

AIDES ELECTRONIQUES A LA NAVIGATION

Les aides électroniques à la navigation se multiplient de façon impressionnante. Depuis quelques années le GPS a bouleversé la manière de naviguer, l'ASN celui de transmettre des messages. L'AIS est le dernier-né des aides à la navigation; il est actuellement en plein développement.

Radio-téléphonie avec appel numérique

Définition

L'ASN = appel sélectif numérique (DSC en anglais) est une technique d'adressage des communications radio-téléphoniques, ciblant de façon déterminée le ou les stations destinataires de l'appel, mais aussi envoyant, dans un message "codé", le type de détresse, l'identification (nom, MMSI) du navire appelant et sa position.

Réalisation

L'ASN associe un poste de radio-téléphonie (VHF, mais aussi MF ou HF, alors en BLU essentiellement) à un émetteur-récepteur numérique, c'est à dire envoyant ou recevant des signaux codés. Cette transmission de codes utilise un canal dédié: c'est, en VHF, le canal 70.

Cette structure est totalement transparente pour l'utilisateur; un poste ASN se différencie d'un poste "non ASN" par la présence d'une touche protégée "détresse" et l'apparition de fonctions supplémentaires.

Intérêt de l'ASN

Messages de détresse

La transmission d'un message de détresse par un poste de radiotéléphonie numérique est entièrement automatique. L'appui sur la touche dédiée, suivi de façon facultative du choix du type de la détresse, envoie automatiquement une série de codes, comprenant le type de la détresse, l'identification du navire, sa position (si le poste de téléphonie est relié à un système de positionnement par satellite). Ce message est répété jusqu'à ce qu'un navire accuse (de façon automatique) réception de ce message; le poste passe ensuite en phonie "conventionnelle" sur le canal 16 (voir le cours sur les messages de détresse).

La réception d'un message de détresse type ASN par un bateau astreint SOLAS (et non par un bateau de plaisance) entraîne la ré-émission de celui-ci à destination des stations côtières; ceci donne un sérieux avantage à cette fonction de relais MAYDAY, réalisée de manière automatique. A noter que les bateaux de plaisance ne peuvent effectuer ce relais automatique.

Messages "PANPAN", "SECURITE" et de routine

Ils obéissent au même principe de transmission: un code, comprenant l'indicatif du bateau et sa position permet d'activer les récepteurs ASN à portée; mais ce type de transmission concerne toutes les communications, que l'on sépare en "ALL SHIPS" et "ONE SHIP". Dans le premier cas, le message s'adresse à l'ensemble des bateaux et des stations de secours; dans le deuxième cas, on s'adresse à un bateau déterminé. La réception d'un tel message par un poste ASN propose à son opérateur de "basculer" automatiquement sur un canal, choisi par l'opérateur du poste émetteur.

D'autres possibilités peuvent être offertes par un poste ASN; on peut citer, parmi celles-ci, l'obtention de la position du poste interrogé, si ce dernier accepte cet envoi.

LE GNSS

Le GNSS (Global Navigation Satellite System) est la "nouvelle" dénomination du système de positionnement par satellite. C'est un système de triangulation, utilisant des satellites, dont il existe actuellement trois groupes: un dépendant des USA: le GPS (Global Positioning System), un dépendant de la Fédération de Russie (GLONASS) et, récemment, un groupe européen: c'est le projet Galileo. Ces trois groupes, bien que dépendant d'opérateurs distincts, sont compatibles entre eux.

Rappels sur le GNSS

Positionnement

Les systèmes de positionnement satellitaire sont tous basés sur le même système de triangulation, permettant de déterminer la position d'un objet dans l'espace grâce à la mesure des distances séparant cet objet d'au moins 3 satellites (en fait, on utilise un minimum de 4 satellites pour avoir une précision suffisante et pour se passer de la génération d'un temps "interne", voir ci-dessous).

Le groupe dépendant des USA ("GPS") est le premier à avoir été conçu et mis en service. Il regroupe 24 satellites, en orbite substationnaire (20 200km environ, soit un temps de parcours d'une orbite de 11h 58min 47s), groupés en 6 grappes. Les 24 satellites composant la constellation sont répartis dans 6 plans distincts de 60°; chacun de ceux-ci est incliné de 55° par rapport à l'équateur; chaque plan contient 4 satellites également espacés (angle de 90° entre 2 satellites d'une même orbite).

Cette répartition permet de disposer en permanence d'un minimum de 4 satellites ayant une élévation (hauteur sur l'horizon) supérieure à 9,5°. De plus elle assure la présence d'au moins 5 satellites observables au dessus de l'horizon. Enfin, par mesure de sécurité, trois autres satellites sont également placés en orbite, destinés à pallier les pannes éventuelles.

Le groupe dépendant de la Fédération de Russie ("GLONASS": ГЛОНАСС, acronyme pour глобальная навигационная спутниковая система, globalnaïa navigatsionnaïa spoutnikovaïa sistéma, soit « système global de navigation satellitaire ») a été créé en 1980, a périclité puis a été de nouveau rendu opérationnel vers 2010. Comme le système américain, il comprend 24 satellites, circulant sur des orbites quasi-circulaires, à une altitude de 19130 km, soit un temps de parcours circumterrestre de 11h 15min 48s. Comme le GPS, ils circulent sur trois plans orbitaux, inclinés de 65° sur l'équateur, ce qui fait 8 satellites par plan orbital, dont 6 sont opérationnels.

Le groupe européen est appelé Galiléo. Il est en cours de finalisation, et comprend à terme 30 satellites (24 actifs, et 6 en réserve), situés sur une orbite moyenne (MEO) circulaire, à une altitude de 23200 km (temps de parcours: 14h 3min 53s). Ils sont situés dans 3 plans orbitaux distincts, inclinés de 56° par rapport au plan de l'équateur. Comme ces satellites sont de conception plus récente, leur précision semble meilleure que GPS ou GLONASS. Mais il s'agit des données "tout public", d'accès gratuit.

Enfin, opérationnels depuis mars 2011, des satellites EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service) complètent la gamme des satellites de positionnement. Il s'agit de 5 satellites (en fait, trois sont opérationnels) situés sur une orbite géostationnaire (orbite de Clarke), qui diffusent des signaux de correction des données issues de l'utilisation des GPS, dont les émissions subissent des effets parasites, liés essentiellement à la traversée de l'ionosphère. La structure de EGNOS regroupe une quarantaine de stations de référence européennes, qui élaborent des signaux de correction, retransmis via les satellites

géostationnaires aux utilisateurs du système; ces signaux concernent les trois systèmes de positionnement.

