité de circulation pour baliser notamment une épave dangereuse gisant à la suite d'un abordage récent.
- 19 L'usage de l'AIS virtuel par les autorités à terre n'est pas encore normalisé et les symboles utilisés peuvent être différents suivant les régions et les pays.
- 25 Les symboles utilisés pour afficher sur écran (MKD de l'AIS, radar, ECDIS, INS) les aides à la navigation signalées par l'AIS ne peuvent être affichés que si ces équipements répondent à la norme de l'OMI la plus récente (*résolution MSC.191 [79]*) telle que modifiée par la résolution *MSC.466 (101)* et à la norme *IEC 62288*. Ces deux normes sont relatives à la présentation des symboles utilisés pour l'affichage des renseignements de navigation sur l'ensemble des matériels et systèmes de navigation de bord.

01 3.1.8.4. Autres applications de l'AIS

01 3.1.8.4.1. L'AIS dans les opérations des Services du trafic maritime

- 07 Les STM peuvent envoyer de brefs messages (avertissements de navigation locaux, renseignements météorologiques et hydrologiques, renseignements sur la régulation du trafic ou sur la gestion portuaire). Les STM peuvent également envoyer aux navires dotés d'un AIS des renseignements concernant des navires non équipés qu'ils suivent. Un opérateur de STM peut demander, au moyen d'un message-texte, que l'opérateur du navire accuse réception.

- 13 Les communications verbales par VHF entre le STM et le navire demeurent cependant nécessaires, notamment lors de situations critiques.

01 3.1.8.4.2. Systèmes obligatoires de comptes rendus de navires

- 07 Dans le cadre de ces systèmes, les renseignements requis par les États côtiers sur le navire et sa cargaison figurent le plus souvent dans les données dynamiques, statiques et relatives au voyage fournies automatiquement par l'AIS. Leur envoi par AIS permet de réduire les comptes rendus de navires verbaux obligatoires.
- 13 Le dispositif grande distance de l'AIS peut être utilisé pour satisfaire aux besoins de certains systèmes de comptes rendus de navires.

01 3.1.8.4.3. L'AIS dans les opérations SAR

- 07 L'AIS peut être utilisé lors des opérations de recherche et de sauvetage, notamment lorsque les recherches sont effectuées à la fois par aéronefs et moyens de surface. L'AIS permet de présenter directement la position du navire en détresse sur d'autres indicateurs, tels que celui du radar ou du système ECDIS, ce qui facilite la tâche des moyens SAR. Pour les navires en détresse qui ne sont pas équipés d'un AIS, le coordonnateur sur les lieux peut créer une pseudo-cible AIS.

01 3.1.8.5. Limitations inhérentes à l'AIS. Recommandations

- 07 Il convient de faire preuve de prudence dans l'utilisation de l'AIS.
- 13 La situation nautique (image du trafic maritime au voisinage du navire porteur) présentée uniquement à partir des informations AIS n'est que partielle : nombreux navires non équipés d'AIS, AIS volontairement stoppés.
- 19 Un dysfonctionnement de l'AIS d'un navire cible proche du navire porteur peut conduire à une fausse appréciation de la situation par l'officier de quart du navire porteur.
- 25 Une simple erreur sur l'un des paramètres du navire cible transmis par l'AIS (données entrées manuellement incorrectes, mauvais étalonnage ou fonctionnement des capteurs des navires, etc.) peut entraîner une trajectographie fautive de ce navire.
- 31 Les informations reçues peuvent donc ne pas être totalement fiables. L'officier de quart ne doit donc pas supposer que les renseignements provenant d'autres navires sont par nature d'une qualité et d'une précision comparables ou meilleures que celles dont il dispose à bord de son propre navire.
- 37 Pour tenir compte des insuffisances de l'AIS, notamment du fait que la plupart des navires non SOLAS ne sont ou ne seront pas équipés d'AIS, ou que l'AIS d'un navire peut être stoppé sur ordre de son commandant, l'AIS ne peut être utilisé seul, mais en complément du radar (ou de l'ARPA).
- 43 **En cas de constatation de désaccords entre l'AIS et le radar (ou l'ARPA), le navigateur se rappellera que l'ARPA reste le principal système pour l'assister dans les manœuvres pour éviter les abordages et que la prise d'un relèvement optique reste, comme toujours, un moyen de décision précieux.**

01 3.1.9. Récepteurs de radionavigation

01 3.1.9.1. Généralités

- 07 Les systèmes de radionavigation sont présentés au chapitre 4.
- 13 Pour équiper un navire le choix du récepteur de radionavigation dépend de la zone où le navire va naviguer, des performances qui seront demandées, des risques d'erreur tolérés et du prix (actuel ou prévisible). Si l'équipement doit être couplé à d'autres appareils (indicateur, calculateur, etc.), sa sortie doit être compatible avec l'interface utilisée (normes NMEA d'interfaçage, voir sous-chapitre 3.2.). Sur les petits navires, devront aussi être rédigés le bilan de puissance électrique et l'étude d'encombrement.
- 19 Les récepteurs de radionavigation actuels sont adaptés aux technologies les plus récentes, que ce soit par exemple pour la rapidité de calcul ou pour la qualité de l'affichage. Dans les récepteurs de radionavigation actuellement distribués, les informations fournies sont transformées en coordonnées géographiques par un calculateur intégré et affichées sur un indicateur numérique (figure 3.1.9.1.).
- 25 **Mais ce n'est pas parce que ces coordonnées sont affichées au centième de minute près que le point a cette exactitude.** Il faut toujours tenir compte des indications numériques fournies par les récepteurs actuels sur la qualité du point, d'autant plus que la qualité géométrique du recoupement des lieux de position n'est plus visualisée par un tracé sur carte.

31



3.1.9.1. — Récepteur GPS.

- 37 Les appareils actuels peuvent avoir un certain nombre de fonctionnalités telles que : entretien de l'estime (§ 10.6.), rejet des positions erratiques reçues par le récepteur de radionavigation ou affichage d'un signal d'anomalie, fonction « homme à la mer », qui, après déclenchement par le navigateur, entretient avec précision la position de l'incident et permet d'y revenir.
- 43 En général un récepteur de radionavigation actuel est connecté à d'autres équipements électroniques de bord (pilote automatique, DGPS pour un récepteur GPS, centrale de navigation, ECDIS ou ECS, etc.). Un récepteur de radionavigation peut constituer un des éléments d'une installation de navigation intégrée (§ 3.2.).

01 3.1.9.2. Récepteurs GPS et GLONASS

01 3.1.9.2.1. Généralités

- 07 Les principes de fonctionnement des **récepteurs GPS et GLONASS** sont analogues, avec toutefois des fréquences différentes ; les récepteurs GLONASS doivent se caler sur celles-ci de façon simultanée pour les équipements multi-canaux ou séquentielle pour les récepteurs moins performants.
- 13 Les récepteurs GLONASS sont peu répandus dans les pays occidentaux, en revanche il existe des équipements permettant de recevoir à la fois les signaux GPS et les signaux GLONASS. L'exploitation simultanée des deux systèmes permet d'assurer un meilleur positionnement.
- 19 Outre une plus grande facilité d'installation, un récepteur combiné GPS/GLONASS est meilleur que les récepteurs GPS ou GLONASS en termes de disponibilité, d'intégrité, de précision d'immunité au brouillage ; il peut fonctionner en mode différentiel GPS (DGPS) [figure 3.1.9.2.1.], en mode différentiel GLONASS (DGLONASS) ou en mode combiné DGPS et DGLONASS. Attention : ces deux services présentent les positions selon des systèmes géodésiques différents.

25



3.1.9.2.1. — Récepteur DGPS.

01 3.1.9.2.2. Récepteurs GPS

- 07 Un récepteur GPS classique assure le décodage des signaux émis par les satellites et les exploite en particulier pour calculer la position, la vitesse et le temps. Les récepteurs assurent également des fonctions supplémen-

taires utiles à la conduite de la navigation (tracé de route, calcul des éléments relatifs à un point futur désigné ou à un point de passage [waypoint], prédiction de passage des satellites, conversion dans un autre système géodésique ou cartographique, etc.).

13 Il existe des récepteurs GPS de plusieurs types :

- le récepteur séquentiel, à un seul canal de réception, qui traite successivement les données de chaque satellite, ce qui limite ses performances ;
- le récepteur à deux canaux. Ses performances sont améliorées car un canal traite les données d'un satellite pendant que l'autre canal acquiert le satellite suivant ;
- le récepteur à multiplexage, à un ou deux canaux. Ce type de récepteur passe en quelques millisecondes d'un satellite à l'autre ce qui lui permet de traiter en continu leurs signaux ;
- le récepteur multi-canaux (de 4 à 12 canaux), qui traite simultanément les signaux de plusieurs satellites. La position, le temps GPS et la vitesse sont donc calculés avec une précision accrue.

19 Outre une plus grande facilité d'installation, un récepteur combiné GPS/GLONASS est meilleur que les récepteurs GPS ou GLONASS en termes de disponibilité, d'intégrité, de précision, d'immunité au brouillage ; il peut fonctionner en mode différentiel GPS (DGPS) [figure 3.1.9.2.1.], en mode différentiel GLONASS (DGLONASS) ou en mode combiné DGPS et DGLONASS. Attention : ces deux services présentent les positions selon des systèmes géodésiques différents.

01 3.1.9.2.3. Normes de l'Organisation maritime internationale

07 Les récepteurs GPS et GLONASS font l'objet de normes de fonctionnement de l'OMI et de recommandations sur ces normes de fonctionnement (*résolution MSC.112 [73]* du 1^{er} décembre 2000) : récepteurs GPS, GLONASS, DGPS, DGLONASS et récepteur combiné GPS/GLONASS.

13 Parmi les prescriptions auxquelles un récepteur GPS, GLONASS ou combiné GPS/GLONASS doit satisfaire, on peut noter les suivantes :

- pouvoir sélectionner automatiquement les signaux émis par les satellites appropriés pour déterminer la position du navire avec la précision et la fréquence de mise à jour requises ;
- pouvoir déterminer la position avec la précision requise en 30 min maximum, en l'absence d'éphémérides valables ;
- pouvoir déterminer la position avec la précision requise en 5 min maximum, en présence d'éphémérides valables ;
- pouvoir déterminer à nouveau la position avec la précision requise, dans un délai de 5 min, lorsque la transmission des signaux GPS est interrompue pendant une période minimale de 24 h mais qu'il n'y a pas perte d'énergie ;
- pouvoir déterminer à nouveau la position avec la précision requise dans un délai de 2 min, lorsque son alimentation en énergie est interrompue pendant 60 s ;
- produire et fournir une nouvelle solution de position à un écran et à une interface numérique au moins une fois par seconde ;
- disposer de moyens qui lui permettent de recevoir et de traiter les données GLONASS différentielles (DGLONASS).

19 Des recommandations de l'OMI sur les normes de fonctionnement concernent la signalisation des défaillances et l'indication de l'état de fonctionnement. À cet effet, les récepteurs (GPS, GLONASS, récepteurs combinés GPS/GLONASS) doivent fournir au minimum :

- dans un délai de 5 s, une indication du fait que la dilution horizontale de la précision (HDOP) est supérieure à la valeur spécifiée ; ou qu'une nouvelle position n'a pas été calculée depuis plus d'une seconde ;
- en pareilles circonstances, la dernière position connue et l'heure du dernier point valable sont affichées et une indication explicite de ce fait est donnée, afin qu'il ne puisse y avoir aucune ambiguïté, jusqu'au retour au fonctionnement normal ;
- un avertissement en cas de perte de la position ;
- une indication de l'état de fonctionnement de l'équipement (GPS, GLONASS, DGPS, DGLONASS), en ce qui concerne la réception des signaux en mode différentiel et le point de savoir si la position du navire qui est indiquée est corrigée en fonction de ces signaux ;
- une indication de l'intégrité des signaux (GPS, GLONASS, DGPS, DGLONASS) et une alarme ;
- l'affichage sous forme de message-texte des émissions DGPS et/ou DGLONASS.

01 3.1.9.3. Récepteurs LORAN C

07 Alors que les premiers récepteurs LORAN C affichaient uniquement les différences de temps et nécessitaient l'utilisation de cartes spécifiques, les récepteurs modernes sont de véritables calculateurs de navigation qui, en particulier, affichent directement la position en latitude et longitude et permettent des calculs de route par « waypoint ».

- 13 Les récepteurs modernes optimisent en effet le calcul de la position en effectuant une sélection parmi les couples qu'ils reçoivent (signaux les moins bruités, meilleur recoupement des LDP, etc.) et signalent au navigateur, par un code spécifique à chaque appareil, la qualité de la position affichée.
- 19 Les récepteurs LORAN C modernes affichent un cap et une distance pour une route orthodromique (§ 15.3.1.) [et non pas une loxodromie] entre deux points.
- 25 Le verrouillage d'un récepteur moderne sur une chaîne se fait automatiquement. L'ensemble des opérations nécessaires pour ce verrouillage prend de 5 à 15 minutes.
- 31 L'utilisation des modes d'exploitation du LORAN C nécessite certaines précautions qui sont détaillées dans l'ouvrage *Radionavigation maritime*.

01 3.1.10. Équipements de visualisation de cartes marines électroniques

01 3.1.10.1. Généralités

- 07 Les cartes marines électroniques sont présentées dans le volume 1 du présent ouvrage, mais quelques passages sont cependant repris dans le présent sous-chapitre. Il existe des cartes électroniques officielles et des cartes électroniques de secteur privé. Les cartes officielles sont les cartes électroniques de navigation (ENC) et les cartes marines matricielles (RNC).
- 13 Il existe deux grandes catégories de systèmes de visualisation de cartes électroniques, les ECDIS, qui satisfont à des normes internationales, notamment à celles de l'OMI, et les ECS, non conformes aux spécifications de l'OMI.
- 19 Lorsqu'ils sont reliés à un récepteur de radionavigation type GPS, les ECDIS et les ECS permettent d'afficher en continu la position du navire sur la représentation d'une carte à l'écran.
- 25 Depuis l'adresse www.shom.fr/ENC.htm, on pourra utilement consulter et télécharger des documents internationaux de référence dont la publication S-66 de l'OHI, document contenant des informations techniques et des articles de vulgarisation.
- 31 Plutôt destinée aux navigateurs professionnels (commerce, pêche et marine nationale), la publication S-66 de l'OHI « La carte marine électronique et les prescriptions d'emport : les faits » répond aux nombreuses questions que se posent les navigateurs sur les principes et la réglementation associés aux cartes marines électroniques et aux systèmes de visualisation de ces cartes, et principalement aux questions concernant les ENC et les ECDIS.
- 37 Parmi les articles de vulgarisation, *Les cartes marines électroniques* est destiné aux navigateurs professionnels mais peut être très utile aux plaisanciers.

01 3.1.10.2. Electronic chart system

- 07 Les ECS ont des fonctionnalités non garanties par l'OMI et l'OHI, et ne peuvent être utilisés que comme des aides à la navigation, en complément des cartes papier qu'ils ne remplacent pas.
- 13 Les ECS peuvent être très élaborés : certains, qui proposent des fonctionnalités similaires à celles d'un ECDIS et toutes les interfaces possibles (GPS, radar, AIS, etc.), sont ainsi parfois intégrés dans des passerelles de navires de commerce.
- 19 D'autres ECS sont de simples logiciels de visualisation et de navigation fonctionnant le plus souvent sur PC, et sont destinés aux petits navires. Enfin, d'autres, sont de simples GPS/lecteurs de cartes.
- 25 Selon le logiciel utilisé, les ECS peuvent exploiter tous les types de cartes marines électroniques : cartes officielles (ENC, RNC), cartes du secteur privé. Certains ECS permettent même de décrypter les ENC (volume 1).

01 3.1.10.2.1. Lecteurs de cartes

- 07 Le **lecteur de cartes** ou **lecteur/traceur de cartes** est un appareil dédié avec un logiciel intégré (figure 3.1.10.2.1.). Aucune modification ou amélioration ne peut y être apportée.
- 13 Les lecteurs ne peuvent visualiser que des cartes au format vecteur, la cartographie électronique pouvant être plus ou moins élaborée.



3.1.10.2.1. — Lecteur de cartes/récepteur GPS.

- 25 Sur un écran carroyé en latitude et en longitude, apparaissent le tracé de la route suivie, la cartographie de la zone et éventuellement d'autres éléments, par exemple ceux provenant d'un récepteur GPS ou du sondeur. Un curseur permet généralement de lire un azimuth, une distance, des coordonnées latitude et longitude, et le cap à suivre pour rallier un point.
- 31 Afin de marquer la position du navire sur l'écran, les lecteurs sont reliés à un récepteur (GPS, LORAN, GLO-NASS) dont le branchement est indispensable pour une utilisation optimale. Un grand nombre de lecteurs possèdent d'ailleurs un récepteur GPS intégré.
- 37 Conçus en tant qu'équipement embarqué, les lecteurs/traceurs sont compacts, simples à installer et bien adaptés à la plaisance. Il n'y a pas de contrainte d'installation : ils trouvent généralement place sur la table à cartes et se branchent sans adaptation particulière sur le courant du bord.
- 43 Il faut noter qu'il existe sur le marché des lecteurs de cartes portatifs, particulièrement destinés à la plaisance. En raison des dimensions très réduites de leur écran, ils sont avant tout destinés à des petits navires pour une navigation de faible durée.
- 49 Enfin on trouve également des lecteurs permettant de visualiser des cartes numériques sur l'écran radar. Ce sont de simples boîtiers qui se raccordent au radar.
- 55 Exemples de fonctionnalités possibles : voir le sous-sous-paragraphe 3.1.10.2.3.

01 3.1.10.2.2. Logiciels de visualisation et de navigation

- 07 Les **ECS**/logiciels permettent de visualiser et naviguer avec des cartes marines électroniques, officielles (**ENC** et **RNC**) ou du secteur privé. Les **ECS** ne répondent pas à l'ensemble des normes et spécifications exigées pour les **ECDIS**.
- 13 Ils sont d'un coût abordable, aux alentours de quelques centaines d'euros pour les logiciels de base. Cependant, ces logiciels, même ceux de base, possèdent de nombreuses fonctionnalités (§ 3.1.10.2.3.) lorsqu'ils sont reliés à un récepteur de radionavigation type **GPS**, comme par exemple l'affichage en continu de la position, le calcul et le suivi de la route, les déplacements, etc. Ils permettent le plus souvent de visualiser les **ENC** avec les mêmes couleurs et symboles que pour les **ECDIS** des navigateurs professionnels. Tous ces logiciels fonctionnent sur **PC**, certains sur Macintosh (figure 3.1.10.2.2.).



3.1.10.2.2. — Visualisation de cartes électroniques sur un micro-ordinateur.

- 25 Des **ECS** très élaborés, proposant des fonctionnalités similaires à celles d'un **ECDIS**, sont ainsi parfois intégrés dans des passerelles de navires de commerce, mais, contrairement à l'**ECDIS**, ils ne peuvent être utilisés que comme des aides à la navigation, en complément des cartes papier qu'ils ne remplacent pas.
- 31 Parmi ces logiciels visualisant des ENC, seuls quelques uns sont capables de visualiser des ENC cryptées. Dans la pratique, le décryptage est basé sur l'utilisation d'une clé physique (dongle) et d'un permis d'utilisation propre à chaque utilisateur.
- 37 Les logiciels élaborés pour les micro-ordinateurs type PC ou Macintosh ont des fonctions de base identiques à celles des logiciels des lecteurs de cartes, mais ils offrent des possibilités supérieures et peuvent de plus être modifiés, complétés ou améliorés (nouvelle version du logiciel). La plupart des logiciels n'acceptent qu'un seul format de numérisation, raster ou vecteur ; seuls quelques uns permettent d'utiliser les deux formats.
- 43 Il faut noter que les micro-ordinateurs ne sont pas vraiment conçus pour la mer, et que leur installation et leur utilisation à bord de petits navires peuvent imposer quelques contraintes. À terre, hors du bord, ils sont très utiles pour préparer une navigation.

01 3.1.10.2.3. Exemples de fonctionnalités

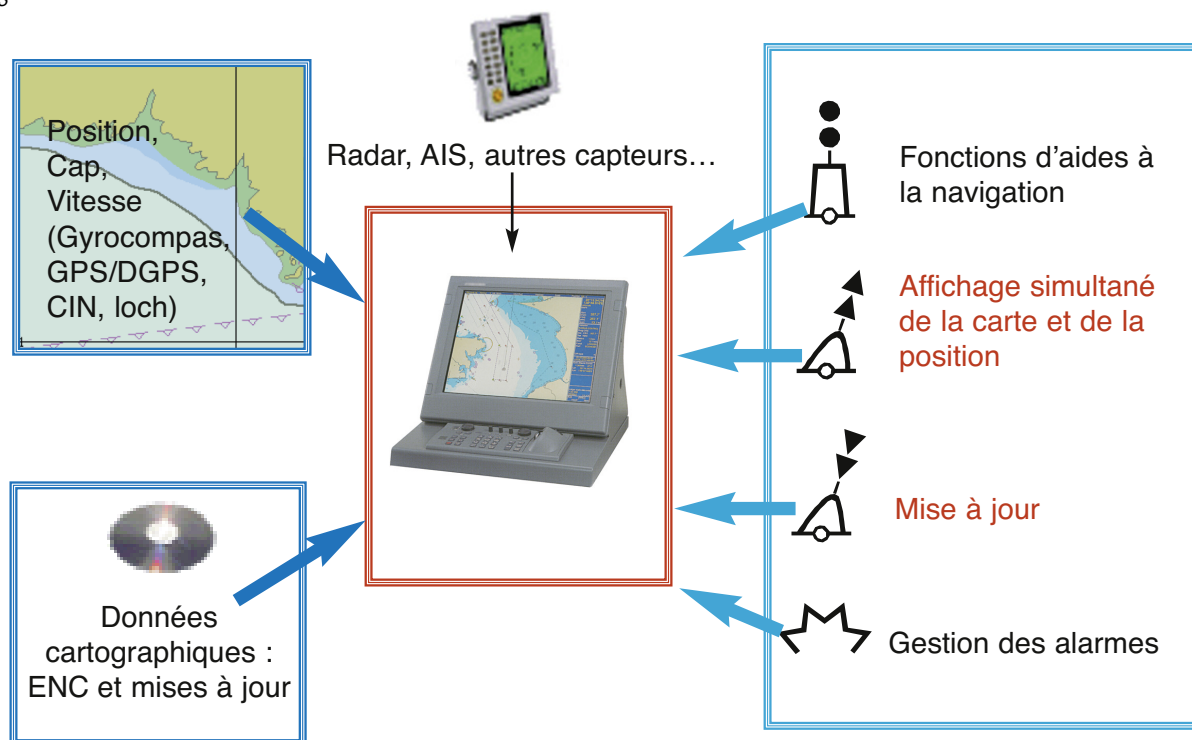
- 07 Quelques exemples de fonctionnalités des lecteurs de cartes et des micro-ordinateurs auxquels on peut accéder par les logiciels actuellement commercialisés sont présentés ci-après. Leur liste n'est pas exhaustive. Les fonctionnalités d'un lecteur de cartes ou d'un micro-ordinateur dépendent du logiciel qui y est associé et du procédé de numérisation de la carte. Reliés à un système de radionavigation de grande précision, les lecteurs de cartes et micro-ordinateurs fournissent au navigateur sa position en temps réel.
- 13 **a) Fonctions de base :**
- Préparation de traversée : calculs de route (distance et cap), distance entre 2 points, création d'une route par saisie de points de passage (way-points), prédiction de marées (heures **BM** et **PM**, hauteurs d'eau pour les principaux ports du monde, etc.), heure estimée d'arrivée, simulation de la traversée, etc.
 - Suivi de la traversée : suivi et modification des points de passage (way-points), des relèvements d'amers ; calcul de l'estime, prise en compte de la dérive due aux courants de marée, etc.
 - Sécurité : alarmes route, hauts-fonds, isobathes, vitesse, etc. Fonction homme à la mer, réception de cartes météo, etc.
 - Enregistrement non limité des tracés, bibliothèque de symboles, journal de navigation sur lequel sont portés les événements, etc.
- 19 **b) Fonctions évoluées :**
- Enrichissement de la base de données (feux, amers, etc.)
 - Branchement sur une centrale de navigation, interface avec un logiciel de gestion de terminal **Immarsat**, etc.
 - Suivi d'échos radar **ARPA**, superposition de l'image radar, etc.

01 3.1.10.3. Electronic chart display and information system

01 3.1.10.3.1. Équipement embarqué de l'Electronic chart display and information system

- 07 Conçus pour les professionnels de la marine marchande, les **ECDIS** épondent à des normes et spécifications internationales de fonctionnement sévères fixées et adoptées par des organisations internationales (**OMI**, **OHI** et **CEI**) [§ 3.1.10.3.]. Ils visualisent les cartes officielles (**ENC** cryptées et **RNC**), mais ils peuvent également visualiser des cartes du secteur privé.
- 13 Version acceptée par l'**OMI** pour une navigation électronique réglementaire, (§ 12.2.2.) l'**ECDIS** est l'équivalent légal de la carte papier et dispense de l'utilisation de cartes papier s'il est utilisé avec des **ENC** et si le navire possède un dispositif de secours électronique (par exemple, un deuxième équipement embarqué **ECDIS**).
- 19 L'équipement embarqué de l'**ECDIS** permet de visualiser et d'exploiter automatiquement d'une part les informations cartographiques (**ENC**) et d'autre part les informations (position, cap et vitesse) fournies en temps réel par les capteurs de navigation (récepteur de radionavigation ; centrale inertielle de navigation, gyrocompas et loch). Cet équipement doit aussi recevoir et exploiter les éléments de mise à jour de l'**ENC**.
- 25 Il assure automatiquement la gestion d'alarmes et d'indicateurs grâce à la souplesse que procure le format de type vecteur des **ENC**. La cartographie vecteur (volume 1) permet en effet d'automatiser des alarmes, par exemple à l'approche d'un haut-fond, et de compléter l'affichage de base par différentes *couches* d'informations accessibles en *cliquant* sur les objets représentés à l'écran.
- 31 La connexion éventuelle à un radar ou à un dispositif anticollision permet en outre de rassembler sur un écran unique les principaux éléments nécessaires à la conduite du navire (superposition image radar, affichage cibles **ARPA**, et cibles **AIS**), ce qui fait alors de l'**ECDIS** un système de navigation intégrée (§ 3.2.1.).
- 37 Les **ECDIS** offrent des fonctionnalités très développées (alarmes, etc.) mais ils sont le plus souvent inadaptés aux petits navires en raison de leur coût élevé et de leur encombrement.

43



3.1.10.3.1. — Le système ECDIS.

01 3.1.10.3.2. Normes

- 07 En ce qui concerne les matériels embarqués dont la construction et la commercialisation sont du ressort de l'industrie, un **ECDIS** doit satisfaire à trois types de normes :
- en tant qu'équipement électronique prévu par la Convention **SOLAS**, il relève des normes de fonctionnement de l'**OMI** (voir ci-après) ;
 - en tant qu'équipement électronique, l'**ECDIS** relève également des prescriptions et procédures d'essais de la **CEI** ;

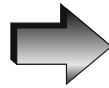
- en tant qu'équipement embarqué, il relève des procédures d'homologation définies par les administrations nationales. En France, il relève du règlement annexé à l'arrêté relatif à la sécurité des navires (voir le volume 3 du présent ouvrage).
- 13 Les normes OMI de fonctionnement des ECDIS diffèrent selon la date d'installation de l'ECDIS :
- résolution A. 817 (19) du 15 décembre 1995, modifiée, pour les ECDIS installés avant le 1^{er} janvier 2009 ;
 - résolution MSC. 232 (82) du 5 décembre 2006 pour les ECDIS installés depuis le 1^{er} janvier 2009.
- 19 La résolution A. 817 a été modifiée par deux résolutions du comité de la sécurité maritime (MSC) de l'OMI. Ces deux résolutions du MSC ont permis d'ajouter, pour la première, les prescriptions applicables aux dispositifs de secours (appendice 6), pour la seconde (résolution MSC. 86 [70]), le mode d'exploitation « *Raster chart display system* » (RCDS) [§ 3.1.10.3.3.], lorsqu'il n'existe pas d'ENC à échelle suffisante pour la navigation envisagée.
- 01 **3.1.10.3.3. Modes d'utilisation de l'Electronic chart display and information system**
- 07 La résolution MSC. 86 (70) et la résolution MSC. 232 (82) offrent la possibilité d'utiliser un ECDIS dans deux modes différents, compte tenu de la couverture en ENC qui n'est pas encore complète (fin 2011).
- 13 Lorsque les ENC nécessaires (en terme de catégorie de navigation ou d'échelle, voir volume 1) pour la navigation envisagée sont disponibles, l'ECDIS est utilisé en mode nominal. Lorsque la zone géographique considérée n'est pas encore couverte par des ENC à échelle suffisante pour la navigation envisagée, l'ECDIS peut être utilisé en mode RCDS (§ 3.1.10.3.5.) avec des RNC à échelle suffisante pour la zone. Dans ce cas, des fonctionnalités importantes sont inopérantes (alarmes automatiques liées au contenu cartographique) et l'emploi simultané d'un portefeuille approprié de cartes papier marines à jour est alors imposé.
- 19 Différences d'utilisation entre les ECDIS et RCDS : voir le § 3.1.10.3.5.
- 25 Un ECDIS est considéré comme un ECS s'il est utilisé avec des cartes électroniques non officielles (cartes du secteur privé) ou s'il est utilisé avec des RNC alors que la couverture en ENC est suffisante. En ces deux cas, l'ECDIS n'est plus qu'une aide à la navigation et la navigation doit être effectuée à partir des cartes marines papier.
- 01 **3.1.10.3.4. Principales fonctionnalités de l'Electronic chart display and information system**
- 07 Les fonctionnalités de l'ECDIS présentées ci-après paraîtront sans doute similaires à celles des logiciels les plus évolués présentées au § 3.1.10.2.3., mais elles sont liées, d'une part à une cartographie vecteur sûre et référencée dans un système géodésique unique (WGS 84) et garantie par les services hydrographiques, et d'autre part à l'homologation et la certification de l'ECDIS.
- 13 Les principales fonctions assurées par l'ECDIS sont les suivantes :
- affichage de la carte et de la position du navire ;
 - aide à la préparation et au suivi de la route ;
 - analyse de la situation nautique permettant le déclenchement d'alarmes dans les situations dangereuses ou particulières (fonction antiéchoquement en particulier) [figure 3.1.10.3.4.A.] ;
- 19
- calculs nautiques classiques (estime, azimuth-distance, etc.) ;
 - accès sur demande à des informations cartographiques détaillées. Des éléments dynamiques, fonction du temps peuvent être introduits. L'ECDIS peut ainsi prendre en compte la marée pour franchir des sondes isolées et des isobathes aux profondeurs réelles ;
 - affichage possible d'autres données, telles que l'image radar ou ARPA pour une gestion intégrée de l'anti-collision avec la navigation ;
 - enregistrement de la route suivie ;
 - accès à toutes les informations nautiques ne figurant pas sur une carte normale, notamment celles contenues dans les ouvrages nautiques : *Instructions nautiques*, *Livre des feux*, *Ouvrages de radiosignaux*, marées, etc. En cliquant par exemple sur un amers ou un phare on obtient ses caractéristiques ;
 - tenue à jour des données cartographiques possible en mer par liaison par satellite.

25

objet : obstruction
 profondeur : 10 m
 qualité de la profondeur : + 30 cm
 nature : restes d'épave

ENC

profondeur insuffisante,
 nature : obstruction
 = danger



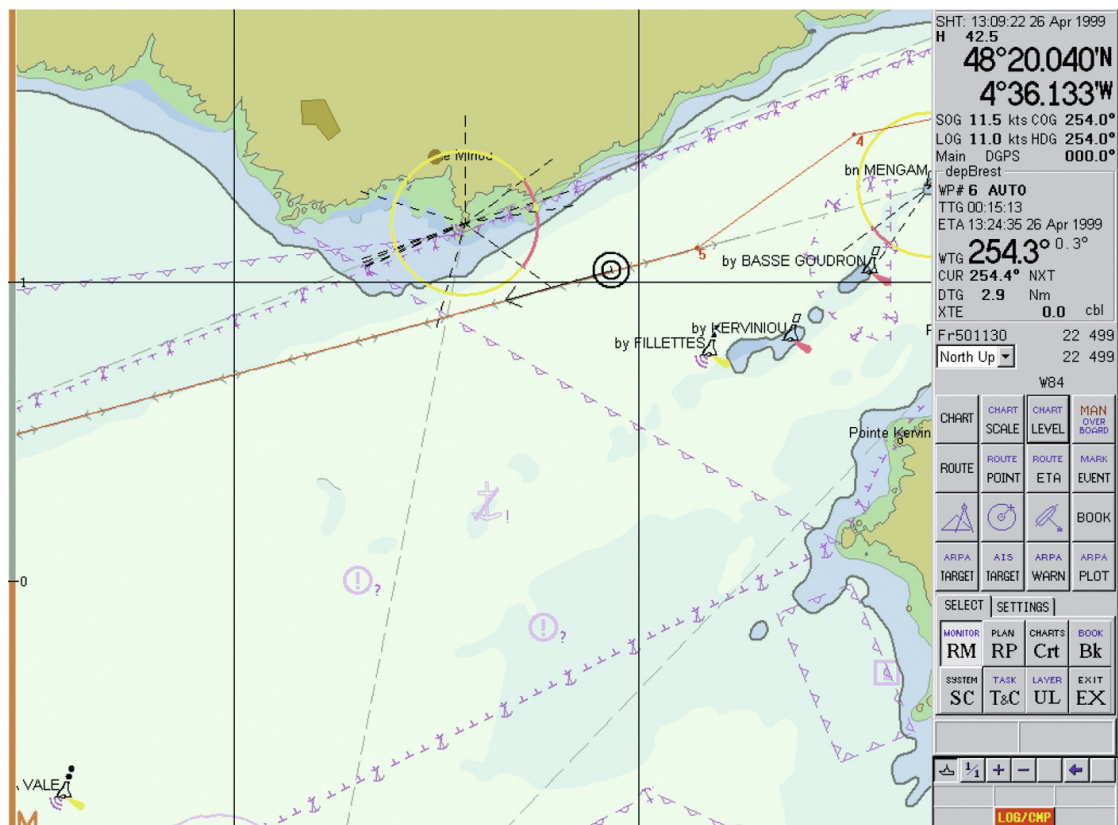
symbole de danger

**ECDIS**

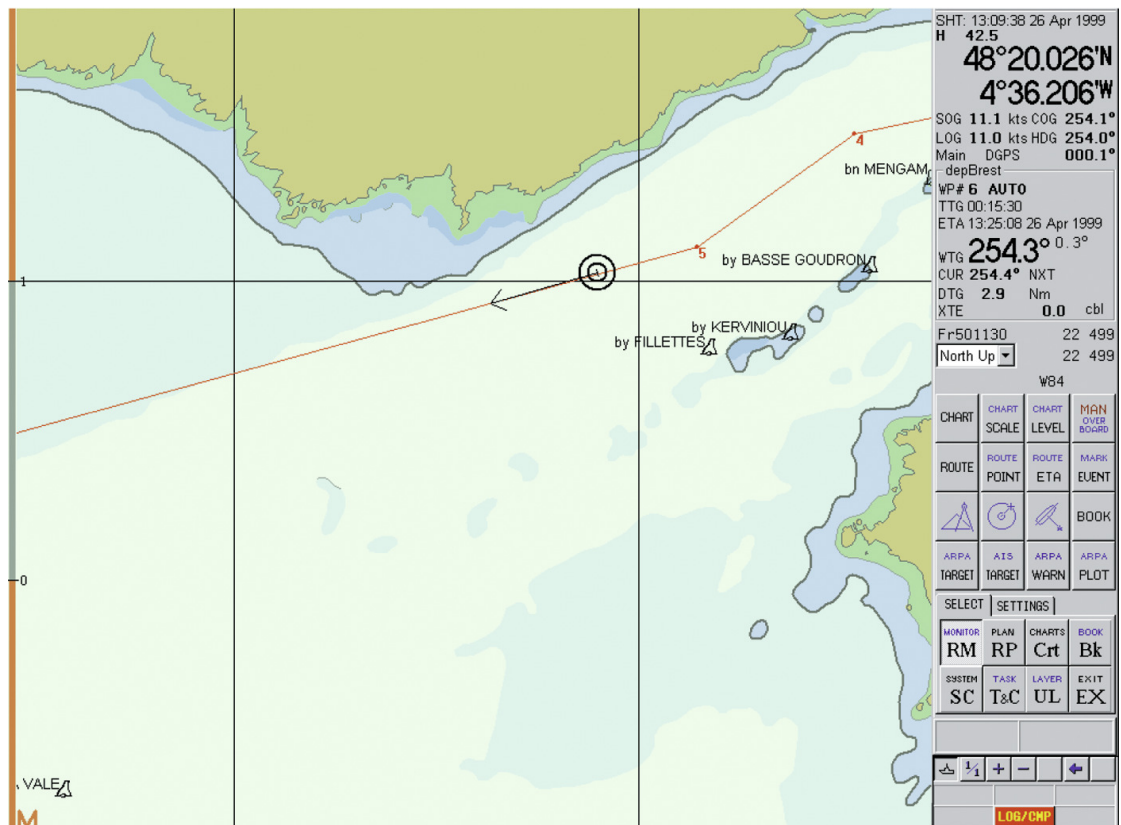
3.1.10.3.4.A. — Affichage d'un danger dans l'ECDIS.

31 Les figures 3.1.10.3.4.B. et 3.1.10.3.4.C. donnent des exemples d'affichage d'un ECDIS.

37

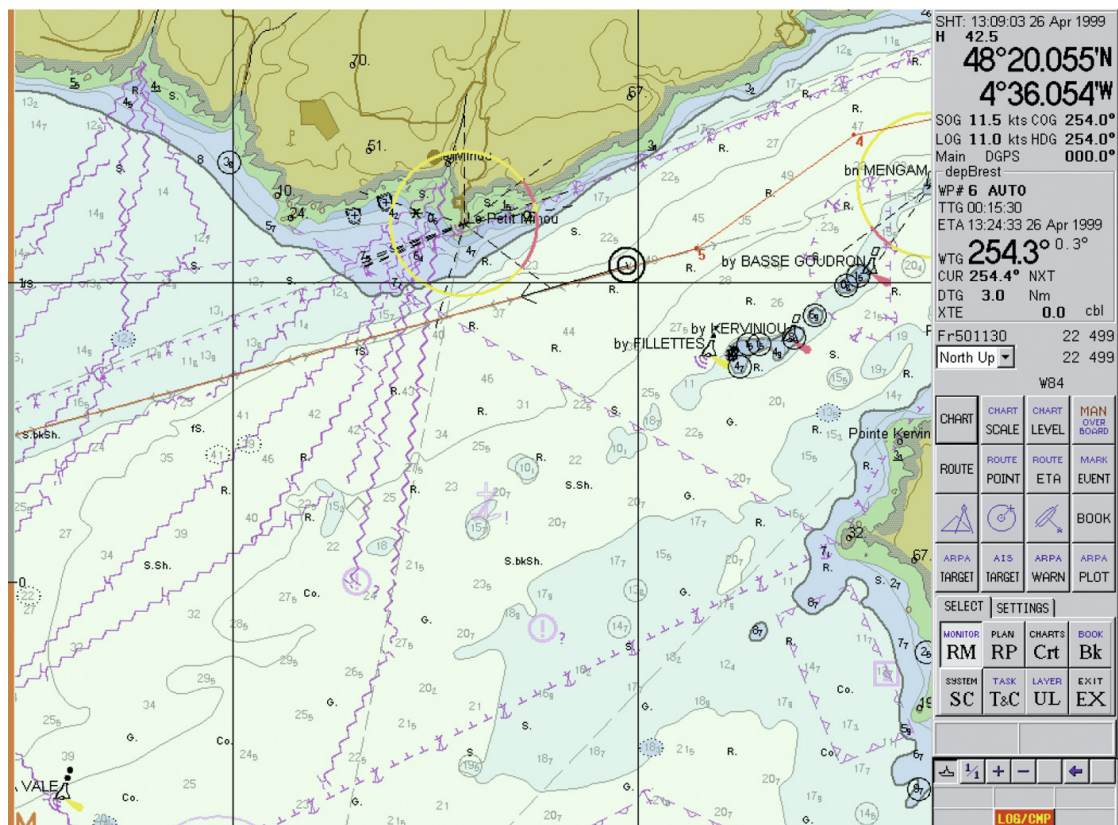


Affichage standard

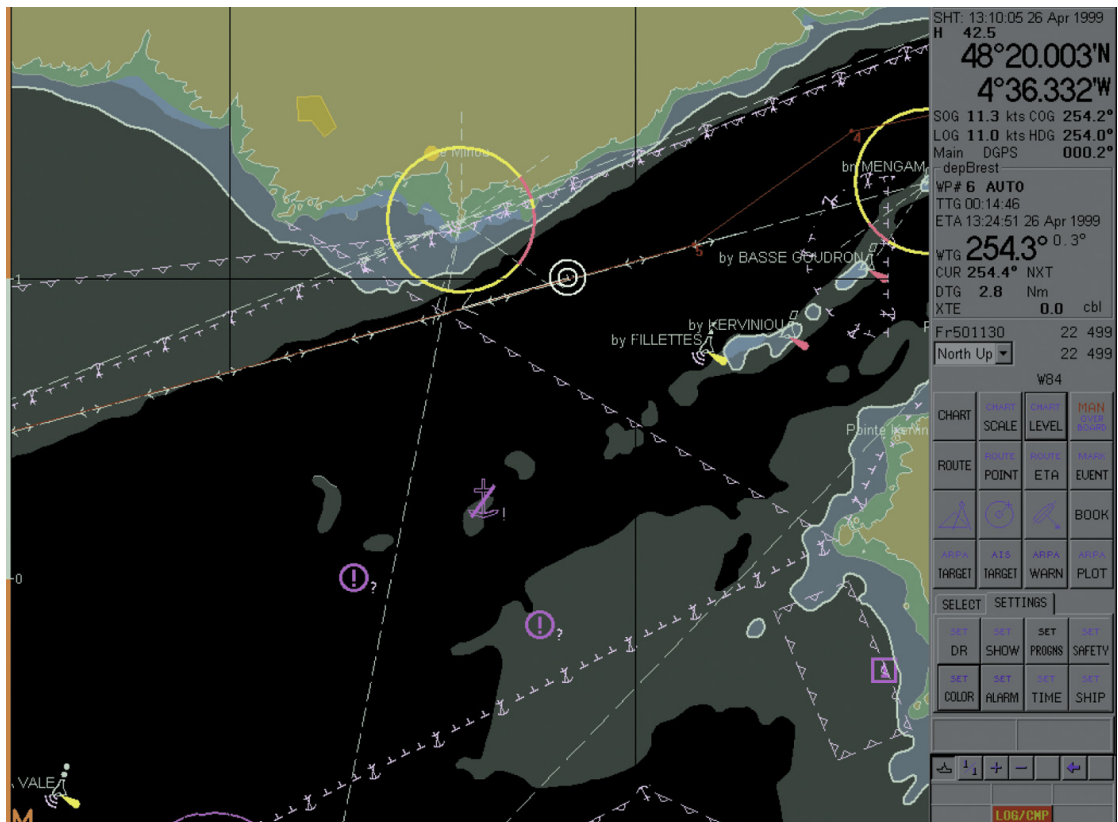


Affichage de base

3.1.10.3.4.B. — Exemples d'affichage standard et de base d'un ECDIS.



Affichage complet



Affichage de nuit

3.1.10.3.4.C. — Exemples d'affichage complet et de nuit d'un ECDIS.

01 3.1.10.3.5. Utilisation de l'ECDIS en mode RCDS

07 a) Portefeuille approprié de cartes marines sur papier (APC).

13 En mode **RCDS**, c'est-à-dire lorsque la couverture en **ENC** n'est pas suffisante et qu'il utilise des **RNC** à jour et à l'échelle adaptée pour la navigation envisagée, le navigateur doit utiliser en même temps un portefeuille approprié de cartes marines papier à jour (APC). Le choix de la constitution de cet APC est bien évidemment de la responsabilité du capitaine, selon les directives indiquées ci-après.

19 Les cartes papier composant ce portefeuille doivent permettre de faire route en toute sécurité, le long de l'itinéraire prévu du voyage, jusqu'au port de destination prévue, de transiter dans les eaux territoriales d'un État côtier avec la (ou les) catégorie (s) de cartes exigée (s) par cet État (voir sur le site de l'OHI : www.ihp.int, onglet « **ENC** et **ECDIS** », rubrique « Disponibilité des **ENC** », sous-rubrique « Cartes papier de secours »), et de naviguer en toute sécurité dans les passages resserrés (par exemple un détroit non couvert en **ENC** à échelle suffisante).

25 Les cartes de l'APC doivent en particulier permettre au navigateur d'appréhender de manière adéquate la situation sur l'avant du navire.

31 b) Différences entre les modes **RCDS** et **ECDIS** des **ECDIS**.

37 Le texte qui suit est extrait de la circulaire *SN/Circ. 207/Rev1* du 22 octobre 2007 de l'OMI.

43 Les **ECDIS** peuvent fonctionner en deux modes distincts :

- en mode **ECDIS**, lorsque des cartes électroniques de navigation (**ENC**) sont utilisées ;
- en mode **RCDS**, quand il n'existe pas d'**ENC** et que des cartes marines matricielles (**RNC**) sont utilisées en remplacement.

49 Or le mode **RCDS** n'a pas toutes les fonctionnalités de l'**ECDIS** et ne peut être utilisé qu'avec un portefeuille approprié de cartes papier à jour.

55 L'attention des navigateurs est donc appelé sur les limites suivantes du mode **RCDS** :

- contrairement aux **ENC**, dont les limites ne sont pas affichées, les **RNC** sont basées sur l'utilisation de cartes papier et ont donc des limites qui apparaissent clairement lorsque l'on utilise l'**ECDIS** ;
- les **RNC** ne déclenchent pas d'alarmes automatiques (par exemple, antiéchoquement). Des alarmes et des renseignements peuvent néanmoins être incorporés manuellement, au moment de la planification de la traversée, notamment en ce qui concerne les alignements de garde, les isobathes de sécurité du navire, les dangers isolés et les zones de danger, afin de remédier à cette insuffisance ;
- les systèmes géodésiques et les projections cartographiques peuvent différer d'une **RNC** à une autre. Les navigateurs devraient comprendre en quoi le système géodésique de la carte diffère de celui du système de localisation utilisé. Dans certains cas, cette différence peut apparaître sous la forme d'un décalage de position. Il peut être plus aisé de mettre cette différence en évidence aux intersections du quadrillage ;
- un certain nombre de **RNC** peuvent ne pas être rapportées aux systèmes géodésiques WGS 84 ou PE 90. Dans de tels cas, les **ECDIS** devraient donner des indications continues ;
- la visualisation des éléments cartographiques des **RNC** ne peut pas être simplifiée par la suppression de certains éléments pour s'adapter à certaines conditions de navigation ou pour une tâche en cours. L'on risquerait d'affecter la superposition de l'image radar/**ARPA** ;

61 – si l'on ne choisit pas des cartes à des échelles différentes, la visualisation de la zone à l'avant du navire peut être quelque peu limitée, ce qui pourrait comporter des inconvénients quand on détermine la distance et le relèvement ou la nature d'objets éloignés ;

- une orientation de l'affichage des **RNC** autre que « Nord en haut » peut gêner la lisibilité du texte et des symboles de la carte (par exemple, « cap en haut », « route en haut ») ;
- il n'est pas possible d'obtenir, à partir d'éléments de la **RNC**, des renseignements supplémentaires sur des objets représentés sur la carte. Qu'il utilise des **ENC** ou des **RNC**, le navigateur devrait, lors du processus de planification consulter toutes les publications nautiques pertinentes (telles que les instructions nautiques, etc.) ;
- lorsque l'on utilise des **RNC**, il n'est pas possible d'afficher l'isobathe de sécurité ou la profondeur de sécurité d'un navire et de les mettre en évidence sur l'écran, à moins que ces éléments ne soient introduits manuellement pendant la planification de la route ;
- selon la source de la **RNC**, des couleurs différentes sont susceptibles d'être utilisées pour présenter des renseignements cartographiques analogues. Il peut également exister des différences dans les couleurs utilisées le jour et la nuit ;
- une **RNC** est destinée à être utilisée à l'échelle de la carte papier équivalente. Un grossissement ou une réduction excessifs risquent de dégrader sérieusement l'image visualisée. Si la **RNC** est visualisée à une plus grande échelle que la carte papier équivalente, l'**ECDIS** fournira une indication ;

- l'**ECDIS** utilisé avec des **ENC** permet d'accéder à des indications sur la qualité des données de ces **ENC**. Lorsqu'ils utilisent les **RNC**, les navigateurs sont invités à consulter le diagramme d'origine des renseignements hydrographiques, si celui-ci est disponible.

01 **3.1.10.3.6. Anomalies de fonctionnement de certains ECDIS**

- 07 Depuis 2010, des anomalies de fonctionnement de certains **ECDIS** ont été identifiées. Elles ont fait l'objet d'une circulaire de l'**OMI** (circulaire SN.1/Circ.312 du 9 juillet 2012 téléchargeable, en particulier, sur le site de l'**OHI** : www.iho.int/mtg_docs/International_Organizations/IMO/F-SN_Circ312.pdf) qui donne une liste d'anomalies connues avec les conseils pour s'en affranchir.
- 13 Les **ECDIS**, qui font appel à une combinaison de matériels, de logiciels et de données, sont des équipements complexes ; l'existence de ces anomalies montre combien il est important de tenir à jour les logiciels de ces systèmes. Ils doivent en particulier être rendus conformes à la version la plus récente des normes de l'**OHI** (www.iho.int/mtg_docs/enc/ECDIS-ENC_StdIn_Force.htm) sous peine de ne pas respecter les prescriptions en matière d'import de cartes, telles qu'énoncées dans la Convention **SOLAS**.
- 19 L'**OHI** a mis au point un jeu de données pour tester la présentation des données et la performance des **ECDIS**, qui permet aux navigateurs de vérifier certains aspects importants du fonctionnement de leur **ECDIS**. Le jeu de données et les instructions d'accompagnement peuvent être obtenus auprès des fournisseurs de services **ENC** ou téléchargés depuis le site internet de l'**OHI** (www.iho.int).

01 3.2. Intégration des systèmes

- 07 **La navigation intégrée consiste à combiner au mieux grâce à un ordinateur les informations fournies par un ensemble d'équipements et de capteurs de navigation. L'objectif recherché peut être d'obtenir un point plus précis ou plus fiable, ou bien par une automatisation poussée de faciliter la tâche du navigateur.**
- 13 La condition première du succès d'une navigation intégrée réside dans la **complémentarité** des informations fournies par les divers systèmes de navigation utilisés : on associera par exemple avec succès une centrale inertielle de navigation avec un système comme le GPS qui donne un point très précis.
- 19 La complémentarité peut s'entendre aussi en disponibilité géographique (domaine de couverture), ou en nature des informations (positions, vitesses, angles, fonction anticollision, etc.).
- 25 D'autres critères importants pour une intégration réussie sont la cohérence de présentation des données et la redondance (pour garantir la disponibilité en cas de dégradation d'un système et détecter les erreurs grossières).
- 31 Les équipements électroniques de marine modernes disponibles sur le marché (ECDIS, radar, récepteur GPS, sondeur, pilote automatique, etc.) possèdent un système d'interface et sont interconnectables entre eux ; ils peuvent constituer les éléments d'une installation de navigation intégrée. Les normes internationales d'interfaçage sont les normes « National marine electronics association » (NMEA), la norme 0183 étant la plus connue. Avec un logiciel adéquat, un micro-ordinateur peut servir de calculateur de navigation intégrée.
- 37 Chaque système fournit son information avec une erreur systématique et une erreur variable. L'erreur systématique peut être corrigée par calcul, l'erreur variable doit être décomposée par analyse statistique puis être lissée : c'est le rôle des filtres, comme les filtres de Kalman que l'on trouve souvent dans les systèmes intégrés.
- 43 Après mise en forme, les données d'entrée sont actualisées et corrélées. Les informations intégrées sont finalement présentées au navigateur sur un terminal de visualisation. Elles peuvent aussi être renvoyées en boucle de retour aux équipements d'entrée pour améliorer leur fonctionnement.

01 3.2.1. Les systèmes de navigation intégrés (INS)

01 3.2.1.1. Objet des INS

- 07 Les **systèmes de navigation intégrés (INS)** ont pour objet d'améliorer la sécurité de la navigation en offrant des fonctions intégrées et renforcées permettant d'éviter les dangers liés à la géographie, au trafic et à l'environnement.
- 13 Un **INS** permet l'arrangement, de façon logique et ergonomique, des commandes et des contrôles de tous les équipements de navigation. Ces installations associent donc radar, système anticollision **ARPA** ou fonction poursuite des cibles radar (TT), équipements de navigation, calculateur d'estime, etc. et présentent les informations sur un seul indicateur vidéo. En combinant et en intégrant fonctions et renseignements, l'**INS** offre une « valeur ajoutée » à l'opérateur pour planifier, surveiller et/ou contrôler la sécurité de la navigation et la progression du navire.
- 19 Le contrôle d'intégrité est une fonction intrinsèque de l'**INS**. L'**INS** renforce la sécurité de la navigation en évaluant les entrées provenant de plusieurs sources (gyrocompas, loch, radar, **ECDIS**, **AIS**, sondeur, etc.), et en les combinant de manière à fournir des renseignements qui donnent l'alerte en temps voulu, indiquant les situations dangereuses, les défaillances des systèmes ainsi que toute dégradation de l'intégrité de ces renseignements.
- 25 Pour pallier une éventuelle avarie de l'installation intégrée, celle-ci doit être conçue pour que chaque équipement de navigation puisse fonctionner en autonomie et les équipements vitaux (gyrocompas, loch, radar, pilote automatique, etc.) sont reliés entre eux par liaison directe.
- 31 L'**INS** présente rapidement aux utilisateurs des renseignements exacts et clairs et fournit ces renseignements aux sous-systèmes et fonctions ultérieures incorporés dans l'**INS** lui-même et dans d'autres équipements auxquels ce système est connecté. L'**INS** aide à mieux appréhender la situation.
- 37 L'**INS** vise à garantir que, compte tenu des facteurs humains, la charge de travail de l'opérateur reste supportable, de manière à renforcer la sécurité et l'efficacité de la navigation et à compléter les compétences des navigateurs. L'**INS** vise à être véritablement adapté à l'exécution, par l'utilisateur, d'une tâche donnée dans un contexte particulier.

01 **3.2.1.2. Tâches de navigation**

- 07 L'INS permet d'effectuer des tâches de navigation telles que la planification de la route, la surveillance de la route, la prévention des abordages, le contrôle de la navigation, l'affichage des conditions et des données de navigation, ainsi que la gestion des alertes. L'INS comprend notamment les sources, données et affichages correspondants qui sont intégrés dans un système de navigation unique.
- 13 D'autres tâches/fonctions de navigation peuvent également être intégrées dans l'INS.

01 **3.2.1.3. Postes de travail et terminaux de tâche**

- 07 Les postes de travail des INS offrent :
- des dispositifs de visualisation multifonctionnels intégrant au moins les tâches/fonctions de navigation *Surveillance de la route et Prévention des abordages* ;
 - des fonctions de contrôle de la navigation manuelles et/ou automatiques.
- 13 Élément d'un poste de travail, le terminal de tâche est une console de visualisation unique avec un affichage multifonction doté de commandes spécialisées permettant de présenter et d'exécuter n'importe quelle tâche de navigation.

01 **3.2.1.4. Normes de fonctionnement de l'Organisation maritime internationale**

- 07 Les normes de fonctionnement de l'OMI sont définies dans la *résolution MSC 252 (83)* du 7 octobre 2007 pour les INS installés depuis le 1^{er} janvier 2011 et dans la *résolution MCS 86 (70)* du 8 décembre 1998 pour les INS installés avant le 1^{er} janvier 2011.

01 **3.2.1.5. Rôle du navigateur**

- 07 Le rôle du navigateur disposant d'un INS consiste, avant le départ, à préparer la traversée en entrant les données : routes, points de passage, vitesse ou temps de trajet, systèmes de navigation choisis ; puis en cours de traversée à se concentrer sur le contrôle de l'installation et sur le choix des manœuvres anticollision.
- 13 Il faut toutefois se garder d'accorder une confiance aveugle à une telle installation : **le contrôle continu de l'installation est primordial. Il faut en particulier prendre le soin** de comparer la position délivrée par le calculateur avec celle du ou des récepteurs de radionavigation, du radar, etc. ; en particulier, porter attention aux informations du sondeur demeure un devoir de prudence.

01 **3.2.2. Systèmes de passerelle intégrée**

- 07 Des **systèmes de passerelle intégrée** (IBS en anglais) équipent de nombreux navires marchands et navires à passagers.
- 13 Les IBS sont des combinaisons de systèmes reliés entre eux afin que l'accès aux informations fournies par les capteurs ou aux commandes/contrôles puisse se faire de manière centralisée à partir des postes de travail. La passerelle de navigation est construite autour du système de navigation intégré.
- 19 En pratique, les systèmes de passerelle intégrée sont construits à partir du système de navigation intégré et comprennent toutes les autres fonctions permettant la gestion du navire : installations de communications pour le **SMDSM**, énergie, propulsion, sécurité, stabilité, etc.
- 25 Il existe des directives de l'OMI pour le matériel et les systèmes de passerelle, leur agencement et leur intégration (BES en anglais). Elles fournissent des recommandations en vue de l'attribution des tâches et des fonctions aux postes de travail et contiennent des recommandations en vue de l'intégration des systèmes.
- 31 Ces directives appuient la conception d'un système intégré fondé sur un principe modulaire souple doté de modules opérationnels/fonctionnels et capteur/source.

Pas de texte

Chapitre 4

RADIONAVIGATION

01 4.1. Généralités

01 4.1.1. Présentation du chapitre « radionavigation »

- 07 **La radionavigation est un mode de navigation qui utilise les ondes électromagnétiques pour déterminer la position ou un lieu de position.** Les points obtenus sont indépendants des conditions météorologiques, notamment celles de visibilité.
- 13 Les systèmes de radionavigation sont soit des systèmes à base spatiale (systèmes de positionnement par satellites) soit des systèmes à base terrestre (stations ou balises implantées en des points géodésiques situés à terre).
- 19 En fin 2010, il n'existait plus qu'un seul système à base terrestre, le LORAN C dont le maintien n'est pas assuré depuis la fermeture définitive des chaînes des USA (février 2010) et des chaînes canadiennes (octobre 2010).
- 25 Le présent chapitre présente brièvement les systèmes de radionavigation et de leurs problèmes d'exploitation, comme suit :
- au § 4.2., les systèmes de radionavigation par satellites (GPS, GLONASS, Galileo et GNSS) ;
 - au § 4.3., les systèmes basés à terre (LORAN C).
- 31 Les récepteurs de radionavigation ont été présentés précédemment (§ 3.1.9.).
- 37 Les systèmes de radionavigation étant décrits de façon très détaillée dans l'ouvrage *Radionavigation maritime*, aussi bien d'un point de vue technique que pratique, il convient de se reporter à cet ouvrage pour de plus amples informations.
- 43 Des systèmes de localisation par satellite, par exemple les systèmes Argos (volume 3), *Cospas/Sarsat* (volume 3, et ouvrage *Radiocommunications maritimes, volume 4*), Geostar et Euteltracs, permettent le suivi des navires. Ces systèmes ne sont pas décrits dans le présent volume.

01 4.1.2. Radionavigation au large et en zone côtière

- 07 La **radionavigation au large** est un moyen de recalcr l'estime et d'atterrir, indépendant des conditions de visibilité, mais les positions obtenues peuvent être entachées d'erreurs incontrôlables : avarie du système, dégradation volontaire par l'administration qui le contrôle, ou perturbations de propagation de l'onde électromagnétique. Avant de recalcr l'estime, le navigateur devra évaluer la qualité du lieu trouvé en faisant appel à son expérience, à sa documentation et en recherchant la redondance des moyens chaque fois que possible.
- 13 Les systèmes de positionnement par satellites, qui fournissent une grande précision de positionnement et dont la couverture est suffisante, peuvent être utilisés aussi bien au large qu'à proximité des côtes, dans la mesure où ils répondent aux normes de l'OMI (§ 4.1.3.).
- 19 En navigation côtière, le progrès technique rend la radionavigation toujours plus facile, comme c'est par exemple le cas avec le GPS. Cependant cette facilité ne doit pas conduire à négliger les autres moyens, mais inciter à rechercher la sécurité par la redondance et le sens marin. Le navigateur doit en outre conserver à l'esprit que tout système externe à son propre navire est susceptible de lui faire défaut sans préavis : redondance et utilisation de moyens ne risquant pas de tomber en panne sont à rechercher pour la sécurité de la navigation.
- 25 On trouvera plus loin (§ 12.3.) quelques recommandations sur les précautions à prendre lorsque l'on utilise le système GPS ou tout autre système de précision équivalente pour se positionner. Ces recommandations sont précédées d'un court exposé sur la variété des systèmes géodésiques auxquels se rapportent les cartes.
- 31 Informations sur la propagation des ondes électromagnétiques et leur utilisation dans les systèmes de radionavigation : voir le sous-chapitre 20.2.

01 4.1.3. Normes d'exploitation de l'Organisation maritime internationale

- 07 L'exploitation simultanée de moyens de localisation autres que les systèmes par satellites (GPS, GLONASS) à des fins de vérifications périodiques à la mer, demeure la clef des navigations sûres et prudentes.
- 13 Les normes d'exploitation des systèmes mondiaux de radionavigation de l'OMI (*résolution A.953 [23]* du 26 février 2004) sont définies selon les trois catégories de navigation suivantes :
- navigation à l'entrée et aux abords des ports ainsi que dans des eaux côtières qui présentent un volume de trafic élevé et/ou un degré de risque important ;
 - navigation à l'entrée et aux abords des ports ainsi que dans des eaux côtières qui présentent un volume de trafic peu élevé et/ou un degré de risque moindre ;
 - navigation dans les eaux océaniques.
- 19 La précision absolue minimum (dans 95 % des cas) doit être de 10 m pour les catégories 1 et 2 définies ci-dessus et de 100 m dans les eaux océaniques.

01 4.2. Systèmes de positionnement par satellites

01 4.2.1. Généralités

- 07 Les **systèmes de positionnement par satellites** GPS et GLONASS se composent essentiellement de satellites à défilement dont la constellation englobe le sphéroïde terrestre. Leur couverture est normalement mondiale, continue et permanente. La position est obtenue par la mesure de distances aux satellites visibles par le mobile. Cette mesure de distance est rendue précise par la connaissance du code qui module la porteuse émise par le satellite et par la synchronisation des horloges du récepteur du mobile et des satellites. Les principes du codage des informations émises par les satellites assurent également la réception cohérente des informations adressées par chaque satellite reçu.
- 13 Les systèmes opérationnels ou en cours de développement sont les suivants :
- le **GPS**, développé et géré par le ministère de la défense des États-Unis (**DoD**) ;
 - le **GLONASS**, développé par la Fédération de Russie ;
 - **Galileo**, système de l'Union européenne en phase de réalisation.
- 19 Le système de navigation global par satellite (**GNSS**) a pour objectif d'intégrer l'ensemble des données de plusieurs systèmes simultanément (**GPS** + **GLONASS**, **GPS** + **Galileo**, etc.) pour améliorer le positionnement final, quel que soit le lieu et la configuration de réception.
- 25 Les positions calculées par les systèmes de positionnement par satellites se rapportent dans les cas du **GPS** et de **Galileo** au système géodésique mondial WGS 84 et dans le cas du **GLONASS** au système PZ-90.
- 31 La très grande précision de la position obtenue par ces systèmes est très souvent bien supérieure à celle avec laquelle la position des dangers immergés portés sur les cartes est connue (§ 12.3.2.).

01 4.2.2. Système GPS

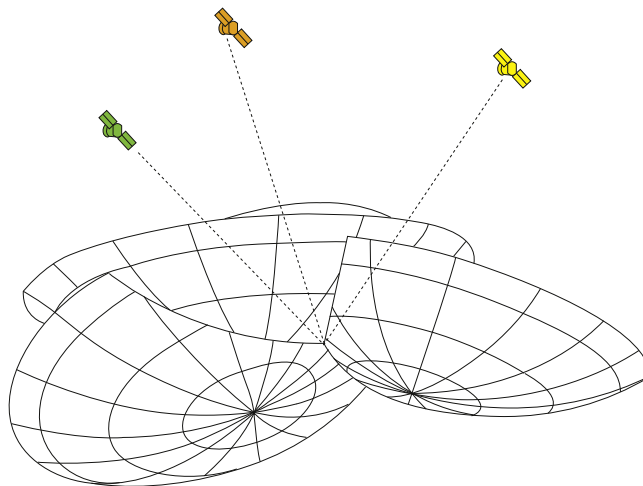
- 07 Informations techniques et pratiques détaillées : voir ouvrage *Radionavigation maritime*.
- 13 Le département de la défense des États-Unis, *Department of Defence* (**DoD**), est le maître d'œuvre du système **GPS (Global Positioning System)**, qui était autrefois appelé système GPS **NAVSTAR (Navigation Satellite Timing and Ranging)**.

01 4.2.2.1. Principe du système GPS et services accessibles

07 a) Description et principe du système GPS

- 13 Le système GPS comporte trois composantes fonctionnelles principales :
- un **secteur spatial** ou secteur d'émission, constitué d'une constellation de satellites, qui fournit les données descendantes pour l'exploitation ;
 - un **secteur utilisateur** ou secteur de réception et d'exploitation, constitué de l'ensemble des récepteurs embarqués sur les navires ;
 - un **secteur de contrôle** qui fournit les données montantes de contrôle et de suivi de la constellation.
- 19 **Principe du GPS : les distances mesurées entre un mobile et trois satellites de position connue situent ce mobile à l'intersection de trois sphères centrées sur les satellites et de rayon égal aux distances respectives.**
- 25 Trois satellites convenablement situés permettraient donc une localisation en trois dimensions (figure 4.2.2.1.) si l'horloge du navire qui sert à la mesure des distances était parfaitement synchronisée avec l'horloge des satellites : un quatrième satellite permet cette synchronisation.

31



4.2.2.1. — Principe du GPS.

37 b) Services accessibles

- 43 Le système GPS fournit directement deux niveaux de précision de localisation, selon les capacités de l'équipement utilisé :
- un service précis de positionnement, le service PPS (*Precise Positioning Service*), qui permet d'obtenir une précision horizontale de 20 m ou mieux. Le service PPS est réservé aux forces armées des États-Unis et aux utilisateurs autorisés par le DoD dans le cadre d'accords particuliers ;
 - un service standard de positionnement, le service SPS (*Standard Positioning Service*), qui est accessible et utilisable par le public. Le service SPS donne une précision horizontale de l'ordre de 100 m.
- 49 Une exploitation en mode différentiel améliorant la précision est possible à partir de stations d'observations indépendantes proposant des corrections dans une zone limitée pour les utilisateurs disposant d'un récepteur adapté.

01 4.2.2.2. Signal émis

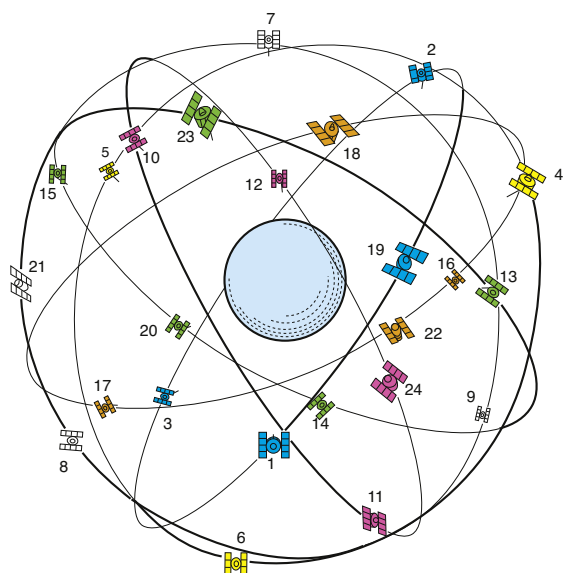
- 07 Tous les satellites émettent sur les mêmes fréquences $L1 = 1\,575,42$ MHz et $L2 = 1\,227,60$ MHz, mais chaque satellite module en phase ces porteuses par des signaux qui lui sont propres :
- le *code C/A* ou acquisition grossière (*Coarse Acquisition*), qui module uniquement la fréquence $L1$, sert à l'acquisition du satellite par le récepteur et à la mesure approchée de la distance. Combiné avec le **NAV-msg** il donne accès au service SPS ;
 - le *code P* (précision), qui module les deux fréquences $L1$ et $L2$, permet d'affiner la mesure de la distance. L'usage du code P, avec des dispositifs de protection contre la dégradation volontaire (SA, *Selective Availability*, disponibilité sélective) et contre le brouillage (A-S, *Anti-Spoofing*, anti-leurrage), constitue le service PPS ;
 - le *message navigation* (**NAV-msg**) diffuse à un débit binaire de 50 bit/s les éléments de calcul de la trajectoire du satellite et des satellites voisins. Il module les deux fréquences $L1$ et $L2$.
- 13 Le NAV-msg contient :
- les paramètres de correction d'horloge ;
 - les éphémérides du satellite transmettant le message (paramètres permettant de calculer à tout instant la position du satellite) ;
 - les paramètres du modèle de correction des effets ionosphériques ;
 - l'état de fonctionnement des satellites en orbite ;
 - les données d'almanach de l'ensemble de la constellation (paramètres permettant de calculer la position approchée de chaque satellite et de déterminer ainsi s'il est visible).

01 4.2.2.3. Organisation des satellites GPS

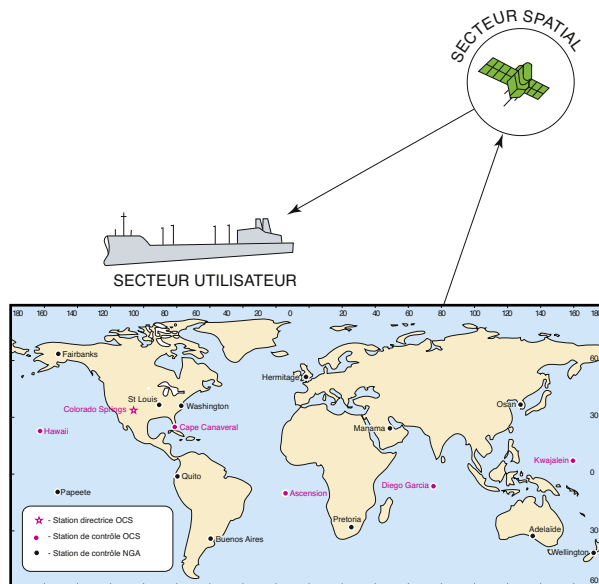
- 07 Le système est opérationnel dans sa configuration définitive et comprend au moins 24 satellites. Ces satellites sont répartis de façon optimale sur 6 orbites circulaires d'altitude 20 183 km, inclinées de 55° sur le plan équatorial, parcourues en 11 heures 58 minutes. Chaque satellite se maintient à sa position nominale grâce à son propre système de propulsion.

- 13 La géométrie de la constellation (figure 4.2.2.3.) a été conçue de telle sorte qu'il y ait en permanence un minimum de 4 satellites en vue.
- 19 Les trajectoires des satellites sont contrôlées par 5 stations à terre (des stations de la NGA complètent le dispositif de contrôle) qui reçoivent les signaux émis par les satellites en vue et les transmettent au centre de calcul de Colorado Springs. Celui-ci calcule les éventuels éléments de repositionnement d'orbite et les paramètres des horloges des satellites puis transmet ces données à des stations de chargement. Ces dernières transmettent à chaque satellite les éléments nécessaires à l'exploitation du système (éphémérides, corrections à apporter aux horloges, etc.).

25



Présentation schématique de la constellation GPS.



Implantation du secteur de contrôle.

4.2.2.3. — Organisation des satellites GPS.

01 4.2.2.4. Les récepteurs GPS

01 4.2.2.4.1. Généralités sur les récepteurs

- 07 Un récepteur GPS classique assure le décodage des signaux émis par les satellites et les exploite en particulier pour calculer la position, la vitesse et le temps. Les récepteurs assurent également des fonctions supplémentaires utiles à la conduite de la navigation.
- 13 Il y a plusieurs types de récepteurs dont les performances sont évidemment différentes : récepteur séquentiel à un seul canal de réception, récepteur à deux canaux de réception, récepteur à multiplexage à un ou deux canaux et récepteur multi-canaux.
- 19 Il est à noter que les récepteurs combinés GPS/GLONASS présentent des caractéristiques améliorées de disponibilité, d'intégrité, de précision et d'immunité au brouillage.
- 25 Pour de plus amples détails sur les récepteurs GPS, voir le sous-sous-paragraphe 3.1.9.2.2.

01 4.2.2.4.2. Calcul du point

- 07 Le récepteur compare le code C/A reçu d'un satellite avec celui qu'il a généré ; il en déduit le temps de parcours (DT) de l'onde et donc une distance entre le satellite et le récepteur qui est toutefois entachée d'erreurs (synchronisation imparfaite des horloges du satellite et du récepteur, retards ionosphériques, etc.), la **pseudo-distance**.
- 13 La pseudo-distance R est calculée par la formule $R = C \times DT$ où C est la vitesse de la lumière et DT le temps de propagation entre le satellite et le récepteur.
- 19 La détermination du point GPS nécessite au moins la mesure de pseudo-distance sur 4 satellites pour calculer les trois inconnues de position (latitude, longitude, altitude) et caler l'horloge du récepteur sur le temps GPS. Ce mode d'utilisation est appelé le **mode 3 D + T** (3 dimensions + temps).

- 25 La réception d'un ou plusieurs satellites supplémentaires accroît la confiance que l'on peut accorder au point calculé (mais pas forcément sa précision...).
- 31 Si le navigateur ne dispose que de 3 satellites, il peut encore obtenir sa position en latitude-longitude et l'heure GPS car il connaît son altitude (**mode 2 D + T**).

01 4.2.2.5. Exploitation du GPS en service standard

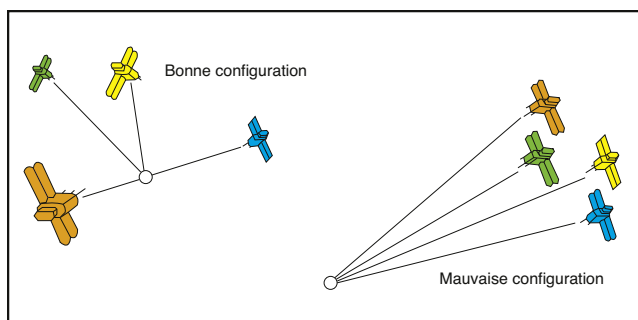
01 4.2.2.5.1. Performances

- 07 Les performances normales du système dépendent du code C/A, de l'état de la constellation et de la configuration géométrique des satellites reçus et des performances intrinsèques du récepteur (nombre de canaux, nombre de satellites reçus simultanément, optimisation ou non du calcul à partir du choix des satellites écoutés, etc.).

01 4.2.2.5.2. Couverture. Perte du signal et anomalies

- 07 La couverture est mondiale et continue. Cependant, en cas de panne d'un satellite, on peut ne plus avoir que trois satellites en visibilité pendant des durées de 30 minutes sur de larges zones. Les satellites sont également parfois mal disposés pour l'observateur (figure 4.2.2.5.2.), ce qui entraîne alors une moindre précision du point, jusqu'à rendre parfois le point inutilisable. Une forte dégradation géométrique de la précision peut ainsi être observée deux fois par jour dans certaines zones limitées, pour des durées de 5 à 30 minutes.
- 13 La probabilité d'avoir, en un point donné, quatre satellites en état de marche est évaluée à 95 % sur un an. L'intégrité du système n'est donc pas assurée à 100 %.
- 19 Liste des satellites en service : voir ouvrage *Radionavigation maritime*.

25



4.2.2.5.2. — Configurations diverses de satellites autour d'un observateur.

31 Perte du signal et anomalies dans certaines zones

- 37 Bien que la couverture du système GPS soit en théorie globale et permanente, des anomalies ont pu être observées. Mis à part les problèmes liés à l'état de la constellation et au masquage de l'antenne du récepteur, des problèmes de propagation peuvent survenir.
- 43 Ainsi, par exemple, des pertes du signal GPS durant plusieurs heures ont été signalées au large du Brésil ou de la côte Ouest de l'Afrique, de nuit et en été. Des bulles de plasma ionosphériques, faisant écran ou interférant avec les signaux radioélectriques, seraient à l'origine de ce phénomène. Elles se forment après le coucher du soleil entre octobre et mars (elles sont plus fréquentes de novembre à janvier), de préférence entre 21 h 30 et 02 h 00 ; elles sont plus fréquentes en période de forte activité solaire. Ce phénomène n'est pas limité au Brésil ni à la côte Ouest de l'Afrique, il peut apparaître dans d'autres zones tropicales.
- 49 Des pertes du signal ont également été signalées, sans explication, dans les zones suivantes :
- près de Liverpool, à l'entrée NW du Déroit de Menai ;
 - en Manche aux approches de Saint-Malo ;
 - en Méditerranée dans le Golfe du Lion, dans le Golfe de Gênes et dans la Baie de Naples ;
 - en Adriatique, à l'entrée de Rijeka (Croatie) ;
 - aux abords de Djibouti, dans le Golfe de Tadjourah ;
 - aux approches de Mina Salman (Barhein) ;
 - sur la côte Est des USA dans la Baie de Chesapeake.

01 4.2.2.5.3. Délai d'obtention du point initial

- 07 Selon les capacités intrinsèques des récepteurs, le délai d'obtention du point initial est de l'ordre de quelques minutes à 30 minutes au maximum et la cadence de calcul est inférieure à la seconde.

- 13 Cette durée d'initialisation dépend de l'entretien des paramètres du système (éphémérides des satellites et temps de référence), des capacités intrinsèques du récepteur et de la précision des éléments introduits par l'opérateur (position initiale, hauteur d'antenne).
- 19 Il est évident qu'un récepteur disposant d'informations récentes sur le système (NAV-msg et calage d'horloge), converge plus rapidement vers la solution.

01 4.2.2.5.4. Dispositif SA. Précision du système GPS en SPS

- 07 Le DoD s'est réservé la possibilité de dégrader volontairement à tout moment, éventuellement sans préavis, les performances du GPS en activant le dispositif de disponibilité sélective SA.
- 13 Le dispositif SA consiste à réduire la précision des éphémérides et à bruite l'horloge des satellites. Il affecte essentiellement la position fournie par le satellite sur sa trajectoire et donc l'élaboration des pseudo-distances par le récepteur. Ces erreurs volontaires qui s'ajoutent aux erreurs inhérentes au système sont imperceptibles pour l'utilisateur. Elles se confondent donc avec ces dernières et dégradent le calcul du point et de la vitesse.
- 19 Le dispositif SA est désactivé depuis le 1^{er} mai 2000.
- 25 La précision est affectée par deux facteurs principaux :
- les erreurs de mesure des distances satellite-récepteur ou **UERE** (User Equivalent Range Error), dont le bilan est de l'ordre de 8 à 12 m ;
 - la configuration géométrique des satellites, vus du récepteur, au moment de la mesure : ses effets sur la précision sont appelés dilution de précision géométrique ou **GDOP** (Geometric Dilution Of Precision), la **PDOP** (Position Dilution Of Precision) en est la composante sur la position en trois dimensions. On considère que la configuration géométrique est acceptable lorsque le **PDOP** est inférieur à 6.
- 31 La précision absolue est maintenant de l'ordre de 20 m dans la plupart des cas ; il faut toutefois rester prudent sur les résultats réels en raison de la dégradation possible du point obtenu (§ 4.2.2.5.5.).
- 37 Le GPS différentiel dont la précision est de 1 à 5 m conserve tout son intérêt pour bénéficier d'un positionnement de qualité garanti en toutes circonstances (§ 4.2.2.6.).
- 43 Il faut toutefois garder à l'esprit que, bien que la précision absolue du système en mode standard ait été améliorée, les problèmes d'exploitation du GPS avec la carte marine demeurent.

