

# THÈME 3

=====

## ***Les performances et les limites des systèmes de localisation et de surveillance de la navigation***

**Présidence :**

**Monsieur Roger BOSC**

*Inspecteur Général des Services des Affaires Maritimes*

**Rapporteur :**

**Monsieur Jean-Jacques QUINQUIS**

*Chef de Département Systèmes et Aides pour la Navigation Maritime*

### **SOMMAIRE**

Bilan des interventions .....	121
<i>I- Etude de trafic/Analyse du risque-Expression des besoins</i>	
L'importance d'une approche de la sécurité maritime fondée sur les modèles d'évaluation des risques <i>Intervention : Thomas DEGRE</i> .....	123
<i>II- La surveillance par radar</i>	
Surveillance de la navigation maritime-Présentation de la technologie radar Etat de l'art-Perspectives .....	139
Les radiogonimètres en surveillance de la navigation maritime <i>Intervention : Bruno MANOURY</i> .....	149
Contribution de la technologie radar HF à ondes de surface à la surveillance maritime depuis le littoral <i>Intervention : Marc LESTURGIE</i> .....	155
<i>III- Les technologies de localisation par voie radio et satellite</i>	
Présentation générale des techniques de localisation par satellites - le GPS ET LE DGPS <i>Intervention : Stéphane MONTFORT</i> .....	167

*IV- Les applications en surveillance de la navigation*

Un système d'aide au chenalage en Loire Maritime : le «GPS-PORT» <i>Intervention : Jean-Pierre HELARD-Daniel LENEN</i> .....	177
Expérimentation d'un système d'identification automatique de trafic fluvial sur la Seine <i>Intervention : Philippe ROUX</i> .....	181
Un système fluvial : Expérimentation SNS <i>Intervention : Jacky BIRONNEAU</i> .....	189
Information and management system for inland navigation <i>Intervention : Reinhart PFLIEGL</i> .....	195

## BILAN DES INTERVENTIONS

Cette journée a pour objectif de faire le point sur les derniers développements réalisés ou en cours en matière d'amélioration de performance des systèmes de localisation et de surveillance de la navigation maritime.

Elle s'articule autour de quatre sous-thèmes :

- a) Une introduction aux études et méthodes d'analyse de risques conduisant à l'expression des besoins puis au choix et au dimensionnement et aux spécifications des systèmes adoptés pour répondre à ces risques dans le respect des textes réglementaires nationaux et internationaux ; ce sous-thème illustré par un premier exposé comprenant les méthodes utilisées en navigation maritime, est complété par un exposé sur les méthodes dans le domaine de l'aviation civile. La mise en parallèle de ces deux exposés devrait mettre en évidence les spécificités des deux approches répondant à des contraintes physiques et des enjeux différents, dont la confrontation doit être riche d'enseignement.
- b) Trois exposés sur les dernières évolutions technologiques susceptibles d'améliorer les performances radars et les applications notamment dans le domaine de la surveillance maritime et de la navigation, au travers de deux axes de progrès :
  - Des améliorations du traitement numérique des signaux sur la base des équipements existants aujourd'hui dans le CROSS de la MANCHE (exposé de la société SOFRELOG, développeur de l'actuel système SYTAR, exposé de THALES, sur un système original de traitement développé à l'origine pour offrir la signature des cibles),
  - L'utilisation d'une technologie originale de radar HF (ondes de surfaces), permettant de porter le signal au-delà de la portée géographique classique (de l'ordre de 35 miles sur les installations actuelles) jusqu'à des distances pouvant atteindre en théorie jusqu'à 200 miles.
- c) Une série d'exposés sur les systèmes innovants de localisation :
  - Exposés sur le positionnement par radio avec :
    - Une présentation des possibilités de localisation à partir du standard GSM,
    - Une présentation d'un système terrestre de positionnement LORAN C et de ses perspectives d'évolution.
  - Trois exposés sur le positionnement par satellite décrivant l'actuel système GPS, les limites et performances de ce système, les évolutions en cours et l'émergence du futur dispositif européen GALILEO.
- d) Une série d'exposés décrivant cinq dispositifs expérimentaux ou en cours de développement couplant techniques de positionnement et mode de transmission et trouvant des applications à la fois en exploitation et en surveillance de la navigation soit en zone restreinte (fluvial, portuaire, côtier) soit en zone hauturière :
  - La solution industrielle MARIMATECH adaptée aux zones portuaires, constituée d'au moins deux mobiles GPS pour une localisation précise et en temps réel des bateaux.
  - Les expérimentations du Service de Navigation de la Seine et du projet DORIS sont fondées sur l'architecture AIS Maritime (i.e. positionnement GPS et transmission VHF). Le projet NOVACOM de l'IFREMER, version allégée de l'AIS, utilise un récepteur GPS couplé à un GSM (pour la transmission des données).
  - Enfin, le projet NAUPLIOS, projet pilote du 5<sup>ème</sup> PCRD, repose sur un positionnement satellitaires GPS+EGNOS (équivalent au futur système Galiléo), répond en partie aux normes de l'AIS et dispose d'une communication bi-mode Radio/Satellite (VHF ou INMARSAT) lui permettant des applications hauturières et côtières de surveillance, de sauvetage et de gestion de flottilles.



# L'IMPORTANCE D'UNE APPROCHE DE LA SECURITE MARITIME FONDEE SUR LES MODELES D'EVALUATION DES RISQUES

*Intervention de Monsieur Thomas DEGRE,*

Directeur de Recherche à l'INRETS  
Contac : degre@inrets.fr

## INTRODUCTION

La sécurité maritime repose, d'une manière traditionnelle, sur des mesures de prévention définies à partir des dysfonctionnements du transport maritime que sont les incidents ou accidents.

Une telle démarche a souvent été remise en question car on lui reproche d'être toujours dépassée, d'être uniquement réactive et des méthodes se voulant plus anticipatives, plus «proactives», fondées sur des techniques d'évaluation des risques ont été développées depuis plusieurs années.

C'est ainsi par exemple qu'aux Pays-Bas de telles méthodes<sup>2</sup> ont été conçues et sans cesse améliorées à partir des années 75. Il en a été de même au Canada.<sup>3</sup>

L'application de ces techniques d'évaluation a pour la première fois été reconnue en 1993 par l'instance internationale chargée des questions maritimes à l'ONU, l'Organisation Maritime Internationale (OMI), sous l'impulsion des britanniques, comme étant un outil important dans le domaine de l'évaluation de nouvelles mesures de **gestion du trafic des navires**<sup>4</sup>. En 1997, des directives provisoires<sup>5</sup> sur la méthodologie de l'évaluation formelle de la sécurité, plus connue sous son sigle anglais **FSA (Formal Safety Assessment)**, ont été définies par l'OMI et appliquées à titre expérimental.

En 2001 ces directives provisoires sur la FSA sont devenues les directives FSA.

D'une manière générale, la FSA est une méthodologie ayant pour objectifs d'identifier les risques pour **une situation actuelle**, de quantifier le niveau de ces risques et de prédire (en termes de coûts bénéfiques) les effets de **toute nouvelle mesure** que l'on propose de mettre en oeuvre, afin de réduire, à priori, ces risques.

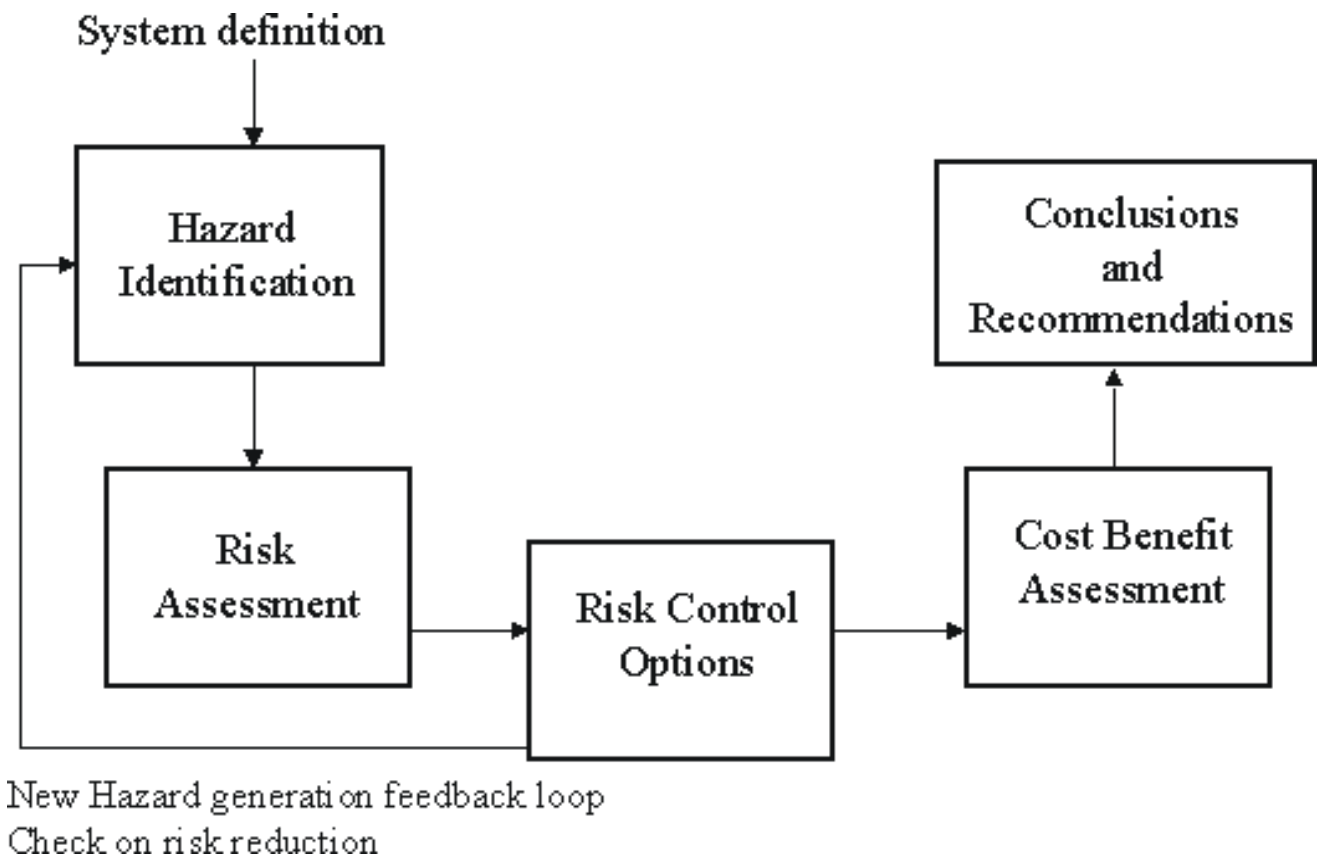
Selon ces directives, cette méthodologie comprend les étapes mentionnées sur la figure 1:

- √ Identification de la nature actuelle des risques ;
- √ Estimation de ces risques ;
- √ Définition des nouvelles mesures de réduction de ces risques ;
- √ Réévaluation de l'impact de ces nouvelles mesures sur les risques (feedback) ;
- √ Analyse coûts-bénéfices ;
- √ Recommandations pour décisions

Cet article a pour objet de présenter les **modèles d'évaluation<sup>6</sup> des risques** conçus et développés afin de procéder à l'estimation de ces risques (deuxième étape de la méthodologie générale FSA). Il sera structuré de la façon suivante:

- i Dans un premier temps, nous décrivons les principes généraux de ces modèles et la nature des données nécessaires à leur mise en oeuvre.
- ii Puis nous décrivons brièvement les méthodes de recueil d'une catégorie de données essentielles à ces modèles, celle portant sur le trafic.
- iii Dans une troisième partie, nous présenterons plus en détail un modèle particulier d'évaluation de risque.
- iv Enfin, nous montrerons comment les concepts utilisés dans ces modèles peuvent être généralisés pour une application en temps réel d'aide à la gestion du trafic des navires par les acteurs qui en sont chargés.
- v La conclusion, résumant la démarche et le objectifs, fera l'objet du cinquième chapitre.
- vi Elle sera suivie d'une liste de références bibliographiques signalées dans le texte par un [n°].
- vii En annexe on indiquera les références où l'on pourra trouver les applications et les résultats du modèle présenté dans la partie III

*Fig 1: Le modèle FSA (FSA model)*



# 1. LES MODELES D'EVALUATION DES RISQUES : PRINCIPES GENERAUX

## 1.1. Objectifs de ces modèles

D'une manière générale, ces modèles ont été développés pour pouvoir évaluer pour **une zone maritime donnée**, par une approche systématique, méthodologique et **quantitative**, le niveau de sécurité de cette zone compte tenu des mesures de gestion du trafic des navires existantes et celui que l'on obtiendrait si l'on mettait en oeuvre telle ou telle nouvelle mesure de gestion (Risk Control Options), comme par exemple l'implantation dans cette zone, de nouvelles aides à la navigation, un dispositif de séparation du trafic, des zones à éviter pour la navigation, l'obligation de pilotage, un VTS (Vessel Traffic Services) d'un niveau de services donné, etc.

## 1.2. Risque d'accident

Il convient en premier lieu de distinguer les différents types d'accidents les plus courants. Une classification possible inspirée de celle établie par la Lloyd's Maritime Information Services est la suivante :

- collisions ;
- échouages ;
- contacts (collision d'un navire avec une structure faite par l'homme comme une plateforme, un quai, une bouée, etc.) ;
- avaries à la structure du navire/naufages ;
- incendies, explosions.

Chaque navire évoluant dans la zone considérée est susceptible de générer un risque d'accidents de l'un ou l'autre de ces types, qui dépend d'un ensemble de facteurs comme par exemple:

- le type de navire ;
- sa taille ;
- son pavillon ;
- son âge ;
- sa société de classification ;
- la régularité des inspections qu'il a subies au titre du Port State Control ;
- la nature de sa cargaison ;
- la zone de navigation (contraintes géographiques, niveau de gestion du trafic des navires, conditions de visibilité, de vents, de courants, etc.).

Classiquement, le **risque d'accident** d'un type donné, dans une zone donnée, est défini par le produit de la **probabilité** de ce type d'accident (ou de sa fréquence, par exemple le nombre d'accidents par an) et des **conséquences** de cet accident.

Ce risque peut être exprimé en unités monétaires (€, \$) mais aussi en pertes de vies humaines, nombre de blessés, étendues de pollution, dommages matériels aux navires, etc.

Par définition même du risque, deux catégories de modèles sont donc nécessaires afin de procéder à leur évaluation :

- √ les modèles d'estimation de la probabilité (ou fréquence) des accidents ;

√ les modèles d'estimation des conséquences de ces accidents.

Dans cet article, seuls les modèles de la première catégorie seront abordés.

### 1.3. **Modèles d'estimation des fréquences d'accidents**

D'une manière générale, la fréquence  $F_{acc}$  (nombre d'accident de type 'acc' par unité de temps) est donnée par le modèle suivant:

$$F_{acc} = [\text{fréquence d'exposition au risque}] \times [\text{probabilité d'accident} / \text{exposition au risque}] \quad (0)$$

Le premier terme de cette expression - la fréquence d'exposition au risque - représente le nombre de situations a priori dangereuses (ou critiques) par unité de temps. Le deuxième terme est une notion de probabilité conditionnelle (probabilité d'un accident, **sachant qu'il existe une situation dangereuse**).

Le choix du facteur d'exposition au risque (en anglais: **exposure**) dépendra le plus souvent du type d'accident considéré<sup>7</sup>.

Ainsi, afin de calculer l'expression (0), il est nécessaire de disposer, pour chaque type d'accident :

- √ d'un modèle d'exposition au risque, définissant mathématiquement le facteur d'exposition au risque retenu et calculant leur nombre par unité de temps (par exemple une année) ;
- √ d'un modèle de probabilité d'accident, définissant la probabilité conditionnelle de ce type d'accident.

#### 1.3.1 **Modèles d'exposition au risque**

Dans la majorité des modèles d'estimation des fréquences d'accidents qui ont été conçus<sup>8</sup>, la relation retenue entre le type d'accident et le facteur d'exposition au risque est la suivante :

- collisions -> situation rapprochée de navires en l'absence de manoeuvre d'évitement (en anglais: 'potential encounter') ;
- échouages -> franchissement d'une distance de sécurité séparant un lieu possible d'échouement (côte, banc de sable), avec distinction d'un tel franchissement dû à une erreur humaine (par exemple changement de route non effectué en raison de l'absence de personnel ou d'un endormissement à la passerelle) ou à une défaillance des machines ou de l'appareil à gouverner ;
- contacts -> passage à proximité d'une structure ;
- naufrages -> navires heures (nombres d'heures de navigation des navires en une année) par mauvaises conditions de mer ;
- incendies, explosions -> navires miles.

Une fois le facteur d'exposition choisi et formulé mathématiquement, le modèle en calcule

le nombre (par unité de temps) dans la zone considérée. Ce nombre dépend, suivant le facteur d'exposition retenu, d'un ensemble de données comme les caractéristiques géographiques de la zone (côtes, profondeurs, nombre de plateformes, dispositifs de séparation de trafic, etc.), celles du trafic évoluant dans cette zone (types et tailles de navires, débits, vitesses, distributions spatiales des routes dans les couloirs de navigation) ainsi que les conditions de visibilité, vents, courants, etc.

### 1.3.2 Modèles de probabilité d'accident

Dans ces modèles seront définis, pour chaque type d'accident et le facteur d'exposition au risque retenus, la probabilité que l'on passe de la situation dangereuse à l'accident proprement dit, ainsi que la valeur de cette probabilité.

Par exemple, pour les accidents de type collision, un tel modèle probabiliste pourra être de la forme [4]:

$$[P_{\text{clear}} p_{\text{col, clear}} + P_{\text{badvis}} p_{\text{col, badvis}}]$$

où  $P_{\text{clear}}$  et  $P_{\text{badvis}}$  sont respectivement les probabilités de bonne et mauvaise visibilités dans la zone considérée et  $p_{\text{col, clear}}$  et  $p_{\text{col, badvis}}$  sont les probabilités d'une collision sachant qu'il existe une situation rapprochée avec un autre navire, respectivement par bonne et mauvaise visibilité.

Les valeurs de  $P_{\text{clear}}$  et  $P_{\text{badvis}}$  sont déterminées à partir de statistiques dans la zone considérée.

Celles de  $p_{\text{col, clear}}$  et  $p_{\text{col, badvis}}$  pourront être issues d'analyses de causes effectuées dans des bases de données d'accidents<sup>9</sup> ou par d'autres méthodes<sup>10</sup> sur lesquelles nous reviendrons. Pour un accident de type différent, par exemple un risque d'échouage suite à une avarie de machine ou d'appareil à gouverner, ce modèle probabiliste pourra être beaucoup plus complexe puisqu'il devra tenir compte de la possibilité, pour le navire à la dérive, de pouvoir réparer lui-même, d'être assisté par des remorqueurs éventuellement disponibles ou encore de pouvoir jeter l'ancre, pendant la durée séparant le début de l'avarie de l'échouement présumé.

### 1.3.3 Données nécessaires à ces modèles

Comme il vient d'être dit, quatre catégories de données relatives à la zone d'investigation sont nécessaires pour pouvoir mettre en oeuvre ces modèles :

- données trafic: il s'agit de recueillir une image la plus complète possible du trafic évoluant dans la zone considérée: structure des routes des navires (à partir des "ways-points") entre les principales origines-destinations de la zone, débits des navires sur chaque route et tronçon de ces routes, répartition spatiale des trajectoires individuelles, caractéristiques statiques et dynamiques (e.g vitesses) des navires, densités, etc. ;
- données géographiques: côtes, lignes de sondes, dispositifs de séparation de trafics, zones à éviter, plates-formes, aides à la navigation, autres objets ;
- données sur l'environnement: statistiques sur les conditions de visibilité, de vents, de mer, de courants ;
- données sur les différents types d'accidents: ces données, non limitées à la zone considérée, concernent les types d'accidents, les caractéristiques des navires impliqués, les causes de ces accidents, etc....