A noter que ce système a des équivalents américains (WAAS) et japonais (MSAS), tous trois compatibles entre eux.

Enfin, tous ces systèmes utilisent l'ellipsoïde WGS-84, et donnent ainsi des positions directement compatibles avec les cartes basées sur cet ellipsoïde.

Théorie de la mesure

Les mesures de distance reviennent, en fait, à la mesure de déphasages entre des signaux émis par ces satellites, ou, ce qui revient au même, par la mesure des différences entre la mesure du temps à l'endroit du récepteur GNSS et celui de chacun des satellites, qui est décalé à cause de la distance entre le satellite et le récepteur.

Comme un objet est défini, dans un repère absolu, par ses coordonnées spatiales x, y et z , il suffit théoriquement de trois satellites; mais il est alors nécessaire que le récepteur GNSS soit doté d'une horloge atomique, seule possibilité de mesurer avec une précision suffisante des déphasages temporels très petits. Comme cela n'est pas physiquement possible, on crée une nouvelle inconnue: le temps absolu, et on est alors ramené à un système d'équations à 4 inconnues (x, y, z , et t), nécessitant au moins 4 mesures, donc 4 satellites, pour donner une solution.

Le GNSS est finalement un système permettant de définir la position du récepteur sur le globe terrestre avec une précision dépendant du nombre de satellites utilisés, qui peut atteindre quelques mètres seulement si le signal issu des satellites ne subit pas de dégradation volontaire, comme c'était encore récemment le cas. Une modification de la position américaine sur ce sujet permet actuellement d'utiliser les GPS avec toute la précision possible; enfin, le système Galileo permettra de s'affranchir des problèmes américains.

Finalement, le GNSS donne une position sur un ellipsoïde de référence; celui utilisé actuellement est l'ellipsoïde WGS-84 (voir le chapitre sur la cartographie, dans les généralités), et les coordonnées de la position du récepteur sont données, sur cet ellipsoïde soit en coordonnées UTM soit en Latitude/Longitude. A noter que le système GLONASS, initialement basé sur la norme russe PZ-90, a été modifié pour obéir à la norme WGS-84. Comme cette représentation n'est valable que sur l'ellipsoïde WGS-84, le report d'un point sur toute carte utilisant un autre ellipsoïde (de Hayford, par exemple) ne doit se faire qu'après correction de la latitude et de la longitude trouvées par le récepteur; ces corrections sont indiquées sur les cartes non WGS-84. C'est en particulier le cas sur la "carte d'exercice" 9999 du SHOM, où le système utilisé est l'ED50!

Augmentation de la précision

En fait, les satellites de positionnement, quels qu'ils soient, utilisent plusieurs types de codes (plusieurs signaux):

- Des codes "civils" (C/A), accessibles à tout le monde: ce sont ceux qui sont utilisés en navigation; ils sont émis sur deux fréquences (en bande E^1), pour essayer de diminuer les modifications dues à la traversée de l'ionosphère;
- Des codes militaires (P), émis sur deux fréquences différentes de celles du code civil, cryptés et donc utilisables par les seuls militaires (ou les heureux possesseurs de la clé de décryptage).

¹ Les fréquences sont, pour Galiléo: 1,164 à 1,214 GHz et 1,563 à 1,591 GHz.

La précision absolue du C/A est de 20 mètres à 95%, avec une erreur moyenne de 5 mètres. Celle du code P serait de l'ordre de 10 cm...

Pour le système Galiléo, les "codes militaires" n'existent pas; ils sont remplacés par des services commerciaux, payants, utilisant une bande de fréquence supplémentaire et permettant une précision de moins de 1 mètre. Il existe également des codes destinés aux utilisateurs chargés du service public (services d'urgence, transports dangereux...), utilisant deux autres fréquences et nécessitant des récepteurs spécifiques.

Le facteur le plus important dans la précision donnée par un GPS en code C/A est d'ordre géométrique: la précision est maximale quand les satellites sont "convenablement" placés, c'est à dire répartis "agréablement" sur la sphère centrée sur l'observateur, et de préférence à une hauteur de plus de 30° au dessus de l'horizon pour éviter une dégradation de la transmission.. En revanche, si les satellites sont alignés, la précision de la localisation est très faible. Ceci est résumé par le terme "GDOP": geometric degradation of position. Cette précision se dégrade également lorsque des satellites sont masqués (immeubles, montagnes, vallées...).

Mais le facteur le plus important de la précision d'un GPS civil "évolué" a été la fonction DGPS. Cette fonction est dite "différentielle" car elle tient compte de l'écart de position entre le point GPS et les coordonnées exactes d'un endroit déterminé, situé "à proximité" de l'observateur. La transmission se fait soit par ondes décamétriques ou hectométriques, soit par signaux satellitaires (EGNOS). L'introduction de cette correction, alors que les signaux GPS étaient volontairement dégradés (erreur de 100 mètres!) a rendu obsolète cette dégradation; l'abandon de celle-ci est d'ailleurs la conséquence de l'existence de ces corrections.

Finalement, la précision d'un GPS est évaluée par deux paramètres:

- PDOP: position dilution of precision, et plus particulièrement, en marine, sa composante horizontale: l'HDOP horizontal dilution of precision, dont les "bonnes" valeurs sont inférieures à 5;
- l'ECP: écart circulaire probable, rayon du cercle qui contient 50% des positions calculées par le GPS. Là aussi, il doit être le plus petit possible.

Fonctions supplémentaires

Ce chapitre ne concerne plus le positionnement satellitaire, mais les derniers systèmes (en particulier Galileo) permettent de traiter les appels de détresse sur les balises (406 MHz); il est envisagé que ces satellites renvoient vers la balise un signal indiquant que l'appel a été pris en compte.

Inventaire des résultats apportés par un GNSS

Données de base

Le but premier d'un récepteur GNSS est de calculer les coordonnées du point où il se situe, dans un système de coordonnées déterminé. C'est un point essentiel en géographie terrestre, en particulier en randonnée où le GPS permet de reporter sa position sur des cartes, au mieux quadrillées avec les coordonnées dites UTM (voir le chapitre sur la cartographie). C'est également un point important en navigation, mais le système GNSS, dans cette indication, a un intérêt supplémentaire: celui de pouvoir présenter d'autres résultats, dérivés des données positionnelles et intégrant, le cas échéant, des paramètres issus d'autres systèmes: loch, girouette, compas... Un des avantages du GNSS en navigation maritime est que l'imprécision la plus importante du système: l'altitude n'existe plus! (sauf sur la Mer Morte...)