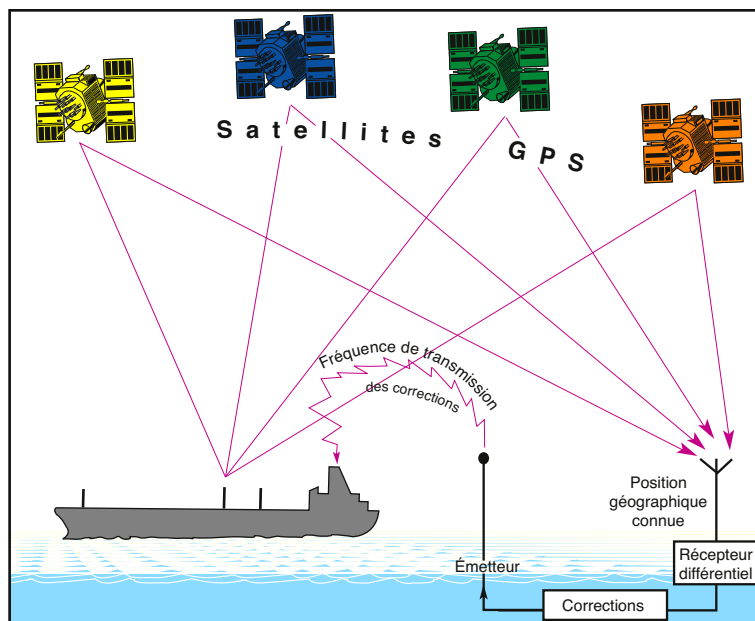
01 4.2.2.5.5. Causes possibles de dégradation du point

- 07 **La précision normalement offerte, de façon permanente et en tous points du globe, par le système GPS en service standard peut toutefois être altérée par un ou plusieurs des phénomènes suivants :**
- mise en œuvre momentanée et locale du dispositif SA par le DoD en raison d'un conflit ou de tests du système ;
 - masquage par le relief, des obstacles fixes ou flottants importants pour les satellites à basse élévation utilisés par le récepteur faute d'autre choix possible ;
 - masquage d'antenne ;
 - trajets multiples du signal qui peut être reçu après s'être réfléchi plusieurs fois et fausser ainsi la mesure de pseudo-distance (surtout sensibles à terre et en milieu urbain) ;
 - brouillage intempestif de l'environnement radioélectrique sur les fréquences d'émission des satellites ;
 - messages erronés transmis par un satellite défectueux avant que le secteur de contrôle n'ait pu prendre les mesures adaptées : il peut s'écouler plusieurs heures (avec un maximum de 6 ou 7 heures) en cas d'anomalie avant que l'information soit mise à jour.
- 13 Si le GPS apporte un confort remarquable au navigateur, il faut rester vigilant en particulier lors des atterrissages. Par ailleurs, comme pour tout autre moyen, les problèmes d'intégrité existent au niveau du segment spatial (défectuosité brutale d'un satellite) et au niveau du segment utilisateur (fonctionnement du récepteur).

01 4.2.2.6. GPS différentiel ou DGPS

- 07 Pour pallier les défauts du service standard de positionnement (SPS) – perturbations de propagation, risques d'avarie d'un satellite et dégradation volontaire de la précision par le DoD - le système **GPS différentiel** ou **DGPS** a été mis au point. Ainsi, le **DGPS** rend le GPS utilisable en chalutage ou en navigation portuaire, dans la mesure où la précision des cartes le permet (§ 12.3.2.).
- 13 Établie à terre en un lieu de position connue, une station GPS différentiel mesure les paramètres d'erreur affectant les signaux des satellites passant à sa portée, élabore les corrections et les retransmet par radio ou par satellite géostationnaire aux récepteurs des navires avoisinants qui corrigent automatiquement leurs propres mesures (figure 4.2.2.6.).

19



4.2.2.6. — Principe du GPS différentiel.

- 25 L'emploi du GPS différentiel avec corrections des pseudo-distances permet d'obtenir, même avec une dégradation volontaire (SA activé), une précision de 1 à 10 m jusqu'à plusieurs centaines de kilomètres de la station de référence, voire 2 000 km lorsque les corrections sont retransmises par satellite.
- 31 Les corrections transmises par émissions radio terrestres le sont le plus souvent sur les fréquences moyennes des radiophares maritimes utilisant la bande 285 – 325 kHz, avec une portée moyenne de 40 à 200 M et une portée maximale de l'ordre de 300 M. Le format de transmission internationalement reconnu des corrections GPS différentiel à partir des radiophares maritimes est le format **RTCM 104** (*Radio Technical Commission for Maritime Service special committee 104*).
- 37 D'autres systèmes DGPS, utilisant des satellites géostationnaires et conçus selon la technique du différentiel en zone étendue (**WADGPS** – Wide Area Differential GPS), sont opérationnels (**EGNOS**, **WAAS** et **MSAS**) ou en cours de développement. Les satellites transmettent des corrections précises élaborées par un important réseau de stations au sol. La précision atteinte sur de vastes zones est de l'ordre de 3 m en vertical comme en horizontal.

01 4.2.3. Système GLONASS

- 07 Le système GLONASS est présenté dans sa configuration nominale (24 satellites opérationnels) et les performances annoncées sont celles attendues du système pleinement opérationnel.
- 13 En juin 2010, 22 satellites étaient opérationnels.

01 4.2.3.1. Généralités

- 07 Analogue au GPS, le système **GLONASS** (*GLobal Orbitography NAVigation Satellite System*) a été développé et mis en œuvre par la Fédération de Russie. Sa couverture est mondiale. Le système offre normalement une plus grande précision que le système GPS, ainsi qu'une meilleure couverture des latitudes au Nord de l'Europe : le GPS privilégie les latitudes moyennes, le GLONASS les latitudes élevées. Le système GLONASS ne possède pas de dispositif semblable au SA.
- 13 Opérationnel depuis janvier 1996, il possède une constellation de 24 satellites évoluant à l'altitude de 19 100 km et situés sur trois plans orbitaux différents, ce qui correspond à une période orbitale de 11 heures 15 minutes. Dans chacun des trois plans orbitaux, huit satellites sont placés à 120° l'un de l'autre sur une inclinaison de 64,8° (inclinaison de 55° pour le GPS). L'inclinaison des plans orbitaux des satellites GLONASS, supérieure de près de 10° à celle des satellites GPS, est particulièrement intéressante aux hautes latitudes.

- 19 Comme le système GPS, le système GLONASS comporte trois secteurs, le secteur de contrôle, le secteur spatial et le secteur utilisateur. Le secteur de contrôle et le secteur utilisateur du GLONASS s'apparentent au GPS par leur usage et leur fonction.
- 25 Le système de temps sur lequel se base le système GLONASS est le [GLONASST](#), le système géodésique utilisé est le système PZ-90. Les paramètres de transformation des coordonnées PZ-90 en WGS 84 ne sont pas parfaitement connus mais l'écart serait, en moyenne, inférieur à 15 m.
- 31 Les précautions à prendre pour reporter une position GLONASS sur une carte sont identiques à celles décrites pour le GPS.

01 4.2.3.2. Le secteur spatial

- 07 Contrairement aux satellites GPS, les satellites GLONASS émettent chacun sur deux fréquences porteuses L1 et L2 différentes de celles des autres satellites en vue (si deux satellites émettent sur des fréquences identiques, ils sont placés aux antipodes sur leurs plans orbitaux).
- 13 Les fréquences L1 varient de 1602,5625 MHz à 1615,5 MHz par bonds de 0,5625 MHz, les fréquences L2 varient de 1246,4375 MHz à 1256,5 MHz par bonds de 0,4375 MHz.
- 19 Les fréquences L1 et L2 de chaque satellite sont modulées séparément ou simultanément par deux codes pseudo-aléatoires C/A (0,511 MHz) et P (5,11 MHz) :
 - L1 est modulée par les codes C/A et P pour l'ensemble des satellites ;
 - L2 n'est modulée que par P pour les satellites les plus anciens mais est également modulée par C/A pour les satellites GLONASS-M.

01 4.2.3.3. Le secteur utilisateur

- 07 Contrairement au GPS où chaque satellite a un code unique qui l'identifie, un seul code GLONASS est utilisé pour tous les satellites. Les récepteurs GLONASS dupliquent les codes P et/ou C/A, la durée de réception est déterminée par l'évaluation des corrections qui doivent être appliquées au code créé localement pour le synchroniser avec les codes reçus du satellite.
- 13 Chaque satellite GLONASS transmet des données de navigation à un débit de 50 bits par seconde. Le message de navigation fournit des informations sur l'état du satellite qui les émet et sur les autres satellites de la constellation.
- 19 Du point de vue de l'utilisateur, les informations les plus importantes dans l'émission d'un satellite GLONASS sont les paramètres de corrections d'horloge et la position du satellite (éphémérides). Les corrections d'horloge du GLONASS fournissent des données indiquant la différence entre l'horloge au césium de chaque satellite et le système de temps GLONASST (GLONASST = UTC + 3).

01 4.2.3.4. Précision du système

- 07 Le mode de fonctionnement du GLONASS est plus précis en code P qu'en code C/A car la fréquence du code P est 10 fois supérieure à celle du code C/A.
- 13 Le GLONASS offre, avec une probabilité de 99,7 %, des précisions horizontale de 50 à 70 m, verticale de 70 m, de vitesse d'environ 15 cm/s et de temps de l'ordre de 1 microseconde.
- 19 À l'instar du DGPS, il a été envisagé de développer un système différentiel, mais ce système n'a pas pour le moment (2011) dépassé le stade expérimental.

01 4.2.4. Système Galileo

- 07 Le projet [Galileo](#) constitue la phase II de la mise en place du [GNSS](#) européen (§ 4.2.5.), il s'inscrit dans le prolongement de la phase I ([EGNOS](#)). Il est le premier système de navigation et de positionnement par satellites spécifiquement conçu à des fins civiles.
- 13 Le système [Galileo](#) pourrait devenir opérationnel à partir de 2014.
- 19 Le système est présenté très succinctement ci-après. Pour de plus amples détails, voir l'ouvrage *Radionavigation maritime*.

01 4.2.4.1. Concept du système Galileo

- 07 **La composante spatiale, qui permettra d'assurer une couverture globale y compris aux hautes latitudes**, sera constituée d'une constellation de 30 satellites (27 actifs et 3 en secours) équirépartis sur 3 plans inclinés à 56° par rapport à l'équateur à l'altitude de 23 222 km.
- 13 Le concept est global, c'est-à-dire basé sur une distribution de signaux sur toute la surface terrestre avec plusieurs niveaux de services (§ 4.2.4.2.).

01 4.2.4.2. Les services de Galileo

- 07 Les services qui seront offerts par **Galileo** peuvent être répartis en cinq grands groupes.
- 13 Le service ouvert (OS – Open Service) : accessible à tout utilisateur équipé d'un récepteur, ce service fournira gratuitement des signaux pour la synchronisation et le positionnement. La précision de la position et la disponibilité du système seront supérieures à celle du GPS et de ses évolutions prévues mais ce service ne fournira pas d'informations d'intégrité calculées par le système. Les données du service ouvert concerneront essentiellement la navigation (éphémérides, almanach, temps, etc.) et le SAR.
- 19 Le service de sûreté de la vie (SoL – Safety of Life) : destiné aux applications de transport pour lesquelles des vies peuvent être menacées en cas de dégradation des performances, ce service sera caractérisé par la fourniture d'informations d'intégrité au niveau global. Un récepteur double fréquence sera nécessaire.
- 25 Le service commercial (CS – Commercial Service) : ce service permettra, entre autres possibilités, la détermination de la position avec une précision extrême ; il sera fourni, moyennant paiement d'une redevance, par des fournisseurs d'accès qui auront acheté à l'opérateur **Galileo** des droits d'utilisation des signaux cryptés.
- 31 Le service public réglementé (PRS – Public Regulated Service) sera utilisé par exemple par les services de secours, la police, le service des douanes, etc. ; il sera crypté et protégé du brouillage et du leurrage.
- 37 Le service de recherche et de sauvetage (SAR Service) remplira les tâches actuellement dévolues au système COSPAS – SARSAT avec une efficacité accrue. Ainsi, les appels de détresse seront reçus en temps quasi-réel, les alertes seront positionnées à quelques mètres près et le taux de fausses alertes sera considérablement réduit.

01 4.2.5. Système mondial de navigation par satellites (GNSS)

- 07 Le système global de navigation par satellites (**GNSS** : *Global Navigation Satellite System*) est un projet destiné à répondre aux besoins de la navigation aérienne (et maritime) pour laquelle ni le GPS ni le GLONASS ne peuvent constituer un moyen unique de navigation. L'intégrité, la disponibilité et la précision requises pour l'approche d'un aéroport et fournies par ces systèmes sont en effet actuellement insuffisantes.
- 13 Le développement du système global de navigation par satellites se déroule en deux phases, GNSS I et GNSS II.
- 19 Le GNSS I consiste à renforcer les capacités des systèmes GPS et GLONASS et vise à :
 – permettre l'utilisation combinée et complémentaire des deux systèmes ;
 – élargir l'exploitation du mode différentiel à partir d'infrastructures terrestres ;
 – diffuser sur de larges zones, par satellites géostationnaires, des informations différentielles recueillies par des stations à terre (WAD – Wide Area Differential) ;
 – maîtriser l'évolution de l'intégrité des deux systèmes et diffusion aux utilisateurs, en temps réel, des défaillances éventuelles.
- 25 Les systèmes satellitaires de renforcement, comme EGNOS pour l'Europe, WAAS pour les États-Unis, MSAS pour le Japon et GAGAN pour l'Inde correspondent à cette première phase de développement du GNSS. Ils permettent une meilleure précision du positionnement dans les zones couvertes par les satellites géostationnaires qui diffusent leurs données (intégrité, temps, corrections différentielles, etc.).
- 31 Le **GNSS II** est une phase de développement de systèmes complémentaires (pour l'Europe il s'agit du projet **Galileo**). Les informations fournies par ces nouveaux systèmes seront exploitées par des récepteurs fonctionnant en mode combiné (**GPS / GLONASS** et **Galileo** par exemple).
- 37 Le système **EGNOS** a été déclaré officiellement opérationnel en 2006. Il transmet, par l'intermédiaire de trois satellites géostationnaires, des corrections différentielles et des messages d'intégrité.
- 43 EGNOS améliore les performances des systèmes GPS et GLONASS en apportant trois services :
 – le service Ranging : les satellites géostationnaires transmettent un signal de mesure de distance identique à celui des satellites GPS et GLONASS ;
 – le service WAD qui améliore la précision par transmissions de corrections différentielles ;

- le service d'intégrité (GNSS Integrity Channel), qui fournit des informations sur la position précise des satellites GPS et GLONASS, la précision de leurs horloges et les erreurs liées aux perturbations ionosphériques.

⁴⁹ On trouvera dans l'ouvrage *Radionavigation maritime* une information détaillée sur le GNSS, notamment sur les projets, les avantages attendus et les contraintes d'exploitation.

01 4.3. Systèmes basés à terre

- 07 Des nombreux anciens systèmes basés à terre, seuls restent les systèmes LORAN C et Chaïka qui sont identiques et compatibles.
- 13 La **radiogoniométrie** de bord n'est plus utilisée, les radiophares ayant été quasiment tous arrêtés. Certaines stations terrestres côtières munies d'un radiogoniomètre, comme les sémaphores en France métropolitaine ou des coastguards, peuvent radiogoniométrer l'émission VHF d'un navire en détresse ou demandant assistance afin de lever le doute sur sa position et de faciliter son ralliement (volume 3). Ce service ne doit pas être utilisé comme un moyen de localisation en navigation courante, mais uniquement en cas d'urgence ou de danger.

01 4.3.1. LORAN C

- 07 Normalement utilisé en navigation au large, le LORAN C est également utilisable en navigation côtière car il fournit un point rapide et assez précis.

01 4.3.1.1. Principe

- 07 Une chaîne **LORAN C** (« **LO**ng **R**ange **N**avigation ») comporte une station maître et deux à cinq stations esclaves émettant successivement des trains d'impulsions sur une fréquence de 100 kHz. Le récepteur du navire mesure les intervalles de temps et les déphasages entre les impulsions reçues de deux stations et le navigateur en déduit un lieu de position hyperbolique.
- 13 Le système **Chaïka** est le frère jumeau russe du système LORAN C et il est compatible avec ce dernier.
- 19 On trouvera dans l'ouvrage du SHOM *Radionavigation maritime* les détails techniques concernant l'émission et l'exploitation du signal ainsi que l'état des chaînes.
- 25 Les récepteurs modernes (§ 3.1.9.3.) sont de véritables calculateurs de navigation qui, en particulier, affichent directement la position en latitude et longitude. Voir ouvrage *Radionavigation maritime*.

01 4.3.1.2. Performances du système

01 4.3.1.2.1. Portée et couverture

- 07 À la fréquence de 100 kHz, deux types d'ondes (§ 20.2.1.) sont simultanément générées :
- une onde de sol, très stable en portée normale ;
 - une onde de ciel, due à la réflexion sur les couches ionosphériques.
- 13 La **portée du LORAN C** est fonction de deux paramètres essentiels, la puissance des émetteurs et la sensibilité des récepteurs. Pour un récepteur classique, les ordres de grandeur de la portée sont les suivants :
- de jour : onde de sol : minimum de 500 milles et au maximum de 800 à 900 milles ; onde de ciel : jusqu'à 2 000 milles ;
 - de nuit : onde de sol : comprise entre 350 à 650 milles ; onde de ciel : de 1 500 à 3 000 milles.
- 19 La **couverture du système LORAN C** a été notablement réduite à la suite de l'arrêt définitif en 2010 des chaînes américaines et canadiennes et de la chaîne russo-américaine.

01 4.3.1.2.2. Précision

- 07 La **précision du LORAN C** dépend de :
- la distance aux stations, en raison du bruit de phase observé ;
 - la position du navire par rapport aux couples de stations (sensibilité des lieux, qualité géométrique du recoupement des hyperboles, forme et taille de l'ellipsoïde d'incertitude) ;
 - la prise en compte ou non des corrections de phase ;
 - l'heure d'écoute (jour, nuit, aube, crépuscule).
- 13 En onde de sol, si les corrections dues aux conditions de propagation ne sont pas appliquées, la précision est d'environ 0,5 M, ce qui est suffisant lorsqu'on navigue en zone côtière à plus de 2 M des dangers.
- 19 La précision peut atteindre 100 à 200 m si ces corrections sont appliquées. Ces corrections sont la correction de phase SF, pour un trajet uniquement maritime, et la correction de phase ASF, pour un trajet mixte terrestre et maritime (voir l'ouvrage *Radionavigation maritime*). Seules certaines chaînes, auxquelles il faut s'adresser directement, fournissent ces corrections, sous la forme de courbes d'égales valeurs (isolignes ASF).

25 En onde de ciel et en limite de portée nocturne à 2 000 milles des stations, la précision peut être estimée à 5 M si les corrections ne sont pas appliquées et à 1 M si elles le sont. L'exploitation de l'onde de ciel devient dangereuse aux abords des côtes.

01 **4.3.1.2.3. Ambiguïté**

07 Dans des conditions normales de réception, le système LORAN C est exploité sans ambiguïté (mesure sur des impulsions d'onde de sol).

13 Il peut arriver, lorsque le signal s'atténue qu'il y ait des sauts de cycle de 10 μ s (1, 2, voire 3), provoquant des erreurs de une à plusieurs longueurs d'onde : à la fréquence de 100 kHz. Le récepteur retrouvera automatiquement les valeurs de calage correct dès que la réception sera meilleure ; sur la plupart des récepteurs l'opérateur peut effectuer lui-même des « sauts » de retour à la bonne valeur de 10, 20, 30 μ s sur les valeurs affichées. Il faut être sûr de ces manipulations.

Pas de texte

Chapitre 5

INTRODUCTION À LA « E-NAVIGATION »

- 13 La « **e-navigation** » est un défi posé au monde maritime qui pourrait se résumer comme suit : comment porter la sécurité de la navigation commerciale maritime à un niveau comparable à celui de l'aviation commerciale civile ? En début 2011, il y a plus d'un ordre de grandeur entre les deux, au détriment du maritime.
- 19 D'importants travaux et études sur la « e-navigation » ont été menés et continuent de l'être sous l'égide de l'**AIMS** et sous celle de l'**OMI** (volume 3). La mise en œuvre de la « e-navigation » pourrait débiter à partir de 2012.
- 25 Le présent chapitre est appelé à évoluer car il n'est qu'une présentation succincte de la « e-navigation » et de ce qu'elle peut apporter.
- 31 Les informations contenues dans le présent sous-chapitre proviennent de documents de l'**OMI**, notamment les documents intitulés :
– Stratégie relative à l'élaboration et à la mise en œuvre de la « e-navigation » ;
– Élaboration d'un plan de mise en œuvre de la stratégie en matière de « e-navigation » : architecture.
- 37 Nota SHOM : en l'absence de traduction officielle par les organismes concernés (Académie de Marine notamment), le terme anglais e-navigation est repris mais entre guillemets afin de souligner que ce n'est pas un terme français. Le terme anglais ne peut en effet être traduit par navigation électronique (§ 12.2.2.) qui consiste à naviguer avec une carte marine électronique visualisée par un **ECDIS** (ou un **ECS**) couplé à un système de radionavigation de grande précision, permettant ainsi de faire apparaître de façon continue et instantanée la position du navire.

01 5.1. La stratégie de la « e-navigation »

01 5.1.1. Définition et objet de la « e-navigation »

- 07 La « e-navigation » est la collecte, l'intégration, l'échange, la présentation et l'analyse harmonisés de renseignements maritimes à bord et à terre par voie électronique dans le but d'améliorer la navigation quai à quai et les services connexes, la sécurité et la sûreté en mer ainsi que la protection du milieu marin.
- 13 Elle a pour objet de répondre aux besoins actuels et futurs des utilisateurs grâce à l'harmonisation des systèmes de navigation maritime et des services d'appui à terre.

01 5.1.2. La vision de la « e-navigation »

- 07 La « e-navigation » comprend trois volets : bord, terre et communications.
- 13 Les domaines dans lesquels elle pourra fournir des services sont les suivants : opérations portuaires ; opérations dans les eaux côtières ou resserrées ; voyages transocéaniques ; opérations au large et opérations dans les zones arctiques, antarctiques et reculées.

01 5.1.2.1. Résultats escomptés à bord

- 07 Les résultats escomptés sont de disposer de systèmes de navigation tirant parti de l'intégration des capteurs du navire porteur, des informations à l'appui, d'une interface utilisateur normalisée et d'un système complet de gestion des zones de garde et des alertes.
- 13 Les éléments de base d'un tel système incluront la participation active du navigateur au processus de navigation afin que la navigateur s'acquitte de ses obligations de manière aussi rationnelle que possible, tout en empêchant distraction et surcharge de travail.

01 5.1.2.2. Résultats escomptés à terre

- 07 Les résultats escomptés sont de renforcer la sécurité et l'efficacité des navires.
- 13 Il faut pour cela obtenir une meilleure gestion du trafic des navires et des services connexes depuis la terre en améliorant la fourniture des données, la coordination et l'échange de données complètes dans des formats plus facilement compris et utilisés par les opérateurs à terre.

01 5.1.2.3. Résultats escomptés pour les communications

- 07 Les résultats escomptés sont de disposer d'une infrastructure assurant le transfert autorisé harmonieux des informations à bord du navire, entre les navires, entre le navire et la terre et entre les autorités à terre et les autres parties concernées.

01 5.1.3. Avantages de la « e-navigation »

- 07 Les principaux avantages de la « e-navigation » sont les suivants :
- renforcement de la sécurité en favorisant l'application de normes en matière de sécurité de la navigation ;
 - meilleure protection de l'environnement ;
 - accroissement de la sûreté en permettant aux acteurs à terre d'effectuer leurs activités de surveillance et de contrôle en mode silence ;
 - accroissement de l'efficacité (par exemple par la réception et la prise en compte des informations utiles à la navigation) et réduction des coûts (par exemple par l'optimisation des routes suivies) ;
 - amélioration de la gestion des ressources humaines en consolidant l'expérience et le statut de l'équipe à la passerelle.
- 13 Par exemple, il est prévu de ne saisir qu'une seule fois les renseignements statiques et dynamiques concernant le navire, la cargaison, l'équipage, les autorités autorisées ayant ensuite accès à ces renseignements sans autre intervention du navire.

01 5.2. Besoins des utilisateurs. Architecture de la « e-navigation ». Fonctions

- 07 La « e-navigation » est fondée sur les besoins des utilisateurs (à bord et à terre) et ses principaux éléments stratégiques sont les suivants : architecture conceptuelle, élément humain, convention et normes, détermination de la position, systèmes de communication et d'information, cartes électroniques de navigation (ENC), normalisation et évolution des équipements.
- 13 Des exigences de performance en termes de qualité, disponibilité, continuité, intégrité, couverture, défense contre les actes malveillants, etc., restent à définir.
- 19 Les besoins des utilisateurs qui sont d'une importance primordiale, constituent l'élément moteur du concept de la « e-navigation ». Aussi, il est prévu de vérifier et mettre à jour ces besoins tout au long du processus de mise en œuvre de la « e-navigation ».
- 25 La mise en place de la « e-navigation » exige l'interopérabilité des éléments techniques, la normalisation des échanges d'information et l'automatisation. De nouvelles fonctions et de nouvelles procédures sont donc à intégrer dans celles qui existent déjà. Au cours du processus de mise en œuvre, les nouveaux éléments, rôles, fonctions et procédures doivent être compatibles avec ceux existant déjà. La sensibilisation, la formation et la familiarisation adéquates de tous les opérateurs concernés sont primordiales.

01 5.2.1. Besoin des utilisateurs

01 5.2.1.1. Recensement des besoins des utilisateurs

- 07 La méthode utilisée pour cerner les besoins évolutifs des utilisateurs fait appel à des modèles pour définir les besoins spécifiques des utilisateurs en s'appuyant sur les aspects relatifs à la collecte, l'intégration, l'échange, la présentation, l'analyse et l'élément humain harmonisés pour l'ensemble des utilisateurs.
- 13 Les renseignements détaillés recueillis ont permis de mener une analyse qui a débouché sur l'identification des besoins génériques de niveau élevé des utilisateurs à bord des navires et des utilisateurs à terre. Il sera peut-être nécessaire de définir les besoins des utilisateurs avec plus de précision dans le cadre du plan de mise en œuvre.

01 5.2.1.1.1. Structure commune de données/renseignements maritimes

- 07 Les navigateurs ont besoin de renseignements relatifs à la planification et l'exécution des voyages, l'évaluation des risques relatifs à la navigation et le respect des réglementations. L'objectif est de disposer de ces renseignements depuis un seul et unique système intégré.
- 13 Les utilisateurs à terre ont besoin de renseignements relatifs à leur domaine maritime, notamment des renseignements statiques et dynamiques sur les navires et leurs voyages. Ces renseignements seront communiqués selon une structure commune de données convenue au niveau international. Ce type de structure est essentiel pour le partage des informations entre les autorités à terre au niveau régional et international.

01 5.2.1.1.2. Fonctions de diffusion des renseignements automatisées et normalisées

- 07 La « e-navigation » comportera des fonctions de diffusion de renseignements automatisées et normalisées afin d'optimiser la communication des renseignements sur les navires et les voyages. Sont notamment concernés les renseignements liés à la sécurité transmis vers la terre et vers les bords ainsi que les renseignements relatifs à la sûreté et à la protection de l'environnement, qui sont à communiquer à tous les utilisateurs.
- 13 La diffusion des renseignements requis sera automatisée ou préparée à l'avance dans la mesure du possible, aussi bien en ce qui concerne le contenu que la technique de communication. L'échange de renseignements prévu harmonisé et simplifié permettra de réduire les besoins en matière de transmission d'informations. Les questions relatives à la sûreté, ainsi que les questions juridiques et commerciales, devraient être prises en compte dans le cadre de l'examen des besoins de communications.

01 5.2.1.1.3. Efficacité et fiabilité des communications

- 07 Les utilisateurs à bord des navires et à terre doivent disposer de moyens de communications fiables et efficaces. Les utilisateurs à terre ont besoin de moyens efficaces de communication avec les navires pour assurer la sûreté, la sécurité et la protection de l'environnement et fournir des renseignements exploitables.

- 13 Pour être efficace, les communications avec et entre les navires doivent utiliser au mieux les aides audiovisuelles et les phrases normalisées afin de réduire au minimum les difficultés linguistiques et les causes de distraction des opérateurs.

01 5.2.1.1.4. Exigences en matière de présentation des données axées sur l'élément humain

- 07 La présentation des données de navigation est à concevoir de manière à indiquer clairement les risques et à optimiser l'aide à la prise de décision. Il est nécessaire de prévoir un système de gestion des alertes intégré comme celui mentionné dans les nouvelles normes des systèmes de navigation intégrés. L'utilisation des systèmes d'aide à la décision proposant des réponses à certaines alertes et l'intégration des alertes relatives à la navigation à bord des navires dans le cadre d'un système de gestion d'ensemble des alertes du navire sont nécessaires.
- 13 Les utilisateurs ont besoin de présentations et d'une fonctionnalité opérationnelle normalisées et cohérentes pour renforcer l'efficacité de la formation, la délivrance des certificats et la familiarisation normalisées à l'échelon international.
- 19 Les utilisateurs à terre ont besoin d'un affichage des données très souple et présentant à la fois une image commune de la situation opérationnelle et une image de la situation opérationnelle définie par l'utilisateur, avec des affichages en couches et/ou en tableaux.
- 25 Tous les affichages sont à concevoir de manière à limiter le risque de confusion et d'erreur d'interprétation lors de la communication de renseignements liés à la sûreté.
- 31 Les systèmes utilisés par la « e-navigation » seront conçus de manière à faire participer et à motiver l'utilisateur lorsqu'il gère sa charge de travail.

01 5.2.1.1.5. Interface homme-machine

- 07 L'accroissement du rôle joué par les systèmes électroniques impose la mise au point de fonctionnalités permettant d'une part, de saisir et de présenter les renseignements issus d'observations visuelles, d'autre part, de s'adapter aux connaissances et à l'expérience de l'utilisateur.
- 13 La présentation des informations à tous les utilisateurs doit viser à réduire les erreurs commises par une seule personne et à améliorer les opérations en équipe. Il est nécessaire d'appliquer des principes ergonomiques (présentation physique du matériel, utilisation de la lumière, des couleurs, de la symbolique et du langage).

01 5.2.1.1.6. Fiabilité des données et du système

- 07 Les systèmes de « e-navigation » doivent être résistants et tenir compte des aspects validité, plausibilité et intégrité des données afin d'être robustes, fiables et sûrs.
- 13 L'installation en double des équipements, notamment dans le cas des systèmes de localisation, est à envisager.

01 5.2.1.1.7. Analyse

- 07 Le but des systèmes de « e-navigation » est d'aider à prendre les bonnes décisions, d'améliorer la performance et d'empêcher les erreurs commises par une seule personne. À cet effet, les systèmes de bord doivent comporter des fonctions d'analyse aidant l'utilisateur à respecter les réglementations et la planification du voyage, à évaluer les risques et à éviter les abordages et échouements, notamment en calculant la profondeur d'eau sous quille et les tirants d'air.
- 13 Les systèmes à terre doivent servir à appuyer les analyses de l'impact sur l'environnement, la planification prévisionnelle des mouvements des navires, l'évaluation des dangers/risques, les indicateurs de notification et la prévention des incidents.
- 19 L'analyse des activités suivantes est également envisagée :
- intervention en cas d'incident et récupération ;
 - évaluation des risques et planification des interventions ;
 - mesures de protection de l'environnement ;
 - détection et prévention des incidents ;
 - atténuation des risques ;
 - préparation et gestion des ressources (des moyens, par exemple).

01 5.2.1.1.8. Questions relatives à la mise en œuvre

- 07 L'adoption des meilleures pratiques en matière de « e-navigation », la formation et la familiarisation de tous les utilisateurs à ses divers aspects doivent être efficaces et instaurées avant la mise en œuvre technique. La simulation sera utilisée pour établir les besoins de formation et évaluer son efficacité.
- 13 La « e-navigation » doit, dans la mesure du possible, permettre l'intégration des équipements obligatoires conformément aux prescriptions d'emport et aux normes de performance.

01 5.2.1.2. Besoins des utilisateurs à bord des navires (les navigateurs)

07 Les besoins des utilisateurs à bord des navires doivent répondre aux questions liées à l'interface homme-machine, à la présentation des renseignements reçus (et sélectionnés par l'utilisateur) et enfin aux questions liées aux aspects opérationnels.

01 5.2.1.2.1. Questions liées à l'interface homme-machine

07 Ces questions concernent les points suivants :

- améliorations ergonomiques (meilleure conception de l'agencement, du matériel et des systèmes des passerelles) ;
- interface normalisée (normalisation plus poussée des fonctionnalités des affichages de navigation) ;
- exigences en matière de familiarisation (livraison des appareils de sécurité avec le matériel de familiarisation spécifique au modèle et à l'installation).

01 5.2.1.2.2. Présentation des renseignements reçus à l'aide du matériel de communication qui peuvent être sélectionnés par l'utilisateur

07 Les navigateurs souhaitent une présentation sur leur écran de navigation des renseignements reçus par les différents moyens de communication (NAVTEX par exemple) et sélectionnés par eux (par exemple, navires en détresse, vitesse/direction des vents, statut des aides à la navigation, zones réglementées).

13 Ils souhaitent également pouvoir filtrer certaines données transmises selon des paramètres fixés par l'utilisateur (par exemple, renseignements provenant de zones maritimes choisies).

19 a) Renseignements sur la sécurité maritime (RSM). Affichage sur l'écran de navigation (ECDIS, ECS) et gestion à partir de cet écran des RSM (avertissements urgents de navigation par exemple) reçus sur les récepteurs NAVTEX et SafetyNET.

25 b) Gestion des alertes. Les alertes (alarmes en cas de situation critique, alarmes, avertissements et mises en garde) doivent pouvoir être coordonnées et évaluées. Elles doivent faciliter la prise de décisions sans causer de distraction inutile (une passerelle peut être équipée de plus de 500 alarmes, ayant trait aux systèmes de navigation, de propulsion, de cargaison et de communication).

31 c) Indication de la fiabilité. Les navigateurs souhaitent disposer de systèmes évaluant automatiquement la précision et l'intégrité des données hydrographiques, des données de localisation, des données radar et de celles provenant des autres capteurs du navire et présentant graphiquement cette évaluation.

01 5.2.1.2.3. Aspects opérationnels

07 Les besoins liés aux aspects opérationnels concernent les sujets indiqués ci-dessous.

13 a) Amélioration de la fiabilité. Les systèmes nécessaires à la « e-navigation » doivent être plus fiables que la plupart des systèmes actuels pour que celle-ci soit crédible. Actuellement, les navigateurs sont souvent confrontés à du matériel électronique défaillant ou défectueux. Les problèmes peuvent par exemple provenir du radar, du logiciel de l'ECDIS, des données AIS erronées, des alertes SMDSM ou de la perte des systèmes de localisation. Un taux de fiabilité de 99 % n'est pas suffisant, un problème pouvant alors survenir à l'occasion d'un voyage sur 100. Il en résulte que de nombreux navigateurs se méfient des systèmes électroniques et hésitent à s'en remettre à la « e-navigation ».

19 b) Comptes rendus normalisés et automatisés. Les navigateurs souhaitent vivement la réduction du nombre des comptes rendus navire/terre et l'adoption du principe de saisie unique des renseignements dans le système. Ils souhaitent également que les procédures et formulaires de comptes rendus soient normalisés à l'échelle internationale afin d'éviter la répétition des comptes rendus et de réduire la charge de travail.

25 c) Amélioration de la détection des cibles. Les navigateurs sont constamment préoccupés par l'identification des cibles telles que embarcations de plaisance et de pêche, pirates, épaves flottantes, glaces, etc. Tout ce qui peut améliorer la détection est donc le bienvenu.

31 d) Zones de garde. Les navigateurs souhaitent qu'il y ait davantage de zones de garde efficaces pour informer le personnel de quart des risques d'abordage et d'échouement.

37 e) Réduction de la charge administrative et recours accru aux documents électroniques. Les utilisateurs demandent la réduction du nombre des tâches administratives à effectuer à bord des navires. Ils demandent également, afin d'avoir plus facilement accès à l'information, de disposer d'une version électronique des renseignements et des documents existant sur papier.

43 f) Mise à jour automatique des données et documents de référence, des cartes marines électroniques et des ouvrages nautiques notamment. Les navigateurs sont tenus d'utiliser un nombre important de publications permettant la planification du voyage et au contrôle de l'exécution de la traversée : cartes, *Instructions Nauti-*

ques, *Livre des Feux, ouvrages de radiosignaux*, etc. Actuellement, les navigateurs sont souvent confrontés à du matériel électronique défaillant ou défectueux. Les problèmes peuvent par exemple provenir du radar, du logiciel de l'ECDIS, des données AIS erronées, des alertes SMDSM ou de la perte des systèmes de localisation. Un taux de fiabilité de 99 % n'est pas suffisant, un problème pouvant alors survenir à l'occasion d'un voyage sur 100. Il en résulte que de nombreux navigateurs se méfient des systèmes électroniques et hésitent à s'en remettre à la « e-navigation ». Les navigateurs souhaitent également que ces renseignements puissent être facilement consultés, triés et compris. Par contre, ils craignent d'être confrontés à trop d'information et submergés. Il est donc essentiel que les renseignements fournis dans le cadre de la « e-navigation » fassent l'objet d'une gestion et d'une présentation efficaces.

- 49 g) Efficacité et fiabilité des communications. Voir le § 5.2.1.1.3. Des solutions sont à trouver pour pallier les défaillances de matériel et pour remédier à l'occupation des voies de communication occupées.

01 5.2.1.3. Besoins des utilisateurs à terre et besoins des utilisateurs de l'autorité SAR

01 5.2.1.3.1. Les besoins des utilisateurs à terre

- 07 Les besoins concernent les domaines suivants :
- collecte des renseignements. Cette collecte est nécessaire afin d'acquérir une sensibilisation accrue au domaine maritime et de garantir la sécurité, la sûreté, la protection de l'environnement. Des décisions plus rapides et plus avisées pourront ainsi être prises ;
 - traitement des renseignements ;
 - communications de renseignements aux navires ;
 - assurance de la qualité ;
 - échange de renseignements côtière-côtière ;
 - efficacité et fiabilité des communications.

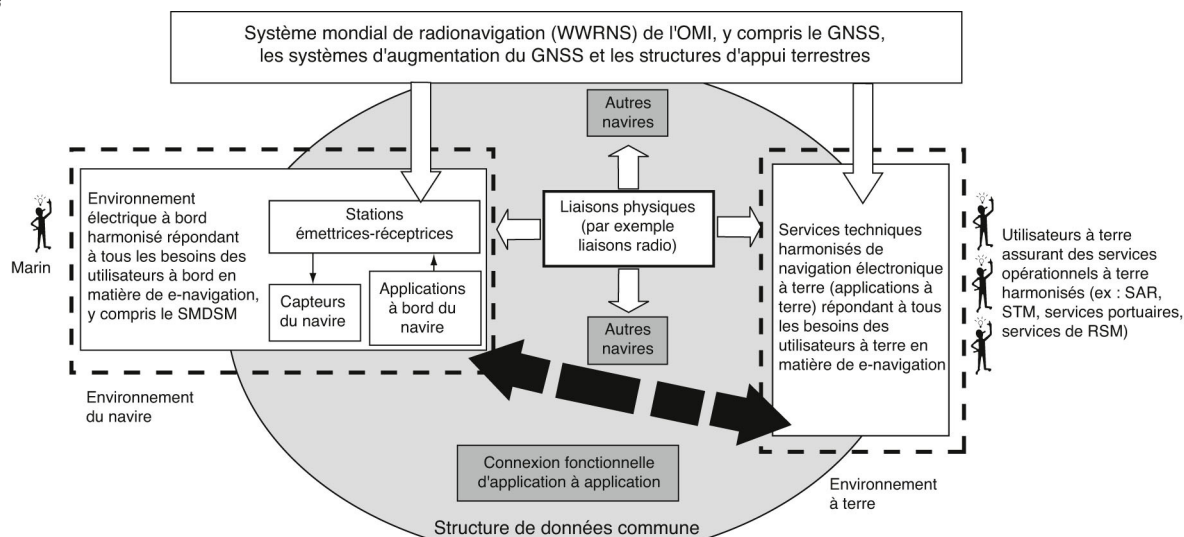
01 5.2.1.3.2. Besoins utilisateurs de l'autorité SAR en matière de « e-navigation »

- 07 Les services de recherche et de sauvetage (SAR) doivent avoir accès aux renseignements requis dans le domaine de la « e-navigation » : les services SAR ont besoin de disposer de tous les renseignements nécessaires concernant les navires dans le domaine de la sauvegarde de la vie humaine en mer.
- 13 Communications et échanges de renseignements efficaces. Les services SAR doivent pouvoir utiliser l'infrastructure de la « e-navigation » pour communiquer et échanger des renseignements d'une manière efficace avec toutes les parties qui interviennent en cas d'incident.
- 19 Priorité aux communication de détresse.
- 25 Les autorités SAR ont besoin d'avoir accès à des données détaillées sur tous les appareils en moyens de communication de bord pertinents. Pour optimiser l'intervention en cas d'incident, les services SAR ont besoin de pouvoir déterminer quel est le meilleur moyen de communication.

01 5.2.2. Architecture conceptuelle de la « e-navigation »

- 07 La figure 5.2.2. est une représentation de l'environnement de la « e-navigation » et fait bien apparaître les aspects « bord » et « terre » ainsi que les échanges entre eux grâce à une infrastructure de communications. Cette figure fait également apparaître que le système mondial de radionavigation (WWRNS) est une composante essentielle de la « e-navigation » : il fournit en effet les renseignements sur la position et la synchronisation pour l'ensemble du système.

13



5.2.2. — Architecture conceptuelle de la « e-navigation ».

- 19 Les dispositifs à prendre en considération dans l'environnement du navire sont la station émettrice-réceptrice, les capteurs et les applications reliés à cette station, le système de navigation intégré (INS) et le système de passerelle intégré (IBS). La fonction SMDSM a été incluse dans l'environnement du navire, avec une liaison directe avec la station émettrice-réceptrice et une liaison avec le WWRNS.
- 25 Une seule station émettrice-réceptrice est indiquée dans le schéma mais, dans la réalité, il pourrait en exister plusieurs. Elle a une interface avec les services techniques de « e-navigation » correspondants à terre, par l'intermédiaire de liaisons.
- 31 En ce qui concerne les services à terre, certains services techniques sont chargés de l'interface avec les services du navire.
- 37 Les opérateurs à terre, par exemple ceux qui animent les STM, les ports, les stations de pilotage ou les systèmes de recherche et sauvetage, s'acquittent de leurs tâches en concordance avec les applications existant à bord du navire. De leur point de vue, ce sont les liaisons fonctionnelles entre les applications de l'utilisateur à terre et les applications à bord du navire qui importent, comme la fourniture de renseignements sur la sécurité maritime (RSM). Il existe une structure analogue d'interactions pour les applications navire-navire et côtière-côtière, qui pourrait inclure, par exemple, des services météorologiques et océanographiques en temps réel ou quasi réel.
- 43 Les pilotes assurent également les mêmes interactions que les navigateurs avant de monter à bord et lorsqu'ils se trouvent à bord de navires dans des zones de pilotage.
- 49 Les liaisons fonctionnelles précitées sont également importantes car elles assurent l'efficacité des communications navire-navire, côtière-navire et navire-côtière.

01 5.2.3. Fonctions

01 5.2.3.1. Généralités

- 07 Dans la « e-navigation », le degré d'automatisation sera très poussé. Certaines fonctions pourront être automatisées, alors que d'autres continueront à être exercées par le biais d'interactions entre des personnes et des systèmes. Dans le contexte de l'aide à la décision, l'information sera utile dans la mesure où elle améliorera la prise de conscience de la situation et conduira ainsi le responsable à prendre des décisions et des mesures rationnelles.
- 13 Quatre domaines de fonctions ont été identifiés :
- les fonctions exercées à bord du navire – Responsabilités officielles du capitaine ;
 - les fonctions relatives au pilotage – Responsabilités du pilote ;
 - les fonctions relatives aux services de remorquage ;
 - les fonctions exercées à terre.

- 19 Ces différentes fonctions sont explicitées et divisées en fonctions secondaires ci-après, à l'exception de celles relatives au remorquage.

01 5.2.3.2. Fonctions exercées à bord du navire. Responsabilités officielles du capitaine

- 07 Dans son rôle, le capitaine est officiellement responsable de toutes les fonctions exercées à bord du navire. Bien qu'il délègue des tâches aux membres de l'équipage, par exemple à l'équipe à la passerelle, la responsabilité officielle continue de lui incomber. La délégation des tâches par le capitaine, par exemple à l'équipe à la passerelle n'est pas traitée dans ce qui suit.
- 13 Les fonctions de traitement de l'information assurées à la passerelle de navigation d'un navire ont été divisées en cinq fonctions secondaires. Ces cinq fonctions, elles-mêmes subdivisées en plusieurs fonctions, sont présentées très succinctement ci-après.

01 5.2.3.2.1. Appui et contrôle de la navigation

- 07 Assurer la navigabilité (vérification de la conformité du matériel et des systèmes de navigation aux prescriptions applicables à la traversée des zones maritimes dans lesquelles il est prévu de naviguer, vérification de la tenue à jour des cartes et ouvrages nautiques, etc.).
- 13 Utiliser les services d'information à terre (services de fourniture des cartes marines, services de publications nautiques, services de renseignement sur la sécurité maritime, etc.).
- 19 Établir et mettre à jour le plan du voyage.
- 25 Établir le plan de la traversée en collaboration avec le pilote.
- 31 Coordonner les services de pilotage, de remorquage et à terre.

01 5.2.3.2.2. Sécurité de la navigation

- 07 Appréhender la situation et en rester conscient (évaluer les conditions de navigation, identifier les repères importants pour la navigation, évaluer les renseignements fournis par les cartes marines, évaluer le plan du voyage, évaluer la route et la vitesse du navire, évaluer les conditions du trafic, déterminer la position du navire, déterminer la profondeur d'eau sous quille).
- 13 Évaluer les risques que présente la navigation (évaluer la vigilance du navigateur, évaluer les questions de sécurité de la navigation qui apparaissent dans le plan du voyage, évaluer les risques d'abordage, évaluer les risques d'échouement, gérer les alarmes).
- 19 Observer et analyser les renseignements disponibles.
- 25 Décider des mesures à prendre (prendre des décisions quant à la manœuvre, prendre des décisions quant aux fonctions d'appui et de contrôle, décider de la mise à jour du plan du voyage, décider des mises à jour du plan de la traversée en coopération avec le pilote).
- 31 Diriger les manœuvres du navire.

01 5.2.3.2.3. Gestion de l'information

- 07 Gérer les renseignements provenant des systèmes et capteurs de bord (recueillir les données sur la position du navire, recueillir les données des capteurs relatives à la sécurité et à la sûreté, recueillir les renseignements sur l'état de l'arrimage de la cargaison, recueillir les renseignements sur l'état du moteur, fournir les renseignements aux fonctions concernées).
- 13 Gérer les renseignements relatifs à l'équipage.
- 19 Gérer les renseignements relatifs à la cargaison (marchandises dangereuses, déchets).
- 25 Gérer les renseignements relatifs à la construction du navire.
- 31 Gérer l'ensemble des certificats.
- 37 Gérer les comptes rendus du navire (comptes rendus obligatoires, rapports volontaires, échange de renseignements sur la sécurité du chargement et du déchargement).
- 43 Mettre les renseignements provenant des services d'information à terre à la disposition des fonctions concernées.

01 5.2.3.2.4. Appuyer la gestion des événements et des situations d'urgence

- 07 Gérer une situation d'urgence à bord d'un autre navire (échanges avec MRCC, participer à des opérations SAR, etc.).

- 13 Appuyer la gestion d'un événement ou d'une situation d'urgence à bord de son propre navire (évaluer la situation et décider des mesures à prendre, rendre compte de la situation au MRCC compétent, prévention des accidents, gestion d'une situation d'urgence, etc.).
- 19 Appuyer la conduite de l'enquête (enregistrer les données du voyage, au moyen d'un VDR par exemple).

01 **5.2.3.2.5. Appuyer la sûreté maritime**

- 07 Établir le plan de sûreté du navire.
- 13 Définir le degré de sûreté.
- 19 Constater une menace pour la sûreté.
- 25 Envoyer une alerte de sûreté.

01 **5.2.3.3. Fonctions relatives au pilotage. Responsabilités du pilote**

- 07 Les fonctions relatives au pilotage et aux responsabilités du pilote sont les suivantes :
 - faire le nécessaire en vue du pilotage (obtenir la demande de pilotage, obtenir des renseignements sur le navire ; établir le projet de plan de la traversée) ;
 - procéder au pilotage (convenir avec le capitaine du contenu de la fiche de pilotage, obtenir des renseignements en temps réel sur les conditions de la traversée, échanger avec le capitaine les renseignements pertinents, obtenir du capitaine des renseignements sur la situation, convenir avec le capitaine du plan de traversée, appuyer la sécurité de la navigation, refuser de piloter lorsqu'il y a danger pour la sécurité de la navigation ou l'environnement, signaler les événements ou accidents aux autorités).

01 **5.2.3.4. Fonctions exercées à terre**

- 07 Les fonctions de la « e-navigation » à terre sont liées aux fonctions générales suivantes :
 - planification de l'utilisation des chenaux (élaboration d'une politique de régulation du trafic) ;
 - services du trafic maritime ([STM](#)) ;
 - appui des opérations portuaires ;
 - gestion des situations d'urgence.

01 **5.2.3.4.1. Planification de l'utilisation des chenaux**

- 07 Établir les zones d'action de la régulation du trafic maritime.
- 13 Élaborer les règles applicables à l'organisation du trafic maritime.
- 19 Élaborer des règles en vue du pilotage obligatoire.

01 **5.2.3.4.2. Services du trafic maritime**

- 07 a) Surveiller la haute mer :
 - identifier les navires de l'État du pavillon ;
 - identifier les navires faisant route vers l'État du port ;
 - identifier les navires se trouvant dans une zone qui relève de la responsabilité de l'État côtier.
- 13 b) Gérer les [STM](#) :
 - surveiller la situation du trafic (obtenir des renseignements sur les conditions et les gérer, évaluer les conditions environnementales, surveiller le trafic et évaluer sa situation) ;
 - fournir des services d'information (avertissements de navigation et bulletins et avertissements météorologiques, renseignements sur la navigation, le trafic et la route, renseignements sur les aides à la navigation, renseignements hydrographiques, etc.) ;
 - assurer des services d'organisation du trafic ;
 - assurer des services d'assistance à la navigation (conseils, instructions de navigation) ;
 - gérer un événement (repérer et enquêter sur un événement, l'évaluer, le gérer).
- 19 c) Gérer les renseignements de suivi.
- 25 d) Exploiter un système de comptes rendus de navires (gestion du transfert de renseignements aux autorités) :
 - échanger des renseignements avec les autorités compétentes ;
 - changer des renseignements sur une situation d'urgence.

01 **5.2.3.4.3. Appui des opérations portuaires**

- 07 Accostage, amarrage, écluses, etc.

13 Coordination du chargement et du déchargement (questions de sécurité).

Chapitre 6

MÉTÉOROLOGIE

01 6.1. Généralités

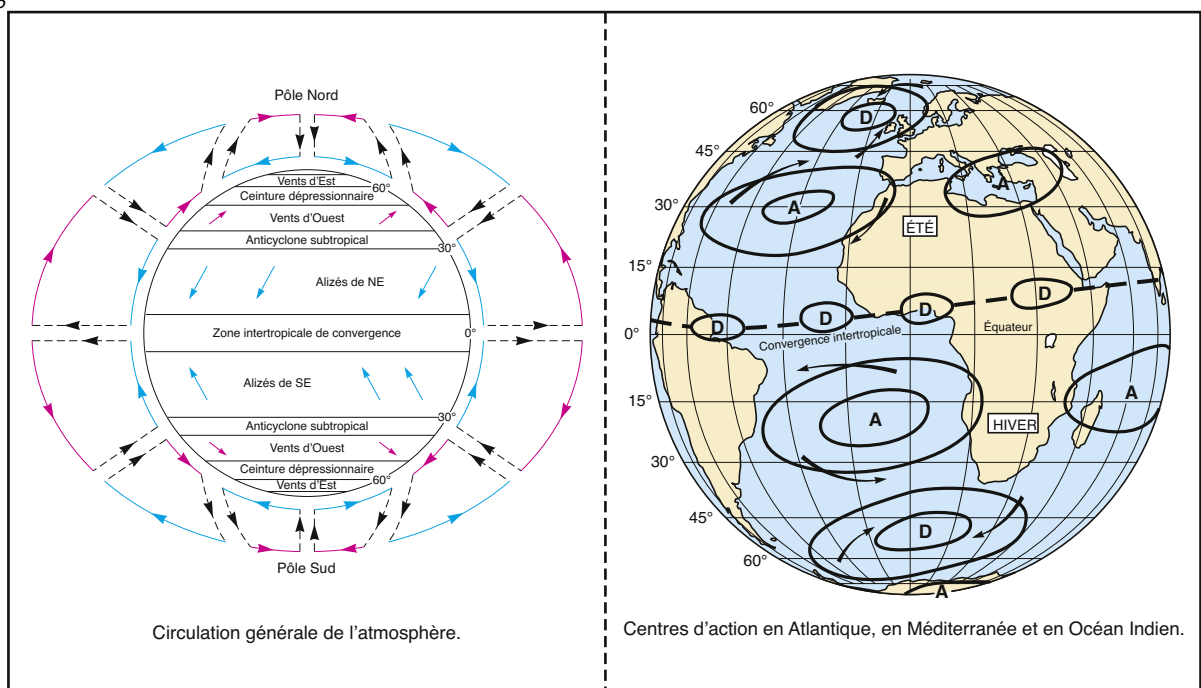
- 07 Il convient de se reporter à l'ouvrage *Météorologie maritime* pour obtenir des précisions sur les notions de météorologie maritime dont le présent chapitre ne constitue qu'une approche.
- 13 Des centres de météorologie à terre, le navigateur peut recevoir des analyses de situation et des prévisions à court et moyen terme qui lui permettent de prendre à bon escient des décisions concernant sa navigation (chapitre 18).
- 19 Le navigateur est invité à participer à la collecte de l'information météorologique et à sa transmission vers les centres à terre (volume 1).

01 6.2. Les grands mouvements de l'air

01 6.2.1. Circulation générale de l'atmosphère

- 07 Les rayons du soleil frappent verticalement la zone équatoriale et tangentiellement les zones polaires. Le soleil réchauffe donc plus l'équateur que les pôles. L'atmosphère contribue à diminuer ce déséquilibre thermique par convection : selon la théorie de la circulation générale de l'atmosphère, l'air réchauffé par le soleil près de l'équateur devient plus léger et s'élève, tandis que l'air froid dense plus près du pôle se met en mouvement pour remplacer progressivement l'air chaud ; l'ensemble de ces deux mouvements entretient une cellule convective.
- 13 En réalité la distance entre l'équateur et les pôles et la rotation de la terre induit la force déviante de Coriolis ; il existe plusieurs cellules convectives successives, avec une zone de haute pression vers 30° de latitude (anticyclone permanent subtropical) et une ceinture dépressionnaire subpolaire vers 60° (peut-être due aux masses océaniques qui réchauffent l'air et créent un mouvement ascendant de l'air).
- 19 Les variations annuelles de déclinaison du soleil provoquent un déplacement de cet ensemble complexe, vers le pôle durant l'été correspondant, vers l'équateur durant l'hiver, avec un retard de l'ordre de 6 à 8 semaines.

25



6.2.1. — Circulation générale de l'atmosphère et centres d'action.

01 6.2.2. Le vent

01 6.2.2.1. Définition

- 07 Le **vent** est le déplacement horizontal des particules d'air. Il est provoqué par l'inégalité des pressions qui règnent, à un instant donné, en des lieux différents.

01 6.2.2.2. Vitesse du vent

- 07 La vitesse ou force du vent est exprimée en nœuds ou en mètres par seconde ou selon l'échelle Beaufort (§ 20.1.). L'échelle Beaufort permet au navigateur une évaluation de la vitesse du vent en fonction de ses effets sur la mer ou sur un navire à voile.
- 13 Plus les isobares (lignes reliant les points d'égale pression atmosphérique) sont rapprochées, plus le vent est fort. L'ouvrage *Météorologie maritime* fournit une table indiquant en fonction de l'écartement des isobares et

de la latitude moyenne le vent géostrophique, vent théorique ne tenant pas compte des frottements. Le tableau 6.2.2.2., valable entre 40° et 60° de latitude, donne une valeur approximative de la force moyenne du vent réel rencontré sur mer.

19

Écartement des isobathes en milles (M)	Vitesse du vent en nœuds	Force Beaufort
20 hPa en 120 M	> 64	12 (Ouragan)
20 hPa en 150 M	56 à 63	11 (Forte tempête)
20 hPa en 180 M	48 à 55	10 (Tempête)
20 hPa en 240 M	41 à 47	9 (Fort coup de vent)
20 hPa en 300 M	34 à 40	8 (Coup de vent)
10 hPa en 180 M	28 à 33	7 (Grand frais)
10 hPa en 240 M	22 à 27	6
5 hPa en 150 M	17 à 21	5
5 hPa en 210 M	11 à 16	4
5 hPa en 270 M	7 à 10	3
5 hPa en 400 M	4 à 6	2

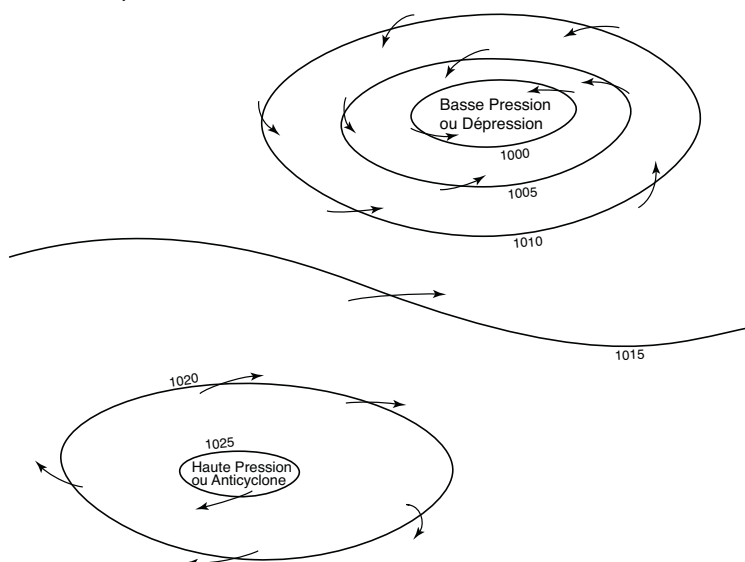
6.2.2.2. — Approximation de la force moyenne du vent réel.

- 25 Par rapport à ce tableau, le vent est renforcé de 1 à 2 Beaufort si le navire se trouve à proximité d'un centre de haute pression (anticyclone), si la température de l'air est très inférieure à celle de la mer (2 à 4 °C), si le relief terrestre proche (vallée, paroi abrupte) canalise le vent (cas du mistral par exemple), ou si la latitude est inférieure à 40°.
- 31 Par contre la force du vent est diminuée si les isobares entourent un centre de basse pression (dépression), si la température de l'air est très supérieure à celle de la mer ou si la latitude est supérieure à 60°.

01 6.2.2.3. Direction du vent

- 07 Le mouvement de l'air généré par le gradient de pression est dévié par la **force de Coriolis** (due à la rotation de la terre) vers la droite dans l'hémisphère Nord et vers la gauche dans l'hémisphère Sud : c'est pourquoi un observateur se plaçant face au vent a les basses pressions à sa droite et les hautes pressions à sa gauche dans l'hémisphère Nord (**loi de Buys-Ballot**). Sur mer, la direction du vent fait avec les isobares un angle de l'ordre de 15° vers les basses pressions.

13



6.2.2.3. — Direction des vents (hémisphère Nord).

01 6.2.3. Vents d'origine thermique

01 6.2.3.1. Phénomène de brise

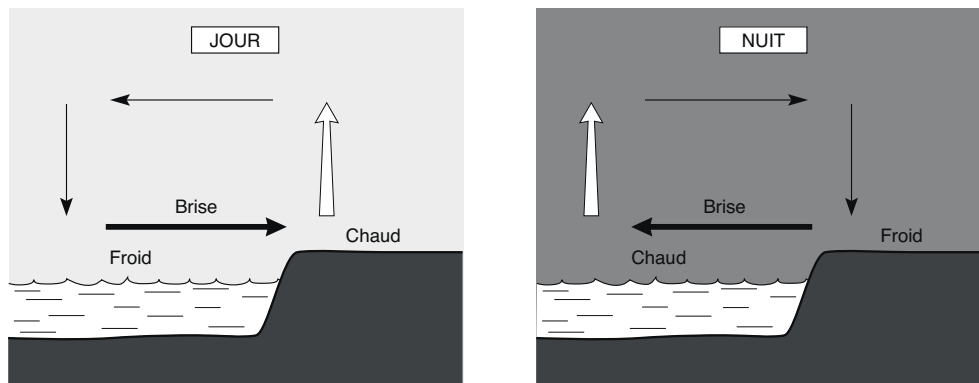
07 La terre s'échauffe et se refroidit beaucoup plus rapidement que la mer.

13 De jour par ciel clair, le sol relativement chaud réchauffe l'air des basses couches qui s'élève et est remplacé par de l'air plus froid donc plus dense provenant de la mer proche. C'est le phénomène de la **brise de mer**.

19 Durant la nuit au contraire le sol perd rapidement sa chaleur par rayonnement et devient un centre froid par rapport à la mer : cette répartition inverse des températures donne naissance à la brise de terre.

25 Le passage de la brise de mer à la brise de terre se produit, soit progressivement par une rotation lente, soit à la suite d'une période de calme. Le phénomène est sensible au plus jusqu'à 20 milles de part et d'autre de la côte et le vent produit qui peut atteindre 20 nœuds se combine éventuellement avec le vent dû au champ de pression général (§ 6.2.2.).

31



6.2.3.1. — Brise de mer et brise de terre.

01 6.2.3.2. Mousson

07 En zone subtropicale, dans les régions où les continents voisinent avec les océans, un phénomène de déséquilibre thermique, analogue au phénomène de brise décrit ci-dessus mais s'étendant sur un an et sur des continents entiers, se substitue à la circulation générale de l'atmosphère (§ 6.2.1.) : c'est le phénomène de la **mousson**, particulièrement typique en Asie méridionale et orientale.

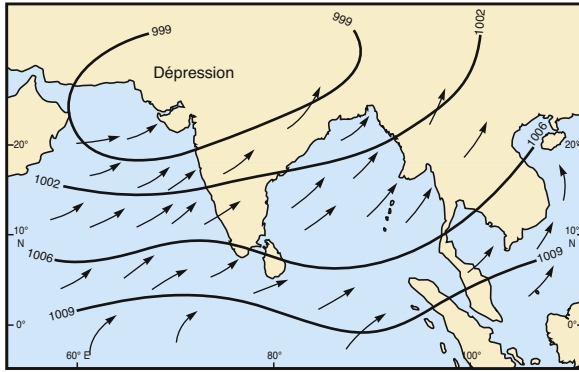
13 En été la terre surchauffée du Nord de l'Inde crée une zone dépressionnaire très accentuée qui provoque un flux très humide de secteur Sud et Sud-Ouest. Ce flux apporte des précipitations très abondantes sur les côtes de l'Asie du Sud et de l'Est entre juin et septembre.

19 En hiver s'établit sur les étendues glacées de Sibérie un puissant anticyclone thermique qui déclenche de novembre à mars la mousson du Nord ou mousson sèche, flux qui pénètre profondément en Océan Indien jusqu'à traverser l'équateur puis s'infléchir vers la gauche sous l'effet de la force de Coriolis.

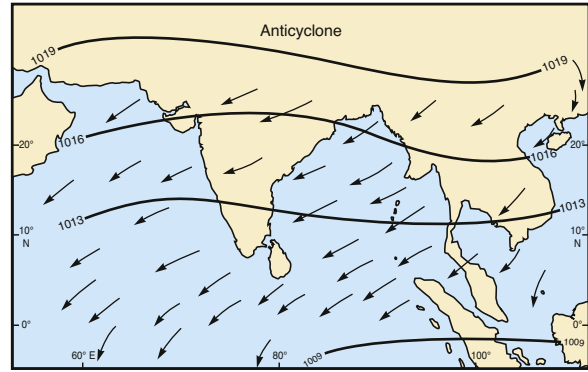
25 En un lieu donné, l'établissement de la mousson d'été (de SW) s'opère brutalement, en quelques jours. Mais, le long de la côte occidentale indienne, elle s'installe de façon très progressive, en l'espace d'un mois depuis le Sri Lanka jusqu'au Pakistan, approximativement entre le 1^{er} juin et le 1^{er} juillet. La date du début d'établissement de la mousson de SW est assez variable d'une année à l'autre.

31 Un phénomène de mousson analogue se rencontre dans le Golfe de Guinée, en Afrique Australe, en Amérique du Sud, au Sud-Est des États-Unis et en Australie.

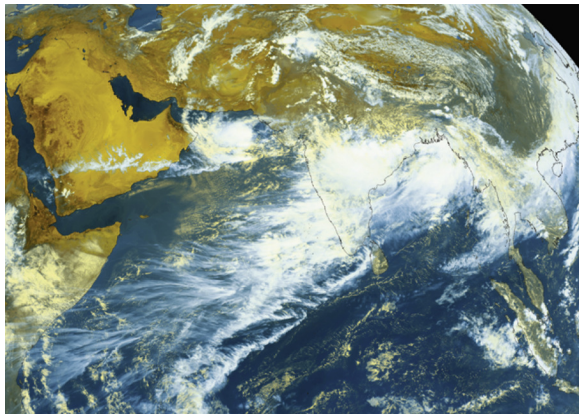
37



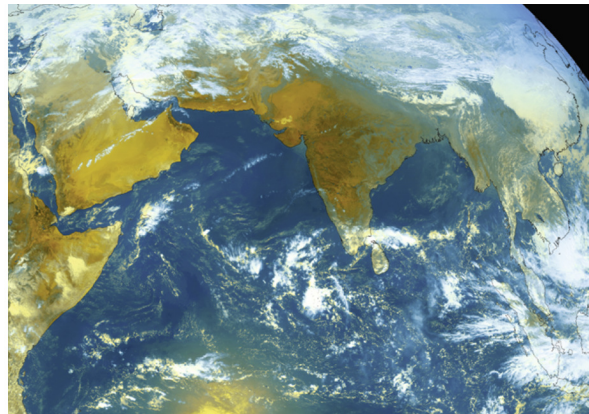
Mousson d'été



Mousson d'hiver



Mousson d'été (13 juin 2001)



Mousson d'hiver (5 décembre 2001)

6.2.3.2. — Moussons d'été et d'hiver sur l'Océan Indien Nord (images satellitaires de MétéoFrance).

01 6.2.3.3. Vent catabatique

07 Lorsque la côte est bordée par des montagnes ou des plateaux couverts de neige, l'air refroidi par le rayonnement thermique sur les sommets devient plus dense et dévale par gravité les pentes. Il souffle vers le large un vent pouvant atteindre 30 nœuds, voire 50 ou plus. Ce **vent catabatique** est observé au large du Groenland, de la Norvège, des Pyrénées orientales, en Adriatique, en Mer Noire et en Antarctique.

01 6.3. L'humidité

01 6.3.1. L'humidité dans l'atmosphère

- 07 Lorsqu'un mélange d'air et de vapeur d'eau se refroidit, son humidité relative augmente. À partir d'une certaine température appelée niveau de condensation ou **point de rosée**, le mélange est saturé et l'excédent de vapeur d'eau se transforme en gouttelettes d'eau au contact des noyaux de **condensation** que sont les impuretés de l'atmosphère. En se condensant, la vapeur restitue à l'air ambiant tout ou partie de la chaleur qu'elle avait emprunté à la surface de la mer lors de la vaporisation. Cette quantité de chaleur est égale à la **chaleur latente de vaporisation** qui est la chaleur que l'eau retire au milieu ambiant lorsqu'elle se transforme en vapeur d'eau.
- 13 Par ailleurs une particule d'air et de vapeur d'eau qu'on oblige à s'élever se détend, donc se refroidit. Tant qu'elle n'atteint pas le niveau de condensation, elle se refroidit de 1 °C par 100 mètres. Mais si elle dépasse ce niveau, l'excédent de vapeur d'eau se condense à mesure et libère de la chaleur, et le mélange ne se refroidit donc plus que de 0,6 °C par 100 mètres en moyenne. Les fines gouttelettes d'eau condensée peuvent rester en suspension (nuage ou brouillard) ou se regrouper en grosses gouttes ou en flocons qui tombent (pluie, neige ou grêle).

01 6.3.2. Les nuages

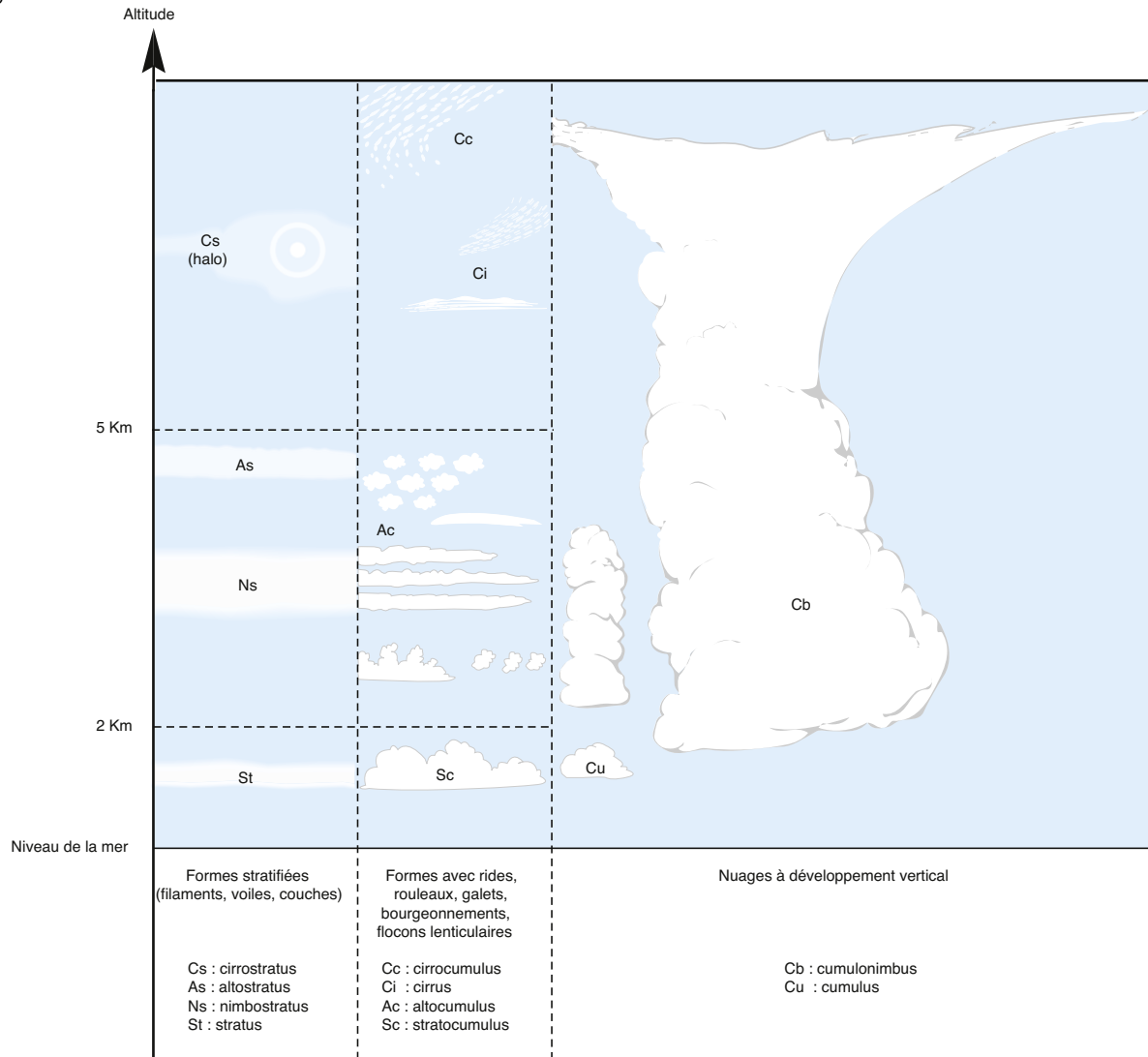
01 6.3.2.1. Généralités

- 07 Les nuages résultent de la condensation, en altitude, de la vapeur d'eau contenue dans l'air se refroidissant, par détente, lors d'une ascendance. Un nuage est un amas de gouttelettes d'eau et de petits cristaux microscopiques de glace. C'est un milieu en constante évolution, certaines gouttelettes s'évaporent ou précipitent, d'autres se forment à la suite de condensations nouvelles, certaines s'élevant sous l'effet d'un réchauffement ou d'une ascendance locale, d'autres retombant par gravité.

01 6.3.2.2. Classification des nuages

- 07 Les nuages sont nommés selon leur altitude et leur aspect :
- **Cirrus** (boucle de cheveux en latin) est un nuage du niveau supérieur. En zone tempérée, il se situe à une altitude de plus de 5 km ;
 - **Alto** (haut en latin) qualifie un nuage de niveau moyen, situé à une altitude comprise entre 2 et 5 km ;
 - **Stratus** est un nuage en couche horizontale plus ou moins épaisse et continue ;
 - **Cumulus** (amoncellement en latin) est un nuage à développement vertical ;
 - **Nimbo** (pluie en latin) qualifie un nuage porteur de pluie.

13

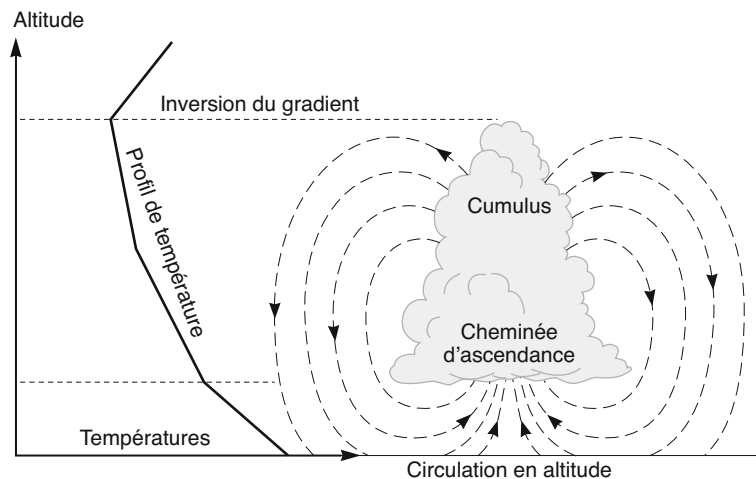


6.3.2.2. — Classification des nuages.

01 6.3.2.3. Formation des nuages

- 07 Les **nuages de convection** (cumulus, cumulonimbus) sont des nuages à développement vertical (figure 6.3.2.3.). Les nuages de convection apparaissent lorsqu'une masse d'air est réchauffée par sa base. Ces nuages sont le théâtre de courants verticaux parfois considérables.
- 13 Les nuages d'ascendance synoptique (nimbostratus, altostratus, cirrostratus) sont provoqués par la détente lente mais continue d'une masse d'air humide obligée à s'élever le long d'une surface frontale (§ 6.4.2.).
- 19 Enfin les **nuages orographiques** apparaissent lorsqu'un vent établi oblige une masse d'air à s'élever sur un relief terrestre. Un nuage orographique est généralement accroché au point culminant du relief.

25



6.3.2.3. — Formation d'un nuage de convection.

01 6.3.3. Le brouillard

- 07 Le **brouillard** (ou brume) est lui aussi dû généralement à la condensation de la vapeur d'eau lorsque de l'air humide au niveau de la mer subit un refroidissement. Lorsque la visibilité est inférieure à 1 km, on parle de brouillard, lorsqu'elle est comprise entre 1 et 5 km, on parle de **brume**.
- 13 Le **brouillard d'advection**, le plus fréquent en mer, se forme lors du déplacement d'une masse d'air chaud et humide sur une mer plus froide. Il est souvent persistant, ne se dissipant que lorsque disparaissent les causes qui l'ont fait naître.
- 19 Généralement, au large et dans l'hémisphère Nord, le brouillard d'advection est lié à un vent de secteur Sud. Il disparaît lorsque le vent vire au secteur Nord.
- 25 Le **brouillard de rayonnement** est un brouillard essentiellement terrestre qui se produit par ciel clair en fin de nuit lorsque le sol se refroidit par rayonnement thermique et refroidit par contact la couche d'air voisine. Poussé par la brise de terre, ce brouillard peut se propager en mer sous forme de bancs. Il se dissipe dès que le vent se lève ou que le soleil réchauffe l'air au-dessus du point de rosée.
- 31 Le **brouillard de mélange** apparaît si une masse d'air chaude, humide et stable est refroidie par mélange au contact d'une masse d'air également humide mais plus froide.
- 37 Le **brouillard de détente** se forme à proximité d'une côte lorsque l'air humide est soulevé par le relief sous l'action d'un vent de mer.
- 43 Un autre type de brouillard, le **brouillard d'évaporation** peut se rencontrer sur la mer. Le brouillard d'évaporation se forme lorsqu'un vent très froid passe au-dessus d'une mer relativement chaude ; l'eau de mer s'évapore puis condense immédiatement dans l'air froid. La mer semble fumer. Généralement peu épais, ce brouillard se rencontre dans les eaux subpolaires, ou en hiver dans les zones tempérées, en Manche ou en Mer du Nord ;
- 49 D'autres phénomènes peuvent altérer la visibilité sur mer, notamment la **brume sèche** qui est due à des poussières ou pollutions d'origine terrestre transportées par les vents parfois à grande distance. L'*harmattan*, sur les côtes du Golfe de Guinée, ou les *berg winds* sur les côtes de la Namibie, apportent des brumes sèches qui peuvent être particulièrement denses.

01 6.4. Masses d'air, fronts et perturbations

01 6.4.1. Les masses d'air

01 6.4.1.1. Propriétés des masses d'air

07 Des particules d'air séjournant de manière prolongée au-dessus d'une zone géographique au caractère climatique bien marqué, par exemple une terre couverte de glace ou de neige, une mer tropicale, un désert, etc., finissent par acquérir des caractéristiques semblables : même humidité, même température. Elles constituent alors un ensemble homogène appelé masse d'air.