En outre, il convient évidemment de rajouter à ces données celles portant sur les mesures dynamiques de gestion du trafic des navires<sup>11</sup>, actuelles et projetées, dans la zone considérée.

Si le recueil des trois dernières catégories de données mentionnées fait appel à des bases de données constituées et à leur analyse, celui portant sur les données trafic fait appel à des techniques plus particulières. C'est ce que nous allons examiner brièvement dans ce qui suit.

## 2. METHODOLOGIE POUR LE RECUEIL DE L'IMAGE DU TRAFIC DANS UNE ZONE DONNEE

Trois étapes sont nécessaires afin d'établir une image la plus précise possible du trafic dans la zone d'étude.

**La première étape** a pour objectif de définir les routes les plus fréquemment utilisées par les navires pour transiter entre les principales origines-destinations de la zone.

Une route, entre un couple origine-destination fixé<sup>12</sup>, sera définie formellement à partir des coordonnées géographiques de ses "Ways Points" (WP), c'est à dire des points autour desquels les navigateurs modifient habituellement leurs caps.

Si l'on appelle tronçon tout segment de cette route délimité par deux WPs consécutifs (l'origine et la destination étant chacun un WP particulier), une route peut également être définie par la liste ordonnée de ses tronçons.

La méthode généralement utilisée pour définir ces routes consiste le plus souvent à faire appel à des **experts** (navigateurs actifs ou à la retraite ayant fréquenté la zone).

**La deuxième étape** a pour objectif d'affecter les flux annuels des navires sur ces routes.

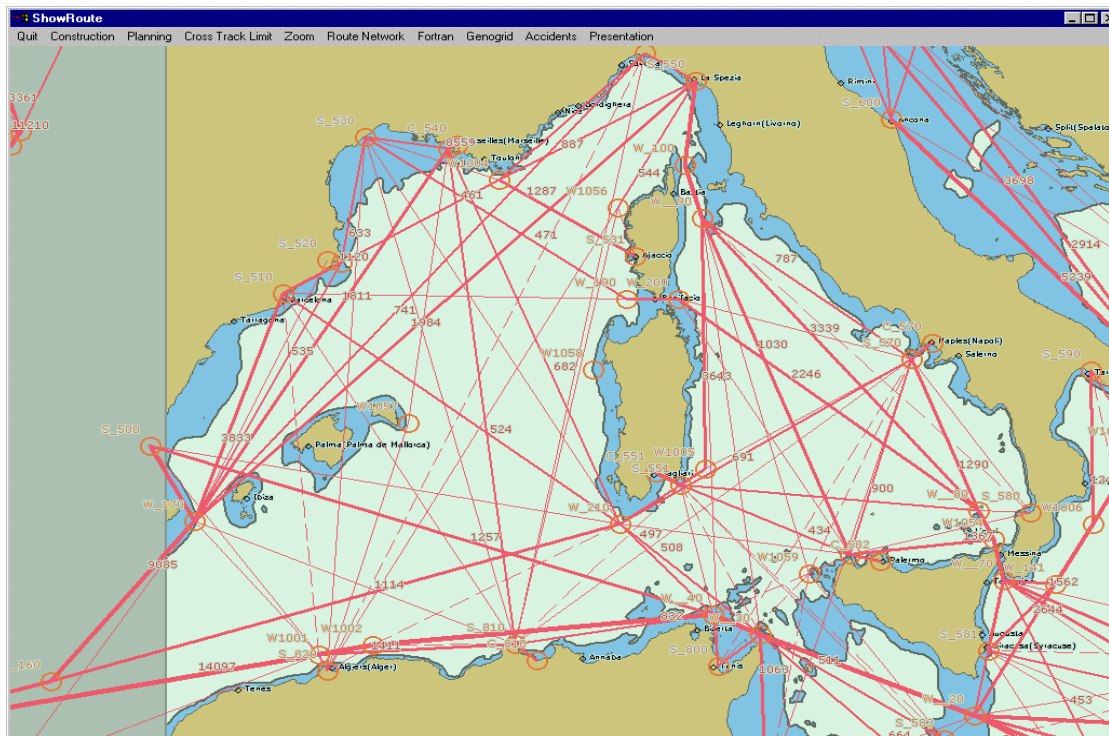
Pour cela, il convient d'utiliser une base de données sur les **voyages des navires**<sup>13</sup> (fichier chronologique annuel ou mensuel comportant le n° d'identification OMI du navire, son nom, son port de départ, de destination, sa date de départ de l'origine, éventuellement son ETA à destination) à partir de laquelle un navire sera sélectionné si son voyage correspond à une des origines-destinations retenues et affecté sur la route et les tronçons correspondants définis au cours de la première étape.

Le n°OMI du navire sélectionné permet en outre de connaître, à partir d'une autre base de données (**caractéristiques navires**)<sup>14</sup>, ses principales caractéristiques statiques et ainsi de dresser des statistiques très précises sur les flux de trafic s'écoulant entre chaque origine-destination retenues dans la zone.

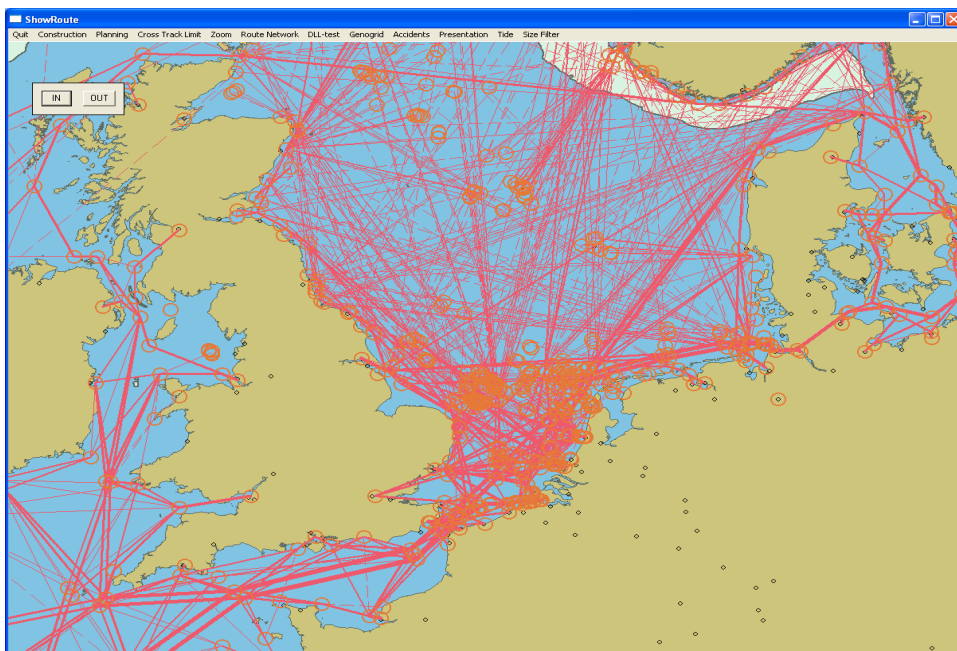
**La troisième étape** a pour objectifs d'affiner et/ou de compléter les données établies au cours de l'étape précédente. En effet, d'une part les bases de données, même les plus complètes comme celles de la LMIS ne couvrent pas le trafic des navires de pêche, des ferries, des navires de commerce inférieurs à 100 GRT ainsi que des navires de plaisance et autres engins de récréation; d'autre part les routes théoriques établies au cours de la première étape doivent être validées à partir d'observations in situ; enfin des données complémentaires comme par exemple la répartition des trajectoires des navires autour des routes théoriques sont essentielles pour alimenter en particulier les modèles calculant le nombre de situations rapprochées entre les navires (potential encounters).

La méthode généralement utilisée pour réaliser cette troisième étape consiste à faire des enquêtes dans les ports de la zone d'étude, des observations locales à partir de capteurs tels que des radars ou encore à utiliser des observations issues de satellites.

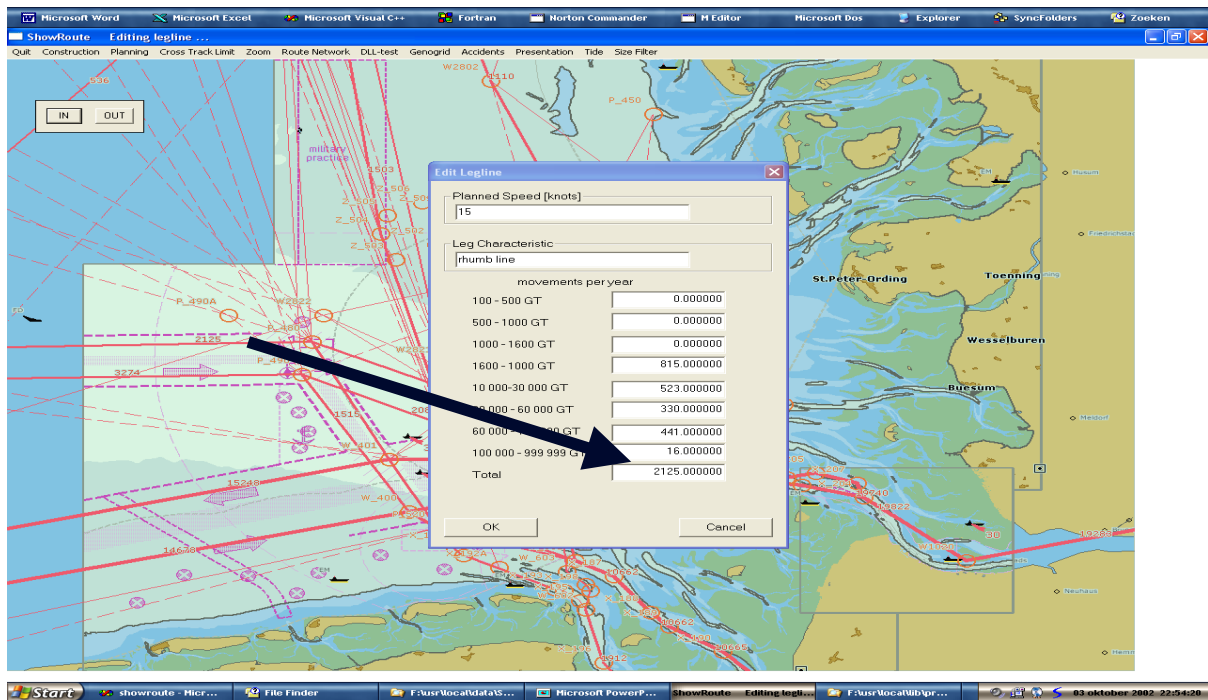
Les figures 2, 3 et 4 extraites des études réalisées aux Pays-Bas dans le cadre du modèle SAMSON illustrent quelques résultats pouvant être obtenus à partir de cette méthodologie.



**Fig. 2: Quelques routes en Méditerranée**



**Fig.3: Le trafic en mer du Nord (1987)**



*Fig.4: Détail du trafic sur une route du German Bight*

### 3. LE MODELE D'ESTIMATION DES FREQUENCES D'ACCIDENTS UTILISE DANS SAMSON

Le modèle SAMSON (Safety Assessment Models for Shipping and Offshore in the North Sea) est aujourd'hui le fruit d'un financement continu depuis les années 1975 de la part du Ministère des Affaires Maritimes des Pays-Bas (The Directorate General of Shipping and Maritime Affairs) pour le développement, par l'institut MSCN/MARIN, d'un ensemble de modèles d'estimation de la fréquence et des conséquences d'accidents destinés à appuyer les décisions de ce ministère en matière de politique de sécurité maritime (Policy for Sea Shipping Safety : POLSSS) [2].

Dans l'outil SAMSON, le modèle d'estimation des fréquences d'accidents, qui est compatible avec la forme générale donnée par la relation (0) du § 1.3, s'appuie sur la notion de **taux d'accidents** (CASRAT pour CASualty RATES en anglais) défini, pour un type d'accident, une zone et une unité de temps donnés, par le rapport entre le nombre d'accidents de ce type et le nombre d'expositions au risque.

Plus précisément, la relation donnant le taux d'accident compte tenu des conditions d'environnement de la zone considérée et de son niveau de gestion du trafic des navires est la suivante :

$$\text{CASRAT}_{\text{acc.area}} = [p_{\text{storm}} F_{\text{storm}} + p_{\text{vis}} F_{\text{vis}} + p_{\text{rem}}] F_{\text{manag}} \text{CASRAT}_0 \quad (1)$$

expression dans laquelle:

- ◆ **CASRAT<sub>acc.area</sub>** représente le taux de collision estimé pour un type d'accident 'acc' et la zone 'area' considérés ;
- ◆ **CASRAT<sub>0</sub>** représente le taux de collision pour le type d'accident 'acc' et une unité de temps donnés, par bonne condition de visibilité et temps calme, dans une certaine zone de référence (par exemple l'ensemble de la Mer du Nord). L'unité de temps et la zone de référence sont choisis de telle sorte que le nombre des accidents de chaque type survenus dans cette zone et pendant cette période soit statistiquement significatif.

- ♦  $p_{storm}, p_{vis}, p_{rem}$  représentent respectivement les probabilités de tempête, mauvaise visibilité et autres conditions différentes des deux premières dans la zone area,
- ♦  $F_{storm}, F_{vis}$  sont les facteurs (nombres réels >0) d'aggravation du taux de collision par rapport à celui obtenu par bonne visibilité et temps calme,
- ♦  $F_{manag}$  représente un facteur positif supérieur ou inférieur à 1 suivant que le niveau de gestion du trafic des navires dans la zone considérée est inférieur ou supérieur à celui de la zone de référence.

Les valeurs de  $F_{storm}, F_{vis}$  et de  $F_{manag}$  sont déterminées à partir de l'analyse des bases de données d'accidents.

Celles de  $p_{storm}, p_{vis}, p_{rem}$  sont définies à partir d'observations statistiques dans la zone considérée.

Le modèle SAMSON d'estimation des fréquences d'accident dans une zone particulière quelconque est en fait un modèle de **redistribution des accidents observés dans la zone de référence** fondée sur le nombre d'expositions au risque calculé pour cette zone particulière et les conditions locales de celle-ci.

Pour s'en convaincre, il suffit, dans l'expression (1) de revenir à la définition de  $CASRAT_{acc,area}$

Par comparaison, le modèle MARCS développé par les Norvégiens [4] n'est pas un modèle de cette nature. Sa forme en est très voisine puisque ce modèle est basé, comme SAMSON, sur la valeur de la probabilité de chaque type d'accident par bonne conditions de visibilité, mais cette valeur n'est pas issue du recueil du nombre d'accidents dans une zone de référence mais d'une analyse directe dans les bases de données sur les accidents.

Comme il a été dit, le modèle SAMSON a eu de multiples applications depuis près de vingt cinq ans pour le compte des Pays-Bas mais aussi pour le compte d'autres demandeurs comme l'Irlande, la Belgique, etc. Ce modèle a par ailleurs été appliqué dans plusieurs projets Européens comme hier l'action COST 301 [14] et aujourd'hui le projet EMBARC<sup>15</sup>.

Nous renvoyons le lecteur intéressé à l'**Annexe** de cet article où sont listées les références décrivant les principales applications de ce modèle et ses résultats.

#### 4. L'INDEX DYNAMIQUE DE RISQUE ATTACHE A UN NAVIRE

Parmi les mesures de sécurité qui ont été votées (mais non encore appliquées), celles qui incitent à renforcer la surveillance et le suivi des navires qui transitent au large des côtes des pays membres de l'Union Européenne<sup>16</sup> de façon à pouvoir intervenir plus efficacement en cas de besoin, sont primordiales.

Ce besoin d'intervention éventuelle est ressenti encore d'avantage aujourd'hui suite à la marée noire provoquée en Galice par le pétrolier **Prestige** (19 novembre 2002) et aux déclarations de la France et de l'Espagne à l'occasion du 15<sup>ème</sup> sommet franco-espagnol qui s'est tenu à Malaga concernant « la chasse, dans les 200 milles nautiques des côtes de ces deux pays, des **navires suspects**».

Mais que recouvre exactement la notion de **navire suspect**? Si l'on répond en disant que c'est un navire présentant un risque exagéré, on n'a pas considérablement avancé.

Au-delà des considérations habituelles (navire âgé, à simple coque, immatriculé sous pavillon de complaisance, transportant des matières dangereuses, etc.) qui contribuent sans contestation à préciser cette notion, celle-ci n'aura véritablement de sens que si elle comporte, par ailleurs, une

composante **dynamique**, permettant de rendre compte des conditions de trafic et d'environnement que le navire considéré rencontre **à tout instant** dans la zone de navigation. En effet, pour prendre un exemple simple, un navire d'un type et de taille donnés peut être « suspect » par telle ou telle conditions météorologiques alors qu'il ne présente aucun risque par temps clair et/ou calme.

Dans cet esprit, les concepts introduits dans les modèles d'évaluation des risques que nous avons examinés dans ce qui précède - abstraction faite des termes probabilistes, puisque dans ce cadre nous raisonnons à l'instant t, dans des conditions d'environnement connues – peuvent servir à définir pour certains navires **un index dynamique de risque d'accident** et à calculer à tout instant sa valeur, de façon à attirer l'attention des acteurs chargés de gérer le trafic maritime des navires si la valeur de cet index est au-delà d'un certain seuil.

La relation issue de [1] que l'on trouvera ci-dessous est une première proposition de l'expression d'un tel index :

$$Risk(t) = \sum_{acc} F_{age} F_{flag} F_{class} F_{storm} F_{vis} CASRAT_{0,acc} EXP_{acc,area} (P_{fat,acc,weather} N_{onboard} VOL + p_{inj,acc,weather} N_{onboard} VOI + OR_{weather,distance} CC_{oiltype,sens}) \quad (2)$$

Dans cette expression les paramètres non introduits dans les paragraphes précédents ont la signification suivante:

$Risk(t)$	= Valeur du risque du navire considéré en fonction du temps t, exprimé en Euro
$F_{age}$	= facteur d'aggravation du risque dû à l'âge du navire
$F_{flag}$	= facteur d'aggravation du risque dû au pavillon du navire
$F_{class}$	= facteur d'aggravation du risque dû à la société de Classification du navire
$EXP_{acc,area}$	= nombre d'expositions au risque subi par le navire dans la zone de navigation pour chaque type d'accident
$P_{fat,acc,weather}$	= Probabilité (%) de victimes parmi les personnes embarquées, étant donné le type d'accident et les conditions météorologiques
$N_{onboard}$	= Nombre de passagers et de membres de l'équipage à bord
$VOL$	= Valeur de la vie humaine
$p_{inj,acc,weather}$	= Probabilité (%) de blessés parmi les personnes embarquées, étant donné le type d'accident et les conditions météorologiques
$VOI$	= Coûts de revient des blessés
$OR_{weather,distance}$	= Partie du pétrole (en tonnes) échouée sur la côte, suite à une marée noire en mer à une certaine distance de la côte, étant donné les conditions météorologiques
$CC_{oiltype,sens}$	= Coûts des opérations de nettoyage en Euro d'une tonne de pétrole, étant donné la sensibilité de la côte.

La valeur de chacun des facteurs  $F_i$  relatifs à l'âge, le pavillon et la société de classification du navire peut être déterminée à partir de l'analyse de bases de données d'accidents ou de celles consignant les résultats d'inspections de navires conformément au MOU<sup>17</sup> de Paris (e.g base de données **EQUASIS**).