Premier groupe de données dérivées

A partir de l'ensemble des données de position collectées lors d'un déplacement d'un mobile porteur d'un récepteur GNSS, on peut déduire:

La **vitesse du mobile** (vitesse instantanée, vitesse maximale et minimale, vitesse moyenne...); cette vitesse est mesurée par rapport à un repère "absolu", et désignée communément par vitesse sur le fond (SOG=speed over ground)

La **direction du mobile** par rapport à un repère (nord géographique); comme la plupart des récepteurs GNSS marine intègrent des "tables" donnant la déclinaison magnétique en fonction du lieu (Lat/Lon), la direction du mobile peut également être repérée par rapport au nord magnétique; cette direction est habituellement désignée par Cap over ground, abrégé en COG.

Il faut retenir que ces valeurs concernent le déplacement sur l'ellipsoïde, donc sur le fond, alors que les valeurs mesurées par les instruments attachés au repère "navire" donnent le déplacement de celui-ci par rapport à l'eau, donc la vitesse sur la surface et le cap sur celle-ci (route surface). Certains logiciels, intégrant à la fois les données satellitaires et les données de navigation par rapport à l'eau, en déduisent la valeur et la direction duc ourant.

Deuxième groupe de données dérivées

On peut définir, sur un GNSS, un "point à atteindre" (way point). Le système, connaissant la position actuelle du mobile et celle qu'il doit atteindre, peut calculer le cap à prendre (magnétique ou géographique), le temps mis à l'atteindre à une vitesse connue (moyenne/maximale/minimale/actuelle), l'heure d'arrivée, la valeur de la projection de la vitesse actuelle sur cette direction, l'écart (en cap ou en distance) du bateau par rapport à la route idéale ou le point à atteindre.

En généralisant cette mesure, le système peut donner la projection de la vitesse sur une direction donnée, autre que la route à suivre; en particulier, en navigation à voile, il est intéressant de connaître la projection de la vitesse sur la direction du vent.

Enfin, la notion de "way-point" peut être étendue à un ensemble de "way-points", définissant une route.

Troisième groupe de données dérivées

Le récepteur GNSS, dans le cadre d'une centrale de navigation, donne des valeurs mesurées dans un repère absolu, donc par rapport à la surface terrestre ("fond"). Cette centrale peut prendre en compte diverses informations provenant d'autres sources: vitesse du bateau, cap du bateau (route surface) et peut en déduire divers éléments: existence d'un courant, mesure de sa valeur, projection de la vitesse sur la direction du vent, sur la route-surface, sur la route-fond...

Définitions des divers paramètres provenant d'un GNSS ou d'une centrale de navigation

Les différentes données provenant d'un système GNSS ou d'une centrale de navigation, intégrant également les mesures provenant de la girouette, de l'anémomètre, du loch et du compas peuvent être répertoriées et explicitées de la façon suivante:

Données de positionnement:

Elles sont exprimées en latitude et longitude (degrés, minutes et fractions décimales de minutes en navigation maritime), complétées éventuellement par les données UTM. Ce positionnement peut concerner:

- Le point actuel;

- Un (ou plusieurs) point(s) choisi(s) soit sur la carte, si la cartographie est intégrée, soit par leurs coordonnées (fonction GoTo)
- Le point où un événement grave vient de se produire (touche MOB).

Le positionnement peut être d'autre part affiché sur une carte, intégrée à l'appareil, soit dans sa mémoire "intégrée", soit dans une carte mémoire interchangeable; l'affichage, au mieux en couleurs, peut se faire selon différentes échelles. En fonction du positionnement, à partir de la mémoire du GNSS on peut obtenir divers renseignements (n° téléphone capitainerie, carburant dans un port; description d'un phare ou de balises...)

Données de vitesse:

- Vitesse moyenne depuis le dernier point répertorié (soit le dernier point de route, soit un point entré "à la volée" par une touche dédiée); de la même façon, on peut consulter la vitesse minimale ou la vitesse maximale sur ce parcours; la vitesse instantanée est notée SOG (speed over ground), parfois VIT ou SPE.
- Vitesse utile, notée VMG ou velocity made good: c'est la mesure du module de la projection du vecteur vitesse sur l'axe du vent réel; c'est donc le gain sur l'axe du vent réel. Ce calcul nécessite des données provenant de la girouette électronique et du loch pour déterminer l'axe du vent réel.

Pour une vitesse du vent réel donnée, la VMG_{max} correspond au meilleur compromis vitesse-cap; cette VMG_{max} correspond à l'angle optimal de remontée dans le vent (OTA=Optimum tack angle), obtenu facilement par l'étude des polaires (figure 3).

- Vitesse sur le cap, ou VMC (Velocity made on Course), également notée VTD: Velocity to destination. C'est la vitesse de progression sur la route: module de la projection du vecteur vitesse (surface) sur la direction de la route fond. C'est donc le "gain vers la marque". Cette notion impose que le prochain "way-point" ait été défini. Si la direction de ce way-point est strictement celle du vent réel, la VMC se confond avec la VMG.

Données de distance

- Distance séparant le mobile porteur du GNSS d'un point quelconque, et en particulier du dernier "way-point" fréquenté, ainsi que du prochain à atteindre, noté DIST=DIS ou DTG=distance to go ou DTN=distance to next: Distance à la prochaine marque.
- Progression sur l'axe du vent, ou DMG = distance made good. La DMG correspond au produit de la VMG par le temps écoulé depuis le début de la mesure, c'est à dire à la projection de la distance parcourue sur l'axe du vent réel; c'est donc la composante sur l'axe du vent réel de la distance parcourue.
- Ecart de route (XTE ou XTK): c'est la distance qui sépare la position effective d'un bateau à sa projection sur la ligne joignant sa position de départ à celle d'arrivée théoriques; c'est, en d'autres termes, la mesure de la flèche entre la route suivie par le navire et la route théorique. Par construction, elle est nulle aux deux extrémités du parcours (wp de départ et wp d'arrivée).
- Distance avant la ligne de départ: sur certains systèmes qui prennent en compte la position des deux extrémités de la ligne, on peut afficher la distance entre la position actuelle du bateau et la ligne, ainsi que le temps restant avant de couper cette ligne.