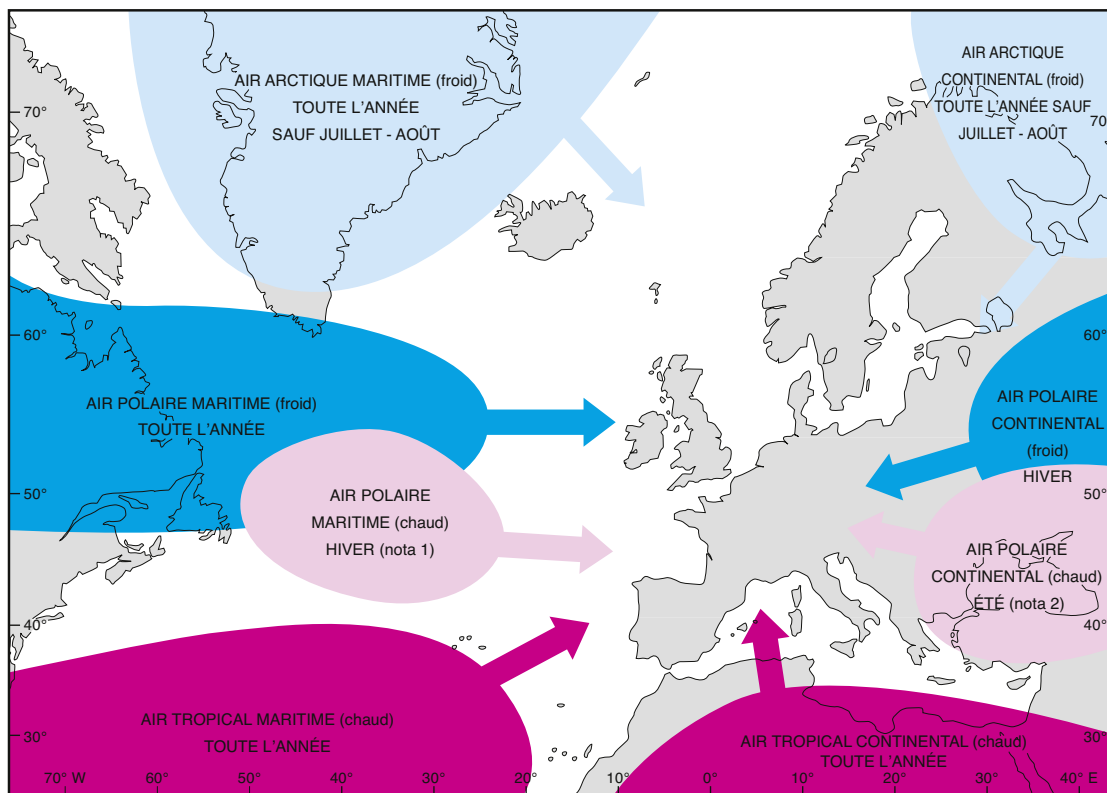
13 Lorsqu'une masse d'air se déplace au-dessus d'une surface dont les caractéristiques diffèrent de celle de sa région origine, elle se modifie progressivement.

19 Les propriétés d'une masse d'air à un moment donné dépendent donc de son origine et des influences qu'elle a subies au cours de son déplacement.

25 L'air peut ainsi être arctique, polaire (en provenance d'une région de latitude 60°), tropical ou équatorial ; il peut aussi être continental ou maritime ; il peut enfin être froid ou chaud.

31 À ces masses d'air différentes correspondent des types de temps bien déterminés.

37



Nota 1 : en hiver, l'air d'origine polaire se réchauffe sur l'océan (celui-ci est chaud par rapport aux continents).

Nota 2 : en été, l'air polaire se réchauffe dans des régions au climat continental, donc très chaudes.

6.4.1.1. — Trajet des masses d'air arrivant sur l'Europe.

01 6.4.1.2. Stabilité et instabilité d'une masse d'air

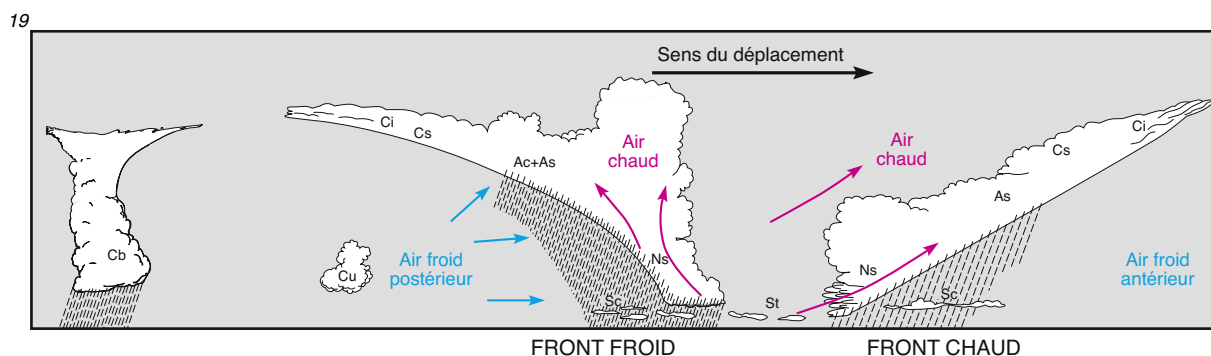
07 Dans une masse d'air réchauffée par la base, l'air chaud a tendance à s'élever et il se produit des mouvements verticaux convectifs : cette masse d'air est dite **instable**. Il se forme des nuages cumuliformes au sommet des ascendances. Les précipitations éventuelles tombent sous forme d'averse. Le vent est irrégulier. La visibilité est bonne.

13 Les deux cas les plus fréquents de réchauffement par la base sont :

- un ensoleillement important qui réchauffe une surface terrestre ;
 - un vent du Nord amenant de l'air relativement froid sur une mer de plus en plus chaude.
- 19 Inversement, quand une masse d'air est refroidie par la base, toute instabilité disparaît, la masse d'air devient **stable**. Les nuages deviennent stratiformes, les précipitations prennent un caractère continu et le vent devient régulier, la visibilité est mauvaise (brouillard possible).
- 25 Les deux cas les plus fréquents de refroidissement par la base sont :
- le refroidissement nocturne sur terre, surtout en l'absence de nuage ;
 - un vent de Sud qui amène de l'air humide et relativement chaud sur une mer de plus en plus froide.

01 6.4.2. Les fronts

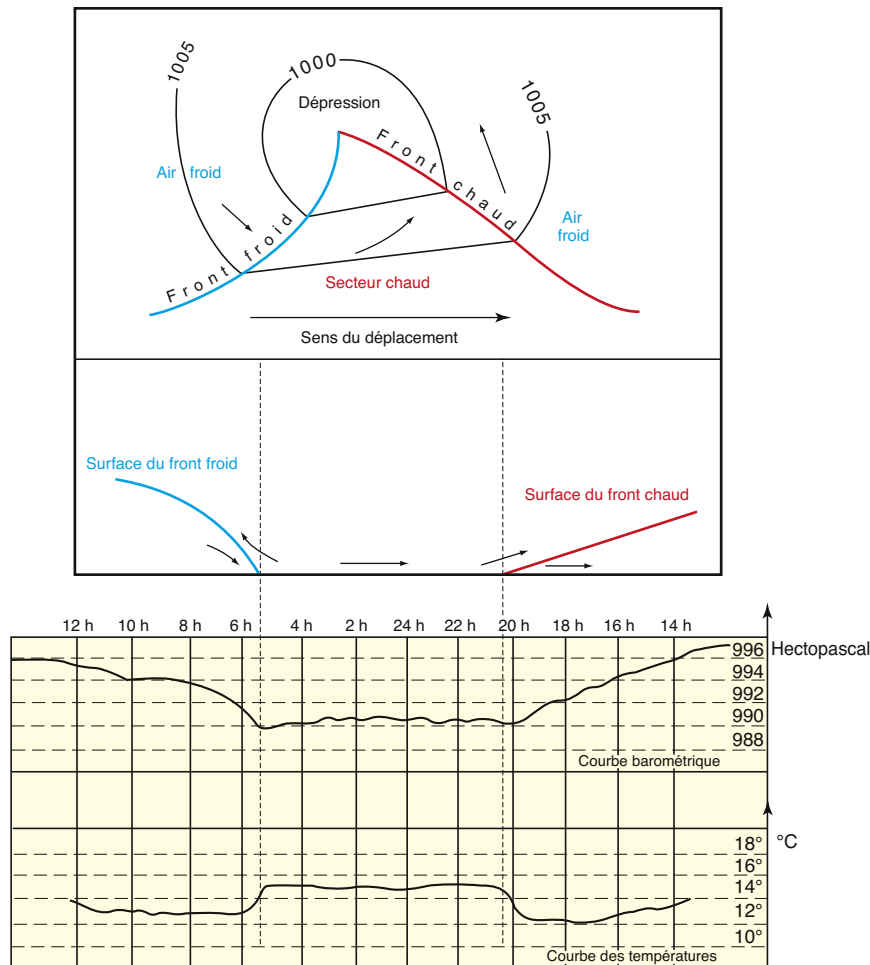
- 07 Lorsque deux masses d'air se rencontrent, elles ne se mélangent pas mais sont séparées par une surface frontale inclinée, dont la trace au sol est le front, qui se déplace avec les masses d'air.
- 13 Si le passage d'un **front** se traduit par l'arrivée d'une masse d'air plus froid, c'est un front froid. Inversement, si une masse d'air chaud s'élève sur une masse d'air plus froid en la poussant, c'est un front chaud (figure 6.4.2.A.). La signification des abréviations est donnée sur la figure 6.3.2.2.



6.4.2.A. — Front chaud et front froid.

- 25 Au contact de l'air froid, l'air chaud a tendance à s'élever, ce qui a des conséquences sur la pression atmosphérique, le vent et la couche nuageuse : les passages de fronts s'accompagnent de nuages, éventuellement de pluies et, généralement, d'un renforcement et d'une rotation des vents (figure 6.4.2.B.).
- 31 Lorsque un front froid rattrape un front chaud, l'air chaud entre ces deux fronts est rejeté en altitude et forme ce qu'on appelle une **occlusion**.
- 37 Le front froid est suivi d'un ciel de traîne peuplé de nombreux cumulonimbus.

43



6.4.2.B. — Variations du vent, de la pression et de la température au passage de fronts (hémisphère Nord).

01 6.4.3. Les dépressions et les perturbations

- 07 L'expression **dépression atmosphérique** désigne une zone où la pression est plus basse qu'au voisinage.
- 13 Perturbation est un terme générique désignant toute interruption d'un état d'équilibre de l'atmosphère.
- 19 Aux latitudes tempérées, le terme perturbation se rapporte au champ de température. Il désigne l'ensemble front froid-front chaud et éventuellement occlusion. À ces latitudes, perturbations et dépressions atmosphériques sont liées.
- 25 Aux latitudes tropicales, le terme perturbation se rapporte au champ de pression. Il désigne des talwegs ou des dépressions générateurs de mauvais temps.

01 6.4.3.1. Perturbations aux latitudes tempérées

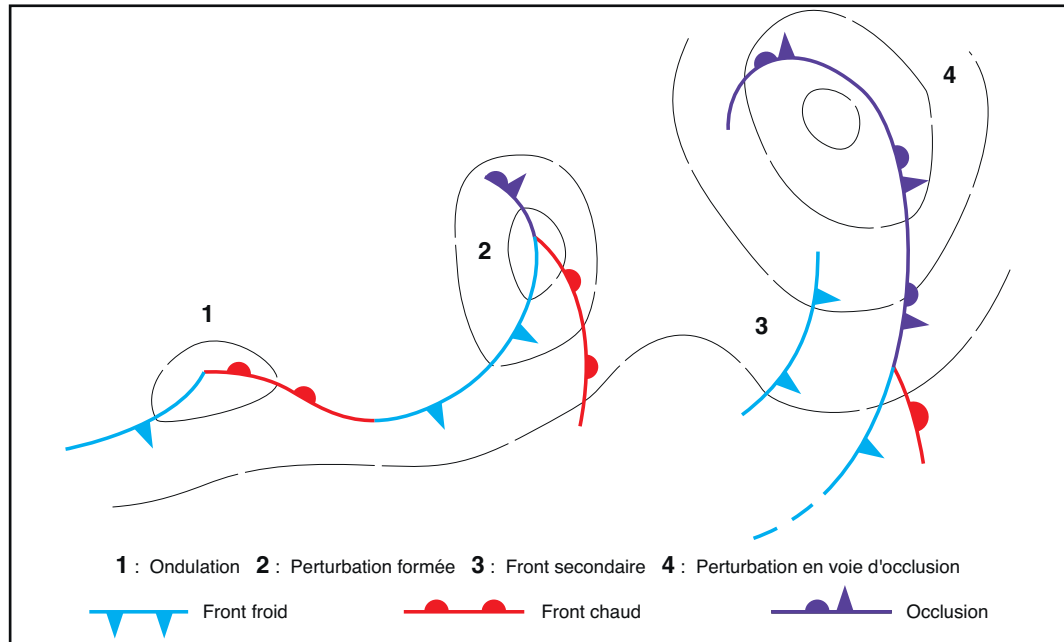
01 6.4.3.1.1. Formation et évolution

- 07 Les processus de développement d'une perturbation aux latitudes tempérées sont complexes et variés, et dépendent de la répartition des températures et des vents, au sol comme en altitude. Différents scénarios décrits ci-après peuvent se produire.
- 13 a) Sous certaines conditions en altitude, formation de dépressions au sol sans qu'il n'y ait aucun front préalable. Ceci est par exemple fréquent au large de Terre-Neuve et de la côte Est des États-Unis, sur les eaux chaudes du Gulf Stream. À l'avant de la dépression, les vents de Sud en hémisphère Nord, ou de Nord en hémisphère Sud, amènent de l'air chaud au contact de l'air froid : il se forme un front chaud. À l'arrière, c'est l'inverse, il se

forme un front froid. Ces dépressions peuvent également se former extrêmement rapidement et dégénérer en violente tempête.

- 19 b) Creusement sur une ondulation d'un front. Un front, froid ou chaud, lié à une dépression vieillissante, est déjà en place. Les masses d'air se déplaçant à des vitesses différentes de part et d'autre du front, celui-ci ondule (figure 6.4.3.1.1.A.). L'air chaud forme une pointe s'enfonçant dans l'air froid. La partie avant du front devient front chaud, la partie arrière front froid. Mais l'air chaud plus léger s'élève au dessus de l'air froid, provoquant une baisse de la pression au sommet de l'ondulation avec formation nuageuse. Ces dépressions formées sur une ondulation d'un front peuvent être de petite dimension mais très creuses et très mobiles, et capables de provoquer une violente tempête.

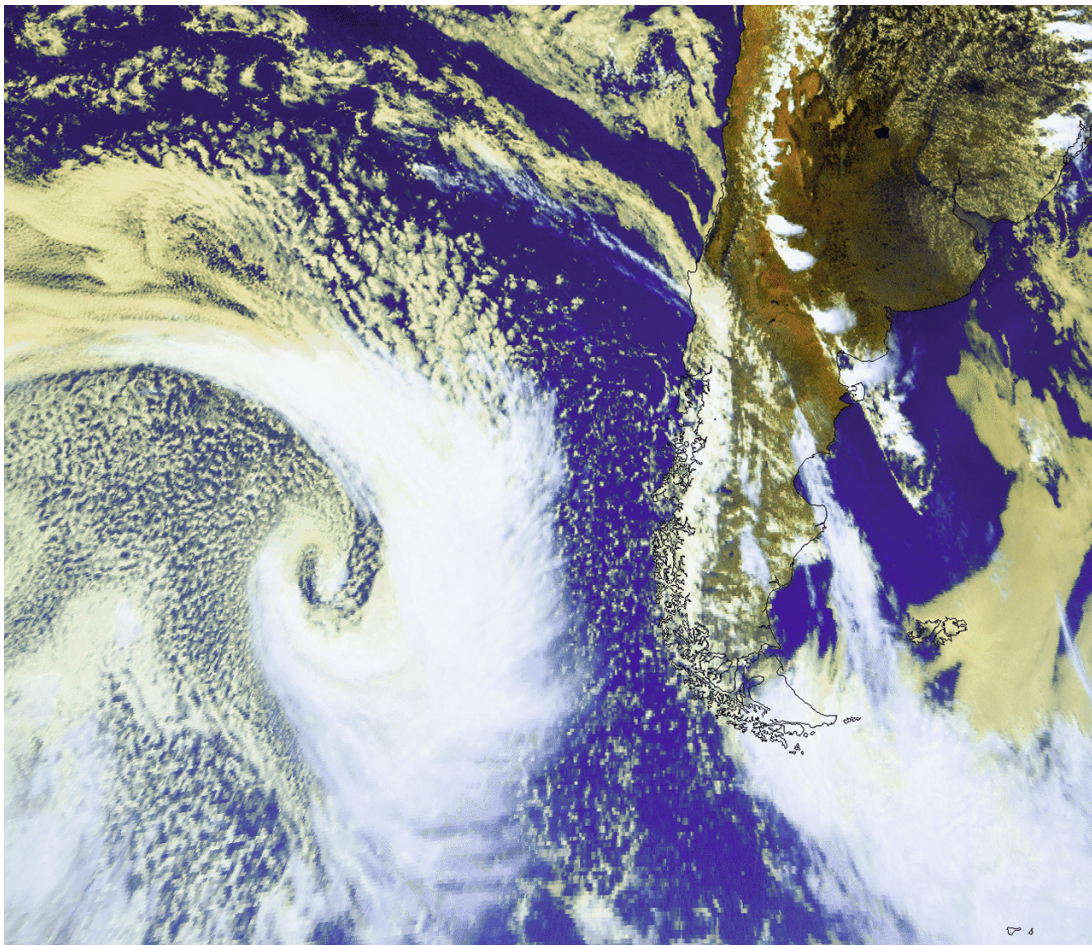
25



6.4.3.1.1.A. — Formation et évolution de perturbations aux latitudes tempérées.

- 31 c) Dans l'air froid d'un système déjà développé, regroupement de cumulonimbus. Un mouvement tourbillonnaire apparaît qui interagit avec le front froid à proximité. Un nouveau système (dépression et perturbation) se forme aux dépens du précédent.
- 37 Arrivées à maturité, les perturbations aux latitudes tempérées se composent d'une dépression, d'un front froid, d'un front chaud, l'ensemble délimitant un secteur chaud, et éventuellement d'une occlusion.
- 43 Une fois créée, la perturbation se propage à peu près dans la direction des isobares du secteur chaud. Au bout d'un certain temps, le front froid rejoint le front chaud. L'air tropical du secteur chaud est rejeté en altitude, c'est l'occlusion qui engendre généralement de fortes précipitations. La dépression ralentit son mouvement et la perturbation prend de l'avance sur le centre dépressionnaire. La dépression peut alors se régénérer et reprendre de la vigueur, mais le plus souvent elle se comble et l'équilibre se rétablit progressivement dans les basses couches.
- 49 Les perturbations aux latitudes tempérées sont en général groupées en une famille de quatre ou cinq « individus » qui se succèdent à intervalles de 24 à 48 heures.

55

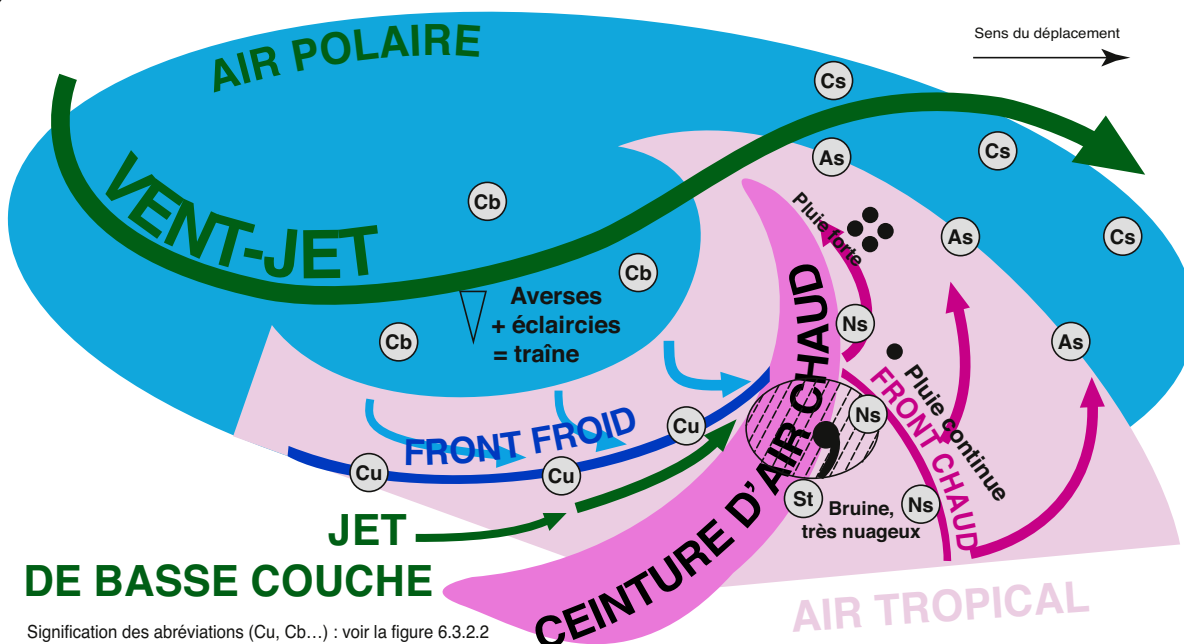


6.4.3.1.1.B. — Tempête dans l'hémisphère Sud, à l'Ouest du Cap Horn, le 25 février 1999 à 18 h 00 UTC.

01 6.4.3.1.2. Système nuageux associé

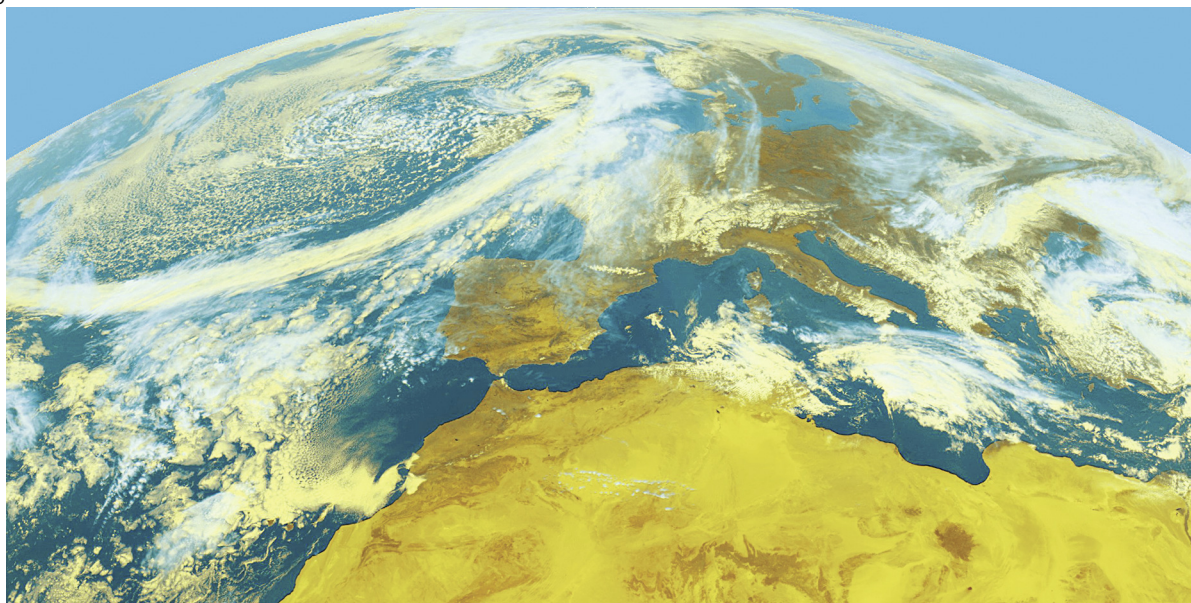
- 07 Le soulèvement en bloc de l'air chaud le long des surfaces frontales provoque une détente qui est à l'origine de masses nuageuses importantes accompagnées de précipitations, constituant un **système nuageux**.
- 13 À l'avant du front chaud, la tête est constituée de nuages élevés. Le corps de la perturbation, formé de nuages de plus en plus bas, est une zone de pluie.
- 19 Au Sud (dans l'hémisphère Nord) le secteur chaud est recouvert des nuages bas et continus de la zone de liaison avec de petites précipitations. La masse d'air est stable.
- 25 À l'arrière du front froid, la traîne est peuplée de nuages cumuliformes avec des éclaircies entrecoupées d'averses et une excellente visibilité. La masse d'air est instable.
- 31 Enfin deux systèmes nuageux consécutifs sont séparés par un intervalle qui peut être clair ou peu nuageux.

37



6.4.3.1.2.A. — Système nuageux d'une perturbation aux latitudes tempérées (hémisphère Nord).

43



6.4.3.1.2.B. — Système nuageux d'une perturbation comprise entre les Açores et la Mer du Nord (18 avril 1996).

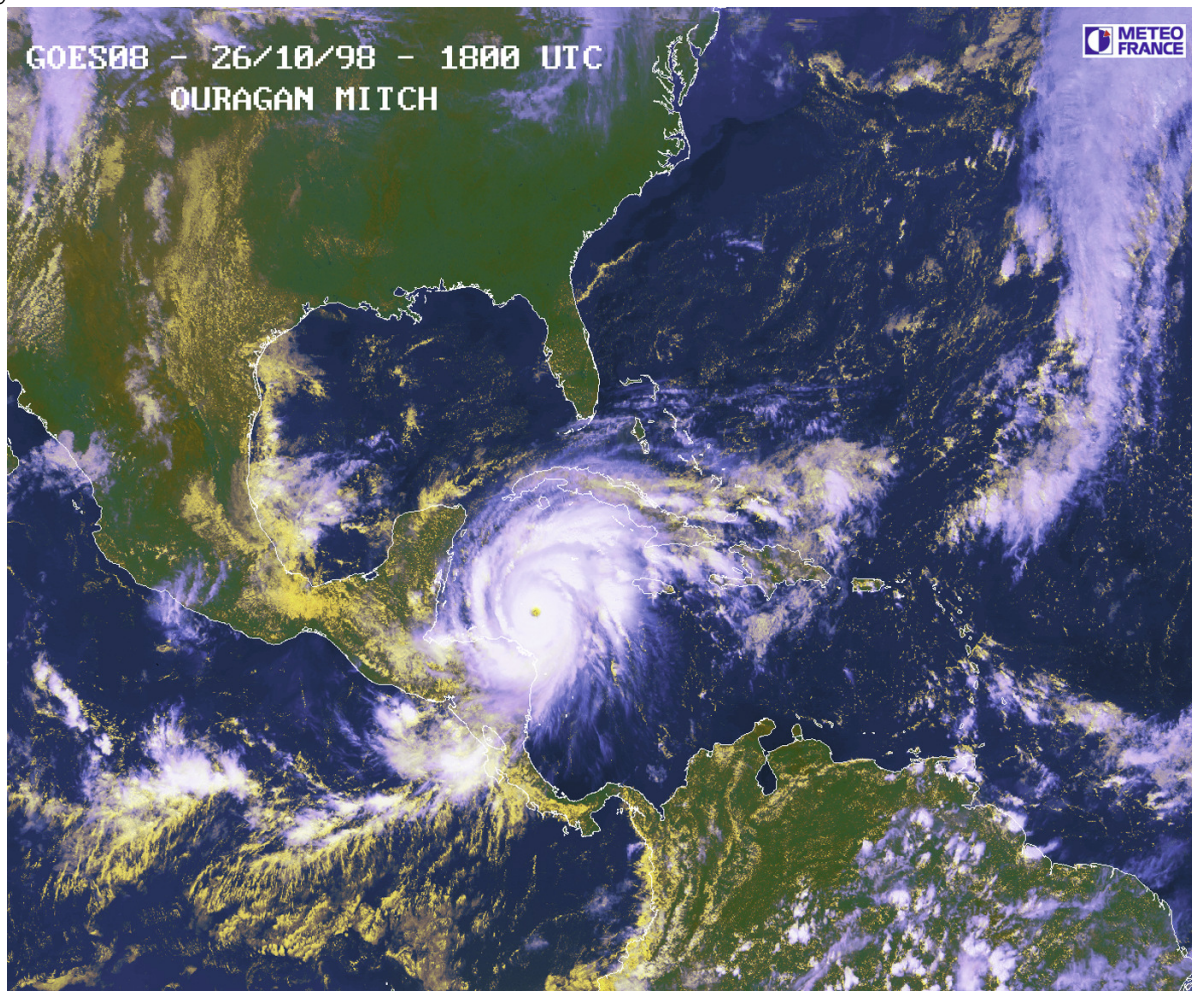
01 6.4.3.1.3. Signes d'approche

- 07 En l'absence de carte météorologique, l'approche d'une perturbation en zone tempérée peut être décelée à trois signes principaux :
- le vent qui s'oriente progressivement au secteur Sud dans l'hémisphère Nord en tournant dans le sens inverse des aiguilles d'une montre, au secteur Nord dans l'hémisphère Sud en tournant dans le sens des aiguilles d'une montre ;
 - l'apparition de nuages élevés du genre cirrus « en griffes » ou cirrostratus ;
 - la chute de la pression barométrique.
- 13 Pris isolément, chacun de ces signes n'est pas suffisant pour que soit certaine l'approche d'une perturbation aux latitudes tempérées. Mais leur réunion peut donner à l'observateur une quasi-certitude.

01 **6.4.3.2. Perturbations en zone tropicale**

- 07 En zone tropicale les perturbations peuvent donner naissance à des cyclones tropicaux d'une violence telle que le navigateur doit effectuer des manœuvres particulières (voir § 19.1.2.).
- 13 La figure 6.4.3.2. reproduit l'image visible prise d'un satellite le 26 octobre 1998 à 18 h 00 UTC de l'ouragan Mitch à son maximum d'intensité, en Mer des Caraïbes : 905 hPa au centre, diamètre supérieur à 600 km, vents estimés à plus de 300 km/h en rafales dans la muraille autour de l'œil.

19



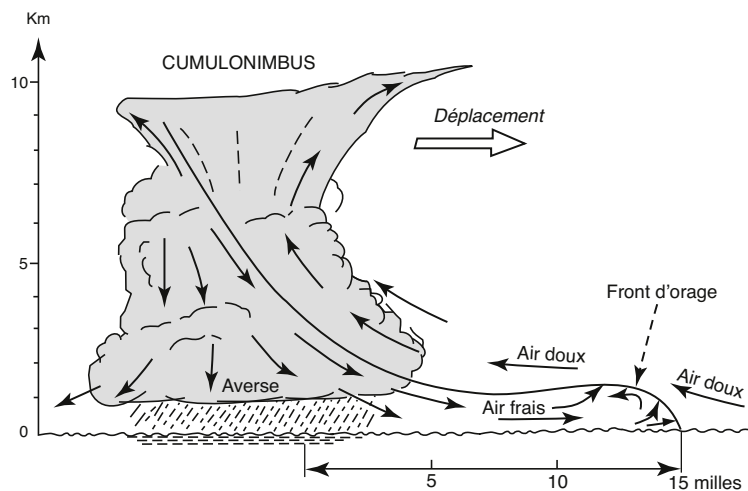
6.4.3.2. — L'ouragan Mitch à son intensité maximale (octobre 1998).

01 6.5. Phénomènes météorologiques

01 6.5.1. Orage

- 07 Caractérisé par de fortes chutes de pluie ou de grêle accompagnées d'éclairs, de tonnerre et de rafales de vent sous des nuages de type cumulonimbus, l'**orage** se rencontre dans une masse d'air humide et instable.
- 13 Le phénomène est favorisé par l'ensoleillement d'une surface terrestre (orages de chaleur fréquents en été), par le déplacement vers le Sud (dans l'hémisphère Nord) d'une masse d'air polaire (orages dans un flux de Nord, fréquents en mars et avril) ; le phénomène s'observe aussi le long du front froid d'une perturbation active (orages frontaux).
- 19 La cellule orageuse a une dimension de 1 à 5 milles de diamètre et une durée de vie moyenne d'environ 1 heure. Mais les cumulonimbus peuvent s'assembler en lignes de grain longues de plusieurs centaines de kilomètres ou en amas où les cellules orageuses se succèdent.
- 25 À l'intérieur des cumulonimbus se produisent des champs électriques de plusieurs milliers de volts par centimètre, avec parfois des éclairs, décharges disruptives entre deux parties de nuages ou entre les nuages et la terre.
- 31 Les courants descendants d'air froid entraîné par les fortes précipitations atteignent la surface de la mer et se déplacent vers l'avant de la cellule orageuse, et forment à 10 ou 15 milles un « front de rafale » marqué par une hausse brutale de pression et des rafales de vent pouvant atteindre 50 nœuds avec de brusques changements de direction.

37



6.5.1. — Le front d'orage.

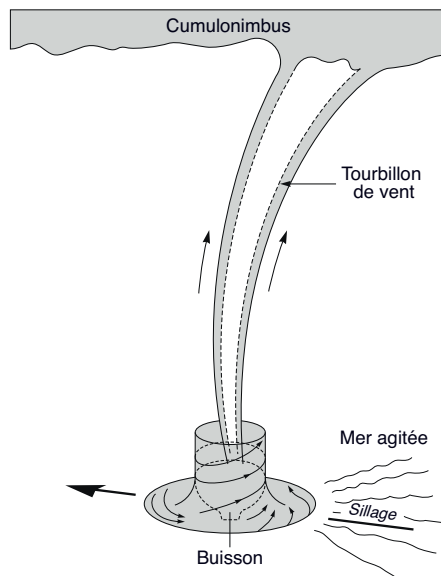
01 6.5.2. Grains

- 07 Les **grains** sont caractérisés par une augmentation brutale et de courte durée du vent, généralement accompagnée d'un brusque changement de sa direction. Les grains ont pour origine une forte discontinuité thermique.
- 13 Le **grain blanc** est un coup de vent sans accompagnement de nuage ni de précipitation ; on peut observer ce type de grain lorsque l'air est très sec.
- 19 Les **grains dépressionnaires**, souvent groupés en lignes de grains visibles au radar, sont marqués par des nuages cumuliformes et, souvent, par des précipitations.
- 25 Le **grain orageux** se produit par temps calme, pendant les heures chaudes de la journée, surtout au printemps et en été ; il se produit au passage ou lors de la formation de cumulonimbus.

01 **6.5.3. Trombe marine**

- 07 La **trombe marine** est constituée d'un tourbillon de vent souvent intense, dont la présence se manifeste par une colonne nuageuse en forme de tube ou d'entonnoir sortant d'un cumulonimbus, et d'un « buisson » fait de gouttelettes d'eau et de débris divers soulevés de la surface de la mer.
- 13 Le diamètre de la colonne nuageuse, normalement de l'ordre d'une dizaine de mètres, peut dans certaines régions atteindre plusieurs centaines de mètres. D'une durée de vie de 2 à 20 minutes, la trombe peut rester stationnaire ou se déplacer dans une direction qui ne correspond pas forcément à la direction du vent dominant en surface. Les dégâts causés aux navires peuvent être considérables, ce qui justifie de faire route pour éviter ce phénomène très localisé.
- 19 Les trombes marines sont particulièrement fréquentes dans les régions caractérisées par des températures élevées de l'air et de la mer : zone des calmes équatoriaux, Golfe du Mexique, Mer Méditerranée.

25



6.5.3. — Trombe marine.

Pas de texte

Chapitre 7

OCÉANOGRAPHIE

01 7.1. État de la mer

01 7.1.1. Houle et mer du vent

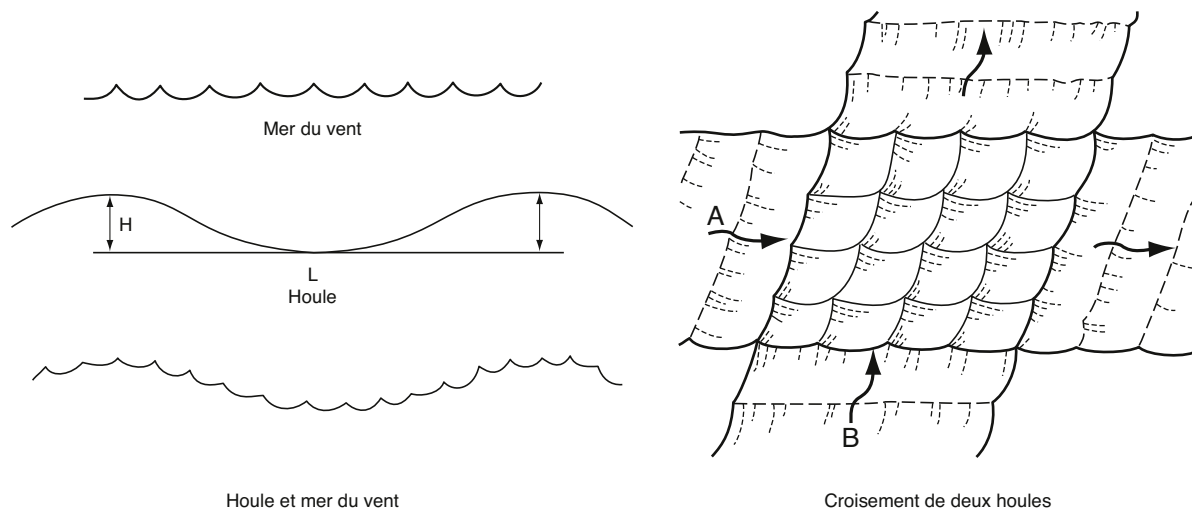
07 L'action du vent sur la mer donne naissance aux vagues.

13 La **mer du vent** est le système de vagues soulevées localement par le vent, la surface de l'eau y présente un aspect d'une grande complexité.

19 En quittant leur aire de génération, les vagues se régularisent en dimensions (hauteur H , longueur d'onde L), en vitesse ou célérité et en direction pour devenir une **houle** qui peut se propager très loin.

25 Mer du vent locale et houles d'origines lointaines peuvent se superposer, et parfois deux ou trois trains de vagues se croisent sous des angles variés, leurs effets présentant un aspect chaotique (figure 7.1.1.), ce qui peut présenter un danger certain pour la navigation. Sans donner des vagues beaucoup plus grandes, le **croisement de houles** de deux tempêtes donne surtout des vagues en travers de la route d'un navire. Il semble qu'un état de mer croisée ait été lié aux problèmes rencontrés par le Prestige en novembre 2002.

31



7.1.1. — Houle et mer du vent (croisement de deux houles).

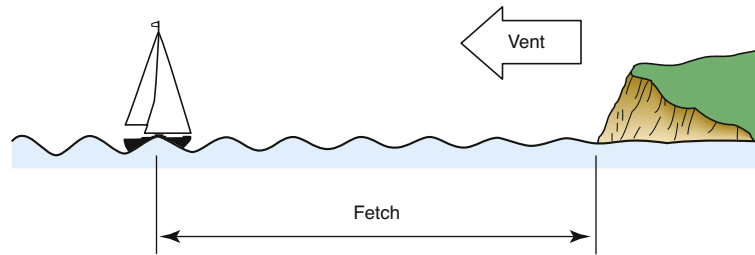
01 7.1.2. Prévision de l'état de la mer

01 7.1.2.1. Facteurs déterminants

07 L'importance des vagues qui vont se former en un point de l'aire où souffle le vent dépend de trois facteurs :

- la force du vent ;
- la durée de son action ;
- le **fetch**, c'est-à-dire la distance sur laquelle le vent a soufflé sans obstacle et sans changement de direction (figure 7.1.2.1.).

13 Même par vent fort, la mer peut ne pas être formée si le vent vient de se lever ou si le navire se trouve à l'abri des côtes (fetch réduit).

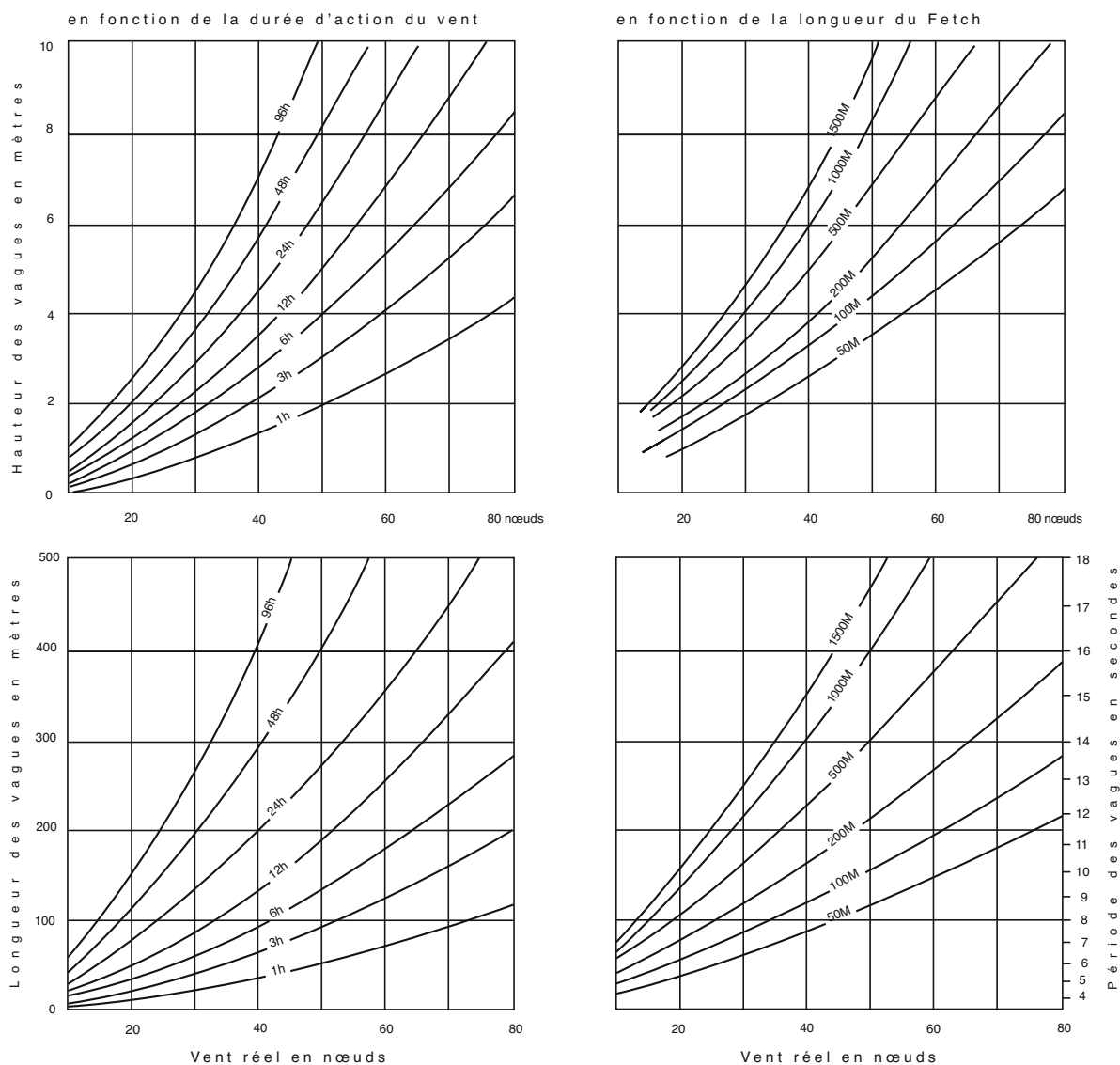


7.1.2.1. — Fetch.

01 7.1.2.2. Méthodes de prévision de l'état de la mer

- 07 Une méthode pratique mais non rigoureuse consiste à utiliser les graphiques de la figure 7.1.2.2. Les vagues étant déterminées par la longueur du fetch et la durée d'action du vent, on utilisera les graphiques qui donnent pour la hauteur et la longueur des vagues les valeurs les plus faibles.
- 13 Pour la longueur du fetch, on prendra la plus grande longueur dans un secteur de $\pm 60^\circ$ par rapport à la direction du vent.

Hauteur, longueur et période des vagues



7.1.2.2. — Graphiques de prévision de l'état de la mer.

01 7.1.2.3. Effet sur un navire des vagues

- 07 L'agitation réelle de la mer a des effets très différents sur les navires suivant la taille du bâtiment, la longueur des vagues, leur hauteur, l'angle fait par la route suivie avec la direction de propagation des vagues. Une embarcation souffrira surtout de la mer du vent, alors qu'un grand bâtiment réagira plus à une houle longue, même de hauteur modeste.
- 13 Le **roulis** est maximal pour une mer ou une houle de travers.
- 19 L'**instabilité de route** est maximale pour une mer ou une houle de l'arrière. Le **cavalement** se produit par forte mer de l'arrière, lorsque la vague soulève l'arrière, donnant une assiette négative au navire qui est ainsi accéléré. La vague dépasse le bateau et, arrivant à l'avant, freine considérablement le navire. Dans certains cas extrêmes il peut même se produire que le bateau « engage », c'est-à-dire que son étrave pique dans le creux de la lame alors que son arrière est soulevé par la lame suivante : le bateau peut alors tomber en travers et chavirer.
- 25 Le **tangage** est maximal pour une houle ou une mer de l'avant. Il est amplifié si le rapport de la longueur d'onde de la houle à la longueur du navire est voisin de 0,7. Par contre si ce rapport est compris entre 1 et 1,5 peut

se produire par mer de l'avant le **pilonnement** : le navire entrant en résonance, l'étrave plonge, remonte, et ainsi de suite rapidement.

- 31 Chaque navire réagira donc à sa façon suivant les états de la mer, d'où des conséquences sur sa vitesse (§ 18.1.2.2.).

01 7.1.2.4. Termes descriptifs de l'état de la mer et de la houle

- 07 L'état de la mer se signale dans les observations et prévisions météorologiques à l'usage de la navigation maritime par une force chiffrée selon le code S ; la houle se caractérise par sa longueur et sa hauteur et l'on utilise des termes descriptifs. Ces termes et le code S sont présentés dans le tableau 7.1.2.4.

13

État de la mer			Houle
Chiffre du code S	Terme descriptif	Hauteur en mètres (1)	
0	Calme, sans rides	0	— Longueur des vagues de la houle :
1	Calme, ridée	0 à 0,1	Courte 0-100 mètres
2	Belle (vaguelettes).....	0,1 à 0,5	Moyenne 100 à 200 mètres
3	Peu agitée	0,5 à 1,25	Longue plus de 200 mètres
4	Agitée	1,25 à 2,5	— Hauteur des vagues de la houle :
5	Forte	2,5 à 4	Petite 0-2 mètres
6	Très forte	4 à 6	Modérée 2-4 mètres
7	Grosse	6 à 9	Grande plus de 4 mètres
8	Très grosse	9 à 14	— Lorsqu'il n'y a pas de houle : nulle
9	Énorme	dépassant 14	— Lorsqu'on ne peut déterminer la longueur, la hauteur et la direction : confuse
(1) Hauteur moyenne de la vague obtenue à partir des vagues bien formées, les plus grosses dans le système observé.			

7.1.2.4. — Termes descriptifs de l'état de la mer et de la houle.

01 7.1.2.5. Influence des courants sur l'état de la mer

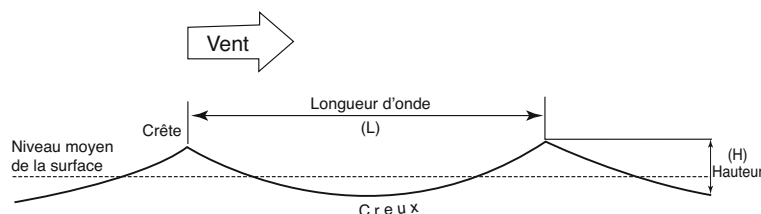
- 07 Lorsque la direction des vagues s'oppose à celle du courant (mer contre courant) la longueur et la célérité des vagues diminuent mais leur hauteur augmente. Il en résulte une mer plus hachée et plus dure. Inversement lorsque les trains de vagues vont dans le même sens que le courant, les lames voient leur longueur et leur célérité augmenter mais elles perdent de la hauteur.

01 7.1.3. Propagation des vagues

01 7.1.3.1. Caractéristiques d'un système de vagues

- 07 Un système de vagues peut être caractérisé par sa forme, ses dimensions et son déplacement.

13



7.1.3.1. — Systèmes de vagues.

- 19 Le rapport H/L constitue la **cambrure** de la vague. Pour des valeurs élevées de la cambrure, la vague déferle (§ 7.1.3.3.).
- 25 Si on appelle période le temps T qui s'écoule entre le passage de deux crêtes en un point donné, il existe un rapport simple entre la célérité C , la longueur d'onde L et la période des vagues T : $C = L/T$.

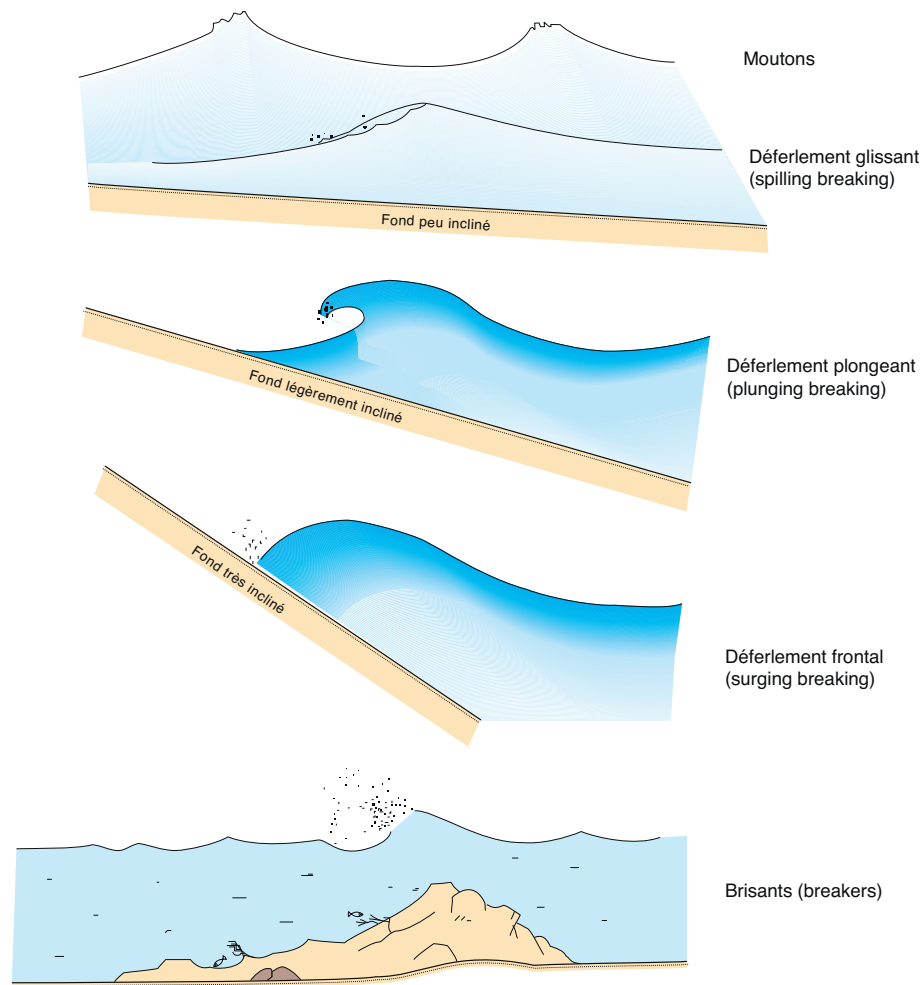
01 7.1.3.2. Influence de la profondeur

- 07 En eau profonde, c'est-à-dire lorsque le fond n'a aucune influence sur la vague, on a approximativement : C (en nœuds) $\approx 3 T$ (en secondes).
- 13 Par contre lorsqu'un système de vagues passe sur des fonds de profondeur inférieure à la moitié de leur longueur d'onde, sa période reste constante mais le système subit des modifications en profil (vagues déferlantes) et en direction (réfraction, diffraction ou réflexion).

01 7.1.3.3. Vagues déferlantes

- 07 En eau profonde, les vagues déferlent lorsque leur cambrure dépasse la valeur limite de 0,14 (soit $1/7$) ; ceci peut notamment se produire par suite d'un accroissement de la force du vent local ou d'une opposition « mer contre courant » (§ 7.1.2.5.). Ce type de déferlement donne naissance aux **moutons**.
- 13 Dans les eaux côtières peu profondes ou sur les bancs au large, lorsque les vagues sont freinées par le fond, leur hauteur augmente et elles se brisent ou déferlent. Sur un fond de faible pente, la vague s'écroule en glissant sur sa face avant : c'est le déferlement glissant. Si le fond est plus incliné, la crête des vagues bascule en formant des rouleaux ; ce déferlement plongeant est souvent appelé **barre**. Enfin sur un fond très incliné, l'écume apparaît à mi-hauteur de chaque vague qui bientôt bouillonne : c'est le déferlement frontal ou déferlement à gonflement.
- 19 Sur des hauts-fonds isolés, les vagues déferlent en formant des **brisants**.

25

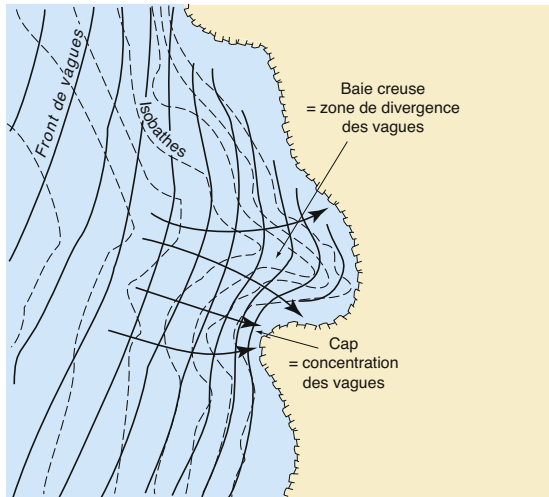


7.1.3.3. — Vagues déferlantes.

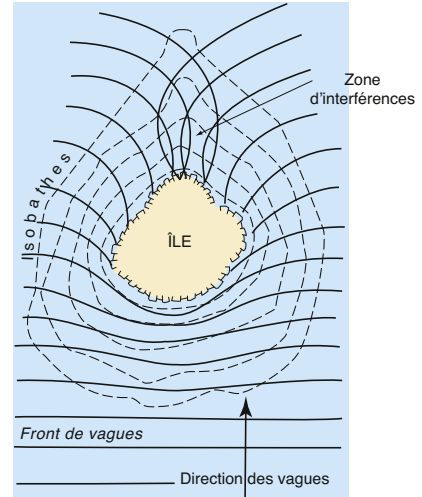
01 7.1.3.4. Réfraction d'un front de vagues

- 07 Lorsqu'un front de vagues aborde obliquement une zone peu profonde, il pivote progressivement pour devenir peu à peu parallèle aux lignes de sondes (isobathes).
- 13 En conséquence la houle se concentre sur les caps et crêtes sous-marines, et inversement la mer se calme dans une baie et au-dessus d'une vallée sous-marine. À l'arrière d'une île, les fronts de vagues déviés par réfraction peuvent créer une zone d'interférences avec vagues croisées.

19



(a) Réfraction des vagues sur un cap et une baie.



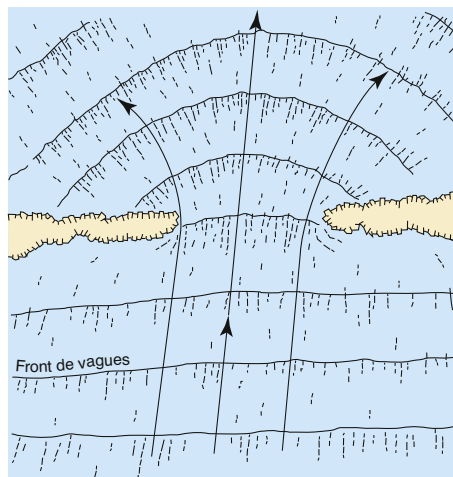
(b) Réfraction des vagues autour d'une île.

7.1.3.4. — Exemples de réfraction.

01 7.1.3.5. Diffraction d'un front de vagues

07 La diffraction se produit lorsque les vagues se propagent à travers un obstacle, comme par exemple à travers une ouverture dans une digue. Au delà de la passe, les vagues diminuent progressivement.

13

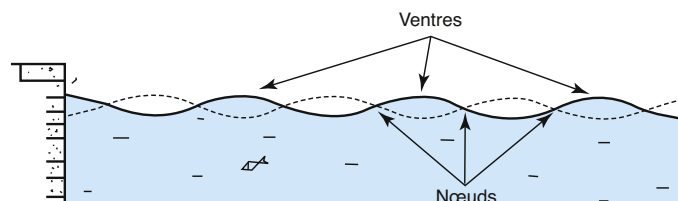


7.1.3.5. — Diffraction dans une passe.

01 7.1.3.6. Ressac par réflexion

07 Sur une paroi verticale ou presque verticale, les vagues se réfléchissent et on voit alors se former un réseau d'ondes stationnaires avec un **ressac** pouvant être très dur.

13



7.1.3.6. — Réflexion sur une jetée.

01 7.1.4. Vagues anormales

01 7.1.4.1. Généralités

- 07 Une **vague anormale** est une vague qui sort des conditions d'états de mer rencontrées sur une zone à un moment donné. On parle de vague anormale lorsque la hauteur (crête à creux) de cette vague est plus de 2 fois supérieure à la hauteur significative des vagues qui l'entourent (la hauteur d'une telle vague peut atteindre quelques dizaines de mètres). Sa forme est caractérisée par une cambrure importante, ce qui la rend très dangereuse pour la navigation, même pour un très grand navire.
- 13 Ces vagues dont la durée de vie est très courte, ont reçu différentes appellations : vagues anormales (*freak waves*) ; **vagues scélérates** (*rogue waves*) ; ou encore lames de fond, etc.
- 19 De telles vagues peuvent être observées à peu près partout avec, semble-t-il, une certaine prédilection pour les régions où une grosse houle s'oppose à un fort courant océanique et les régions où le fond remonte avec un fort gradient.

01 7.1.4.2. Formation et origine

- 07 Le processus de formation des vagues anormales n'est pas entièrement connu bien que quelques cas particuliers aient pu recevoir une explication physique relativement simple. Il pourrait résulter de la combinaison aléatoire complexe de plusieurs paquets de vagues, donnant lieu à une accumulation considérable d'énergie dans une vague unique ou dans un nombre très restreint d'entre elles. L'état transitoire de la résultante rendrait compte du caractère éphémère du phénomène.
- 13 Des états de mer anormaux par rapport aux vents peuvent survenir en présence de courants mêmes assez modestes, orientés contre la direction de propagation des vagues.
- 19 Des conditions propices à l'éventuelle formation de vagues anormales sont créées dans les deux cas de figure décrits ci-après.
- 25 Dans un premier cas, un fort effet de réfraction est observé lorsque l'intensité de la veine de courant présente des variations dans le sens transverse à la direction des vagues et que les échelles de grandeur de cette veine sont suffisantes pour que la réfraction intervienne.
- 31 Ainsi un effet significatif est observé dans le courant des Aiguilles où la vitesse de courant varie d'environ 3 nœuds sur une distance de 10 M. Après que les vagues se sont propagées dans le courant au delà de cette distance, leur énergie est concentrée au cœur du courant avec des facteurs d'amplification des hauteurs des creux pouvant aller jusqu'à un facteur 3.
- 37 Dans un second cas de figure, si les distances ne sont pas suffisantes pour que la réfraction intervienne, on n'observe que les phénomènes classiques de levée de la mer par un courant opposé. La variation relative de hauteur des vagues correspond en première approximation au rapport entre la vitesse du vent et la vitesse du courant (soit 10 % pour des vagues créées par un vent de 10 nœuds contre un courant de 1 nœud).
- 43 Enfin, des vagues de hauteur exceptionnelle peuvent aussi survenir sans cause extérieure, n'importe où, mais leur probabilité d'occurrence reste très faible.

01 7.1.4.3. Exemple du croiseur Jeanne d'Arc

- 07 En février 1963, le croiseur Jeanne d'Arc a franchi un train de trois grosses lames à 450 milles dans le SE de Tokyo, en manœuvrant pour prendre chaque lame par environ deux quarts tribord, ce qui lui a permis de frayer son chemin en se roulant sur chacun des obstacles et en se coulant dans les creux.
- 13 Le phénomène a été caractérisé par 5 anomalies :
- la hauteur exceptionnelle des lames (creux compris entre 15 et 20 m), derrière une zone de calme relatif (4 à 5 m de creux) ;
 - le faible écart séparant deux lames successives (environ 100 m) ;
 - la direction du train qui présentait avec la direction générale de la houle une incidence de 20 à 30 degrés ;
 - la grande vitesse de propagation du train de lames (environ 20 nœuds) ;
 - la forme de la lame qui ne présentait qu'un front très court (600 à 800 m) terminé à chaque extrémité par une chute abrupte.

01 7.2. Courants marins

01 7.2.1. Courants océaniques

01 7.2.1.1. Circulation océanique générale

07 Ensemble des courants moyens de surface à l'échelle des océans, la circulation océanique générale (figure 7.2.1.1.A.) présente une similitude remarquable avec la circulation générale de l'atmosphère (§ 6.2.1.) à laquelle elle est manifestement reliée, soit qu'elle en découle, soit que toutes deux aient la même origine : le soleil.

13 Au Nord et au Sud de l'équateur les courants forment une grande boucle constituée d'un courant équatorial vers l'Ouest poussé par les alizés, et d'une dérive vers l'Est poussée par les vents dominants d'Ouest vers 50° de latitude. Près des continents les courants suivent les côtes pour compléter la boucle, les courants sur les bords occidentaux des bassins (Gulf Stream ou Kouro Shivo par exemple) étant plus rapides que ceux des bords orientaux en raison de la force de Coriolis.

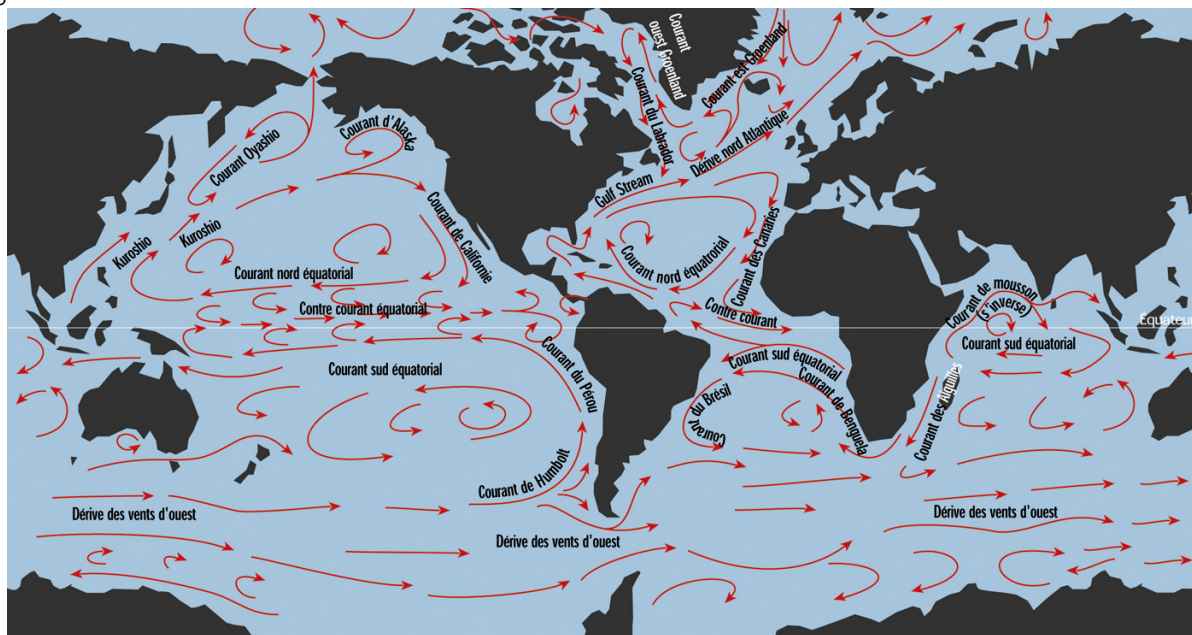
19 Dans les régions polaires de l'Atlantique Nord et du Pacifique Nord existe une boucle de retour de la dérive Nord Atlantique ou Nord Pacifique, qui longe le Nord du bassin océanique et revient vers l'Ouest puis le Sud (courants du Labrador et du Kamtchatka).

25 Le régime alterné de mousson au Sud et au Sud Est Asiatique (§ 6.2.3.2.) y impose un régime alterné de courants qui vont dans le même sens que les vents.

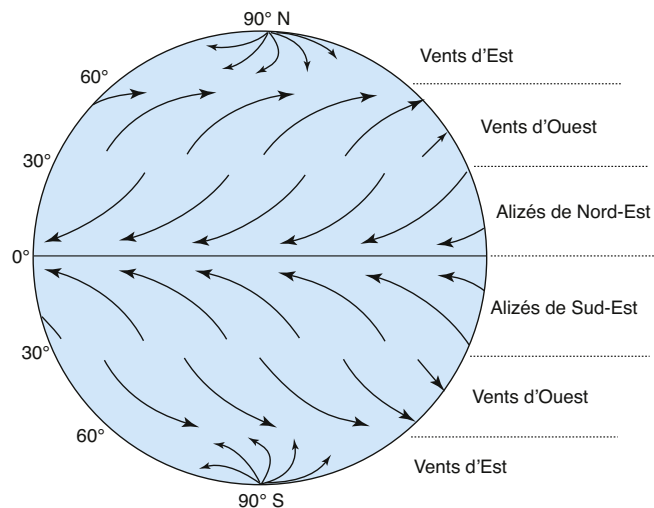
31 Enfin entre les deux courants équatoriaux Nord et Sud vient s'intercaler dans la région des calmes équatoriaux un contre-courant portant à l'Est.

37 Les courants généraux sont décrits dans les *Instructions Nautiques* et les *Pilot Charts*.

43



7.2.1.1.A. — Circulation océanique générale.



7.2.1.1.B. — Circulation générale de l'atmosphère.

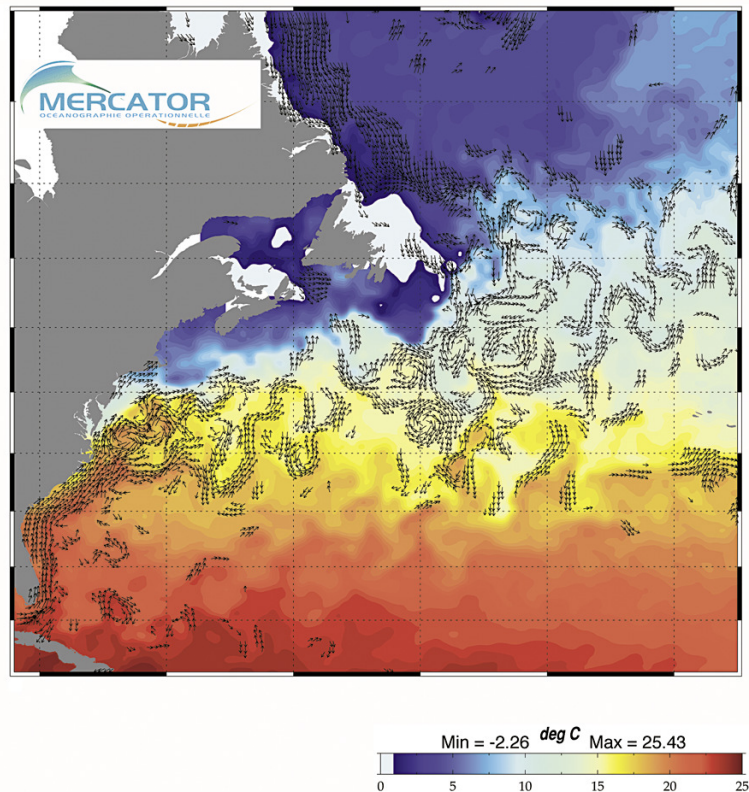
01 7.2.1.2. Vitesse des courants océaniques

- 07 Il n'est pas rare de rencontrer des courants océaniques de 2 à 4 nœuds, voire 5 nœuds dans certains secteurs comme le Gulf Stream à l'Ouest du méridien 60° W, le Kouro Shivo, ou le courant de Somalie par mousson du Sud-Ouest (on a enregistré des courants de 7 à 8 nœuds devant Socotra).
- 13 Mais la vitesse des courants océaniques est normalement assez faible, de l'ordre du demi-nœud ; elle est généralement variable au long de l'année ainsi que d'une année à l'autre.

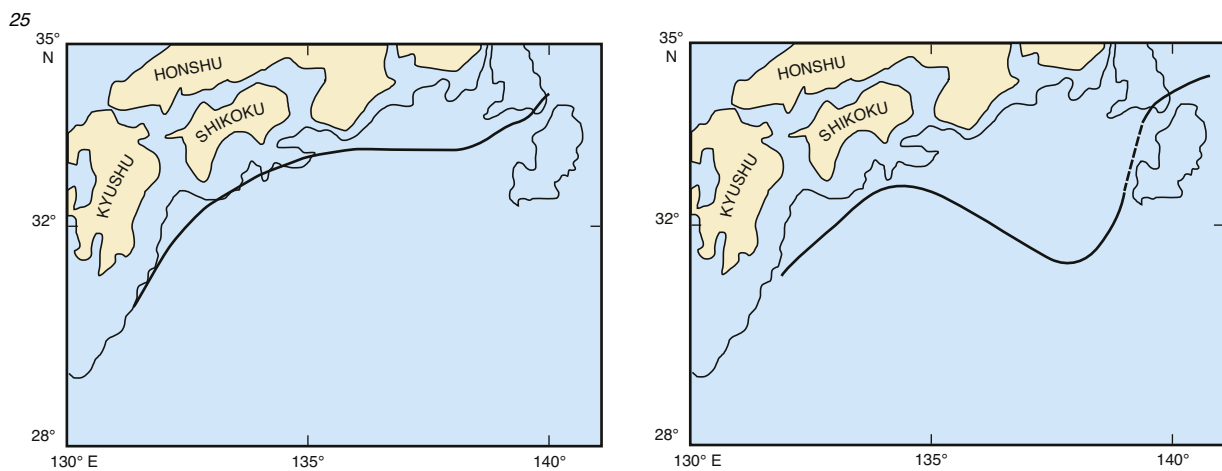
01 7.2.1.3. Description d'un courant océanique

- 07 Un courant océanique n'est pas comparable à un fleuve dans la mer, c'est plutôt un ensemble d'eau qui dérive de façon complexe, avec des méandres et des tourbillons pouvant dépasser 2 nœuds, comme par exemple ceux du Gulf Stream (figure 7.2.1.3.A.).
- 13 Quant à la trajectoire d'un courant océanique, elle peut varier fortement : le Kouro Shivo par exemple présente deux situations d'équilibre selon les années (figure 7.2.1.3.B.).

19



7.2.1.3.A. — Méandres et tourbillons du Gulf Stream.



7.2.1.3.B. — Les deux trajectoires du Kouro Shivo.

01 7.2.2. Courants locaux

01 7.2.2.1. Courants de marée

07 Se reporter au paragraphe 7.3.8. ci-après.

01 7.2.2.2. Courant de dérive

- 07 Il est dû au vent local et prend naissance lorsque celui-ci a soufflé pendant un temps assez long dans une direction constante. Par grands fonds le courant ainsi formé est dévié par la force de Coriolis de 20° à 40° vers la droite (dans l'hémisphère Nord). Par petits fonds la dérive due au vent est dirigée dans le sens du vent.
- 13 La vitesse du **courant de dérive** est fonction de la force du vent et du fetch (§ 7.1.2.1.) ; elle peut atteindre de 1 à 3 % de la vitesse du vent (soit un courant de 1 nœud pour un vent local établi de 40 nœuds) dans les meilleures conditions. La valeur maximale du courant n'est atteinte qu'après une période d'environ 60 heures de vent faible ou moyen, ou d'environ 48 heures de vent fort.
- 19 Le courant ainsi créé se poursuit même après disparition du vent local qui l'a généré : on parle alors de **courant d'inertie**.

01 7.2.2.3. Courant de pente ou de gradient

- 07 Lorsque entre deux points il existe une différence du niveau de l'eau, la mer tend à revenir à son état d'équilibre par le **courant de pente, ou de gradient**.
- 13 Ceci peut se produire par exemple après un courant de dérive créé par un vent prolongé, ou sous l'effet de la pression atmosphérique (la surface de la mer se creuse sous un anticyclone et se gonfle sous une dépression (§ 7.4.3.2.), ou sous l'effet de l'évaporation de l'eau de mer (par exemple, le niveau de l'Atlantique est 30 cm plus élevé que celui de la Méditerranée, d'où un courant de surface vers l'Est dans le Déroit de Gibraltar).
- 19 Comme les autres courants, les courants de pente sont déviés par la force de Coriolis vers la droite de l'axe de plus grande pente (dans l'hémisphère Nord).

01 7.2.2.4. Courants de densité

- 07 Une différence de densité entre deux masses d'eau voisines engendre des courants dits **courants de densité**. De telles différences de densité sont dues à des différences de salinité et de température liées à divers phénomènes : évaporation de l'eau de mer, important apport d'eau douce (fleuve, fonte de glace, etc.), apport d'eau salée (prise de glace par exemple).
- 13 D'une façon plus générale, les courants de densité sont liés aux mouvements relatifs des masses d'eau océaniques d'origines différentes. Les courants de densité sont notamment à l'origine des tourbillons qui accompagnent le Gulf Stream (figure 7.2.1.3.A.).

01 7.3. Marées

- 07 L'ouvrage de référence *La marée océanique côtière* présente les fondements de l'étude des marées océaniques et ses applications en zone côtière. Cet ouvrage scientifique du SHOM s'adresse aux personnes intéressées par l'observation, l'analyse et la prédiction des variations du niveau marin pour les besoins de la navigation maritime, de l'hydrographie et des aménagements côtiers.
- 13 L'ouvrage du **SHOM** *La Marée* (titre abrégé : *Guide Marée*) présente de façon didactique et complète le **phénomène des marées**. Illustré par de nombreux schémas et photos, cet ouvrage expose la théorie de la marée, l'action des astres, l'historique des recherches, le matériel d'observation, les équations pour la calculer, etc.

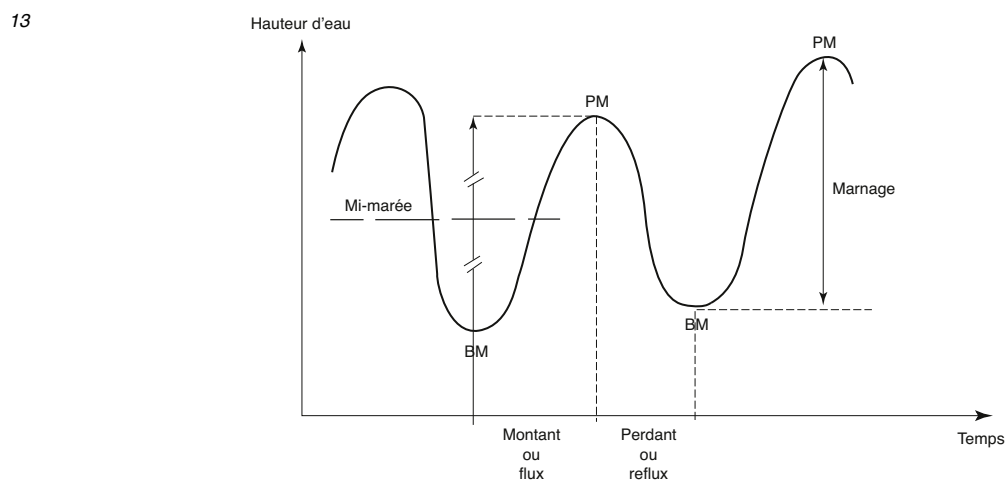
01 7.3.1. Description du phénomène

01 7.3.1.1. Généralités

- 07 La marée, réponse de l'océan aux attractions changeantes de la lune et du soleil, se manifeste à la fois par des variations du niveau de la mer et par des courants souvent forts.

01 7.3.1.2. Définitions

- 07 On appelle **courbe de marée** la courbe représentant la hauteur d'eau en fonction du temps en un lieu donné.



7.3.1.2. — Courbe de marée.

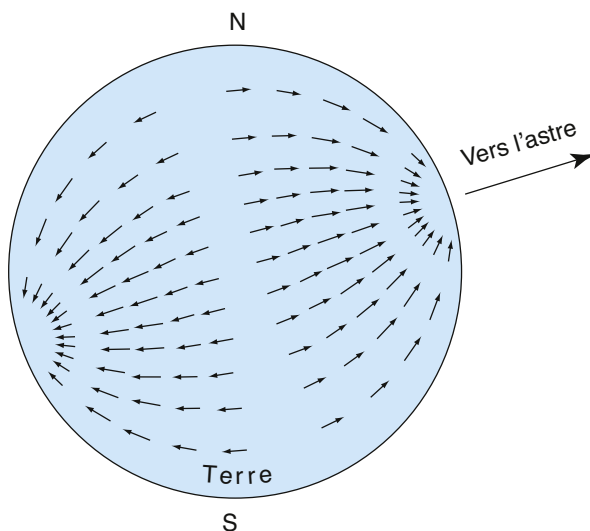
- 19 Le niveau de la mer s'élève pendant un certain temps : c'est le **flux** ou **montant**. Il atteint un maximum appelé **pleine mer** (PM) puis baisse pendant un certain temps, c'est le **reflux** ou **perdant** jusqu'à un minimum appelé **basse mer** (BM). Les pleines et basses mers sont les **étales** de niveau.
- 25 Le **marnage** est la différence de hauteur entre une pleine mer et une basse mer consécutives.
- 31 En un lieu donné, la mer oscille autour d'une position à peu près fixe que l'on désigne par l'expression : **niveau moyen**. En un point, le **niveau moyen** est la hauteur d'eau qu'on y observerait en l'absence de marée, dans des conditions atmosphériques standards.
- 37 Si on retranche à la hauteur observée à un instant donné la marée astronomique calculée au même instant, on obtient le niveau moyen instantané. La valeur moyenne de cette quantité sur la journée, le mois ou l'année, constitue le niveau moyen journalier, mensuel ou annuel.
- 43 Les indications de niveau moyen, figurant sur les documents du SHOM ont souvent été évaluées à partir d'observations de marée portant sur plusieurs années.
- 49 Le **niveau de mi-marée** est la moyenne des hauteurs des pleines et basses mers observées pendant un intervalle de temps donné.
- 55 Le **niveau de mi-marée** et le niveau moyen ne coïncident pas. Bien qu'en général très proches, ces deux niveaux peuvent différer de 20 cm et plus. Cela tient à la présence d'ondes supérieures et composées qui introduisent de fortes dissymétries dans la forme de la courbe de marée, comme c'est le cas en Baie de Seine.

01 7.3.2. Force génératrice de la marée

01 7.3.2.1. Exposé de la théorie

- 07 Un astre proche exerce sur une particule d'eau située à la surface de la terre une attraction qui n'est pas la même que si cette particule se trouvait au centre de la terre. La différence entre les deux attractions, ou force génératrice de la marée, provoque un déplacement de la particule par rapport à la partie solide de la terre. Cette force, proportionnelle à la masse de l'astre et inversement proportionnelle au cube de la distance de la terre à l'astre, est très petite devant la pesanteur : par conséquent seule sa composante horizontale est à considérer, elle est véritablement l'élément moteur de la marée.

13



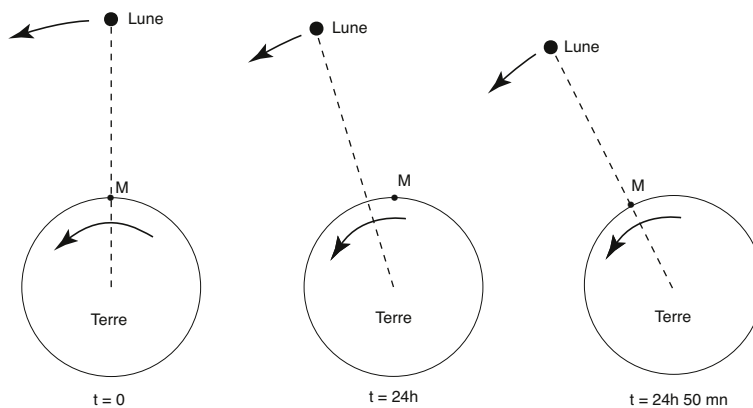
7.3.2.1. — Force génératrice de la marée.

- 19 En raison de sa faible distance, c'est la lune qui donne son caractère fondamental au phénomène des marées. Le soleil dont l'influence est environ deux fois moins importante que celle de la lune ne fait généralement que modifier la marée lunaire.