Les valeurs des facteurs  $F_i$  relatifs à la visibilité et à la tempête peuvent également être déterminées à partir de l'analyse de bases de données d'accidents.

Le produit  $CASRAT_{0, acc} * EXP_{acc, area}$  représente la fréquence estimée d'accident de type 'acc' du navire considéré.

La partie du pétrole échouée sur la côte peut être calculée à partir d'une estimation de la marée noire et de la probabilité qu'elle atteigne la côte.

Les coûts des opérations de nettoyage peuvent être estimés par la méthode "Estimating cleanup costs for oil spill" publiée en 1999 à l'International Oil-spill Conference.

## 5. CONCLUSIONS

Dans cet article, nous avons présenté les modèles d'évaluation des risques d'accidents maritimes. Ces modèles s'inscrivent dans le cadre des directives de l'OMI sur la méthodologie d'évaluation formelle de la sécurité maritime (FSA).

Un risque d'accident de type donné étant défini par le produit de la fréquence de ce type d'accidents et des conséquences de cet accident, deux catégories de modèles sont nécessaires afin de procéder à l'estimation de ce risque :

- √ les modèles d'estimation de la probabilité (ou fréquence) des accidents ;
- √ les modèles d'estimation des conséquences de ces accidents.

Les modèles d'estimation de la fréquence des accidents se divisent à leur tour, pour chaque type d'accident, également en deux catégories de modèles :

- √ un modèle d'exposition au risque, définissant mathématiquement le facteur d'exposition au risque (la situation dangereuse) retenu pour le type d'accident considéré et calculant leur nombre par unité de temps (par exemple une année) ;
- √ un modèle de probabilité d'accident, définissant d'une part pour le type d'accident considéré la probabilité conditionnelle que l'on passe de la situation dangereuse à l'accident proprement dit et calculant d'autre part la valeur de cette probabilité.

Ces modèles d'évaluation des risques ont été conçus et développés afin d'évaluer par une **approche systématique, méthodologique et quantitative**, pour une zone maritime donnée :

- i) le niveau de sécurité de cette zone compte tenu des mesures de gestion du trafic des navires existantes et ;
- ii) celui que l'on obtiendrait si l'on mettait en oeuvre telle ou telle nouvelle mesure de gestion (Risk Control Options), comme par exemple l'implantation dans cette zone, de nouvelles aides à la navigation, un dispositif de séparation du trafic, des zones à éviter pour la navigation, l'obligation de pilotage, un VTS (Vessel Traffic Services) d'un niveau de services donné, etc.

De nombreux exemples d'applications de ce type sont et ont été produits à partir de modèles existants, en particulier à partir du modèle SAMSON développé aux Pays-Bas.

Si ces objectifs sont toujours d'actualité, on peut penser aujourd'hui, suite aux catastrophes maritimes récentes telles que celle de l'Erika (décembre 1999), du levoli Sun (octobre 2000) et du Prestige (novembre 2002) et aux Directives des « paquets Erika I et II » votées par le parlement Européen, à utiliser les concepts développés dans ces modèles afin d'attacher à certaines catégories de navires un index individuel dynamique de risque d'accident, qui dépendrait du temps.

La valeur de cet index pourrait être utilisée en temps réel par les acteurs chargés de surveiller et de suivre les navires en transit dans les 200 milles des côtes des pays membres de l'Union Européenne afin de détecter tout navire « suspect » et de mettre en œuvre, dans l'affirmative, les mesures adéquates.

## 6. QUELQUES REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] 2002, April : "Embarc :A risk equation for ships ", C.C. Glansdorp, contribution paper for SWP3.2,
- [2] 2001:"Policy for Sea Shipping Safety", C.van der Tak (Marin), presented at the 2<sup>nd</sup> International Conference on Collision and Grounding of Ships, Copenhagen, Denmark
- [3] 2001: "The marine accident risk calculation system", Timothy G. Fowler, Eirick Sorgard & H.Thevik, Det Norske Veritas, International conference on Port and maritime R&D and Technology, Singapoure
- [4] 2000 : "Modelling ship transportation risk", Timothy G. Fowler & Eirick Sorgard, Det Norske Veritas, Risk Analysis, Vol 20 N°2
- [5] 2000:"Safety Assessment in Ports", C. van der Tak (Marin), presented at the XII International Conference on Shipping and Shipping Research, Venice, Italy.
- [6] 1999, Août, "Méthode de conception fondée sur le risque pour les aides à la navigation sur le fleuve Saint-Laurent, rapport final TP 13468F, B. Judson, J. Shortreed, J.D Reid
- [7] 1999, March, Risk management in the Marine transportation System, proceedings of a Conference, Irvine, california
- [8] 1999:"Safety Assessment in Ports", C. van der Tak (Marin), presented at 2<sup>nd</sup> International Harbourmasters Association Congress, Dubai.
- [9] 1996: "Safety Management Assessment Tool (SMART)", C. van der Tak (Marin), presented at the 8th International Symposium on Vessel Traffic Services, Rotterdam, The Netherlands.
- [10] 1995:"Ship Offshore Platform Collision Assessment (SOCRA)", C. van der Tak (Marin), presented at the 5th International Conference Loss Prevention in the Oil and Gas Industry, Aberdeen, United Kingdom.
- [11] 1992:"Safety of platforms in the North Sea", C. van der Tak (Marin), presented at the "1<sup>st</sup> World Congress on Safety of Transportation", Delft, The Netherlands.
- [12] 1988:"Maritime traffic handling planning of resources in the North Sea canal to Amsterdam", C. van der Tak (Marin), presented at 9e International Harbour congress, Antwerp, Belgium.
- [13] 1987:"The maritime environment, traffic and casualties", COST 301 Final Report, Annex to Main Report: Volume 2, C.C. Glansdorp, R. Tresfon, J.F. Kemp, V. Kostilainen, T. Eriksson, C. van der Tak, COST 301/FR 3.02(AN 1014), Issue B/03/87.

- [14] 1987, April: COST 301 final report, Volume 9, Assessment methods and results, C.C. Glansdorp, J.F. Kemp, R.O. Goss, C. Deutsch
- [15] 1984, October: Study Vessel Traffic Services, final report TP 5965-1 E, Canada

## 7. ANNEXE : APPLICATIONS DU MODELE SAMSON

Pöyhönen, M., Walker, W.E., Lotstra, A., van der Tak, C., 1998. **POLSSS – Policy for Sea Shipping Safety: Surveying Stakeholders About Acceptability of Risks and System Changes, RE-98.007**, DGG, Den Haag / RAND Europe Leiden + MARIN, Wageningen.

Walker, W.E., Pöyhönen, M., de Jong, J.H., van der Tak, C., 1998. **POLSSS—Policy for Sea Shipping Safety: Cost-Effectiveness Analysis, RE-98.006.1**. DGG, Den Haag / RAND Europe Leiden + MARIN, Wageningen.

Walker, W.E., Pöyhönen, M., de Jong, J.H., van der Tak, C., 1998. **POLSSS—Policy for Sea Shipping Safety: Tactic Information, RE-98.006.2**. DGG, Den Haag / RAND Europe Leiden + MARIN, Wageningen.

Walker, W.E., Pöyhönen, M., de Jong, J.H., van der Tak, C., 1998. **POLSSS—Policy for Sea Shipping Safety: Executive Summary, RE-98.005**. DGG, Den Haag / RAND Europe Leiden + MARIN, Wageningen.

The POLSSS-study describes the quantification of policy measures on the Dutch part of the North Sea. Shipping risk models are used to assess the level of safety with the current set of traffic management measures (e.g. routing, waterway marking, pilotage and VTS) in the North Sea and within the actual context of density and quality of shipping. The assessment of the impacts of future measures was used to determine a better balanced mix of measures leading to an improved cost/benefit ratio i.e. improved stakeholders perception, equal level of risk even under future traffic increase.

Van der Tak, C., 1999. **Risk assessment for the Irish Sea**. NEC, Cork / MARAN, Rotterdam + MARIN, Wageningen.

The SAMSON-model is applied for the sea area around Ireland. The frequencies of casualties have been assessed with the SAMSON-model without using local casualty databases. A comparison of the SAMSON-predictions with the historical casualty databases of the region showed that the predictions were completely in line with the numbers extracted from the historical databases.

Van der Tak, C., 1999. **Incident risk and optimum locations for Emergency Towing Vessels in Ireland**. NEC, Cork / MARAN, Rotterdam + MARIN, Wageningen.

The consequences of some incidents can be diminished by the availability of an Emergency Towing Vessel (ETV). The efficiency of an ETV depends on the location and the size of the ETV. A number of scenarios are assessed with the SAMSON-model.

Van der Tak, C., 1999. **Safety assessment for the Near Shore Windpark (report nr. 15773.620/2)**. Haskoning, Nijmegen / MARIN, Wageningen.

A study to the impact of the Near Shore Windpark for the shipping. Global safety assessment for 6 locations. A detailed safety assessment for the locations IJmuiden-Oost and Zandvoort-Oost.

Van der Tak, C., 1999. **Ship – Platform F15A Collision frequency (report 15240.620/1)**. AEA Technology Netherlands, Den Haag / MARIN Wageningen.

Van der Tak, C., 2000. **Elaboration of the safety assessment study for the Near Shore Windpark (report nr. 16466.620/1)**. Haskoning, Nijmegen / MARIN, Wageningen.

Assessment of the consequences of the collisions of shipping with the wind turbines of a Near Shore Windpark. Damage to windturbine and ship, and frequencies and consequences of chemical and oil spills. The study is extended with a detailed safety assessment for the NSW location Egmond.

Van Doorn, J.T.M., van der Tak, C., 2000. **Nautical accessibility and safety for the development of the long-term policy for the Scheldt Estuary (report nr 16208.600)**. Ministry of Transport, Public Works and Water Management, Direction Zeeland / MARIN, Wageningen.

The Scheldt is a rather complex (difficult) fairway to very important ports, under which Antwerp. In order to keep track with the growths in the ship dimensions, the Scheldt has been kept on depth continuously. In the framework of the development of a long-term policy concerning accessibility of the Scheldt estuary, MARIN performed a study to the relation between nautical and infrastructural management in the period to 2020/2030.

The questions were:

Which development of ship types in numbers and ship dimensions is expected and what should this mean for the traffic expected in the Scheldt estuary?

Which requirements can be derived from these developments in terms of channel width, depth and bend radius?

What are the capabilities and limitations for tidal navigation and other traffic management measures?

What is the impact of different scenarios on the safety in the region, expressed in terms of number of casualties expected and in the location of individual risk contours?

Van der Tak, C., 2000. **Update T0-Emissions (report nr. 16196.620/1)**. DGG, Den Haag / MARIN, Wageningen.

In 1997 DGG has written a report "T0-Emissions" with the most important emissions from shipping on the Dutch Continental Shelf. This report is updated and extended based on the shipping on the Dutch Continental Shelf in 2000. The following emissions have been quantified.

Operational oil spills;

Production of fuel related waste (sludge and bilge);

Assessment of oil spills from casualties;

Assessment of chemical spills from casualties;

Legally discharged of chemicals;

Exhaust emissions;

Emission form hull paintings;

Production and discharge of rubbish.

Van der Tak, C., 2001. **Safety assessment for the three offshore windpark locations Q4-WP, Q7-WP en P12-WP (report nr. 16580.620/2)**. E-Connection, Bunnik / MARIN, Wageningen.

The safety assessment for three potential locations for the offshore wind farms of E-Connection. The collision risk and the consequences are assessed.

Van der Tak, C., 2001. **Ship Platform Collision Study (report 15751.620)**. Amey Vectra, Den Haag / MARIN Wageningen.

Assessment of the collision risk for the platforms K1A, G17d, K12-G en F2A.

Van der Tak, C., 2001. **Marine traffic related threats to the NAM-pipelines (report 16722.620)**. Jacobs Engineering Nederland, Leiden / MARIN Wageningen.

The objective of this study is to assess the threats to the NAM-pipelines on sea bottom the Dutch Continental Shelf. MARIN will assess the threat in terms of probabilities that:

a ship founders on the pipeline;

- a ship sinks on the pipeline after being involved in a collision;
- a container falls on the pipeline
- deck cargo falls on the pipeline;
- an anchor is dropped on the pipeline;
- an anchor is dropped by a ship just before passing the pipeline and next the anchor hooks the pipeline before the ship is stopped;
- a ship strands on the pipeline;
- a fishing vessel crosses the pipeline while fishing.

Van der Tak, C., 2001. **Ship – platform K1A collision study (report nr. 17159.620/1).** TotalFinaElf, Den Haag / MARIN, Wageningen.

Van der Tak, C., 2001. **Ship – platform collisions for platforms in G16, K2, B13, A12 and A18 (report nr. 17471.620/1).** Global Maritime, Rotterdam / MARIN, Wageningen.

Van der Tak, C., 2001. **Impacts of space claims in the North Sea on the shipping traffic.** DGG, Den Haag / MARIN, Wageningen.

Because a number of offshore activities, like wind farms, platforms or an airport, are studied. The dutch government tries to keep free a minimum network of shipping lanes, called “clearways”, in the North Sea. The impact of the clearways on the safety of shipping is assessed with SAMSON.

2001-2004. **EMBARC; Euopean Maritime project for Baseline and Advanced Regional and Coastal traffic management and infromation services.** EC, Brussel

An EC project in the framework of “Competitive and sustainable growth” programme. The Risk Assessment in de European waters will be assessed as input for strategic co-operation between coast guards.

Application of SAMSON-model to local traffic data

Bovens, N.L.A., van der Tak, C., 1998. **Suriname Bridges Project Real-time Simulation (report 14808.620/3).** Ballast Nedam International, Amstelveen / MARIN, Wageningen.

As part of this study a Collision Risk Assessment Study has been performed to the collision risk of bridge pillars by powered and drifting collisions. The probability on drifting is very high because of the muddy river.

Bovens, N.L.A., van der Tak, C., 1999. **Collision risk and protection of the bridge crossing the Suriname river (report nr: 15452.620/1).** Ballast Nedam International, Amstelveen / MARIN, Wageningen.

The failure rate of the pillars are assessed for a number of protection scenarios. The objective was, finally to comply with the AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) *guidelines for vessel collisions design of highway bridges*.

Van Doorn, J.T.M., van der Tak, C., 1999. **Chemical/Gas Tanker Berth Kishon Port Entrance Risk Study (report nr: 15025.620/2).** Ports and Railways Port Authority, Tel Aviv, Israel / MARIN, Wageningen.

In addition to the full scale bridge manoeuvring simulator study to the approach channel to Kishon, a risk study with SAMSON has been performed to compare different alternatives for the port lay-out.

Van Doorn, J.T.M., van der Tak, C., 2000. **Hayovel Port, collision risk for the multibuoy mooring system South at Ashdod (report nr: 16108)**. Ports and Railways Port Authority, Tel Aviv, Israel / MARIN, Wageningen.

In addition to a the full scale bridge manoeuvring simulator study to the entrance of Kishon, a risk study with SAMSON has been performed for the risk of the multi buoy mooring system near the approach channel to Ashdod.

Van Doorn, J.T.M., van der Tak, C., 2000. **A nautical study regarding the fourth crossing of the river Shannon (report nr: 156535.600/1)**. MCOS-COWI Consulting Engineers and Planners, Lyngby, Denmark / MARIN, Wageningen.

Assessment of the risk for three bridge locations and different bridge layouts for a bridge crosses the Shannon in Ireland.

- <sup>1</sup> Directeur de Recherche à l'INRETS; **Contact:** [degre@inrets.fr](mailto:degre@inrets.fr)
- <sup>2</sup> Modèle SAMSON (Safety Assessment Models for Shipping and Offshore in the North Sea), encore connu sous le nom de "MANS model", développé par MSCN/MARIN
- <sup>3</sup> Voir par exemple rapport final d'Octobre 1984 "Étude sur les Services de Trafic Maritime" ou rapport final d'Août 1999: "Méthode de conception fondée sur le risque pour les aides à la navigation sur le fleuve Saint-Laurent".
- <sup>4</sup> En anglais: Vessel Traffic Management (VTM)
- <sup>5</sup> "Interim Guidelines for the application of FSA to the IMO rule-making process", IMO resolution MSC/cir.829
- <sup>6</sup> Le terme «estimation» aurait été préférable à «évaluation», mais nous avons conservé ce dernier afin de rester fidèle au terme anglais «assessment» utilisé par l'OMI dans ses «guidelines».
- <sup>7</sup> Dans certains modèles simplifiés, "l'exposure" retenu sera par exemple simplement les "navires miles" (*ship miles*) c'est à dire le nombre de miles parcourus par les navires en une année, quel que soit le type d'accident.
- <sup>8</sup> Ceux déjà cités et également le modèle PAI (Problem Area Identifier) développé au cours de l'Action Européenne COST 301 (1982-1987), MARCS (Marine Accident Risk Calculation Systems) développé à partir de 1990 par Det Norske Veritas (Norvège) et utilisé dans les projets Européens SAFECO I et II.
- <sup>9</sup> comme dans le modèle MARCS
- <sup>10</sup> comme dans le modèle SAMSON
- <sup>11</sup> Comme le niveau de services des VTS. Les données sur les mesures de gestion statiques sont déjà intégrées dans les données géographiques
- <sup>12</sup> Il peut exister plusieurs routes (une route principale et des routes alternatives) entre une origine-destination données, qui seront fonction des types de navires transitant entre cette origine-destination, des contraintes géographiques, des conditions météorologiques.
- <sup>13</sup> Par exemple celle établie annuellement par le LMIS (Lloyd's Maritime Information Services)
- <sup>14</sup> Même remarque que la note 13.
- <sup>15</sup> European Maritime project for Baseline and Advanced Regional and Coastal traffic management and information services (2002 – 2004)
- <sup>16</sup> Essentiellement à partir de l'échange d'informations pertinentes entre les acteurs concernés
- <sup>17</sup> Memorandum Of Understanding signé à Paris en 1982 demandant aux 18 pays qui l'ont ratifié de contrôler 25% des navires faisant escale dans leurs ports.

# SURVEILLANCE DE LA NAVIGATION MARITIME PRÉSENTATION DE LA TECHNOLOGIE RADAR ÉTAT DE L'ART - PERSPECTIVES

*Intervention de Monsieur Bruno MANOURY,*

CETMEF

L'objet de cet exposé est de présenter l'état de l'art des radars utilisés en surveillance de la navigation maritime. Cet exposé est une introduction aux trois exposés qui suivent et qui traitent de certaines perspectives.

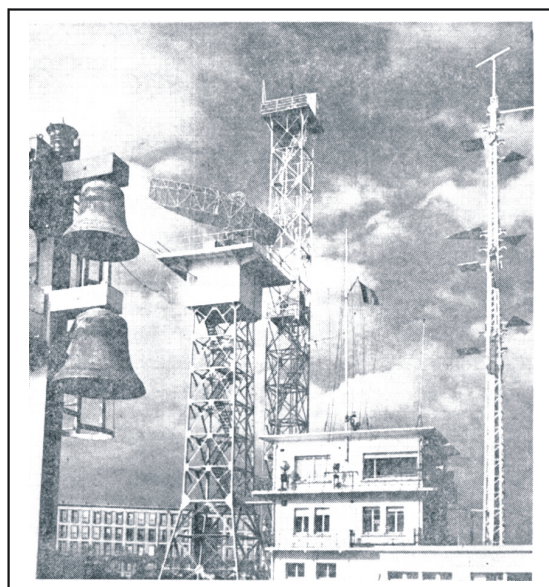
Après un bref historique pour les radars portuaires comme pour les radars des CROSS, nous limiterons à l'examen de l'évolution de certains paramètres opérationnels : la visualisation, la portée, la discrimination, ce qui nous amènera à évoquer d'autres paramètres comme la fréquence, le bruit, les fouillis de mer et de pluie, la polarité, les probabilités de fausse alarme et de détection.