Données angulaires

- Cap sur la route fond, ou COG =course over ground ou RTE ou HDG ou TRK: cap du bateau, mesuré par le GPS.
- Cap désiré DTK=desired track: Cap (route fond) à prendre depuis le point d'origine pour atteindre celui de destination
- Cap vers la prochaine marque: CAP ou BRG=bearing ou BEA: cap (géographique ou magnétique) à prendre pour atteindre la prochaine marque.
- Cap optimal: CMG=course made good, parfois confondu avec la VMC. C'est le cap optimal de progression vers le prochain way-point, qui offre la progression la plus rapide en temps vers la prochaine marque.
- Cap du bateau (donné par la centrale de navigation): HEA=heading.
- Erreur angulaire de cap, notée TAE ou track angle error. C'est la différence entre le cap du bateau et le relèvement de la marque à atteindre: $TAE = BRG - HEA$. Cet angle n'a de signification pratique qu'à une distance suffisante de la marque.
- Indicateur d'écart de cap CDI= course deviation indicator. C'est une manière de représenter, sur un cercle centré sur l'observateur, le cap du bateau et celui à faire...

Données temporelles

- Durée en route estimée: ETE. C'est la durée de la navigation pour arriver à la prochaine marque, tenant compte du cap et de la vitesse;
- Heure d'arrivée estimée: ETA. Elle correspond à l'heure actuelle plus ETE.
- Heure du coucher du soleil (TSS) et heure de lever du soleil (TSR), calculées en fonction de la position GPS;
- Temps avant ligne de départ (TSL): temps restant avant de franchir la ligne de départ, calculé en fonction de cette ligne, de la vitesse, du cap et de la position du bateau;
- Temps avant point de route: durée estimée en fonction de la vitesse et de la position courantes avant le prochain point de route.

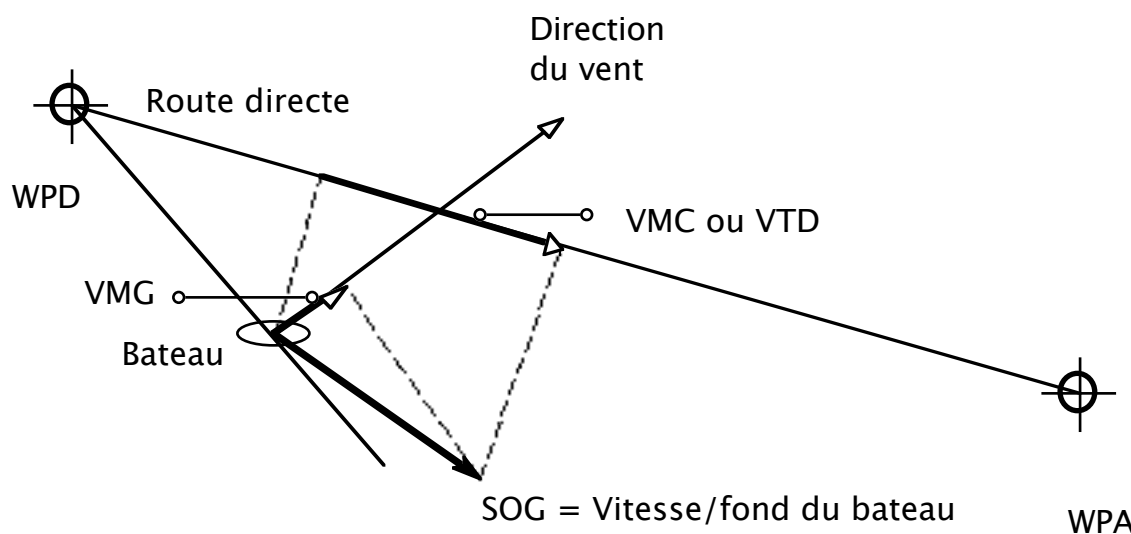
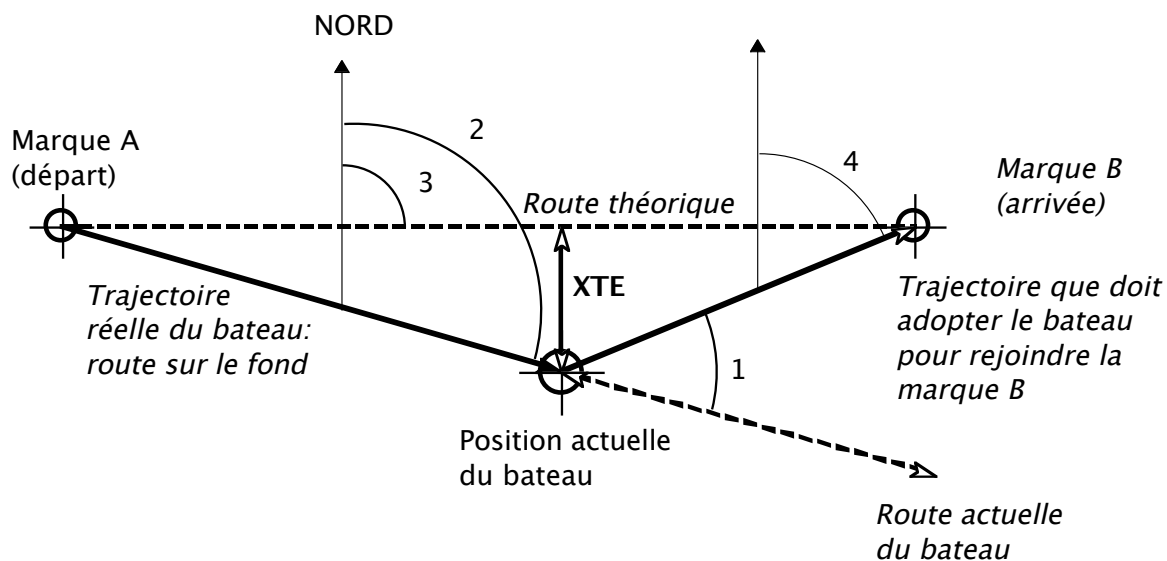