01 7.3.2.2. Influence de la rotation de la terre

- 07 En raison de la rotation de la terre, la force génératrice de la marée passe par un maximum lorsque l'astre qui la crée passe au méridien du lieu considéré. Ceci se présente deux fois par jour, donnant une périodicité semi-diurne (c'est-à-dire proche de 12 heures) à la force génératrice.
- 13 Plus précisément, par suite du déplacement propre de la lune autour de la terre, le jour lunaire dure 24 h 50 min., et l'intervalle entre deux passages de la lune au méridien est de 12 h 25 min., valeur qu'on retrouve dans la plupart des courbes de marée. Voir la figure 7.3.2.2.
- 19 Pour plus de précisions, consulter le guide du SHOM *La Marée*.

25

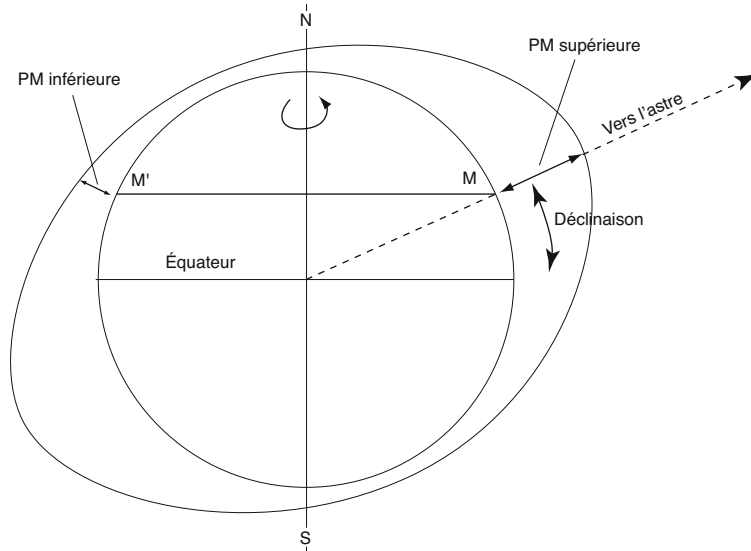


7.3.2.2. — Durée du jour lunaire.

01 7.3.2.3. Influence de la déclinaison de l'astre

- 07 La déclinaison de l'astre (§ 16.5.1.1.) n'est pas toujours nulle : celle de la lune peut atteindre 28° , celle du soleil 23° . Lorsque la terre tourne, ceci introduit une inégalité diurne (c'est-à-dire de période proche de 24 h) dans la force génératrice de la marée.
- 13 Les variations de la déclinaison de la lune modulent la force génératrice de la marée au rythme du mois lunaire, celles de la déclinaison du soleil au rythme de l'année solaire.

19



7.3.2.3. — Influence de la déclinaison de l'astre.

01 7.3.2.4. Autres influences

- 07 Le système est encore compliqué par le fait que les astres suivent des orbites elliptiques mobiles les unes par rapport aux autres. La combinaison de tous ces facteurs fait que la marée n'est pas en toute rigueur un phénomène périodique.

01 7.3.3. Réponse de l'océan à la force génératrice de la marée

01 7.3.3.1. Onde de marée

- 07 La rapidité du mouvement des astres ne permet pas aux particules d'eau d'atteindre une position d'équilibre : elles sont constamment sollicitées vers une nouvelle position d'équilibre qu'elles ont tendance à dépasser, et accomplissent des oscillations réglées par les lois de la dynamique.
- 13 L'océan répond à la force génératrice de la marée variant au rythme du passage des astres par une **onde de marée** qui a la même période et qui en se propageant provoque le phénomène de marée tel qu'il est perçu.

01 7.3.3.2. Action des bassins sur l'onde de marée

- 07 La marée observée est la manifestation de cette onde qui, au cours de sa propagation, s'est réfléchi, réfractée, dissipée dans le milieu extrêmement complexe que constituent les bassins maritimes.
- 13 Par le jeu des réflexions multiples sur les limites océaniques, il peut se créer des interférences, qui peuvent favoriser certaines fréquences (résonance des bassins) ou bien les contrarier.
- 19 Le temps de propagation de l'onde de marée se traduit par un déphasage entre la force génératrice de la marée et la marée observée.

01 7.3.3.3. Effet des faibles profondeurs

- 07 Lorsque la profondeur est du même ordre de grandeur que le marnage, la courbe de marée est déformée : en particulier l'onde de pleine mer progresse plus rapidement que l'onde de basse mer, le montant devient de plus en plus court et le perdant de plus en plus long.
- 13 La courbe de marée est parfois profondément modifiée. Ainsi en certains ports il se produit deux pleines mers successives au lieu d'une seule (Southampton), ou une très longue étale de pleine mer (tenue du plein au Havre), ou deux basses mers successives (Hoek van Holland).

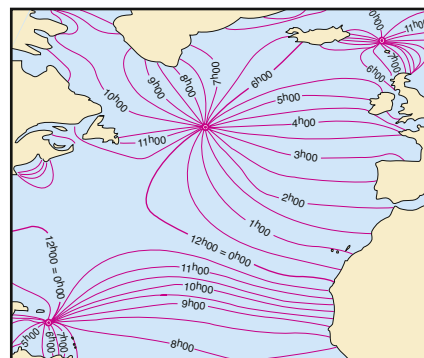
01 7.3.3.4. Lignes cotidales

- 07 Pour représenter la propagation de la marée dans un bassin océanique ou une zone côtière, il est commode de tracer les **lieux d'égal marnage** et les lieux d'égale phase de l'onde de marée ou **lignes cotidales** (figure 7.3.3.4.). Ces lignes représentent approximativement les positions de la crête d'une onde de marée à des époques successives. On observe que les lignes cotidales rayonnent souvent autour de **points amphidromiques** où la marée est nulle.

13



◀ Lignes cotidales et d'isomarnage en Manche par vive-eau moyenne



▲ Points amphidromiques en Atlantique Nord (les heures de pleine mer sont rapportées au passage de la Lune au méridien de Greenwich)

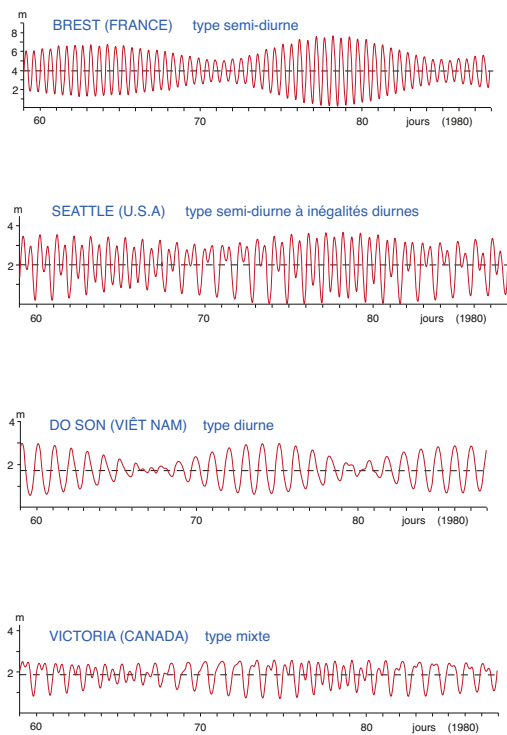
7.3.3.4. — Lignes cotidales et d'égale marnage et points amphidromiques.

01 7.3.4. Types de marée

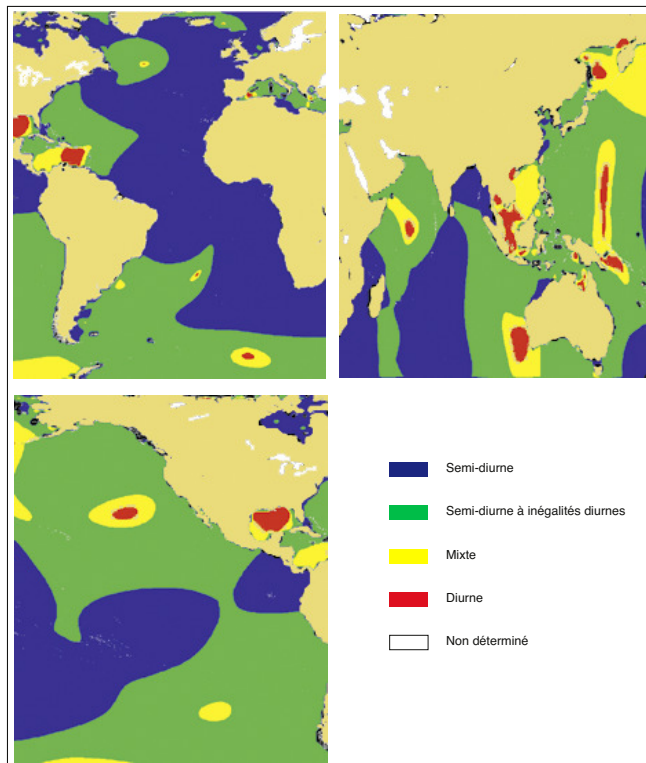
01 7.3.4.1. Principaux types de marée

- 07 L'observation des courbes de marée en différents points du globe a permis de les regrouper en quatre principaux types.

13



Courbes pendant une lunaison



Répartition dans le monde

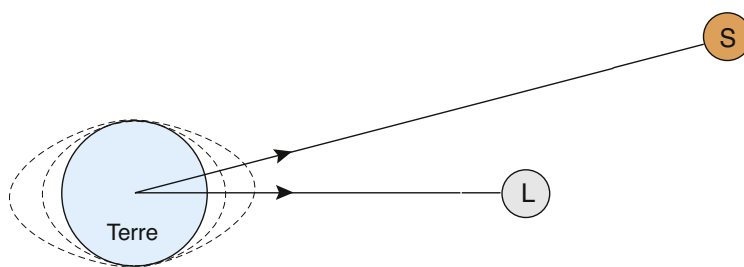
7.3.4.1. — Les principaux types de marée.

01 7.3.4.2. Les marées semi-diurnes

07 Elles sont caractérisées par deux pleines mers et deux basses mers ayant sensiblement mêmes hauteurs au cours d'une période de 24 h 50 min (1^{re} courbe de la figure 7.3.4.1.).

13 Le marnage est maximal après les **syzygies** (nouvelle et pleine lunes) où les influences de la lune et du soleil s'ajoutent : c'est la **vive-eau**. Les plus fortes vives-eaux semi-diurnes s'observent au voisinage des équinoxes ; on appelle **âge de la marée** le retard de la vive-eau sur la syzygie ; cet intervalle est approximativement constant pour un port donné.

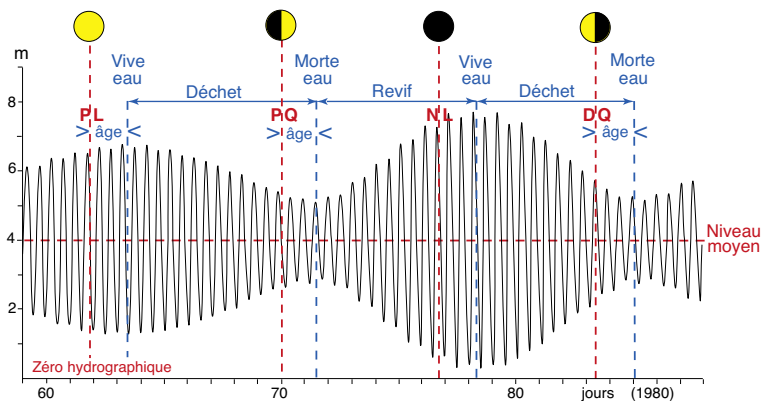
19



7.3.4.2.A. — Position des astres en vive-eau.

25 Pendant la phase de « déchet » le marnage diminue jusqu'après les quadratures (premier et derniers quartiers de la lune) : c'est la **morte-eau**. Il augmente à nouveau pendant le « revif » jusqu'à la syzygie suivante.

Coefficient	Marée correspondante
120	vive-eau extrême
100	vive-eau moyenne d'équinoxe
95	vive-eau moyenne
70	marée moyenne
45	morte-eau moyenne
20	morte-eau extrême



7.3.4.2.B. — Coefficient et marée semi-diurne ; courbe de marée pendant une lunaison.

- 37 En France on associe aux marées de type semi-diurne la notion de **coefficient de marée**, exprimé en centièmes et publié dans l'*Annuaire des Marées, tome 1 – Ports de France* et le logiciel SHOMAR, et proportionnel au marnage de la composante semi-diurne de la marée. Les coefficients de marée donnés dans l'annuaire sont calculés pour le port de Brest.
- 43 Par convention le coefficient 100 est attribué à la vive-eau moyenne de syzygie qui suit les équinoxes.
- 49 Ce type de marée domine sur les côtes d'Europe et de l'Océan Atlantique.

01 7.3.4.3. Les marées semi-diurnes à inégalité diurne

- 07 Comme les marées semi-diurnes, elles sont caractérisées par 2 pleines mers et 2 basses mers par jour lunaire (2^e courbe de la figure 7.3.4.1.), mais il existe des inégalités qui peuvent être très importantes entre les hauteurs des pleines et des basses mers d'une même journée et entre les durées du montant et du perdant. La différence de hauteur appelée inégalité diurne est maximale en même temps que la déclinaison de l'astre.
- 13 L'inégalité diurne, faible sur les côtes d'Europe et de l'Océan Atlantique devient très forte en certains endroits de l'Océan Indien et de l'Océan Pacifique.

01 7.3.4.4. Les marées diurnes

- 07 Elles sont caractérisées par une seule basse mer et une seule pleine mer par jour lunaire (3^e courbe de la figure 7.3.4.1.).
- 13 Les marnages augmentent avec la déclinaison des astres. Les plus grandes vives-eaux diurnes sont observées au voisinage des solstices.
- 19 Ce type de marée est surtout observé dans l'Océan Pacifique sur les côtes de l'Asie du Sud-Est (Viêt Nam, Cambodge), sur la côte Nord du Golfe de Mexico et à Copenhague.

01 7.3.4.5. Les marées mixtes

- 07 Au cours d'une lunaison, ces marées peuvent être tantôt diurnes, tantôt semi-diurnes (4^e courbe de la figure 7.3.4.1.). Ce type de marée est fréquent en Indonésie, au Viêt Nam, sur les côtes de Sibérie, d'Alaska et sur la côte Ouest des États-Unis. On le rencontre aussi aux Antilles.

01 7.3.4.6. Les marées à caractère solaire

- 07 Parfois le marnage de la marée solaire, qui est d'ordinaire très inférieur à celui de la marée lunaire, s'en approche notablement (Tunisie, côte Sud d'Australie), de sorte que la marée totale perd en partie son caractère lunaire : c'est le cas à Tahiti où les marées de morte-eau sont insignifiantes et les marées de vive-eau ont un caractère solaire très marqué.

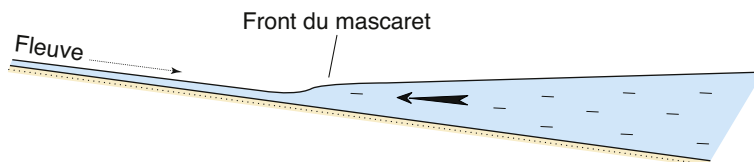
01 7.3.4.7. Les marées fluviales

- 07 Les marées fluviales sont des marées dérivées de celles de la zone d'embouchure, mais leur marnage varie pour deux causes contradictoires : la forme généralement en entonnoir de l'estuaire provoque une convergence

de l'onde, donc une augmentation du marnage ; au contraire les résistances de frottement et le relèvement du lit du fleuve créent une diminution du marnage.

- 13 La vitesse de propagation de l'onde de marée augmentant avec la profondeur (§ 7.3.3.3.), la pleine mer remonte le fleuve plus rapidement que la basse mer. Il arrive même dans certaines embouchures de fleuve encombrées par des alluvions que la montée de l'eau est si brutale qu'elle se manifeste par l'arrivée, à basse mer, d'une vague puissante, haute parfois de plusieurs mètres, qui progresse en déferlant, c'est le **mascaret**.

19



7.3.4.7. — Mascaret.

01 7.3.5. Méthode de prédiction des marées

01 7.3.5.1. Exposé de la méthode harmonique

- 07 Mouvement oscillatoire complexe du niveau de la mer, la courbe de marée peut être représentée mathématiquement comme résultant de la composition d'un nombre illimité d'oscillations élémentaires strictement périodiques.
- 13 C'est la décomposition de la marée en composants périodiques qui est à la base des méthodes de prédiction modernes, et en particulier celle de la *Table des marées des grands ports du Monde*. Cette *Table*, qui n'est plus publiée, fournit un nombre limité de composants harmoniques, à la base de la plupart des logiciels de calcul de marée disponibles sur les sites internet. Ce n'est pas le cas du site internet du SHOM et du logiciel SHOMAR pour lesquels le nombre de composants harmoniques est bien plus important (143) et permet des prédictions de meilleures précisions.

01 7.3.5.2. Principales composantes élémentaires

- 07 Les ondes peuvent être classées suivant leur période. Les principales ondes élémentaires utilisées pour une prédiction approchée sont les suivantes :
- ondes annuelles : Sa (traduit les variations saisonnières) ;
 - ondes diurnes : luni-solaire K1 et lunaires O1 et Q1 ;
 - ondes semi-diurnes : M2, N2, S2 et K2 ;
 - ondes quart-diurnes : MN4, M4 et MS4.
- 13 D'autres ondes élémentaires supplémentaires sont encore intégrées dans les documents de prédiction de marée.

01 7.3.6. Documents de prédiction des marées

01 7.3.6.1. Ouvrages spécialisés sur les marées

- 07 Le volume 1 donne la liste des ouvrages du SHOM permettant d'accéder aux prédictions de marée : annuaires, tables, logiciel SHOMAR, etc. Les différentes méthodes utilisées pour établir ces prédictions sont exposées sommairement dans les préfaces des ouvrages. Le site internet du SHOM permet l'accès gratuit aux prédictions de marée pour les 7 jours à venir dont celui de la consultation.

01 7.3.6.2. Autres documents généraux

- 07 Sur les cartes marines des régions où la marée est de type semi-diurne, on trouve pour certains points de référence l'indication des hauteurs des pleines mers et basses mers en vive-eau moyenne et en morte-eau moyenne.
- 13 Les *Instructions Nautiques* contiennent des informations générales sur les marées et leur propagation dans la zone.

01 7.3.7. Hauteur d'eau à un instant quelconque

01 7.3.7.1. Énoncé du problème

07 Connaissant les heures et hauteurs de pleine mer et de basse mer prévues en un lieu donné, on peut calculer la **hauteur d'eau due à la marée** à un instant quelconque en ce lieu. Il existe pour cela diverses méthodes.

01 7.3.7.2. Prédications et calculs disponibles sur le serveur internet du SHOM

07 Le serveur internet du SHOM (www.shom.fr) fournit des prédictions de marée (volume 1).

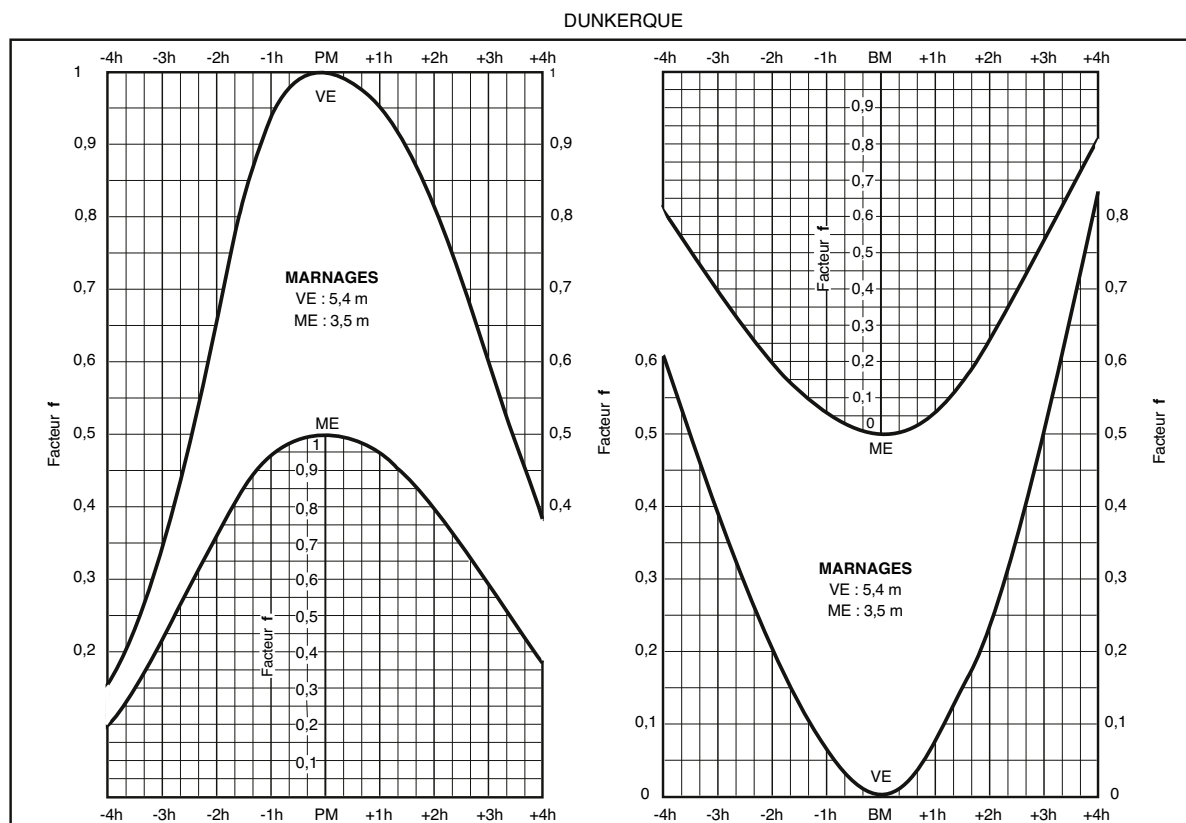
13 Le logiciel SHOMAR permet d'effectuer sept types de calculs (volume 1).

01 7.3.7.3. Méthode des courbes-types

07 Cette méthode, qui ne s'applique que pour les marées semi-diurnes des zones couvertes par l'*Annuaire des marées, tome 1 - Ports de France*, présente un bon compromis rapidité/simplicité/précision (de l'ordre de 10 ou 20 cm).

13 Pour chacun des ports principaux de la zone, l'*Annuaire des marées* propose des **courbes-types de marée**. Ces courbes-types permettent de reconstituer la courbe de marée soit entre une pleine mer et une basse mer consécutives, soit entre une basse mer et la pleine mer suivante, lorsque les éléments de ces pleine et basse mer sont donnés (heure, hauteur et coefficient). La hauteur d'eau à un instant t est obtenue en ajoutant à la hauteur de la marée basse le produit du marnage par le facteur f donné par la courbe après interpolation sur le coefficient de marée. On trouvera au début de l'*Annuaire des marées* des exemples de calcul à partir des courbes-types.

19



7.3.7.3. — Exemple de courbe-type.

01 7.3.7.4. Autres méthodes

- 07 En dernière page l'*Annuaire des marées* fournit une méthode graphique assimilant la courbe de marée à une sinusoïde. Cette méthode n'est applicable qu'aux marées semi-diurnes, et l'erreur qui en résulte est maximale à mi-marée. Elle exige de prendre une marge de sécurité du dixième du marnage.
- 13 Enfin une méthode très grossière consiste, pour une marée semi-diurne, à appliquer la « **règle des douzièmes** ». La mer monte ou descend pendant un peu plus de 6 heures ; on divise d'abord par 6 l'intervalle entre la pleine mer et la basse mer consécutives pour obtenir « l'heure-marée »
- 19 On applique ensuite la règle suivante selon laquelle la mer monte ou descend de :
- 1/12 du marnage pendant la 1^{re} heure-marée ;
 - 2/12 du marnage pendant la 2^e heure-marée ;
 - 3/12 du marnage pendant la 3^e heure-marée ;
 - 3/12 du marnage pendant la 4^e heure-marée ;
 - 2/12 du marnage pendant la 5^e heure-marée ;
 - 1/12 du marnage pendant la 6^e heure-marée.
- 25 Connaissant la valeur de l'heure-marée et la valeur du marnage, on obtient rapidement la hauteur d'eau d'heure-marée en heure-marée. L'erreur avec cette méthode peut atteindre 50 cm, voire plus pour certaines courbes de marée très déformées.

01 7.3.7.5. Marge de sécurité

- 07 Quel que soit le document utilisé et la méthode employée pour les calculs de marée, le navigateur doit faire preuve de la plus grande prudence pour naviguer sur des zones à faible profondeur en raison des imprécisions de calcul et des décotes possibles (§ 7.4.3.).
- 13 Un « **pieu de pilote** » d'au moins 50 cm ou 1/10^e du marnage constitue la marge de sécurité normale pour un navire de dimensions moyennes.

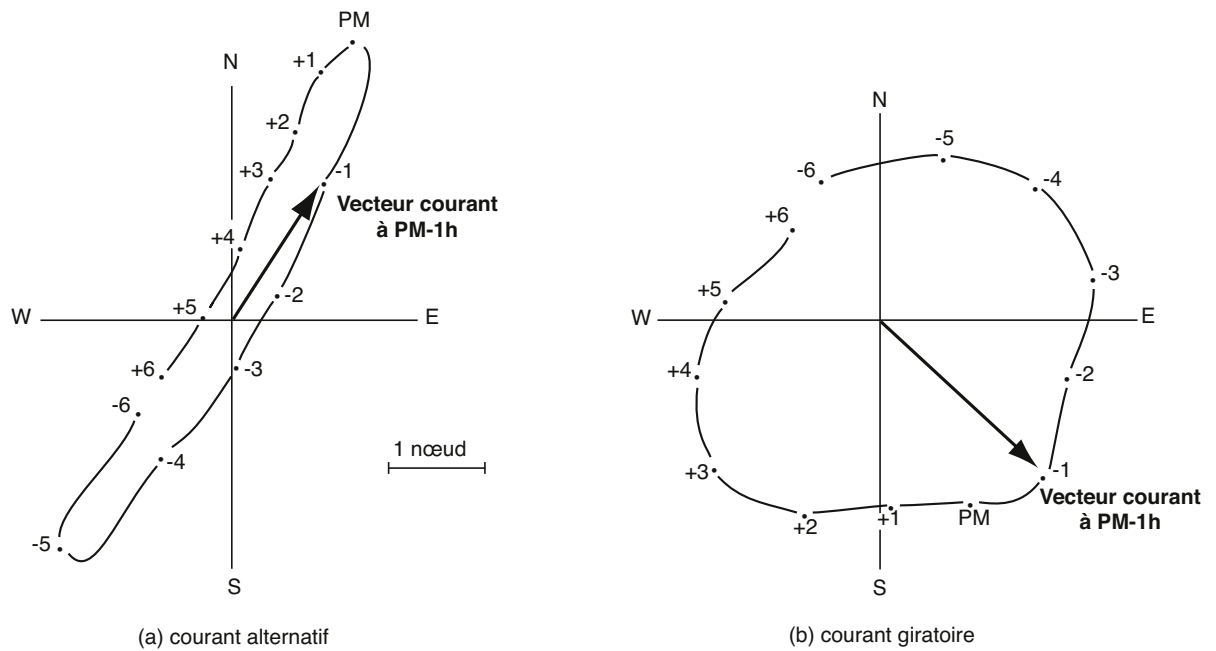
01 7.3.8. Courants de marée

01 7.3.8.1. Généralités

- 07 Les déplacements horizontaux des particules d'eau qui accompagnent la montée et la descente du niveau de la mer sous l'effet de la marée sont appelés **courants de marée**. Ces courants sont périodiques et liés au rythme de la marée.
- 13 Les courants de marée sont toujours négligeables au large des plateaux continentaux ; par contre ils ont une forte incidence sur la navigation par fonds faibles dans la zone côtière.
- 19 En outre, ils se distinguent par des vitesses extrêmes parfois très élevées près des côtes.

01 7.3.8.2. Types de courants de marée

- 07 Un courant en un point et en un instant donnés est caractérisé par sa direction, qui est celle vers laquelle il porte, et sa vitesse comptée en nœuds, l'ensemble constituant le vecteur courant.
- 13 Une représentation graphique commode des courants de marée en un point en fonction du temps consiste à porter toutes les heures à partir de ce point l'extrémité du vecteur courant. La courbe qui en résulte, appelée **rose de courant**, est graduée en heures par rapport à l'heure le plus souvent de la pleine mer, parfois de la basse mer (Le Havre, par exemple), d'un port de référence proche.
- 19 L'observation des roses de courant en différents points du globe a permis de distinguer :
- les **courants alternatifs** [courbe (a) de la figure 7.3.8.2.] portant dans une direction à peu près fixe au cours d'une demi-période de la marée et dans la direction sensiblement opposée au cours de l'autre moitié de la période ;
 - les **courants giratoires** [courbe (b) de la figure 7.3.8.2.] dont la direction varie largement au cours de la période de la marée.
- 25 Cependant entre ces deux types extrêmes peuvent se rencontrer des cas intermédiaires, presque alternatifs ou légèrement tournants.



7.3.8.2. — Exemples de rose de courant.

01 7.3.8.3. Corrélation entre marée et courants alternatifs

07 Pour les courants alternatifs plusieurs cas sont à considérer :

- lorsque l'onde de marée accompagnant le courant est une onde progressive, c'est-à-dire lorsque l'heure de la pleine mer se décale régulièrement dans le temps le long de la direction de propagation, alors le **flot** est le courant qui porte dans la direction de propagation de l'onde et le **jusant** est le courant qui porte dans le sens inverse ;
- lorsque l'onde marée accompagnant le courant est une onde stationnaire résultant de la superposition d'une onde progressive incidente et d'une onde progressive réfléchie de même amplitude, ou lorsque le courant est lié à un phénomène hydraulique (remplissage ou vidage de baie), alors le **flot** est le courant qui accompagne le montant (§ 7.3.1.2.) et le **jusant** est le courant qui accompagne le perdant.

13 En pratique on assiste généralement à une combinaison d'ondes progressives et stationnaires, ce qui conduit pour les courants à un régime intermédiaire, comme le montre le tableau 7.3.8.3.

19

Instant de la marée	Caractéristiques des courants de marée alternatifs		
	Marée à onde progressive	Marée à onde stationnaire ou courant hydraulique	Superposition d'une onde progressive et d'une onde stationnaire
Basse mer	Jusant maximum	Étale de jusant (courant nul) Début du flot	Fin du jusant Étale de jusant (courant nul) Début du flot Flot maximum Fin du flot Étale de flot (courant nul) Début du jusant Jusant maximum
Mi-montant	Fin du jusant Étale de jusant (courant nul) Début du flot	Flot maximum	
Pleine mer	Flot maximum	Fin du flot Étale de flot (courant nul) Début du jusant	
Mi-perdant	Fin du flot Étale de flot (courant nul) Début du jusant	Jusant maximum	
Basse mer	Jusant maximum	Fin du jusant Étale de jusant (courant nul)	

7.3.8.3. — Corrélation entre marée et courants alternatifs.

01 **7.3.8.4. Corrélation entre marée et courants giratoires**

07 Pour les courants giratoires l'examen de la rose de courant ne suggère à priori aucune division en flot et jusant. Si l'on veut néanmoins rapprocher variation de courant et variation de niveau d'eau, on dit par convention que le **flot** est le courant qui accompagne le montant (§ 7.3.1.2.), et que le **jusant** est le courant qui accompagne le perdant.

01 **7.3.8.5. Vitesse des courants de marée**

07 La vitesse maximale du courant de marée en un point dépend principalement de l'importance du marnage. Elle est donc en relation avec le coefficient dans le cas des marées semi-diurnes.

13 Dans tous les cas où l'on dispose de documents indiquant les vitesses maximales en vive-eau moyenne et en morte-eau moyenne, on obtient une estimation convenable du courant, pour une marée de coefficient donné, en opérant par interpolation entre les vitesses indiquées.

01 **7.3.8.6. Variation de vitesse au cours d'une demi-marée**

07 Pour les courants alternatifs, si l'on ne connaît que la vitesse maximale du courant, une méthode très grossière dite « **règle des sixièmes** » apparente à une sinusoïde la variation de la vitesse du courant au cours d'une demi-période. Selon cette règle, la vitesse du courant augmente des 3/6 de sa valeur maximale durant la 1^{re} heure après l'étale (courant nul), des 2/6 de cette valeur durant la 2^e heure, de 1/6 de cette valeur pendant la 3^e heure, puis décroît dans les mêmes proportions durant les 3 heures suivantes. Cette règle très approchée ne doit toutefois être utilisée qu'avec prudence.

01 **7.3.8.7. Prédiction des courants de marée**

07 Le volume 1 donne la liste des documents publiés par le SHOM, relatifs aux courants de marée.

13 Les atlas *Courants de marée* se présentent sous forme d'un ensemble de planches horaires où les courants sont visualisés par des vecteurs accompagnés d'indications chiffrées de la vitesse correspondant aux marées de vive-eau moyenne et de morte-eau moyenne. La densité d'informations est suffisante pour la navigation dans la zone couverte.

19 Sur les cartes marines où l'importance et la complexité des courants de marée semi-diurne le justifient, des tableaux indiquent lorsque cela est possible, pour divers points de la zone présentant un intérêt pour la navigation (mouillages, chenaux, points représentatifs d'un secteur), la vitesse et la direction du courant d'heure en heure, en période de vive-eau moyenne et de morte-eau moyenne. Lorsque cela n'est pas possible, des flèches de courant sont portées sur la carte.

- 25 Dans les atlas et **tableaux de courants**, pour calculer le courant au point de mesure en un instant donné, on calcule le temps qui sépare cet instant de la pleine mer du port de référence proche et on procède par règles de trois afin de rapporter vitesse et direction à l'heure exacte et au coefficient.
- 31 Les *Instructions Nautiques* contiennent également des informations générales sur les courants de marée de leur zone.

01 **7.3.8.8. Précision des calculs de courants de marée**

- 07 Même si les mesures ayant servi de bases à l'établissement des tableaux et planches donnant les courants de marée ont une précision de 2 à 3/10 de nœud et de 10° en direction, il faut tenir compte des interpolations diverses et il ne faut pas perdre de vue que les documents ne tiennent pas compte des anomalies dues à la situation météorologique. Le courant que l'on a calculé peut être très différent de la réalité. Son utilisation dans des problèmes de navigation et en particulier pour corriger l'estime doit faire largement appel au sens marin.

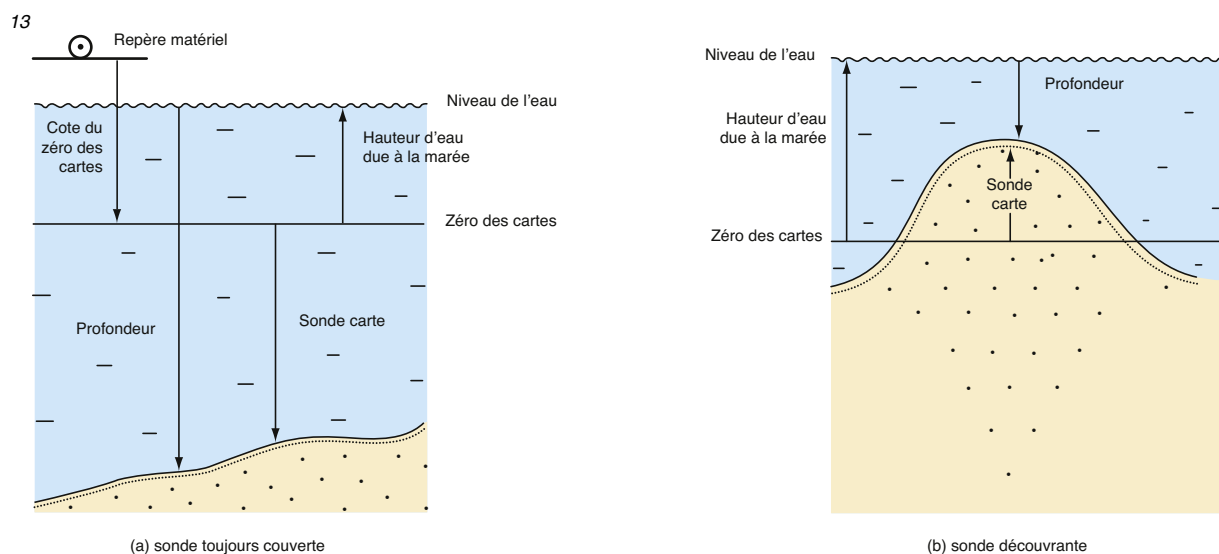
01 7.4. Niveau de la mer

01 7.4.1. Niveau de référence

07 Le volume 1 (annexe *Niveaux de référence des cartes — Zéro hydrographique*) fournit des indications relatives au niveau de référence des sondes des cartes marines. Par convention le **zéro des cartes ou zéro hydrographique** est en France voisin du niveau des plus basses mers astronomiques (certains pays adoptent des niveaux différents).

01 7.4.2. Hauteur d'eau due à la marée

07 Les documents de prédiction des marées permettent le calcul, en un point et à un instant donnés, de la hauteur d'eau due à la marée (§ 7.3.7.1.). Le niveau de la mer dans des conditions météorologiques standard (§ 7.4.3.2.) peut être connu en reportant cette hauteur d'eau à partir du zéro des cartes. La **profondeur en un point** s'obtient donc en ajoutant à la hauteur d'eau due à la marée la sonde lue sur la carte (en la retranchant s'il s'agit d'une sonde découvrante).



7.4.2. — Hauteur d'eau due à la marée.

01 7.4.3. Surcotes – décotes

01 7.4.3.1. Généralités

07 Des variations occasionnelles (surélévations ou abaissements) du niveau de la mer se produisent fréquemment et modifient la hauteur d'eau résultant des calculs de prédiction de la marée. Cette hauteur prédite peut ainsi différer sensiblement d'avec la hauteur d'eau réellement observée.

13 Le navigateur est surtout concerné par les abaissements ou **décotes** puisque la hauteur d'eau disponible est alors inférieure à celle attendue.

19 Les surélévations ou **surcotes** intéressent surtout la sécurité du littoral. Mais un navire qui serait conduit sur des fonds normalement inaccessibles risque fort de s'échouer lors du retour à la situation normale.

01 7.4.3.2. Surcote ou décote due à la pression atmosphérique

07 Le niveau marin réagit en « baromètre inversé », c'est-à-dire qu'une augmentation de pression de 1 hectopascal (par rapport à la situation standard de 1 013 hectopascals) entraîne une diminution de niveau d'à peu près 1 cm, et inversement.

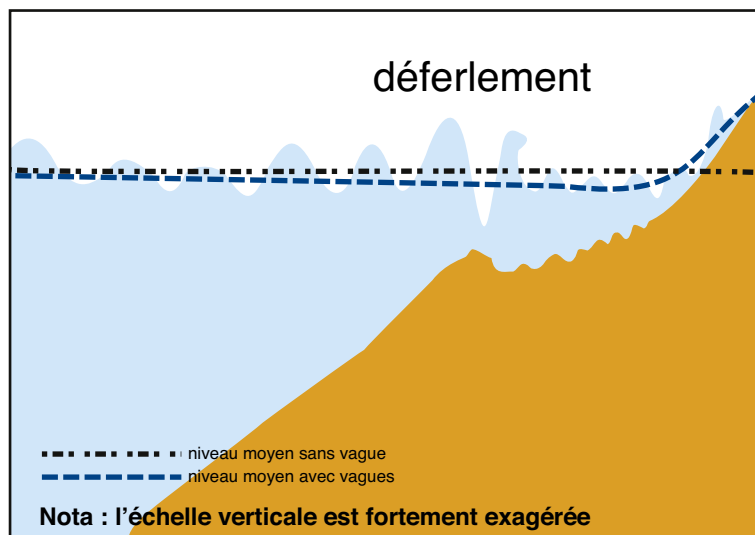
01 7.4.3.3. Surcote ou décote due à l'influence du vent

- 07 Un vent établi poussant les eaux de surface vers le large (courant de dérive, § 7.2.2.2.) provoque une baisse du niveau de la mer près des côtes : c'est un **vent de reflux**.
- 13 Inversement un **vent d'afflux**, qui pousse les eaux de surface vers la côte, provoque une montée du niveau de l'eau près de celle-ci.

01 7.4.3.4. Surcote ou décote due à l'influence des vagues

- 07 Les vagues introduisent une variation locale du niveau de la mer (figure 7.4.3.4.). À l'approche de la côte, le niveau de la mer s'abaisse légèrement jusqu'au déferlement (décote). Après le déferlement, la tendance s'inverse et le niveau moyen augmente et est maximum à la côte (surcote). Cette surcote, également appelée *wave set-up*, est de l'ordre de 10 à 20 % de la hauteur des vagues au niveau du déferlement.

13



7.4.3.4. — Variation du niveau moyen de la mer due aux vagues.

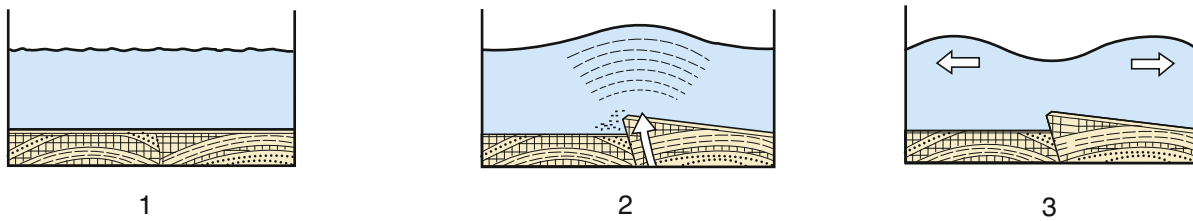
01 7.4.3.5. Onde de tempête

- 07 On appelle ainsi une surcote exceptionnelle pouvant atteindre plusieurs mètres sous l'effet de violents vents d'afflux liés à une profonde dépression atmosphérique.
- 13 Une telle **onde de tempête** (en anglais *storm surge* ou *storm tide*) peut se propager à des distances considérables et, en atteignant une côte devant laquelle le fond remonte brusquement, y provoquer une agitation soudaine et violente appelée **raz de marée** sans rapport avec le vent local.

01 7.4.3.6. Tsunami

- 07 Un **tsunami** est une onde très longue provoquée par un séisme sous-marin, une éruption volcanique sous-marine ou même un glissement de terrain. Cette onde peut se propager sur des distances considérables et provoquer, en abordant une côte, une surcote exceptionnelle qui peut atteindre 20 m. Cette onde est aussi appelée à tort **raz de marée** qui est une onde de tempête. La vague est parfois précédée par un brusque et important retrait des eaux ; ce signe précurseur peut intervenir avec un préavis de quelques minutes à une trentaine de minutes.
- 13 **Conduite à tenir par un navire**
- 19 En eau profonde, les vagues de tsunami se propagent avec une vitesse qui peut dépasser les 800 km/heure et leur hauteur est de l'ordre de quelques centimètres à quelques dizaines de centimètres, si bien qu'elles sont indétectables à bord des navires.
- 25 Dans les ports et les mouillages, les tsunamis peuvent occasionner des changements rapides du niveau de la mer et des courants dangereux imprévisibles.
- 31 Lorsque une alerte au tsunami est donnée dans la zone où l'on se trouve :
 – ne pas retourner au port si l'on est en mer, et gagner le plus rapidement possible les eaux profondes ;
 – si l'on est au port, appareiller si possible et gagner le large.

37



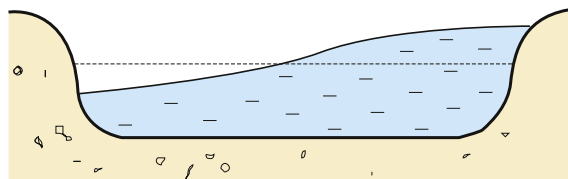
7.4.3.6. — Formation d'un tsunami.

01 **7.4.3.7. Seiche**

07 C'est une oscillation du niveau de l'eau due à une résonance du bassin sous l'effet d'une cause extérieure, séismique, atmosphérique ou houle à période longue. À la façon d'un pendule, la **seiche** peut continuer même lorsque la cause qui l'a fait naître a disparu. Une seiche peut ainsi durer de quelques minutes à plusieurs jours.

13 La période d'une seiche peut être de plusieurs dizaines de minutes et son amplitude peut dépasser 50 cm.

19



7.4.3.7. — Seiche.

25 Dans les ports connus pour être soumis à ce phénomène, l'amarrage des navires doit être spécialement renforcé et surveillé.

Pas de texte

Chapitre 8

La navigation à la vue

01 8.1. Zone de navigation côtière

01 8.1.1. Spécificité de la zone

- 07 La zone de navigation côtière va de la ligne de côte jusqu'à la limite de portée visuelle de la terre.
- 13 Elle inclut des zones à faible profondeur où le danger d'échouement existe, et des zones où la densité de la navigation rend nécessaire une veille anticollision attentive.
- 19 La zone côtière nécessite donc des procédés de navigation rapides et sûrs.
- 25 Par ailleurs, cette zone inclut des zones où le bâtiment ne dispose pas en permanence de l'espace de manœuvre pour effectuer une giration complète sans danger : les méthodes particulières de navigation dans ces eaux resserrées font l'objet du chapitre [13](#).

01 8.1.2. Caractéristiques de la navigation à la vue

- 07 La navigation à la vue, qui utilise uniquement des procédés optiques de localisation, a l'avantage de fournir une vue d'ensemble renseignée et instantanée de la situation surface rapprochée. Mais elle présente l'inconvénient majeur de dépendre d'une bonne visibilité. D'où l'utilisation des autres moyens de localisation qu'il faut savoir combiner avec elle et avec l'estime pour assurer la sécurité de la navigation.

01 8.2. Point par trois relèvements simultanés

01 8.2.1. Principe

- 07 La navigation la plus courante consiste à identifier trois amers, à relever au compas leur relèvement en notant l'heure, à corriger ces relèvements de la variation et à les reporter sur la carte où on aura repéré préalablement les amers.
- 13 En général, les trois droites ne se coupent pas en un point mais forment un triangle appelé « chapeau » dont les dimensions donnent une bonne idée de la précision du point : on adopte normalement comme position le centre du cercle inscrit dans le triangle si celui-ci est petit, mais s'il se trouve à proximité d'un danger le navigateur avisé adoptera comme position le sommet le plus proche du danger et fera un point pour confirmation.

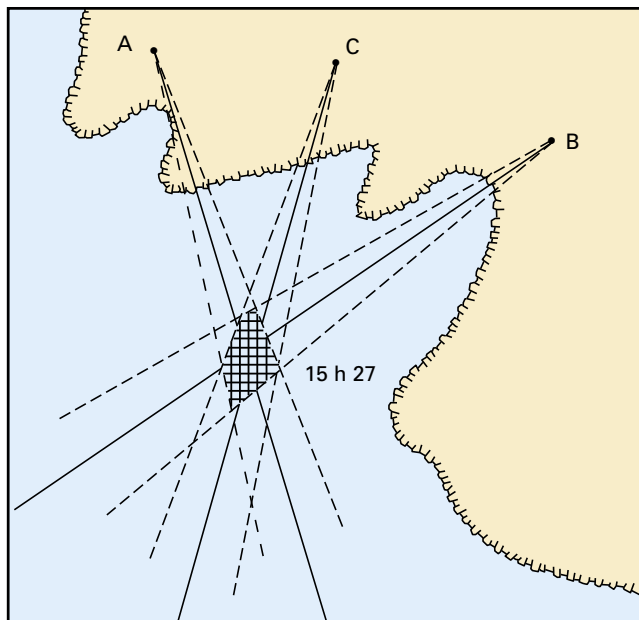
01 8.2.2. Qualités d'un amer

- 07 La principale qualité d'un **amer** est d'être identifiable sur la carte et à la vue. La position de l'amer doit être **fixe** ce qui exclut les navires au mouillage ou les plates-formes mobiles de forage (volume 3). L'amer doit être **repéré sur la carte**, ce qui conduit à éviter d'utiliser un immeuble de construction trop récente ou une enseigne lumineuse de supermarché, ou bien un rocher difficile à identifier sur la carte. La **direction** de l'amer doit être aussi **précise** que possible, ce qui conduit à privilégier les amers à lignes verticales et à rejeter par exemple les sommets de colline arrondis. Les pointes de terre vues de profil ne seront utilisées que si elles tombent brusquement dans l'eau. Un phare, un clocher d'église ou une tourelle constituent d'excellents amers.

01 8.2.3. Polygone d'incertitude

- 07 La précision du point par trois relèvements dépend, en particulier, de celle de chaque relèvement d'amer lu sur un compas ou sur un répétiteur. Elle est donc fonction de la connaissance de la variation du compas et est pénalisée en cas d'imprécision de la mesure : imperfection ou jeux des alidades ou des lunettes de visée, contours imprécis de l'objet à relever, difficultés de visée par suite de la mauvaise visibilité ou d'une insuffisance de puissance d'un feu, mouvements du bâtiment (giration ou roulis), erreurs de lecture, etc. Le relèvement d'un amer à la mer n'est pas connu avec une précision supérieure à 1 ou 2 degrés dans les meilleures conditions.
- 13 Chaque relèvement détermine un secteur d'incertitude autour de la ligne de position, et le recoupement de plusieurs relèvements détermine un polygone d'incertitude (figure 8.2.3.).

19



8.2.3. — Polygone d'incertitude du point par trois relèvements simultanés.

25 Optimisation du polygone d'incertitude

- 31 L'écart métrique autour de la ligne de position croissant avec la distance de l'amer, le navigateur préférera un bon amer proche à un excellent amer lointain. Et pour que les recoupements des droites se fassent bien, le navigateur choisira ses amers de façon que leurs écarts angulaires soient supérieurs à 30° et inférieurs à 150° .

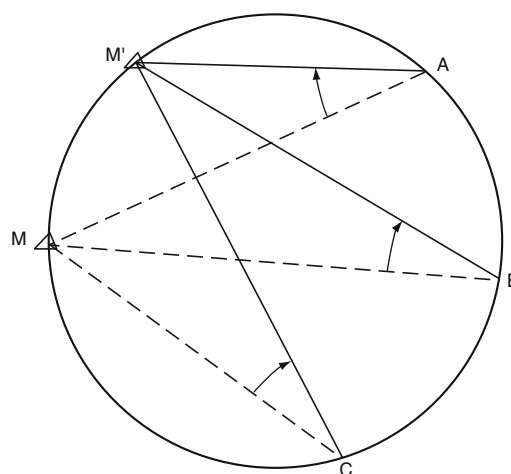
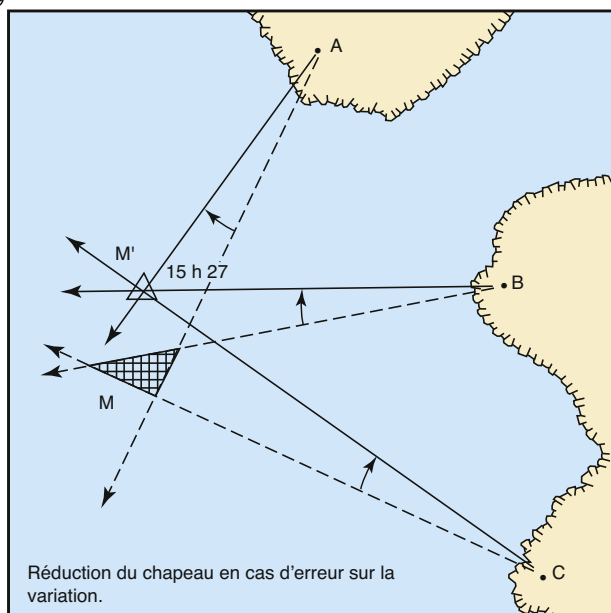
01 8.2.4. Critique du point

- 07 Un point par trois relèvements simultanés peut être faux dans les cas suivants :
- erreur dans l'identification d'un amer ;
 - erreur dans l'observation d'un relèvement. Cette erreur peut être due au compas (variation mal connue, oscillation du compas après une giration). Elle peut être également due à l'observateur (amer mal relevé, lecture erronée de l'alidade) ;
 - erreur due au report des relèvements sur la carte ;
 - intervalle trop grand entre les observations : le navire n'est pas stationnaire, et le décalage entre le premier relèvement et le troisième est d'autant plus grand que la vitesse du navire est plus grande ;
 - utilisation simultanée d'amers rattachés à des systèmes géodésiques différents, par exemple dans un détroit entre deux continents ou entre un continent et un groupe d'îles (la présence sur une carte de systèmes géodésiques différents est indiquée dans le titre).
- 13 Après avoir fait un point par trois relèvements simultanés, il faut donc critiquer ce point, ce qui se fait essentiellement en confrontant la carte et le paysage, et en vérifiant par l'estime la cohérence du point trouvé avec la série des points observés précédents.
- 19 En cas d'anomalie, il faut rechercher l'erreur et si elle n'est pas trouvée recommencer une observation.

01 8.2.5. Réduction du chapeau en cas d'erreur sur la variation

- 07 Si plusieurs points consécutifs par trois relèvements donnent des « chapeaux » grands et constants et s'il n'est pas possible de faire une variation du compas (§ 3.1.1.2.2.), on peut penser que ces « chapeaux » sont dus à une erreur constante sur la variation : il est alors possible de réduire le chapeau et d'avoir une idée de la variation en faisant tourner chaque ligne de position à partir des amers de la même valeur jusqu'à concurrence des lignes (figure 8.2.5.).
- 13 Cette méthode n'est pas applicable si les trois amers et le point trouvé peuvent être inscrits dans le même cercle : dans ce cas une erreur sur la variation n'est pas détectable et le point peut être faux sans que le navigateur puisse s'en rendre compte (figure 8.2.5.).

19



Cas ambigu : point faux indétectable.

8.2.5. — Réduction du chapeau en cas d'erreur sur la variation et cas ambigu.

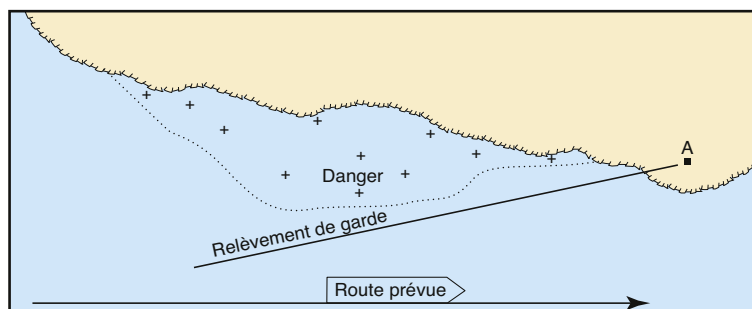
01 8.2.6. Pratique du point par trois relèvements

- 07 L'observation doit être faite dans un temps minimum en commençant par les amers les plus écartés du travers pour terminer par l'amer le plus traversier (dont le relèvement varie le plus rapidement).
- 13 Le point obtenu servira à repérer de nouveaux amers en prenant quelques relèvements supplémentaires sur l'avant de la route, puis en traçant ces relèvements sur la carte à partir du point de façon à identifier les amers relevés : c'est ce qu'on appelle « naviguer sur l'avant ».

01 8.2.7. Relèvement de garde

- 07 Un relèvement à partir d'un amer bien identifié peut aussi servir à parer un danger. Le **relèvement de garde** (figure 8.2.7.) sera choisi couvrant largement le danger compte tenu de l'incertitude sur la mesure du relèvement et d'une éventuelle fausse manœuvre du barreur.
- 13 Un alignement optique (§ 8.3.) peut être également utilisé en garde, il présente sur le relèvement l'avantage d'être affranchi d'une éventuelle erreur sur la variation du compas et d'être directement contrôlable à vue sans instrument.

19

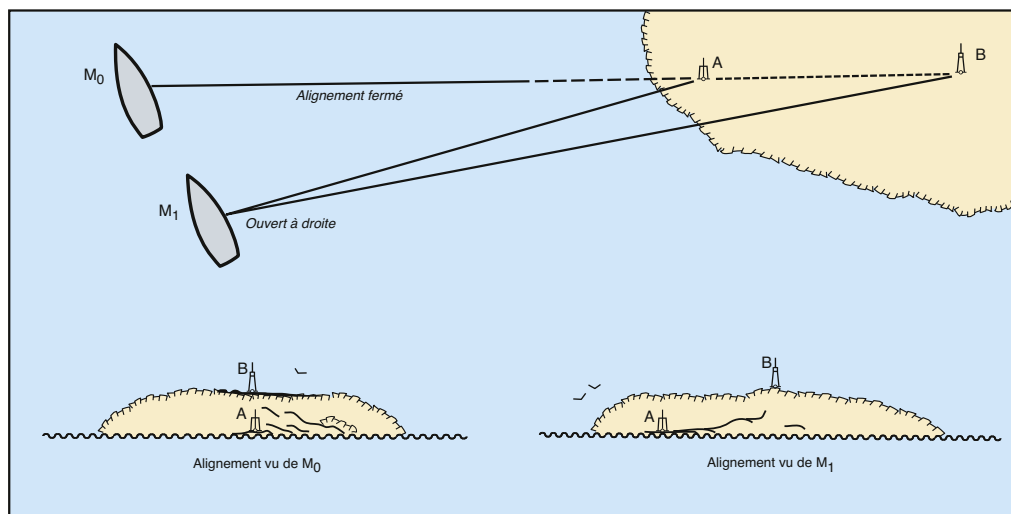


8.2.7. — Relèvement de garde.

01 8.3. Alignement optique

- 07 Deux amers identifiés dans le même relèvement forment un **alignement optique**. Le navigateur obtient ainsi un lieu de position d'une justesse parfaite car totalement indépendant d'un instrument de mesure, de l'adresse de l'observateur et des mouvements du navire.
- 13 La précision de l'alignement dépend de sa **sensibilité** : un alignement est d'autant plus sensible que les amers paraissent se déplacer plus nettement l'un par rapport à l'autre quand on coupe l'alignement. En pratique un alignement est dit sensible si le navire se trouve à moins de trois fois la distance entre les amers.
- 19 Un alignement est dit fermé si le navire se trouve dessus ; il est dit ouvert à droite (à gauche) si, vu du navigateur, l'amer postérieur se trouve à droite (à gauche) de l'amer antérieur (figure 8.3.)
- 25 L'association d'un alignement avec un relèvement traversier (corrigé de la variation) donne un point précis, la zone d'incertitude étant alors limitée au segment déterminé par l'intersection de l'alignement par le secteur d'incertitude du relèvement traversier.
- 31 L'alignement optique a d'autres utilisations possibles en navigation côtière : mesure de la variation du compas, chenal à suivre en eaux resserrées, marques de mouillage ou de giration, alignement de garde pour parer un danger, etc.

37



8.3. — Alignements ouvert et fermé.

01 8.4. Point par arcs capables

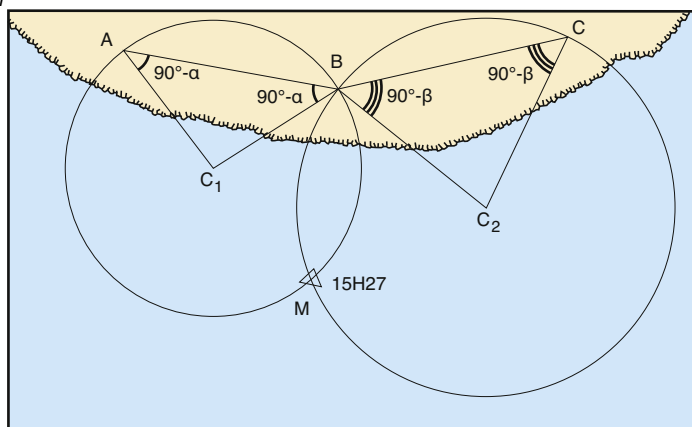
01 8.4.1. Principe

- 07 Le **point par arcs capables** (autrement appelé point par segments capables) se fait en mesurant les angles entre trois amers avec un sextant tenu à plat, un cercle hydrographique, un compas de relèvement ou un **taximètre** (rose de gisements).
- 13 À partir des positions des amers sur la carte sont ensuite construits les arcs capables, qui se coupent à la position du navire.

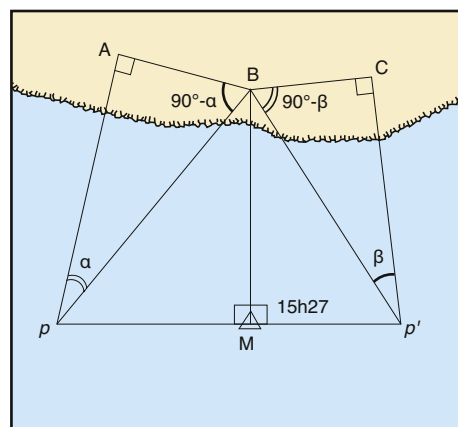
01 8.4.2. Construction graphique

- 07 Si α est l'angle mesuré du navire entre les amers A et B, et β l'angle entre B et C, une méthode consiste à déterminer les centres C_1 et C_2 des cercles capables : C_1 est à l'intersection des droites portées à partir de A et de B et faisant avec AB un angle $(90^\circ - \alpha)$; une construction équivalente donne C_2 . Les cercles de centres C_1 et C_2 passant par B se recoupent au point M qui est la position du navire (figure 8.4.2., à gauche).
- 13 Une autre méthode n'obligeant pas à tracer de cercle consiste à élever de A la perpendiculaire à AB qui coupe la droite portée à partir de B et faisant avec AB un angle $(90^\circ - \alpha)$ en un point p ; une construction équivalente à partir de C donne le point p'. La perpendiculaire du point B sur le segment pp' le coupe au point M qui est la position du navire (figure 8.4.2., à droite).
- 19 Si un angle observé (par exemple l'angle α) est supérieur à 90° les constructions restent valables mais il faut tracer vers la terre une droite faisant avec AB un angle $(\alpha - 90^\circ)$.
- 25 La détermination du point par arcs capables est impossible si les trois amers et la position du navire peuvent être inscrits dans le même cercle (cas ambigu de la figure 8.2.5.) car alors les arcs capables sont confondus.

31



Construction du point par arcs capables.



Autre construction du point par arcs capables.

8.4.2. — Différentes constructions du point par arcs capables.

01 8.4.3. Utilisation pratique du point par arcs capables

- 07 La précision dépend de l'instrument de visée : elle est inférieure à la minute d'arc si l'angle est mesuré avec un sextant ou un cercle hydrographique.
- 13 Le point par arcs capables, peu utilisé en navigation courante en raison de la complexité de sa construction graphique, est utilisé pour les opérations qui nécessitent une position très précise (mouillage de bouées, etc.). Il peut aussi servir à contrôler la tenue d'un mouillage.

01 8.5. Position par mesure optique de distance

- 07 Le lieu des points situés à une distance déterminée d'un amer est un cercle de position centré sur cet amer. La mesure de distance, habituellement faite par le radar de navigation, peut être faite aussi par moyen optique.
- 13 Le **télémètre optique** à coïncidence ou à effet stéréoscopique indique directement la mesure en mètres avec une précision proportionnelle à la dimension de la base optique et inversement proportionnelle à la distance mesurée.
- 19 Le **sextant** donne la mesure angulaire α d'un objet de dimension **h** connue et le navigateur peut en déduire la distance par la formule :
- 25 $D = h / \tan \alpha$
- 31 La précision du lieu dépend de la précision du contour de l'objet (attention à l'estran au pied des phares). Une erreur de mesure de une minute d'arc sur un objet de 30 mètres provoque à 5 000 m une erreur de 250 m.
- 37 L'emploi du lieu obtenu par mesure optique est le même que celui du cercle de distance obtenu par radar (§ 9.4.).

Pas de texte

Chapitre 9

La navigation au radar en zone côtière

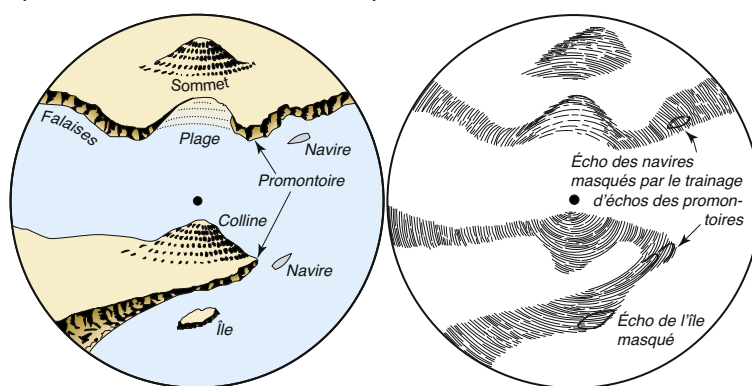
01 9.1. Généralités

- 07 L'utilisation du radar de navigation en zone côtière permet une localisation en tout temps (y compris de nuit ou par mauvaise visibilité) à condition que le navigateur sache interpréter le paysage présenté par l'indicateur radar. Les caractéristiques du radar (§ 3.1.7.3.3.) conduisent à privilégier l'emploi des distances radar et à n'utiliser qu'avec circonspection les relèvements fournis par cet équipement.
- 13 Les cercles de distance obtenus par le radar peuvent avantageusement se combiner avec les autres lieux de position (et en particulier les relèvements et alignements optiques).
- 19 La superposition (overlay) de l'image radar à l'image cartographique peut être particulièrement intéressante. Cette superposition est possible sur les [ECDIS](#) et sur certains [ECS](#).

01 9.2. Le paysage radar

- 07 Pour des positions différentes du navire, les ondes radar sont réfléchies très diversement par le relief environnant et, de même que le paysage visuel se présente différemment suivant le point de vue, l'assemblage des images obtenues sur l'écran radar, le **paysage radar**, dépend de l'importance et de la position des obstacles par rapport à l'émetteur. Cependant, au même point d'émission, ces apparences se retrouvent semblables, si bien que l'utilisateur peut en tirer un parti précieux à condition que des expériences préalables ou de véritables cartes d'images radar dressées empiriquement, à l'avance, lui permettent de reconnaître une disposition familière.
- 13 Dans tous les cas, le navigateur devra se garder d'identifier à la légère des profils vagues ou ressemblant grossièrement à ce qu'une estime souvent incertaine peut conduire à attendre.

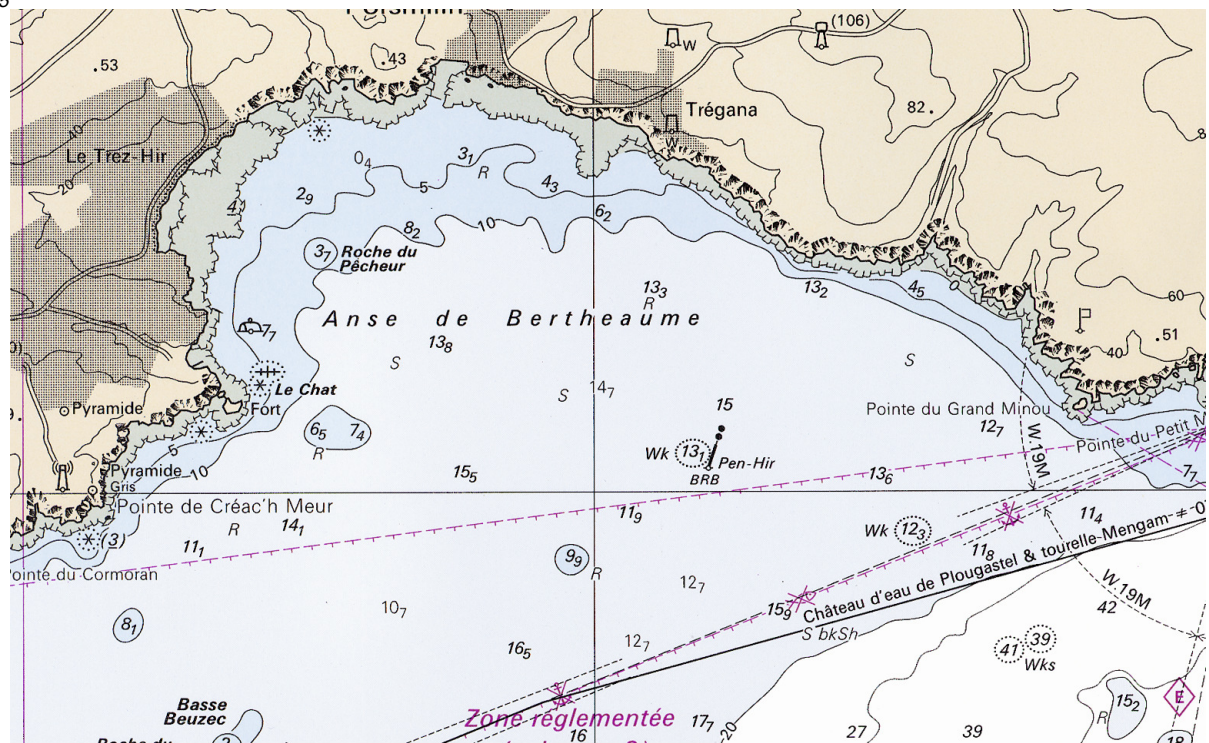
19



9.2.A. — Paysage radar.

- 25 L'image de l'arrière-pays sera semée de taches obscures provenant des lacunes de réflexion ou des ombres portées par l'effet d'écran des hauteurs du premier plan. Les falaises seront représentées par des traits nets, les plages en pente douce donneront des échos diffus coupés par des lacunes mais souvent soulignés par les échos des brisants. Les îlots en chaîne alignés perpendiculairement au relèvement du faisceau radar se traduiront par des lignes assez continues, les alignements d'îlots en biais par rapport au relèvement donneront des échos fragmentés et incomplets.
- 31 Enfin, dans le cas des paysages rapprochés, la distorsion due à la longueur de l'impulsion et surtout à la largeur du faisceau, introduira des apparences différentes de celles de la carte. Les déformations seront d'autant plus prononcées que la ligne de côte sera plus inclinée sur le faisceau radar. Certains amers tels que les bouées ou les îlots ou certains obstacles isolés tels que les navires ne ressortiront que faiblement ou pas du tout dans la zone angulaire balayée le long de la côte. Les profils rectilignes des constructions tels que ceux des édifices alignés ou des digues ne se dégageront avec leur forme qu'au premier plan et dans une direction normale.
- 37 À courte distance de terre, la hauteur de marée interviendra pour modifier la forme, la netteté et la continuité de la ligne de côte.
- 43 Pour toutes ces raisons, l'identification d'un paysage même rapproché ne sera décisive au premier contact qu'après confrontation des positions relatives avec celles obtenues par l'estime ou par d'autres observations antérieures ou simultanées : observations visuelles, astronomiques, radioélectriques ou éléments obtenus par la sonde. La superposition (overlay) de l'image radar à l'image cartographique sur un **ECDIS** ou sur un **ECS** peut être particulièrement utile.
- 49 Un procédé pratique consistera donc à placer sur la carte un transparent à la même échelle portant les cercles de distance et les échos que l'on veut identifier.

55



9.2.B. — L'anse de Bertheaume sur la carte marine et sur l'indicateur d'un radar.

01 9.3. Réflecteurs et balises radar

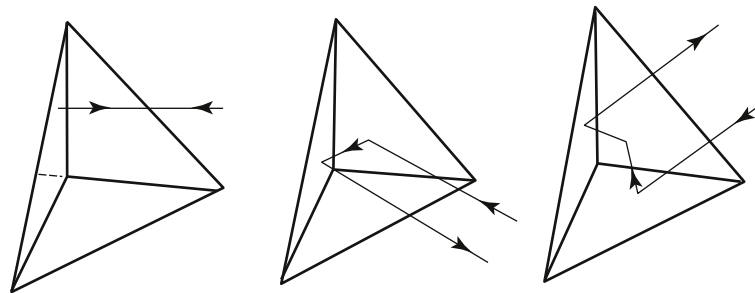
01 9.3.1. Réflecteurs radar

- 07 Certains amers artificiels (bouées, tourelles, phares) sont munis d'un dispositif particulier pour faciliter leur détection et leur identification au radar. Les **réflecteurs radar** peuvent être des réflecteurs géométriques ou des réflecteurs électroniques.

01 9.3.1.1. Réflecteurs géométriques

- 07 Les bouées et tourelles à réflecteur ont leurs qualités réfléchissantes améliorées grâce à des groupes de tétraèdres réguliers à base triangulaire dont les dimensions sont des multiples de la longueur d'onde moyenne du radar susceptible de les interroger (normalement 3 cm).

13



9.3.1.1. — Réflexion d'un tétraèdre.

01 9.3.1.2. Réflecteurs électroniques

- 07 Un **amplificateur électronique d'écho radar** (*Radar Target Enhancer*, RTE) est déclenché par les impulsions provenant d'un radar de navigation émettant en bande 3 cm, et amplifie l'écho radar du support sur lequel il se trouve. Très légers et de très faible consommation électrique, les amplificateurs d'écho radar sont conçus pour être installés sur les bouées, embarcations, installations en mer telles les fermes marines, etc.

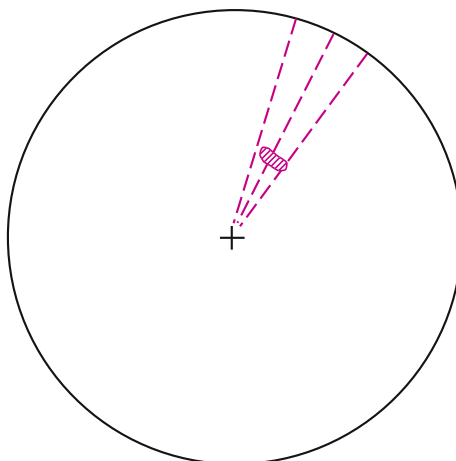
01 9.3.2. Balises radar

- 07 Les **balises radar** sont des dispositifs d'émission radio-électriques qui fonctionnent dans les deux bandes de fréquence utilisées par les radar de navigation des navires (bande 3 cm ou plus rarement bande 10 cm) et qui provoquent une image caractéristique sur l'indicateur radar du navire. La portée de détection sur les **balises radar** est très supérieure à celle d'une simple réflexion sur l'amer porteur de la balise.
- 13 Néanmoins la mise en route du dispositif « Anti Pluie » (§ 3.1.7.4.1.) du radar efface sur l'écran l'image caractéristique des balises radar.
- 19 On distingue deux catégories principales de balises radar : les balises **Ramark**, qui émettent en permanence, et les balises **Racon**, dont l'émission est déclenchée par la réception d'impulsions d'un radar émettant dans la bande considérée.
- 25 Les radars de nouvelle technologie en bande 10 cm (3 GHz) ne sont pas compatibles avec les balises Racon.
- 31 Pour plus de détails sur les balises Ramark et Racon, voir l'ouvrage *Radionavigation maritime*.

01 9.3.2.1. Balises Ramark

- 07 Peu répandues (ne sont pratiquement utilisées qu'au Japon) et n'existant que dans la bande 3 cm, les balises **Ramark** (Radar-mark) ont un émetteur qui fonctionne en permanence. Sur l'indicateur radar le signal apparaît sous la forme d'un pinceau étroit dans la direction de l'écho.

13

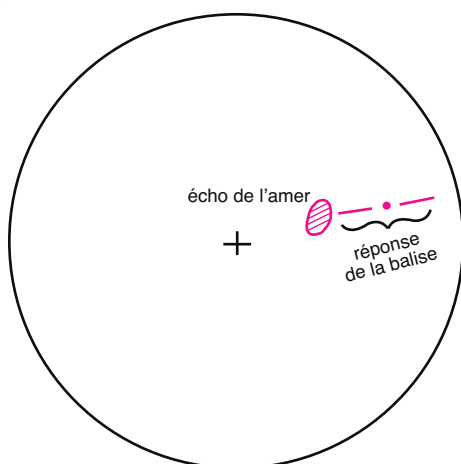


9.3.2.1. — Réponse d'une balise Ramark.

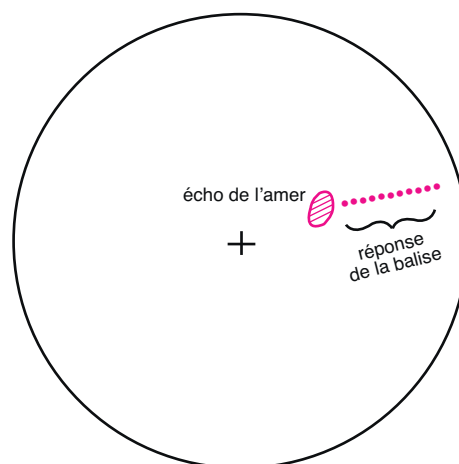
01 9.3.2.2. Balises Racon

- 07 Dans les balises **Racon** (Radar-beacon), l'émetteur est déclenché par les impulsions provenant du radar du navire émettant sur la fréquence ou dans la bande considérée.
- 13 Sur les balises à balayage lent, l'oscillateur de la balise balaie sa bande entre 30 à 120 secondes et ne déclenche une réponse que lorsque sa fréquence coïncide avec celle du radar du navire. La réponse apparaît alors derrière l'écho par un trait parfois modulé selon l'indicatif en Morse de la balise, ce qui permet son identification.
- 19 Sur les balises à balayage rapide, l'oscillateur balaie sa bande en 1 à 10 μs , de sorte qu'il répond pratiquement à toutes les interrogations des radars travaillant dans sa bande. La réponse apparaît derrière l'écho par une série de points.

25



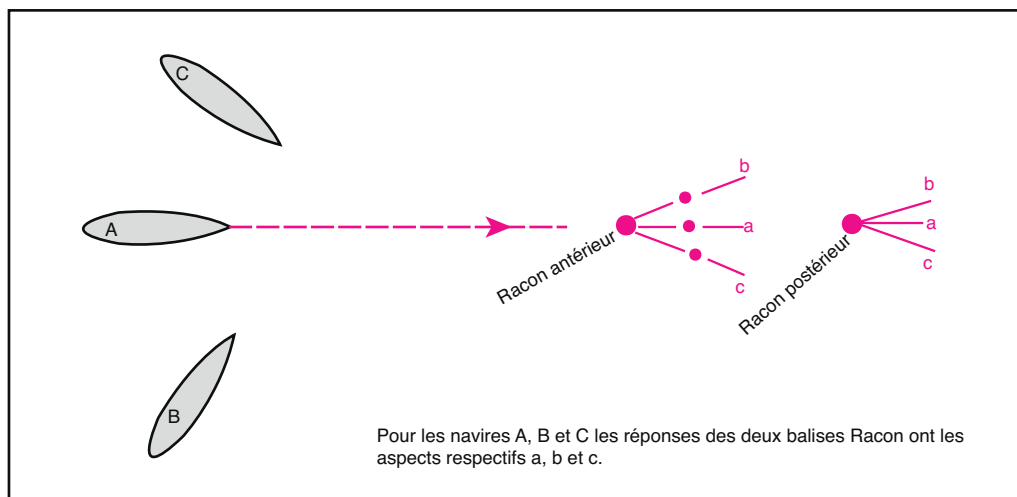
Réponse d'une balise RACON à balayage lent (code « K »).



Réponse d'une balise RACON à balayage rapide.

9.3.2.2.A. — Réponses d'une balise Racon à balayage lent et d'une balise Racon à balayage rapide.

- 31 Sur les balises à fréquence accordée, l'oscillateur s'adapte en une fraction de seconde au radar qui l'interroge et répond donc pratiquement à toutes les interrogations. La réponse peut être modulée de l'indicatif Morse comme celle des balises à balayage lent.
- 37 Certaines balises Racon peuvent être groupées pour former un alignement Racon qui a alors une précision de 0,3°. D'autres perfectionnements sont envisagés comme la possibilité de faire apparaître ou disparaître au gré du navigateur la réponse de la balise (balise commutable Itofar) ou de transmettre des données sur le navire.