## HISTORIQUE DES RADARS DE SURVEILLANCE PORTUAIRE

Le premier radar de surveillance de la navigation maritime a été installé en France en mars 1948 à la capitainerie du Havre appelé « sémaphore ». Ce radar de 15 kW fonctionnait en bande S avec une antenne réflecteur de 12,5m, des impulsions de largeur de 0,2 et 0,6 microsecondes. (photo de l'antenne du radar du port du Havre).

Ce radar a été suivi par une deuxième installation provisoire sur le mur coupe-vent situé à l'extrémité opposée du port et chargé de surveiller l'intérieur des bassins.

L'objectif de ces radars était d'assister les officiers du port dans le guidage des navires entrant et sortant du chenal par temps de brouillard. Les navires étaient encore très peu équipés en radar et jugés peu sûrs pour approcher des installations du port et en particulier atteindre le bateau pilote.



Le radar ne fonctionnait que par temps de brouillard.

Des études d'implantation ont été menées par les ingénieurs du port du Havre avec l'aide du service technique des phares et balises, et le concours de l'institut néerlandais de recherche radar, institut qui s'était illustré dans les recherches d'implantation pour le port de Rotterdam et les embouchures de l'Elbe et la Weser. Ces études ont été menées sur toute l'embouchure de la Seine.

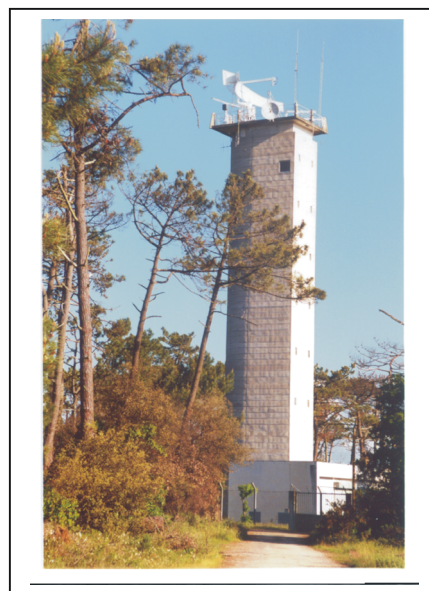


Par la suite cette installation a évolué pour une installation d'un radar sur la tour de la nouvelle vigie du port (1970), au cap de la Hève, à l'écluse François Premier, au bassin de marée puis à l'écluse de Tancarville.

En 1955 était installé un premier radar à Marseille à la vigie Sainte Marie. Ce radar fonctionnait en bande X avec une antenne de 7 pieds, il a été rénové en 1957. Il a été complété par un radar d'approche au Cap Couronne et en 1979 par un radar précis sur la nouvelle capitainerie de Fos sur mer (radar en bande KU).

Au port de Rouen le premier radar a été installé à Honfleur en 1960 puis dans la boucle de Radicatel en 1968 puis à nouveau à Honfleur en 76 avec la tour radar actuelle.

Au port de Bordeaux, le radar a été installé sur le feu d'alignement de La Palmyre et remplacé en 1985 par un radar TRS 3405.



Au port de Dunkerque, le premier radar a été installé au port Est en 75 et au port ouest en 77, complétés en 1998 par le radar des Dunes. Viennent ensuite les installations de Calais (88), de Saint Nazaire avec la tour de Mindin, de Sète etc.

Tous ces radars à partir des années 70 fonctionnaient en bande X avec des antennes plus ou moins importantes.

## FONCTIONS OPÉRATIONNELLES

L'objectif de ces radars était d'assister les officiers du port dans le guidage des navires entrant et sortant du chenal par temps de brouillard, d'éviter des attentes parfois longues et d'accéder au moins jusqu'au bateau pilote. Cette fonction s'est maintenue dans certains ports bien que les équipements radar des navires aient évolué et soient maintenant très fiables.

Le rôle essentiel reste l'exercice de la police de la navigation, pour garantir au commandant à bord une sécurité de manœuvre notamment dans le chenal. Le radar a ainsi évolué pour être utilisé comme outil tout temps, pour la sécurité des accès, mais également comme aide au positionnement dans les bassins et chenaux, pour le contrôle des évitages en complément des moyens vidéo et des renseignements obtenus sur place.

L'évolution actuelle des équipements va vers des installations portuaires multi-radar permettant de résoudre les masquages des navires eux mêmes et d'obtenir la vue et la plus complète des bassins.

## HISTORIQUE DES RADARS DE SURVEILLANCE AU LARGE

En 1972, suite à un échouage dans le Pas de Calais, et en dépit d'un balisage actif important, une série d'abordages s'est produite sur le navire échoué. Il est apparu nécessaire d'apporter aux commandants des navires une information générale sur la navigation que les commandants sur zone ne pouvait appréhender avec leurs propres moyens.

En 1973 était créé le MRCC de Douvres. En 1974, ce fut le premier radar côtier installé au cap Gris Nez.

Dans les années 70, il faut rappeler le contexte et en particulier le travail au sein de l'OMI et la sortie des principales conventions COLREG(72), SOLAS(74), MARPOL(73-78), SAR(79) l'instauration des dispositifs de séparation de trafic. Puis ce fut la résolution de 85 avec création de la notion de services de trafic maritime (VTS)

Le radar n'est plus un outil de navigation, mais devient un instrument d'information, de surveillance de la bonne exécution de la réglementation internationale.

Puis ce furent les accidents de l'Amoco Cadis, du Torrey Canon, de l'Olympic Bravery et la création des stations radar du Stiff sur l'île d'Ouessant en 79 et des trois CROSS de Gris Nez, Jobourg et Corsen en 84 avec les stations radar associées de Gris Nez, Jobourg en 1984, puis Saint Fieux en 1988.

Plus proche de nous l'Erika en 1999, l'levoli Sun, le Prestige, le Tricolor et la nécessité de rechercher des compléments aux outils actuels.

Du radar installé à Gris nez de 45 kW avec une antenne de 12 pieds et un écran de 16 pouces, les

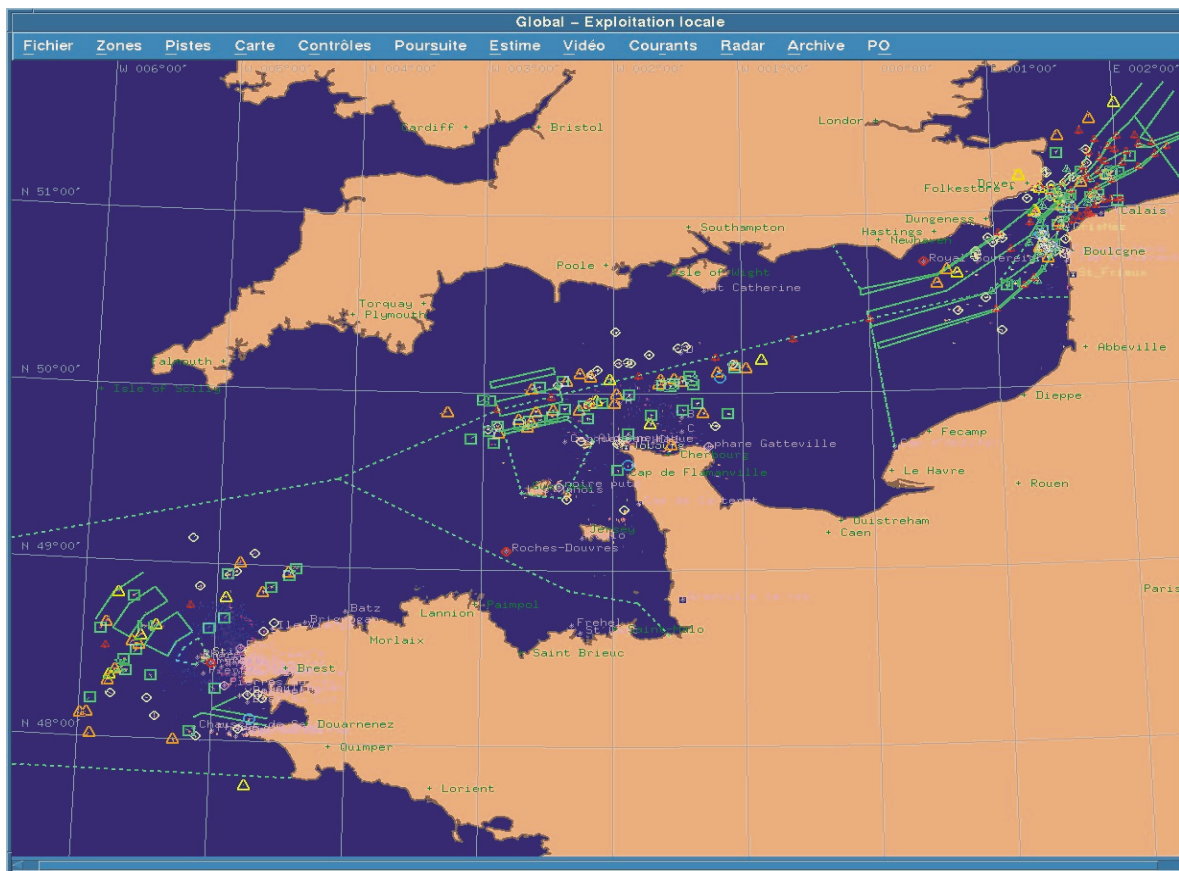


CROSS entre temps créé, ont vu leur équipement évoluer vers des matériels de performances élevées.

## LA SITUATION ACTUELLE

Une couverture en radar côtier des DST de la Manche par les radars du Stiff à Ouessant, de Jobourg, de Saint Frioux et Gris Nez qui sera complétée prochainement par de nouveaux radars sur l'île de Guernesey et à la Pointe du Raz.

Une couverture en Méditerranée des bouches de Bonifacio.



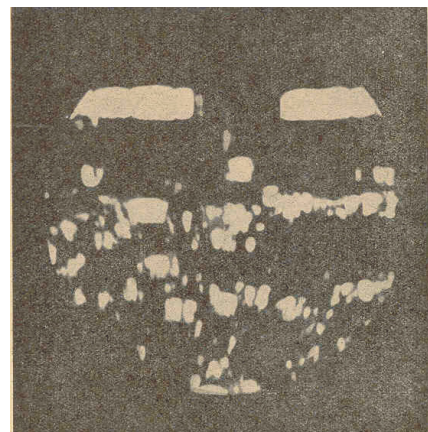
## VISUALISATION ET EXPLOITATION DES IMAGES

L'évolution la mieux perceptible concerne la visualisation et l'exploitation des images.

Image radar de l'entrée du port du Havre.

La complexité de l'image laisse deviner les efforts d'interprétation que devaient effectuer les opérateurs.

L'image radar était projetée sur un écran à



phosphore pour obtenir une rémanence des échos. L'observation se faisait en salle obscure.

L'opérateur avait à sa disposition quelques traitements analogiques comme le gain, l'accord en fréquence (CAF), le seuil vidéo, le changement d'échelles, quelques outils d'aide à la localisation comme un marqueur variable actionnée à l'aide d'une boule roulante et une grille de marqueurs fixes.

La visualisation de type télévision est apparue vers les années 70 pour la nouvelle capitainerie du Havre puis s'est améliorée pour les systèmes de Bordeaux et Saint Nazaire avec disparition des salles obscures et création de salles à lumière atténuée.

En 1981, la confiance envers les images entièrement synthétique n'était pas suffisante c'est pourquoi, un déport de la vidéo brute non traitée était prévue, ce n'a pas été le cas pour Saint Frieux en 1988.

Ces outils ont évolué avec l'apparition des ARPA. (automatic radar plotting aid), la demande des ports (fonctions d'excentrement, la poursuite automatique de cibles non situées obligatoirement autour du navire, prévision des ETA et CPA ...)

L'image comportait de nombreuses fausses alarmes nécessitant des radaristes expérimentés. Le suivi s'effectuait directement sur l'écran à l'aide d'un crayon gras ou par report sur des cartes marines. L'archivage des images s'effectuait au moyen d'une caméra filmant un écran. Le film était développé en cas d'incident.

La visualisation s'effectue maintenant en couleur, l'image est épurée des échos parasites. L'image est exploitée en lumière atténuée et l'opérateur dispose de nombreuses fonctions :

- Fonctions de localisation, azimut distance, route et vitesse, prévisions
- Poursuite automatique, zones d'alerte, prévision établissement temps d'arrivée (ETA), cartographie (fond et cibles),
- Accès aux bases de données,
- Interface gonio, AIS,
- Intégration de plusieurs radar sur un même écran.

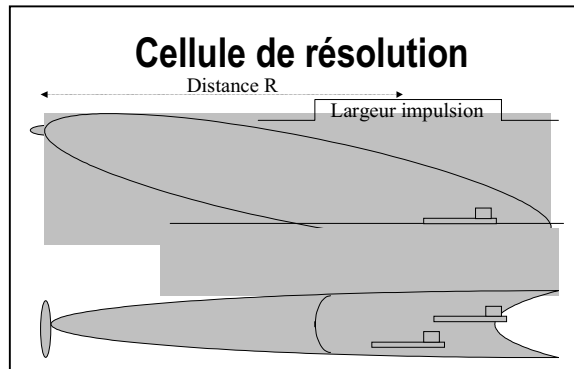


Figure 1-2. Auxiliary Off-Centered Indicator, Type 2



## EVOLUTION DE LA CELLULE DE RÉOLUTION

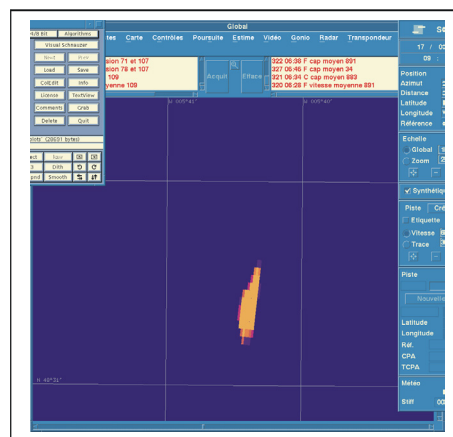
La cellule de résolution est appelée également cellule de confusion. Le schéma montre que pour une impulsion longue, le radar ne discernera pas les échos en provenance d'une zone dont l'étendue en distance est équivalente à la largeur de l'impulsion. De même, pour une antenne à faible définition, il ne discriminerait les échos de deux cibles proches.



A l'opposé, une impulsion très fine et une antenne à lobe très fin, pourront fournir une image détaillée de la cible et une possibilité d'identification grossière.

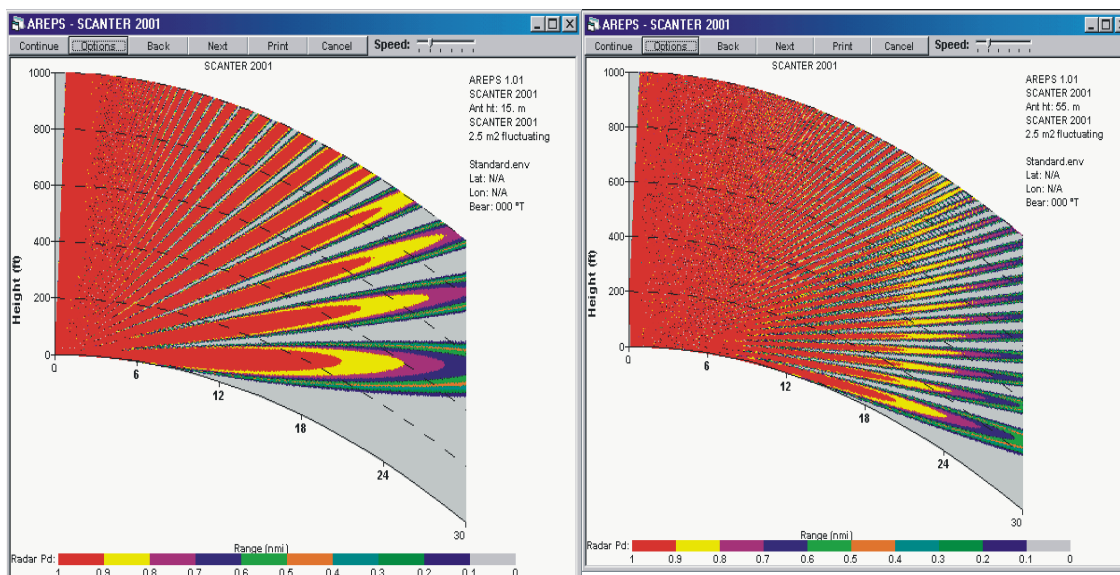
Par contre, une impulsion très fine a pour conséquence de réduire la portée du radar et une antenne à lobe très fin a pour conséquence un coût élevé.

L'évaluation des besoins doit donc fixer des caractéristiques adaptées et réaliser un compromis coût performances radar. La réflexion doit inclure les autres outils à la disposition du STM.



## PORTÉE

La portée dépend de nombreux facteurs dont la hauteur de l'antenne. Ces deux schémas présentent les probabilités de détection de radars en bande X et S en fonction de la hauteur d'installation. Le graphe de gauche correspond à une hauteur de 15 mètres, le graphe de droite à une hauteur de 55 m.

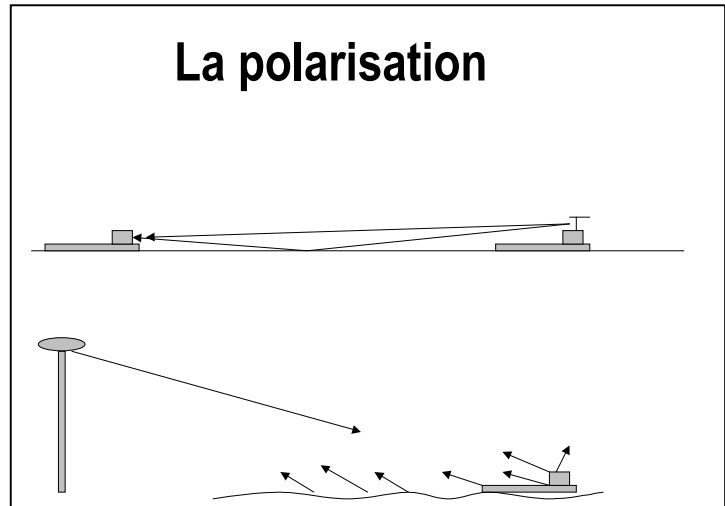


## POLARISATION

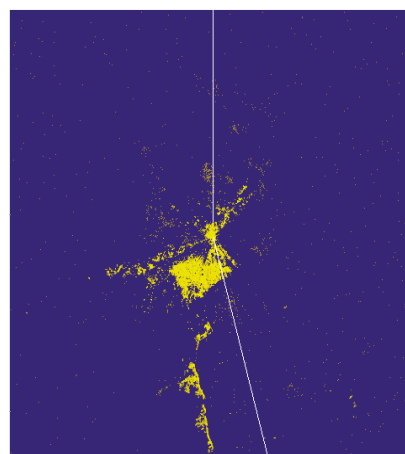
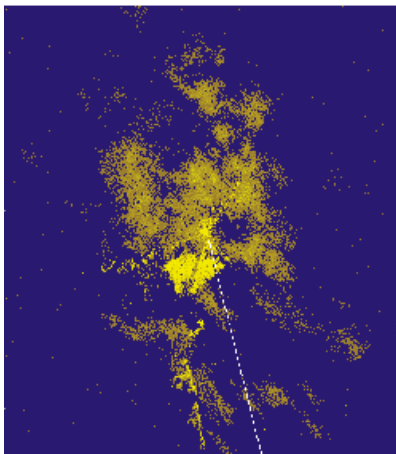
La polarisation horizontale améliore la portée grâce à un coefficient de réflexion sur l'eau voisin de l'unité.