FIGURE 1 DIFFÉRENTES VITESSES ISSUES DE LA CENTRALE DE NAVIGATION



1: TAE, ou écart en cap

FIGURE 2: LES DIFFÉRENTS CAPS OBTENUS GRÂCE AU GPS

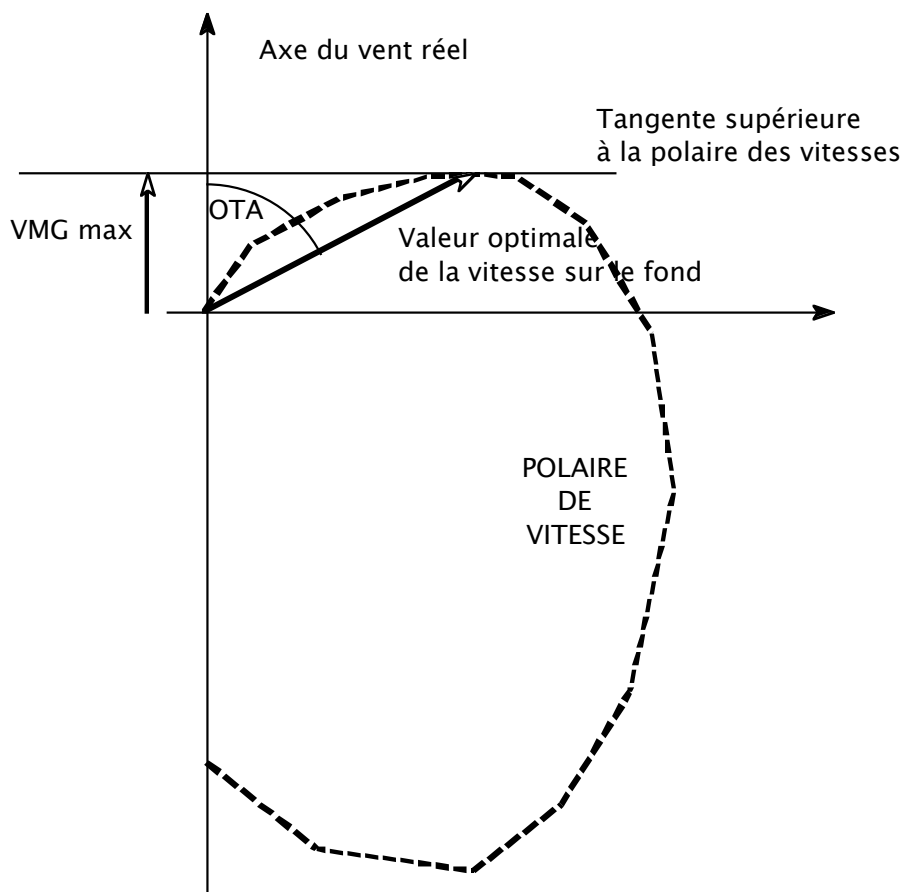


FIGURE 3 : DÉTERMINATION DE LA VMGmax AU PRÈS PAR L'ÉTUDE DE LA POLAIRE DE VITESSES.

La projection de la SOG qui donne la plus grande valeur de VMG (mesurée sur la direction du vent réel, c'est à dire l'axe vertical de la figure) correspond à la VMGmax, obtenue pour un angle OTA par rapport au vent réel.

LE PILOTE AUTOMATIQUE

Ce n'est pas stricto sensu une aide électronique, mais la nouvelle génération de ces pilotes peut être interfacée avec la centrale de vent et/ou la cartographie électronique. Un pilote automatique peut en effet être asservi:

- A suivre un cap déterminé: dans ce cas, on règle le cap que doit suivre le pilote sur une valeur déterminée, qu'on peut par la suite corriger de façon plus ou moins fine;
- A aller vers un point déterminé sur la cartographie électronique: on choisit, sur la carte électronique, le point désiré et le système asservit alors le pilote afin que la trajectoire atteigne ce point.
- A suivre une route, composée d'une succession de points d'intérêt. Le pilote effectue une manœuvre comparable à la précédente mais, quand le bateau arrive à moins d'une certaine distance (réglable) d'un point, il change de route pour se diriger vers le suivant.
- A régler sa route non par rapport à un cap déterminé mais par rapport au vent apparent (dont l'angle est transmis par la girouette électronique). Le bateau modifie donc son cap en fonction du gisement du vent et de l'angle, paramétrable, qu'il doit maintenir entre la ligne de foi et l'axe du vent; les plus sophistiqués des pilotes (NKE) permettent de barrer au vent réel.
- A modifier la route du bateau de façon à lui faire réaliser un virement de bord (rarement utilisé en routine...)

LE RADAR

Radar "classique"

Ce système est basé sur l'émission d'une onde électro-magnétique pendant un court instant, suivie d'une phase de réception des échos de cette émission renvoyés par les obstacles à proximité. La mesure du temps entre émission et réception permet de calculer la distance; comme l'antenne est en mouvement de rotation (réellement ou virtuellement), on atteint ainsi le gisement de l'écho. La puissance d'émission est relativement forte, mais pendant un court instant de temps (de l'ordre du millième du cycle); la réception occupe la majeure partie du temps, tant et si bien que la consommation "moyenne" est peu importante.

L'image de l'ensemble des échos est retranscrite sur un écran, séparé ou commun au système de cartographie.

Ce système est actuellement doté de perfectionnements, portant sur la résolution (discrimination entre deux échos), la suppression ou l'atténuation des échos parasites. On peut également "déplacer" le point représentatif du bateau, orienter le tracé nord en haut ou cap en haut...

Inconvénients et limites

Le radar présente plusieurs inconvénients, dont les plus importants sont:

- L'émission nécessite une puissance de crête importante, qui ne peut être atteinte que par un magnétron, dont le fonctionnement nécessite un préchauffage, de l'ordre de la minute.
- Cette puissance de crête élevée peut induire un parasitage, en particulier sur tous les systèmes de réception d'ondes électro-magnétiques: VHF, AIS, radiotéléphonie satellitaire, BLU..., sans compter d'éventuels et hypothétiques effets biologiques;

- ❑ Le changement d'axe du radar, dû aux mouvements du bateau, doit être pris en compte soit par un faisceau élargi en hauteur soit par une suspension à la Cardan;
- ❑ Des réflexions parasites peuvent se faire: sur les œuvres mortes du bateau, mais aussi et surtout sur les vagues.

Deux fonctionnalités permettent d'apporter des éléments de sécurité:

Zones d'alerte

Les zones sont définies habituellement comme un ou plusieurs secteurs (compris donc entre deux cercles concentriques centrés ou non sur le bateau et deux rayons). Le système électronique déclenche une alarme dès qu'un écho persistant entre ou sort de l'une de ces zones. Le seul problème est qu'il faut une bonne discrimination des échos de façon à rejeter les échos parasites, afin que l'alarme ne soit pas en perpétuel déclenchement.

Le système ARPA ou MARPA

Une autre sécurité est apportée par le système ARPA² (ou Mini ARPA =MARPA sur les radars pour bateaux de plaisance): c'est un suivi automatique de "cibles" prédéfinies. L'utilisateur du radar peut sélectionner des échos qui lui paraissent dangereux ou intéressants pour quelque raison; le système ARPA met en mémoire les positions successives de ces cibles, et en déduit leur vitesse, leur cap et le risque de collision avec la route du bateau.