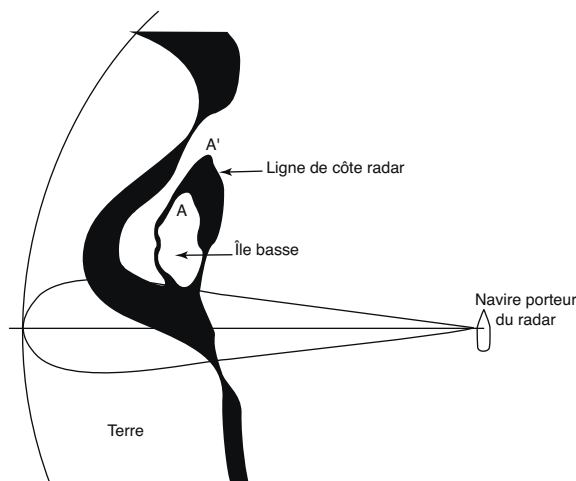
9.3.2.2.B. — Alignement Racon.

01 9.4. Le point radar

01 9.4.1. Éléments fournis par le radar

- 07 Le radar de navigation (§ 3.1.7.3.) est un bon instrument de **mesure des distances** : la précision peut atteindre 1 à 2 % de la distance à condition que la longueur d'impulsion le permette ou soit correctement choisie. Il est conseillé de prendre des amers accores et bien nets sur l'image radar, et de se méfier des échos sur les hauteurs lointaines. Pour faciliter les mesures de distance, le radar sera réglé sur la plus faible longueur d'impulsion possible et l'indicateur sur l'échelle de lecture la plus faible nécessaire pour faire apparaître les échos à mesurer.
- 13 Par contre un observateur non averti commet facilement des erreurs grossières de **mesure de direction** sur des échos de terre. La largeur du faisceau du radar provoque un étalement latéral des échos. Sur un but isolé pouvant être considéré comme ponctuel on peut s'affranchir de ce défaut en mesurant le relèvement du milieu de l'écho.
- 19 Il n'en est plus de même sur un trait de côte. Dans le cas de la figure 9.4.1., on sera souvent tenté de prendre le relèvement de A', bord de l'écho, pour celui de la pointe A et il est difficile de connaître la valeur exacte de l'étalement des échos pour pouvoir en corriger les mesures. (Cette erreur est de l'ordre de grandeur de la largeur du faisceau, 1 à 3° en général).
- 25 On devra, en conséquence, n'utiliser qu'avec prudence les mesures de relèvements de points à terre, toujours sujettes à caution.

31

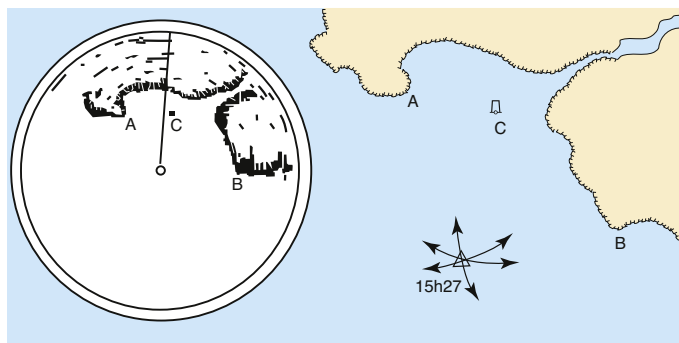


9.4.1. — Indicateur radar (Étalement des échos).

01 9.4.2. Point par trois distances radar

- 07 C'est une méthode précise à condition que les cercles de distance se recoupent avec un angle suffisant. Il est donc nécessaire de choisir des amers, si possible du même bord, écartés de 30° à 150°.

13

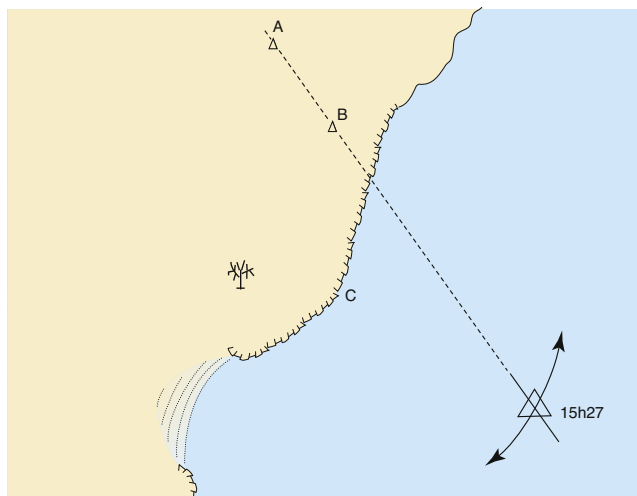


9.4.2. — Point par trois distances.

01 **9.4.3. Point par une distance radar et des éléments optiques**

07 Un excellent point peut être obtenu en combinant un cercle de distance radar avec deux relèvements optiques ou un alignement optique.

13



9.4.3. — Point par une distance radar et un alignement optique.

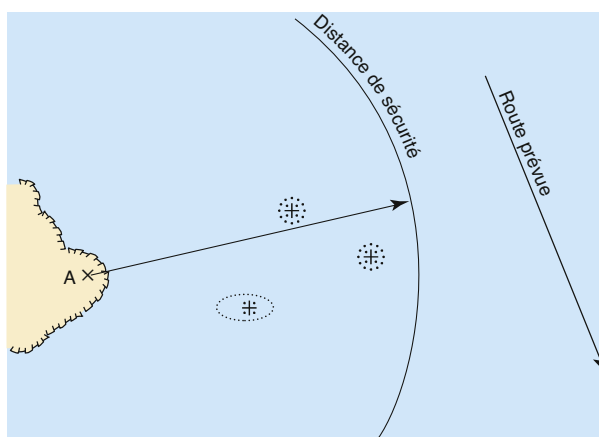
01 **9.4.4. Point par une distance et un relèvement radar**

07 Le point par une distance radar et un ou deux relèvements radar n'est à pratiquer qu'en dernière extrémité lorsqu'on ne peut faire autrement (par exemple le long d'une côte basse) en raison de l'imprécision du relèvement radar. Il devra être confirmé dès que possible par une autre méthode.

01 **9.4.5. Distance de sécurité (ou de garde)**

07 Le cercle de distance peut servir à parer un danger. Les cercles de distance seront tracés sur la carte et/ou sur l'indicateur radar, la **distance de sécurité ou de garde radar** sera choisie avec une marge tenant compte de l'incertitude sur la mesure effective de distance et d'une éventuelle fausse manœuvre du barreur.

13



9.4.5. — Distance de sécurité.

Chapitre 10

L'estime en navigation côtière

01 10.1. Généralités

- 07 L'estime consiste à déterminer, à partir du cap suivi depuis la dernière position connue du navire, de la distance parcourue et de la dérive due au vent et au courant, la route effectuée sur le fond et les coordonnées géographiques du navire au point d'arrivée.
- 13 Entre plusieurs lieux de position observés à des moments différents, l'estime est le fil conducteur qui permet de corréler ces lieux et d'apprécier leur vraisemblance. Les points observés permettent inversement de recalculer l'estime et d'en corriger les erreurs (dérive, vitesse).
- 19 L'estime permet à tout moment d'extrapoler des points anciens et de donner une position actualisée du navire. En cas de mauvaise visibilité et en l'absence d'autres moyens de navigation, l'estime permet d'entretenir la position, dans des conditions de sécurité qui sont satisfaisantes au début mais se dégradent peu à peu avec le temps.
- 25 L'opération inverse de l'estime est le calcul de la route et de la vitesse à faire pour aller d'un point à un autre.

01 10.2. Éléments de l'estime

- 07 L'estime repose sur des éléments mesurés (cap compas, temps écoulé, éventuellement vitesse surface ou fond) et sur des éléments évalués par le navigateur grâce à son expérience (dérive due au vent, vitesse en l'absence de loch) et aux documents de navigation pertinents (courants, variation du compas).

01 10.2.1. La dérive

- 07 Le navire se déplace sur un milieu constamment en mouvement du fait du vent et des courants marins. Le vecteur vitesse formé du cap vrai relevé et de la vitesse surface mesurée ou appréciée doit donc être corrigé pour obtenir le vecteur vitesse fond.
- 13 L'angle de **dérive** à adopter ou dérive totale est la somme algébrique de la dérive due au vent et de la dérive due au courant. La dérive due au vent est évaluée, par le navigateur, en fonction de la force du vent, de l'état de la mer, et de l'orientation relative du cap du navire et du lit du vent. Sur les grands navires, cette dérive est souvent évaluée par le capitaine personnellement. La dérive due au courant se détermine graphiquement à partir des courants marins calculés (§ 7.2. et § 7.3.8.7.). Si l'estime est faite sur une longue période, les courants peuvent varier : le vecteur courant utilisé est alors la résultante des vecteurs courants successifs rencontrés.
- 19 **La dérive est comptée positivement si elle entraîne le bâtiment vers la droite et négativement si elle l'entraîne vers la gauche.**
- 25 À proximité de la côte ou en navigation dans les eaux resserrées, la dérive totale s'estime en bloc, puis est rectifiée constamment par l'observation d'un alignement à terre, du sillage d'une bouée, par la corrélation sur la carte entre plusieurs points observés successifs. Elle peut aussi être mesurée par loch doppler (§ 3.1.2.8.3.), ou évaluée par l'observation, sur un indicateur radar à mouvement vrai, de l'écho ponctuel d'un amer fixe (§ 3.1.7.5.4.). Cette dérive peut aussi être observée, sur un indicateur radar en mouvement relatif, par l'observation du décalage progressif d'un amer par rapport à son repère parallèle dans le cas où l'on utilise ce moyen de navigation.

01 10.2.2. La vitesse

- 07 Lorsqu'elle n'est pas fournie par un loch ou déduite de l'allure des machines, la vitesse surface doit être évaluée par le navigateur en fonction de son expérience et de la situation présente. Elle peut être contrôlée par mesure sur la carte entre plusieurs points observés successifs.
- 13 L'observation, sur un indicateur radar à mouvement relatif, du mouvement apparent d'un amer radar ponctuel fixe permet de connaître directement le vecteur vitesse fond.

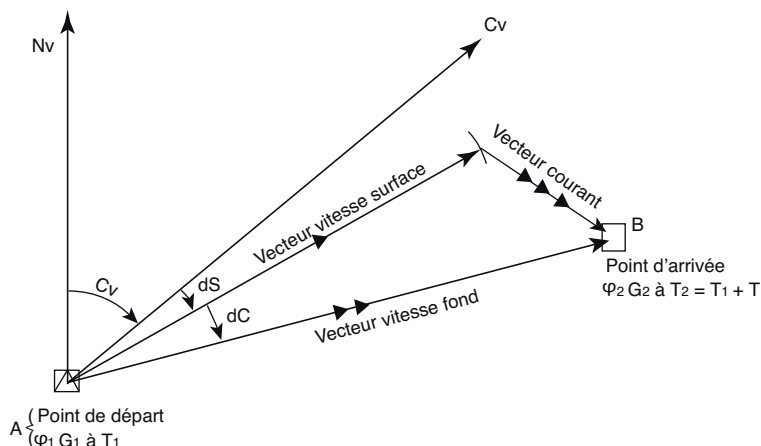
01 10.3. Point estimé

01 10.3.1. Construction graphique

07 En navigation côtière, l'entretien de la position à partir d'un point observé et des éléments de l'estime se fait directement sur la carte marine par construction graphique du vecteur vitesse fond. Le point estimé s'obtient en multipliant le vecteur vitesse fond par le temps T écoulé depuis le point de départ de l'estime.

13 La figure 10.3.1. illustre la **construction graphique de l'estime**.

19



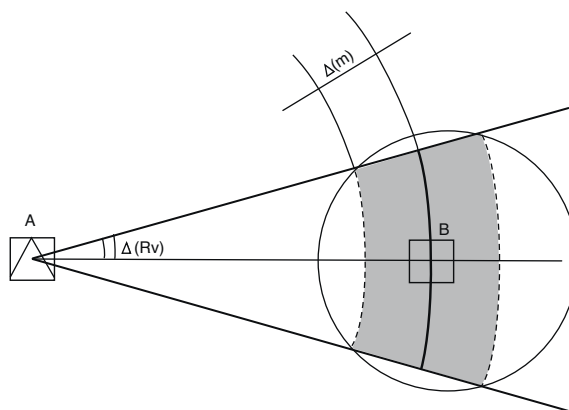
10.3.1. — Construction graphique de l'estime.

01 10.3.2. Zone d'incertitude de l'estime

07 La dimension de la zone d'incertitude d'un point estimé dépend du temps écoulé depuis le dernier point exact puisque l'erreur est intégrante de la surveillance exercée sur la tenue de la route, de la qualité des capteurs de cap et de vitesse et enfin de l'incertitude sur la dérive due au vent et au courant.

13 La **zone d'incertitude de l'estime** est un secteur annulaire d'ouverture égale au double de l'erreur maximale sur la route suivie $\Delta(Rv)$ et de largeur égale au double de l'erreur maximale sur la distance parcourue $\Delta(m)$, avec $\Delta(m) = \Delta(V) \times T$.

19



10.3.2. — Zone d'incertitude de l'estime.

25 Cette zone croît avec le temps et, hors de tout recalage observé, l'incertitude de l'estime est d'autant plus à craindre que l'on s'approche de terre. Le navigateur doit, dans ce cas, se situer au point de cette zone d'incertitude le plus rapproché des dangers.

31 En pratique, on peut adopter, pour valeur du rayon du cercle d'incertitude, 3 % de la distance parcourue depuis le dernier point adopté. On peut cependant dépasser 5 % de la distance lorsque les dérives et courants sont mal connus.

01 10.4. Transport d'un lieu de position

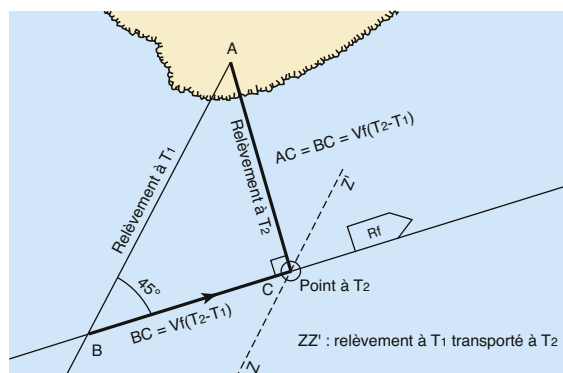
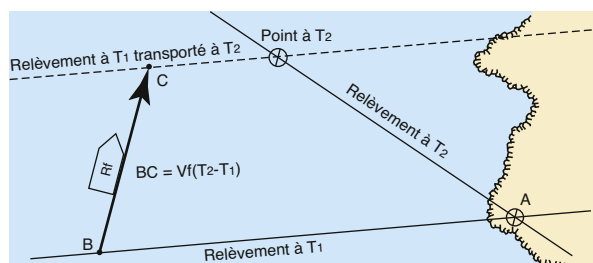
01 10.4.1. Principe

- 07 À un instant déterminé, s'il n'est possible d'obtenir qu'un seul lieu observé, soit parce que la configuration des lieux ne fournit qu'un seul lieu de position, soit parce que chaque observation est longue à faire (cas de la navigation astronomique), on peut cependant obtenir un point en transportant, par l'estime, plusieurs lieux observés à des instants différents jusqu'au moment de la dernière observation. Le point recherché sera à l'intersection de ces lieux après transport ; la qualité du point dépendra, outre celle de chaque lieu observé, de la qualité de l'estime et du temps total écoulé entre la première et la dernière observation.
- 13 Ce type de point par transport d'un ou plusieurs lieux sur la route fond est utilisé principalement dans le cas de transport de droites de hauteurs (§ 16.5.3.) et transport d'isobathes (§ 11.2.).

01 10.4.2. Point par relèvements successifs

- 07 Si un seul amér est en vue, il est possible de se positionner en relevant plusieurs fois successivement cet amér : le premier relèvement est transporté à l'heure du dernier par une translation dont les éléments sont ceux de l'estime (en tenant compte de la dérive due au vent et au courant) et le recoupe au point cherché, qui est peu précis comme tous les points par transport.
- 13 La méthode « des 4 quarts et du travers » (le quart étant une mesure angulaire égale au huitième d'un angle droit, soit $11^{\circ} 15'$) est un cas particulier du **point par relèvements successifs** décrit ci-dessus. Elle utilise des relèvements d'un amér faisant des angles de 45° et de 90° avec la route du navire sur le fond. La méthode des 4 quarts et du travers fournit la distance D de l'amér : $D = V_f (T_2 - T_1)$.
- 19 Il ne faut surtout pas confondre ces relèvements avec les gisements de l'amér de 45° et de 90° par rapport à la ligne de foi du navire : en ce cas la mesure de la distance D est entachée d'une erreur qui dépend de la dérive totale et qui peut atteindre 15 à 20 % de la distance.

25



10.4.2. — Point par relèvements successifs.

01 10.5. Aller d'un point à un autre

07 Pour conduire un navire d'un point de départ connu à un point d'arrivée donné, il faut déterminer, d'une part, le cap vrai à suivre, et d'autre part, soit la vitesse surface à adopter pour effectuer le parcours dans un temps fixé, soit le temps qui sera nécessaire pour effectuer le transit avec une vitesse surface donnée. Le navigateur doit tenir compte de la dérive due au vent et au courant durant la durée du transit.

13 Cette opération inverse de l'estime peut se faire graphiquement sur la carte en reconstituant le triangle des vecteurs vitesse avec les données que l'on a.

19 Dans le 1^{er} cas, on déduit de T, durée de trajet donnée, la vitesse fond, donc le point D ; la construction du triangle des vecteurs vitesses donne la vitesse surface Vs et la route surface Rs.

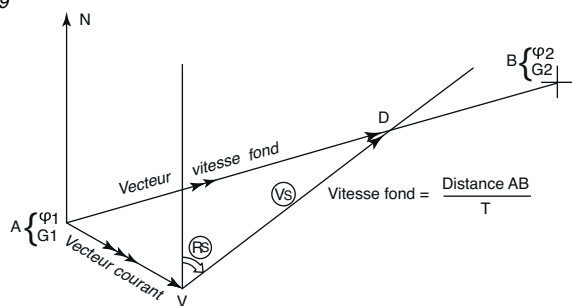
25 Dans le 2^e cas, le cercle centré sur l'extrémité du vecteur courant et de rayon Vs coupe la droite AB au point D ; la construction du triangle des vecteurs vitesses donne la route surface Rs et on peut calculer la durée de trajet T.

31 Il est conseillé d'adopter une heure comme intervalle de temps dans les graphiques de composition des vecteurs. Cette précaution évite de nombreuses erreurs.

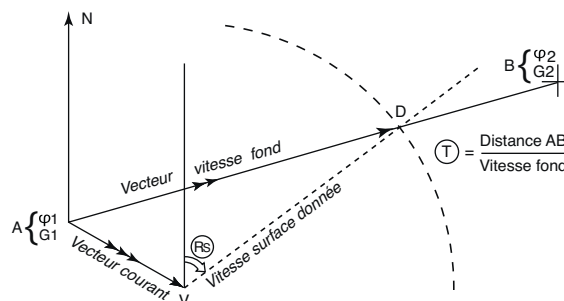
37 Le cap vrai à suivre se déduit de la route surface en soustrayant algébriquement la dérive due au vent :

43 $Cv = Rs - d$, avec Cv : cap vrai, Rs : route surface et d : dérive due au vent (§ 10.2.1.).

49



1^{er} cas :
T durée de trajet donnée



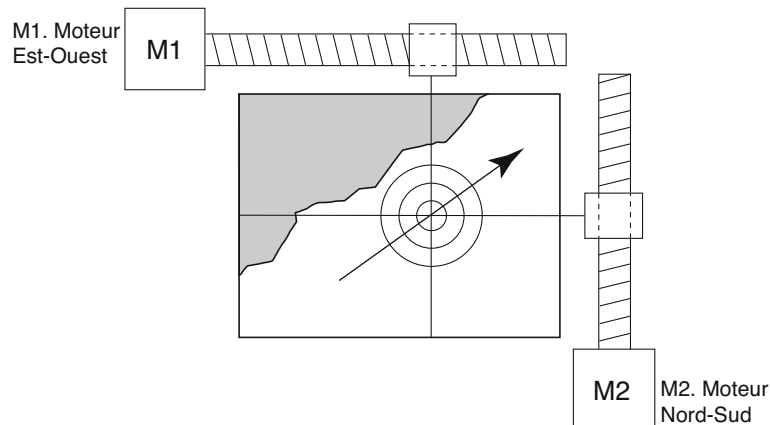
2^eme cas :
Vs vitesse surface donnée

10.5. — Aller d'un point à un autre.

01 10.6. Calculateurs automatiques d'estime

- 07 Les calculettes, les **ECDIS** et la plupart des **ECS**, ainsi que certains équipements comprenant des calculateurs mécaniques ou des microprocesseurs, résolvent par le calcul les problèmes de l'estime.
- 13 Les résultats des **calculateurs d'estime** sont affichés sous forme numérique, parfois en comparaison avec les données d'un récepteur de radionavigation.
- 19 Les résultats peuvent aussi être présentés par le déplacement d'un symbole sur un traceur vidéo ou d'une rose lumineuse sur une **table traçante** sur laquelle on peut poser un calque de la carte de navigation si on a réglé la table sur la même échelle.
- 25 Lorsque l'on procède à des recalages de la rose à partir de points radar fréquents, il est possible de naviguer dans des eaux resserrées, même par mauvaise visibilité (§ 13.4.3.).

31



10.6. — Principe d'une table traçante.

Chapitre 11

La navigation à la sonde

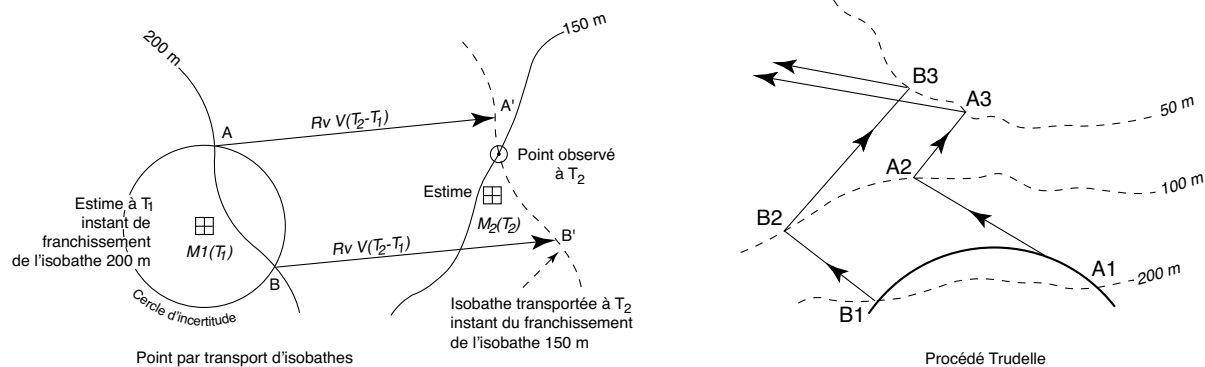
01 11.1. Généralités

- 07 À un instant donné, une mesure observée au sondeur informe le navigateur qu'il est sur une ligne de sondes (isobathe) de la carte, autrement dit lui fournit un lieu de position, plus ou moins précis selon le relief du fond.
- 13 L'utilisation en localisation d'une sonde, une fois rapportée au zéro des cartes (§ 7.4.2.), suppose que la zone ait fait l'objet d'un relevé bathymétrique régulier (isobathes nombreuses, précises et continues) et que son relief sous-marin soit « parlant », c'est-à-dire présente un aspect caractéristique (par exemple, accore du plateau continental, ou canyon sous-marin). Le lieu trouvé devra être combiné avec d'autres obtenus par ailleurs pour faire un point.
- 19 Par contre, dans tous les cas, l'utilisation du sondeur améliore la sécurité de la navigation, en particulier par mauvaise visibilité.

01 11.2. Localisation par lignes de sondes

- 07 Par mauvaise visibilité et en l'absence d'autres moyens de navigation, la **localisation par lignes de sonde** permet d'obtenir un point, qui est cependant peu précis car entaché des erreurs de l'estime et de celles de la connaissance des isobathes. Le point est obtenu par le transport d'une isobathe par l'estime combiné avec une autre isobathe.
- 13 Des changements de route judicieux peuvent réduire progressivement l'erreur de localisation (le procédé Trudelle consiste à quitter le plus tangentielllement possible une isobathe et à attaquer le plus perpendiculairement possible l'isobathe suivante).

19



11.2. — Localisation par lignes de sonde.

Chapitre 12

Pratique de la navigation côtière

01 12.1. Préparation de la navigation

01 12.1.1. Réunion de la documentation nautique

- 07 Le volume 1 présente la documentation mise par le SHOM (et aussi par les autres services hydrographiques) à la disposition du navigateur. C'est à ce dernier qu'incombe le rôle capital de la constitution et de la mise à jour de sa documentation nautique, qui doit être suffisante pour les navigations qu'il envisage.
- 13 Les cartes (papier et/ou électroniques), à l'échelle convenable pour les types de navigation envisagés, devront être complétées par les autres documents, *Instructions Nautiques*, *Tables de marée*, *Livres des Feux et Signaux de brume*, *Ouvrages de radiosignaux*, etc.
- 19 En cas de divergence entre les différents documents, il sera fait davantage confiance au document le plus récent, mais avec une particulière prudence : l'incohérence des informations est très souvent le signe de renseignements incomplets ou de situations complexes et évolutives.

01 12.1.2. Choix de la route

- 07 Le choix de la route doit être mûrement réfléchi en fonction du navire (caractéristiques nautiques, équipement), de l'équipage et des conditions d'environnement prévues (météorologie, courants, marée). La route tiendra compte de nombreux facteurs et notamment de l'existence : de zones dangereuses ; de systèmes d'organisation du trafic (dispositifs de séparation du trafic, zones à éviter, routes obligatoires, etc.) ; de routes et chenaux recommandés portés sur les cartes ou cités dans les *Instructions Nautiques* ; d'aides à la navigation disponibles (amers, radio-navigation, etc.).
- 13 Un espace de manœuvre sera réservé entre la route et les dangers pour pouvoir réagir en cas d'avarie de barre ou de machine ou en cas d'évènement ou de rencontre imprévus, et on se souviendra que les pointes basses se prolongent généralement par des hauts-fonds. Les relèvements ou alignements de garde (§ 8.2.7.) et les distances de sécurité (§ 9.4.5.) seront recherchés chaque fois que possible.
- 19 Les calculs des données d'environnement (heure et hauteur des marées, courants, heure du lever et coucher du soleil, etc.) seront faits à l'avance pour couvrir toute la période et la zone de navigation prévue. Le navigateur en déduira les heures de passage en certains points (si elles ne sont pas fixées par d'autres impératifs) en tenant compte de la visibilité des amers, de la direction du soleil (pour naviguer au milieu de récifs de corail ou de bancs, on attendra si possible que le soleil soit sur l'arrière de la route), de la direction et de la force du courant.
- 25 De façon générale, le navigateur prendra deux marges de sécurité, l'une verticale, couramment appelée pied de pilote, l'autre horizontale, consistant à passer à une distance suffisante des dangers immergés.
- 31 Un **pied de pilote** ou profondeur sous quille (en anglais : *underkeel clearance*) sera toujours pris, pour tenir compte, après calcul de la hauteur d'eau (§ 7.4.2.), d'une variation possible due à la pression atmosphérique ou au vent, au tangage si la houle est forte, à l'incertitude sur le levé (déplacement de bancs de sable ou de vase), à l'accroupissement ou au surenfoncement (§ 12.4.).
- 37 Afin de respecter la marge de sécurité horizontale, sauf en cas de raisons particulières, le simple bon sens conseille de naviguer au large de l'isobathe des 20 m si le navire a moins de 10 m de tirant d'eau, et au large de l'isobathe des 30 m si le navire cale plus de 10 m. Cette règle n'est cependant pas applicable aux navires de très grand tirant d'eau, pour lesquels la navigation pose des problèmes particuliers.
- 43 Même si l'on possède un moyen de positionnement très précis, il est prudent, surtout si l'on utilise des cartes anciennes aux levés peu précis, de donner un large tour aux hauts-fonds isolés et de ne pas s'en approcher de trop près (§ 12.3.2.). Pour cela on appliquera la **règle du pouce** : on tracera, chaque fois que possible, sa route de façon à passer à plus d'un pouce des dangers immergés, à l'échelle de la carte dont on se sert. Le pouce désigne ici aussi bien une ancienne unité de longueur (2,707 cm) que la largeur du pouce du navigateur posé sur la carte.

- 49 La règle du pouce, dont l'application est universellement recommandée, est cependant sévère dans les approches portuaires qui ont fait l'objet de levés récents. Dans ces zones, le navigateur sera en mesure de profiter pleinement et lucidement de la précision de son système de radionavigation de grande précision.
- 55 La route choisie sera tracée sur toutes les cartes utilisées (prendre garde aux erreurs de report des positions d'une carte à l'autre, et aux éventuelles différences de systèmes géodésiques de deux cartes comportant une partie commune).

01 12.1.3. Vérifications avant l'appareillage

- 07 Si le navire en est muni, le compas gyroscopique est lancé suffisamment tôt pour qu'il ait pris sa position d'équilibre au moment du départ (§ 3.1.1.5.). Si le navire est équipé d'un système de visualisation de cartes (ECDIS ou ECS), il convient d'effectuer une vérification de la cohérence de la position.
- 13 Avant l'appareillage, le navire doit être mis en état de naviguer en sécurité : rangement et arrimage du matériel au poste de mer, fermeture des portes, hublots et panneaux étanches, contrôle des moyens de lutte contre l'incendie et les voies d'eau, contrôle des appareils de mouillage, examen des embarcations et des brassières de sauvetage, et éventuellement examen de la balise Argos ou COSPAS/SARSAT.
- 19 Le sifflet, la sirène et les feux de navigation et de manœuvre sont vérifiés, ainsi que le dispositif de largage de la bouée d'homme à la mer. La passerelle est disposée pour la navigation prévue : rangement des cartes et documents de passerelle dans l'ordre où ils serviront, mise en route et recalage à la bonne échelle et à la bonne valeur des équipements de navigation et de radio-navigation, recalage des répéteurs, contrôle des montres, etc.
- 25 La barre est mise « toute » d'un bord puis « toute » de l'autre pour s'assurer que sa manœuvre s'effectue librement ; le calage du zéro est contrôlé. La machine est balancée de quelques tours en avant et en arrière ; elle est ensuite rendue parée à manœuvrer.

01 12.2. Exécution de la navigation

01 12.2.1. Navigation à vue

- 07 On trouvera ci-après quelques recommandations complémentaires aux éléments fournis au chapitre 8. sur la navigation à vue.
- 13 La **fréquence** des points observés dépend de la vitesse du navire, du courant, et de la proximité des dangers : en zone côtière, il est prudent de faire un point au moins toutes les dix minutes et de rechercher une **précision** du point de 1 mille entre 50 et 10 milles des dangers, et de 0,5 mille entre 10 et 2 milles des dangers. Les exigences de la navigation en eaux resserrées sont précisées au sous-chapitre 13.1.
- 19 La position sera obtenue par le tracé sur la carte des **lieux géométriques** observés se recoupant sous des angles suffisants. La cohérence des points sera contrôlée par une estime entretenue graphiquement (ou éventuellement avec un équipement intégrant l'estime, § 10.6.).
- 25 La qualité du point sera sans cesse l'objet d'évaluation critique par le navigateur qui à proximité d'un danger adoptera systématiquement le point de la zone d'incertitude le plus proche du danger. Les relèvements ou alignements de garde et les distances de sécurité couvrant des dangers, tracés sur la carte lors de la préparation de la navigation, seront l'objet d'une surveillance permanente.
- 31 **En cas d'écart** par rapport à la route prévue, le navigateur y reviendra rapidement après s'être assuré que cette manœuvre n'est pas dangereuse, et s'interrogera sur les raisons de cet écart, ce qui peut l'amener à réévaluer la dérive adoptée.
- 37 Toutes les observations faites conduiront sans cesse le navigateur à anticiper sur les situations qui peuvent se présenter à lui et à envisager comment y faire face : c'est ce qu'on appelle **naviguer sur l'avant** (§ 8.2.6.).

01 12.2.2. Navigation électronique

- 07 Reliés à un système de radionavigation de grande précision (**GPS** ou **GPS** en mode différentiel), les systèmes de visualisation de cartes marines électroniques (**ECDIS** ou **ECS**) permettent de faire apparaître de façon instantanée et continue la position du navire.
- 13 La facilité d'emploi et la précision que procure une telle navigation électronique ne doit pas conduire à négliger les autres moyens, notamment la vue et le radar, mais inciter à rechercher la sécurité par la redondance et le sens marin. En navigation côtière, le contrôle de la navigation électronique, avant tout par la vue, est indispensable et certaines des recommandations précitées (§ 12.2.1.) demeurent valables.
- 19 Le navigateur doit en outre conserver à l'esprit que tout système externe à son propre navire est susceptible de lui faire défaut sans préavis : redondance et utilisation de moyens ne risquant pas de tomber en panne sont à rechercher pour la sécurité de la navigation.
- 25 On trouvera au sous-chapitre 12.3. quelques recommandations sur l'emploi des systèmes de radionavigation de grande précision et des systèmes de cartes électroniques et sur les précautions à prendre lorsque l'on utilise le système GPS ou tout autre système de précision équivalente pour se positionner. Ces recommandations sont précédées d'un court exposé sur la variété des systèmes géodésiques auxquels se rapportent les cartes.

01 12.3. Emploi des systèmes de radionavigation de grande précision et des systèmes de cartes électroniques

- 07 L'excellente précision que fournissent certains systèmes basés à terre et les systèmes de positionnement par satellites, notamment lorsqu'il sont utilisés en mode différentiel, et leur facilité d'emploi ne doivent pas faire oublier les conséquences des deux faits suivants, souvent méconnus ou négligés :
- la diversité des systèmes géodésiques auxquels se rapportent les cartes marines, y compris les plus modernes ;
 - l'imprécision des cartes s'appuyant sur des levés anciens.
- 13 Le paragraphe 12.3.1., qui concerne la variété des systèmes géodésiques, est tout particulièrement destiné aux utilisateurs des systèmes de positionnement par satellites, GPS ou GLONASS (ou futur GNSS).
- 19 Le paragraphe 12.3.2. est destiné aussi bien aux utilisateurs des systèmes basés à terre très précis qu'aux utilisateurs des systèmes de positionnement par satellites, qui ont à tenir compte de l'imprécision des cartes s'appuyant sur des levés anciens. On trouvera au volume 1 un développement plus complet relatif à la précision avec laquelle les levés ont été effectués dans le passé et le sont actuellement.
- 25 Enfin, le paragraphe 12.3.3. s'adresse aux utilisateurs de cartes électroniques et de systèmes intégrés de navigation.

01 12.3.1. Radionavigation par satellites et diversité des systèmes géodésiques

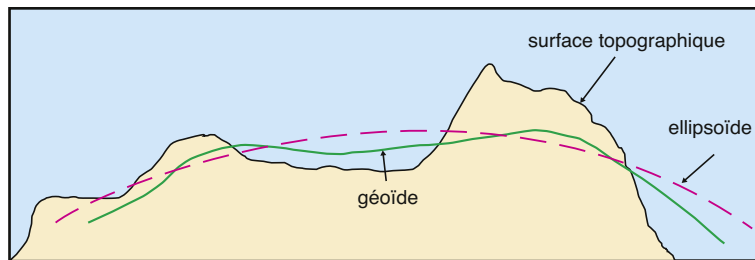
- 07 Lorsque le navigateur construit un point à partir de relèvements au compas et de distances radar, il se positionne en relatif par rapport à la côte et n'a donc pas à se soucier du système géodésique auquel sa carte est rapportée. Mais lorsque le lot de cartes côtières n'est pas homogène, c'est-à-dire que deux cartes adjacentes sont rapportées à des systèmes géodésiques différents, le report du point d'une carte à l'autre ne peut se faire sans précaution. Il est alors nécessaire de tenir compte du décalage géodésique entre les deux cartes. Si celui-ci n'est pas connu, le report du point se fera par relèvement-distance par rapport à un amer commun aux deux cartes.
- 13 L'avènement des systèmes de navigation radioélectriques, et singulièrement des systèmes de positionnement par satellites, a rendu ce problème plus actuel en raison de la couverture mondiale de ces systèmes et de leur fonctionnement dans un système géodésique unique, différent de celui utilisé sur la majorité de cartes marines existantes aujourd'hui.
- 19 L'emploi sans précaution de systèmes de radionavigation de grande précision peut donc présenter un réel danger.

01 12.3.1.1. Surfaces de la géodésie et systèmes géodésiques

07 a) Surfaces de la géodésie

- 13 La surface topographique de la terre solide comporte des montagnes, des vallées et des fonds océaniques. Cette surface particulièrement complexe n'est évidemment pas susceptible d'une définition mathématique, mais un ellipsoïde de révolution, aplati aux pôles, constitue une première approximation très grossière de la surface topographique. Les plus hautes montagnes s'élèvent à près de 9 000 mètres au-dessus de l'ellipsoïde et les grandes fosses océaniques s'en écartent dans l'autre sens de plus de 11 000 m.
- 19 Le géoïde est une troisième surface prise en compte pour l'étude de la terre. Il s'agit de la surface équipotentielle du champ de gravité terrestre qui coïncide avec le niveau moyen des mers supposées au repos. Cette surface est en tous ses points perpendiculaire à la direction indiquée par un fil à plomb (verticale du lieu).
- 25 Tout en étant nettement plus lisse que la surface topographique, le géoïde présente des creux et des bosses liés à l'inégale distribution des masses de la terre. Mais l'écart de ces creux et de ces bosses par rapport à un ellipsoïde de référence reste cependant modeste et ne dépasse guère une centaine de mètres dans un sens ou dans l'autre.

31



12.3.1.1. — Les trois surfaces de la géodésie.

37 b) Systèmes géodésiques

43 Les mesures géodésiques terrestres classiques se font exclusivement à la surface de la terre. La référence en chaque point de mesure étant la verticale du lieu, ces mesures se font par rapport au géoïde.

49 Pour définir un système géodésique dans un pays, on met en place un ellipsoïde de référence qui épouse au mieux sur l'ensemble du pays la forme locale du géoïde (exemple la Nouvelle Triangulation de la France - NTF).

55 Il existe aussi des systèmes géodésiques couvrant tout un continent. Ainsi ont été définis, par exemple, le système géodésique européen ED 50 ou le système géodésique nord-américain NAD 27.

61 Cependant, les ellipsoïdes de référence relatifs aux systèmes géodésiques européen et français ont des centres distincts et des dimensions différentes. Un point donné aura donc des positions différentes, avec des écarts de plusieurs centaines de mètres ou plus entre ces positions, selon que l'on se réfère à l'un ou l'autre de ces systèmes géodésiques. Mais les formules de correspondance entre les deux jeux de coordonnées de tout point peuvent être établies.

67 Les mesures géodésiques classiques se déroulaient auparavant exclusivement à la surface de la terre, de sorte que deux îles, ou une île et un continent, ou deux continents qui ne sont pas à portée optique l'un de l'autre ne sont pas rattachés géodésiquement entre eux. Ainsi le système NAD 27 et le système ED 50 sont totalement indépendants l'un de l'autre.

73 c) Les satellites artificiels ont permis de passer d'une géodésie locale ou régionale à une véritable géodésie globale ou mondiale, avec un ellipsoïde unique de référence centré au centre de gravité des masses de la terre, et ont permis ainsi de disposer d'un système géodésique de référence mondial, le **système géodésique mondial WGS 84** (*World Geodetic System*).

01 12.3.1.2. Application à l'emploi du GPS en navigation côtière avec des cartes papier

05 Le système GPS donne à tout moment la position absolue du navire rapportée au système géodésique mondial WGS 84. **Malgré la généralisation de l'utilisation du WGS 84 pour les cartes marines** (début 2011, toutes les cartes du SHOM couvrant les côtes de métropole et des départements et territoires d'outre-mer étaient rapportées au WGS 84), **un certain nombre de cartes papier françaises et étrangères ne se réfèrent pas encore au WGS 84** (mars 2011).

09 Or l'écart horizontal entre le système géodésique auquel est rapportée une carte et le système géodésique WGS 84 peut être considérable. Par exemple, l'écart horizontal moyen entre le système WGS 84 et le système géodésique européen ED 50 est de 150 m. Le décalage peut atteindre 7 M pour telle île ou tel atoll du Pacifique où le système géodésique n'est pas connu.

13 Un vaste programme de détermination par mesures géodésiques de ces décalages a été mené, particulièrement pour les départements et territoires d'outre-mer.

17 **Corrections à apporter à la carte papier.** Dans le cas où une carte n'est pas rapportée au WGS 84, les positions indiquées par les récepteurs de navigation par satellite ne sont pas directement compatibles avec cette carte et **ne doivent pas être utilisées sans avoir été corrigées.**

21 a) Cas où le système géodésique de la carte est connu

25 Lorsque le système géodésique de la carte est connu, chaque carte à grande ou moyenne échelle comporte un nota qui donne les corrections à apporter aux latitudes et longitudes fournies par un récepteur GPS, dans le système WGS 84, pour se ramener au système géodésique de la carte.

29 L'utilité d'apporter les corrections dépend de la valeur de l'écart horizontal et de l'échelle de la carte ; le décalage à porter sur la carte papier doit être significatif, de l'ordre de au moins 1,5 mm.

33 Par exemple, on peut trouver le nota suivant dans le titre d'une carte :

- 37 **Positionnement par satellites** : les positions obtenues au moyen de systèmes de navigation par satellites rapportées au système géodésique mondial WGS 84 doivent être corrigées de 0,064' vers le Nord et de 0,077' vers l'est pour être en accord avec cette carte.
- 41 Avant de porter le point sur cette carte, la latitude et la longitude fournies par le récepteur GPS, utilisé en option WGS 84, devront être corrigées des valeurs indiquées dans le titre de la carte, soit :
- 45 + 0,064' pour la latitude, et - 0,077' pour la longitude (carte en latitudes Nord et en longitudes Ouest).
- 49 **Ces corrections** ne sont pas de simples raffinements d'hydrographes ou de géodésiens. Elles **doivent être appliquées manuellement, avant de porter le point sur la carte**, faute de quoi le navigateur équipé d'un GPS en mode différentiel, qui croit disposer d'une précision de positionnement de 10 m (ou de 100 m s'il n'est équipé que d'un récepteur GPS sans mode différentiel), portera sur sa carte des points dont la position sera erronée de quelques centaines de mètres, voire de mille mètres ou plus.
- 53 Un certain nombre de récepteurs GPS, en particulier à capacité différentielle, présentent des **options régionales** qui permettent d'obtenir directement la position dans certains systèmes géodésiques nationaux, régionaux ou continentaux, tels que ED 50 ou NAD 27. Mais il faut savoir qu'un système géodésique étendu peut avoir été initialement établi à partir d'une zone centrale et ensuite étendu loin de cette zone entraînant des déformations importantes du réseau géodésique sur la périphérie. Ainsi, le système ED 50 s'écarte bien davantage du WGS 84 au Nord de la zone centrale qu'au Sud.
- 57 Les formules du passage d'un système à l'autre (qui sont celles programmées dans les récepteurs GPS), si elles sont bien adaptées pour la région centrale, conduisent parfois à des erreurs importantes pour les zones périphériques. L'absence de références officielles donnant des précisions acceptables pour la transformation des coordonnées WGS 84 dans d'autres systèmes géodésiques a été constatée par la Commission Électrotechnique Internationale (CEI). La CEI rappelle également que les références utilisées par les fabricants ne sont pas connues et qu'il n'existe donc pas de moyen de valider les transformations proposées par les fabricants de récepteurs. Ainsi des récepteurs de fabrications distinctes peuvent utiliser des transformations ayant des précisions différentes pour passer par exemple du WGS 84 à l'ED 50.
- 61 C'est pourquoi il **vaut mieux utiliser le récepteur avec « l'option WGS 84 »** plutôt qu'avec « l'option régionale » **et appliquer ensuite manuellement les corrections** de latitude et de longitude qui sont indiquées dans la note de la carte. L'usage de ces corrections, qui ont en effet été déterminées par les services hydrographiques selon les paramètres les mieux adaptés à la carte considérée, donne en général une position plus précise que les options régionales d'un récepteur GPS.
- 65 **b) Cas où le système géodésique de la carte n'est pas connu**
- 69 Lorsque le rapport qui existe entre le WGS 84 et le système géodésique de la carte n'est pas connu et que la correction à appliquer ne peut être déterminée, le service hydrographique éditeur de la carte peut ajouter une note dans ce sens en indiquant, à titre d'avertissement, que les corrections peuvent être significatives pour la navigation. Les cartes éditées par le SHOM depuis 1998 et non rapportées au WGS 84 portent le nota présenté ci-après si le décalage avec le WGS 84 est inconnu ou mal connu (c'est le cas de certaines cartes le long des côtes d'Afrique de l'Ouest).
- 73 « Les positions obtenues au moyen de systèmes de navigation par satellites comme le GPS sont normalement rapportées au système géodésique mondial WGS 84. Les différences entre les positions satellites et les positions sur cette carte sont inconnues ; ces différences **PEUVENT ÊTRE IMPORTANTES POUR LA NAVIGATION** et il est conseillé aux navigateurs d'utiliser d'autres moyens de positionnement particulièrement aux abords du rivage ou lorsqu'ils naviguent près des dangers ».
- 77 En navigation côtière, dans le cas où la correspondance entre le système géodésique de la carte et le WGS 84 n'est pas connue, l'emploi du **GPS** est à éviter, ou même à proscrire. Le navigateur doit alors renoncer à l'emploi du **GPS** et naviguer en relatif par rapport au trait de côte et aux amers portés sur la carte, en utilisant les moyens traditionnels de navigation (compas de relèvement et radar). L'emploi de ces méthodes anciennes lui permettra non seulement d'assurer le contrôle nécessaire des indications du **GPS** ou du système de visualisation de cartes électroniques utilisé (**ECS** ou **ECDIS**), mais aussi de se tenir prêt à pallier à tout moment une défaillance de l'instrument moderne.
- 81 Il ne faut pas penser que le fait qu'une carte ne soit assortie d'aucune note sur la correction signifie qu'aucune correction n'est nécessaire.

01 12.3.2. Précision de la radionavigation et imprécision des cartes marines

07 Voir le volume 1.

- 13 Le navigateur équipé d'un récepteur GPS (en particulier en mode différentiel) ou d'un récepteur d'un système de radionavigation de précision équivalente, et qui aura bien pris en compte le décalage entre le WGS 84 et

le système géodésique de sa carte papier ne devra cependant pas user inconsidérément de l'excellente qualité de son positionnement. En particulier, en eaux resserrées ou en chenalage il ne doit surtout pas avoir une confiance aveugle dans un système comme le GPS, même s'il est exploité en mode différentiel : **le navigateur n'oubliera pas alors que la position des dangers immergés portés sur les cartes est connue avec une précision généralement inférieure à celle de son propre système de navigation.**

- 19 En effet, pour les zones où l'hydrographie est antérieure à 1950, un danger immergé ou un haut-fond en vue de terre peut être situé sur la carte à plus de 100 m de sa position réelle, l'erreur pouvant atteindre ou dépasser 300 m plus au large. Ce n'est qu'après l'avènement des systèmes de radiolocalisation que les hydrographes ont été en mesure de situer les hauts-fonds sur tout le plateau continental avec une précision horizontale inférieure à 10 m, c'est à dire avec une précision comparable à celle du DGPS.
- 25 Moyens mis en œuvre au cours des levés hydrographiques en fonction de la date : voir volume 1.
- 31 Il y a donc un risque certain pour le navigateur qui, conscient de l'excellente qualité de son point (GPS ou autre système), voudrait serrer les hauts-fonds de trop près. Si, par exemple, enhardi par la précision de l'ordre de 1 à 5 m de son GPS différentiel, il adoptait une route passant théoriquement à 100 m d'un haut-fond cartographié, toutes les conditions pour un éventuel talonnage seraient réunies.
- 37 C'est pourquoi **l'utilisateur d'un système de radionavigation de grande précision devra passer à une distance suffisante des dangers immergés** et pour cela continuer à suivre la bonne vieille règle du pouce (§ 12.1.2.).
- 43 Cette règle est un peu sévère dans les approches portuaires qui ont fait l'objet de levés récents. Dans ces zones seulement, le navigateur sera en mesure de profiter pleinement et lucidement de la précision de son système de radionavigation.

01 12.3.3. Précautions d'emploi des systèmes de visualisation de cartes électroniques

- 07 Voir le paragraphe 3.1.10.
- 13 Reliés à un système de radionavigation de grande précision (le plus souvent le [GPS](#) ou [GPS](#) en mode différentiel), les systèmes de visualisation de cartes marines électroniques ([ECDIS](#) et [ECS](#)) permettent de faire apparaître de façon continue et instantanée la position du navire. Les problèmes d'exploitation dus à la variété des systèmes géodésiques et à l'imprécision des cartes marines demeurent.

01 12.3.3.1. Précautions à prendre par rapport aux systèmes géodésiques

- 07 Les [ENC](#) sont rapportées au système géodésique WGS 84. Toutefois, certaines [ENC](#), notamment des [ENC](#) britanniques couvrant les côtes de l'Afrique de l'Ouest, sont issues de cartes papier non rapportées au WGS 84 et qu'il n'a pas été possible de géoréférencer avec précision au WGS 84. Ces [ENC](#) affichent ainsi l'avertissement « This chart cannot be accurately referenced to WGS 84 Datum ; see caution message ». Les écarts indiqués en cliquant sur l'[ENC](#) « Positions in this region lie within ± nn metres of WGS 84 Datum » peuvent différer selon le lieu/position. Il convient donc de confirmer sa position à l'aide des moyens traditionnels de navigation (alidade, radar, etc.).
- 13 Si les [ENC](#) sont rapportées au WGS 84, ce n'est pas toujours le cas des cartes raster, qu'elles soient officielles ou non, et de cartes vectorielles du secteur privé.
- 19 Les cartes raster sont rapportées au système géodésique de la carte originale, dont le décalage avec le WGS 84 peut être important ou méconnu (§ 12.3.1.2.).
- 25 Sur certaines cartes vectorielles du secteur privé, le renseignement sur le décalage du système géodésique par rapport au WGS 84 n'est pas accessible, ou le produit est transformé de manière approximative pour tenter de le rapporter à un pseudo-WGS 84.

01 12.3.3.2. Précautions à prendre en raison de l'imprécision des cartes

- 07 Le système de localisation le plus fréquemment associé à un [ECDIS](#) ou à un [ECS](#) est le [GPS](#) ou le [GPS](#) en mode différentiel. On voit alors apparaître sur l'écran la position absolue du navire connue à moins de 10 m près (précision inférieure à 10 m pour le [GPS](#) et de l'ordre de 1 à 5 m pour le [DGPS](#)), alors que bon nombre des données cartographiques apparaissant sur l'écran du système comportent des incertitudes sur la position bien supérieures (§ 12.3.2.).
- 13 Cependant, la tentation de passer près des dangers est plus grande lorsque le GPS est associé à un système de visualisation de carte électronique que lorsqu'on ne dispose que d'une carte papier. Dans le premier cas la

position du navire apparaît en effet de façon automatique, instantanée et continue dans son environnement nautique. Dans le second, le report du point prenant du temps, le navigateur est plus prudent.

- 19 Il faudra plus d'un siècle (estimation en fin 2010 : plus de 150 ans) pour reprendre les levés hydrographiques anciens dans les zones fréquentées par la navigation internationale afin d'atteindre une précision de position de toutes les données cartographiques supérieure ou égale à celle que donne le GPS en mode différentiel. En attendant, le navigateur utilisant une carte électronique ne devra pas réduire sa marge de sécurité.
- 25 Il est à noter que les **ENC** contiennent des informations sur leur qualité, permettant au navigateur d'apprécier la confiance qu'il doit leur accorder (voir volume 1).

01 12.3.3.3. Précautions à prendre dans l'emploi du zoom

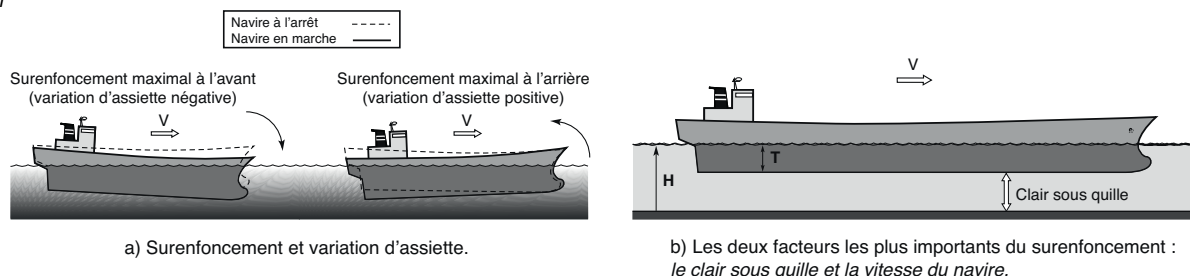
- 07 Un **ECDIS** (ou un **ECS**) permet de faire des agrandissements (zoom). Un zoom exagéré constitue un risque inacceptable, ne serait-ce que parce qu'il permet de contourner la règle du pouce de façon parfaitement illicite. Afin de rester dans les limites compatibles avec l'échelle de compilation de l'**ENC** (échelle à laquelle l'**ENC** a été établie et qui correspond normalement à l'échelle des levés de la zone), le zoom ne devrait en aucun cas dépasser le double de l'échelle.
- 13 Une indication apparaît sur l'**ECDIS** lorsque l'affichage des données se fait à une plus grande échelle que celle à laquelle l'**ENC** a été établie. Selon la marque de l'**ECDIS** utilisé, le texte de l'indication peut ne pas être le même et il peut également différer selon l'importance du zoom.
- 19 Ainsi, pour une marque donnée d'**ECDIS** et pour une **ENC** au 1 : 20 000, l'indication qui apparaîtra sera du type :
 - « NOT RECOMMENDED SCALE » pour un zoom du 1 : 15 000 au 1 : 7 500 ;
 - « DANGEROUS SCALE » pour un zoom au 1 : 6 000 et au-delà.

01 12.4. Surenfacement par petits fonds

01 12.4.1. Généralités

- 07 Engendré par la vitesse et accentué par faibles profondeurs, l'**accroupissement** est une combinaison de la déformation du plan d'eau (en anglais *settlement*) et du changement d'assiette du navire (en anglais *squat*) et se traduit par une réduction non négligeable de la hauteur d'eau sous la quille. Ce phénomène est encore accentué **dans un canal** ou une écluse (§ 13.2.2.).
- 13 Par petits fonds, en particulier pour les grands navires, l'effet d'accroupissement devient sensible lorsque la hauteur d'eau est voisine du tirant d'eau. Cet effet se traduit par un **surenfacement** du navire, avec ou sans variation d'assiette (figure 12.4.1., à gauche). Le surenfacement a été la cause principale de plusieurs échouements, comme par exemple celui du paquebot *Queen Elisabeth 2* en 1992 au large de Vineyard Sound (Massachusetts).
- 19 Un surenfacement non négligeable ne peut se produire que si le navire est grand et le *clair sous quille* (under-keel clearance) réduit. Le surenfacement apparaît lorsque le rapport H/T (figure 12.4.1., à droite) devient inférieur à 1,5. En outre l'importance du surenfacement est surtout fonction de la vitesse du navire.
- 25 Il convient de retenir que **le surenfacement est susceptible de se produire en tout lieu où la profondeur et les caractéristiques du navire (tirant d'eau et vitesse) le favorisent.**

31



12.4.1. — Surenfacement.

01 12.4.2. Méthodes empiriques d'évaluation du surenfacement

- 07 Pour obtenir rapidement une **évaluation du surenfacement** probable, deux méthodes empiriques de calcul peuvent être suivies, selon la zone où l'on se trouve.

01 12.4.2.1. Eau libre

- 07 Cette méthode de l'Amirauté Britannique est uniquement valable en eau libre, non confinée. Il suffit d'adopter pour surenfacement la plus grande des trois valeurs suivantes :
- 10 % du tirant d'eau T (T en m) ;
 - 0,3 m pour 5 nœuds de vitesse ;
 - $V^2/100$ (V en nœud).
- 13 Ainsi un pétrolier de 15 m de tirant d'eau, transitant en eau libre par petits fonds (plateau continental, La Manche, le Pas-de-Calais par exemple), avec une hauteur d'eau de 20 m, aura un surenfacement théorique maximal de :
- 1,5 m à 10 nœuds (10 % de T) ;
 - 2,25 m à 15 nœuds ($V^2/100$) ;
 - 4 m à 20 nœuds ($V^2/100$).

01 12.4.2.2. Eau confinée

- 07 Cette méthode, élaborée par monsieur Hervieu, n'est valable qu'en eau confinée (chenal étroit ou canal). Le surenfacement théorique maximal eM, en mètres, est obtenu à l'aide de la formule suivante :

- 13 $eM = 2 CB V^2/100$ où CB, est le bloc coefficient. Selon le type du bâtiment, CB atteint les ordres de grandeur suivants :
- navire de guerre : 0,50 à 0,65 ;
 - porte-conteneurs : 0,55 à 0,69 ;
 - paquebot : 0,66 ;
 - cargo : 0,72 ;
 - méthanier : 0,75 ;
 - pétrolier : 0,82 à 0,89.
- 19 Ainsi le même pétrolier de l'exemple précédent, avec un CB de 0,85, transitant par moins de 22 mètres de hauteur d'eau dans un canal ou un chenal étroit, aura un surenfoncement maximal de :
- 1,70 m à 10 nœuds ;
 - 3,80 m à 15 nœuds ;
 - 7 m à 20 nœuds.

01 12.4.3. Signes d'entrée dans une zone de surenfoncement

- 07 En dehors des indications données par le sondeur, le navigateur peut se rendre compte que son bâtiment est soumis à un surenfoncement par l'observation des signes suivants :
- modification du profil des vagues de sillage, et essentiellement l'augmentation de la hauteur de la vague de poupe ;
 - mollesse de la barre ;
 - coup de frein parfois brutal qui se produit lors d'une remontée de fond assez rapide. Dans ce cas un surenfoncement temporaire de très courte durée supérieur d'environ à 20 % au surenfoncement normal peut se produire.

01 **12.5. Manœuvres anticollision**

07 Le présent sous-chapitre concernant les risques d'abordage et les manœuvres anticollision s'applique aussi bien en navigation côtière qu'en navigation au large.

01 **12.5.1. Risques d'abordage**

07 Le pointage des échos sur le radar de navigation éventuellement facilité par l'équipement ARPA (§ 3.1.7.6.) donne au navigateur des informations précieuses sur les navires voisins et met en évidence ceux qui présentent des risques d'abordage avec son propre navire.

13 Mais le navigateur devra toujours surveiller au compas le relèvement de tout navire aperçu à la vue pour se confirmer s'il y a ou non risque de collision selon que le relèvement reste constant ou varie.

01 **12.5.2. Manœuvres pour éviter les abordages**

07 Le règlement pour prévenir les abordages est donné dans le volume 3 ; le navigateur doit s'y conformer rigoureusement.

13 La manœuvre à effectuer conformément au règlement doit être faite franchement pour pouvoir être décelée par l'autre navire, et le plus tôt possible pour ne pas inquiéter ce dernier et pour avoir le temps de vérifier que la manœuvre faite n'engendre pas de risque d'abordage avec un troisième navire.

19 L'équipement ARPA peut orienter le choix de la manœuvre à faire en cas de situation complexe (§ 3.1.7.6.5.).

Pas de texte

Chapitre 13

Navigation en eaux resserrées

01 **13.1. Exigences de la zone**

- 07 **Par eaux resserrées, il faut entendre une zone de navigation côtière dans laquelle un bâtiment ne dispose pas en permanence de l'espace de manœuvre suffisant pour, compte tenu du vent et du courant, effectuer une giration complète sans danger.**
- 13 Dans ces conditions, le moindre écart par rapport à la route qui a été préparée peut mettre en danger le bâtiment : il doit être immédiatement décelé et corrigé. Ceci impose une méthode de navigation particulière appelée pilotage ou **chenalage** permettant une **mise à jour continue du point** observé, avec une **précision** égale à 10 % de la distance du danger le plus proche.
- 19 Cette navigation doit tenir compte des caractéristiques évolutives du bâtiment.

01 13.2. Caractéristiques évolutives d'un navire en eaux resserrées

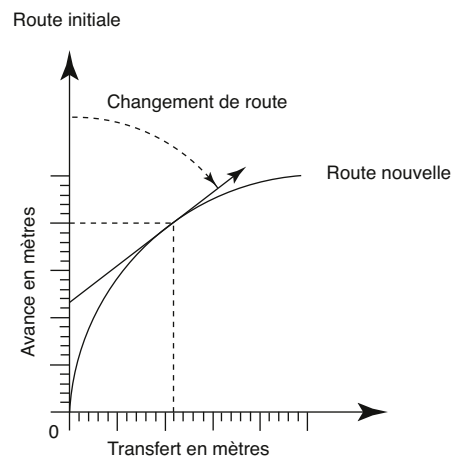
01 13.2.1. Avance – transfert

- 07 L'**avance** et le **transfert** sont les coordonnées rectangulaires des points de la **courbe de giration du bâtiment pour une vitesse donnée**. Ce sont des caractéristiques de construction qui se présentent sous forme de graphique coté ou de tableau à différentes vitesses. Sur les navires marchands, plusieurs graphiques (ou tableaux) sont établis selon que le navire est chargé ou léger.

13

Vitesse : 15 nœuds		
Changement de route	Avance (en mètres)	Transfert (en mètres)
15°	500	38
30°	680	100
45°	827	207
60°	940	347
75°	1007	513
90°	1020	687
105°	993	853
120°	923	1013
135°	827	1140
150°	687	1247
165°	533	1313
180°	357	1340

a) Exemple de tableau d'avance et de transfert.



Vitesse : 15 nœuds

b) Exemple de graphique d'avance et de transfert.

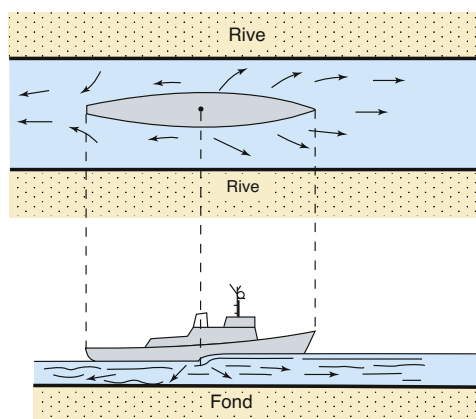
13.2.1. — Exemple de tableau et de graphique d'avance et de transfert.

01 13.2.2. Effet des faibles profondeurs et des rives

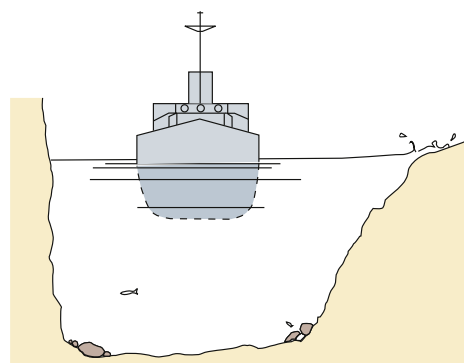
- 07 Le phénomène d'accroupissement (§ 12.4.1.) est accentué dans un canal ou une écluse lorsque le volume d'eau déplacé par le navire perturbe l'écoulement de l'eau. Le phénomène entraîne de plus une importante diminution de vitesse. Par ailleurs la hausse du niveau de l'eau sur l'avant du navire peut submerger les berges et leur causer des dégâts, et une vitesse limitée est donc recommandée.

- 13 Les **effets de rives** dans un canal entraînent une excellente stabilité de route aussi longtemps que les deux rives sont symétriques. Par contre si les deux berges ne sont pas symétriques, le navire est attiré du côté de la rive la moins abrupte vers laquelle l'eau est repoussée plus aisément.

19



a) Effet des rives et du fond.



b) Canal à rives non symétriques.

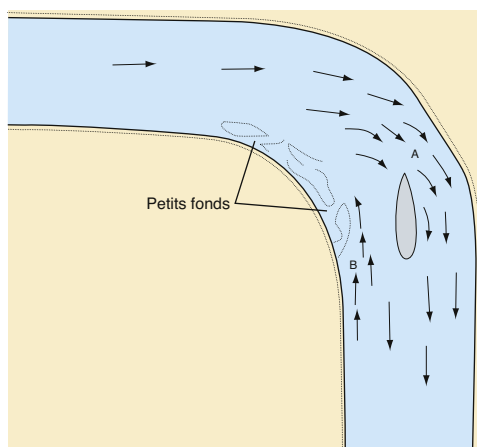
13.2.2. — Effet des rives et du fond.

01 13.3. Pilotage en eaux resserrées

01 13.3.1. Exécution du pilotage

- 07 La précision de la navigation s'obtient en maintenant à tout instant le navire sur la route tracée, compte tenu de la dérive (qui est appréciée à chaque instant et corrigée immédiatement) et en utilisant pour cela tous les moyens : optiques (si possible alignement ou à défaut relèvement) et/ou radio-électriques (radar par exemple). La progression sur la route sera contrôlée par des alignements ou relèvements optiques traversiers ou des lieux radio-électriques traversiers.
- 13 L'utilisation de relèvements ou d'alignements de garde ou de distances de sécurité pour couvrir les dangers sera systématiquement pratiquée, ainsi que l'emploi du sondeur, si possible avec alarme à seuil bas (§ 3.1.4.6.).
- 19 La route sera choisie après étude approfondie des documents nautiques, et portée sur des cartes à la plus grande échelle possible. Dans les chenaux sinueux on se souviendra que le courant est plus fort près de la rive concave et que la berge convexe est souvent malsaine et peut abriter des contre-courants, mais aussi que le règlement pour prévenir les abordages prescrit de naviguer dans la partie droite du chenal.

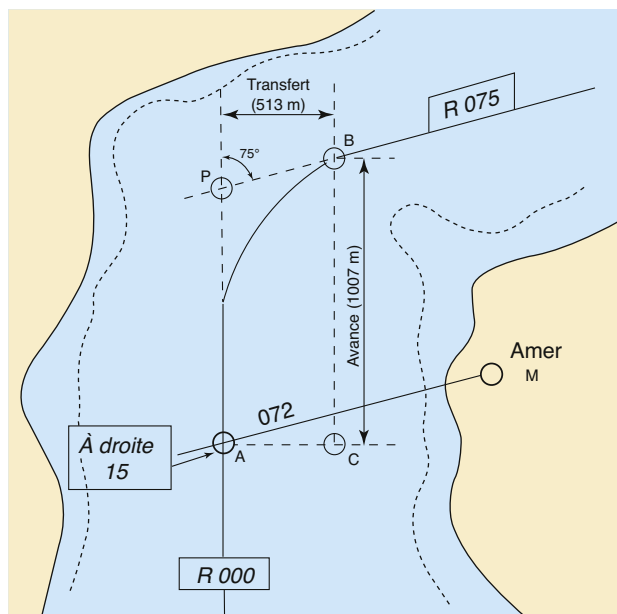
25



13.3.1. — Courants dans le tournant d'un chenal.

- 31 Pour naviguer, on évitera d'utiliser les bouées car elles se déplacent autour de leur ancrage avec le vent et avec le courant, et elles sont susceptibles de dérader ; on évitera aussi d'utiliser les chutes de terre, toujours plus ou moins imprécises sauf lorsqu'elles sont accores. Il arrive cependant, dans certaines régions, qu'il soit impossible de disposer d'autres amers. Dans de tels cas, il convient d'observer la plus grande prudence et, dans toute la mesure du possible, d'embarquer un pilote local, à l'entrée du chenal.
- 01 13.3.2. Points tournants
- 07 Étant donné l'exiguïté des lieux, il est nécessaire de déterminer avec précision le point où le navigateur lancera la giration en tenant compte de l'avance et du transfert, et du délai d'exécution de l'ordre de barre sur les grands navires.
- 13 Ceci se fera en repérant, sur le graphique (figure 13.2.1.) correspondant à la vitesse, l'avance et le transfert pour le changement de route projeté, en en déduisant par report du transfert le point de sortie du virage B, puis par report de l'avance le point de début de giration A (figure 13.3.2.A.).

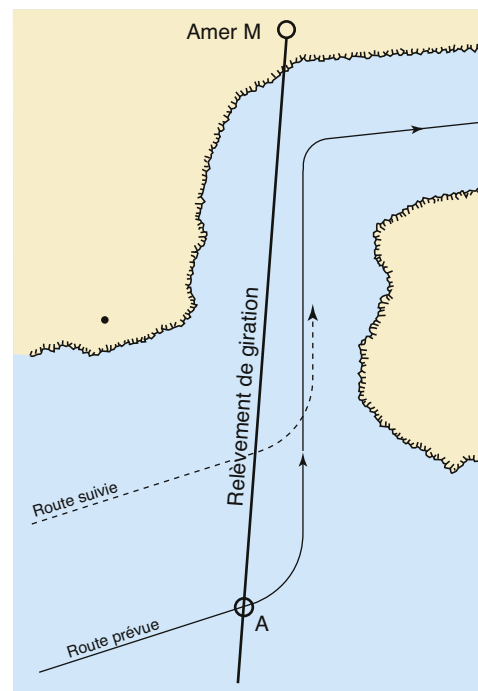
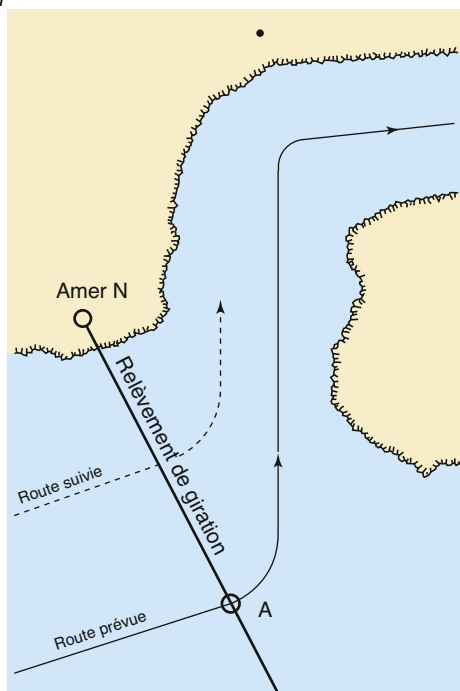
19



13.3.2.A. — Exécution d'une giration.

- 25 Ce point de début de giration sera repéré par un relèvement à terre (ou encore mieux un alignement) pris le plus parallèle possible à la future route, ce qui permet en cas de décalage par rapport à l'ancienne route de ramener le navire sur la route prévue en sortie de giration (figure 13.3.2.B.).

31



L'emploi de l'amer M proche de la future route, plutôt que celui de l'amer traversier N, pour repérer le point A de début de giration, ramène sur la route prévue.

13.3.2.B. — Choix du relèvement de giration.

01 13.3.3. Emploi des systèmes de visualisation de cartes marines électroniques

- 07 Le GPS différentiel et les systèmes de radionavigation de précision similaire sont utilisables en chenalage ou en navigation portuaire dans les cas où la précision de la carte utilisée le permet (§ 12.3.3.2.).

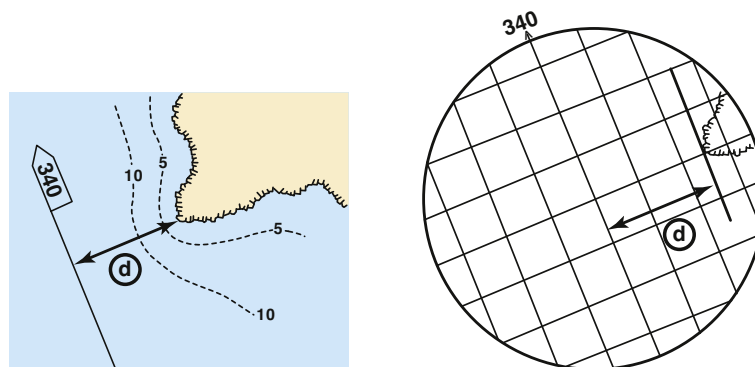
- ¹³ Relié à un tel système de radionavigation, un équipement de visualisation de cartes marines électroniques (ECDIS ou ECS) peut également être utilisé en chenalage ou en navigation portuaire, mais uniquement dans la mesure où la précision de la carte électronique et le système géodésique auquel est rapportée cette carte le permettent (§ 12.3.3.).

01 13.4. Pilotage au radar en eaux resserrées

01 13.4.1. Navigation sur indicateur stabilisé en mouvement relatif

- 07 Le maintien du navire sur la route prévue se fait en créant sur l'écran à la distance convenable un repère parallèle à la route, sur lequel le navigateur maintient un amer radar en jouant sur le cap du navire. La précision est d'autant meilleure que l'amer est proche du travers du navire. Le pilotage se fait en identifiant les amers au radar, puis en amenant le premier amer sur le premier repère parallèle. Le navigateur progresse ensuite d'amer en amer.

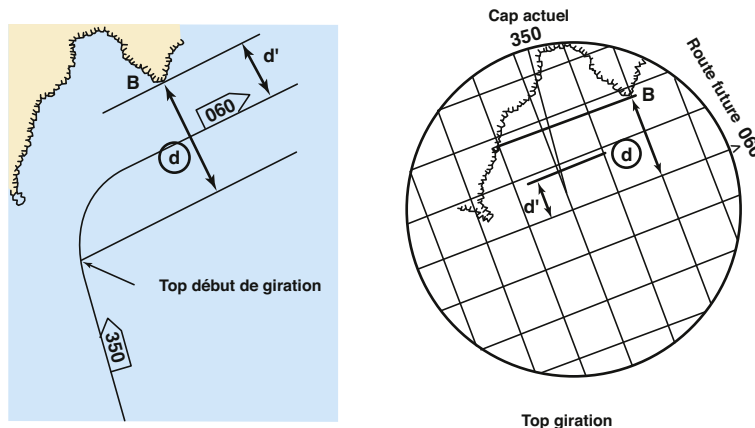
13



13.4.1.A. — Pilotage au radar.

- 19 La progression sur la route est contrôlée en observant sur l'indicateur le franchissement par les amers radar de repères perpendiculaires à la route. Les points de début de giration sont indiqués par des repères parallèles à la future route, repères qui tiendront compte de l'avance et du transfert correspondant au changement de route projeté (figure 13.2.1.).

25



13.4.1.B. — Exécution d'une giration.

01 13.4.2. Navigation sur indicateur stabilisé en mouvement vrai

- 07 La route à suivre est matérialisée sur l'indicateur par un vecteur électronique mis en place par rapport à un amer radar si possible ponctuel. En jouant sur le cap, le navigateur maintient son navire sur le vecteur électronique, ce qui lui fait tenir compte de la dérive existante.
- 13 Certains ARPA (§ 3.1.7.6.5.) permettent d'entrer en mémoire des routes géographiques, il suffit alors d'identifier un amer radar et recalculer la route sur lui, puis de suivre cette route.

01 13.4.3. Navigation sur table traçante

- 07 La **table traçante** (§ 10.6.) est réglée à l'échelle correspondant à la carte de navigation et reçoit un calque renseigné des routes prévues, des amers radars et des points de giration.

- 13 La rose représentative du navire est recalée le plus souvent possible par point radar obtenu par trois distances, et est assujettie par le navigateur jouant sur le cap à suivre la route tracée.
- 19 Cette méthode est moins précise que le pilotage sur indicateur radar en raison des erreurs de la table traçante et des reports de points, mais elle permet un suivi historique et permet de pallier une avarie radar de faible durée en continuant à l'estime.

01 13.5. Organisation du bâtiment pour les eaux resserrées

- 07 Avant d'entrer dans une zone où une erreur minime sur la navigation ou une avarie de barre ou de machine peut entraîner de graves risques sur la sécurité du navire, les précautions à prendre sont de deux ordres : améliorer la sécurité contre les risques d'échouement et se donner les moyens de naviguer avec plus de précision.

01 13.5.1. Amélioration de la sécurité

- 07 L'étanchéité maximale du navire sera recherchée par la fermeture préventive des portes et panneaux étanches qui auraient pu être ouverts.
- 13 Si le bâtiment possède deux moteurs de barre, ces deux moteurs seront mis en fonction et couplés. La machine sera mise en état d'effectuer des changements inopinés de régime.
- 19 Les appareils de mouillage seront disposés de façon à pouvoir mouiller sans délai.

01 13.5.2. Amélioration de l'organisation navigation

- 07 Il convient de renforcer si possible l'équipe de navigation ou au moins de stimuler sa vigilance de façon à ce qu'elle exploite efficacement et simultanément toutes les aides à la navigation dont est équipé le navire et qu'elle puisse détecter sans délai une incohérence de l'une d'elles.

Chapitre 14

Entrée et sortie de port

01 14.1. Généralités

- 07 Cas particulier de navigation en eaux resserrées, la navigation dans les ports se fait généralement avec le concours d'un pilote (pour les navires d'un certain tonnage). Les ports sont parfois équipés de dispositifs comme l'AIS permettant une localisation améliorée et la transmission d'informations.
- 13 La navigation se termine normalement par un accostage ou un mouillage (sous-chapitre [14.4.](#)).
- 19 Les *Instructions Nautiques* fournissent les indications sur les stations de pilotage. L'ouvrage *Radiocommunications pour la surveillance du trafic et le pilotage* fournit les indications relatives aux procédures et aux liaisons radio de pilotage et de chenalage dans les voies d'accès aux principaux ports du monde entier.

01 14.2. Stations de contrôle à terre

01 14.2.1. Radars de surveillance

- 07 Certains ports et leurs approches sont couverts par des radars de surveillance exploités par des centres de contrôle dans le cadre d'un [STM](#) (voir volume 3). Les navires qui se présentent doivent se faire identifier par radio à leur passage à certains points ou lignes d'appel, ils sont ensuite surveillés et éventuellement alertés s'ils sortent des chenaux d'accès.

01 14.2.2. Radars de port

- 07 Dans certains ports, les [STM](#) de port contrôlent et guident les navires vers les écluses intérieures et jusqu'à leur poste d'accostage ou de mouillage en leur fournissant des indications concernant leur position.

01 14.3. Aides à la navigation portuaire

07 L'extrême précision nécessaire a conduit à mettre au point des aides à la navigation spécifiques aux entrées de port et bassins portuaires.

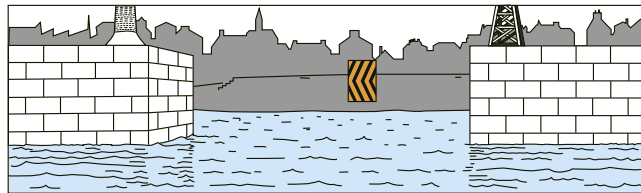
01 14.3.1. Systèmes optiques

07 Les alignements optiques de deux amers sont d'usage fréquent pour matérialiser les axes des sas, écluses, entrées de bassin.

13 De même usage est la **marque de guidage à effet de moiré** : sur un écran installé à terre apparaissent, soit des bandes verticales lorsque le navire est dans l'axe, soit des chevrons moirés lorsqu'il s'en écarte, l'orientation de la flèche du chevron indiquant le sens de l'abattée à faire pour revenir dans l'axe.

19 Ces systèmes optiques, tout comme les systèmes de télémétrie à laser ou infra-rouge, sont très précis mais sensibles à tout ce qui limite la visibilité, comme la brume, la pluie, parfois la nuit.

25



14.3.1. — Marque à effet de moiré (navire à droite de l'axe).

01 14.4. Mouillage

01 14.4.1. Choix du mouillage

01 14.4.1.1. Critères de choix

- 07 Quelle que soit la raison du mouillage, sa position doit être choisie de façon à garantir la sécurité du navire à l'ancre. Ceci conduit le navigateur à rechercher, par l'examen de la documentation nautique (*Instructions Nautiques*, cartes à grande échelle, etc.), un plan d'eau ayant une profondeur adaptée au tirant d'eau du navire, et un fond assurant une bonne tenue de l'ancre.
- 13 La zone de mouillage doit être aussi abritée que possible des vents prévisibles et de la houle ; en outre, cette zone doit être assez étendue pour que le navire puisse s'éviter sur son ancre, quelle que soit la marée, et pour permettre une légère chasse, en cas de vent violent, sans mettre immédiatement le navire en danger.