Pour les radars côtiers, la polarisation retenue est en principe verticale pour réduire le coefficient de réflexion aux faibles incidences et réduire le clutter de mer.

On adopte également une polarisation circulaire pour réduire le clutter de pluie.



## CLUTTER OU FOUILLIS DÙ À LA PLUIE



La polarisation et le traitement par intégration des échos réduit la perturbation. Les antennes ouvrant peu vers le ciel et en particulier les antennes à réflecteur sont moins sensibles au fouillis de pluie.

## FRÉQUENCES

Les fréquences les premières utilisées se situaient dans la bande S (Le Havre) et bande X (Marseille). Des études ont été envisagées en bande Q (38 GHz (le Havre), le radar de Fos fonctionnait en bande KU (15 GHz).

Les deux bandes les plus utilisées en navigation maritime sont les bandes S (2,9 à 3,2 GHz) et X (9,3 à 9,5 GHz).

Ces bandes sont partagées avec l'aviation civile et la météorologie avec priorité en bande X pour la navigation maritime.

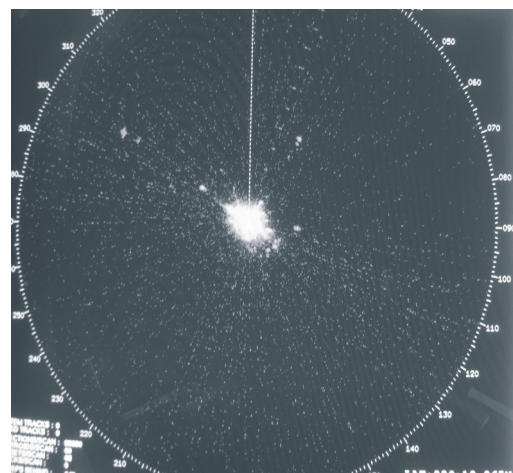
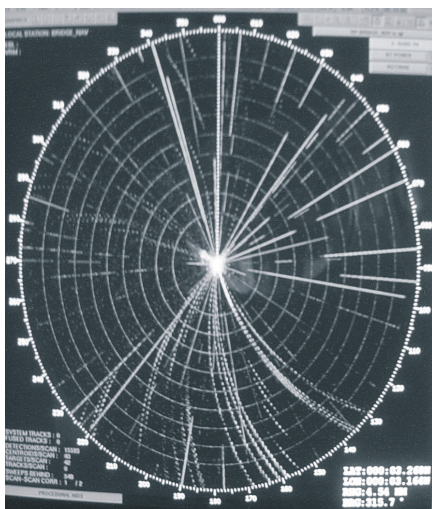
Pour la surveillance maritime, on utilise essentiellement la bande X pour les raisons suivantes :

- Plus grande précision en gisement, la finesse de l'antenne ( $\theta_g=70\lambda/D$ ) est trois fois meilleure en bande X qu'en bande S.
- Meilleure portée en raison du phénomène de réflexion, un navire de même hauteur sera détecté plus loin en bande X qu'en bande S.
- Un moins bon comportement qu'en bande S au clutter de pluie sauf à adopter une polarisation circulaire,
- Un meilleur comportement contre les faux échos que les radars utilisant de fréquences plus élevées.

Fréquences	
côtier	radionavigation
	2,9 GHz      Bande S
	3,1 GHz
5,460 GHz	
5,650 GHz	
8,850 GHz	
9,300 GHz	Bande X
	9,3 GHz

Afin de protéger les radars côtiers des radars de navigation, une bande de fréquences avait été réservée.

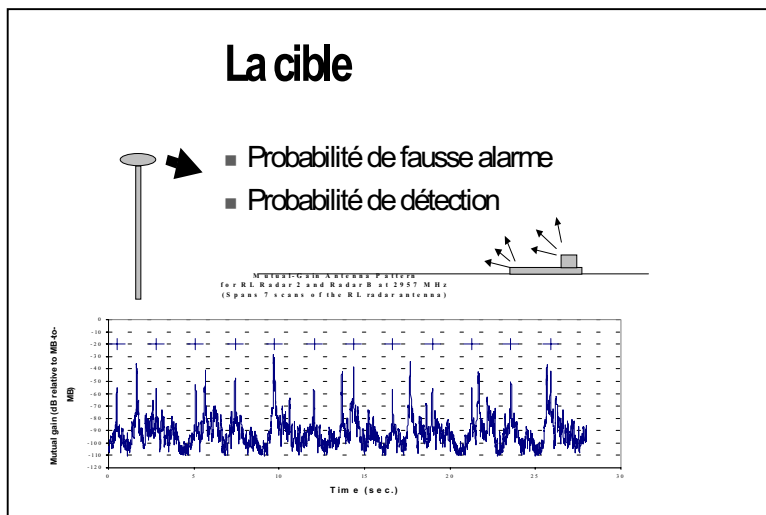
En fait, de nombreux radars des STM portuaires fonctionnent dans la bande maritime, en raison du coût inférieur des matériels. Les brouillages sont éliminés en raison de l'interdiction donnée aux radars des navires d'utiliser leur radar dans l'enceinte du port, de la présence de traitements par récurrence permettant d'annuler les brouillages résiduels.



## PROBABILITÉS DE DÉTECTION ET DE FAUSSES ALARMES

A la différence des ondes radio et des ondes lumineuses, la théorie de propagation du radar fait appel à deux fonctions aléatoires : le **bruit** et la **cible**.

Le traitement de signal conduit à deux lois de probabilité : la probabilité de **fausse alarme** qui intéresse le bruit et la probabilité de **détection** qui intéresse la cible.



Ces deux lois sont antiéthiques. Un compromis doit être établi entre le minimum de fausses alarmes en réduisant le niveau de bruit, mais en perdant les petites cibles, ou d'augmenter le signal au dépend d'une image plus difficile à interpréter.

Les opérateurs, avec une certaine expérience effectuaient manuellement ces compromis en utilisant les commandes du gain et du seuil de détection. Des logiciels effectuent des traitements d'optimisation. Des interventions sur les paramètres sont toutefois à la disposition des opérateurs.

**Le bruit** est réduit de manière importante par des fonctions de moyenne sophistiquées. Le **fouillis de mer** qui est un bruit non aléatoire peut être résolu par d'autres moyens dont on vous parlera dans les autres exposés.

On ne sait pas résoudre une cible pour un radar de surveillance maritime. Elle se compose de « points brillants » dont on ne retient que les valeurs de surface équivalente radar et de hauteur, de leur caractère permanent ou fluctuant. On ne traite que le module du signal.

Les valeurs de dimensionnement prises en compte sont la probabilité de fausses alarmes (PFA)  $10^{-6}$  et la probabilité de détection (Pd) de 50%.

Les surfaces équivalentes radar les plus souvent admises sont les suivantes :

- Petit navire 25 m<sup>2</sup> à 3 m
- Navire moyen ou cargo : 25 m<sup>2</sup> à 7,5 m
- Gros navires 300 m<sup>2</sup> à 25 m
- Très gros navire 10 000 m<sup>2</sup> à 25 m

## AMBIGÜITÉS

Un radar à impulsions standard a une bonne protection contre les ambiguïtés en distance. Par contre il n'a aucune précision sur les vitesses, c'est pourquoi ce principe n'est plus utilisé en navigation aérienne. Pour une fréquence de répétition de 3000 Hz, l'écho de deuxième récurrence intervient pour une distance de 50 000 m.

## EVOLUTIONS

Dans les radars actuellement utilisés en surveillance maritime, on constate deux évolutions parallèles qui touchent le signal radar et son traitement.

Pour les radars actuels, l'impulsion émise caractérise le radar : la largeur de l'impulsion donne la résolution, la période de répétition, l'intervalle entre l'impulsion de départ et l'impulsion de retour caractérise la distance. Dans les nouveaux radars, le traitement de l'impulsion à la réception apporte l'information. Le taux de compression apporte la résolution. Les avantages sont une puissance émise en crête moins élevée, l'absence de tubes magnétrons à changer régulièrement, l'absence de tensions élevées dans les équipements, ce qui améliore leur fiabilité.

Les traitements du signal s'améliorent également en raison des performances accrues des processeurs possibilité d'affiner les traitements de moyenne (TFAC ou CFAR) le traitement du clutter de suivre des stratégies adaptées aux navires à poursuivre.

Sur des radars classiques, des traitements complémentaires peuvent être apportés tels que :

- Diversité de fréquences, de polarisation, utilisation de plusieurs fréquences de répétition
- Corrélations impulsion par impulsion et par tour d'antenne,
- Stratégie de prédiction de trajectoire permettant des filtrages prédictifs et traitement du clutter par corrélation.

## CONCLUSION

La surveillance radar est moins intuitive que la surveillance vidéo et demande à l'opérateur plus d'effort pour interpréter la situation depuis son lieu d'acquisition. Par contre elle offre une image tout temps, complète en s'affranchissant des masquages optiques et restitue correctement les distances.

Associé à un équipement d'identification, le radar est un outil de sécurité pour la navigation maritime. Il présente l'avantage d'une détection tout temps ne nécessitant aucun dispositif à bord du navire (à l'exception de la VHF pour la gonio).

L'évolution des traitements permet aujourd'hui une réduction de la puissance et de la taille des équipements.

La numérisation du signal radar permet une exploitation à distance et dans d'excellentes conditions. La numérisation des transmissions permet l'échange des ressources.

# LES RADIOGONIOMÈTRES EN SURVEILLANCE DE LA NAVIGATION MARITIME

*Intervention de Monsieur Bruno MANOURY,*

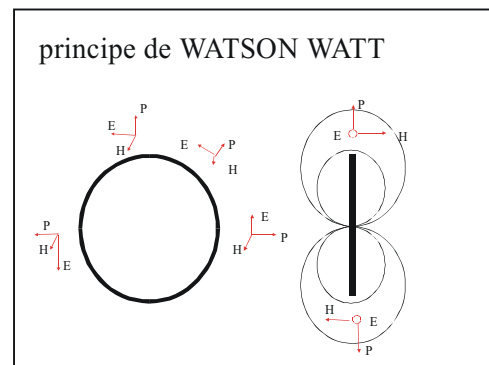
CETMEF

L'objet de cet exposé concerne l'utilisation des radiogoniomètres pour la fonction de surveillance de la navigation maritime. Nous examinerons les principes techniques utilisés, les caractéristiques opérationnelles, leurs limites et les perspectives.

## LES PREMIERS RADIOGONIOMÈTRES

Le principe le plus connu de la radiogoniométrie est le principe de Watson Watt.

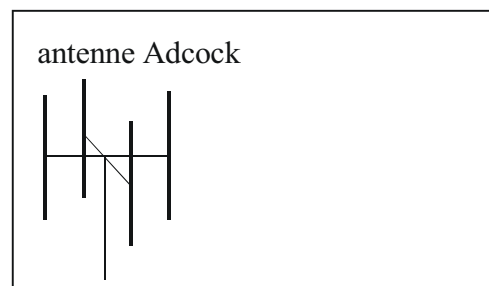
L'antenne de type boucle ou cadre présente une polarité verticale sur le plan horizontal, mais aussi une polarité horizontale pour les incidences verticales. Le schéma représente les lignes iso-champ. Il montre que le champ E est maximal dans la direction de la boucle et nul dans la direction perpendiculaire.



L'utilisation de ce principe reste importante en MHF avec une antenne formée de deux boucles disposées à  $90^\circ$  et avec un fouet de lever d'ambiguïté. De tels radiogoniomètres sont encore très utilisés à bord des navires. Ils équipaient les CROSS de Gris Nez et Jobourg, mais, peu utilisés, ils n'ont pas été remplacés. Leur précision est assez faible car ils sont sensibles à la modulation du signal.

Pour éviter des erreurs de relèvement dues aux ondes de ciel, retardées par rapport aux ondes directes, on a adopté le montage dit Adcock. C'est ce montage qui est utilisé en VHF.

Ce montage n'est plus sensible qu'à la composante verticale du champ. Il consiste en quatre dipôles accordés en quart d'onde et placés assez proches les uns des autres.



La précision reste faible car la mesure n'est pas indépendante de la modulation. Le matériel est simple et peu onéreux. Il est utilisé essentiellement pour la fonction recherche et sauvetage par les sémaphores de la Marine Nationale et par les petites unités de pêche.

## LE PREMIER RADIOGONIOMÈTRE DE PRÉCISION POUR LA SURVEILLANCE DE LA NAVIGATION

Le premier radiogoniomètre utilisé en France pour la surveillance de la navigation maritime a été installé au Cap Gris Nez en 1975 suite à une expérimentation menée en 1974 sur ce site par l'institut de recherche des transports (IRT) avec le concours du service technique des phares et balises (STPB).

La fonction visée pour les CROSS était une aide à l'identification des échos des navires dans le dispositif de séparation de trafic. Pour cette fonction, une précision et une portée équivalentes à celles du radar étaient recherchées.

Ce radiogoniomètre utilise l'effet Doppler. Ce principe consiste à moduler le signal dont on veut connaître la direction en faisant tourner le dipôle de réception sur un cercle de grande base (3 ou 6 mètres).

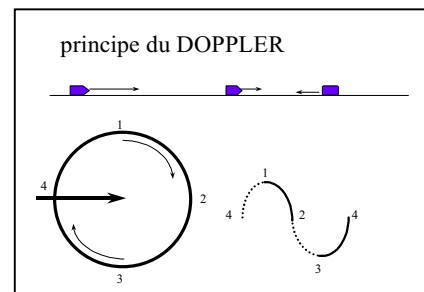
Le signal reçu par le dipôle en rotation verra sa phase additionnée ou retranchée du signal Doppler selon que les directions s'ajoutent ou se retranchent.

La rotation du dipôle a été remplacée par une commutation d'une trentaine de dipôles répartis sur un cercle.

Plusieurs constructeurs ont développé des matériels fonctionnant sur ce principe (Fernau, Rohde et Schwarz, Taiyo, Telerad)

Pour le matériel Rohde et Schwarz, la vitesse de rotation choisie est de l'ordre de 170 Hz soit un tour en 30 ms. La précision a été améliorée en soustrayant la modulation propre du signal et en ne conservant ainsi que la modulation Doppler. La mesure est répétée 10 fois dans un sens puis 10 fois dans l'autre afin de supprimer les erreurs de temps de propagation de groupe des filtres. 128 rotations sont ainsi assurées à chaque mesure soit un délai de 700 ms pour la précision optimale. Le signal de modulation est retranché au signal incident.

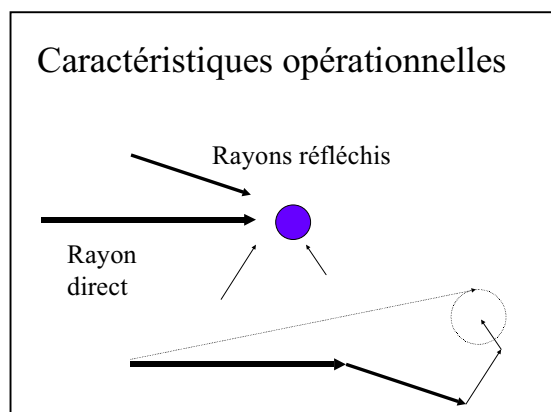
La précision obtenue est ainsi meilleure que  $0,5^\circ$ , elle peut atteindre  $0,1^\circ$ . Le diamètre de l'antenne est lié à la précision demandée. Ce diamètre est de l'ordre de 6 m. Les nouveaux traitements permettent de réduire ce diamètre à seulement 3 m pour une précision de  $0,5^\circ$  (cas du radiogoniomètre de la Pointe du Raz).





## PRÉCISION

La caractéristique recherchée en précision nécessite d'identifier parmi les nombreux signaux reçus celui qui offre l'indication la plus exacte de l'origine de l'émission. Une précision analogue à celle du radar est donc nécessaire, soit de l'ordre de  $0,3^\circ$  pour les CROSS. En l'absence de radar, une précision de l'ordre du degré devrait être suffisante. Les opérateurs attachent une grande importance à la fidélité de la précision et donc à l'absence de toute dégradation dans le temps due à la modulation du signal, à des perturbations du signal, à la corrosion.

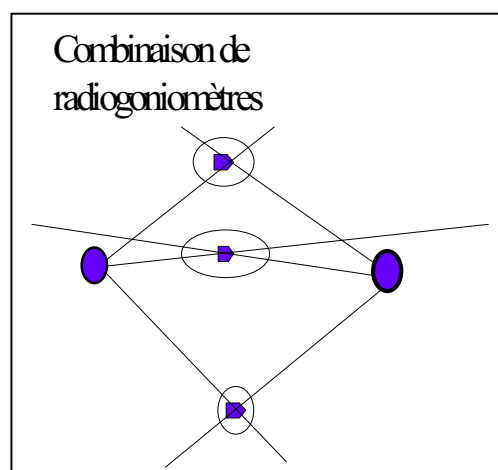
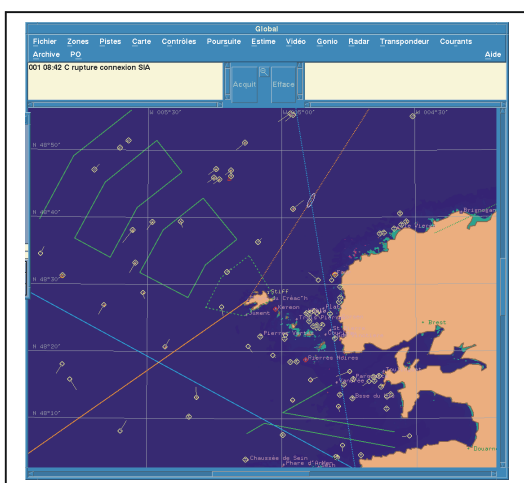


L'élimination des signaux provenant de réflexions ou de la modulation propre du signal permet de corriger l'information. Les radiogoniomètres Doppler et interférométrie corrigent en temps réel cet écart.

Dans un champ perturbé, une valeur instantanée d'un front d'onde (sans modulation) se propageant montre qu'une grande base fournit une meilleure précision qu'une base de diamètre plus faible.

## COMBINAISON DE RADIOGONIOMÈTRES

La combinaison de plusieurs relevés de radiogoniomètres permet une localisation dont la précision est maximale lorsque les relevements se croisent à  $90^\circ$ . Pour les autres cas, on obtient des ellipses d'incertitudes plus ou moins aplaties. Une fonction d'inhibition permet de conserver le relevement du navire lorsque l'opérateur du CROSS ou du Port répond au navire.



## PERSPECTIVES

Le radiogoniomètre est un auxiliaire important du radar pour identifier les échos des navires. Son coût est important et il nécessite un entretien attentif pour conserver sa précision.

Il est indispensable lorsque le nombre de navires à identifier est important. Il requiert, rappelons-le la coopération du navire par son émission.

Il n'existe pas de radiogoniomètre assurant une bonne portée et une bonne précision sans contrainte sévère de dégagement de l'antenne.

L'arrivée de l'AIS réduit l'intérêt du radiogoniomètre pour l'identification des navires astreints à son emport.