Radar 'broadband'

Ce nouveau type de radar est d'introduction récente en navigation de plaisance. Contrairement au radar classique, l'émission est continue mais la fréquence est variable dans le temps, de façon contrôlée (FMCW=Frequency modulated continuous wave). Comme dans le radar classique, ce signal est émis par une antenne rotative, mais de façon continue, donc sans "pic" de puissance. La mesure de la distance ne fait plus référence à l'intervalle de temps séparant la réception de l'émission, puisque celle-ci est maintenant continue, mais à la fréquence renvoyée par l'écho. Comme le moment de l'émission de la fréquence est connu très précisément, on a ainsi accès à la durée de transmission du signal et donc à la distance.

Si l'intérêt de ce type de radar est séduisant sur le plan théorique, en particulier sur la diminution de consommation électrique à portée identique, et donc sur d'hypothétiques dommages causés par les ondes électro-magnétiques, il n'apporte en réalité que peu de choses par rapport au radar conventionnel. Il semblerait qu'il soit plus discriminant et plus précis à courte distance, mais que cet avantage s'inverse à moyenne portée.

Enfin il faut faire attention à la variation de la fréquence renvoyée par l'objet si celui-ci est en mouvement, pouvant théoriquement perturber l'appréciation de la distance de celui-ci (voir le chapitre suivant).

Le radar à effet Doppler

Il est basé sur la variation de la fréquence de l'onde réfléchi par un obstacle en mouvement (utilisation dans les cinémomètres...). Il faut cependant tenir compte de la vitesse du bateau portant le radar pour compenser la vitesse de la "cible" Il est encore trop tôt pour en dégager l'intérêt en navigation de plaisance. Son utilisation avec le radar "classique" ne pose pas de difficultés, mais il n'en est pas de même pour le radar broadband.

² Acronyme de Automatic Radar Plotting Aid= aide au pointage radar automatique

LES SYSTEMES BASES SUR LE RADAR

Les détecteurs de radar

Ce sont des appareils passifs, donc uniquement récepteurs. Ils détectent toute réception d'une fréquence de la gamme utilisée par les radars, et activent alors une alarme. Le plus connu de ces systèmes est le "Mer-veille", qui, en plus de générer une alarme, indique le quadrant dans lequel se situe l'émetteur.

L'intérêt de ce système est sa très faible consommation (et son prix, de l'ordre de 300€). Son inconvénient principal est la non-discrimination de deux sources: la présence de deux radars (ou plus!) brouille l'identification du quadrant, malgré l'existence d'une fonction de reconnaissance du signal radar reçu.

Les répondeurs radar

Un répondeur radar est un système actif qui, à la suite de la réception d'une émission radar, émet un signal sur la même fréquence, faisant ainsi apparaître sur l'écran du radar une "tache" particulièrement importante, et donnant l'impression d'un bateau de grandes dimensions... C'est la raison pour laquelle l'utilisation de ces systèmes est réservé à la course au large, et est interdite à moins de 12 milles des côtes (eaux territoriales).

Une variante de ce répondeur est le répondeur SART, utilisé en cas de détresse. Ce répondeur émet, lors de la réception d'un signal radar, une série de signaux qui se traduisent sur l'écran radar par 9 points alignés à partir de la position du répondeur, permettant ainsi de guider les secours.

L' AIS

L' AIS (automatic identification system) est la transmission, en continu et sur deux fréquences (par raison de sécurité) VHF réservées (canaux 87 et 88), par un bateau, d'un certain nombre de caractéristiques et de paramètres concernant sa route. C'est ainsi que sont transmises les informations dynamiques suivantes (l'équivalent français est donné dans la deuxième colonne):

MMSI :	Identifiant du bateau
ROT (Rate Of Turn)	Vitesse de rotation
Statut de navigation	Au port, en manoeuvre, sous voile...
Latitude	Résolution de 1/10 000ème de minute
Longitude	Résolution de 1/10 000ème de minute
SOG (Speed Over Ground)	Vitesse réelle, en 1/10ème de noeuds
COG (Course Over Ground)	Cap fond (GPS), en 1/10ème de minute
True Heading (gyro compass)	Cap en degrés (origine gyroscopique)
Temps UTC de création du rapport,	en heures, minutes et secondes

D'autres éléments (données statiques), moins critiques pour la sécurité, sont réactualisés toutes les 6 minutes. Il s'agit du nom du navire, de son type, de sa longueur, sa largeur, son tirant d'eau, du trajet en cours, de son port d'attache,...

Ces signaux sont reçus par un récepteur adéquat, et un traitement adapté de ceux-ci permet la visualisation de sa position et de sa route, permettant de manière automatique ou non d'estimer le risque de collision.

L'intérêt de l' AIS est majeur; il peut surpasser celui du radar, du moins par bonne visibilité car, par temps de brume, l'intérêt du radar en approche ou navigation côtière est

majeur, d'autant plus que tous les bateaux ne sont pas équipés d'AIS. Le top est l'association d'un AIS émetteur-récepteur et d'un radar.

AIDES ELECTRONIQUES A LA SURVIE

L'apparition d'appareillages d'une part spécifiques, et d'autre part utilisant des adaptations ou des modifications de la VHF, de l'AIS et des balises (SARSAT-Госслас ou non), permettent d'augmenter les chances de repérage des naufragés. On peut aussi les différencier en moyens locaux, sans transmission aux services de secours, et généraux, où la mise en œuvre de ces moyens est automatique.

Moyens locaux

Moyens spécifiques

Ils reposent sur une liaison entre un appareil portable, disposé sur l'équipier, et un poste fixe, sur le bateau. Deux grands principes s'opposent: soit il s'agit de l'établissement d'une liaison (de façon automatique ou non) lors de la chute à l'eau de l'équipier, soit il s'agit d'une perte de liaison, déclenchée "physiquement" par l'éloignement (une dizaine de mètres) ou par l'appui sur une touche spécifique.

Avantages et inconvénients:

- La perte de la liaison est la technique la plus sûre en matière de panne: elle ne peut générer que de fausses alertes (oubli de la dépose de l'émetteur lors de la descente à terre, appui intempestif sur le bouton d'alerte, épuisement des piles...). C'est cette dernière cause qui est le principal inconvénient de ce système: il faut prévoir à bord des piles de rechange, et penser à le désactiver en dehors de son utilisation.
- Le système d'émission lors d'une détresse est un mauvais système en termes de fiabilité, car il nécessite un fonctionnement impeccable des émetteurs; même une vérification quotidienne de ceux-ci ne met pas à l'abri d'une panne, dont les conséquences seraient redoutables. Mieux vaut avoir 100 faux négatifs qu'un faux positif!