01 14.4.1.2. Nature des fonds convenables

- 07 Les meilleurs fonds sont l'argile, la marne, la craie et la vase dure. La vase molle assure une bonne tenue de l'ancre mais cette dernière doit être périodiquement relevée pour éviter son enlèvement. Les fonds de sable, de gravier, de galets, de coquilles brisées, ainsi que les herbiers courts sont des fonds de qualité acceptable (en anglais : *fairly good anchorage*).
- 13 Les très longs herbiers sur lesquels l'ancre glisse, ainsi que les fonds de roche ou de coraux, où l'ancre peut déraiper, se coincer, voire se casser, sont de mauvais fonds de même que les plateaux à fort gradient de profondeur sur lesquels l'ancre chasse lorsque le navire hale dans la direction de la ligne de plus grande pente.

01 14.4.1.3. Préparation du mouillage

- 07 Un mouillage se prépare par écrit en recherchant des repères de navigation pour se présenter sur une route sûre, et pour mouiller à l'endroit prévu, avec certitude. Chaque fois que possible, on se présente sur un alignement optique ou, à défaut, sur un relèvement d'un amer remarquable. Pour déterminer les points de stoppage et de mouillage, on choisit de préférence des alignements ou des relèvements traversiers, ou des distances radar dont les cercles coupent la route sous des angles convenables.
- 13 La route de présentation finale est choisie autant que possible debout au vent ou au courant, selon celui qui est susceptible d'entraîner la dérive la plus importante.

01 14.4.2. Exécution du mouillage

01 14.4.2.1. L'approche

- 07 L'approche se fait selon les règles de la navigation en eaux resserrées (chapitre 13.), en ralentissant progressivement pour avoir une vitesse sur le fond nulle au point prévu pour mouiller. Ceci a pour effet, s'il y a du vent ou du courant traversier, d'augmenter dans de fortes proportions la dérive. Il convient donc de la contrer vigoureusement pour se maintenir sur la route d'approche.

01 14.4.2.2. Le mouillage

- 07 Arrivé presque stoppé au point prévu, on mouillera, et un point observé précis sera fait au moment de la chute de l'ancre.
- 13 Aussitôt après le **mouillage**, le navigateur s'assure que l'ancre a bien croché (que le navire a « fait tête ») en observant le défilement des alignements ou la variation des relèvements et distances utilisés pour l'approche.

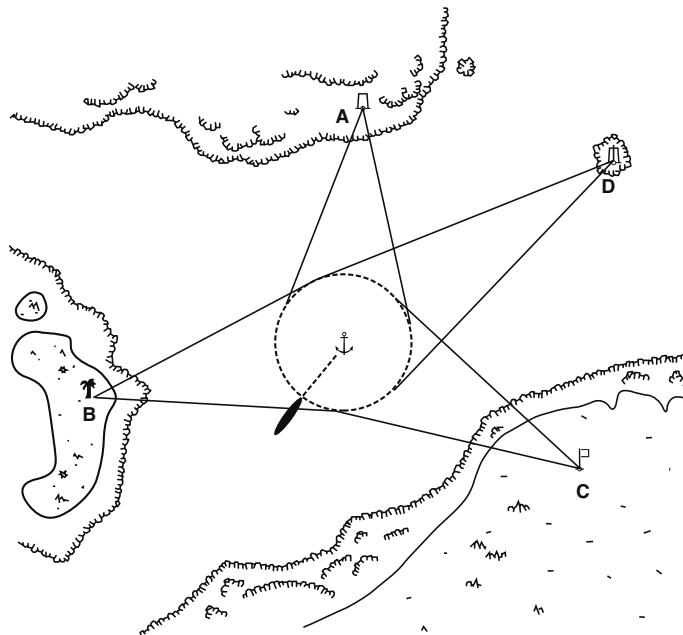
01 14.4.3. Surveillance du mouillage

- 07 Au mouillage en rade foraine, le risque existe de voir l'ancre **chasser** et le navire venir heurter les obstacles voisins ou s'échouer. Pour se donner le temps de réagir, le navigateur s'assure que le navire est toujours sur

le **cercle d'évitage** qu'il a tracé sur la carte après le mouillage, autour du point réel de la chute de l'ancre et avec un rayon égal à la touée filée.

- 13 Dans ce but il prend ou fait prendre périodiquement les relèvements d'amers proches qui doivent rester compris entre les relèvements tangents au cercle d'évitage.

19



14.4.3. — Cercle d'évitage.

- 25 Sur l'indicateur radar à la plus grande échelle possible, un repère électronique ou une trace au crayon gras mis en concordance avec l'écho d'un amer ponctuel fixe ne doit pas s'en éloigner d'une distance plus grande que le rayon d'évitage.
- 31 Les indications de récepteurs de radionavigation précis (GPS par exemple) sont contrôlés périodiquement et ils doivent correspondre au cercle d'évitage. Enfin le sondeur est maintenu en fonction avec une alarme à seuil haut et bas (§ 3.1.4.6.).

Pas de texte

Chapitre 15

L'estime au large

01 15.1. Généralités

01 15.1.1. Objectifs et principe

- 07 Comme l'estime en zone côtière (§ 10.2.), l'estime au large permet de déterminer la position probable du bateau en exploitant les éléments de la marche du navire (cap suivi, distance parcourue, dérive due au vent et au courant) depuis le dernier point observé. Mais les distances en jeu font qu'il n'est pas possible d'assimiler le globe terrestre à un plan et elles obligent à remplacer les constructions graphiques (§ 10.3.1. et § 10.5.) par des calculs.

01 15.1.2. Précision de l'estime au large

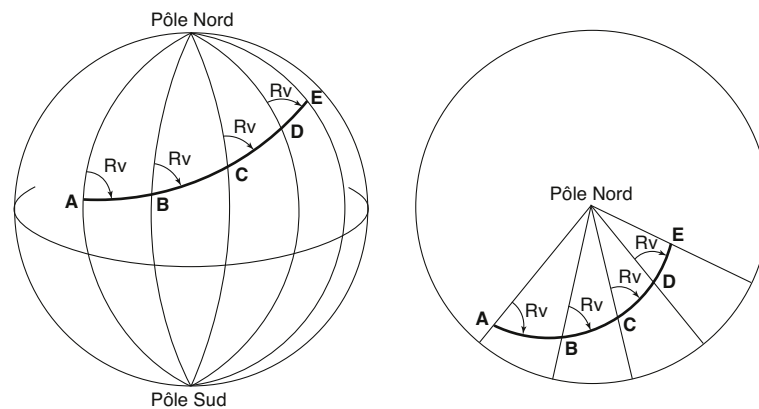
- 07 La zone d'incertitude de l'estime est la même qu'en navigation côtière (§ 10.3.2.), mais les ordres de grandeur sont différents car l'estime couvre des périodes plus longues. Par très beau temps avec une tenue de route et de vitesse surveillée, il est courant d'observer une erreur relative de 3 % de la distance parcourue depuis le dernier point observé, à laquelle il faut ajouter l'incertitude sur ce dernier point. Ces erreurs peuvent être largement doublées ou triplées par mauvais temps, avec une gouverne peu stable ou dans des parages où le courant est mal connu.
- 13 Cette valeur fait ressortir la nécessité fréquente en cours de traversée d'un recalage sur un nouveau point observé qui servira de point de départ pour une nouvelle estime (§ 18.2.2.1.).

01 15.2. Loxodromie

01 15.2.1. Définition de la loxodromie

- 07 **La façon la plus facile pour un navigateur d'aller d'un point à un autre est de le faire à route constante.** Sa route coupe alors tous les méridiens sous le même angle constant et décrit sur le globe terrestre une trajectoire en spirale s'enroulant autour du pôle, qu'on appelle **loxodromie** (si la route suivie est N, S, E ou W, la spirale prend la forme particulière d'un arc de cercle).
- 13 Une représentation cartographique rend plus facile au navigateur le suivi de la loxodromie : la projection de Mercator.

19



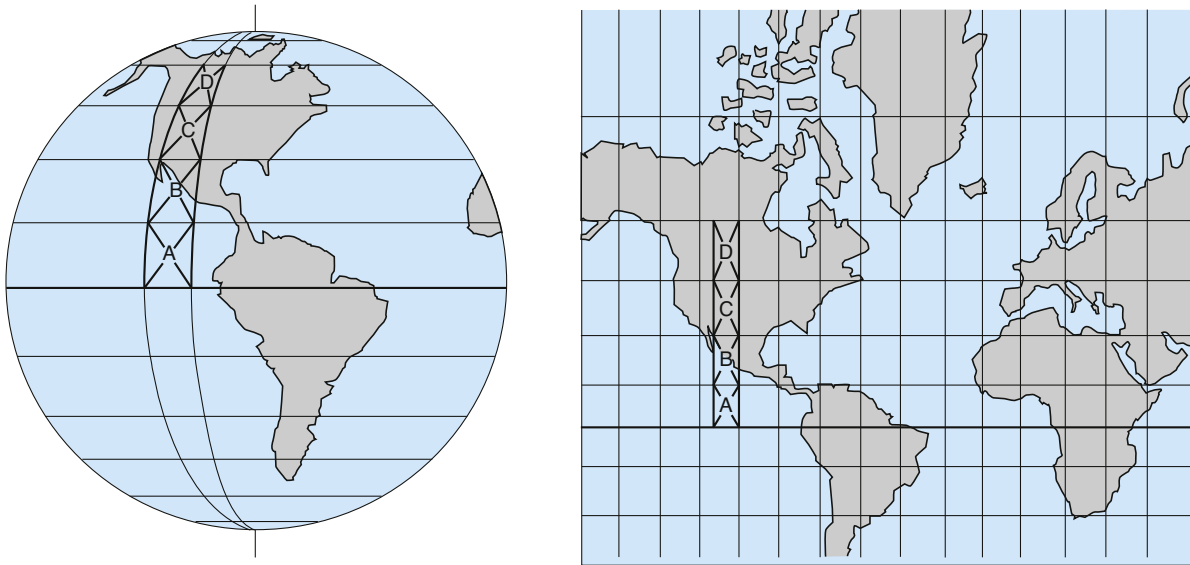
15.2.1. — Loxodromie.

01 15.2.2. Projection de Mercator

01 15.2.2.1. Présentation

- 07 Dans cette transformation mathématique d'une figure sur le globe terrestre en une représentation plane, les angles sont conservés et les images des méridiens sont des droites parallèles équidistantes.
- 13 Les images des parallèles sont des droites, perpendiculaires aux images des méridiens. Mais les distances n'étant pas conservées dans la **projection de Mercator**, l'espacement entre ces droites augmente avec la latitude.

19



15.2.2.1. — La Terre en projection de Mercator.

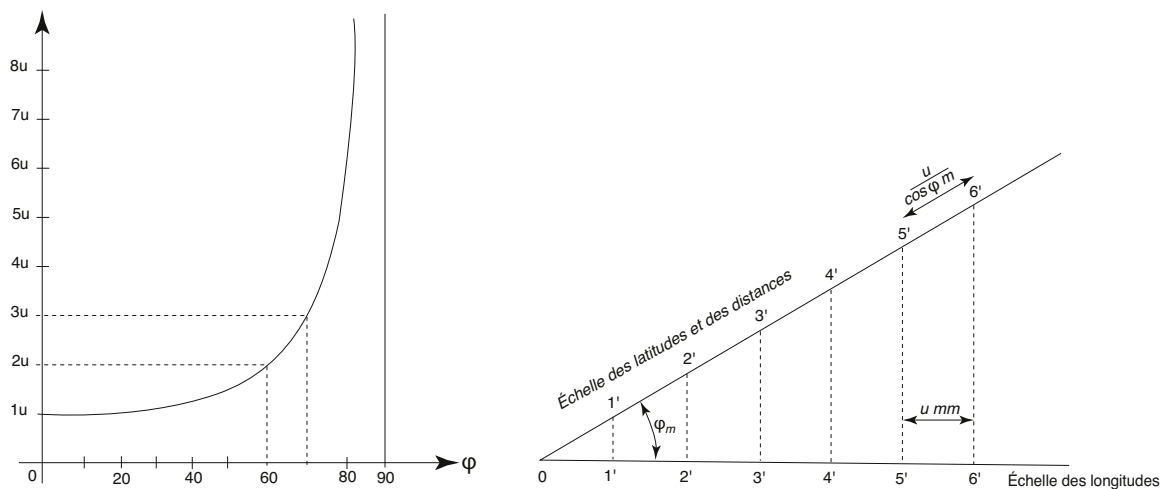
01 15.2.2.2. Échelle des distances

07 Sur la **carte Mercator**, l'échelle des distances n'est pas constante : elle varie avec la latitude selon la loi d'espacement des parallèles.

13 En supposant en première approximation la Terre sphérique, une même distance sur le globe a une représentation sur la carte fonction de la latitude : l'unité de distance sur la carte est affectée du coefficient $1/\cos \phi$ (figure 15.2.2.2., à droite).

19 En pratique il est commode de mesurer les courtes distances en les reportant sur l'échelle des latitudes à la latitude correspondante.

25 Échelle des distances

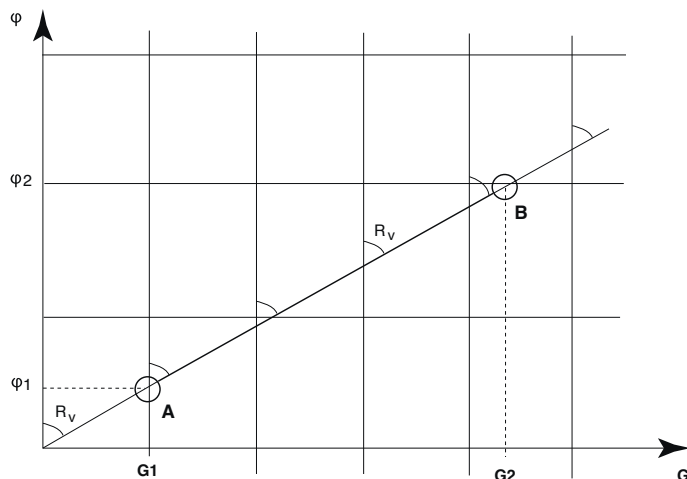
a) Variation de l'échelle en fonction de ϕ .b) Échelles locales en un point de latitude ϕ_m .

15.2.2.2. — Échelle des distances.

01 15.2.2.3. La loxodromie en projection de Mercator

07 Sur une carte ou un canevas en projection de Mercator, la loxodromie, trajectoire à route constante R_v , est représentée par une droite faisant avec les méridiens cet angle constant. Cette commodité de représentation explique que la plupart des cartes marines soient établies en projection de Mercator (volume 1).

13



15.2.2.3. — Loxodromie en projection de Mercator.

01 15.2.3. Équations de l'estime

07 L'estime se calcule toujours en suivant une loxodromie.

01 15.2.3.1. Formules exactes de l'estime

07 Pour un tronçon de loxodromie de longueur M en milles faisant un angle R_v avec le méridien, les **formules exactes de l'estime** de $A (\phi_1, G_1)$ à $B (\phi_2, G_2)$ sont :

13 $\phi_2 - \phi_1 = M \cos R_v$

19 $G_2 - G_1 = -(\lambda_2 - \lambda_1) \tan R_v$

25 avec ϕ et G : latitude et longitude (voir § 20.3.2.2. pour les conventions de signes), et λ : « **latitude croissante** » c'est-à-dire distance du parallèle à l'équateur en projection de Mercator.

31 Avec une calculatrice programmable, il suffit, pour obtenir M en milles, d'exprimer $\phi_2 - \phi_1$ et $G_2 - G_1$ en minutes et d'utiliser la formule : 15.2.3.1.

37 Dans cette formule, le nombre 3438 est le facteur de conversion de radians en minutes d'angle ($180 \times 60 / \pi$), les logarithmes sont des logarithmes népériens, de base e .

43 Sans calculatrice programmable, l'emploi de ces formules est laborieux et on leur préfère alors les formules approchées du paragraphe suivant.

01 15.2.3.2. Formules approchées de l'estime

07 Les **tables de navigation** (table XV des *Éphémérides Nautiques* par exemple) et les calculateurs automatiques d'estime utilisent les formules :

13 $\phi_2 - \phi_1 = L = M \cos R_v$ avec L : chemin Nord Sud

19 $G_2 - G_1 = \frac{e}{\cos \phi_m}$ avec e : chemin Est Ouest et ϕ_m : latitude moyenne, $e = -M \sin R_v$, $\phi_m = \left(\frac{\phi_1 + \phi_2}{2} \right)$

25 a) Limites d'utilisation des formules approchées

31 L'application des formules approchées de l'estime introduit une erreur en longitude. Pour que l'erreur ne dépasse pas 1' de longitude (donc reste inférieure ou égale à 1 mille) le calcul d'estime ne devra se faire que sur une distance parcourue inférieure aux valeurs suivantes en milles (en fonction de la latitude moyenne et de la route vraie suivie) [tableau 15.2.3.2.].

37 En pratique, aux latitudes courantes ($\phi_m < 60^\circ$), le navigateur peut utiliser les formules approchées jusqu'à une distance de 375 milles.

43

$\varphi_m \backslash R_v$	15	35	60	80	89	90
0	1055	903	1094	2122	9766	∞
30	848	726	880	1706	7852	∞
45	652	558	667	1311	6033	∞
60	438	375	454	880	4052	∞
65	365	312	379	734	3380	∞
70	292	250	303	588	2705	∞
75	219	187	227	441	2029	∞
80	146	125	152	294	1353	∞

15.2.3.2. — Limites d'utilisation des formules approchées.

49 **b) Estime à des routes diverses**

55 Si le navire suit plusieurs routes successives, le navigateur peut ajouter algébriquement les chemins Nord-Sud d'une part, et Est-Ouest d'autre part (à condition que la latitude moyenne de chaque tronçon ne s'écarte pas de plus de un demi-degré de la latitude moyenne φ_m utilisée ; dans le cas contraire le calcul d'estime devra être recommencé pour chaque tronçon de loxodromie).

61 Dans le calcul de l'estime, **les courants successifs rencontrés peuvent être considérés comme des routes supplémentaires suivies par le navire.**

01 **15.2.4. Calcul inverse de l'estime**01 **15.2.4.1. Formules exactes**

07 Connaissant les coordonnées du point de départ et du point d'arrivée, la route vraie R_v à suivre et la distance loxodromique M peuvent être calculées par les formules suivantes :

$$13 \quad \tan R_v = - \frac{g}{\lambda_2 - \lambda_1}$$

19 avec $g = G_2 - G_1$; $L = \phi_2 - \phi_1$; λ latitude croissante (§ 15.2.3.1.)

$$25 \quad M = \frac{L}{\cos R_v}$$

01 **15.2.4.2. Formules approchées**

07 Avec la même approximation que pour le calcul direct de l'estime, donc en pratique si la distance est inférieure à 375 milles aux latitudes usuelles, le calcul inverse de l'estime peut être fait par les formules approchées suivantes, qui sont utilisées par les tables de point et les calculateurs automatiques d'estime :

$$13 \quad \tan R_v = - \frac{e}{L}$$

19 avec $e = g \cos \varphi_m$; $g = G_2 - G_1$; $L = \phi_2 - \phi_1$

$$25 \quad M = \frac{L}{\cos R_v}$$

31 La route R_v est donnée par sa tangente, il reste à déterminer si elle doit être prise à partir du Nord ou du Sud, et vers l'Est ou l'Ouest : les signes de g et de L permettent de lever cette ambiguïté mais il sera toujours prudent de faire un schéma rapide pour ne pas se tromper.

01 **15.2.5. Calculateurs automatiques d'estime**

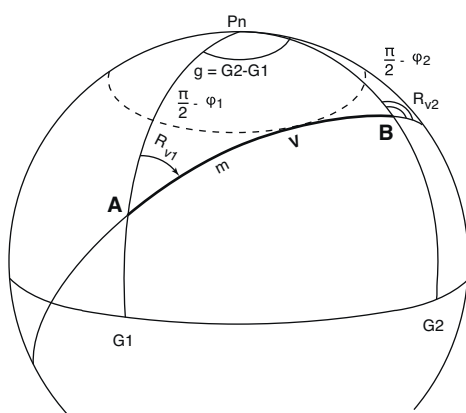
07 Les calculateurs automatiques d'estime (§ 10.6.) utilisent les formules approchées de la loxodromie et permettent de résoudre les problèmes courants de navigation à l'estime au large. Ils sont parfois associés à des récepteurs de radionavigation permettant un recalage de l'estime.

01 15.3. Orthodromie

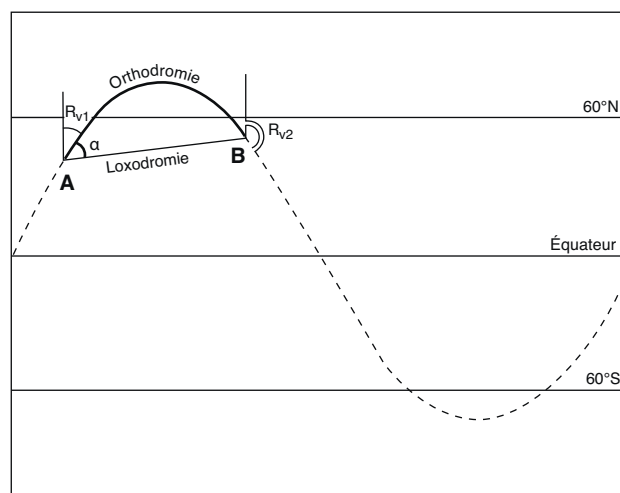
01 15.3.1. Définition de l'orthodromie

- 07 L'orthodromie est le chemin le plus court entre deux points de la surface terrestre, c'est le plus petit des arcs du grand cercle qui joint ces deux points si l'on assimile la terre à une sphère. L'orthodromie est difficile à suivre en navigation car l'angle R_v avec le méridien varie continuellement, et les calculs sont complexes. Son point de latitude maximum s'appelle le vertex V et cette latitude est parfois élevée (voir §19.2.).
- 13 L'orthodromie est le trajet que suit un rayon électromagnétique non perturbé sur la surface de la Terre.
- 19 La représentation de l'orthodromie sur une carte Mercator (figure 15.3.1., à droite) est une courbe à allure sinusoïdale. La loxodromie correspondante est comprise entre l'orthodromie et l'équateur.
- 25 L'angle entre l'orthodromie et la loxodromie correspondante est la **correction Givry** autrefois utilisée pour corriger les relèvements radiogoniométriques à grande distance.

31



a) Orthodromie.



b) Orthodromie en projection de Mercator.

15.3.1. — Orthodromie.

01 15.3.2. Équations de l'orthodromie

- 07 Dans les triangles sphériques $APnB$ et $APnV$ (figure 15.3.1., à gauche), on a les relations suivantes :
- $$\cos m = \sin \phi_1 \sin \phi_2 + \cos \phi_1 \cos \phi_2 \cos (G_2 - G_1)$$
- 13
$$\cot R_{v1} = \frac{\cos \phi_1 \tan \phi_2}{\sin (G_2 - G_1)} - \frac{\sin \phi_1}{\tan (G_2 - G_1)}$$
- 19
$$\cos \phi_v = \sin R_{v1} \cos \phi_1$$
- 25
$$\alpha = \frac{1}{2} (G_2 - G_1) \sin \frac{\phi_1 + \phi_2}{2}$$
- 31 avec : m distance orthodromique en milles ; ϕ_v latitude du vertex ; α correction Givry, toujours vers l'équateur.
- 37 Le navigateur peut utiliser directement ces formules. Avec une calculatrice, lorsque l'on calcule m par extraction de l'Arccosinus, on obtient un résultat en degrés qu'il convient de multiplier par 60 pour obtenir une distance m en milles.
- 43 Si la distance orthodromique est inférieure à 5 100 milles le navigateur peut aussi utiliser les tables ou calculatrices de navigation astronomique pour droites de hauteur (§ 16.5.2.) en remplaçant dans les entrées ϕ par ϕ_1 , $AHag$ par $|G_2 - G_1|$ et D par ϕ_2 , et dans les sorties h par $\pi/2 - m$ et Az par R_{v1} .

01 15.3.3. Gain en distance de l'orthodromie sur la loxodromie

07 La différence de longueur entre une orthodromie et une loxodromie est : $M - m = M^3 \frac{\tan^2 \phi_1 \sin^2 R_{v1}}{24 \times (3438)^2}$

13 avec m : distance orthodromique en milles et M : distance loxodromique en milles.

19 Pour réaliser un gain de 1 mille, il faut parcourir les distances orthodromiques suivantes (voir tableau 15.3.3.).

25

$\begin{matrix} R_{v1} \\ \phi \end{matrix}$	090	060	030
15°	1581	1740	2510
30°	948	1043	1505
45°	657	723	1043
60°	456	501	723
75°	273	301	434

15.3.3. — Distances orthodromiques pour réaliser un gain de 1 M sur la loxodromie.

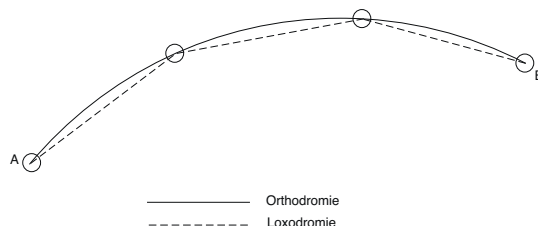
31 L'orthodromie n'est donc intéressante en navigation que pour des distances supérieures à 500 milles ou si la latitude est élevée.

01 15.3.4. Pratique de l'orthodromie

01 15.3.4.1. Décomposition en tronçons loxodromiques

07 L'orthodromie étant peu aisée à suivre en raison de la variation continue du cap à adopter, il est commode de la fractionner en tronçons correspondant à des variations de cap de l'ordre de 2 degrés et de suivre les trajets loxodromiques reliant les points intermédiaires.

13



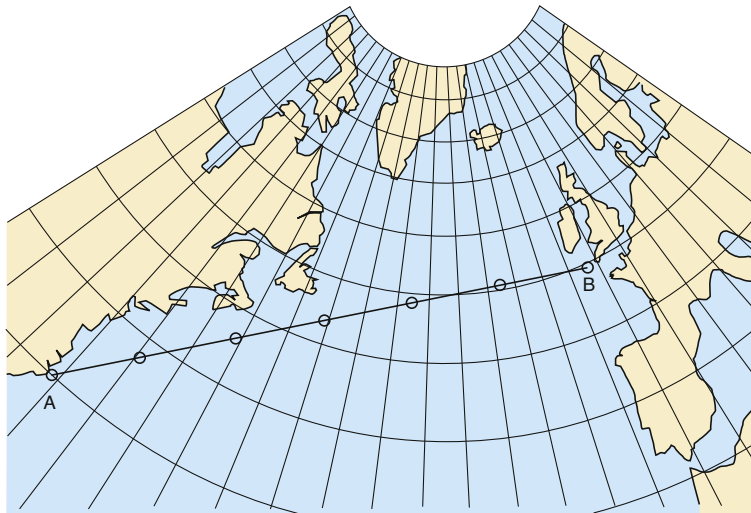
15.3.4.1.A. — Décomposition en tronçons loxodromiques.

19 a) Utilisation de carte gnomonique

25 Ceci peut se faire en utilisant une carte à projection gnomonique, comme celles du service hydrographique britannique.

31 Sur ces cartes l'orthodromie est représentée par une droite (mais les angles et les distances ne sont pas conservés). Le navigateur relèvera sur les cartes les coordonnées de points intermédiaires puis fera un calcul d'estime loxodromique entre chacun de ces points intermédiaires. Il peut également mesurer angles et distances orthodromiques.

37



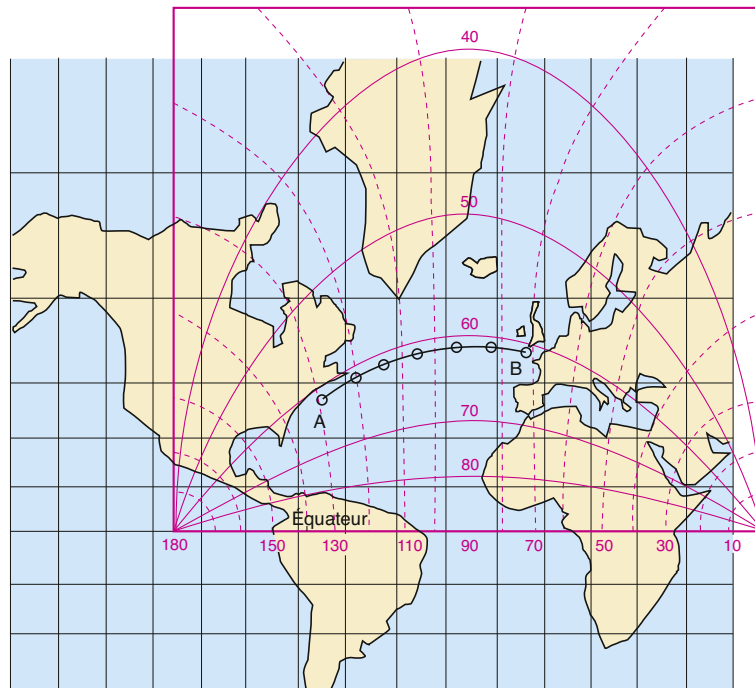
15.3.4.1.B. — Orthodromie sur une carte gnomonique.

43 L'utilisation de la carte **gnomonique** offre l'avantage de visualiser directement l'orthodromie (et son vertex) et de vérifier qu'elle ne fait pas passer sur les terres.

49 **b) Utilisation de l'abaque orthodromique** (figure 15.3.4.1.C.)

55 Le navigateur peut utiliser soit l'abaque 0101NQA (calque Favé) avec un planisphère Mercator 0101HSA ou 0102HSA, soit l'abaque 0020NQA avec les planisphères 0021BSA, 0022BSA ou 0023BSA. Il faut faire glisser horizontalement le calque, en faisant coïncider son équateur et celui de la carte planisphère, jusqu'à trouver sur le calque une courbe orthodromique interpolée qui relie le point de départ et le point d'arrivée. Il suffit alors de relever les coordonnées des points intermédiaires et celles du vertex. Des courbes annexes permettent de calculer les angles de route et les distances.

61



15.3.4.1.C. — Utilisation de l'abaque orthodromique.

01 15.3.4.2. Utilisation des calculettes de navigation

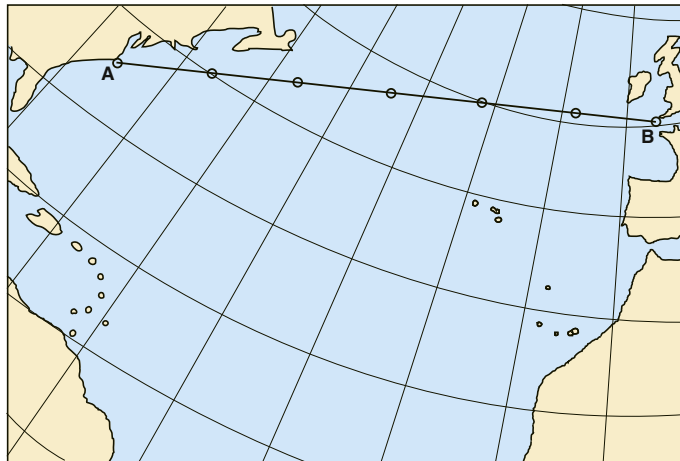
07 Le navigateur peut utiliser une calculette de navigation mettant en œuvre les formules de l'orthodromie (§ 15.3.2.) : les points trouvés seront ensuite reportés sur un planisphère Mercator.

01 **15.3.4.3. Utilisation d'une carte conforme oblique**

07 Sur la carte 6561 du SHOM, **carte conforme oblique** de l'Océan Atlantique Nord, l'orthodromie entre la France et les Antilles est le grand cercle d'une transformation analogue à celle de Mercator (qui utilise, elle, l'équateur comme grand cercle de transformation). Les angles y sont rigoureusement conservés, et parallèles et méridiens sont des courbes complexes dessinées sur la carte. Il est possible jusqu'à 300 milles de l'axe de la projection de représenter par des lignes droites les routes orthodromiques et les relèvements radiogoniométriques, de mesurer sur la carte les distances orthodromiques, de mesurer les angles de route avec un rapporteur.

13 La carte conforme oblique est donc très commode d'emploi.

19

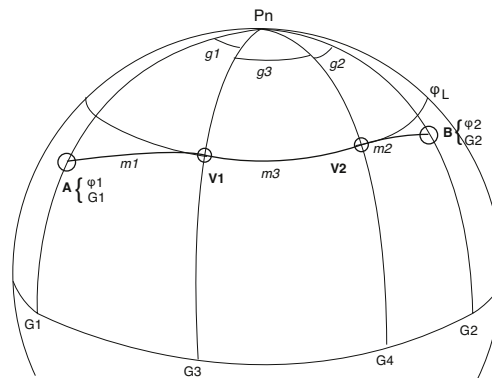


15.3.4.3. — Orthodromie sur une carte conforme oblique.

01 15.4. Orthodromie mixte

- 07 Si à l'examen l'orthodromie pure conduit à des latitudes trop élevées (en raison des glaces par exemple) le navigateur peut se fixer une latitude ϕ_L à ne pas dépasser.
- 13 L'**orthodromie mixte** comprend alors un arc de ce parallèle limite et deux arcs d'orthodromie tangents à ce parallèle passant l'un par le point de départ, l'autre par le point d'arrivée.
- 19 En pratique le navigateur calculera ou plutôt relèvera sur une carte gnomonique ou une abaque orthodromique les coordonnées des points de contact V1 et V2 qui sont les vertex à une latitude ϕ_L des deux tronçons d'orthodromie.
- 25 Chaque tronçon d'orthodromie est ensuite suivi comme il est dit au paragraphe 15.3.4. Entre V1 et V2 le trajet suivi est le parallèle, donc une loxodromie.

31



15.4. — Orthodromie mixte.

Chapitre 16

NAVIGATION ASTRONOMIQUE

01 16.1. Principe du point astronomique

01 16.1.1. Généralités

07 La navigation astronomique est la détermination de la position par l'observation des astres, soleil, planètes et étoiles.

13 Au large, c'est un moyen d'obtenir un point observé. Ce moyen, qui suppose une bonne visibilité et une certaine expérience, donne au navigateur une autonomie totale. Les calculs peuvent être faits avec très peu de matériel au moyen de tables spécialisées, mais leur résolution peut être grandement facilitée aujourd'hui par les calculatrices et ordinateurs de navigation.

19 Malgré le progrès considérable en termes de précision et de commodité d'utilisation qu'apportent les systèmes de radionavigation comme le [GPS](#), l'emploi de ces systèmes a pour contrepartie une extrême dépendance envers les prestataires de service et envers des aléas (pannes). La navigation astronomique a l'avantage de l'autonomie, c'est pourquoi le sextant et les tables astronomiques continuent de figurer dans la liste du matériel et des documents obligatoires pour les navires habilités à la navigation hauturière.

25 On trouvera au sous-chapitre [20.3](#) la signification des symboles et coordonnées utilisés dans le présent chapitre.

01 16.1.2. Cercle de hauteur

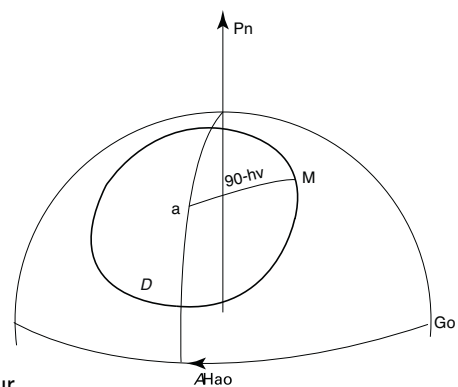
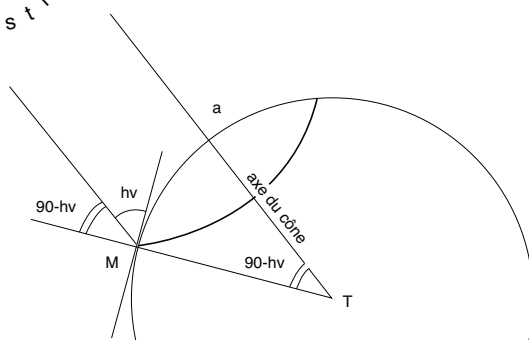
07 Si un navigateur observe qu'un astre fait un angle h_v avec l'horizontale, il se trouve sur un petit cercle de rayon angulaire $(90^\circ - h_v)$ centré sur le **point substellaire**, intersection de la sphère terrestre avec la verticale qui joint l'astre au centre de la terre. Ce petit cercle est baptisé cercle de hauteur h_v .

13 Le navigateur peut trouver dans les *Éphémérides Nautiques*, ou dans les mémoires de certaines calculatrices de navigation, en fonction de l'heure et de la date, les coordonnées du point substellaire : déclinaison à partir de l'équateur et $AHao$ angle horaire de l'astre à partir du méridien origine (sous-chapitre [20.3](#)). Il peut donc déterminer le **cercle de hauteur** sur la sphère terrestre.

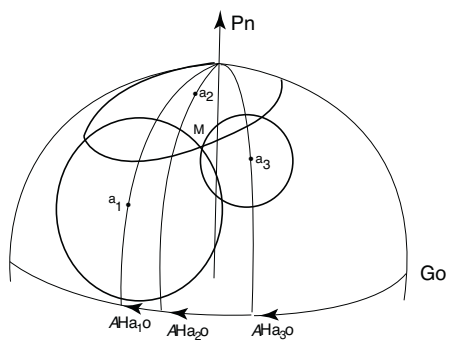
19 L'observation de trois astres, de point substellaire a_1 , a_2 et a_3 , procurent trois lieux de position qui se recoupent au point M, point astronomique cherché.

25

A s t r o



Cercle de hauteur



16.1.2. — Principe du point astronomique et cercle de hauteur.

01 16.2. L'heure en mer

01 16.2.1. Expression du besoin

- 07 Le calcul du point astronomique fait intervenir l'angle horaire AH_{ao} de l'astre visé qui est directement fonction du mouvement de rotation de la terre, base du Temps Universel. Toute erreur sur l'heure se traduit donc par une erreur égale sur la longitude du point trouvé (sous-chapitre 20.3.).
- 13 Certains systèmes de radionavigation ont également besoin d'une référence de temps précise.

01 16.2.2. Les échelles de temps

01 16.2.2.1. Temps atomique international

- 07 L'unité légale de temps est la seconde atomique, dont la durée est définie par la fréquence du rayonnement de l'atome de césium 133 ; la seconde atomique est déterminée avec une précision de 5×10^{-13} , en valeur relative. Le Temps atomique international (TAI) est principalement utilisé par les scientifiques car il est précis et stable, n'étant pas influencé par les variations saisonnières de la rotation terrestre.

01 16.2.2.2. Temps Universel UT des Éphémérides et des Tables Astronomiques

- 07 Aligné sur le temps solaire moyen, corrigé des anomalies dues aux petits mouvements de l'axe de rotation de la terre, le **Temps Universel UT1** ou T_{co} est le temps utilisé dans les Éphémérides et dans les Tables Astronomiques ; ce temps sert aussi pour effectuer les calculs des points astronomiques.

01 16.2.2.3. Temps Universel Coordonné UTC

- 07 Pour harmoniser les deux systèmes précédents le Temps universel coordonné (UTC) utilise la seconde atomique et a donc la précision du TAI, mais il est recalé périodiquement sur le Temps universel UT1 de façon à ne jamais s'en écarter de plus de 0,9 seconde. Le recalage est annoncé à l'avance dans les groupes d'Avis aux Navigateurs et est effectué par ajout ou soustraction d'une seconde intercalaire.
- 13 Le Temps Universel Coordonné UTC est transmis aux navigateurs par radiosignaux horaires (voir ouvrage *Radiocommunications maritimes*) en même temps que son décalage DUT1 avec le temps UT1.

01 16.2.3. Les fuseaux horaires

01 16.2.3.1. Le temps du fuseau

- 07 L'activité humaine étant liée à la lumière du jour, on a été conduit à diviser le globe en 24 fuseaux horaires ayant respectivement pour axe 24 méridiens espacés de 15° de longitude à partir du méridien de Greenwich dit **Méridien International**, et à adopter dans chaque fuseau le temps du méridien central, soit le Temps Universel Coordonné (UTC) augmenté (ou diminué) du nombre entier d'heures correspondant au décalage de longitude du méridien central. Ainsi grâce au décalage horaire le passage au méridien du soleil en un point a toujours lieu aux environs de midi du fuseau. Chaque **fuseau horaire** est baptisé par une lettre conventionnelle ou un numéro (tableau 16.2.3.1.).
- 13 Les navires en mer utilisent généralement le **temps du fuseau** dans lequel ils se trouvent.

19

Numéro du fuseau	-12	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10	-11	-12	12
Lettre du fuseau	M	Y	X	W	V	U	T	S	R	Q	P	O	N	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	K	L	M	Y
Longitude	180°		150°		120°		90°		60°		30°		0°		30°		60°		90°		120°		150°		180°		
	longitudes Ouest													longitudes Est													

16.2.3.1. — Les fuseaux horaires.

01 16.2.3.2. Le temps en usage

- 07 Chaque pays adopte pour tout ou partie de son territoire une heure pour l'usage courant, heure plus ou moins décalée par rapport au temps du fuseau. Certains pays adoptent pour l'été un décalage différent de celui du reste de l'année.

01 16.2.3.3. Documents du SHOM

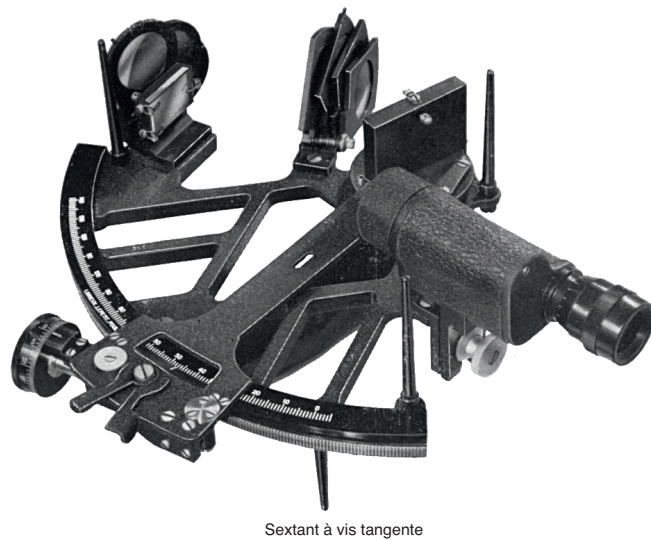
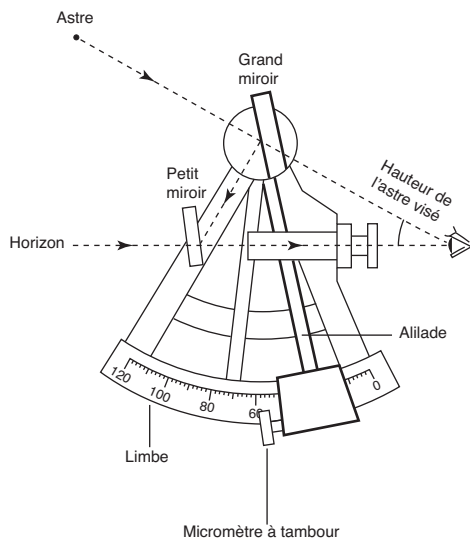
- 07 Le planisphère 0101QSA indique les fuseaux horaires, les temps du fuseau et les temps en usage dans les différents pays du globe. L'ouvrage *Radiocommunications maritimes* donne pour les divers pays l'heure en usage, et éventuellement l'heure d'été ainsi que les dates de début et de fin de cette heure d'été.

01 16.3. Le sextant

01 16.3.1. Principe du sextant marine

07 Le **sextant** est un appareil à double réflexion qui sert à mesurer l'angle de deux rayons visuels et en l'occurrence la hauteur d'un astre par rapport à l'horizon. Dans le sextant, le petit miroir semi-transparent et la lunette sont fixes par rapport au limbe, le grand miroir solidaire de l'alidade de lecture tourne autour d'un axe et est manœuvré par l'observateur de façon à voir par visée directe l'horizon et par double réflexion l'astre. À la coïncidence des deux images, on lit la hauteur sur le limbe et le micromètre.

13

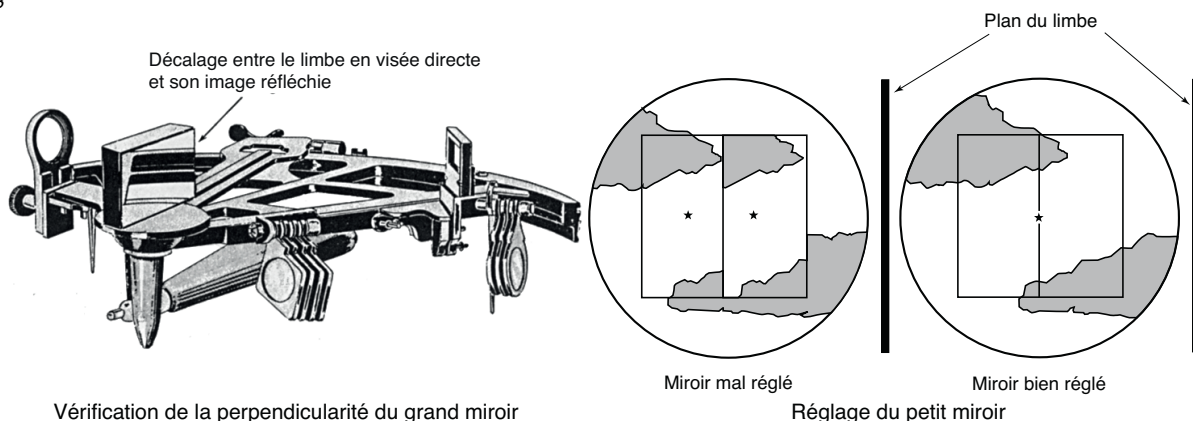


16.3.1. — Sextant marine.

01 16.3.2. Réglage du sextant

07 Pour donner des mesures exactes, le sextant doit être vérifié à chaque emploi et si nécessaire réglé. Une vis de réglage permet de rendre le grand miroir perpendiculaire au plan du limbe. Une deuxième vis de réglage permet ensuite de rendre à son tour le petit miroir perpendiculaire au plan du limbe, puis une troisième vis de réglage permet, l'alidade étant mise au zéro, de rendre le petit miroir parallèle au grand miroir.

13



Vérification de la perpendicularité du grand miroir

16.3.2. — Réglages des miroirs du sextant.

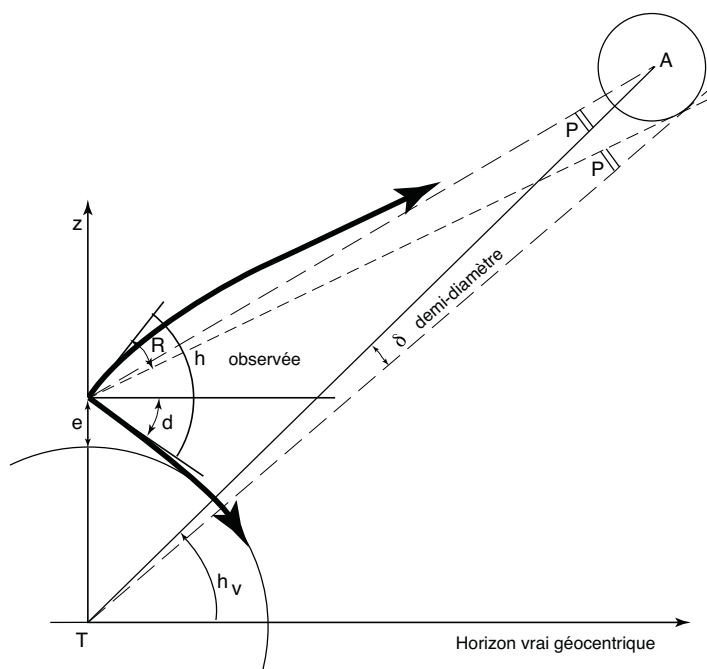
01 16.3.3. Erreurs instrumentales du sextant

- 07 Après réglage du sextant, la **collimation** est l'angle lu en faisant coïncider l'image directe et l'image réfléchie de l'horizon : si la collimation est supérieure à quelques minutes il convient de reprendre le réglage du petit miroir.
- 13 L'**excentricité**, due au mauvais calage d'origine de l'axe de rotation de l'alidade, est indiquée par le constructeur. Elle est très faible sur un sextant de qualité.
- 19 Ces erreurs instrumentales doivent être corrigées sur la mesure lue sur le sextant pour obtenir la mesure observée réellement.

01 16.3.4. Correction des hauteurs observées

- 07 À la mer, on observe presque toujours l'horizon naturel. Il convient dès lors de corriger la hauteur observée de la dépression de l'horizon d , de la réfraction dans l'atmosphère R , et, pour le soleil, la lune et les planètes, de la parallaxe P et du demi-diamètre δ comme le montre la figure 16.3.4.
- 13 Ces corrections sont fournies par des tables permanentes ou des calculatrices spécialisées, en fonction de la température, de la pression, de l'élévation de l'œil de l'observateur, de la hauteur de l'astre observé. La dépression de l'horizon ne peut être connue avec une précision meilleure que la demi-minute d'arc.

19



16.3.4. — Correction des hauteurs observées.

01 16.3.5. Sextants spéciaux

- 07 L'observation d'une hauteur au sextant marine suppose que l'on puisse voir simultanément l'astre et l'horizon, elle prend un certain temps et nécessite un observateur entraîné. Certains sextants spéciaux permettent, en particulier pour des impératifs militaires, de s'affranchir de ces contraintes. Dans le **sextant photo-électrique** et le **viseur astral**, l'œil humain est remplacé par une cellule photo-déetectrice et un asservissement de poursuite qui permet de suivre un astre peu lumineux, même à la lumière du jour.
- 13 Le **radio-sextant** qui se cale sur les ondes électromagnétiques émises par un astre ou un satellite peut opérer même par mauvaise visibilité. Enfin, la référence horizon peut être remplacée par un **horizon artificiel** basé sur la gravité terrestre (sextant à bulle) ou par une plate-forme inertielle.

01 16.4. L'observation astronomique

01 16.4.1. Généralités

- 07 Quel que soit l'astre observé, il est recommandé de ne pas observer de hauteur qui ne soit pas comprise dans l'intervalle $10^\circ - 80^\circ$. Si cela est possible, il faut choisir des astres dans des azimuts différant de 30° ou plus, pour que les recoupements soient bons ; un astre observé dans la direction de la route permet de contrôler la distance parcourue, dans la direction des dangers il permet d'apprécier leur éloignement.

01 16.4.2. Observations du soleil

- 07 L'obtention d'un point astronomique avec un seul astre suppose trois observations non simultanées (droites du matin et méridienne par exemple) se recoupant avec un angle suffisant, 30° au moins, et nécessite un transport des lieux de position (§ 10.4.) à l'heure de la dernière observation.
- 13 Par beau temps, l'observation du soleil est relativement aisée. Si le ciel est nuageux, il faut acquérir une certaine rapidité dans les mesures de hauteur pour profiter du moment où l'astre apparaît entre les nuages.
- 19 Avec un horizon net et un ciel sans nuage, un observateur entraîné peut obtenir une précision de mesure de 1 minute d'arc.

01 16.4.3. Observations de la lune

- 07 La lune est observable de jour et au crépuscule. La précision obtenue peut atteindre 2 minutes d'arc. Par contre, de nuit, l'horizon sub-lunaire est trompeur et les observations ainsi faites peuvent comporter une erreur de 10 minutes d'arc.
- 13 Pour observer la lune, en particulier si elle se présente sous forme d'un croissant, il faut discerner le point de tangence horizontal en repérant l'inclinaison de la ligne des cornes.

01 16.4.4. Observation des étoiles

- 07 Le meilleur point astronomique est généralement obtenu par l'observation successive, à intervalles aussi courts que possible, de trois hauteurs d'étoiles pendant le crépuscule : on peut alors obtenir une précision du point de 1,5 mille.
- 13 L'observation des étoiles les plus brillantes est possible le soir et le matin, couverture nuageuse permettant, au moment du **crépuscule civil** indiqué par les Éphémérides Nautiques, c'est-à-dire lorsque le centre du soleil est à 6° au-dessous de l'horizon apparent : les étoiles principales (et les planètes) et l'horizon sont simultanément visibles. Le **crépuscule nautique**, lorsque le soleil est à 12° au-dessous de l'horizon, est la limite horaire au-delà de laquelle l'horizon n'est plus discernable.

01 16.4.5. Observation des planètes

- 07 Les Éphémérides Nautiques donnent les périodes de visibilité des quatre principales planètes, et les constellations d'étoiles qui leur sont alors proches. Ces planètes sont généralement faciles à observer.

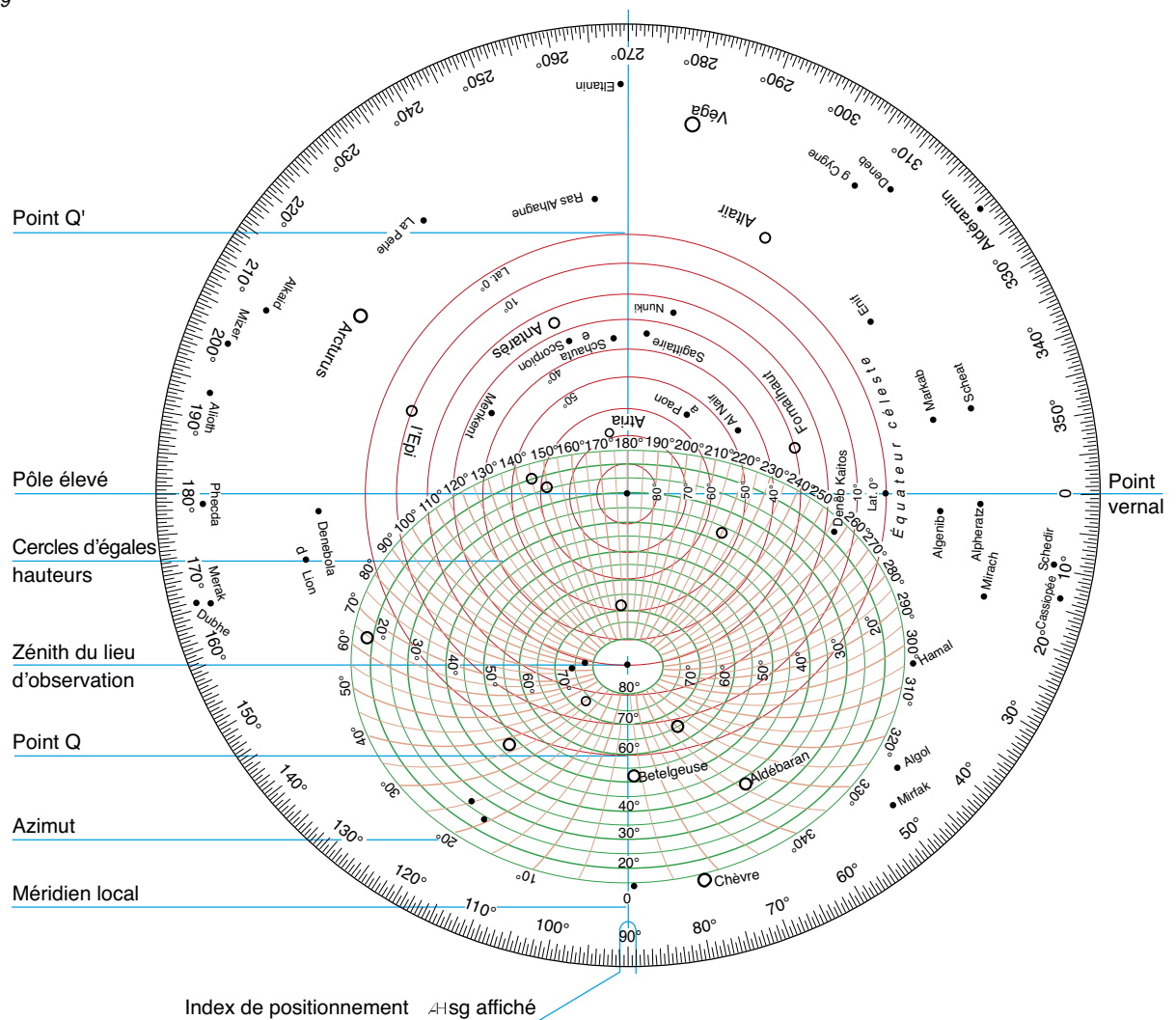
01 16.4.6. Pratique des observations

01 16.4.6.1. Descente de l'astre sur l'horizon

- 07 Si l'astre est suffisamment lumineux (soleil, lune), la descente peut se faire (en utilisant les filtres de protection appropriés) en visant l'astre, alidade à zéro, puis en manœuvrant l'alidade jusqu'à apercevoir en visée directe l'horizon tout en gardant l'astre en visée réfléchie.
- 13 Si l'astre est peu lumineux (étoile, petite planète), une pratique commode consiste à calculer à l'avance au moyen d'un **planisphère céleste** (figure 16.4.6.1.), d'une table ou d'une calculatrice de navigation, la hauteur et l'azimut que devrait avoir l'astre si on se trouvait au point estimé. On doit alors viser l'horizon en visée directe

dans l'azimut supposé de l'astre en balançant le sextant sur lequel on a affiché la hauteur supposée. L'astre cherché est aperçu en visée réfléchie si l'erreur d'estime n'est pas trop importante.

19

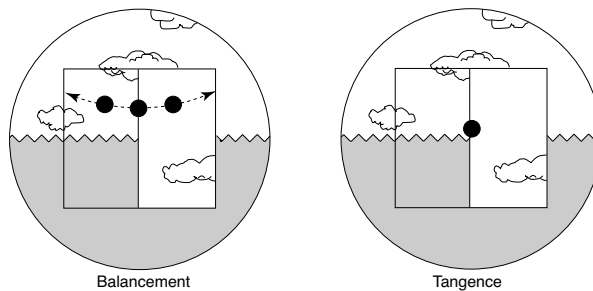


16.4.6.1. — Planisphère céleste.

01 16.4.6.2. Contact de l'astre et de l'horizon

07 Le sextant est « balancé » de part et d'autre de la verticale pour que l'astre tangente bien l'horizon. Chaque observateur introduit dans cette appréciation de la tangence une équation personnelle qu'il doit découvrir par l'expérience car elle se traduit par une erreur systématique dans la hauteur lue. La qualité de l'horizon est un facteur fondamental de la précision de l'observation : il vaut mieux se placer le plus près possible de la flottaison, mais par mauvaise mer, il peut être nécessaire de s'installer dans les hauts.

13



16.4.6.2. — Contact de l'astre et de l'horizon.

- 19 Au cours de l'observation, la hauteur de l'astre varie : l'observateur peut manœuvrer le micromètre à tambour pour obtenir la tangence, ou bien caler la hauteur et attendre la coïncidence, en relevant alors l'heure de celle-ci.

01 **16.4.6.3. Réduction des hauteurs**

- 07 Chaque fois que cela sera possible, on s'attachera à améliorer le résultat en faisant des séries de 3 à 5 mesures sur le même astre et, après avoir éliminé les hauteurs entachées d'erreurs accidentelles, en moyennant les hauteurs et les heures.

01 16.5. L'exploitation de l'observation

01 16.5.1. Le problème de la droite de hauteur

01 16.5.1.1. Coordonnées de l'astre

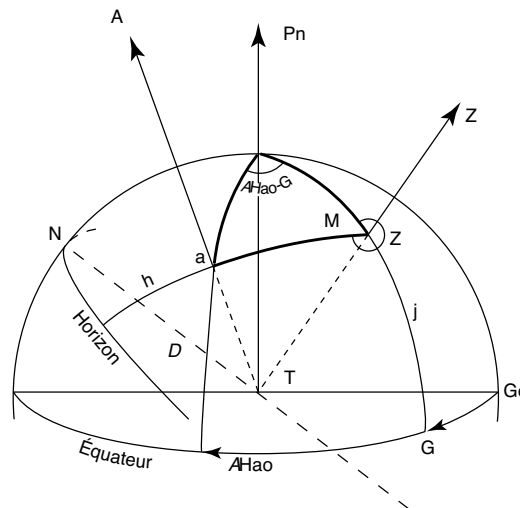
07 Coordonnées sphériques utilisées en navigation astronomique : voir figure 20.3.2.

13 Les Éphémérides Nautiques fournissent en fonction de l'heure et de la date les coordonnées horaires : D déclinaison à partir de l'équateur et AH_{ao} angle horaire à partir du méridien origine pour le soleil, la lune et les principales planètes. Elles donnent pour 81 étoiles principales les coordonnées équatoriales D déclinaison et AVa ascension verse par rapport à un point de référence fixe sur la voûte céleste appelé **point vernal** et elles donnent en fonction de l'heure et de la date l'angle horaire AH_{so} de ce point vernal, ce qui permet par simple addition (§ 20.3.3.) d'obtenir l'angle horaire de l'étoile.

01 16.5.1.2. Triangle de position

07 Le **triangle de position**, triangle sphérique pôle – point substellaire – position du navire est un intermédiaire commode pour passer des coordonnées de l'astre aux coordonnées du navire ou inversement (voir sous-chapitre 20.3. pour les symboles utilisés).

13

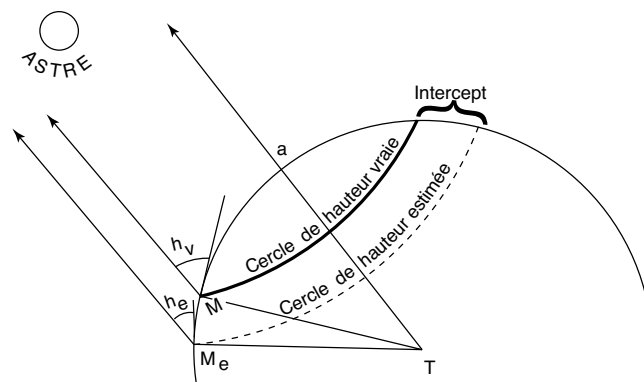


16.5.1.2. — Triangle de position.

01 16.5.1.3. Intercept

07 Connaissant la position estimée Me (ϕ_e , G_e) du navire, la résolution du triangle de position permet d'en déduire la hauteur h_e que l'on observerait si on était effectivement à ce point Me . La différence en minutes d'arc $h_v - h_e$ ou **intercept** représente la distance en milles du cercle de hauteur vraie au cercle de hauteur estimée. On observera que le cercle de hauteur vraie est indépendant du point estimé choisi.

13



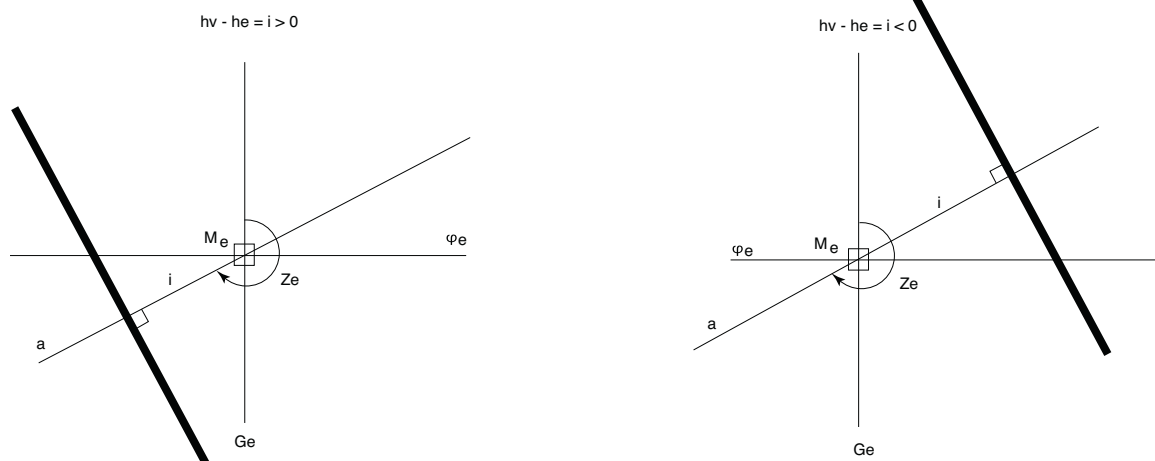
16.5.1.3. — Intercept.

01 16.5.1.4. Droite de hauteur

07 Si l'on assimile le cercle de hauteur vraie à la droite qui lui est tangente, on obtient la **droite de hauteur**, aisée à construire : elle est perpendiculaire à la direction de l'astre et elle se trouve à une distance du point estimé égale à l'intercept.

13 L'assimilation du cercle de hauteur à sa tangente conduit à une erreur inférieure à 1 mille dans un rayon de 30 milles autour du point de tangence si la latitude est inférieure à 60° et la hauteur inférieure à 80° . L'observation de 3 astres donne 3 droites de hauteur dont l'intersection après transport éventuel est le point astronomique cherché.

19



16.5.1.4. — Tracé de la droite de hauteur.

01 16.5.2. Exécution des calculs

01 16.5.2.1. Utilisation directe des formules

07 Le calcul de l'intercept et de l'azimut d'une droite de hauteur à partir du point estimé et des coordonnées horaires de l'astre peut être effectué en résolvant les formules du triangle de position (§ 20.3.3.) à l'aide d'une calculatrice trigonométrique. Le calcul devra être conduit avec rigueur (5 décimales au logarithme).

01 16.5.2.2. Utilisation de tables de navigation

07 De nombreuses tables à double entrée ont été établies pour rendre le calcul plus rapide tout en gardant un volume réduit. Telle est la Table 900 qui permet le calcul de l'intercept et de l'azimut, mais avec une erreur pouvant atteindre 2 milles.

- 13 Les tables du type « dictionnaire » donnant directement h_e et Z_e en fonction de ϕ , D et $AHag = AHao - G$ sont plus sûres et encore plus rapides malgré leur volume (tables américaines PUB 229 ou britanniques NP 401). Les tables aéronautiques américaines HO 249 et britanniques AP 3270 résolvent le problème pour le soleil, les planètes et certaines étoiles.

01 16.5.2.3. Utilisation de calculatrices de navigation

- 07 Les **calculatrices de navigation** spécialisées effectuent la résolution du triangle de position et fournissent l'intercept et l'azimut en fonction de ϕ_e , D , $AHag$ et h_v . D'autres encore plus perfectionnées ont en mémoire les éphémérides des principaux astres. Certaines comportent même un garde-temps incorporé : connaissant l'astre et le point estimé, il suffit de déclencher l'appareil et d'afficher la hauteur observée.
- 13 Le calcul est ainsi fait dans des conditions de confort, de rapidité et de sécurité inégalées. Mais le navigateur avisé, même équipé des appareils les plus automatisés, continuera à s'entraîner au calcul avec les tables pour le cas où son équipement s'avérerait déficient.

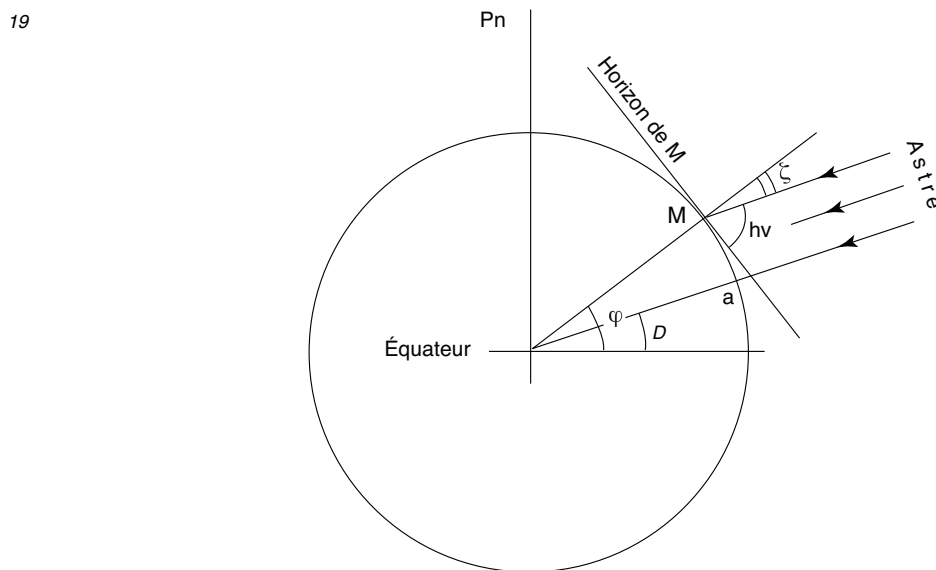
01 16.5.3. Précision du point astronomique

- 07 La précision d'une droite de hauteur est fonction de la précision du chronomètre, de l'observation et des calculs, et de l'assimilation faite du cercle de hauteur à sa tangente (§ 16.5.1.4.). Dans des circonstances favorables, on peut espérer une précision de 1 mille sur une droite, et par conséquent une précision de 0,8 mille pour un point astronomique de trois droites de hauteur simultanées se recoupant bien.
- 13 Un transport de droites (droites de soleil successives par exemple) tributaire de l'estime conduit à une précision moindre, de l'ordre de 2 à 3 milles dans les meilleurs cas.

01 16.5.4. Cas particuliers remarquables

01 16.5.4.1. Méridienne

- 07 À son passage au méridien supérieur, l'astre se trouve à un azimut de 000° ou 180° , le triangle de position se réduit à un arc de grand cercle et la latitude $\phi = (90^\circ - h_v) + D$ se calcule aisément. Une table spéciale des Éphémérides Nautiques permet d'obtenir l'heure du passage au méridien des astres avec une précision suffisante pour déterminer l'heure de l'observation.
- 13 Si l'astre n'a pu être observé à son passage au méridien mais quelques minutes avant ou après, le calcul de la latitude reste valable moyennant une correction qu'on trouve dans certaines tables, comme la Table 900, qui précise les limites d'emploi de cette **circumméridienne**.



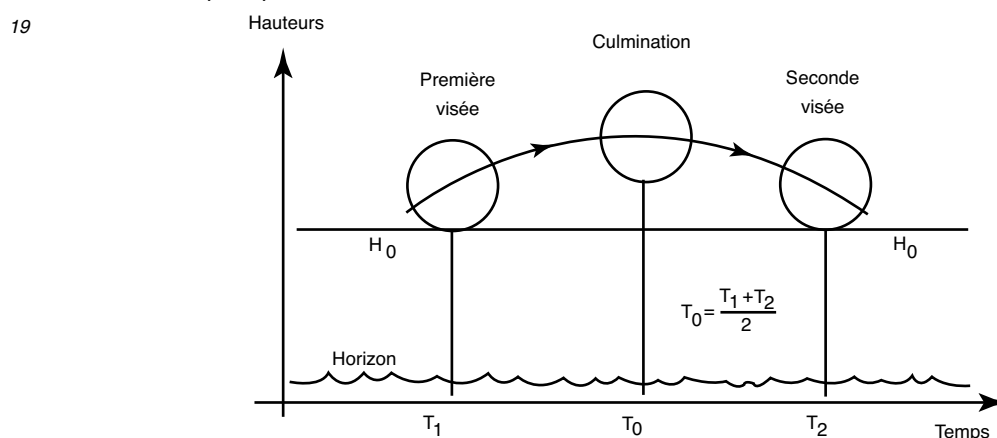
16.5.4.1. — Méridienne.

01 **16.5.4.2. Culmination**

- 07 Lorsque la déclinaison d'un astre est constante et que l'observateur est immobile, le passage au méridien supérieur coïncide avec la **culmination**, c'est-à-dire l'instant où la hauteur de l'astre passe par un maximum.
- 13 Par contre si la déclinaison de l'astre varie (cas des planètes et du soleil sauf au solstice), ou si l'observateur se déplace en latitude, passage au méridien et culmination sont séparés par un intervalle de temps égal en secondes à : $15,3 \left(\frac{d\phi}{dt} - \frac{dD}{dt} \right) (\tan \phi - \tan D)$

01 **16.5.4.3. Circumzénithale**

- 07 Si l'astre culmine assez haut (75°), la variation de l'azimut et de la hauteur autour de cette culmination sont suffisamment grandes pour pouvoir en déterminer avec précision l'instant : on fait avant et après cet instant des séries d'observations à des hauteurs correspondantes, et la moyenne des temps est l'heure cherchée : c'est la circumzénithale. La comparaison de l'heure réelle et de l'heure théorique de la culmination permet de connaître la longitude du navire, la mesure de la hauteur permet d'en connaître la latitude : on a ainsi un point complet.
- 13 Les conditions pratiques d'observation de cette circumzénithale sont résumées dans le tableau 16.5.4.3.B.



25

Distance zénithale au passage au méridien	1° à 2°	2° à 4°	4° à 6°	6° à 8°	8° à 10°
Commencer les observations à To moins.....	6 min	7 min	9 min	11 min	13 min
Faire croître les hauteurs de	7' en 7'	5' en 5'	4' en 4'	3' en 3'	3' en 3'
Cesser les observations à To plus	2 min	3 min	5 min	7 min	9 min

16.5.4.3.B. — Conditions d'observation de la circumzénithale.

01 **16.5.4.4. Étoile Polaire**

- 07 Comme la déclinaison de l'**étoile Polaire** est voisine de $89^\circ 10'$, sa hauteur est très voisine de la latitude du lieu d'observation et l'azimut reste voisin de zéro, ce qui permet de simplifier les formules du triangle de position. Les tables spéciales des Éphémérides Nautiques donnent, en fonction de l'angle horaire AHsg du point vernal (§ 16.5.1.1.), l'azimut de l'étoile et les termes correctifs à appliquer à sa hauteur pour obtenir la latitude.

01 16.6. Autres utilisations des observations astronomiques

01 16.6.1. Azimut par l'heure

- 07 Outre son emploi pour la construction de la droite de hauteur, l'azimut observé au compas d'un astre comparé avec sa valeur réelle (§ 16.5.2.) permet de mesurer la variation du compas avec une précision de l'ordre du demi-degré si l'astre est ponctuel et sa hauteur inférieure à 30°.
- 13 Le calcul de l'azimut de l'étoile Polaire est simplifié en raison de sa déclinaison élevée (§ 16.5.4.4.).

01 16.6.2. Lever et coucher du soleil

- 07 La variation du compas peut également être facilement mesurée en observant l'azimut du bord supérieur du soleil à son lever et coucher apparent, c'est-à-dire lorsque l'astre disparaît (ou apparaît) sous l'horizon visible. Les tables quotidiennes des Éphémérides Nautiques donnent cet azimut en fonction de la latitude, au degré près, pour un observateur au niveau de la mer. Compte-tenu de la valeur moyenne de la réfraction astronomique et du demi-diamètre, la hauteur vraie du soleil est alors de $-50'$.
- 13 Des tables spéciales des Éphémérides permettent d'obtenir une précision meilleure si c'est nécessaire.

Chapitre 17

ATTERRISSAGE

01 17.1. Généralités

- 07 L'**atterrissage** est le passage de la navigation au large (océanique) à la navigation côtière. Au cours de cette période, la mise en œuvre de tous les moyens de repérage disponibles doit aboutir à l'identification visuelle de la terre ou d'un amer reconnaissable, à une distance suffisante de sécurité.

01 17.2. Choix du point et de l'heure d'atterrissage

01 17.2.1. Choix du point d'atterrissage

- 07 La route depuis le large doit être tracée pour atterrir sur un amer caractéristique, visible de loin et dont les abords sont sains : phare, îlot élevé, bateau-feu, etc. Il est par ailleurs souhaitable que cet amer soit si possible situé au large des dangers côtiers, et surtout que son écho soit facilement identifiable au radar.
- 13 Lorsqu'on se rend à un port ou sur une rade entourée d'une côte basse et bordée de dangers s'étendant loin vers le large, il est préférable d'atterrir d'abord sur un point d'atterrissage sûr de la côte, même éloigné du lieu de destination, puis de rallier sa destination en navigation côtière en ayant ainsi réduit la zone d'incertitude de l'estime initiale.
- 19 Si le seul amer d'atterrissage possible du secteur se trouve entouré de dangers, il convient de tracer des routes d'approche qui offrent la meilleure sécurité possible vers cet amer, et de se supposer toujours au point de la zone d'incertitude le plus rapproché des dangers.

01 17.2.2. Choix de l'heure d'atterrissage

- 07 Si l'on peut décider du moment de l'atterrissage, on tiendra compte de la zone et des conditions qui y règnent pour le choisir. On se souviendra par exemple qu'une nuit claire est favorable à un atterrissage sur un feu puissant car les caractéristiques de ce feu permettent de l'identifier aisément ; de plus une distance très précise est procurée par l'apparition du feu à l'horizon après qu'il se soit signalé par sa lueur.
- 13 Par mauvaise visibilité devant une côte basse précédée de hauts-fonds, il peut être préférable de rester au large et d'attendre que la visibilité s'améliore pour atterrir : *la sécurité du navire prime sur l'heure d'arrivée.*
- 19 Si l'on doit atterrir sur un récif ou une caye de sable sans l'aide d'aucun amer, il vaut mieux attendre d'avoir le soleil haut et sur l'arrière pour profiter des meilleures conditions optiques.

01 17.3. Pratique de l'atterrissage

- 07 Un navire venant du large se trouve en situation d'atterrissage dès lors que son point, compte tenu de la zone d'incertitude qui lui est associée, se trouve à portée radar ou optique de la côte ou d'un amer isolé. On orientera alors la veille dans la direction de la terre, et au fur et à mesure de l'approche on s'efforcera de recueillir et de critiquer toutes les informations, et surtout de voir si elles se recoupent entre elles : tout doit concorder.
- 13 On se méfiera en particulier de ce que les premiers échos radar peuvent être des sommets lointains et non pas le littoral (§ 9.2.). L'emploi judicieux de systèmes de radionavigation peut servir à diminuer la zone d'incertitude. Le sondeur peut aussi donner éventuellement des éléments de position et procurera le plus souvent une sécurité appréciable, à condition que les dangers côtiers ne soient pas excessivement accores.
- 19 Si, lors de l'approche, on n'a rien aperçu alors que d'après l'estime l'atterrissage devrait avoir eu lieu, ou si les informations reçues sont confuses et contradictoires, il est prudent de ralentir de façon importante et de naviguer avec précaution jusqu'à ce que tout soit clair.

Pas de texte

Chapitre 18

PRATIQUE DE LA NAVIGATION AU LARGE

01 18.1. Réunion de la documentation nautique et choix de la route

01 18.1.1. Réunion de la documentation nautique

- 07 La première étape consiste, comme pour la navigation côtière (§ 12.1.1.), à consulter tous les documents en vigueur qui traitent des espaces maritimes à traverser, c'est-à-dire les *Instructions Nautiques*, *Ouvrages de radiosignaux*, cartes, etc.
- 13 Le Defense Mapping Agency Hydrographic Topographic Center (DMAHTC) américain publie des cartes périodiques, les *Pilot Charts*, qui donnent pour chaque océan et pour chaque mois de l'année des renseignements statistiques sur les routes, les glaces, les vents, etc.
- 19 On trouvera au sous-chapitre 20.4. des tableaux donnant les distances entre les principaux ports et points de passage.