# CONTRIBUTION DE LA TECHNOLOGIE RADAR HF A ONDES DE SURFACE A LA SURVEILLANCE MARITIME DEPUIS LE LITTORAL

## *Intervention de Monsieur Marc LESTURGIE,*

Office National d'Etudes et Recherches Aérospatiales (ONERA)  
Chemin de la Hunière et des Joncherettes, F-91761 Palaiseau  
Email : marc.lesturgie@onera.fr, Tel. : +33-1-69936288, fax : +33-1-69936269

Ce papier décrit le fonctionnement du radar HF à ondes de surface dans une configuration côtière adaptée à la surveillance maritime depuis le littoral. Après un exposé de l'architecture générique d'un tel dispositif, les phénomènes physiques entrant en jeu dans le dimensionnement et l'évaluation de ses performances sont présentés. Un exercice préliminaire relatif à la détection de bateaux de classes variées permet d'illustrer le dimensionnement d'un tel radar. L'adaptation du radar à l'environnement, tant au niveau radioélectrique que matériel (emplacement nécessaire) est abordée.

Un nouveau concept qui utilise le principe de l'antenne synthétique (SAROS : SAR à Ondes de Surface) est introduit. Il permettrait de diminuer les contraintes d'implantation du radar, notamment son emprise au sol, et pourrait fonctionner à partir d'un véhicule patrouilleur.

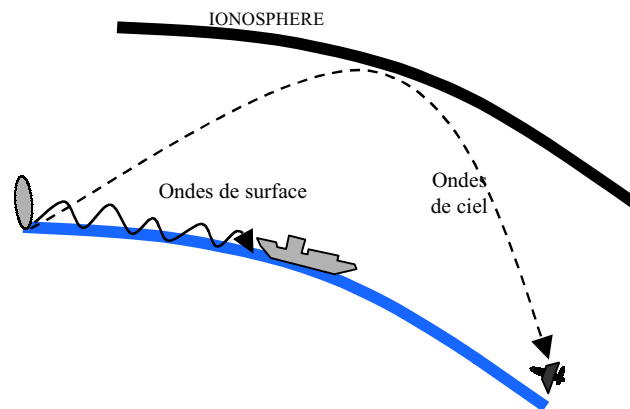
La détection par radar à ondes de surface est ensuite illustrée à travers des résultats expérimentaux.

## INTRODUCTION : UN RETOUR CONFIRMÉ VERS LES BASSES FRÉQUENCES

Le domaine des bandes métrique et décimétrique (quelques mètres à dizaines de mètres de longueur d'onde), berceau des premières réalisations radar (comme la chain home, 1937) a été délaissé par la suite au profit des systèmes radar centimétriques, à l'exception des radars transhorizon très longue portée qui connurent leur apogée à l'époque de la guerre froide. Ces derniers utilisent en gamme HF (3-30MHz) le principe de la réfraction ionosphérique (*ondes de ciel*), avec des portées de plusieurs milliers de kilomètres. A l'instar des systèmes russes et américains, l'Australie (dans les années 70), puis la France (dans les années 90) devaient se doter de radars HF transhorizon, dédiés à des missions globales de surveillance aérienne lointaine transhorizon.

L'utilisation des ondes métriques permet également, selon un mode de propagation par *ondes de surface* (figure 1) de concevoir des radars dotés de capacité de détection à très basse altitude, au dessus de la mer. La portée envisageable avec ce type de dispositif est de quelques centaines de kilomètres, variable selon le type de cible et l'état de la mer qui peut dégrader la qualité de la propagation. Le principe du radar HF à ondes de surface (HFSWR, *HF surface waves radar* en anglais) connaît des applications dans le domaine de l'océanographie (mesure des vents et courants à la surface) et des applications dans le domaine de la surveillance de cibles non coopératives (alerte vis à vis d'avions basse altitude, détection de bateaux...). Dans la première classe d'applications, on s'intéressera à caractériser avec précision le fouillis de mer (dont la signature dépend des paramètres météo) alors

que dans la seconde, on cherchera à minimiser l'influence du fouillis pour optimiser la sensibilité du radar vis à vis des cibles d'intérêt.



*Figure 1 : principe général des radars HF*

## ARCHITECTURE D'UN RADAR HF À ONDES DE SURFACE

Un radar classique utilise la même antenne en émission et en réception. Cette antenne est généralement directive (plusieurs dizaines de dB). En gamme HF une antenne 'directive' ne peut pas être monolithique; elle repose sur un agencement de capteurs en réseau «phasé». Dans de nombreux cas, les antennes d'émission et de réception sont séparées, car les exigences relatives à chacune d'elles sont différentes. La partie «émission» doit être adaptée (TOS proche de 1) pour transmettre la puissance pour chaque fréquence considérée et utilise en général des systèmes d'accord précis et ajustables. La partie «réception» en revanche peut utiliser des antennes non parfaitement adaptées, sans préjudice important sur la qualité des signaux reçus. Toutefois les pertes en réception sont tolérables en gamme HF dans la mesure où rajoutées au facteur de bruit du récepteur, le facteur de bruit de l'ensemble du système reste inférieur au facteur de bruit de l'environnement.

L'architecture commune à la plupart des radars HF à ondes de surface [1,2,3,4] comprend ainsi :

- Une émission sur une ou quelques antennes large bande adaptées, (de type log périodique verticales par exemple): ces antennes ont des dimensions qui peuvent être importantes (hauteur d'antenne jusqu'à 20 m) ;
- Une réception sur un réseau constitué d'antennes aux dimensions plus réduites (antenne de hauteur limitée à 4 m par exemple); c'est le réseau de réception qui par sa grande extension latérale apporte la directivité azimutale du radar.

La figure 2 mentionne également des fourchettes d'ordres de grandeur des différents paramètres (puissance, longueur, fréquence de travail..) à l'intérieur desquelles se situent les projets connus de radars côtiers.

Au niveau du traitement de signal, ce type de radar utilise une intégration Doppler sur des durées de plusieurs dizaines de secondes, nécessaires pour séparer les bâtiments de surface du fouillis. Dans chaque direction formée par le réseau de réception, une transformée de Fourier est effectuée sur les signaux temporels, préalablement pondérés par une fenêtre d'apodisation.

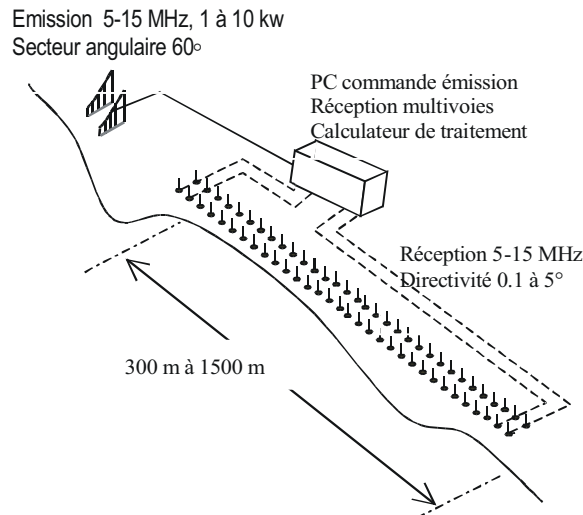


Figure 2 : architecture d'un radar à onde de surface pour la surveillance du littoral.

## DES PHÉNOMÈNES PHYSIQUES MAÎTRISÉS MAIS DIMENSIONNANTS

La propagation et la réflectivité de la mer doivent être prises en compte pour dimensionner un radar HF à ondes de surface.

La **propagation** des ondes de sol au dessus d'une terre sphérique a été calculée par Bremmer en 1949 [7]. La propagation au dessus de la mer, n'est possible qu'en polarisation verticale, la seule à satisfaire les conditions aux limites à l'interface, du fait de la forte conductivité de l'eau de mer. Les antennes d'émission doivent être proches de la surface pour permettre une bonne excitation de l'onde. L'utilisation d'un plan de masse (treillis métallique en cuivre par exemple) dont l'extrémité des brins 'plongent' dans l'eau de mer est une solution couramment utilisée et qui permet d'assurer la continuité du plan de masse entre la terre «ferme» et la surface de l'eau. Les pertes de propagation dépendent entre autres de la fréquence, de l'état de la mer (rugosité), de la conductivité ( $\sigma \sim 4$ ) et de la permittivité intrinsèques de l'eau de mer ( $\epsilon \sim 80$ ).

Les pertes de propagation peuvent être calculées par la série de résidus de Bremmer, valable sur une mer lisse et homogène [8].

Pour prendre en compte l'état de la mer, on utilise une technique de «petites perturbations»[9] qui consiste à recalculer les paramètres  $\epsilon$  et  $\sigma$  en prenant en compte la diffusion résultant de la rugosité. Dans ce cas, la conductivité est amenée à décroître lorsque l'état de la mer se dégrade. La figure 3 montre un exemple de pertes de propagation.

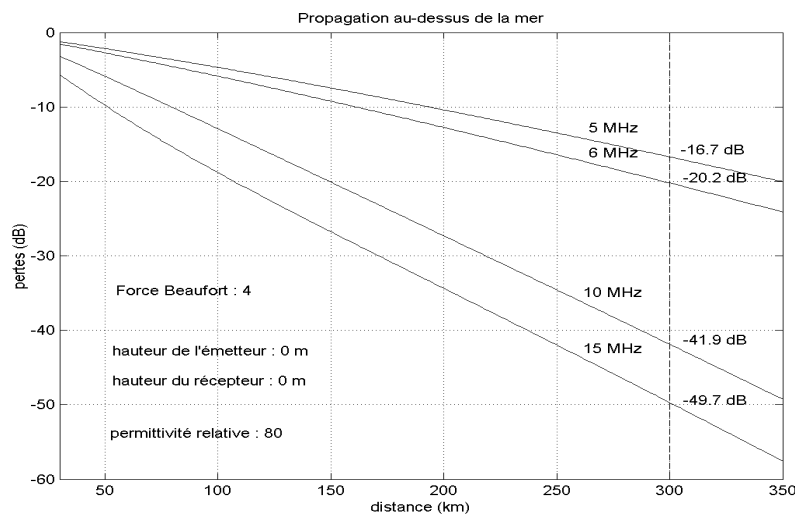


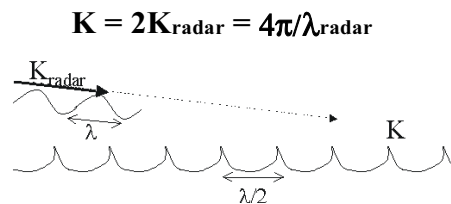
Figure 3 : pertes de propagation par ondes de surface, (mer 4, 0 dB correspond à l'espace libre)

Le **fouillis de mer** en HF obéit au mécanisme de résonance de Bragg. Selon les modélisations classiques applicables à des mers dites «ouvertes» (Théories de Barrick et Pierson Moscowitz) l'altitude d'un point courant de la surface  $h(x,y,t)$  peut se décomposer en une série infinie d'harmoniques d'espace dont l'amplitude et la pulsation sont données par un spectre d'ondes  $S(k_x, k_y, \Omega)$ . La dynamique du milieu obéit en outre à une relation de dispersivité, reliant la vitesse de propagation d'un mode  $K=[k_x, k_y]$  à sa pulsation :

$$\Omega = \mathbf{K} \cdot \mathbf{v} + (g \cdot K)^{1/2} \quad \text{avec}$$

- $\Omega$  = pulsation induite
- $\mathbf{K} = [k_x, k_y]$ , vecteur d'onde (milieu marin) avec  $K_{min} \sim g/U^2$ , U vitesse du vent en m/s,
- $\mathbf{v}$  = vecteur vitesse du courant,
- $g$  = accélération de la pesanteur

L'interaction au premier ordre (figure 4) est régie par la condition de retour en phase pour chaque contribution à la rétrodiffusion, par sélection des modes K vérifiant :



*Figure 4: mécanisme d'interaction de Bragg*

Le spectre des ondes  $S(k_x, k_y, \Omega)$  présente un caractère directionnel, avec une amplitude des modes plus importante dans la direction du vent. On peut représenter ce caractère directionnel par un modèle empirique de cardioïde (figure 5). On peut reporter sur ce schéma la direction de visée et en déduire les amplitudes relatives des modes avançant et reculant, qui vont conduire aux deux raies de Bragg. Ce mécanisme est utilisé pour déduire la direction du vent du spectre Doppler.

La position des raies de Bragg est définie par la fréquence, la vitesse du courant de surface dans l'axe de visée, soit :

$$F_{\text{Bragg}} = -2 \mathbf{U}_0 \cdot \mathbf{v} / \lambda \quad \pm \quad 0.1 (F_{\text{HHZ}})^{1/2} \quad \text{avec}$$

- $\mathbf{U}_0$  = vecteur direction de visée du radar,
- $\mathbf{v}$  = vecteur vitesse du courant,
- $F_{\text{HHZ}}$  = fréquence porteuse ( $\lambda = c / F_{\text{HHZ}}$ )

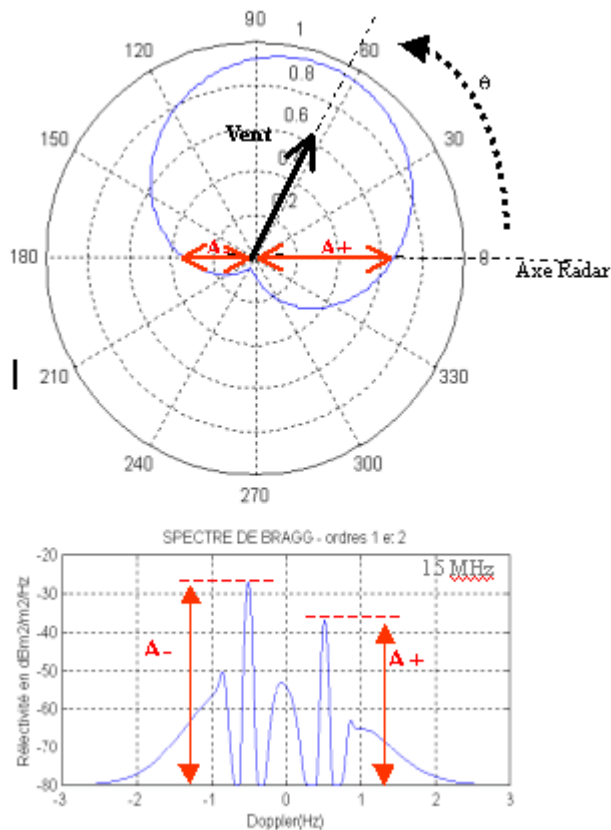


Figure 5 : directivité du spectre de gravité de la mer et allure générale d'un spectre de Bragg

L'existence des raies de Bragg est conditionnée par une valeur minimale de force du vent ; un vent fort est nécessaire pour exciter des modes 'basse fréquence' conduisant à réflectivité dans le bas de la bande HF. La fréquence qui permet d'obtenir un niveau maximum des raies de Bragg (niveau saturé de  $-23\text{dBm}^2/\text{m}^2$ ) est égale à  $F_{\text{MHz}} = 234 / U_{\text{m/s}}^2$  où  $U_{\text{m/s}}$  est la vitesse du vent. Par exemple à 6 MHz, il faudra un vent de 7 m/s alors qu'à 20 MHz, un vent de 3 m/s sera suffisant)

Le spectre de **Bragg au second ordre** se caractérise par un niveau de fouillis diffus au voisinage des raies de Bragg dont le support est approximativement le double de l'espace séparant les raies de Bragg (soit de +/- 1 à 2 Hz). Le calcul au second ordre consiste à considérer les trajets multiples d'ordre 2 qui conduisent à un maximum de champ rétrodiffusé. Ces trajets correspondent à une double infinité de points à la surface, repérés par leurs vecteurs d'onde  $K, K_1$  et tels que  $K + K_1 = 2 K_0$

Le spectre du second ordre se présente sous la forme d'une intégrale double [11]:

$$\sigma(\omega) = |C|^2 4(2\pi)^5 k^4 \int d^2k \sum_{m=\pm 1} \sum_{p=\pm 1} S_{mk} S_{pk1} |\Gamma(k, k_1)|^2.$$

$$\delta(\Delta\omega + 2k_0.V - m\sqrt{g|k|} - p\sqrt{g|k_1|})$$

avec

$$\Gamma(k, k_1) = \frac{\{(k_0.k).(k_0.k_1) - 2(k.k_1)\}}{\sqrt{|k.k_1|}} \quad \text{et} \quad |C|^2 = 1/(2\pi)^4$$

La modélisation peut être faite en considérant le spectre de Pierson Moscowitz :

$$S(k) = 0.005/k^4 \cdot e^{-0.74 \left[ \frac{g}{U^2} / k \right]^2}$$

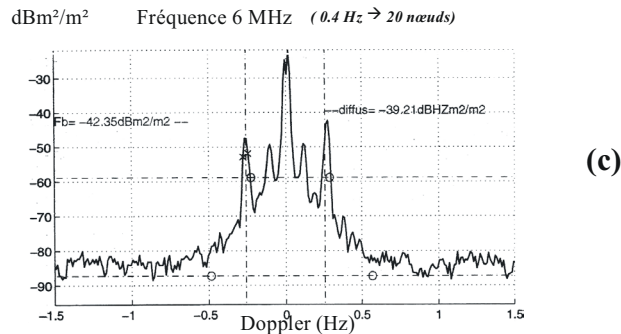
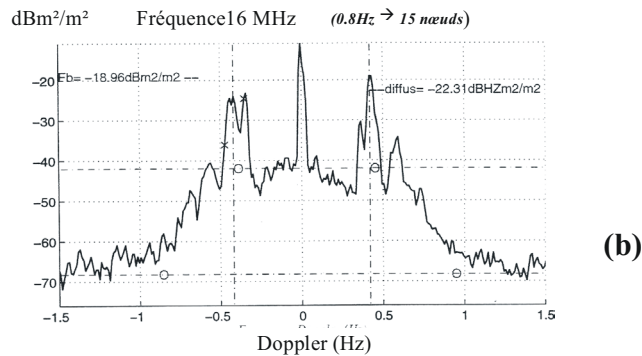
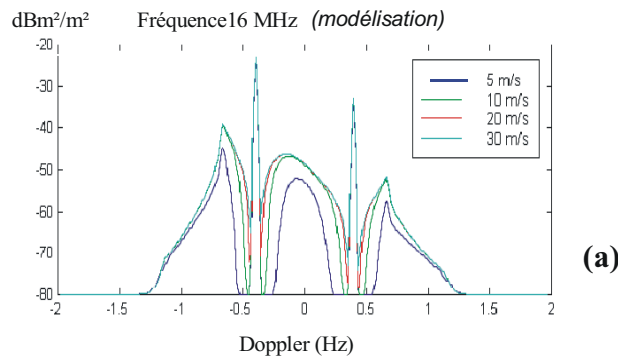


Figure 6 : spectres de Bragg modélisé et mesuré

La figure 6 présente des résultats de modélisation et des résultats expérimentaux de fouillis de Bragg obtenus pour une intégration cohérente sur 90 secondes. La figure 6a présente pour différents états de mer (à 16 MHz) des niveaux du second ordre variables. Cette variation est utilisée par les radars qui cherchent à estimer la hauteur des vagues et l'état de mer. Les résultats expérimentaux montrent une différence notable à 16 MHz et 6 MHz pour des spectres enregistrés dans les mêmes conditions de mer. Le niveau de second ordre est beaucoup plus faible à 6 MHz, privilégiant l'utilisation de cette bande de fréquence (bas de bande HF) pour la détection des bateaux. A l'inverse le haut de bande se révèle extrêmement efficace pour l'analyse de la surface de la mer comme c'est le cas des systèmes à vocation océanographique décrits dans [3,4].

## PARAMÈTRES DIMENSIONNANTS POUR LA DÉTECTION DES BATEAUX

Pour des bateaux rapides (plus de 20 nœuds) se trouvant hors fouillis les performances en détection sont fonction du rapport signal à bruit donné par l'équation radar classique.