Conséquences de l'activation de ce système

Elles dépendent de sa conception (et donc du fabricant):

- Au minimum c'est l'émission d'une alarme sonore (stridente!);
- La plupart des fabricants couplent cette alarme avec l'activation de la procédure "MOB" sur les traceurs ou les gestionnaires GPS, indiquant les coordonnées ou la position de l'événement radio-électrique;
- Enfin, chez quelques concepteurs (NKE), cette alarme s'accompagne d'une mise du bateau dans le lit du vent par action sur la barre; il n'y a pas encore de système, en routine, agissant sur les écoutes (mais certains développeurs privés se lancent dans cette optique...)

Nouveautés et évolutions

Dernièrement a été commercialisé un système de "balise personnelle AIS" par Mac Murdo et Kannad, qui consiste en un émetteur AIS, transmettant un code associé à la balise (et non pas au bateau). Ce signal est reçu comme un signal AIS; il comporte un code unique, de type MMSI; les systèmes actuels permettent tous l'identification sous la forme d'une icône "Homme à la mer". Cette technique permet de connaître, en temps réel, la position de l'HàM et de guider de façon très précise les recherches par les bateaux voisins. Seule limite: la portée, qui ne dépasse pas 4 MN, et encore sous la condition que l'antenne de l'émetteur ne soit pas immergée.

Moyens non spécifiques

Ils dérivent tous d'un poste émetteur-récepteur VHF portable (et étanche!) auquel sont adjointes une ou plusieurs fonctionnalités; c'est la raison pour laquelle ils sont non spécifiques, l'utilisation de la VHF pouvant se faire dans des conditions normales.

Ajout d'un récepteur GNSS

L'adjonction d'un récepteur GNSS à une VHF portable permet au naufragé/homme à la mer de connaître sa position, afin de la transmettre au navire qui le recherche. Ceci n'est concevable que si l'HàM est capable d'effectuer cette transmission, donc s'il est conscient. De plus, il n'y a pas d'activation automatique d'alarme.

Certains produits ajoutent la fonction ASN, avec envoi "automatique" (mais après appui d'une touche...) de la position du poste VHF (HX851ASN de Standard Horizon). Cette association pose d'ailleurs un problème, envisagé plus bas: celui du codage d'un poste portatif.

Ajout d'un émetteur AIS

L'ajout d'un émetteur AIS, évidemment couplé avec un récepteur GNSS, permet de transmettre, de façon automatique, la position du poste VHF portable. Cette technique est à la limite des moyens locaux, puisque d'autres récepteurs AIS peuvent connaître la position de l'émetteur; toutefois, il n'y a pas d'indication sur l'état de détresse et, d'autre part, tout comme l'association GNSS+ASN, il n'est pas évident de coder le MMSI, qui est affecté à une station, donc à un navire. Il pourrait y avoir duplication du MMSI; d'autre part, l'utilisation sur un autre bateau devrait conduire à changer chaque fois le MMSI, ce qui n'est habituellement pas facile.

Moyens généraux

Ce sont généralement des moyens spécifiques, qu'on acquiert (cher!) en espérant ne jamais avoir à les utiliser.

Les balises de détresse

Les balises de détresse sont de deux grands types: les balises dites "COSPAS-SARSAT", attachées à un bateau (ou plus exactement une station de navire), dont elles portent le MMSI. et les balises personnelles (attachées à l'individu)

Les balises "COSPAS-SARSAT"

Elles tirent leur nom de l'association de deux systèmes de réception satellitaire des signaux de détresse: le système franco-canado-américain SARSAT (*Search and Rescue Satellite-Aided Tracking*) et le système russe Голуб (COSPAS = *Cosmicheskaya Sistyema Poiska Avariynich Sudow*), réalisée le 1^{er} janvier 1988 au sein du SMDSM.

Associées à une station de navire, ces balises sont également dénommées EPIRB.

Principe de fonctionnement

Les balises EPIRB émettent sur une fréquence principale dans la bande des 406 MHz (406,037 avant le 1^{er} janvier 2011, 406,040 depuis). Ce signal de détresse est reçu par deux types de satellites: un groupe en orbite basse (LEOSAR) et un groupe en orbite géostationnaire (GEOSAR) qui sont en réalité quatre satellites météorologiques.

Ces deux groupes de satellites ont des fonctionnalités différentes:

- ⊙ La réception par un satellite à défilement (LEOSAR) n'est pas forcément immédiate, du fait de la non-couverture permanente d'un point quelconque. Le délai, toutefois, est au maximum de quatre heures. La vitesse relative de ces satellites à défilement par rapport à l'émetteur leur permet, par effet Doppler-Fizeau, de localiser géographiquement l'emplacement de l'émetteur, avec une précision de 1 à 3 milles.

- ⊙ La réception d'un signal de détresse par un satellite géostationnaire est immédiate, du fait de leur couverture permanente du globe. Mais comme ils sont fixes par rapport à la source, ils ne peuvent en donner la position par effet Doppler-Fizeau. Les satellites GEOSAR ne permettent donc que donner l'alerte. L'impossibilité de cette géolocalisation est contournée par l'adjonction à la balise d'un système de positionnement type GPS; la position du bateau, ainsi que son MMSI, est transmise au satellite géostationnaire, qui peut ainsi alerter le SMDSM en indiquant la position de la détresse. Cette géolocalisation est donc immédiate.

Une évolution prochaine de ce système (quelques années) est le système utilisant des satellites en orbite moyenne (MEOSAR), avec intégration de la détection des balises EPIRB dans d'autres systèmes satellitaires (dont les satellites Galileo). Le délai de repérage sera abaissé à quelques minutes, et la précision de la localisation augmentée (quelques centaines de mètres), même sans émission de position par la balise. Plusieurs extensions du système sont en étude et en discussion, en particulier un "signal de retour" du satellite vers la balise, avec ses avantages (économie de fonctionnement de la balise) mais aussi ses inconvénients ("fausse joie", car le repérage n'entraîne pas forcément des secours immédiats).

Fréquence de recherche terrestre

La plupart des balises émettent également sur la fréquence de 121,500 MHz qui est la fréquence de détresse des aéronefs civils, permettant à tout appareil en vol de repérer par ce signal le navire en détresse.

GNSS

Comme indiqué plus haut, les balises EPIRB peuvent être équipées d'un récepteur GNSS, qui retransmet la position de l'appelant.