01 18.1.2. Choix de la route

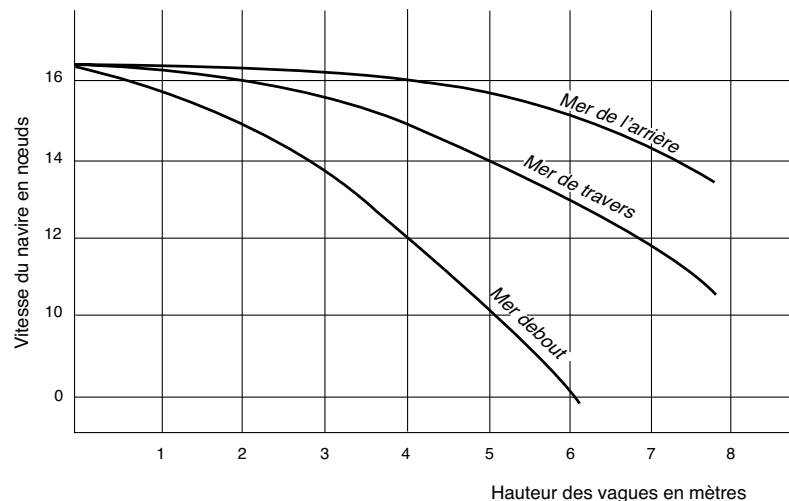
01 18.1.2.1. Critères de choix

- 07 Entre le point de départ et le point d'atterrissage (§ 17.2.), les critères qui permettront de construire l'itinéraire sont choisis en fonction du type de navire et de la finalité de la traversée, par exemple :
- un temps minimum de traversée ;
 - une consommation minimum de carburant ;
 - la recherche de la sécurité, en évitant les zones de glace ou de brume, ou en évitant les dommages causés par une tempête au navire ou à sa cargaison ;
 - le confort des passagers ou de l'équipage ;
 - le respect d'un horaire, d'une marée ;
 - une optimisation de la gestion globale du navire ou de la compagnie ;
 - etc.
- 13 On pourra combiner plusieurs critères en leur donnant un certain coefficient de pondération.

01 18.1.2.2. Courbes de réponse du navire aux conditions météorologiques

- 07 L'effet sur la navigation des conditions météorologiques varie selon le type du navire (§ 7.1.2.3.).
- 13 Pour un navire à propulsion mécanique on peut expérimentalement établir une courbe donnant à puissance de machine constante la réduction de vitesse occasionnée par la mer selon la direction et la hauteur des vagues. La courbe est différente si le navire est chargé ou léger.

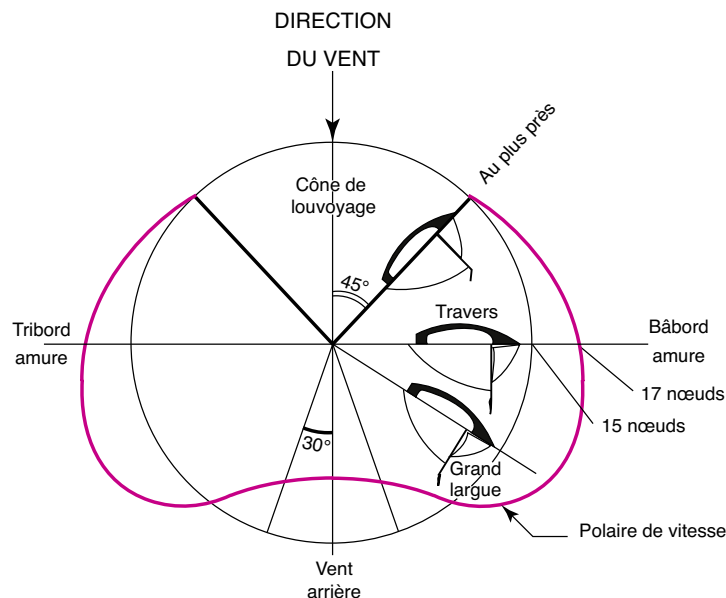
19



18.1.2.2.A. — Réduction de vitesse due à la mer pour un navire à propulsion mécanique.

- 25 **Pour un voilier** la vitesse est fonction de la force du vent et de l'angle entre la direction d'où souffle ce vent et le cap du navire : s'annulant dans le cône de louvoyage (figure 18.1.2.2.B.), elle est maximum au grand large, comme le montrent les **polaires de vitesse** qu'on peut établir par expérience pour une vitesse de vent donnée.

31

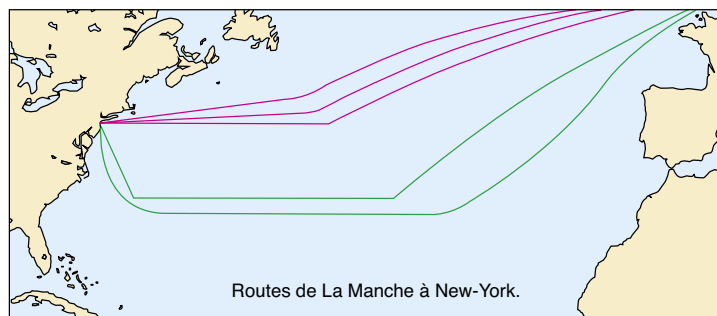


18.1.2.2.B. — Polaire de vitesse d'un voilier pour un vent de 15 nœuds.

01 18.1.2.3. Trajet climatologique

- 07 Le choix d'une route débute par l'étude des documents climatologiques : *Pilot Charts*, *Instructions Nautiques*, etc. Avec les renseignements climatologiques statistiques fournis par cette documentation et les courbes de réponse du navire au vent et à la mer, le navigateur peut établir un itinéraire : c'est la **navigation climatologique**.
- 13 Un exemple est donné en figure 18.1.2.3. pour un navire à propulsion mécanique recherchant un compromis évitant les risques d'icebergs et de brume, et les trajectoires moyennes des fortes dépressions pour la traversée de l'Atlantique Nord.
- 19 La route ainsi choisie peut être amendée juste avant le départ par une prévision à moyenne échéance (7 jours) qui peut être déterminante pour un dernier choix. Par exemple et sans lien avec la figure 18.1.2.3., le capitaine d'un navire allant de la Mer du Nord aux États-Unis pourra faire le choix optimal entre passer au Nord de l'Écosse ou emprunter le Pas-de-Calais.

25



18.1.2.3. — Exemples de trajets climatologiques.

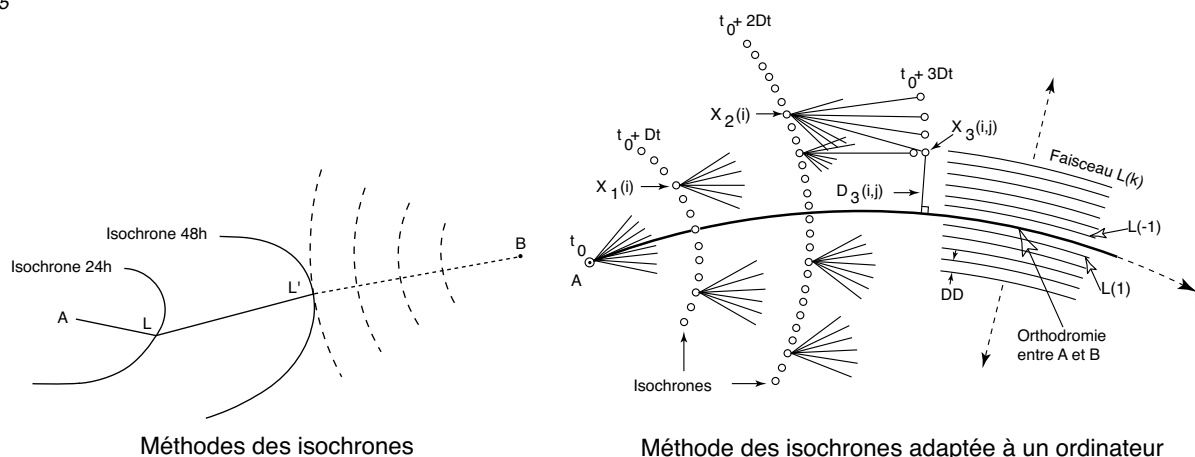
01 **18.1.2.4. Méthode des isochrones**

07 Si le critère de choix de la route est le temps minimum de traversée et si la navigation dispose de prévisions sur l'état de la mer (ouvrage *Stations radiométéorologiques*) pour la durée de cette traversée, il peut construire graphiquement un « chemin optimal » en fonction des conditions météorologiques prévues et des courbes de réponse du navire.

13 L'isochrone 24 heures est établie point par point à partir du point de départ. L'isochrone 48 heures est l'enveloppe des extrémités des chemins pouvant être parcourus en 24 h depuis chacun des points de l'isochrone 24 h. Entre le dernier isochrone que l'on peut tracer avec les prévisions météorologiques dont on dispose et le point de destination, il faut ensuite tracer une famille de cercles concentriques. L'un de ces cercles est tangent au dernier isochrone, ce qui permet de tracer le chemin optimal.

19 La **méthode des isochrones** est très vite limitée par la complexité des constructions graphiques et un logiciel adapté est alors nécessaire.

25



18.1.2.4. — Méthode des isochrones.

01 **18.1.2.5. Méthode des réseaux**

07 Un réseau est un ensemble de points. Passer d'un point à un autre correspond à une étape élémentaire suivie à cap constant. Autour d'une première ébauche (orthodromie, loxodromie, trajet climatologique, ou autre, etc.) la méthode des réseaux consiste à rechercher la meilleure route en utilisant les techniques de la programmation dynamique : on y utilise le principe selon lequel, si la route optimale passe par un point P, alors les deux tronçons de l'origine vers ce point et du point vers la destination sont eux-mêmes optimaux ; ce principe permet d'éliminer à chaque étape de la progression du navire des possibilités qui ne sauraient être optimales.

13 Cette méthode, simple dans sa logique, suppose de nombreux calculs répétitifs, donc des ordinateurs puissants.

01 18.2. Préparation et exécution de la traversée

- 07 La navigation avec un **ECDIS** est fondamentalement différente de la navigation avec des cartes papier. L'impact sur le travail en passerelle est très important, en particulier au niveau des tâches de planification et d'exécution de la traversée. Elles exigent une analyse et une prise en compte poussées. Des informations complémentaires sont donc apportées ci-après sur la préparation et l'exécution d'une traversée avec un **ECDIS**.

01 18.2.1. Préparation de la traversée

- 07 Après avoir élaboré l'itinéraire, les points intermédiaires et les heures prévues de passage à ces points, le navigateur les reportera sur les routiers et sur les cartes de détail en les ajustant si nécessaire pour qu'ils offrent en toutes circonstances une bonne sécurité et une navigation facile (points tournants bien repérés, isobathes remarquables, couverture des moyens de radionavigation). Les cartes seront réunies, dans l'ordre où elles seront utilisées, dans une chemise « traversée ». Enfin une fiche de traversée sera établie, reproduisant le profil de la navigation tel qu'il ressort de l'étude d'itinéraire, et réunissant toutes les informations utiles, les paramètres astronomiques et les données techniques des systèmes de radionavigation. Les atterrissages seront l'objet d'une préparation particulière.
- 13 Préparation de la traversée avec un **ECDIS**
- 19 L'**ECDIS** comporte un certain nombre de fonctions et de caractéristiques de planification supplémentaires telles que les contours de sécurité, les alarmes, des fonctions de cliquer/déplacer pour les waypoints et les marqueurs, etc. Bien que l'**ECDIS** facilite la planification de la traversée à bien des égards, il demeure possible de faire des erreurs ; toutefois ces erreurs seront probablement d'un type différent de celles qui étaient commises avec les cartes papier.
- 25 Même si la couverture **ENC** s'étend rapidement, beaucoup de navires doivent, dans une certaine mesure, utiliser un système double, voire triple, comportant des **ENC**, des cartes papier et des cartes matricielles. La planification et la validation de la route doivent donc prendre en compte des éléments tels que la disponibilité des types de cartes disponibles dans les différentes parties de la traversée. Le format du plan de traversée est susceptible de différer des listes alphanumériques traditionnelles de waypoints utilisées avec les cartes papier et doit comporter des informations sur la possibilité d'utilisation des appareils de navigation connectés tels que le **GPS** et l'**AIS** et sur les réglages effectifs de leurs alarmes.
- 31 Il est indispensable d'utiliser les fonctions de contrôle automatique intégrées fournies par l'**ECDIS** lors de la validation et de l'approbation du plan de traversée. Il est également nécessaire de vérifier que l'**ECDIS** dispose d'un dispositif de sauvegarde du plan de traversée en cas de défaillance d'un équipement de l'**ECDIS** proprement dit ou des capteurs connectés.
- 37 Il est important d'assurer une bonne communication du plan de la traversée à tous les officiers de la passerelle afin qu'ils soient préparés à la traversée prévue. Ce point inclue des informations sur l'état des équipements et sur les procédures de sauvegarde.

01 18.2.2. Exécution de la traversée

01 18.2.2.1. Conduite de l'estime et recalages

- 07 L'entretien de l'estime au large (chapitre 15.) se fait par le calcul en intégrant les chemins parcourus Nord-Sud et Est-Ouest et en agissant sur le cap et la vitesse de façon à respecter le profil de traversée choisi.
- 13 Il est recommandé de saisir toutes les occasions favorables (point astronomique ou par radionavigation, éventuellement par ligne isobathe) pour obtenir une position observée. Selon la précision supposée du point, le navigateur estimera s'il doit ou non recalculer l'estime sur la position trouvée. Il conservera trace de tous les recalages effectués.
- 19 Après un recalage de l'estime, il n'est pas conseillé de rejoindre la route programmée par le plus court chemin, mais un nouveau calcul déterminera le cap à adopter pour rejoindre le prochain point de passage de l'itinéraire.

01 18.2.2.2. Exécution de la traversée avec l'ECDIS

- 07 Au commencement de la traversée, et à chaque passation de quart, les officiers doivent réviser le plan de la traversée et approuver les pré-réglages sélectionnés des fonctions, des alarmes et des indicateurs à utiliser sur l'**ECDIS**.

- 13 Quand les navires emportent des cartes papier ainsi qu'un [ECDIS](#), leur rôle doit être analysé. Si on utilise l'[ECDIS](#) pour une navigation en temps réel, les obligations légales et réglementaires en matière de suivi du déroulement de la traversée et du marquage des positions devront être prises en compte :
- les positions marquées sur les cartes papier sont-elles uniquement destinées à des fins d'historique ?
 - quelles sont les mesures prises pour garantir que les routes prévues portées sur les cartes papier correspondent aux informations de l'[ECDIS](#) ?
 - les procédures de passerelle instaurées par la compagnie maritime sont-elles adaptées à l'utilisation de l'[ECDIS](#) et toutes les personnes concernées par la navigation sont-elles familiarisées à ces procédures ?
- 19 **Excès de confiance dans l'ECDIS.** Les utilisateurs ont parfois tendance à accorder une confiance aveugle aux systèmes informatisés et aux informations qu'ils délivrent. Il est indispensable de contrôler et recouper entre elles les informations données, en utilisant tous les autres moyens disponibles, et notamment de regarder à l'extérieur et d'observer le radar ! Les procédures de passerelle doivent être adaptées de manière appropriée et la formation à l'utilisation des ECDIS et des ENC doit permettre de répondre efficacement à ces préoccupations.

01 18.2.3. Veille anticollision

- 07 La veille anticollision doit se poursuivre au large, même si les occasions de rencontre avec d'autres navires sont plus rares : sont alors précieux les dispositifs d'alerte automatique comme le TT ou l'ARPA (§ [3.1.7.6.5](#)).
- 13 Risques d'abordage et manœuvres pour éviter les abordages : voir le sous-chapitre [12.5](#).

01 18.3. Navigation météorologique

01 18.3.1. Navigation météorologique tactique

- 07 Les prévisions météorologiques (prévisions de houle et d'état de la mer) sont limitées à 72 h, durée inférieure à celle des traversées océaniques. Le navigateur peut donc être amené à modifier son itinéraire pour raison météorologique (§ 20.1.).
- 13 La **navigation météorologique tactique** consiste à modifier le cap et la vitesse en cours de traversée en fonction de l'analyse des prévisions à courte échéance (24 heures ou 48 heures) reçues en mer. Ces prévisions sont diffusées sous forme d'avis et bulletins météorologiques, de messages codés (analyse météorologique, observations synoptiques) ou de cartes météorologiques reçues par fac-similé, par télécopie par satellite, ou sous forme numériques par satellite. Des services particuliers sont proposés par certains services météorologiques, par exemple le service Navimail de Météo-France. Voir volume 1 et l'ouvrage *Stations radiométéorologiques*.

01 18.3.2. Routage météorologique

01 18.3.2.1. Remarques générales

- 07 Si les navires modernes sont beaucoup moins sensibles aux avaries et aux tempêtes que les voiliers d'autrefois, ils subissent toujours des retards parfois importants et des avaries de coque ou de chargement, qui peuvent aller jusqu'à entraîner leur perte, dues aux conditions météorologiques et à l'état de la mer.
- 13 En outre, l'évolution technologique tend à construire non pas des navires à tout faire, robustes, aptes à affronter tous les temps et toutes les mers, mais à l'inverse des navires très spécialisés, en fonction de la marchandise à transporter et des régions océaniques fréquentées. Les navires à grande vitesse desservant la Corse, interdits de navigation lorsque la hauteur des vagues dépasse 4 m, sont un exemple de cette évolution. Le transport transocéanique des plates-formes pétrolières est un autre exemple montrant que la navigation maritime a besoin, plus encore qu'autrefois, de prévisions météorologiques détaillées.
- 19 Ces prévisions météorologiques prennent parfois la forme d'un **routage météorologique**, c'est-à-dire de conseils sur la meilleure route à suivre.
- 25 Choisir la route à suivre en fonction des conditions météorologiques n'est pas une pratique nouvelle. Comme indiqué précédemment (§ 18.1.2.), le choix d'une route débute par l'étude des documents climatologiques. Avec les renseignements climatologiques statistiques fournis par cette documentation et les courbes de réponse du navire au vent et à la mer, le navigateur peut établir un itinéraire.
- 31 Une fois en mer, la navigation météorologique tactique consiste à choisir un cap et une vitesse en fonction de l'analyse des prévisions à courte échéance (24 h ou 48 h). Ces prévisions peuvent être obtenues par l'écoute des bulletins radiodiffusés ou, mieux, par l'étude d'une carte météorologique de type isobares et fronts (seul un document graphique permet de visualiser instantanément la situation météorologique actuelle ou prévue sur un grand domaine ; la carte météorologique est pratiquement indispensable pour évaluer empiriquement, sans moyens de calcul, la route à suivre la plus économique et la plus sûre).
- 37 Enfin la route optimale peut aussi être déterminée par un calcul sur ordinateur. C'est ce que nous appelons dans ce qui suit le routage météorologique.

01 18.3.2.2. Les deux philosophies du routage météorologique

- 07 Le calcul de la route optimale est effectué en fonction des prévisions météo-océanographiques (vent, état de la mer, courant, visibilité, présence de glaces), des caractéristiques du navire (comportement en fonction du vent, comportement en fonction des vagues) et des objectifs. Les objectifs du routage météorologique sont variables. Ils peuvent chercher à déterminer les routes permettant de réduire le plus possible la durée de la traversée, les accidents, la consommation de mazout, ou les routes sur lesquelles les navires de croisière ont le plus de chance de trouver un maximum d'ensoleillement.
- 13 Mais quels que soient les objectifs du routage, deux philosophies s'opposent :
- soit le calcul est effectué à terre et le résultat est transmis au navire ;
 - soit les données météo-océanographiques sont transmises au navire et le calcul est effectué à bord.
- 19 La première formule permet de bénéficier d'une puissance de calcul élevée et de prendre en compte une grande quantité de paramètres. Elle libère le responsable du navire (qu'il s'agisse d'un navire à voile de compétition

ou d'un navire de commerce) de toute réflexion sur la route à suivre, celui-ci pouvant alors se concentrer sur la marche proprement dite du navire. En revanche, le capitaine ou le skipper a le sentiment d'être piloté depuis la terre par des personnes qui n'ont pas toutes les données en main pour prendre les bonnes décisions. En cas d'avarie due au mauvais temps, il peut y avoir un doute sur les responsabilités entre le capitaine et le routeur.

- 25 Avec la seconde formule, les données météo-océanographiques sont transmises au navire et le calcul est effectué à bord. Cette solution, rendue possible par la puissance de calcul des micro-ordinateurs et la transmission de données par satellite, est plus coûteuse en frais de télécommunications. En revanche, le capitaine du navire a toutes les données en main pour prendre les bonnes décisions et l'envoi des données depuis la terre peut être entièrement automatisé.

01 18.3.2.3. Routage des navires à voile

- 07 Particulièrement adapté au voilier en course ou en quête de record, aux voiliers de course au large, le routage météorologique est une bonne illustration des problèmes rencontrés.
- 13 Le routage d'un voilier de compétition consiste à calculer quelle est la route la plus rapide pour atteindre le point d'arrivée, en fonction des caractéristiques propres du bateau, définies par sa polaire de vitesse (figure 18.1.2.2.B.) et du vent prévu.
- 19 Le vent prévu est disponible sous forme d'une valeur de vent (direction et vitesse) à chaque point d'une grille. Les champs de vent sont renouvelés régulièrement (généralement toutes les 6 heures).
- 25 La distance séparant les points de grille varie de 10 à 100 km selon qu'on utilise un modèle de prévision à courte échéance (jusqu'à 48 heures) ou à moyenne échéance (jusqu'à 10 jours).
- 31 Un calcul simple permet de se rendre compte que garder en mémoire toutes les routes possibles pour ne choisir la plus rapide qu'à la fin du calcul, conduit à un volume de données phénoménal capable de saturer les ordinateurs les plus puissants. Le problème consiste donc à ne pas tout garder en mémoire, tout en ayant conscience qu'une route plus lente au début peut s'avérer plus rentable sur l'ensemble du parcours. Autre problème à résoudre : quelles données prendre lorsque la prévision du modèle de prévision du temps ne couvre pas toute la durée de la navigation (traversée océanique supérieure à 7 ou 10 jours) ? On peut choisir de compléter les données prévues par des données climatologiques, ou par des données issues de situations analogues... Les logiciels de routage diffèrent notamment par les solutions retenues pour résoudre ces problèmes.
- 37 Selon le règlement de l'épreuve, le logiciel est mis en œuvre soit à terre, par un routeur qui suit et conseille le voilier 24 heures sur 24, soit à bord par l'équipage lui-même. Cette dernière solution est de plus en plus souvent retenue par les organisateurs afin d'égaliser les chances des concurrents et de limiter les budgets.
- 43 À l'exception de quelques grandes courses au large, Météo-France ne fait en principe pas de routage.

01 18.3.2.4. Routage des navires de commerce

- 07 Dans une mer creuse « debout », le tangage s'accroît, cassant l'erre, l'hélice travaille mal et peut s'emballer. Si le navire est léger, il peut donner de violents coups de ballast, susceptibles de provoquer des désarrimages du chargement, des cassures de tôle et des voies d'eau. Il faut alors réduire la vitesse ou changer de route, ce qui, en général, fait perdre moins de temps.
- 13 Pour un navire de commerce, la finalité même du routage est différente de celle d'un voilier de compétition. Arriver à l'heure prévue pour faciliter la gestion des ports est plus important que la recherche du temps minimum ; éviter les fortes mers qui occasionnent des avaries aux marchandises et économiser le carburant sont aussi des buts à atteindre.
- 19 Le paramètre météo-océanographique principal n'est plus alors le vent, mais l'état de la mer. Il faut donc utiliser en entrée du programme de routage les données d'un modèle de prévision d'état de la mer capable d'indiquer, point de grille par point de grille, les différentes composantes (hauteur, période et direction) de la mer du vent et des houles.
- 25 Il faut connaître aussi les courbes de réponse du navire, non seulement en fonction du vent, mais aussi des vagues. Ces courbes de réponse sont élaborées à partir d'essais du navire en bassin de carène et/ou d'une étude numérique de résistance sur houle à partir du plan de formes du navire.
- 31 Pour mieux se convaincre de l'influence des conditions météorologiques sur la consommation, il n'est pas inutile de rappeler qu'en cas de mauvais temps la résistance à l'avancement du navire varie considérablement en fonction de la houle et du vent. Ainsi, dans des conditions très défavorables, vent de face, navire sur ballast (forte prise au vent) et mer de l'avant, la résistance totale à l'avancement se compose de la résistance en eau calme (40 %), de la résistance ajoutée par la houle (35 %) et de la résistance aérodynamique (25 %).

- 37 Enfin, le cap à suivre n'est plus le seul paramètre de commande du navire à propulsion mécanique. Celui-ci pouvant choisir aussi sa vitesse, le programme de routage doit indiquer en sortie à la fois le cap et la vitesse à suivre pour éviter les zones de mauvais temps génératrices d'avaries et de retard.
- 43 Malgré les différences entre routage des voiliers et routage des navires à propulsion mécanique, les méthodes informatiques utilisées sont identiques.

01 18.3.2.5. Bilan et avenir du routage météorologique

- 07 Les services météorologique nationaux et les sociétés privées qui effectuent des routages ont établi le bilan suivant :
- le routage météorologique permet tout autant de réduire les durées des traversées maritimes que les dommages dus au mauvais temps ;
 - les meilleurs résultats sont obtenus durant les mois d'hiver c'est-à-dire en décembre, janvier et février dans l'hémisphère Nord et en juin, juillet et août dans l'hémisphère Sud ; en été, les mers fortes et les grandes houles étant plus rares, la route directe (grand cercle) est la plus économique ;
 - les gains de temps moyens sont plus importants pour les traversées d'Est en Ouest que pour les traversées d'Ouest en Est, car les vagues qui viennent de l'arrière, prédominantes lors des traversées Ouest-Est, ont peu d'influence sur la vitesse vraie du navire ;
 - l'influence du routage sur les frais d'exploitation d'un navire se ressent surtout dans les coûts du mazout et des lubrifiants. Il a été calculé que l'économie de mazout pouvait atteindre 12 %.
- 13 Le routage météorologique est également de plus en plus pratiqué au bénéfice des navires marchands et des compagnies de navigation par des sociétés de service qui actualisent l'itinéraire initial en fonction des conditions rencontrées. Par exemple, l'évolution vers des navires très spécialisés, aux contraintes d'exploitation limitées, nécessitent un suivi météorologique constant ; de plus en plus de navires sont exploités avec un équipage réduit où le capitaine fait lui-même du quart à la passerelle et dispose donc de beaucoup moins de temps pour se consacrer au choix de la route.
- 19 Le capitaine reste pourtant maître du choix final de la route, alors qu'il ne dispose souvent pas de tous les éléments d'appréciation. Aussi la tendance est-elle de reporter à bord l'élaboration des éléments de décision, tendance qui se traduit par le développement des ordinateurs embarqués utilisant de puissants logiciels spécialisés et des transmissions par satellites.
- 25 Du côté des services météorologiques, les données d'entrée des modèles de routage sont de plus en plus détaillées :
- les modèles de prévision de vagues sont à l'image des modèles de prévision du temps : couverture mondiale, échéance atteignant 10 jours pour le modèle du Centre européen pour les prévisions météorologiques à moyen terme ;
 - des modèles d'océan permettant de connaître et de prévoir pour les jours à venir les courants instantanés (et non plus les courants moyens) et la position des glaces deviennent opérationnels (par exemple, en France, le modèle Mercator qui couvre l'Atlantique et la Méditerranée) ;
 - pour la prévision à moyenne échéance, le Centre européen pour les prévisions à moyenne échéance met en œuvre une « prévision d'ensemble » consistant à rejouer la prévision 50 fois à partir d'états initiaux de l'atmosphère légèrement différents. Cette technique s'applique aussi au routage permettant ainsi de tester la stabilité de la solution retenue et éventuellement d'envisager d'autres évolutions possibles. Apport essentiel pour la prévision marine au-delà de 5 jours et pour son application à la course au large, la prévision d'ensemble a montré tout son potentiel lors du tour du monde à la voile sans escale du trimaran *Groupama* en mars 2010, notamment lors de la remontée de l'Atlantique Nord.

Chapitre 19

NAVIGATIONS PARTICULIÈRES

01 19.1. Navigation par gros temps

01 19.1.1. Allures de sauvegarde. Ancre flottante et filage d'huile

01 19.1.1.1. Généralités

07 Les conditions météorologiques influent sur la route et la vitesse (§ 18.1.2.2.). Passé un certain seuil, différent selon le type du navire, l'état de la mer peut rendre la route et la vitesse prévues dangereuses pour la cargaison et même pour la survie du bateau. La première chose à faire alors est de diminuer de vitesse (en prenant garde de rester manœuvrant). Il peut être nécessaire de changer de route pour prendre une allure de sauvegarde, cape ou fuite vent arrière. Il peut aussi être intéressant de mouiller une ancre flottante ou de filer de l'huile à la mer.

01 19.1.1.2. La cape

07 « Prendre la cape » signifie adopter la route et la vitesse qui permettent à un navire d'étaler le mauvais temps dans les meilleures conditions, c'est-à-dire dans des limites acceptables de roulis et de tangage.

13 Selon le type du bâtiment et le genre de mer rencontrée, la **cape** consiste généralement à naviguer entre 40 et 60° du vent, à une vitesse suffisante pour gouverner convenablement : c'est une excellente allure de sauvegarde pour un navire bien défendu de l'avant : il épaula bien les lames et évite les roulis trop violents.

19 Un voilier ayant amené toutes ses voiles ou un petit bâtiment moteur stoppé vient à une allure appelée **cape sèche** qui est proche du vent de travers. Il avance alors à faible vitesse en dérivant beaucoup avec une forte gîte. Pour un voilier à quille profonde, la coque tend à réduire la brutalité des vagues, et la cape sèche peut être une allure de sauvegarde satisfaisante. Mais la cape sèche est une **allure dangereuse pour un petit bâtiment sans quille** qui n'est pas suffisamment appuyé sur l'eau et roule dangereusement. Et par tempête exceptionnelle tout navire à la cape sèche risque d'être attrapé par une déferlante et de chavirer.

01 19.1.1.3. La fuite vent arrière

07 La **fuite vent arrière** ne peut être envisagée que si la situation géographique autorise le parcours d'un assez grand nombre de milles dans la direction sous le vent. C'est une bonne allure de sauvegarde pour un bateau à condition que la route soit maintenue bien perpendiculaire aux lames. Certains navigateurs préconisent de filer à l'eau par l'arrière un long cordage qui évite au bateau de tomber en travers. D'autres préfèrent au contraire fuir vent arrière à bonne vitesse pour garder le contrôle absolu du bateau.

01 19.1.1.4. L'ancre flottante

07 Un bâtiment qui ne dispose plus d'aucun moyen de propulsion a tendance à venir en travers de la lame, au risque de subir des avaries graves.

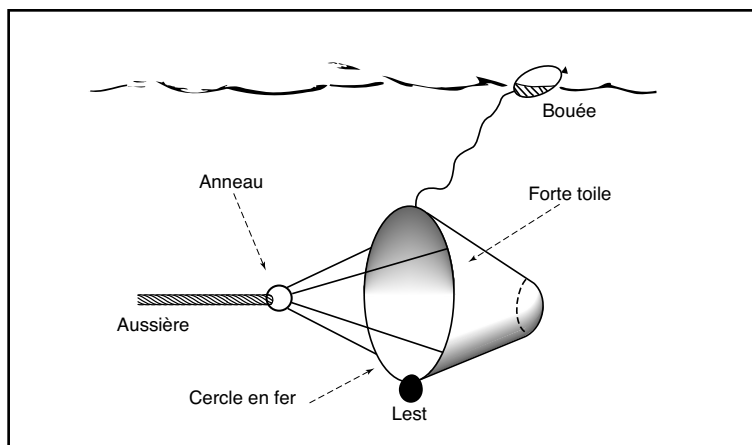
13 Pour contrecarrer cette tendance, on immerge à l'avant un engin capable d'offrir une résistance à la traction afin que le navire trouve une position d'équilibre plus rapprochée du lit du vent. Le bateau dérive alors debout au vent en culant à vitesse modérée.

19 Cet engin, appelé **ancre flottante**, est un tronc de cône en toile forte maintenu ouvert par un cerceau ou un croisillon et amarré à l'avant (figure 19.1.1.4.).

25 À défaut d'ancre flottante, tout objet offrant une résistance à la dérive peut servir de palliatif.

31 Le filage de l'huile (§ 19.1.1.5.) peut être conjointement utilisé.

37



19.1.1.4. — Ancre flottante.

01 19.1.1.5. Filage d'huile

- 07 L'huile répandue en petite quantité à la surface de la mer ne modère pas la houle mais empêche les lames de déferler et amortit l'effet du vent en réduisant l'écèlement des lames, par mer forte et agitée, elle diminue très sensiblement les risques « d'embarquer de l'eau ».
- 13 Le **filage de l'huile** s'effectue soit par les dalots ou tuyaux d'évacuation d'eaux usées (lavabo, toilette), soit plus généralement à partir de sacs de toile perforés, remplis d'étoffe imbibée d'huile, mis à tremper le long du bord.
- 19 Cette opération peut être effectuée avec toutes sortes d'huiles, mais les huiles animales et végétales sont plus efficaces que les huiles minérales et les produits lourds meilleurs que les produits légers.
- 25 Les résultats obtenus seront d'autant plus efficaces que l'on procédera dans certaines circonstances de la façon suivante :
- mer de l'avant : filer l'huile des deux bords, le plus possible sur l'avant ;
 - mer et vent de travers : filer l'huile au vent, à l'avant et par le travers ;
 - mer de l'arrière : filer l'huile à l'avant, elle s'étend vers l'arrière et protège de la mer du large et du grand large ; si l'huile n'était filée que de l'arrière, il n'y aurait pas de protection au large ;
 - à la cape ou en dérive : filer l'huile au vent par les dalots, tuyaux d'évacuation et à l'aide de sacs espacés de 10 à 15 mètres ;
 - au mouillage : filer l'huile à partir d'un sac maillé sur la chaîne.
- 31 L'huile sera inefficace si le navire a une vitesse sur l'eau supérieure à 4 nœuds.
- 37 L'opération de filage de l'huile est efficacement utilisée dans :
- les approches d'un navire dérivant : le navire dérivant file de l'huile des deux bords et le navire de secours en file sous le vent du navire qui dérive afin que celui-ci dérive dans une zone plus calme ;
 - les opérations de remorquage : le remorqueur file de l'huile des deux bords à l'avant de façon que remorqueur et remorqué bénéficient de son action ;
 - le passage d'une barre.

01 19.1.2. Conduite à tenir en cas de cyclone tropical

01 19.1.2.1. Généralités sur les cyclones

- 07 Les cyclones tropicaux sont des dépressions très creuses et de petites dimensions. Ils présentent donc un très fort gradient barométrique. On les rencontre dans les régions océaniques tropicales.
- 13 Il n'y a jamais de cyclone sur l'équateur. En effet, la force de Coriolis qui entretient le mouvement tourbillonnaire y est nulle. Les cyclones se rencontrent dans les régions océaniques au Nord du 5^e parallèle Nord et au Sud du 5^e parallèle Sud.
- 19 Les cyclones puisent leur énergie dans la chaleur contenue dans la couche superficielle des océans ; une température de surface supérieure à 27 °C est l'une des conditions nécessaires pour la naissance d'un cyclone. Lorsqu'un cyclone aborde une terre, son alimentation en énergie est interrompue, et le phénomène s'atténue ;

il peut cependant se réactiver en retrouvant un trajet maritime. La période où les cyclones tropicaux sont les plus fréquents se situe donc vers la fin de la saison chaude (approximativement d'août à octobre dans l'hémisphère Nord, et de janvier à mars dans l'hémisphère Sud).

- 25 La **dénomination des perturbations tropicales** selon la vitesse du vent et la région est indiquée dans le tableau 19.1.2.1.

31

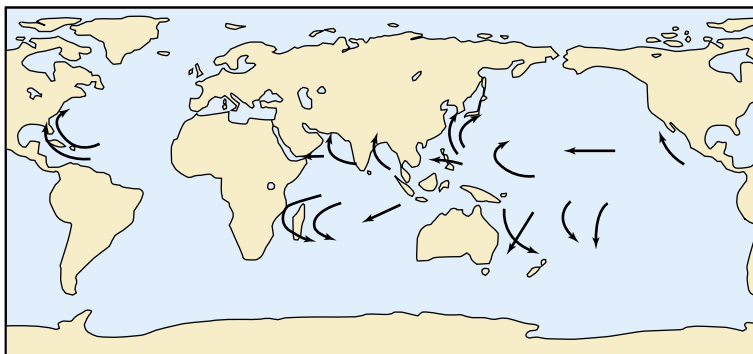
Régions	Vent			
	force 7 et moins (vent < 34 nœuds)	force 8 et 9 (34 ≤ vent < 48 nœuds)	force 10 et 11 (48 ≤ vent < 64 nœuds)	force 12 (vent ≥ 64 nœuds)
Atlantique Nord et Pacifique NE	dépression tropicale	tempête tropicale	tempête tropicale	ouragan
Pacifique NW	dépression tropicale	tempête tropicale	violente tempête tropicale	typhon
Océan Indien Nord	dépression tropicale	tempête tropicale	violente tempête tropicale	cyclone
Océan Indien Sud et Pacifique Sud	dépression tropicale faible	dépression tropicale modérée	dépression tropicale forte	cyclone

19.1.2.1. — Dénomination des perturbations tropicales selon la vitesse du vent et la région.

01 19.1.2.2. Trajectoires

- 07 Les tempêtes et cyclones tropicaux suivent une trajectoire grossièrement parabolique à des vitesses variables n'excédant pas 20 nœuds. Vers l'Ouest dans le flux d'alizés, leur trajectoire s'incurve vers les latitudes tempérées puis revient vers l'Est dans le flux d'Ouest des latitudes tempérées. Le cyclone y donne alors très souvent naissance à une violente perturbation (§ 6.4.3.1.).

13

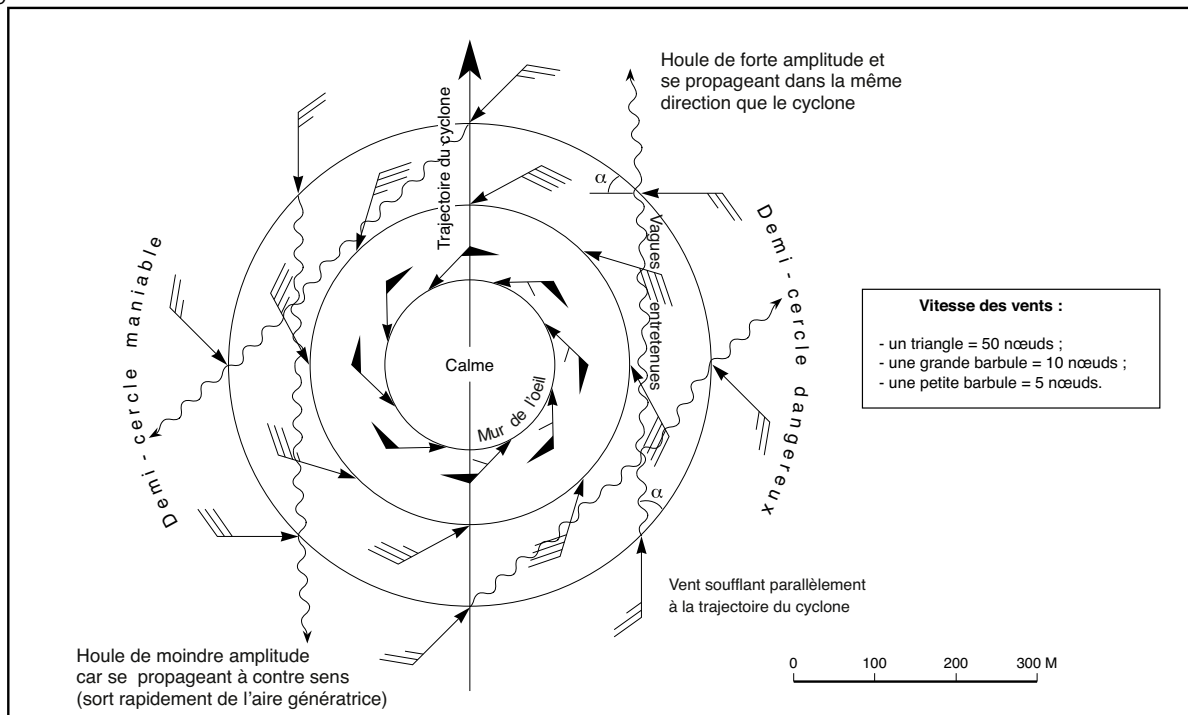


19.1.2.2. — Principales trajectoires des cyclones tropicaux.

01 19.1.2.3. Pression et vents

- 07 Le diamètre d'un cyclone tropical n'excède pas en général 300 milles. La pression diminue de plus en plus rapidement de la périphérie au centre où elle est souvent inférieure à 950 hectopascals (905 hPa au centre de « Mitch », cyclone en Mer des Caraïbes en octobre 1998, 882 hPa au centre de « Wilma », cyclone de l'Atlantique Nord en octobre 2005, 870 hPa au centre de « Tip », cyclone du Pacifique Nord en octobre 1979). Au centre la pression ne varie plus : c'est l'**œil du cyclone**.
- 13 Associé à la variation de pression, le vent augmente d'intensité de la périphérie jusqu'à l'œil du cyclone où on observe le plus souvent un calme subit. Conformément à la loi de Buys-Ballot (§ 6.2.2.3.), le vent tourne autour du centre dans le sens inverse des aiguilles d'une montre dans l'hémisphère Nord et dans le sens des aiguilles d'une montre dans l'hémisphère Sud. À proximité de la surface, en raison du frottement, la direction du vent n'est pas parallèle aux isobares mais elle est inclinée vers l'intérieur d'un certain angle.
- 19 Les vents soulèvent une très grosse mer et une houle énorme qui se propage loin au devant du phénomène.

25

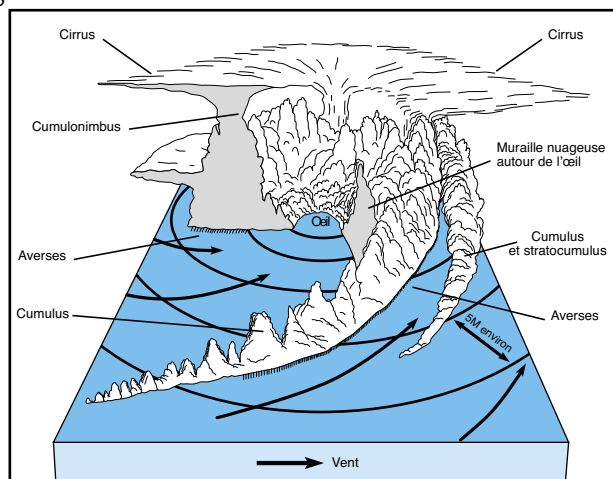


19.1.2.3. — Vents et houle dans un cyclone tropical de l'hémisphère Nord.

01 19.1.2.4. Nuages

- 07 L'œil du cyclone est entouré de masses épaisses de cumulonimbus sièges de pluies torrentielles. Autour, des stratus puis des cirrus s'étalent en panaches divergents jusqu'à 400 milles du centre. L'ensemble du système nuageux est très visible sur un radar.

13



Structure d'un cyclone tropical



Image radar du cyclone «Doaza» (janvier 1988)

19.1.2.4. — Ensemble nuageux d'un cyclone.

01 19.1.2.5. Prévision des cyclones

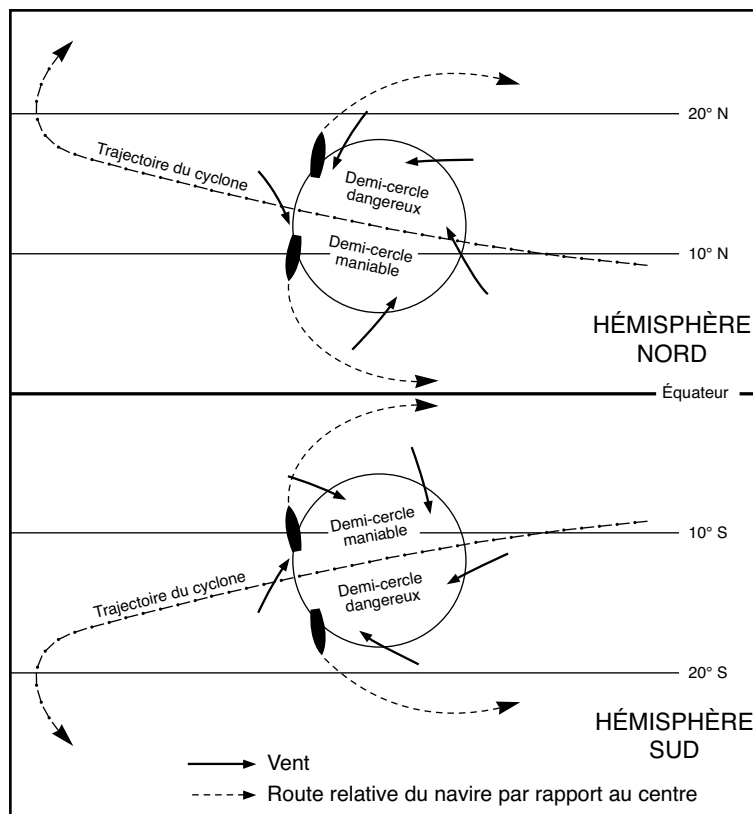
- 07 Un important réseau de stations d'observation est installé au voisinage des mers sujettes aux cyclones tropicaux. Ces stations diffusent régulièrement des avis et des informations sur la trajectoire et l'évolution des cyclones en cours (voir volume 1 ou 2 de l'ouvrage *Stations radiométéorologiques*).

- 13 Cependant certains signes caractéristiques permettent à l'observateur isolé de prévoir dans une certaine mesure la proximité d'un cyclone. Les signes précurseurs des **cyclones** sont les suivants :
- houle d'ouragan, sans vent, se propageant jusqu'à 1 000 milles du centre ;
 - disparition de la marée barométrique ;
 - disparition des vents alizés ;
 - apparition de cirrus en panaches et de lambeaux de nuages noirs appelés **scuds** ;
 - éclairs de chaleur dans le lointain.
- 19 On peut y ajouter une sourde sensation d'oppression.

01 19.1.2.6. Manœuvre à faire au voisinage d'un cyclone

- 06 On trouvera dans l'ouvrage *Météorologie maritime* des informations détaillées sur la **conduite à tenir à l'approche d'un cyclone** tropical, notamment des exemples de manœuvre d'un navire se trouvant à 200 M du centre d'un cyclone tropical.
- 11 Le relèvement approché de la position du centre du cyclone est donné par celui des cirrus et la direction de la houle. Pour la distance du centre, on peut admettre que, lorsque le vent force brusquement en atteignant la force 6 ou 7 Beaufort, on est probablement à 200 M du centre.
- 16 **Pour un observateur situé approximativement à 200 M du centre et faisant face au vent, le centre du cyclone se trouve :**
- à dix quarts environ (110°) sur sa droite dans l'hémisphère Nord ;
 - à dix quarts environ (110°) sur sa gauche dans l'hémisphère Sud.
- 21 On appelle **demi-cercle dangereux** le demi-cercle du cyclone à droite de la trajectoire dans l'hémisphère Nord (à gauche de la trajectoire dans l'hémisphère Sud) : le cyclone se déplace dans la même direction que les vagues qui ont ainsi le temps de s'amplifier et d'atteindre une hauteur considérable ; de plus dans ce demi-cercle dangereux le vent tend à entraîner un navire sur l'avant de la trajectoire du cyclone.
- 26 Inversement dans le **demi-cercle maniable** à gauche de la trajectoire dans l'hémisphère Nord (à droite de la trajectoire dans l'hémisphère Sud) les vagues se propagent à contre-sens du cyclone et sortent rapidement de l'aire génératrice, leur hauteur est donc inférieure à celle des vagues du demi-cercle dangereux ; dans ce demi-cercle maniable le vent tend à écarter le navire de la trajectoire du cyclone.
- 31 Afin de déterminer le demi-cercle dans lequel il se trouve, le navigateur doit observer le sens de rotation du vent. L'exactitude de cette observation est facilitée si le navire, quand cela est possible, est stoppé ou mis à la cape pendant 2 à 3 heures (de préférence cape tribord dans l'hémisphère Nord et cape bâbord dans l'hémisphère Sud, en prévision de la manœuvre future).
- 36 Selon le résultat de cette observation, les règles de manœuvre conseillées, dans la zone d'action de 200 à 250 M du centre du cyclone, sont les suivantes.
- 41 **1^{er} cas. — Dans l'hémisphère Nord**
- 46 a) Si la direction du vent change vers la droite (le vent « vire »), on est dans le demi-cercle dangereux. Pour un navire à propulsion mécanique, prendre le vent par tribord AV (2 à 4 quarts), en avançant le plus possible, sauf nécessité de prendre la cape ; pour un voilier, prendre la cape tribord amures (figure 19.1.2.6.A.).
- 51 b) Si la direction du vent change vers la gauche (le vent « recule »), on est dans le demi-cercle maniable. Pour un navire à propulsion mécanique, prendre le vent par tribord arrière et faire route le plus vite possible (figure 19.1.2.6.A.) ; pour un voilier fuir mer de l'arrière ou prendre la cape tribord amures.
- 56 c) Si la direction du vent ne change pas d'une façon sensible, on se trouve sur la trajectoire du cyclone. Que le navire soit à propulsion mécanique ou à la voile, prendre le vent à deux quarts sur l'AR du travers tribord (figure 19.1.2.6.B.). Si le navire souffre trop, fuir mer de l'arrière.

61

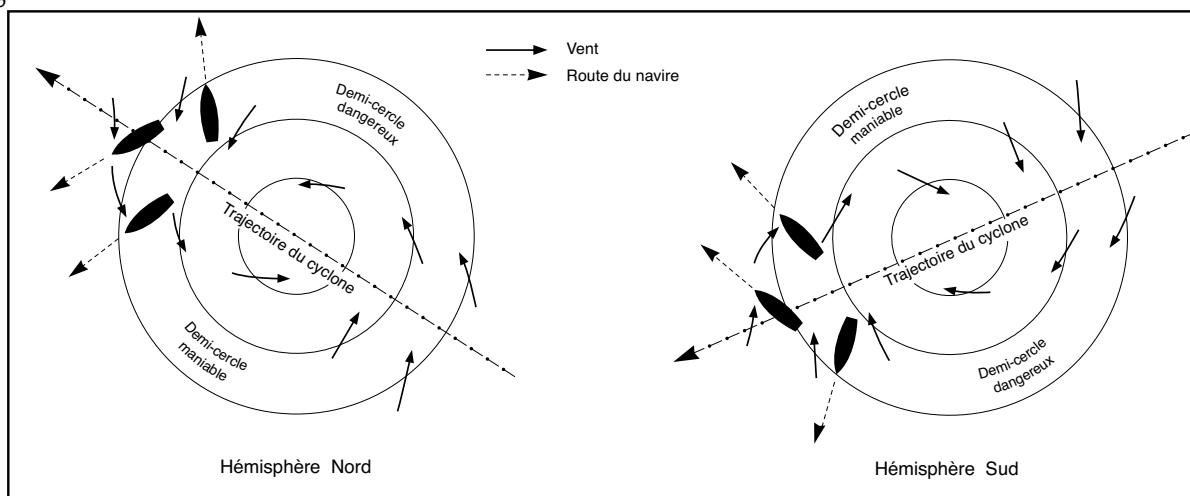


19.1.2.6.A. — Règles de manœuvre au voisinage d'un cyclone.

66 **2^e cas. — Dans l'hémisphère Sud**

- 71 a) Si la direction du vent change vers la gauche, on est dans le demi-cercle dangereux. Pour un navire à propulsion mécanique, prendre le vent par bâbord AV (2 à 4 quarts), en avançant le plus possible, sauf nécessité de prendre la cape (figure 19.1.2.6.A.) ; pour un voilier, prendre la cape bâbord amures.
- 76 b) Si la direction du vent change vers la droite, on est dans le demi-cercle maniable. Pour un navire à propulsion mécanique, prendre le vent par bâbord arrière et faire route le plus vite possible (figure 19.1.2.6.A.) ; pour un voilier fuir mer de l'arrière ou prendre la cape bâbord amures.
- 81 c) Si la direction du vent ne change pas d'une façon sensible, on se trouve donc sur la trajectoire du cyclone. Que le navire soit à propulsion mécanique ou à la voile, prendre le vent à deux quarts sur l'AR du travers bâbord (figure 19.1.2.6.B.). Si le navire souffre trop, fuir mer de l'arrière.

86



19.1.2.6.B. — Règles de manœuvre d'un navire surpris par un cyclone.

01 19.1.2.7. Compte rendu

07 Tout navire détectant un cyclone tropical est tenu de le signaler (*Guide du navigateur, volumes 1 et 3*).

01 19.1.2.8. Comment recevoir un cyclone au mouillage

07 Si l'on est sur une rade foraine et si le bâtiment peut appareiller, il est le plus souvent préférable de gagner le large.

13 Dans le cas où l'on est contraint de rester au mouillage, il faudra vérifier le rayon de la zone d'évitage et l'étendue qui peut être parcourue en cas de chasse. S'il y a lieu et si c'est possible, on changera de mouillage pour un mouillage de bonne tenue dans une zone protégée des vents à craindre. Enfin, on mouillera une deuxième ancre en plomb de sonde. Les machines resteront prêtes à manœuvrer et une veille permanente sera exercée sur la tenue du mouillage (§ [14.4.3.](#)).

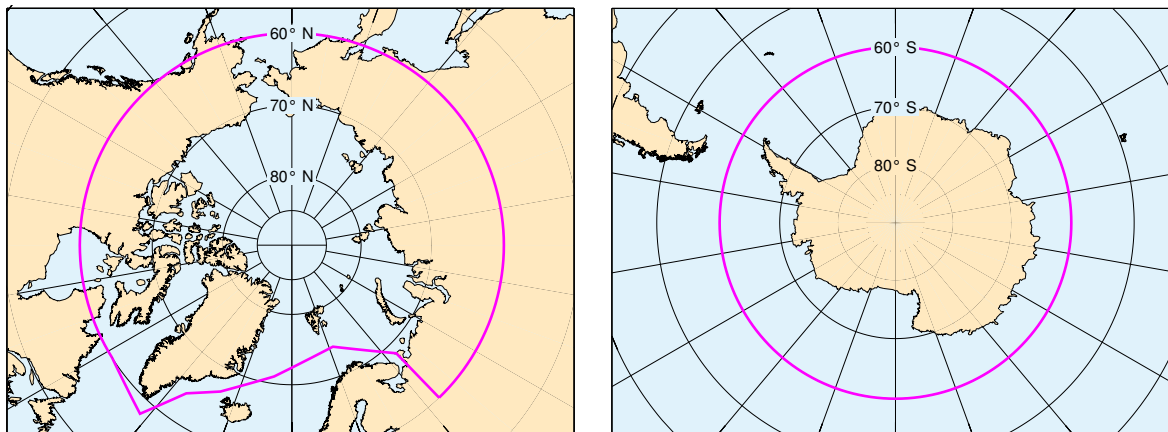
01 19.2. Navigation aux hautes latitudes

01 19.2.1. Particularités de l'environnement

01 19.2.1.1. Généralités

- 07 Dans les régions à hautes latitudes, l'environnement météorologique est souvent particulièrement sévère : froid, brouillard, chutes de neige, rencontres d'icebergs ou de la banquise glaciaire, givrage des superstructures du navire, vents violents (surtout en Antarctique).
- 13 On trouvera dans l'ouvrage *Météorologie maritime* tous les renseignements détaillés concernant les glaces, notamment la nomenclature descriptive des glaces de l'Organisation météorologique mondiale (OMM) et des photographies illustrant cette nomenclature.
- 19 Les navires exploités dans l'environnement arctique ou antarctique sont exposés à un certain nombre de risques particuliers. Par exemple, les conditions météorologiques médiocres, le manque de cartes marines fiables, de systèmes de communication et d'autres aides à la navigation posent problème au navigateur. L'OMI a donc élaboré un document relatif à la navigation dans les zones couvertes par les glaces, zones qui présentent un risque pour la structure des navires. Ce sont les *Directives pour les navires exploités dans les eaux polaires* (résolution de l'Assemblée A.1024 [26] du 2 décembre 2009).
- 25 Ces directives, qui ont valeur de recommandations, ont pour but de formuler les recommandations complémentaires jugées nécessaires en plus des prescriptions existantes de la Convention SOLAS, pour tenir compte des conditions climatiques des eaux arctiques et antarctiques couvertes de glace et pour satisfaire à des normes appropriées en matière de sécurité maritime et de prévention de la pollution.
- 31 Le document comprend des dispositions générales et quatre parties : dispositions relatives à la construction ; équipement ; exploitation ; protection de l'environnement ; et maîtrise des avaries.
- 37 Les limites maximales d'application de ces directives sont schématisées dans la planche 19.2.1.1.A.

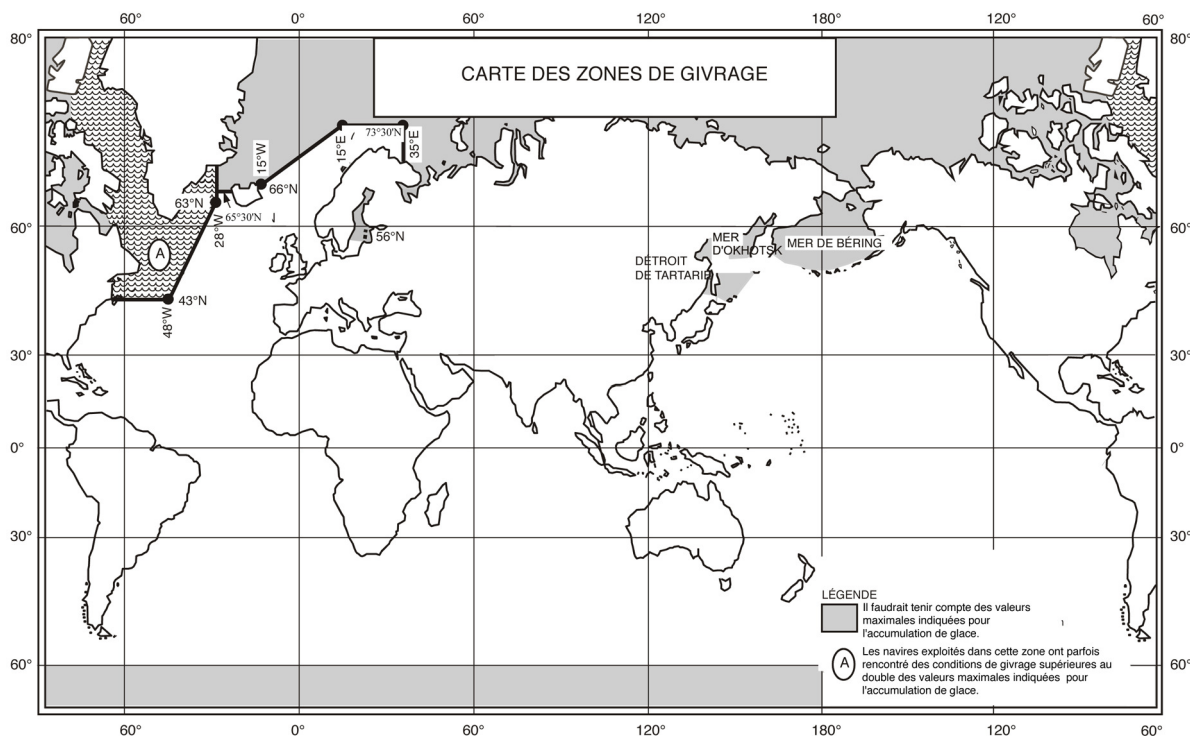
43



19.2.1.1.A. — Limites maximales d'application des directives de l'OMI pour les navires exploités dans les eaux polaires.

- 49 Le recueil de règles de stabilité à l'état intact (*Recueil IS*) de l'OMI comprend un chapitre intitulé Considérations relatives au givrage. Ces considérations concernent tout navire exploité dans des zones où l'on peut s'attendre à une accumulation de glace risquant d'affecter la stabilité du navire, et plus particulièrement les navires de pêche.
- 55 Des recommandations à l'intention des capitaines des navires de pêche sur les précautions à prendre pour faire face au givrage font l'objet d'une des annexes du Recueil IS. La planche 19.2.1.1.B. (carte des zones de givrage) est extraite de ce recueil.

61



19.2.1.1.B. — Carte des zones de givrage (Recueil IS de l'OMI).

01 19.2.1.2. Les icebergs

01 19.2.1.2.1. Description

07 Blocs massifs de glace d'eau douce détachés d'un glacier terrestre (par exemple du Groenland, de Sibérie ou du continent Antarctique), les **icebergs** peuvent atteindre 70 m de haut et plusieurs km² de surface ; ils comportent une partie submergée 8 fois plus volumineuse que la partie au dessus de l'eau. Ils constituent de redoutables obstacles à la navigation, et il est même dangereux de s'en approcher car ils peuvent présenter des éperons sous-marins ou chavirer brusquement.

13 Les icebergs sont entraînés par les vents et les courants, ils peuvent s'échouer ou se disloquer en formant de plus petits blocs de glace d'une quinzaine de mètres carrés de surface appelés « bourguignons » ou « growlers »

01 19.2.1.2.2. Indices de la proximité d'un iceberg

07 Les icebergs réfléchissent mal les ondes radar : ils sont généralement détectables au radar à une distance de 4 à 15 milles, mais on ne peut jamais en être sûr. Par bonne visibilité de jour les icebergs sont visibles à 15 M par un observateur en haut du mât et à 10 M de la passerelle. De nuit par temps clair ils peuvent être vus à 6 M. Par contre en temps de brume ils ne seront vus qu'à 100 m (il est indispensable dans ce cas de placer un veilleur à l'étrave avec un bon projecteur). Quant aux « bourguignons » qui émergent à peine, ils sont à peine visibles.

13 Les craquements d'un iceberg en dislocation produisent un roulement semblable au tonnerre ou à des coups de canon, révélateur de la proximité d'un tel iceberg.

01 19.2.1.3. La banquise

01 19.2.1.3.1. La glace de mer

07 En dessous de -2°C , l'eau de mer peut geler en formant d'abord une bouillie glacée (« gadoue » ou « slush ») qui s'agglutine peu à peu pour former des « glaces en crêpes » ou « pancakes », qui se soudent à leur tour pour former une « **banquise** », ou « **pack** », plus ou moins continue et plus ou moins épaisse par chevauchement des plaques et sous l'effet des précipitations neigeuses. Sauf lorsqu'elle est échouée, la banquise est perpétuellement en mouvement sous l'effet des vents, des courants et des marées. Peuvent s'en détacher

sous l'effet des vents et des courants des blocs massifs de glace salée baptisés « floebergs » qui présentent les mêmes dangers que les icebergs.

- 13 La « banquise côtière » ou « fast ice » est une glace de mer qui reste attachée au rivage où elle s'est formée ou à un iceberg échoué. Sa limite en hiver suit généralement la ligne des fonds de 25 m sauf dans les détroits balayés par des forts courants.

01 19.2.1.3.2. Indices de la proximité de la banquise

- 07 Une lueur diffuse rayonnée par la banquise (en anglais « ice-blink ») permet souvent de « voir » la banquise à une distance d'environ 15 M : par temps clair et ciel bleu elle apparaît comme une brume jaunâtre lumineuse au dessus de la banquise ; sur un ciel nuageux elle se manifeste par des reflets blancs sur la base des nuages. L'ice-blink est parfois visible de nuit.
- 13 Un autre indice fiable de la proximité de la banquise est la diminution soudaine de la hauteur des vagues et de la houle sous le vent de la banquise. On peut encore noter comme indices l'apparition de glaces isolées, celle d'animaux spécifiques loin de terre (phoques et morses en Arctique, pétrels et manchots en Antarctique) ou la brume qui se forme souvent sur la lisière de la banquise.
- 19 La glace elle-même se voit à l'œil presque en même temps qu'au radar, en général à une distance inférieure à 3 M.

01 19.2.1.3.3. Traversée de la banquise

- 07 Le danger le plus grave pour un navire est de se trouver enfermé dans les glaces et de subir leur pression.
- 13 En règle générale, un champ de glace doit toujours être contourné, surtout lorsque l'extrémité opposée se trouve au delà de la limite de visibilité. Si la **traversée de la banquise** est nécessaire, on aura intérêt à obtenir l'assistance d'un brise-glace et à suivre ses indications.
- 19 La navigation isolée dans les glaces, pour un navire qui n'a pas une étrave de brise-glace, n'est en principe possible que dans une banquise lâche, c'est à dire où les glaces couvrent moins de 4 à 6/10 de la surface totale.
- 25 Un navire pénétrant dans la banquise doit si possible l'aborder sous le vent, et perpendiculairement à la lisière, et rechercher par observation depuis un « nid de pie » les chenaux et espaces d'eau libre qui peuvent se présenter (ces chenaux forment sur un écran radar des couloirs et taches sombres). De nuit ou par mauvaise visibilité il vaut mieux stopper et poser l'ancre sur un gros bloc de glace pouvant protéger le navire contre les glaces environnantes. La veille doit alors être attentive et les machines parées à manœuvrer. Par contre il est recommandé de ne pas mouiller. Enfin si la banquise devient trop serrée, il ne faut pas hésiter à faire demi-tour.
- 31 Un navire gouverne très mal dans la banquise, et le suivi de l'estime est particulièrement difficile en raison des changements de route fréquents (§ 19.2.3.).

01 19.2.1.4. Le givrage des navires

- 07 Les embruns et paquets de mer rencontrés par forte mer si la température de l'air est inférieure à -2°C peuvent s'accumuler en glace sur les ponts et superstructures des navires. Le givrage ainsi produit, d'autant plus important que la température de l'eau de mer est plus basse, réduit la stabilité du bâtiment et peut même le faire chavirer, surtout si la glace s'accumule d'un seul bord.
- 13 En cas de givrage du navire, il faut réduire de vitesse et rallier si possible une zone abritée ou prendre la fuite vent arrière à faible vitesse (§ 19.1.1.3.).

01 19.2.1.5. Information du navigateur sur les risques de glaces ou de givrage

- 07 Les *Instructions Nautiques* et les *Pilot Charts* publiées par le service hydrographique des États-Unis, donnent des renseignements statistiques sur les zones où le navigateur est susceptible de rencontrer des glaces. Carte des zones de givrage : voir planche 19.2.1.1.B.
- 13 Dans les régions couvertes par des services de prévision météorologique, les navires peuvent obtenir auprès de ces services des informations sur la situation réelle des glaces (volume 3). Inversement tout navire est tenu de signaler les glaces et le givrage qu'il rencontre aux navires voisins et aux stations côtières (volume 1), selon le système international de symboles pour le pointage des glaces en mer (ouvrage *Météorologie maritime*).

01 19.2.2. Particularités d'emploi des équipements et des documents de navigation

01 19.2.2.1. Généralités

- 07 Dans la partie Équipement des directives de l'OMI pour les navires exploités dans les eaux polaires (§ 19.2.1.1.), les prescriptions du chapitre relatif au Matériel de navigation concernent les équipements suivants : compas, indicateurs de vitesse et de distance, sondeur, installations radar, GPS, GLONASS, systèmes de cartes électroniques, AIS, indicateur d'angle de barre, projecteurs et signaux visuels, dispositif d'amélioration de la visibilité, enregistreur des données du voyage, matériel de réception des informations glace/météorologie.
- 13 Les prescriptions de ce chapitre ne doivent pas être considérées comme s'ajoutant à celles du chapitre V de la Convention SOLAS. Au contraire, tout matériel installé ou emporté en conformité avec les prescriptions du chapitre V de SOLAS peut être considéré comme faisant partie de l'équipement en matériel recommandé dans les directives de la circulaire.

01 19.2.2.2. Compas

- 07 Entre les latitudes 70° et 85°, le **compas gyroscopique** peut encore être utilisé mais sa force directrice vers le Nord diminue beaucoup avec la latitude, alors que les erreurs dues au compas (§ 3.1.1.5.4.) augmentent corrélativement sans généralement pouvoir être corrigées car hors plage de réglage : la variation du gyrocompas doit donc être vérifiée au moins toutes les quatre heures par comparaison avec l'azimut d'un astre (§ 16.6.1.) [astro-compas], le gyrocompas étant utilisé comme un simple conservateur de cap.
- 13 Aux latitudes supérieures à 85° le gyrocompas est définitivement inutilisable. On pourra utiliser si on en dispose un **gyroscope directionnel** qui conserve une direction fixe par rapport aux étoiles (§ 3.1.1.5.2.), en prenant garde que par rapport à des axes liés à la terre un tel gyroscope dérive d'une quantité égale à la rotation de la terre, soit $U \sin \phi$ (avec $U = 15^\circ/\text{heure}$). Il sera là aussi essentiel de contrôler fréquemment la variation du gyroscope grâce à l'azimut d'un astre.
- 19 Le **compas magnétique** est inutilisable près des pôles magnétiques. Ailleurs il pourra être utilisé à condition d'en reprendre la compensation (§ 3.1.1.2.2.) et d'en contrôler fréquemment la variation avec l'azimut d'un astre, en particulier en cas de tempête magnétique.

01 19.2.2.3. Cartes polaires

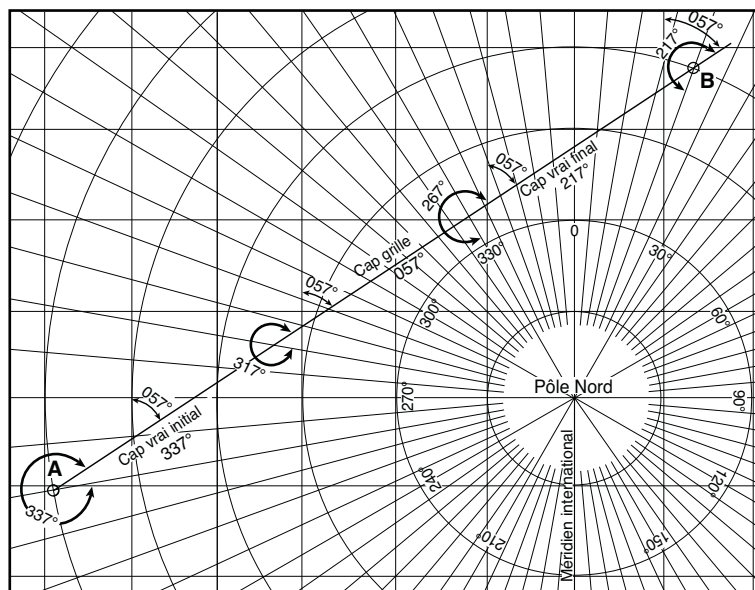
- 07 Des cartes en projection Mercator existent pour toutes les mers fréquentées par la navigation maritime jusqu'à 80° de latitude Nord et 70° de latitude Sud (voir le *Catalogue des cartes marines et des ouvrages nautiques*). Pourtant la commodité de la projection de Mercator diminue à mesure que l'on va vers les hautes latitudes : l'échelle varie très rapidement sur une même carte, ce qui déforme le tracé des côtes et fausse les mesures de distances, et la loxodromie perd de son intérêt devant l'orthodromie même pour de courtes distances en raison de la convergence des méridiens aux pôles.
- 13 Pour cette raison le navigateur préférera souvent utiliser des **cartes à projection stéréographique polaire** (cartes 5965N, 5966G et N ou 5879G et N du SHOM) avec les abaques associés permettant de tracer des orthodromies ou des relèvements, ainsi que de lire des distances ou des angles de route. Sur les cartes gnomoniques, l'orthodromie est représentée par une droite (figure 15.3.4.1.B.) mais les angles et distances ne sont pas conservées.
- 19 Le navigateur pourra également employer des cartes aéronautiques en projection stéréographique polaire et y pratiquer la navigation grille.

01 19.2.2.4. Navigation-grille

- 07 Sur un carroyage circulaire concentrique de parallèles et radial de méridiens convergeant au Pôle est surimprimée une grille de lignes équidistantes tracées parallèlement au Méridien International. Une droite sur ce carroyage peut être assimilée à une orthodromie sur une carte polaire. Elle sera suivie aisément à cap grille constant car le cap vrai pourra être trouvé à tout instant par la relation algébrique (avec sur la longitude les conventions de signe du sous-paragraphe 20.3.2.2.) dans l'hémisphère Nord :
- 13 **Cap grille = cap vrai + longitude**
- 19 Dans l'hémisphère Sud la relation devient :
- 25 **Cap grille = cap vrai – longitude**

- 31 Si un compas magnétique est utilisé pour suivre le cap grille, variation magnétique et longitude peuvent être combinées en une seule correction appelée **variation grille** ou « grivation » qui figure sur certaines cartes polaires publiées par le service hydrographique des États-Unis.

37



19.2.2.4. — Navigation grille.

01 19.2.3. Conséquences sur la navigation aux hautes latitudes

- 07 Le **point estimé** doit être soigneusement entretenu, graphiquement ou avec les formules exactes de l'estime, mais il est moins précis qu'ailleurs en raison des incertitudes du compas et des distorsions des cartes.
- 13 La **navigation à la vue** et la **navigation au radar** sont souvent rendues plus difficiles par la rareté des amers, leur identification malaisée et leur position moins fiable que dans d'autres régions.
- 19 La **radionavigation** est tout particulièrement indiquée lorsqu'on se trouve dans la zone de couverture d'un système, sous réserve de porter une attention particulière à l'isolement des antennes. Les systèmes GLONASS et GPS sont bien adaptés, particulièrement le GLONASS qui privilégie les latitudes élevées ; ils ont la même précision qu'ailleurs.
- 25 La **navigation astronomique** est surtout utilisée pour contrôler la variation du compas par l'azimut d'un astre (§ 19.2.2.2.). Des points astronomiques par le soleil (en été) ou des planètes et étoiles (au crépuscule) sont pourtant possibles, soit si l'horizon est visible et précis (pour le calcul de la correction de la hauteur observée on utilisera la réfraction donnée par la table permanente n° 2 des *Éphémérides Nautiques*), soit si l'on dispose d'un sextant à horizon artificiel (§ 16.3.5.). En raison des distorsions de la carte Mercator aux hautes latitudes, on préférera reporter les observations sur une carte faite avec une autre projection. Enfin en raison des imprecisions de l'estime on évitera les transports de droites supérieurs à une heure.

01 19.3. Navigation dans les zones de coraux

01 19.3.1. Généralités

- 07 Les **coraux** sont des organismes vivants. Près de la surface, l'érosion marine contre-balance généralement leur croissance dont la plus rapide s'observe par profondeurs de plus de 5 m.
- 13 La croissance annuelle maximale est d'environ 0,05 m pour le corail massif, le plus dangereux pour la coque d'un navire ; elle excède 0,10 m pour le corail en branches, plus fragile et comparativement moins dangereux.
- 19 Un courant portant vers un récif a tendance à accélérer la croissance du corail, mieux oxygéné et mieux alimenté par le flux d'eau permanent. C'est l'une des raisons pour lesquelles la bordure au vent du récif est généralement massive.
- 25 L'érosion du corail produit du sable d'une blancheur et d'une finesse remarquables, et des débris de tailles variées ; sous l'effet des courants, ils peuvent s'accumuler dans les chenaux et en modifier rapidement la profondeur. Ce risque est plus marqué dans les chenaux exposés aux vents.
- 31 L'effet combiné de la croissance du corail et du dépôt des débris coralliens peut se traduire par une diminution des profondeurs qui ne dépasse qu'exceptionnellement 0,3 m par an.
- 37 Le principal danger qui guette le navigateur n'est cependant pas tant la modification des fonds que l'existence de hauts-fonds coralliens qui ont échappé au levé hydrographique.

01 19.3.2. Détection des récifs de coraux

- 07 Les récifs coralliens sont souvent accores et s'élèvent en pente abrupte à partir des grandes profondeurs. Leur proximité est difficile à détecter au sondeur.
- 13 Lorsqu'on s'approche d'un récif, la brusque remontée des profondeurs rend la trace de l'écho difficile à suivre, et cet écho est souvent faible en raison du profil des fonds. On rencontrait autrefois ces difficultés au cours des levés hydrographiques ; c'est ainsi que des pâtés de coraux peuvent avoir échappé à la détection et ne figurent donc pas sur les cartes.
- 19 Dans une zone non hydrographiée à l'aide de moyens modernes, il est toujours possible de trouver un pâtre isolé, en forme d'aiguille, non découvert lors des levés sur la base desquels la carte est établie.
- 25 La distance à laquelle les pâtés sont aperçus dépend de la hauteur du poste d'observation, de l'état de la mer et de la position relative du soleil. La surface brillante de la mer par calme plat rend difficile l'estimation de la hauteur d'eau au-dessus du fond.
- 31 Les conditions les plus favorables sont celles d'une observation depuis un point le plus élevé possible, par temps clair avec le soleil de l'arrière à plus de 20° au-dessus de l'horizon, et la surface de la mer légèrement ridée par une faible brise. L'utilisation de lunettes à verres polaroid est vivement recommandée car elle améliore la perception des variations de couleur du milieu marin.
- 37 Dans de telles conditions, un pâtre de corail couvert de 6 à 8 m d'eau peut être distingué à quelques encablures. L'eau paraît la plus claire sur les fonds sablonneux, particulièrement ceux couverts de sable de corail.
- 43 Dans une eau transparente, les pâtés de coraux couverts d'environ 1 m d'eau ont une couleur brun clair ; ceux qui sont couverts de 2 m d'eau ont une couleur vert clair s'assombrissant graduellement jusqu'aux profondeurs de 6 m. Par profondeur de plus de 25 m, ils ont une couleur bleu foncé.
- 49 La distinction entre un récif et l'ombre d'un nuage ou le passage d'un banc de poissons peut parfois s'avérer difficile, la mobilité de ces derniers pouvant toutefois aider le lever de doute.
- 55 Le côté au vent d'un récif, généralement uniforme, est plus apparent. Du côté sous le vent, le gradient de profondeur est plus faible et irrégulier. Le fond est souvent parsemé de bancs de sable et de pâtés de corail isolés, difficiles à localiser.
- 61 Dans les zones de récifs, les « **cayes** » sont des formations très répandues. Ce terme désigne des îlots sablonneux, généralement bas, qui émergent à proximité de récifs faiblement immergés ou à fleur d'eau. Les cayes sont le plus souvent dénudées. Étant vulnérables à l'action des vagues, les cayes peuvent avoir une existence éphémère, particulièrement dans les régions parcourues par les fortes perturbations tropicales.

01 19.3.3. Navigation en zones de coraux

- 07 Dans les zones coralliennes, les cartes anciennes, par exemple en Nouvelle-Calédonie, pauvres en sondes, riches en espaces blancs, incitaient le navigateur à la plus grande prudence. Les cartes de facture moderne, basées sur les levés hydrographiques des vingt dernières années, induisent par contre une confiance excessive. Il est pourtant certain que des hauts-fonds, de faible emprise horizontale, ont échappé aux levés méthodiques récents couvrant par exemple le lagon calédonien.
- 13 Les voies recommandées ont bénéficié d'une hydrographie totale. Les navigateurs qui s'écartent de ces voies s'exposent à des risques évidents et d'un niveau difficile, voire impossible, à apprécier. Hors d'un chenal balisé ou d'une voie recommandée, la sécurité de la navigation repose entièrement sur la vue. Il convient toutefois de souligner qu'au-delà d'une profondeur d'environ 8 m, la détection visuelle des dangers n'est efficace que par conditions d'observation d'une qualité excédant sensiblement la normale.
- 19 Dans les parages des récifs, les courants ne sont pas toujours bien connus ; ils portent parfois franchement vers les dangers. Si le navire doit passer « au courant » du récif, il faut naviguer à distance convenable de ce dernier.
- 25 L'approche d'une zone de récifs coralliens doit toujours se faire à vitesse réduite. Si l'eau n'est pas claire, il sera presque impossible de distinguer les dangers. Il peut alors être nécessaire de faire sonder sur l'avant du navire par une ou plusieurs embarcations.
- 31 La nuit, la prudence commande de se tenir éloigné des récifs, en leur donnant un large tour.

01 19.4. Navigation en embarcation de sauvetage

01 19.4.1. Généralités

- 07 De nombreuses expériences ont montré que l'essentiel, en **embarcation de sauvetage**, est de conserver son moral et son bon sens (sans oublier la débrouillardise et le sens de l'humour).
- 13 Dans la plupart des cas, on choisira de rester sur place pour faciliter les recherches, en mettant en fonction la radiobalise de localisation des sinistres (RLS COSPAS/SARSAT, RLS Inmarsat E ou RLS VHF) [volume 3] et en limitant la dérive grâce à une ancre flottante (§ 19.1.1.4.).
- 19 On ne choisira de faire route que si on est sûr que personne ne cherchera l'embarcation et s'il est possible de rallier (à la voile ou au moteur) une terre ou une voie commerciale. S'il y a plusieurs embarcations, il conviendra qu'elles restent groupées.
- 25 Dans le volume 3, on trouvera des informations sur la sauvegarde de la vie humaine et la recherche et sauvetage des personnes en détresse en mer ainsi que des extraits du manuel **IAMSAR** de l'OMI.