Les bateaux moins rapides présentent des Doppler du même ordre de grandeur que les raies de Bragg et se trouvent perturbés par le fouillis, bien plus que par le bruit thermique. Si le masquage par les raies de Bragg 'ponctuelles' peut être contourné en utilisant plusieurs fréquences porteuses, en revanche le second ordre (diffus) de Bragg reste gênant. Dans ce cas on cherchera à optimiser le taux de contraste cible à fouillis diffus :

$$TCR = \frac{\sigma}{\sigma^{00} \delta\theta \cdot D \cdot \delta r}$$

où  $\sigma$  est la SER du bateau,  $\sigma^{00}$  représente la réflectivité du second ordre de Bragg,  $\delta\theta$  la résolution azimutale,  $\delta r$  la résolution distance et D la distance radar.

Pour optimiser ce rapport, plusieurs orientations sont possibles :

- (i) minimiser la réflectivité (2<sup>nd</sup> ordre de Bragg), par le choix d'une fréquence basse; à 6 MHz par exemple, le niveau de 2<sup>nd</sup> ordre (mer 4) est de -60 dBm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> contre -40 dBm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> à 15 MHz ;
- (ii) diminuer la résolution azimutale en augmentant la taille du réseau de réception ;
- (iii) diminuer la résolution distance en augmentant la largeur de bande du radar.

Les deux dernières orientations favorisent plutôt une augmentation de la fréquence porteuse, à l'encontre de (i). On comprend ainsi la difficulté du compromis à trouver, entre la taille d'antenne, les conditions d'environnement (accès à une bande 'large') et la robustesse aux variations de l'état de la mer. La difficulté impose au radar de fonctionner à différentes fréquences de la bande HF, entre 5 et 10 MHz.

Pour simplifier l'approche et fournir des ordres de grandeur, nous faisons les hypothèses suivantes :

- Classe de SER en HF: pétrolier : 40dBm<sup>2</sup>, bateau de taille moyenne (50m): 20dBm<sup>2</sup>; petit bateau 10dBm<sup>2</sup>. Ces ordres de grandeur sont issus de la littérature ouverte[ 15,16] ;
- Classe de réflectivité (2<sup>nd</sup> ordre) : -60dBm<sup>2</sup> pour une mer calme ou mer formée (4) en bas de bande (< 8 MHz) et -40dBm<sup>2</sup> pour une mer formée (4) au dessus de 8 MHz.

SURFACE DE LA TACHE DE FOUILLIS ET DIRECTIVITE NECESSAIRE (bateau de moins de 20 nœuds)				
Type bateau	Mer calme(0)		Mer formée (4)	
	6 MHz	15 MHz	6 MHz	15 MHz
Pétrolier $\delta_r=5\text{km}$	1000 km <sup>2</sup> 30° @ 370 km (L ~ 100m)	1000 km <sup>2</sup> 30° @ 370 km (L ~ 40 m)	1000 km <sup>2</sup> 30° @ 370 km (L ~ 100m)	10 km <sup>2</sup> -
Bateau moyen $\delta_r=1\text{km}$	10 km <sup>2</sup> 6° @ 100 km (L ~ 500m)	10 km <sup>2</sup> 6° @ 100 km (L ~ 200m)	10 km <sup>2</sup> 6° @ 100 km (L ~ 500m)	0.1km <sup>2</sup> -
Petit bateau $\delta_r=500\text{m}$	1km <sup>2</sup> 3° @ 40km (L ~ 1000m)	1km <sup>2</sup> 3° @ 40km (L ~ 400m)	1km <sup>2</sup> 3° @ 40km (L ~ 1000m)	0.01 km <sup>2</sup> -

*Tableau 1 : dimensionnement en réception*

Etant donné un taux de contraste TCR de 10 dB, le tableau 1 renseigne sur la dimension maximale de la tache de fouillis, et les pouvoirs de résolution requis pour le radar, et la portée escomptée pour une hypothèse de dimension d'antenne donnée. Ainsi :

- Le pétrolier peut être détecté à grande distance avec une antenne de réception de petites dimensions à condition d'opérer à 6 MHz. La bande passante requise est de 30 kHz (résolution distance 5km) ;
- Le bateau de taille moyenne (chalutier,..) est détectable à 6 MHz à 100 km à condition de pouvoir travailler avec une résolution distance de 1km ;
- La détection de «petits» bateaux est difficile par mer forte et exige une résolution distance très fine. Le réalisme de ce cas est toutefois à discuter notamment en ce qui concerne les bateaux de trafiquants. Ces bateaux sont pour certains rapides (pour échapper aux moyens de surveillance classiques) et leur détection n'est pas gênée par le diffus de Bragg ;
- L'utilisation d'une fréquence haute (15MHz) est déconseillée par mer formée.

## NIVEAUX DE PUISSANCE MIS EN JEU

Dans le cas des *bateaux non rapides*, l'influence du fouillis est prédominante devant celle du bruit thermique. Dans ces conditions la puissance à émettre doit être juste suffisante pour que le rapport signal à bruit des échos de mer diffus (2<sup>nd</sup> ordre de Bragg), dans la cellule considérée soit positif (au moins égal 3 dB).

Le dimensionnement en puissance dépend ainsi de la distance, des pertes de propagation et du facteur de bruit ambiant; par contre il dépend peu de la directivité du réseau de réception. Dans le cas du pétrolier à 370 km , à 6 MHz la puissance nécessaire est inférieure à 10 kW (pour un temps d'intégration de 100s une antenne d'émission constituée de 2 LPDA et un facteur de bruit de 40 dB, une mer de force 4). Dans les mêmes conditions, la détection de cibles plus petites (bateau moyen à 100 km) est compatible du même niveau de puissance.

Dans le cas des *bateaux rapides* (typiquement > 20 nœuds), la détection dépend du rapport signal à bruit ambiant et la détection est plus facile, en particulier pour les bateaux de dimension moyenne ou petite. On peut utiliser l'équation radar classique :

$$\left[ \frac{S}{B} \right] = \frac{P_e \cdot G_e \cdot G_r \cdot \lambda^2 \cdot \sigma \cdot T_{\text{int}}}{(4\pi)^3 \cdot D^4 \cdot L_{\text{propa}}^2 \cdot FKT_0}$$

et démontrer que pour des niveaux de puissance comparables à ceux qui ont été mentionnés précédemment (<10kW) on peu détecter les 3 types de cible avec un réseau aux dimensions réduites (de l'ordre de la centaine de mètres d'extension).

## UN ENVIRONNEMENT DIFFICILE AUQUEL IL FAUT S'ADAPTER

L'accès au spectre radioélectrique est un problème délicat du fait de la congestion spectrale toute particulière dont est victime la bande HF. Les largeurs de bande 'traditionnellement' utilisables sont de l'ordre de 10 à 30 kHz. Pour utiliser de manière opérationnelle un radar HF, il faut doter le radar d'une fonction de recherche de canaux clairs, cette fonction étant sous jacente (et permanente) au fonctionnement radar proprement dit.

L'utilisation d'une large bande passante (plusieurs centaines de kHz) abordée sous une forme classique pose un problème car la probabilité de trouver un canal d'une telle largeur de bande et d'un seul bloc est faible. Pour faciliter le fonctionnement du radar HF dans des bandes plus larges, il sera nécessaire d'implanter des techniques de traitement adaptatif pour l'élimination des brouilleurs et raies parasites.

Les émissions parasites qui empêchent d'utiliser une large bande passante, proviennent pour nombreuses d'entre elles d'émetteurs lointains reçus par ondes de ciel. Les ondes de ciel sont à polarisation verticales et horizontales, contrairement aux ondes de surface, exclusivement polarisées verticalement. Des traitements de filtrage sélectifs en polarisation, (envisageable par l'adjonction de quelques antennes de réception en polar H) permettront de mieux s'affranchir de ces interférences.

Mais d'adapter à l'environnement, c'est aussi s'adapter *au terrain et à l'emplacement disponibles* pour accueillir le système antenne, dont la partie réception notamment, présente des dimensions très importantes. Trouver une étendue linéaire de 500m à 1000 m est quelque chose de potentiellement délicat en zone littorale, et qui peut faire craindre de «défigurer» ce même littoral ! En fait, l'antenne est creuse, constituée d'éléments qui peuvent être répartis de manière régulière ou irrégulière. Les techniques de formation de faisceaux par le calcul (FFC), largement utilisées depuis une dizaine d'années permettent de s'affranchir de la disposition rigoureuse des capteurs sur une grille régulière. Il y a une dizaine d'années, les antennes de réception de radar HFSWR étaient linéaires et fonctionnaient en sous réseau. Aujourd'hui, les calculateurs de traitement ainsi que les nouvelles techniques de réception par codage direct sur porteuse permettent d'envisager la FFC sur un grand nombre d'antennes. L'exemple du radar GRAVES (Grand Radar Adapté à la Veille de l'Espace) avec son antenne de réception à FFC 100 voies, illustre les possibilités offertes aujourd'hui, notamment en matière de traitement numérique du signal.

En complément du bénéfice apporté par ces nouvelles technologies (FFC, codage sur porteuse...), des travaux sont en cours pour diminuer la dimension des aériens de réception. Dans ce domaine, l'ONERA a notamment étudié en partenariat avec SUPELEC une antenne à méandres, compacte, qui est en cours de comparaison avec l'antenne courte (fouet actif) et une antenne passive adaptée classique.

## EXEMPLES DE RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX

Les résultats présentés sont issus de mesures faites avec du matériel de laboratoire mis à disposition par l'ONERA. La figure 7 présente le réseau de réception large bande (8 antennes, longueur~100m) qui avait été utilisé au CEM (Ile du Levant) pour démontrer la faisabilité de la détection transhorizon par radar HF à ondes de surface. Le positionnement des antennes (de type fouet court) s'est fait au gré des emplacements disponibles et accessibles entre les rochers. On distingue sur cette vue partielle, uniquement l'antenne située au premier plan. La seconde antenne (à gauche) a été re-matérialisée sur la photo de manière à ce qu'elle soit visible. La figure 7 présente l'exemple de détection d'un pétrolier entre les raies de Bragg (fréquence 16 MHz).

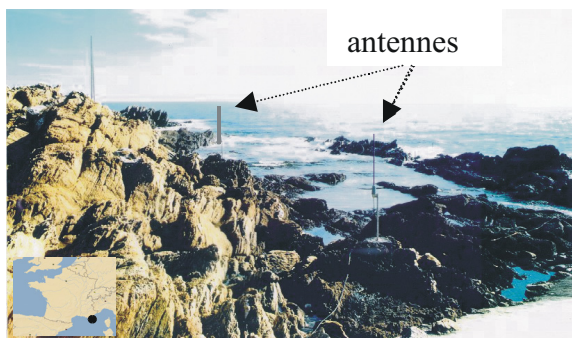


Figure 7 : vue partielle du système de réception

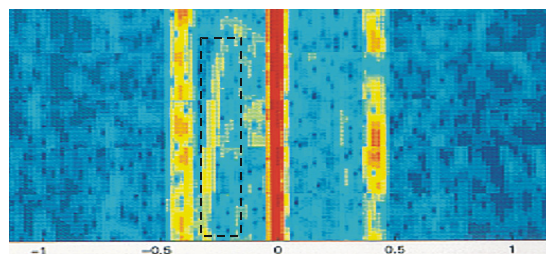


Figure 8 : exemple de détection , (pétrolier 16 MHz)

## VERS DE NOUVEAUX CONCEPTS : SAROS

À l'instar des dispositifs d'imagerie radar à synthèse d'ouverture, l'ONERA a étudié en 2000 un nouveau concept baptisé SAROS (SAR à Ondes de Surface) qui pourrait être mis en œuvre à partir d'un véhicule patrouilleur (figure 9). Le principe est bien entendu de remplacer l'antenne physique par une antenne synthétique et ainsi d'alléger les contraintes d'implantation du radar HF. Ce système est à l'étude au plan des principes et de la faisabilité. Des efforts particuliers seront à faire au niveau de l'intégration de l'antenne sur le véhicule ainsi que sur le traitement SAR spécifique des grandes longueurs d'onde utilisées. On envisage pour ce dispositif, un parcours de l'ordre du km (ou plus) selon un trajet non nécessairement rectiligne (route longeant le littoral,...). La connaissance de la position précise du patrouilleur, nécessaire pour la formation de l'image SAR sera fournie par un DGPS dont la précision est compatible avec la précision requise sur la phase en gamme HF.

Ce dispositif serait destiné à faire des cartes de la surface de la mer à une portée allant jusqu'à 150 km, et avec une résolution comprise entre 150 et 500m.

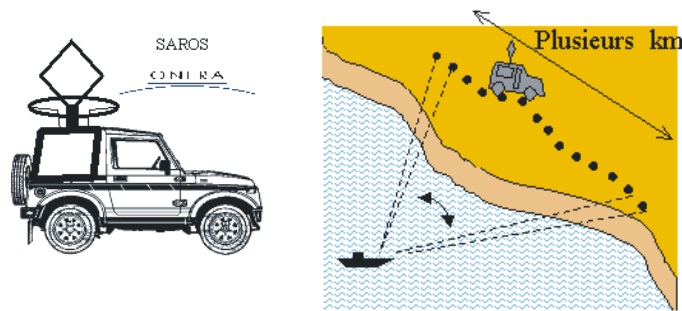


Figure 9 : SAROS, ou le concept de «patrouilleur»

## CONCLUSION

Le 'radar HF à ondes de surface' envisagé dans une configuration côtière ne présente pas de points durs technologiques: les systèmes d'émission et de réception sont classiques, et le traitement de signal, - bien que perfectible - est compatible des processeurs du commerce. L'adaptation à l'environnement est un point à examiner, en fonction des sites qui seraient candidats à l'accueil d'un tel radar. Des capacités de *détection*, à grande distance sont possibles et maîtrisables du point de vue du dimensionnement. La précision de localisation atteignable par un tel radar n'a pas été abordée dans ce papier. Le pouvoir de séparation angulaire, nécessairement moins bon que celui des radars classiques, est un élément dimensionnant dans la conception de l'antenne de réception. L'intérêt d'une composante radar HF pour la surveillance du littoral devra être considéré en combinaison des autres moyens de surveillance, en en dégageant les complémentarités. D'autres configurations, (s'appuyant par exemple sur le concept du patrouilleur «SAROS»), pourront être également être examinées, apportant une solution au problème de l'emprise au sol importante requise par ce type de radar, pour garantir la détection à *grande distance* d'embarcations de *vitesse* et *tonnages* diversifiés.

## REMERCIEMENTS

Une part importante des travaux décrits dans ce papier a été menée avec le soutien de la DRET puis du SPN, entre 1988 et 2000.

## RÉFÉRENCES

- [1] L. Sevgi, A.M. Ponsford - An HF Radar Based Integrated Maritime Surveillance System
- [2] The EuroROSE Project, [http://ifmaxp.ifm.uni-hamburg.de/EuroROSE/eurorose\\_Intro.html](http://ifmaxp.ifm.uni-hamburg.de/EuroROSE/eurorose_Intro.html)
- [3] CODAR results, <http://www1.etl.noaa.gov/codar/stx/>
- [4] HiFAR(Metratek), [http://ziplink.net/users/metratek/html/hf\\_radar.html](http://ziplink.net/users/metratek/html/hf_radar.html)
- [5] M. Lesturgie, M. Flécheux - Nostramarine: un concept de détection multistatique adapté à la surveillance des cibles basse altitude - AGARD - CP 595 - 1997
- [6] Marc Lesturgie : Use of STAP techniques to enhance the detection of slow targets in shipborne HFSSWR, papier soumis à colloque RADAR 2003, Adelaide
- [7] P. Gole "VHF electromagnetic wave propagation", La Recherche Aérospatiale, 1983-1.

- [8] H. Bremmer "Terrestrial radio waves", Elsevier Publ. Co., 1949.
- [9] E. Barrick " The interaction of HF/VHF radio waves with the sea surface and its applications
- [10] CCIR - Atlas of ground wave propagation curves, UIT Geneva, 1959
- [11] R.E. Robson : Simplified theory of first and second order scattering of HF radio waves from the sea – Radio Science, Volume 19, Number 6, Nov-Dec 1984.
- [12] B. Lipa, D. Barrick : Ocean swell parameters from narrow beam HF radar echo .
- [13] E. D. Ramsey Shearman : A review of methods of remote sensing of sea surface conditions by HF radar and design considerations for narrow beam systems - IEEE Journal of oceanic engineering, Vol. OE-11, n°2, April 1986.
- [14] D. Giglio, H. Sveinsson, D. Vaurio, The Use of High Frequency surface wave radar to detect go-fast-boats

# PRÉSENTATION GENERALE DES TECHNIQUES DE LOCALISATION PAR SATELLITES GPS/DGPS

*Intervention de Monsieur Stéphane MONTFORT,*  
CETMEF

La localisation par satellites ne cesse de révolutionner la navigation et les transports par sa simplicité d'utilisation et le nombre d'applications envisageables. Face à la multiplication des services satellites, l'utilisateur doit maintenant savoir choisir les moyens techniques adaptés à ses besoins. Pour cela, la connaissance du fonctionnement, de la précision et des applications satellites sont indispensables.

Si les usagers connaissent les applications multiples du GPS (aide à la navigation, régulation de trafic, surveillance des déformations terrestres, prédiction climatiques...), très peu d'entre eux maîtrisent les techniques de localisation. Pourtant, la technologie diffère suivant les applications et la précision exigée (variation d'une vingtaine de mètres à quelques millimètres).

L'objectif de cet article est de décrire le système de localisation GPS (Global Positioning System), un des plus sophistiqué à ce jour.

Après explication du fonctionnement GPS (détermination du positionnement, précision); une solution technique visant à améliorer la position sera exposée : Le DGPS (Differential Global Positioning System).

## 1. LA TECHNOLOGIE GPS

### 1.1. Historique

C'est en 1957 que le concept GPS est né [1]. En effet, des chercheurs ont montré qu'il était possible de suivre un satellite uniquement à partir de son signal radio. Fort de ce constat, l'U.S. Navy a lancé plusieurs projets dont le système TRANSIT en 1960 et le Navstar/G.P.S. (Navigation System with Time and Ranging/Global Positioning System) créé en 1973.

Opérationnel depuis le 17 juillet 1995, le système de localisation GPS repose sur une constellation de satellites qui permet à un nombre illimité d'utilisateurs de déterminer leur position à tout moment et en tout point du globe.

## 1.2. La constellation

Le GPS est composé d'une constellation de 24 satellites de 500 kg environ, régulièrement répartis sur six plans orbitaux circulaires (cf. Figure 1), inclinés à 55 degrés sur le plan équatorial et à une altitude sol de 20 184 km. L'orbite est quasi-circulaire et leur période de révolution est la moitié de la période sidérale terrestre soit quasiment 12 heures. Cette répartition spatiale garantit la visibilité en permanence d'au moins six satellites en tout point du globe. La durée de vie minimale du système est de 7 ans.

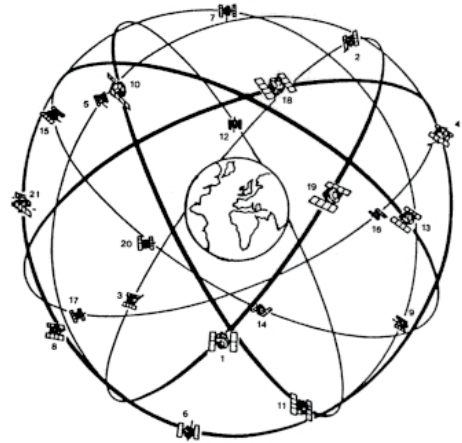


Figure 1. Les satellites GPS

## 1.3. Segment au sol

Afin de garantir une précision et une intégrité du GPS, plusieurs stations de contrôle au sol surveillent la constellation. Ainsi, la station de contrôle maîtresse (M.C.S., Master Control Station), implantée à Colorado Springs, calcule en permanence les temps de propagation ionosphérique, les effets mécaniques relativistes, la dérive des horloges, et établit les éphémérides des satellites (capital, puisque les systèmes récepteurs utilisent ce positionnement précis pour leurs calculs). Toutes ces informations sont ensuite retransmises aux satellites de la constellation.