Système de largage

Ces balises sont attachées à un bateau, informatiquement par le MMSI et parfois physiquement par un système de largage (et donc d'activation) de type hydrostatique. Ce système est à double tranchant: s'il est très intéressant dans le cas où l'équipage est physiquement incapable d'activer cette balise, à l'opposé il interdit de "transporter" la balise dans une embarcation de secours, l'équipage ayant à ce moment autre chose à faire qu'à récupérer une balise flottante. Une solution serait de la rattacher par un bout au bateau, mais ceci supprime l'émission du signal de détresse dès que le bateau coule...

Les balises personnelles

Leur mode de fonctionnement est calqué sur celui des balises EPIRB, mais elle ne sont plus obligatoirement rattachées à une station de navire³, perdant de ce fait pour certaines la transmission du MMSI. Elles sont par ailleurs gérées au niveau national (en France, par le CNES à Toulouse), et le déclenchement du SMDSM n'est plus automatique.

Le mode de fonctionnement de ces balises est strictement identique à celui des EPIRB: l'émission d'une fréquence de détresse dans la bande des 406 MHz est reçue par le système COSPAS-SARSAT, mais retransmise au CNES, qui valide ou non l'alerte (l'utilisateur de la balise doit fournir des numéros de téléphone: personnel et d'amis, de façon à vérifier le bien-fondé de l'alerte).

Le développement de ces balises non pourvues d'un MMSI, d'emploi facile et de transportabilité plus aisée (pas besoin de recoder le MMSI lors d'un changement de navire), attachées à la personne et pouvant de ce fait être utilisées dans un contexte non marin (randonnées) est actuellement important. Comme les balises EPIRB, elles peuvent être équipées d'un GPS. Ceci ne concerne pas, bien sûr, les PLB codées par un MMSI...

³ En fait il existe deux catégories de balises PLB, l'une pouvant être codée avec un MMSI et l'autre non...

Les émetteurs AIS de détresse

Ce sont des émetteurs AIS à utiliser seulement en cas de détresse. Dénommés "SART-AIS", ils sont essentiellement destinés à la localisation de naufragés, embarqués dans une survie. Par ailleurs, ils sont en conformité avec les réglementations SOLAS.

Ils sont attachés à une station de navire; leur activation transmet, pendant 96 heures, un message d'alerte spécifique, un code sérialisé (et non le MMSI) et la position GPS de l'embarcation. Ce message est transmis en VHF, sur les fréquences affectées à l'AIS; il est donc transmis "localement" et non par voie satellitaire.

Ils sont une "version lourde" des émetteurs AIS personnels évoqués plus haut.

Le répondeur SART

Destiné à être embarqué dans un radeau de survie, le répondeur SART est un répondeur radar qui donne sur un écran radar une ligne composée de 9 pointillés, traduisant de façon absolue la présence d'une embarcation type survie.

C'est un système qui ne transmet pas de position GPS, mais qui peut être repéré dès qu'il apparaît dans l'horizon de l'appareil de sauvetage (à titre indicatif, il est vu à 150 milles nautiques par un appareil volant à 5000 m d'altitude).

Rappel: radiotéléphonie satellite

La présence à bord du bateau en avarie ou d'une embarcation de survie d'un téléphone satellitaire permet de joindre pratiquement immédiatement et n'importe où les centres de coordination des secours, dont les numéros d'appel doivent être présents dans la mémoire de l'appareil. Couplé à un GPS portable, il permet de guider efficacement les secours, du moins tant qu'il ne prend pas l'eau, d'où la nécessité d'enveloppes étanches!

Conclusion

Les aides au repérage de naufragés sont en progrès constant. Pour finir, il faut insister sur deux points qui sont fondamentaux pour leur utilisation: l'énergie et le rangement.

L'énergie

Ces appareils fonctionnent tous avec une source de courant, généralement des batteries. Il faut de façon absolue prévoir un fonctionnement dégradé à l'aide de piles, en nombre suffisant (en général, 3 jeux), de préférence identiques pour tous les appareils, et dont on vérifie annuellement la date de péremption.

La systématisation

Par ailleurs, ces appareils doivent être regroupés dans un bidon étanche, où ils y sont, de préférence, déjà positionnés. Dans le cas contraire (appareils utilisés "en routine", tels le téléphone satellitaire), il faut prévoir, de préférence de façon écrite sous forme de "consignes en cas de problème", affichées clairement, ce regroupement.

TABLE DES MATIÈRES

AIDES ELECTRONIQUES A LA NAVIGATION.....	1
Radio-téléphonie avec appel numérique.....	1
Définition.....	1
Réalisation.....	1
Intérêt de l'ASN.....	1
Messages de détresse.....	1
Messages "PANPAN", "SECURITE" et de routine.....	1
LE GNSS.....	2
Rappels sur le GNSS.....	2
Positionnement.....	2
Théorie de la mesure.....	3
Augmentation de la précision.....	3
Fonctions supplémentaires.....	4
Inventaire des résultats apportés par un GNSS.....	4
Données de base.....	4
Premier groupe de données dérivées.....	4
Deuxième groupe de données dérivées.....	5
Troisième groupe de données dérivées.....	5
Définitions des divers paramètres provenant d'un GNSS ou d'une centrale de navigation.....	5
Données de positionnement:.....	5
Données de vitesse:.....	6
Données de distance.....	6
Données angulaires.....	7
Données temporelles.....	7
LE PILOTE AUTOMATIQUE.....	9
LE RADAR.....	9
Radar "classique".....	9
Inconvénients et limites.....	9
Zones d'alerte.....	10
Le système ARPA ou MARPA.....	10
Radar "broadband".....	10
Le radar à effet Doppler.....	10
LES SYSTEMES BASES SUR LE RADAR.....	11
Les détecteurs de radar.....	11
Les répondeurs radar.....	11
L' AIS.....	11
AIDES ELECTRONIQUES A LA SURVIE.....	13
Moyens locaux.....	13
Moyens spécifiques.....	13
Avantages et inconvénients:.....	13
Conséquences de l'activation de ce système.....	13
Nouveautés et évolutions.....	13
Moyens non spécifiques.....	14
Ajout d'un récepteur GNSS.....	14
Ajout d'un émetteur AIS.....	14
Moyens généraux.....	14
Les balises de détresse.....	14
Les balises "COSPAS-SARSAT".....	14

Principe de fonctionnement	14
Fréquence de recherche terrestre.....	15
GNSS	15
Système de largage	15
Les balises personnelles	15
Les émetteurs AIS de détresse	16
Le répondeur SART	16
Rappel: radiotéléphonie satellite.....	16
Conclusion	16
L'énergie.....	16
La systématisation.....	16