01 19.4.2. Exécution de la navigation

01 19.4.2.1. Équipements de navigation à embarquer

- 07 La navigation sera très facilitée si l'on a pris la précaution de mettre en place le matériel suivant (liste non limitative) :
- compas magnétique (avec si possible sa courbe de déviation) ;
 - cartes de la région et Pilot Charts ;
 - crayons, règle de Cras (ou rapporteur), pointe sèche, gomme ;
 - journal de navigation ;
 - montre étanche ;
 - calculatrice de navigation ou trigonométrique, ou tables de navigation (§ 16.5.2.2.) et types de calculs ;
 - éventuellement *Éphémérides Nautiques* (ou extraits), sextant.

01 19.4.2.2. Choix et suivi de la route

- 07 Le bon sens dictera le choix de la route : à la voile, une allure portante est plus rapide et plus agréable ; la latitude étant relativement facile à calculer par observation astronomique, l'atterrissage sur une côte sera facilité s'il est fait selon une route Est-Ouest ; on préférera rallier une terre haute visible de loin plutôt qu'un îlot bas sur l'eau, même s'il est un peu plus proche.
- 13 **Il est capital de relever la position au moment d'abandonner le navire** : cette position servira de départ pour l'estime de l'embarcation de secours. L'estime sera soigneusement entretenue et notée sur un journal de navigation ainsi que les décisions importantes prises et les observations astronomiques faites, la navigation se faisant de façon classique (§ 18.2.2.) avec les moyens dont on dispose.

01 19.4.2.3. Procédés de secours pour naviguer

- 07 Si l'on ne dispose pas des équipements de navigation classiques nécessaires, on peut s'inspirer des moyens de secours suivants, en restant conscient de leur précision souvent faible.

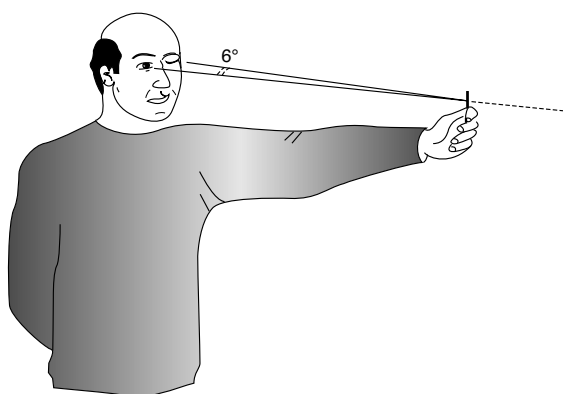
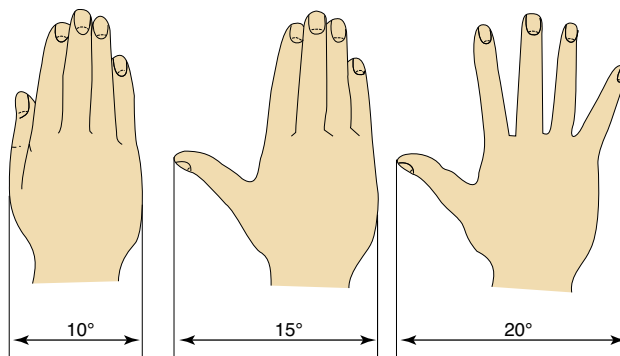
01 19.4.2.3.1. Mesure de la vitesse

- 07 La vitesse peut être appréciée à vue ou mesurée par un loch à bateau (§ 3.1.2.4.) confectionné avec une planche et une ligne, ou avec la méthode du loch hollandais (§ 3.1.2.3.).

01 19.4.2.3.2. Mesure d'un angle

- 07 Un angle peut être grossièrement estimé à bras tendu en clignant successivement des deux yeux, ou en utilisant la largeur de la main (figure 19.4.2.3.2.).

13



19.4.2.3.2. — Mesures d'angles à bras tendu.

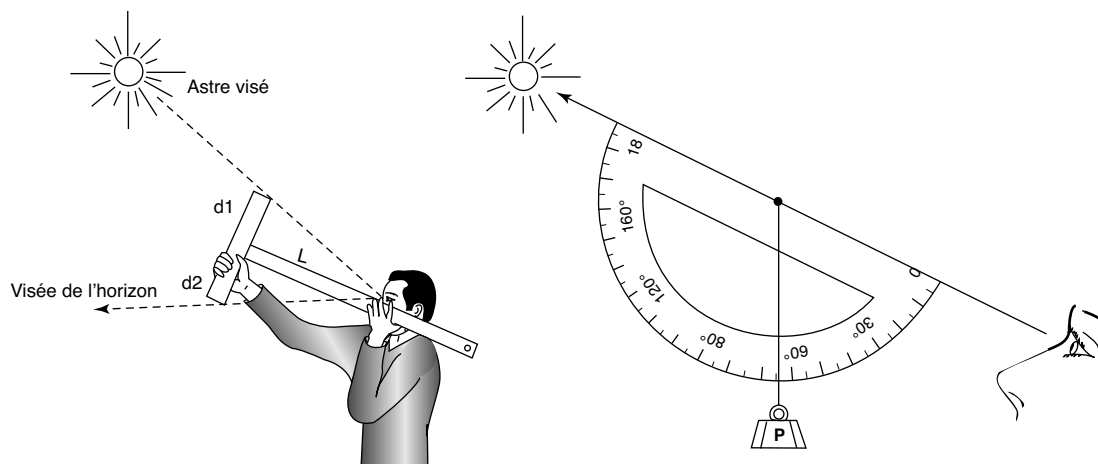
01 19.4.2.3.3. Mesure de la hauteur d'un astre

07 En faisant coulisser un té de dessinateur d'avant en arrière pour aligner avec les extrémités de la barre transversale l'astre et l'horizon, la distance de l'œil à la barre permet de calculer la hauteur d'un astre.

13 Il est aussi possible de mesurer la hauteur d'un astre grâce à un rapporteur et un fil à plomb.

$$19 \quad h = \arctan \frac{d1}{L} + \arctan \frac{d2}{L}$$

25



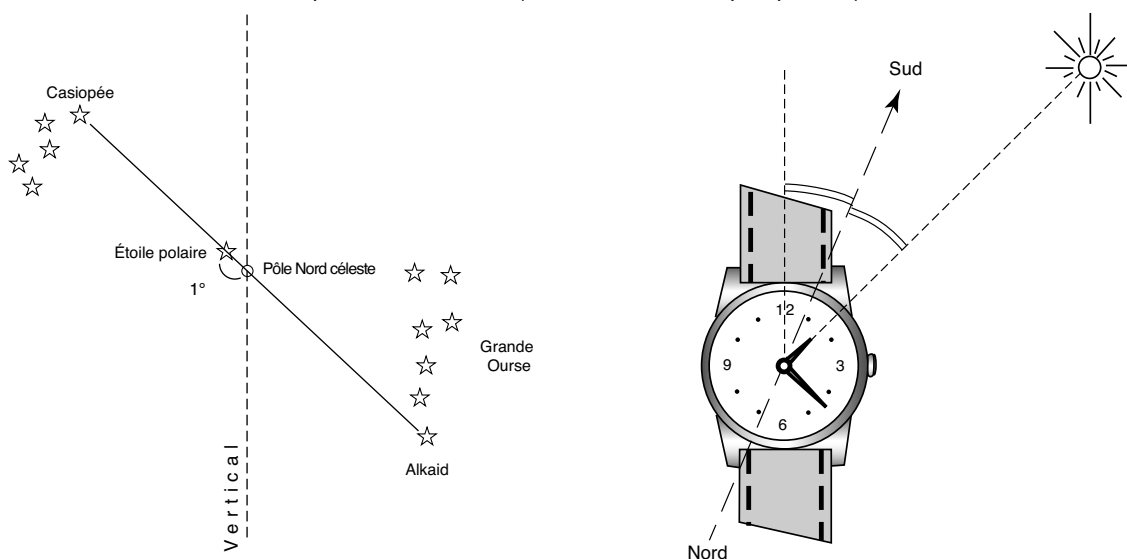
19.4.2.3.3. — Mesures de la hauteur d'un astre.

01 19.4.2.3.4. Détermination du Nord

07 L'étoile Polaire permet de connaître de façon précise le Nord (en tenant compte de la distance polaire de 1° de l'étoile et de l'orientation de l'axe Pôle – Polaire – Cassiopée).

- 13 Une montre en heure locale qu'on oriente pour aligner la petite aiguille vers le soleil permet de connaître l'axe Sud-Nord.
- 19 La moyenne des azimuts d'un astre à son lever et son coucher indique de façon précise l'axe Nord-Sud.
- 25 Un astre à sa culmination indique l'axe Nord-Sud (cette indication est peu précise).

31

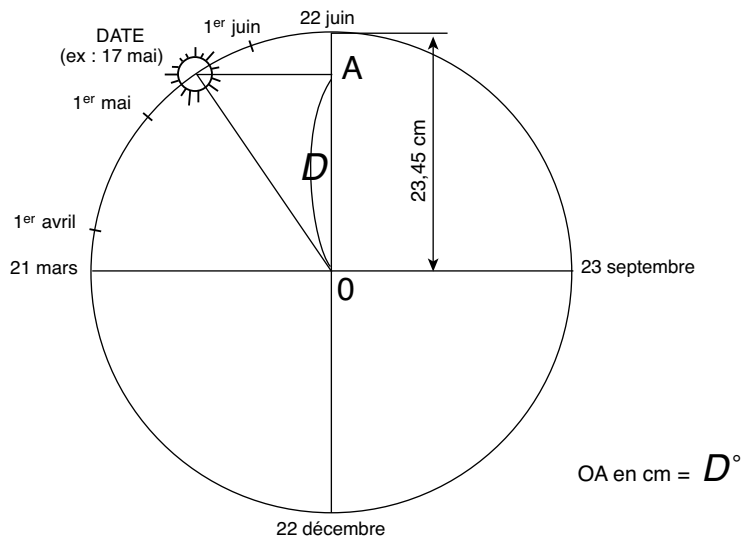


19.4.2.3.4. — Détermination du Nord.

01 19.4.2.3.5. Détermination de la latitude

- 07 La hauteur de l'Étoile Polaire fournit la **latitude** :
- 13 À sa culmination, la hauteur d'un astre fournit aussi la latitude :
- 19 $\phi = h - 1^\circ \times \cos \alpha$
- 25 avec α angle entre le vertical et l'axe Pôle-Cassiopée (voir figure 19.4.2.3.4.).
- 31 À sa culmination, la hauteur d'un astre fournit aussi la latitude : $\phi = (90^\circ - h) + D$
- 37 Si l'on ne dispose pas de table donnant la déclinaison D du soleil, celle-ci peut être grossièrement estimée graphiquement (figure 19.4.2.3.5.).

43



19.4.2.3.5. — Estimation de la déclinaison du soleil.

01 19.4.2.3.6. Estimation de la distance d'un amer

- 07 L'apparition à l'horizon d'un amer connu (ex : phare) d'une hauteur h en mètres au-dessus du niveau de la mer situe l'embarcation à une distance en milles de cet amer égale à $D = 2\sqrt{h}$.

Pas de texte

Chapitre 20

ANNEXES

01 20.1. Annexe A – Échelle anémométrique Beaufort

07 (Pour une hauteur standard de 10 mètres au-dessus du niveau de la mer).

13 Sous les planches 20.1.A. et 20.1.B. de l'échelle anémométrique Beaufort, le nota signalé par un astérisque (*) concerne uniquement la dernière colonne.

19

Chiffre Beaufort	Terme descriptif	Équivalent de vitesse à une hauteur standard de 10 m au-dessus du niveau de la mer ou d'un terrain plat et découvert		Spécifications			Hauteurs(*) probables des vagues en mètres
		Vitesse moyenne en nœuds	m/s	Sur terre	Au large	Près des côtes	
0	Calme	< 1	0-0,2	Calme ; la fumée s'élève verticalement.	La mer est comme un miroir.	Calme.	—
1	Très légère brise	1-3	0,3-1,5	La direction du vent est révélée par l'entraînement de la fumée, mais non par les girouettes.	Il se forme des rides ressemblant à des écailles de poisson, mais sans aucune écume.	Les barques de pêche ont juste un peu d'erre.	0,1 (0,1)
2	Légère brise	4-6	1,6-3,3	Le vent est perçu au visage ; les feuilles frémissent ; une girouette ordinaire est mise en mouvement.	Vaguelettes, courtes encore, mais plus accusées ; leurs crêtes ont une apparence vitreuse, mais elles ne déferlent pas.	Le vent gonfle la voilure des barques qui filent environ 1 ou 2 nœuds.	0,2 (0,3)
3	Petite brise	7-10	3,5-5,4	Feuilles et petites branches constamment agitées ; le vent déploie les drapeaux légers.	Très petites vagues ; les crêtes commencent à déferler ; écume d'aspect vitreux, parfois quelques moutons épars.	Les barques commencent à gîter et filent 3 ou 4 nœuds.	0,6 (1)
4	Jolie brise	11-16	5,5-7,9	Le vent soulève la poussière et les feuilles de papier ; les petites branches sont agitées.	Petites vagues devenant plus longues ; moutons assez nombreux.	Jolie brise efficace ; les barques portent toutes leur toile et prennent une bonne gîte.	1 (1,5)
5	Bonne brise	17-21	8,0-10,7	Les arbustes en feuilles commencent à se balancer ; de petites vagues avec crêtes se forment sur les eaux intérieures.	Vagues modérées prenant une forme nettement plus allongée ; de nombreux moutons (éventuellement quelques embruns).	Les barques diminuent leur toile.	2 (2,5)
6	Vent frais	22-27	10,8-13,8	Les grandes branches sont agitées ; les fils télégraphiques font entendre un sifflement ; l'usage des parapluies est rendu difficile.	Des lames commencent à se former ; les crêtes d'écume blanche sont partout plus étendues (habituellement quelques embruns).	Les barques prennent deux ris à la grand-voile ; la pêche exige des précautions.	3 (4)

(*) Cette colonne est conçue pour servir uniquement de guide indiquant grosso modo ce qu'il faut s'attendre à rencontrer en haute mer, loin des côtes. Elle ne doit jamais être utilisée en sens inverse pour déterminer ou transmettre l'état de la mer (voir également le code S, tableau 7.1.2.4). Dans les mers intérieures ou près des côtes, avec un vent de terre, la hauteur des vagues sera plus petite et leur escarpement plus fort. Les chiffres entre parenthèses indiquent la hauteur maximale probable des vagues.

20.1.A. — Échelle anémométrique Beaufort (de 0 à 6).

Chiffre Beaufort	Terme descriptif	Équivalent de vitesse à une hauteur standard de 10 m au-dessus du niveau de la mer ou d'un terrain plat et découvert		Spécifications			Hauteurs(*) probables des vagues en mètres
		Vitesse moyenne en nœuds	m/s	Sur terre	Au large	Près des côtes	
7	Grand frais	28-33	13,9-17,1	Les arbres sont agités en entier ; la marche contre le vent est pénible.	La mer grossit ; l'écume blanche provenant des lames déferlantes commence à être soufflée en traînées qui s'orientent dans le lit du vent.	Les barques restent au port ; celles qui sont en mer gagnent un mouillage.	4 (5,5)
8	Coup de vent	34-40	17,2-20,7	Le vent casse des branches ; la marche contre le vent est en général impossible.	Lames de hauteur moyenne et plus allongées ; du bord supérieur de leurs crêtes commencent à se détacher des tourbillons d'embruns ; l'écume est soufflée en très nettes traînées orientées dans le lit du vent.	Toutes les barques rallient le port s'il est proche.	5,5 (7,5)
9	Fort coup de vent	41-47	20,8-24,4	Le vent occasionne de légers dommages aux habitations (arrachement de tuyaux, de cheminées et d'ardoises).	Grosses lames ; épaisses traînées d'écume dans le lit du vent, les crêtes des lames commencent à vaciller, s'écrouler et déferler en rouleaux ; les embruns peuvent réduire la visibilité.		7 (10)
10	Tempête	48-55	24,5-28,4	Rare à l'intérieur des terres ; arbres déracinés ; importants dommages aux habitations.	Très grosses lames à longues crêtes en panache ; l'écume produite s'agglomère en larges bancs et est soufflée dans le lit du vent en épaisses traînées blanches ; dans son ensemble, la surface des eaux semble blanche ; le déferlement en rouleaux devient intense et brutal ; la visibilité est réduite.		9 (12,5)
11	Violente tempête	56-63	28,5-32,6	Très rarement observé ; s'accompagne de ravages étendus.	Lames exceptionnellement hautes (les navires de petit et de moyen tonnage peuvent par instant être perdus de vue) ; la mer est complètement recouverte de bancs d'écume blanche allongés dans la direction du vent ; partout, le bord des crêtes des lames est soufflé et donne de la mousse ; la visibilité est réduite.		11,5 (16)
12	Ouragan	64 ou plus	32,7 ou plus		L'air est plein d'écume et d'embruns ; la mer est entièrement blanche du fait des bancs d'écume dérivants ; la visibilité est très fortement réduite.		14 (—)
(*) Cette colonne est conçue pour servir uniquement de guide indiquant grosso modo ce qu'il faut s'attendre à rencontrer en haute mer, loin des côtes. Elle ne doit jamais être utilisée en sens inverse pour déterminer ou transmettre l'état de la mer (voir également le code S, tableau 7.1.2.4). Dans les mers intérieures ou près des côtes, avec un vent de terre, la hauteur des vagues sera plus petite et leur escarpement plus fort. Les chiffres entre parenthèses indiquent la hauteur maximale probable des vagues.							

20.1.B. — Échelle anémométrique Beaufort (de 7 à 12).

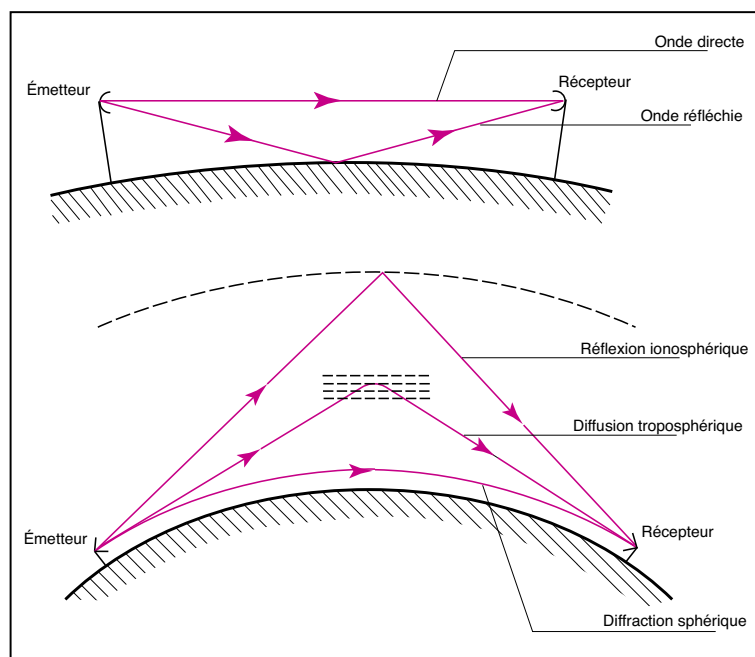
01 20.2. Annexe B – Propagation des ondes électromagnétiques

07 Outre un développement plus complet sur la propagation des ondes électromagnétiques que celui présenté ci-après, on trouvera dans le chapitre 1. de l'ouvrage *Radionavigation maritime* des développements intitulés *Précision d'un système de radionavigation*, *Classement des systèmes de radionavigation* et *Géodésie et navigation*.

01 20.2.1. Types de propagation

- 07 Entre un émetteur et un récepteur, les **ondes électromagnétiques** peuvent se propager :
- par *onde directe*, en ligne droite, s'il n'y a pas d'obstacle entre les deux ;
 - par **réflexion** sur le sol ou la surface de la mer. Cette onde peut être utile en renforçant l'onde directe, mais le plus souvent elle est nuisible car elle crée des interférences avec l'onde directe ;
 - par *onde de surface* (ou *onde de sol*) si la longueur d'onde est suffisamment grande. Les discontinuités rencontrées sur le trajet (en particulier les grands espaces continentaux, et le franchissement du littoral) perturbent la phase, la polarisation et l'amplitude de l'onde électromagnétique ;
 - par *onde de ciel* par réflexion sur les couches ionisées de l'atmosphère. La réflexion se produit lorsque la **réfraction** subie par l'onde électromagnétique lors de son passage dans ces couches devient suffisante. Ces couches varient en fonction de l'activité solaire et l'onde de ciel est toujours perturbée et instable, en particulier sa phase est fluctuante. Lorsque l'**onde de ciel** et l'**onde de surface** coexistent, on observe des **interférences** fluctuantes entre les deux (*fading*) ;
 - dans le « *guide d'onde* » formé par le sol et la première couche de l'ionosphère si la fréquence est suffisamment basse (cas de la bande VLF entre 3 et 30 kHz).

13



20.2.1. — Propagation des ondes électromagnétiques.

01 20.2.2. Propagation des ondes selon leur fréquence

07

Longueur d'onde	Bande	Fréquence	Type de propagation - caractéristiques	Utilisation		
1 mm	EHF	300 GHz	Onde directe (plus diffusion troposphérique) Réflexion sur les obstacles Directivité très facilement atteinte	RADARS GPS GALILEO GLONASS		
1 cm		SHF			30 GHz	
10 cm	UHF				3 GHz	
1 m		VHF			300 MHz	
10 m	HF		150 MHz	Pas d'onde de surface Onde directe et onde de ciel sporadique	RADIOCOMMUNICATIONS MARITIMES	
		30 MHz				
100 m	MF	6 MHz				
		3 MHz	Onde de surface très vite absorbée Onde ionosphérique très intéressante (portée mondiale sans interférence)			
		2 MHz	Onde de surface atténuée Onde ionosphérique (réflexion sur les couches E et F) excellent rendement moyenne portée			
			Onde de surface prépondérante Onde ionosphérique absorbée de jour par les couches D et E, de nuit réflexion sur les couches E et F avec évanouissements lents Interférences entre l'onde de ciel et de surface Faible niveau des parasites atmosphériques, minimum vers 2 MHz			
1 km	LF	300 kHz	Onde de surface prépondérante Onde ionosphérique importante de nuit et pratiquement inexistante de jour Niveau des parasites atmosphériques important Effets de « fading » interférence onde de surface et onde ionosphérique			GPS LORAN C
10 km		VLF	30 kHz			
100 km			3 kHz	Onde de surface très peu atténuée Propagation type « guide d'onde » constitué par la terre et les couches ionisées (D et E). Prédominance de l'onde ionosphérique à grande distance Variation brutale de l'absorption au coucher du soleil Niveau important des parasites atmosphériques Pénétration dans l'eau de mer (quelques mètres)		

20.2.2. — Propagation des ondes selon leur fréquence.

01 **20.3. Annexe C – Notations utilisées en navigation astronomique**01 **20.3.1. Signes et abréviations**

07

SIGNES

☉ Soleil

★ Étoile

γ Point vernal

Nouvelle Lune N.L. ●
 Premier Quartier P.Q. ☾

Pleine Lune P.L. ○
 Dernier Quartier D.Q. ☾

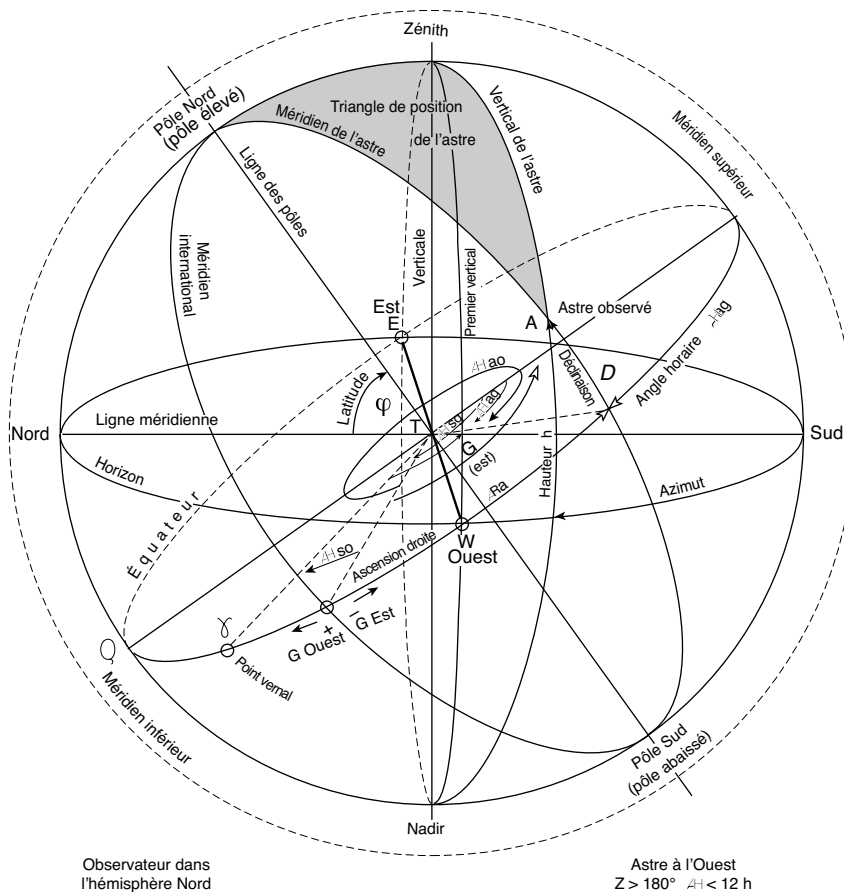
ABRÉVIATIONS ET ÉQUIVALENCES

1° Un degré	1' 1 minute de degré	1" 1 seconde de degré
1h Une heure	1 min 1 minute d'heure	1s 1 seconde d'heure
1h 15°	1 min 15'	1s 15"
1° 4min	1' 4s	0,4s 0,1'

20.3.1. — Signes et abréviations.

01 **20.3.2. Coordonnées sphériques**

07



20.3.2. — Ensemble des coordonnées sphériques utilisées en navigation astronomique.

01 20.3.2.1. Temps

07

Symbole	Origine	Astre	Méridien du lieu	Signification
UT ou Tco.....	méridien supérieur	Soleil civil	Greenwich	Temps Universel ou Angle horaire du Soleil civil à Greenwich
Tcg.....	»	»	Lieu de longitude G	Angle Horaire du Soleil civil au lieu G ou Temps local
Tcn.....	»	»	axe du fuseau n	Temps du fuseau n

20.3.2.1. — Temps.

01 20.3.2.2. Coordonnées géographiques

07

Symbole	Origine	Sens	Signification
φ	Équateur	+ vers N – vers S	Latitude géographique du lieu de 0° à 90° sur le méridien du lieu
G.....	Méridien de Greenwich	+ vers W – vers E	Longitude géographique du lieu de 0° à 180° sur l'équateur

20.3.2.2. — Coordonnées géographiques.

01 20.3.2.3. Coordonnées horizontales

07

Symbole	Origine	Astre	Sens	Signification
Z	Nord	Astre quelconque	Rétrograde	Azimut de 0° à 360° sur l'horizon
Z	Pôle élevé	»	Vers E ou W	Azimut de 0° à 180° sur l'horizon
α	Point E ou W	»	+ vers N – vers S	Amplitude de 0° à 90° du point E ou W le plus proche vers l'astre
h	Horizon	»	Vers l'astre	Hauteur de 0° à 90° sur le vertical de l'astre Hauteur observée = hauteur instrumentale corrigée Hauteur apparente = hauteur observée – dépression Hauteur vraie du centre de l'astre = hauteur apparente – réfraction + parallaxe $\pm 1/2$ diamètre
ξ	Zénith	»	Vers l'astre	Distance zénithale de 0° à 180° sur le vertical de l'astre

20.3.2.3. — Coordonnées horizontales.

01 20.3.2.4. Coordonnées horaires

07

Symbole	Origine	Astre	Sens	Signification
AH	Méridien supérieur	Astre quelconque	Rétrograde	Angle Horaire de 0° à 24° sur l'équateur céleste
$AHvg$	Méridien supérieur du lieu	Soleil vrai	»	Angle horaire du soleil vrai au lieu de longitude G
$AHsg$	»	Point vernal	»	Angle horaire du point vernal au lieu de longitude G
$AHag$	»	Astre A	»	Angle horaire de l'Astre A au lieu de longitude G
P	»	Astre quelconque	Vers l'astre	Angle au pôle de l'astre au lieu de longitude G de 0h à 12h sur l'équateur céleste (astre à l'Ouest : $P = AHag$; astre à l'Est : $P = 24h - AHag$)
$AHvo$	Méridien de Greenwich	Soleil vrai	Rétrograde	Angle horaire du soleil vrai à Greenwich
$AHso$	»	Point vernal	»	Angle horaire du point vernal à Greenwich
$AHao$	»	Astre A	»	Angle horaire de l'astre A à Greenwich
D	Équateur céleste	Astre quelconque	+ vers Pôle N – vers Pôle S	Déclinaison de 0° à 90° sur le cercle horaire de l'astre
δ	Pôle élevé	»	Vers l'astre	Distance polaire de 0° à 180° sur le cercle horaire de l'astre ($\delta + D = 90^\circ$ algébriquement)

20.3.2.4. — Coordonnées horaires.

01 20.3.2.5. Coordonnées équatoriales

07

Symbole	Origine	Astre	Sens	Signification
Av	Point vernal	Soleil vrai	Direct	Ascension droite du soleil vrai de 0h à 24h
Ara	»	Astre A quelconque	»	Ascension droite de l'astre A de 0h à 24h
A/a	»	»	Rétrograde	Ascension verse = $360^\circ - Ara$ ou $24h - Ara$
D et δ	voir § 20.3.2.4. ci-dessus.			

20.3.2.5. — Coordonnées équatoriales.

01 20.3.3. Relations entre les coordonnées et les temps

07

$$\begin{aligned} A_{Hao} &= A_{Hso} + A/a = A_{Hso} - A_{Ra} \text{ à } 24 \text{ h ou } 360^\circ \text{ près} \\ A_{Hvo} &= A_{Hso} + A/v = A_{Hso} - A_{Rv} \text{ à } 24 \text{ h ou } 360^\circ \text{ près} \end{aligned}$$

$$A_{Hao} = A_{Hag} + G \text{ algébriquement}$$

$$A_{Hvo} = A_{Hvg} + G \text{ algébriquement}$$

$$T_{co} = T_{cg} + G \text{ algébriquement}$$

$$T_{co} = T_{cn} + n \text{ algébriquement}$$

(avec n numéro du fuseau horaire)

et dans le triangle de position :

$$\sin h = \sin \varphi \sin D + \cos \varphi \cos D \cos (A_{Hao} - G)$$

$$\cot Z = \frac{\sin \varphi}{\tan (A_{Hao} - G)} - \frac{\tan D \cos \varphi}{\sin (A_{Hao} - G)}$$

$$\sin Z = - \frac{\cos D \sin (A_{Hao} - G)}{\cos h}$$

20.3.3. — Relations entre les coordonnées et les temps.

01 **20.4. Annexe D – Distances entre ports et points de passage**01 **20.4.1. Distances en milles entre les principaux ports de France**

07

PORTS	DUNKERQUE	LE HAVRE	CHERBOURG	SAINT-MALO	BREST	LORIENT	SAINT-NAZAIRE	LA PALLICE	BORDEAUX	BAYONNE	PORT-VENDRES	SÈTE	MARSEILLE	TOULON	NICE	AJACCIO	BASTIA
Dunkerque	—	140	177	260	352	419	472	539	621	656	1 906	1 948	1 972	1 988	2 052	2 040	2 125
Le Havre	140	—	72	157	251	321	375	444	526	558	1 805	1 847	1 871	1 887	1 951	1 934	2 024
Cherbourg	177	72	—	87	180	255	310	379	454	492	1 735	1 777	1 801	1 817	1 881	1 869	1 954
Saint-Malo	260	157	87	—	150	224	279	348	423	461	1 704	1 746	1 770	1 786	1 850	1 838	1 923
Brest	352	251	180	150	—	100	143	210	300	332	1 577	1 619	1 643	1 659	1 723	1 711	1 796
Lorient	419	321	255	224	100	—	66	141	220	268	1 574	1 616	1 640	1 656	1 720	1 708	1 793
Saint-Nazaire	472	375	310	279	143	66	—	98	174	240	1 587	1 629	1 653	1 669	1 733	1 721	1 806
La Pallice	539	444	379	348	210	141	98	—	101	167	1 592	1 634	1 658	1 674	1 738	1 726	1 811
Bordeaux	621	526	454	423	300	220	174	101	—	185	1 640	1 682	1 706	1 722	1 786	1 744	1 859
Bayonne	656	558	492	461	332	268	240	167	185	—	1 557	1 599	1 623	1 639	1 703	1 691	1 776
Port-Vendres	1 906	1 805	1 735	1 704	1 577	1 574	1 587	1 592	1 640	1 557	—	60	110	134	203	259	305
Sète	1 948	1 847	1 777	1 746	1 619	1 616	1 629	1 634	1 682	1 599	60	—	73	106	175	248	278
Marseille	1 972	1 871	1 801	1 770	1 643	1 640	1 653	1 658	1 706	1 623	110	73	—	40	110	176	209
Toulon	1 988	1 887	1 817	1 786	1 659	1 656	1 669	1 674	1 722	1 639	134	106	40	—	76	144	178
Nice	2 052	1 951	1 881	1 850	1 723	1 720	1 733	1 738	1 786	1 703	203	175	110	76	—	131	124
Ajaccio	2 040	1 934	1 869	1 838	1 711	1 708	1 721	1 726	1 774	1 691	259	248	176	144	131	—	118
Bastia	2 125	2 024	1 954	1 923	1 796	1 793	1 806	1 811	1 859	1 776	305	278	209	178	124	118	—

20.4.1. — Distances en milles entre les principaux ports de France.

01 20.4.2. Distances moyennes en milles entre certains ports importants du monde

07

PORTS	EUROPEAN PORTS																										AFRICAN PORTS																ASIAN PORTS																AMERICAN PORTS																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
	Dunkerque	Le Havre	Brest	Bordeaux	Gibraltar	Marseille	Alger	Casablanca	Dakar	Hô Chi Minh-Ville (Saigon)	Londres (London)	Liverpool	Istanbul	Port-Saïd	Colombo	Singapore (Singapour)	Hong Kong	Shanghai	Yokahama	New York	Colon	Buenos Aires	San Francisco	Sydney	Cape Town	Dunkerque	Le Havre	Brest	Bordeaux	Gibraltar	Marseille	Alger	Casablanca	Dakar	Hô Chi Minh-Ville (Saigon)	Londres (London)	Liverpool	Istanbul	Port-Saïd	Colombo	Singapore (Singapour)	Hong Kong	Shanghai	Yokahama	New York	Colon	Buenos Aires	San Francisco	Sydney	Cape Town																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
CAPE TOWN	6 120	5 978	5 732	5 798	5 100	5 791	5 510	4 950	3 651	6 205	6 146	6 088	6 138	5 332	4 465	5 691	6 872	7 605	8 417	6 787	6 479	3 713	9 767	—	6 120	5 978	5 732	5 798	5 100	5 791	5 510	4 950	3 651	6 205	6 146	6 088	6 138	5 332	4 465	5 691	6 872	7 605	8 417	6 787	6 479	3 713	9 767	—																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
SYDNEY	11 538	11 430	11 206	11 276	9 165	9 855	9 845	10 445	10 326	4 370	11 578	11 532	9 137	8 331	5 194	4 222	4 382	4 642	4 330	9 691	7 717	6 789	6 448	6 053	11 538	11 430	11 206	11 276	9 165	9 855	9 845	10 445	10 326	4 370	11 578	11 532	9 137	8 331	5 194	4 222	4 382	4 642	4 330	9 691	7 717	6 789	6 448	6 053																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
SAN FRANCISCO	8 078	7 895	7 708	7 708	7 618	8 308	8 035	7 535	6 982	6 878	8 045	7 929	9 415	9 546	8 331	5 332	4 222	4 382	4 642	4 330	9 691	7 717	6 789	6 448	6 053	8 078	7 895	7 708	7 708	7 618	8 308	8 035	7 535	6 982	6 878	8 045	7 929	9 415	9 546	8 331	5 332	4 222	4 382	4 642	4 330	9 691	7 717	6 789	6 448	6 053																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
BUENOS AIRES	6 260	6 167	5 927	5 927	5 320	6 009	5 728	5 169	3 866	6 982	6 335	6 269	7 156	7 223	7 965	9 292	7 350	6 044	4 536	5 262	3 288	—	7 834	6 260	6 167	5 927	5 927	5 320	6 009	5 728	5 169	3 866	6 982	6 878	8 045	7 929	9 415	9 546	8 331	5 332	4 222	4 382	4 642	4 330	9 691	7 717	6 789	6 448	6 053																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
COLON	4 700	4 607	4 420	4 420	4 330	5 020	4 747	4 244	3 694	10 231	4 757	4 641	6 127	6 251	9 732	10 549	9 239	8 651	7 726	1 974	—	5 472	3 288	—	4 700	4 607	4 420	4 420	4 330	5 020	4 747	4 244	3 694	4 757	4 641	6 127	6 251	9 732	10 549	9 239	8 651	7 726	1 974	—	5 472	3 288	—																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
NEW YORK	3 346	3 217	3 082	3 082	3 185	3 892	3 619	3 160	3 335	10 790	3 367	3 251	4 999	5 115	8 596	10 141	11 213	10 625	9 700	—	1 974	—	7 834	3 346	3 217	3 082	3 082	3 185	3 892	3 619	3 160	3 335	3 251	4 999	5 115	8 596	10 141	11 213	10 625	9 700	—	1 974	—	7 834	3 346	3 217	3 082	3 082																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
YOKOHAMA	11 145	11 050	10 830	10 830	9 865	9 475	9 465	10 055	11 429	2 419	11 198	11 152	8 757	7 915	4 470	2 889	1 585	1 040	—	9 700	7 726	10 783	5 262	6 448	11 145	11 050	10 830	10 830	10 896	9 865	9 475	9 465	10 055	11 429	2 419	11 198	11 152	8 757	7 915	4 470	2 889	1 585	1 040	—	9 700	7 726	10 783	5 262	6 448																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
SHANGHAI	10 463	10 368	10 148	10 148	9 183	8 793	8 783	9 373	10 747	1 679	10 516	10 470	8 075	7 233	3 788	2 207	824	—	1 040	9 700	7 726	10 783	5 262	6 448	10 463	10 368	10 148	10 148	9 183	8 793	8 783	9 373	10 747	1 679	10 516	10 470	8 075	7 233	3 788	2 207	824	—	1 040	9 700	7 726	10 783	5 262	6 448																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
HONG KONG	9 710	9 615	9 365	9 365	8 430	8 040	8 030	8 620	9 994	9 17	9 763	9 717	7 322	6 480	3 035	1 454	—	824	1 585	1 040	9 700	7 726	10 783	5 262	6 448	9 710	9 615	9 365	9 365	8 430	8 040	8 030	8 620	9 994	9 17	9 763	9 717	7 322	6 480	3 035	1 454	—	824	1 585	1 040	9 700	7 726	10 783	5 262	6 448																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
SINGAPORE (Singapour)	8 256	8 161	7 941	7 941	6 976	6 586	6 576	7 166	8 540	649	8 309	8 263	5 868	5 026	1 581	—	1 454	2 207	2 889	1 585	1 040	9 700	7 726	10 783	5 262	8 256	8 161	7 941	7 941	6 976	6 586	6 576	7 166	8 540	649	8 309	8 263	5 868	5 026	1 581	—	1 454	2 207	2 889	1 585	1 040	9 700	7 726	10 783	5 262	6 448																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
COLOMBO	6 675	6 580	6 356	6 356	5 395	5 005	4 995	5 585	6 959	2 230	6 728	6 682	4 287	3 481	—	1 581	—	1 454	2 207	2 889	1 585	1 040	9 700	7 726	10 783	5 262	6 675	6 580	6 356	6 356	5 395	5 005	4 995	5 585	6 959	2 230	6 728	6 682	4 287	3 481	—	1 581	—	1 454	2 207	2 889	1 585	1 040	9 700	7 726	10 783	5 262	6 448																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
PORT-SAÏD	3 193	3 099	2 875	2 875	1 913	1 524	1 514	2 104	3 478	5 675	3 247	3 201	806	—	3 481	5 026	1 581	—	1 454	2 207	2 889	1 585	1 040	9 700	7 726	10 783	5 262	3 193	3 099	2 875	2 875	1 913	1 524	1 514	2 104	3 478	5 675	3 247	3 201	806	—	3 481	5 026	1 581	—	1 454	2 207	2 889	1 585	1 040	9 700	7 726	10 783	5 262	6 448																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
ISTANBUL	3 080	2 883	2 755	2 755	1 800	1 380	1 395	1 990	3 306	6 481	3 133	3 087	—	806	—	5 026	1 581	—	1 454	2 207	2 889	1 585	1 040	9 700	7 726	10 783	5 262	3 080	2 883	2 755	2 755	1 800	1 380	1 395	1 990	3 306	6 481	3 133	3 087	—	806	—	3 481	5 026	1 581	—	1 454	2 207	2 889	1 585	1 040	9 700	7 726	10 783	5 262	6 448																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
LIVERPOOL	610	510	410	694	1 288	1 978	1 705	1 304	2 519	8 876	662	—	3 087	3 201	6 682	8 263	9 717	10 470	11 152	3 251	4 641	6 269	6 335	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269	6 269</

20.4.2. — Distances moyennes en milles entre certains ports importants du monde.

01 20.4.3. Distances moyennes en milles entre certains points de passage importants du monde

07

	Kiel (canal) 54° 22' N — 10° 09' E	Ouessant 48° 40' N — 5° 30' W	Gibraltar (détroit) 35° 57' N — 5° 45' W	Port-Saïd (canal de Suez) 31° 16' N — 32° 19' E	Good Hope (cape) 34° 22' S — 18° 23' E	Montréal 45° 30' N — 73° 33' W	Floride (détroit) 24° 25' N — 83° 00' W	Panama (canal) 8° 53' N — 79° 31' W	Punta Arenas 53° 10' S — 70° 54' W	Torrès (détroit) 10° 33' S — 142° 08' E	Melbourne 39° 10' S — 146° 26' E	Singapore (détroit) 1° 16' N — 103° 50' E
Singapore (détroit)	8 597	7 881	6 963	5 020	5 580	12 106	11 860	10 805	9 727	2 510	3 928	—
Melbourne	11 446	10 730	9 812	7 869	6 184	10 974	8 825	7 770	5 305	2 760	—	3 928
Torrès (détroit)	11 002	10 286	4 009	7 425	6 890	11 654	9 505	8 450	7 220	—	2 760	2 510
Punta Arenas	7 702	6 986	6 352	8 295	4 260	7 520	6 830	3 930	—	7 220	5 305	9 727
Panama (canal)	5 115	4 425	4 350	6 293	6 489	3 204	1 055	—	3 930	8 450	7 770	10 805
Floride (détroit)	4 597	3 900	4 020	5 963	6 780	2 510	—	1 055	6 830	9 505	8 825	11 860
Montréal	3 557	2 760	3 200	5 143	7 134	—	2 510	3 204	7 520	11 654	10 974	12 106
Good Hope (cape)	6 462	5 746	5 082	5 340	—	7 134	6 780	6 489	4 260	6 890	6 184	5 580
Port-Saïd (canal de Suez)	3 577	2 861	1 943	—	5 340	5 143	5 963	6 293	8 295	7 425	7 869	5 020
Gibraltar (détroit)	1 634	918	—	1 943	5 082	3 200	4 020	4 350	6 352	4 009	9 812	6 963
Ouessant	716	—	918	2 861	5 746	2 760	3 900	4 425	6 986	10 286	10 730	7 881
Kiel (canal)	—	716	1 634	3 577	6 462	3 557	4 597	5 115	7 702	11 002	11 446	8 597

20.4.3. — Distances moyennes en milles entre certains points de passage importants du monde.

Pas de texte

Index

Index alphabétique

A

abaque orthodromique.....	15.3.4.1. 49
accroupissement.....	12.4.1. 07
âge de la marée.....	7.3.4.2. 13
AIS (système d'identification automatique).....	3.1.8.1. 07
alignement optique.....	8.3. 07
amer.....	8.2.2. 07
amplificateur électronique d'écho radar.....	9.3.1.2. 07
ancre flottante.....	19.1.1.4. 19
anémomètre.....	3.1.5.2. 07
arcs capables, point par.....	8.4.1. 07
ARPA.....	3.1.7.6.5. 01
atterrissage.....	17.1. 07
avance.....	13.2.1. 07
Azimut par l'heure.....	16.6.1. 01

B

balises radar.....	9.3.2. 07
banquise.....	19.2.1.3.1. 07
banquise, traversée de la.....	19.2.1.3.3. 13
barre.....	7.1.3.3. 13
brisants.....	7.1.3.3. 19
brise de mer.....	6.2.3.1. 13
brouillard.....	6.3.3. 07
brume.....	6.3.3. 07
Buys-Ballot, loi de.....	6.2.2.3. 07

C

calculatrices de navigation.....	16.5.2.3. 07
cap.....	3.1.1.1. 07
cape.....	19.1.1.2. 13
carte conforme oblique.....	15.3.4.3. 07
carte gnomonique.....	15.3.4.1. 19
carte Mercator.....	15.2.2.2. 07
cartes à projection stéréographique polaire.....	19.2.2.3. 13
cavalement.....	7.1.2.3. 19
cayes.....	19.3.2. 61
centrale de navigation tactique.....	3.1.5.5. 07
Centrale inertielle de navigation.....	3.1.3. 01
cercle de hauteur.....	16.1.2. 13
cercle d'évitage.....	14.4.3. 07

Chaïka.....	4.3.1.1. 13
chasse.....	14.4.3. 07
chenalage.....	13.1. 13
Circulation générale de l'atmosphère.....	6.2.1. 01
circumméridienne.....	16.5.4.1. 13
coefficient de marée.....	7.3.4.2. 37
compas, Compensation du.....	3.1.1.2.2. 29
compas, régulation du.....	3.1.1.2.2. 73
compas de relèvement.....	3.1.1.3.1. 25
compas électronique à saturation « Fluxgate ».....	3.1.1.4.1. 07
compas gyroscopique.....	3.1.1.5.1. 13
Compas magnétique.....	3.1.1.2. 01
condensation.....	6.3.1. 07
conditions météorologiques, effet sur la navigation des.....	18.1.2.2. 07
Coordonnées équatoriales.....	20.3.2.5. 01
Coordonnées géographiques.....	20.3.2.2. 01
Coordonnées horaires.....	20.3.2.4. 01
Coordonnées horizontales.....	20.3.2.3. 01
coraux.....	19.3.1. 07
Coriolis, force de.....	6.2.2.3. 07
correction Givry.....	15.3.1. 25
courant de dérive.....	7.2.2.2. 13
courant de pente, ou de gradient.....	7.2.2.3. 07
courant d'inertie.....	7.2.2.2. 19
courants de densité.....	7.2.2.4. 07
courants de marée.....	7.3.8.1. 07
Courants océaniques.....	7.2.1. 01
courbe de marée.....	7.3.1.2. 07
courbes-types de marée.....	7.3.7.3. 13
CPA d'un navire.....	3.1.7.6.2. 01
crépuscule nautique.....	16.4.4. 13
culmination.....	16.5.4.2. 07
cyclone.....	19.1.2.5. 13
cyclone, conduite à tenir à l'approche d'un.....	19.1.2.6. 06

D

déclinaison magnétique.....	3.1.1.2.2. 05
décotes.....	7.4.3.1. 13
démagnétisation « Degaussing ».....	3.1.1.2.2. 93
dépression atmosphérique.....	6.4.3. 07
dérive.....	3.1.2.8.3. 01
dérive.....	10.2.1. 13
déviation du compas.....	3.1.1.2.2. 85
DGPS.....	4.2.2.6. 07
Diffraction d'un front de vagues.....	7.1.3.5. 01
distance de sécurité ou de garde radar.....	9.4.5. 07
double écho.....	3.1.4.8.1. 07
droite de hauteur.....	16.5.1.4. 07

E

eaux resserrées.....	13.1. 07
ECDIS en mode RCDS.....	3.1.10.3.5. 01
échelle anémométrique Beaufort.....	20.1. 13
EGNOS.....	4.2.5. 37
Electronic chart display and information system.....	3.1.10.3. 01
Electronic chart display and information system.....	3.1.10.3.1. 01
Electronic chart display and information system.....	3.1.10.3.3. 01
Electronic chart display and information system.....	3.1.10.3.4. 01
Electronic chart system.....	3.1.10.2. 01
embarcation de sauvetage.....	19.4.1. 07
emploi du GPS en navigation côtière avec des cartes papier.....	12.3.1.2. 01
en zone côtière.....	9.1. 07
e-navigation.....	5. 13
Erreurs de mesure des écho-sondeurs.....	3.1.4.7. 01
estime.....	15.2.3.2. 31
estime, calculateurs d'.....	10.6. 13
estime, construction graphique de l'.....	10.3.1. 13

estime, formules exactes de l'.....	15.2.3.1. 07
estime, zone d'incertitude de l'.....	10.3.2. 13
estime au large.....	15.1.1. 07
étoile Polaire.....	16.5.4.4. 07

F

fetch.....	7.1.2.1. 07
Filage d'huile.....	19.1.1.5. 01
flot.....	7.3.8.3. 07
flux.....	7.3.1.2. 19
front.....	6.4.2. 13
fuite vent arrière.....	19.1.1.3. 07
fuseau, temps du.....	16.2.3.1. 13
fuseau horaire.....	16.2.3.1. 07

G

girouette.....	3.1.5.3. 07
givrage des navires.....	19.2.1.4. 01
GLONASS.....	4.2.3.1. 07
gnomonique.....	15.3.4.1. 43
GNSS.....	4.2.5. 07
GPS différentiel.....	4.2.2.6. 07
GPS (Global Positioning System).....	4.2.2. 13
grains.....	6.5.2. 07
gyrolaser.....	3.1.3.4. 31
gyroscope directionnel.....	19.2.2.2. 13

H

hauteur d'eau due à la marée.....	7.3.7.1. 07
houle.....	7.1.1. 19
houles, croisement de.....	7.1.1. 25
huile, filage de l'.....	19.1.1.5. 13
humidité dans l'atmosphère.....	6.3.1. 01

I

IBS.....	3.2.2. 07
icebergs.....	19.2.1.2. 01
icebergs.....	19.2.1.2.1. 07
instabilité de route.....	7.1.2.3. 19
intercept.....	16.5.1.3. 07
interférences.....	20.2.1. 07
isochrones, méthode des.....	18.1.2.4. 19

J

jusant.....	7.3.8.3. 07
-------------	-------------

L

latitude.....	19.4.2.3.5. 07
latitude croissante.....	15.2.3.1. 25
lecteur de cartes.....	3.1.10.2.1. 07
lignes cotidales.....	7.3.3.4. 07
loch à bateau.....	3.1.2.4. 07
loch à hélice.....	3.1.2.5. 07

loch à pression.....	3.1.2.6. 13
loch à turbine.....	3.1.2.5. 19
loch électromagnétique.....	3.1.2.7. 07
loch hollandais.....	3.1.2.3. 07
LORAN C, couverture du système.....	4.3.1.2.1. 19
LORAN C, portée du.....	4.3.1.2.1. 13
LORAN C, précision du.....	4.3.1.2.2. 07
LORAN C, récepteurs.....	3.1.9.3. 07
LORAN C (« LONG Range Navigation »).....	4.3.1.1. 07
loxodromie.....	15.2.1. 07

M

marée, types de.....	7.3.4.1. 01
marées, phénomène des.....	7.3. 13
marnage.....	7.3.1.2. 25
marnage, lieux d'égal.....	7.3.3.4. 07
mascaret.....	7.3.4.7. 13
masses d'air.....	6.4.1. 01
mer du vent.....	7.1.1. 13
Mercator, projection de.....	15.2.2.1. 13
Méridien International.....	16.2.3.1. 07
Méridienne.....	16.5.4.1. 01
mi-marée, niveau de.....	7.3.1.2. 55
moiré, marque de guidage à effet de.....	14.3.1. 13
montant.....	7.3.1.2. 19
morte-eau.....	7.3.4.2. 25
mouillage.....	14.4.2.2. 13
mousson.....	6.2.3.2. 07
moutons.....	7.1.3.3. 07

N

navigation climatologique.....	18.1.2.3. 07
Navigation électronique.....	12.2.2. 01
Navigation en zones de coraux.....	19.3.3. 01
navigation intégrée.....	3.2. 07
navigation météorologique tactique.....	18.3.1. 13
NAVSTAR (Navigation Satellite Timing and Ranging).....	4.2.2. 13
niveau de mi-marée.....	7.3.1.2. 49
niveau moyen.....	7.3.1.2. 31
nuages, Classification des.....	6.3.2.2. 01
nuages de convection.....	6.3.2.3. 07
nuages orographiques.....	6.3.2.3. 19

O

occlusion.....	6.4.2. 31
onde de ciel.....	20.2.1. 07
onde de marée.....	7.3.3.1. 13
onde de surface.....	20.2.1. 07
onde de tempête.....	7.4.3.5. 13
ondes électromagnétiques.....	20.2.1. 07
orage.....	6.5.1. 07
orthodromie.....	15.3.1. 07
orthodromie mixte.....	15.4. 13

P

pack.....	19.2.1.3.1. 07
passerelle intégrée.....	3.2.2. 07
paysage radar.....	9.2. 07
perdant.....	7.3.1.2. 19
Perturbations aux latitudes tempérées.....	6.4.3.1. 01

Perturbations en zone tropicale.....	6.4.3.2. 01
perturbations tropicales, dénomination des.....	19.1.2.1. 25
pied de pilote.....	7.3.7.5. 13
pied de pilote.....	12.1.2. 31
pilonnement.....	7.1.2.3. 25
Pilotage au radar en eaux resserrées.....	13.4. 01
Pilotage en eaux resserrées.....	13.3. 01
pilote automatique.....	3.1.6. 07
planisphère céleste.....	16.4.6.1. 13
point de rosée.....	6.3.1. 07
Point estimé.....	10.3. 01
Point par arcs capables.....	8.4. 01
point par relèvements successifs.....	10.4.2. 13
Point par trois relèvements simultanés.....	8.2. 01
point radar.....	9.4. 01
point substellaire.....	16.1.2. 07
points amphidromiques.....	7.3.3.4. 07
polaires de vitesse.....	18.1.2.2. 25
poursuite des cibles radar (TT pour Target Tracking).....	3.1.7.6.5. 05
profondeur en un point.....	7.4.2. 07
pseudo-distance.....	4.2.2.4.2. 07

R

Racon.....	9.3.2.2. 07
radar, balises.....	9.3.2. 07
radar, portée géographique.....	3.1.7.3.1. 37
radar, résolution en direction.....	3.1.7.2.2. 07
radar, résolution en distance.....	3.1.7.2.3. 19
radar, Zone de garde.....	3.1.7.6.3. 01
Radar de navigation.....	3.1.7. 01
radar de navigation.....	9.1. 07
radar en anticollision.....	3.1.7.6. 01
radiogoniométrie.....	4.3. 13
radionavigation.....	4.1.1. 07
radionavigation au large.....	4.1.2. 07
Ramark.....	9.3.2.1. 07
raz de marée.....	7.4.3.5. 13
raz de marée.....	7.4.3.6. 07
Récepteurs de radionavigation.....	3.1.9. 01
récepteurs GPS et GLONASS.....	3.1.9.2.1. 07
réflecteurs radar.....	9.3.1. 07
réflexion.....	20.2.1. 07
reflux.....	7.3.1.2. 19
réfraction.....	20.2.1. 07
Réfraction d'un front de vagues.....	7.1.3.4. 01
règle des douzièmes.....	7.3.7.4. 13
règle des sixièmes.....	7.3.8.6. 07
règle du pouce.....	12.1.2. 43
relèvement de garde.....	8.2.7. 07
relèvement vrai.....	3.1.1.2.2. 81
ressac.....	7.1.3.6. 07
rives, effets de.....	13.2.2. 13
rose de courant.....	7.3.8.2. 13
roulis.....	7.1.2.3. 13
routage météorologique.....	18.3.2.1. 19

S

seiche.....	7.4.3.7. 07
sextant.....	16.3.1. 07
sonde, localisation par lignes de.....	11.2. 07
sonde à main.....	3.1.4.2. 07
Sondeur.....	3.1.4. 01
sondeur multifaisceaux.....	3.1.4.6.4. 37
surcotes.....	7.4.3.1. 19
surenfoncement.....	12.4.1. 13
surenfoncement, évaluation du.....	12.4.2. 07
système nuageux.....	6.4.3.1.2. 07

systèmes de.....	3.2.2. 07
systèmes de navigation intégrés (INS).....	3.2.1.1. 07
systèmes de positionnement par satellites.....	4.2.1. 07
systèmes géodésiques.....	12.3.1.1. 01
syzygies.....	7.3.4.2. 13

T

table traçante.....	10.6. 19
table traçante.....	13.4.3. 07
tableaux de courants.....	7.3.8.7. 25
tables de navigation.....	15.2.3.2. 07
tables de navigation.....	16.5.2.2. 01
tangage.....	7.1.2.3. 25
taximètre.....	8.4.1. 07
télémètre optique.....	8.5. 13
Temps.....	20.3.2.1. 01
temps du fuseau.....	16.2.3.1. 01
Temps Universel.....	16.2.2.2. 07
Temps Universel Coordonné UTC.....	16.2.2.3. 01
traceur de cartes.....	3.1.10.2.1. 07
transfert.....	13.2.1. 07
triangle de position.....	16.5.1.2. 07
trombe marine.....	6.5.3. 07
tsunami.....	7.4.3.6. 07
tube de Pitot.....	3.1.2.6. 07

V

vague anormale.....	7.1.4.1. 07
vagues.....	7.1.3.1. 01
vagues, Effet sur un navire des.....	7.1.2.3. 01
Vagues déferlantes.....	7.1.3.3. 01
vagues scélérates.....	7.1.4.1. 13
vaporisation, chaleur latente de.....	6.3.1. 07
variation.....	3.1.1.2.2. 09
variation grille.....	19.2.2.4. 31
variation gyroscopique.....	3.1.1.5.4. 31
vent.....	6.2.2.1. 07
vent catabatique.....	6.2.3.3. 07
vent d'afflux.....	7.4.3.3. 13
vent de reflux.....	7.4.3.3. 07
vitesse fond.....	3.1.2.1. 31
vitesse fond.....	3.1.2.9. 07
vitesse surface.....	3.1.2.1. 31
vive-eau.....	7.3.4.2. 13

W

WGS 84, système géodésique mondial.....	12.3.1.1. 73
---	--------------

Z

zéro des cartes ou zéro hydrographique.....	7.4.1. 07
zoom, Précautions à prendre dans l'emploi du.....	12.3.3.3. 01

Index des illustrations

Structure du compas magnétique.....	3.1.1.2.1.
Les caps des compas magnétiques.....	3.1.1.2.2.A.
Exemple de courbe de déviation.....	3.1.1.2.2.B.
Élément sensible « fluxgate ».....	3.1.1.4.2.A.
Détection du champ magnétique terrestre.....	3.1.1.4.2.B.
Compas gyroscopique.....	3.1.1.5.
Ralliement du Nord.....	3.1.1.5.2.A.
Plate-forme stabilisée à 2 axes.....	3.1.1.5.2.B.
Loch à bateau.....	3.1.2.4.
Loch à turbine.....	3.1.2.5.
Loch à tube de Pitot et loch électromagnétique.....	3.1.2.6.
Loch Doppler.....	3.1.2.8.
Principe de la centrale inertielle de navigation et centrale inertielle.....	3.1.3.3.
Écho-sondeur.....	3.1.4.3.
Indicateur vidéo de sondeur.....	3.1.4.6.4.A.
Sondeur multifaisceaux et exemple de visualisation.....	3.1.4.6.4.B.
Anémomètre à main et girouette.....	3.1.5.1.
Détermination du vent vrai.....	3.1.5.4.
Pilotes automatiques.....	3.1.6.
Résolution en direction et distance.....	3.1.7.2.3.
Portée géographique radar.....	3.1.7.3.1.A.
Portée géographique radar.....	3.1.7.3.1.B.
Anomalies de propagation.....	3.1.7.4.3.
Écran d'indicateur radar.....	3.1.7.5.1.
Lecture du gisement ou de l'azimut.....	3.1.7.5.3.
Écran en mouvement relatif (navire porteur excentré).....	3.1.7.5.4.A.
Écran en mouvement vrai.....	3.1.7.5.4.B.
Poursuite d'un écho de navire.....	3.1.7.6.1.
CPA d'un navire.....	3.1.7.6.2.
Zone de garde.....	3.1.7.6.3.
Vecteur futur d'un navire.....	3.1.7.6.4.
Désignation d'une piste par l'ARPA.....	3.1.7.6.5.A.
Affichage des données cinématiques d'un écho sur un ARPA.....	3.1.7.6.5.B.
Point (s) de collision potentiel (s) d'un navire.....	3.1.7.6.5.C.
Simulation par ARPA.....	3.1.7.6.5.D.
Vue d'ensemble du système AIS.....	3.1.8.1.
Écran MKD d'AIS.....	3.1.8.2.4.
Récepteur GPS.....	3.1.9.1.
Récepteur DGPS.....	3.1.9.2.1.
Lecteur de cartes/récepteur GPS.....	3.1.10.2.1.
Visualisation de cartes électroniques sur un micro-ordinateur.....	3.1.10.2.2.
Le système ECDIS.....	3.1.10.3.1.
Affichage d'un danger dans l'ECDIS.....	3.1.10.3.4.A.
Exemples d'affichage standard et de base d'un ECDIS.....	3.1.10.3.4.B.
Exemples d'affichage complet et de nuit d'un ECDIS.....	3.1.10.3.4.C.
Principe du GPS.....	4.2.2.1.
Organisation des satellites GPS.....	4.2.2.3.
Configurations diverses de satellites autour d'un observateur.....	4.2.2.5.2.
Principe du GPS différentiel.....	4.2.2.6.
Architecture conceptuelle de la « e-navigation ».....	5.2.2.
Circulation générale de l'atmosphère et centres d'action.....	6.2.1.
Approximation de la force moyenne du vent réel.....	6.2.2.2.
Direction des vents (hémisphère Nord).....	6.2.2.3.
Brise de mer et brise de terre.....	6.2.3.1.
Moussons d'été et d'hiver sur l'Océan Indien Nord.....	6.2.3.2.
Classification des nuages.....	6.3.2.2.
Formation d'un nuage de convection.....	6.3.2.3.

Trajet des masses d'air arrivant sur l'Europe.....	6.4.1.1.
Front chaud et front froid.....	6.4.2.A.
Variations du vent, de la pression et de la température au passage de fronts (hémisphère Nord).....	6.4.2.B.
Formation et évolution de perturbations aux latitudes tempérées.....	6.4.3.1.1.A.
Tempête dans l'hémisphère Sud, à l'Ouest du Cap Horn, le 25 février 1999 à 18 h 00 UTC.....	6.4.3.1.1.B.
Système nuageux d'une perturbation aux latitudes tempérées (hémisphère Nord).....	6.4.3.1.2.A.
Système nuageux d'une perturbation comprise entre les Açores et la Mer du Nord (18 avril 1996).....	6.4.3.1.2.B.
L'ouragan Mitch à son intensité maximale (octobre 1998).....	6.4.3.2.
Le front d'orage.....	6.5.1.
Trombe marine.....	6.5.3.
Houle et mer du vent (croisement de deux houles).....	7.1.1.
Fetch.....	7.1.2.1.
Graphiques de prévision de l'état de la mer.....	7.1.2.2.
Termes descriptifs de l'état de la mer et de la houle.....	7.1.2.4.
Systèmes de vagues.....	7.1.3.1.
Vagues déferlantes.....	7.1.3.3.
Exemples de réfraction.....	7.1.3.4.
Diffraction dans une passe.....	7.1.3.5.
Réflexion sur une jetée.....	7.1.3.6.
Circulation océanique générale.....	7.2.1.1.A.
Circulation générale de l'atmosphère.....	7.2.1.1.B.
Méandres et tourbillons du Gulf Stream.....	7.2.1.3.A.
Les deux trajectoires du Kouro Shivo.....	7.2.1.3.B.
Courbe de marée.....	7.3.1.2.
Force génératrice de la marée.....	7.3.2.1.
Durée du jour lunaire.....	7.3.2.2.
Influence de la déclinaison de l'astre.....	7.3.2.3.
Lignes cotidales et d'égal marnage et points amphidromiques.....	7.3.3.4.
Les principaux types de marée.....	7.3.4.1.
Position des astres en vive-eau.....	7.3.4.2.A.
Coefficient et marée semi-diurne ; courbe de marée pendant une lunaison.....	7.3.4.2.B.
Mascaret.....	7.3.4.7.
Exemple de courbe-type.....	7.3.7.3.
Exemples de rose de courant.....	7.3.8.2.
Corrélation entre marée et courants alternatifs.....	7.3.8.3.
Hauteur d'eau due à la marée.....	7.4.2.
Variation du niveau moyen de la mer due aux vagues.....	7.4.3.4.
Formation d'un tsunami.....	7.4.3.6.
Seiche.....	7.4.3.7.
Polygone d'incertitude du point par trois relèvements simultanés.....	8.2.3.
Réduction du chapeau en cas d'erreur sur la variation et cas ambigu.....	8.2.5.
Relèvement de garde.....	8.2.7.
Alignements ouvert et fermé.....	8.3.
Différentes constructions du point par arcs capables.....	8.4.2.
Paysage radar.....	9.2.A.
L'anse de Bertheaume sur la carte marine et sur l'indicateur d'un radar.....	9.2.B.
Réflexion d'un tétraèdre.....	9.3.1.1.
Réponse d'une balise Ramark.....	9.3.2.1.
Réponses d'une balise Racon à balayage lent et d'une balise Racon à balayage rapide.....	9.3.2.2.A.
Alignement Racon.....	9.3.2.2.B.
Indicateur radar.....	9.4.1.
Point par trois distances.....	9.4.2.
Point par une distance radar et un alignement optique.....	9.4.3.
Distance de sécurité.....	9.4.5.
Construction graphique de l'estime.....	10.3.1.
Zone d'incertitude de l'estime.....	10.3.2.
Point par relèvements successifs.....	10.4.2.
Aller d'un point à un autre.....	10.5.
Principe d'une table traçante.....	10.6.
Localisation par lignes de sonde.....	11.2.
Les trois surfaces de la géodésie.....	12.3.1.1.
Surenfoncement.....	12.4.1.
Exemple de tableau et de graphique d'avance et de transfert.....	13.2.1.
Effet des rives et du fond.....	13.2.2.
Courants dans le tournant d'un chenal.....	13.3.1.
Exécution d'une giration.....	13.3.2.A.

Choix du relèvement de giration.....	13.3.2.B.
Pilotage au radar.....	13.4.1.A.
Exécution d'une giration.....	13.4.1.B.
Marque à effet de moiré (navire à droite de l'axe).....	14.3.1.
Cercle d'évitage.....	14.4.3.
Loxodromie.....	15.2.1.
La Terre en projection de Mercator.....	15.2.2.1.
Échelle des distances.....	15.2.2.2.
Loxodromie en projection de Mercator.....	15.2.2.3.
Limites d'utilisation des formules approchées.....	15.2.3.2.
Orthodromie.....	15.3.1.
Distances orthodromiques pour réaliser un gain de 1 M sur la loxodromie.....	15.3.3.
Décomposition en tronçons loxodromiques.....	15.3.4.1.A.
Orthodromie sur une carte gnomonique.....	15.3.4.1.B.
Utilisation de l'abaque orthodromique.....	15.3.4.1.C.
Orthodromie sur une carte conforme oblique.....	15.3.4.3.
Orthodromie mixte.....	15.4.
Principe du point astronomique et cercle de hauteur.....	16.1.2.
Les fuseaux horaires.....	16.2.3.1.
Sextant marine.....	16.3.1.
Réglages des miroirs du sextant.....	16.3.2.
Correction des hauteurs observées.....	16.3.4.
Planisphère céleste.....	16.4.6.1.
Contact de l'astre et de l'horizon.....	16.4.6.2.
Triangle de position.....	16.5.1.2.
Intercept.....	16.5.1.3.
Tracé de la droite de hauteur.....	16.5.1.4.
Méridienne.....	16.5.4.1.
Détermination de l'heure de la culmination.....	16.5.4.3.A.
Conditions d'observation de la circumzénithale.....	16.5.4.3.B.
Réduction de vitesse due à la mer pour un navire à propulsion mécanique.....	18.1.2.2.A.
Polaire de vitesse d'un voilier pour un vent de 15 nœuds.....	18.1.2.2.B.
Exemples de trajets climatologiques.....	18.1.2.3.
Méthode des isochromes.....	18.1.2.4.
Ancre flottante.....	19.1.1.4.
Dénomination des perturbations tropicales selon la vitesse du vent et la région.....	19.1.2.1.
Principales trajectoires des cyclones tropicaux.....	19.1.2.2.
Vents et houle dans un cyclone tropical de l'hémisphère Nord.....	19.1.2.3.
Ensemble nuageux d'un cyclone.....	19.1.2.4.
Règles de manœuvre au voisinage d'un cyclone.....	19.1.2.6.A.
Règles de manœuvre d'un navire surpris par un cyclone.....	19.1.2.6.B.
Limites maximales d'application des directives de l'OMI pour les navires exploités dans les eaux polaires...	19.2.1.1.A.
Carte des zones de givrage (Recueil IS de l'OMI).....	19.2.1.1.B.
Navigation grille.....	19.2.2.4.
Mesures d'angles à bras tendu.....	19.4.2.3.2.
Mesures de la hauteur d'un astre.....	19.4.2.3.3.
Détermination du Nord.....	19.4.2.3.4.
Estimation de la déclinaison du soleil.....	19.4.2.3.5.
Échelle anémométrique Beaufort (de 0 à 6).....	20.1.A.
Échelle anémométrique Beaufort (de 7 à 12).....	20.1.B.
Propagation des ondes électromagnétiques.....	20.2.1.
Propagation des ondes selon leur fréquence.....	20.2.2.
Signes et abréviations.....	20.3.1.
Ensemble des coordonnées sphériques utilisées en navigation astronomique.....	20.3.2.
Temps.....	20.3.2.1.
Coordonnées géographiques.....	20.3.2.2.
Coordonnées horizontales.....	20.3.2.3.
Coordonnées horaires.....	20.3.2.4.
Coordonnées équatoriales.....	20.3.2.5.
Relations entre les coordonnées et les temps.....	20.3.3.
Distances en milles entre les principaux ports de France.....	20.4.1.
Distances moyennes en milles entre certains ports importants du monde.....	20.4.2.
Distances moyennes en milles entre certains points de passage importants du monde.....	20.4.3.

Index des mises à jour des douze derniers mois

Glossaire

A

AIS	<i>Automatic Identification System</i> Système d'identification automatique
AISM	<i>Association Internationale de Signalisation Maritime</i> en : IALA
AMAT	Accès multiple à répartition auto-organisée dans le temps (AIS)
ARPA	<i>Automatic Radar Plotting Aid</i> fr : APRA – Aide de pointage radar automatique

B

BM	<i>Basse Mer</i>
BNWAS	<i>Bridge Navigation Watch Alarm System</i> fr : Système d'alarme de quart à la passerelle de navigation

C

CEI	<i>Commission Électrotechnique Internationale</i> en : IEC : International Electrotechnical Commission
Cospas	<i>Système international d'alerte et de localisation de sinistre par balise développé à l'origine par l'ex-URSS (Cosmicheskaya Sistemya Poiska Avariynich Sudov)</i>
CPA	<i>Closest Point of Approach</i> Distance minimum à laquelle un navire rencontré passera du navire porteur du radar
CS	<i>Commercial Service</i> Service commercial précis mais payant du système Galileo

D

DGLONASS	<i>Differential GLONASS</i> GLONASS différentiel
DGNSS	<i>Differential GNSS</i> GNSS différentiel
DGPS	<i>Differential GPS</i> GPS différentiel
DoD	<i>Department of Defense</i> Ministère de la défense des États-Unis
DSL	<i>Deep Scattering Layer</i> Couche de diffusion profonde

E

EBL	<i>Electronic Bearing Line</i> Repère électronique ou alidade électronique
------------	---

ECDIS	<i>Electronic Chart Display and Information System</i> Système de visualisation de cartes électroniques de navigation satisfaisant aux normes de fonctionnement de l'OMI <i>fr : Système de visualisation de cartes électroniques et d'information</i>
ECDIS	<i>Système de visualisation de cartes marines électroniques et d'information</i> <i>en : Electronic Chart Display and Information System</i>
ECDIS	<i>Electronic Chart Display and Information System</i>
ECS	<i>Electronic Chart System</i> Système de cartes marines électroniques ne satisfaisant pas aux normes de fonctionnement de l'OMI
EGNOS	<i>European Geostationary Navigation Overlay Service</i> Système européen de navigation par recouvrement géostationnaire (complément du système américain) <i>en : Service Européen de Navigation par Recouvrement Géostationnaire</i>
ENC	<i>Electronic Navigational Chart</i> Carte vectorielle produite par un service hydrographique agréé <i>fr : Carte électronique de navigation</i>

G

Galileo	Système de navigation par satellites développé par l'Union Européenne
GDOP	<i>Geometric Dilution Of Precision</i> Dilution de précision géométrique liée à la configuration géométrique des satellites vus du récepteur
GLONASS	<i>GLObal'naya NAVigatsionnaya Sputnikovaya Sistema</i> Système mondial de positionnement par satellites développé par la fédération de Russie <i>en : GLObal NAVigation Satellites System</i>
GLONASST	<i>GLONASS Time</i> Temps GLONASS
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i> Système global de navigation par satellite
GPS	<i>Global Positioning System. Système mondial de localisation par satellites développé par les États-Unis</i>

H

HDOP	<i>Horizontal Dilution Of Precision</i> Dégradation horizontale de la précision
-------------	--

I

IAMSAR	<i>International Aeronautical and Maritime Search And Rescue</i>
IBS	<i>Integrated Bridge System</i> Combinaison de systèmes qui sont interconnectés afin de permettre un accès centralisé à l'information du capteur ou de contrôle / commande des postes de travail
Inmarsat	<i>INternational MARitime SATellite organization</i>
INS	<i>Integrated Navigation System</i> <i>fr : Système de navigation intégré</i>

L

LORAN	<i>L</i> ong <i>R</i> ange <i>N</i> avigation Système de radionavigation longue portée
LRIT	<i>L</i> ong <i>R</i> ange <i>I</i> dentification and <i>T</i> racking Identification et suivi des navires à grande distance

M

MKD	<i>M</i> inimum <i>K</i> eyboard <i>D</i> isplay fr : écran minimal/clavier intégré
MMSI	<i>M</i> aritime <i>M</i> obile <i>S</i> ervice <i>I</i> dentify Code numérique d'identification de station
MSAS	<i>M</i> ultifunction <i>S</i> atellite <i>A</i> ugmentation <i>S</i> ystem Système japonais de renforcement des systèmes de navigation par satellites
MSC	<i>M</i> aritime <i>S</i> afety <i>C</i> ommittee Organisme dépendant de l'OMI et traitant de la sécurité maritime fr : Comité de Sécurité Maritime

N

NAVTEX	<i>N</i> AVigational <i>T</i> EXt Système de diffusion des RSM par télégraphie à impression directe
NMEA	<i>N</i> ational <i>M</i> arine <i>E</i> lectronics <i>A</i> ssociation

O

OHI	<i>O</i> rganisation <i>H</i> ydrographique <i>I</i> nternationale en : <i>I</i> HO - <i>I</i> nternational <i>H</i> ydrographic <i>O</i> rganization
OMI	<i>O</i> rganisation <i>M</i> aritime <i>I</i> nternationale en : <i>I</i> MO - <i>I</i> nternational <i>M</i> aritime <i>O</i> rganization

P

PC	<i>P</i> ersonal <i>C</i> omputer fr : Ordinateur personnel
PDOP	<i>P</i> osition <i>D</i> ilution <i>O</i> f <i>P</i> recision Dégradation de la position en trois dimensions
PM	<i>P</i> leine <i>M</i> er

R

Racon	<i>R</i> Adar-bea <i>C</i> ON Balise radar dont l'émission est déclenchée par la réception d'impulsions radar
Ramark	<i>R</i> Adar <i>M</i> ARK Balise radar émettant en permanence
RCDS	<i>R</i> aster <i>C</i> hart <i>D</i> isplay <i>S</i> ystem Mode d'utilisation de l'ECDIS quand il n'existe pas d'ENC à échelle suffisante pour la navigation envisagée et que des cartes marines matricielles (RNC) sont utilisées en remplacement

RNC	<i>Raster Navigational Chart</i> Carte marine matricielle produite sous la responsabilité d'un service hydrographique agréé
RSM	<i>Renseignements sur la Sécurité Maritime</i> en : <i>MSI - Maritime Safety Information</i>
RTCM	<i>Radio Technical Commission for Maritime services</i>

S

SafetyNET	Système de diffusion de RSM par satellites Inmarsat
SAR	<i>Search And Rescue</i> fr : <i>Recherche et sauvetage</i>
Sarsat	<i>Search and Rescue Satellite-Aided Tracking</i> Système d'alerte et de localisation par balise (système franco-américano-canadien)
SHOM	<i>Service hydrographique et océanographique de la marine</i>
SMDSM	<i>Système Mondial de Détresse et de Sécurité en Mer</i> en : <i>GMDSS - Global Maritime Distress and Safety System</i>
SOLAS	<i>Safety Of Life At Sea</i> Convention internationale pour la sauvegarde de la vie humaine en mer
STM	<i>Services de Trafic Maritime</i> en : <i>VTS : Vessel Traffic Services</i>

T

TAI	<i>Temps Atomique International</i> Basé sur la définition de la seconde à l'aide d'horloges atomiques
TCPA	<i>Time of Closest Point of Approach</i> Heure de passage au CPA
TT	<i>Target Tracking</i> Fonction poursuite des cibles radar

U

UERE	<i>User Equivalent Range Error</i> Erreur de mesure des distances satellites-récepteur
UT1	<i>Universal Time 1</i> UT1 = UT0 corrigé des effets du mouvement des pôles géographiques
UTC	<i>Universal Time Co-ordinated</i> Compromis entre l'anglais CUT (Co-ordinated Universal Time) et le français TUC (Temps Universel Coordonné) fr : <i>Temps universel coordonné</i>

V

VDR	<i>Voyage Data Recorder</i> Enregistreur des données du voyage
VHF	<i>Very High Frequency</i> Entre 30 et 300 MHz fr : <i>Très Haute Fréquence</i>
VRM	<i>Variable Range Marker</i> Marqueur variable de distance (radar)

W

WAAS	<i>Wide Area Augmentation System</i> Système américain de renforcement du GPS
WADGPS	<i>Wide Area DGPS</i> GPS différentiel en zone étendue
WWRNS	<i>World Wide Radio Navigation System</i> Système mondial de radionavigation

Imprimerie du

2

Mars 2012

Dépôt légal premier trimestre 2012
Numéro d'éditeur : 2834



L'océan en référence

Adresse postale

13, rue du Chatellier - CS 92803
29228 BREST Cedex 2

Renseignements

Tél : +33 (0) 2 56 312 312

Service Commercial

Tél : +33 (0) 2 56 31 25 00
Mél : distribution@shom.fr

Internet

www.shom.fr
data.shom.fr
diffusion.shom.fr

Le Shom est certifié ISO 9001 pour l'ensemble de ses activités.