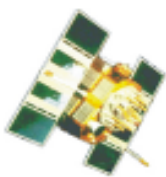
## 1.4. Le signal GPS

Le GPS dispose de 2 fréquences élevées dans la bande L ( $L_1=1575.42$  MHz et  $L_2=1227.6$  MHz). Ces ondes sont utilisées pour transmettre différentes informations parmi lesquelles son éphéméride, son état de fonctionnement, ses paramètres d'horloge, ses informations atmosphériques (message de 1500 bits sur  $L_1$  durant 30 s) et ses codes.

Deux types de codes sont émis:

- *Le code C/A*

Ce code appelé « Coarse/Acquisition » est accessible sur la fréquence  $L_1$  et a pour longueur d'onde 293 m [2]. Son signal dure une seconde et est émis à 1,023 Mbit/s. Il fournit des informations dans lesquelles certains paramètres peuvent être volontairement dégradés par la Défense Américaine. Pour cela, une erreur appelée SA (Selective Availability) y est ajoutée.



Satellite

Code C/A répété toutes les secondes  
Longueur d'onde 293 m



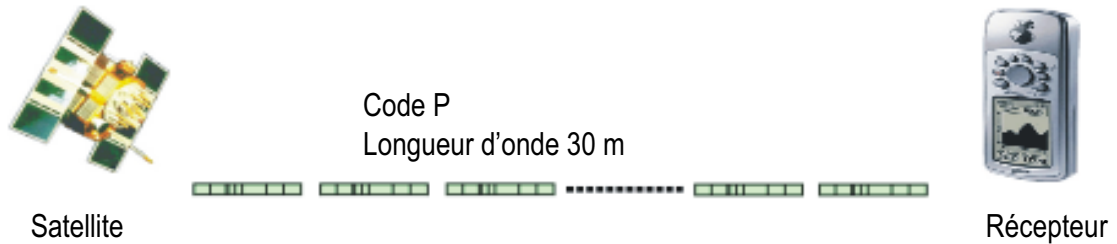
Figure 2. Code C/A



Récepteur

- *Le code P*

Le code P nommé « Précision » est à intervalles longs. Il est réservé aux utilisateurs privilégiés du GPS (décryptage nécessaire). Ce code est émis sur L1 et L2 avec un débit 10 fois plus grand que le code CA.



**Figure 3.** Code P

- *La mesure de la phase*

Cette technique consiste à mesurer l'oscillation sinusoïdale du signal GPS dès que la précision souhaitée est inférieure au mètre. En effet, les longueurs d'ondes des fréquences L1 et L2 (19 et 24.4 centimètres) sont beaucoup plus courtes que les codes P et C/A.

## 2. LOCALISATION PAR GPS

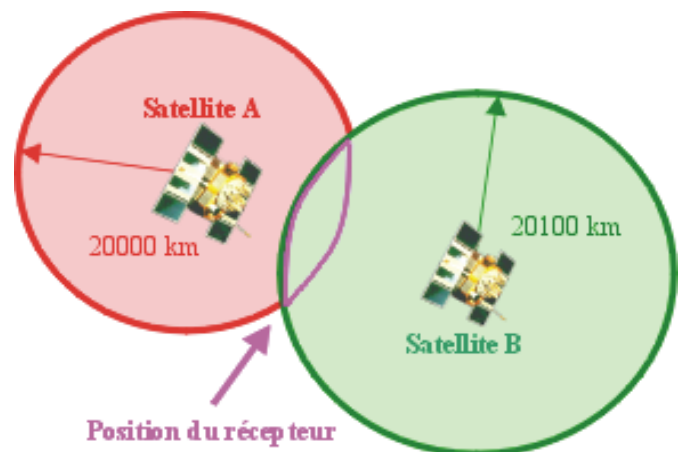
### 2.1. Principe

Le principe de localisation est très simple. Chaque satellite envoie son numéro d'identification, sa position précise par rapport à la terre, et l'heure exacte d'émission du signal. Le récepteur GPS, grâce à son horloge supposée synchronisée sur celle des satellites, calcule donc le temps de propagation à la vitesse de la lumière et en déduit la distance au satellite [3].

Afin de déterminer la position d'un récepteur GPS, il est nécessaire de « contacter » au moins trois satellites GPS pour calculer la distance récepteur-satellite. Avec un satellite A, le récepteur sera positionné sur une sphère (cf. Figure 4), avec deux satellites A+B, le récepteur est localisé sur un cercle (cf. Figure 5), enfin avec trois satellites A+B+C il est possible d'identifier deux positions (Pos1 et Pos2) de localisation GPS (cf. Figure 6). Le récepteur gardera la position la plus proche de la terre (Pos1) et éliminera l'autre position (Pos2) qui est aberrante.



**Figure 4.** Position avec un satellite GPS



**Figure 5.** Position avec deux satellites GPS

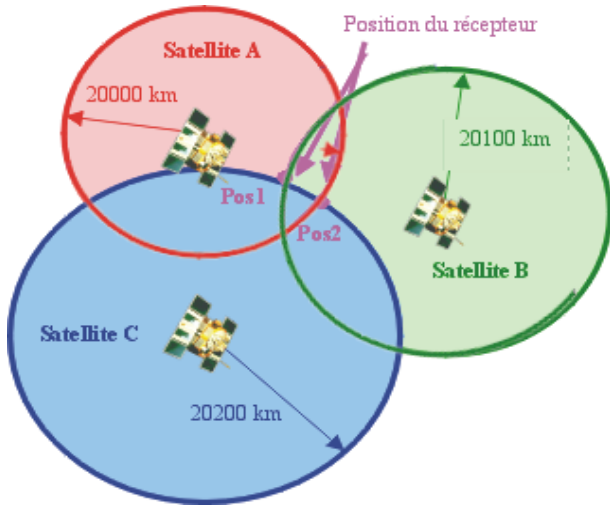


Figure 6. Position avec trois satellites GPS

Pour une localisation précise de la latitude, longitude et altitude, le récepteur utilise un quatrième satellite qui permet une synchronisation des mesures avec l'horloge du satellite (à la place de l'horloge du récepteur).

Pour un mobile rapide, la mesure de vitesse utilise aussi un minimum de 4 satellites et l'effet Doppler. Le calcul des paramètres orbitaux d'un engin spatial se fait en utilisant un nombre maximal de satellites et un filtrage de Kalman.

## 2.2. Erreurs et problèmes d'utilisation

### 2.2.1. Orbite des satellites

La précision dépend de l'environnement et de la position des satellites. Plus les satellites seront proches de la verticale du point à localiser, plus l'altitude sera fiable. En pratique, un algorithme de calcul affine la position 3D du récepteur en utilisant un maximum de satellites visibles (maximum 12). Le récepteur GPS indique de lui-même, ce nombre de satellites.

Par exemple, un satellite visible au ras de l'horizon sera inopérant pour calculer l'altitude. Réciproquement un satellite à la verticale du point de localisation donnera un mauvais positionnement horizontal. Pour des appareils évolués, le récepteur affiche le positionnement des satellites utilisés, ce qui permet d'apprécier la qualité de l'information calculée. Certains appareils indiquent même la précision de la localisation.

Comme les satellites sont en perpétuel mouvement, un coefficient de qualité caractérisé par le GDOP (Geometric Dilution Of Precision), indique l'erreur de géométrie de la constellation [4]. Ce coefficient donne une bonne indication sur la qualité des mesures que l'on souhaite obtenir. De manière générale, un GDOP doit être le plus faible possible et inférieur à deux (cf. Figure 7 et Figure 8).

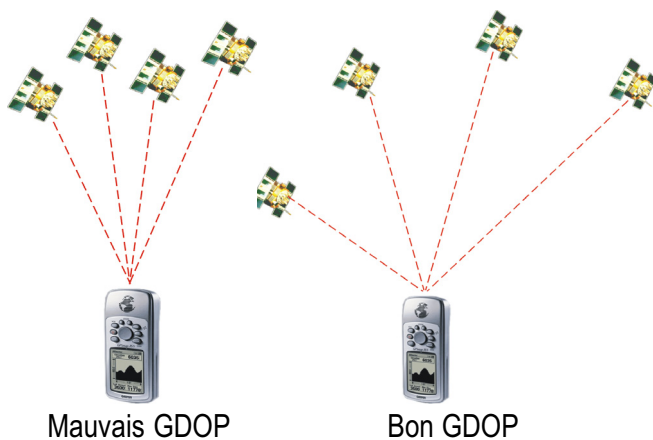


Figure 7. Bonne et mauvaise géométrie

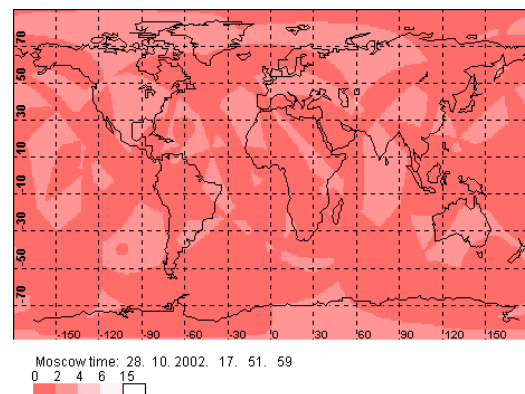


Figure 8. Exemple de la répartition du coefficient GDOP

A noter qu'il existe d'autres coefficients : HDOP (Horizontal Dilution Precision), VDOP (Vertical Dilution of Precision), PDOP (Position Dilution of Precision) et le TDOP (Time Dilution of Precision) qui présentent une estimation statistique des DOP (basée sur les données GPS et le temps).

### 2.2.2. Erreur d'horloge

Au §2.1, nous avons vu que l'horloge du récepteur calculait le temps de propagation du signal. Ce signal peut être affecté d'un biais s'il n'est pas synchronisé par un quatrième satellite GPS. Ce biais (différence entre l'horloge du récepteur et l'horloge du GPS) engendre une erreur de mesure du temps de propagation des signaux GPS et, par la même, une erreur sur les distances récepteur-satellites (cf. Figure 9).

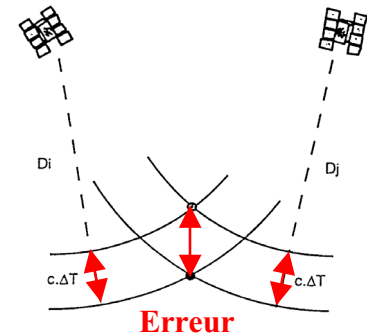
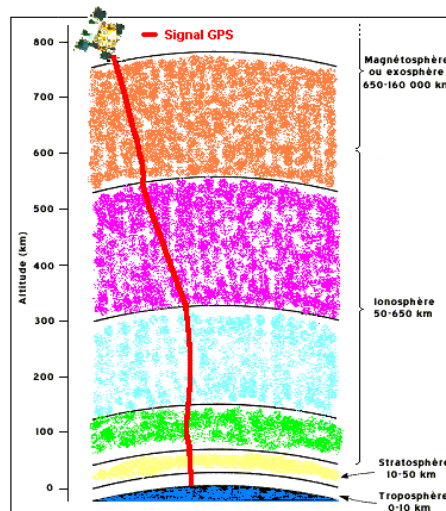


Figure 9. Erreur due aux horloges

### 2.2.3. Propagation ionosphérique et troposphérique

D'autres facteurs agissent sur la localisation, en effet, les signaux GPS doivent traverser les différentes couches de l'atmosphère pour atteindre le récepteur.

Lorsque les signaux pénètrent l'ionosphère et la troposphère (cf. Figure 10), les différentes particules chargées (ions et électrons) de l'atmosphère vont perturber les ondes radios.



L'effet sera caractérisé par l'émergence d'un retard dans la transmission du signal, car la vitesse de propagation est différente dans chacune des couches. Un autre facteur occasionne un retard, il s'agit du rayonnement solaire. Dans ce cas, le temps de propagation dans l'ionosphère est plus important notamment en période d'année solaire (i.e. fort rayonnement solaire).

Figure 10. Effet de l'atmosphère sur le signal GPS

### 2.2.4. Le trajet multiple

Contrairement à ce que l'on pourrait penser, le signal GPS n'est pas uniquement perturbé par l'atmosphère. L'environnement géographique peut également faire obstacle à ces signaux.

En effet, les signaux GPS émis sous différentes directions, ne parcourront pas le trajet en cas de réflexions multi-trajets (montagnes, arbres, construction, etc.). Un retard dans le temps de transmission se traduira par une erreur sur la distance satellite récepteur (i.e. erreur de position).

### 2.2.5. SA (*Selective Availability*)

La dégradation SA consiste à dégrader la fréquence d'horloge du satellite qui reproduit les phases et les codes dont la longueur d'onde varie. A ceci, une erreur volontaire sur la position du satellite est envoyée par le message de navigation. Ces erreurs typiques imposées par la SA permettent d'engendrer des imprécisions de l'ordre de 100m. Actuellement stoppée, la SA a été activée entre le 1<sup>er</sup> juillet 1991 et le 2 mai 2000.

### 2.2.6. *Bruit du récepteur*

Le bruit du récepteur est une indication d'efficacité de la mesure réalisée par un récepteur GPS (à partir du signal émis par un satellite). Certains récepteurs sont meilleurs que d'autres, d'où un bruit récepteur différent.

## 2.3. Bilan des erreurs

En résumé, le G.P.S. assure en tous points du globe un positionnement et une navigation en trois dimensions. Sa précision est d'environ 100 mètres pour les utilisateurs classiques s'il est soumis à une dégradation aléatoire des signaux (SA), et peut approcher les 10 mètres dans le plan horizontal et 15 mètres en altitude sans le SA.

Source	Erreur
Orbite	2,5 m
Horloge	1 m
Propagation ionosphérique et troposphérique	3 à 50 m
Trajets multiples	0 à 20 m
Bruit récepteur	1 à 3 m
SA	30 m

*Tableau 1. Bilan des sources d'erreurs*

Le tableau ci-dessus qui présente une évaluation des différentes erreurs suivant les sources [5], montre que cette technique de localisation devient insuffisante dès lors où la précision métrique est requise. Pour cela, il devient nécessaire d'utiliser des techniques plus évoluées, dites différentielles.

## 3. LE DGPS POUR UNE PRÉCISION MÉTRIQUE

Plusieurs méthodes existent : le traitement en temps réel chargé de localiser le récepteur simultanément, et le traitement différé qui réalise un post-traitement après enregistrement des localisations.

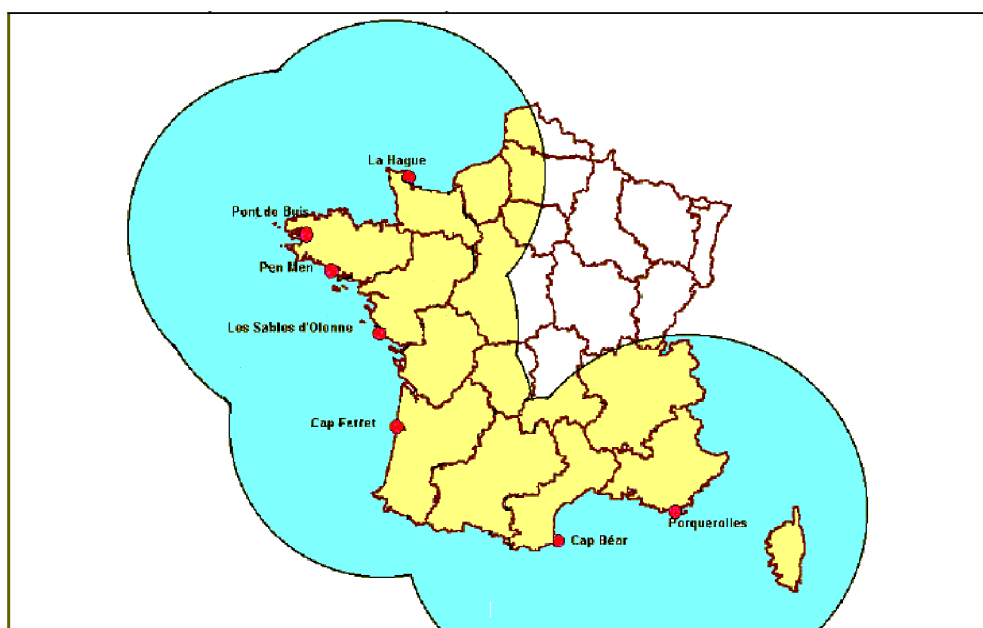
### 3.1. Localisation temps réel

La méthode consiste à utiliser un récepteur placé en une station dont la position est parfaitement connue. Cette station (DGPS) calcule l'erreur volontaire SA (si elle est activée) dont nous avons parlé plus haut, qui dégrade la précision, et corrige une partie des erreurs dues

à l'atmosphère. Cette information de correction est ensuite diffusée sur l'ensemble des récepteurs voisins.

Dans le milieu maritime, un format standard universel est utilisé pour transmettre ses corrections DGPS. Il s'agit du RTCM 104 qui comprend plusieurs messages types. Par exemple un message de type 1 fournit (pour l'ensemble des satellites visibles) son identification, sa correction pseudo-distance, mais également la variation de cette correction dans le temps.

Un réseau de sept balises DGPS (cf. Figure 11) réparties le long des côtes françaises, détermine les erreurs de mesures et transmet les corrections différentielles sur une portée d'environ 90 km. Ce service permet d'obtenir une précision inférieure à 5 mètres dans 95% du temps dans la zone de portée des balises et en terrain dégagé.



*Figure 11. Réseau DGPS Maritime*

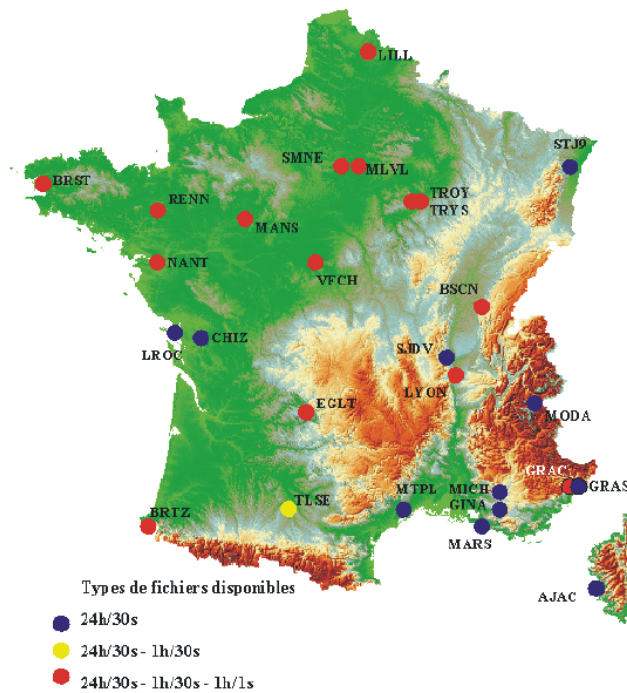
### **3.2. Localisation en temps différée**

Cette solution permet de s'affranchir du problème de liaison base-récepteur nécessaire en mode temps réel. Le système comprend toujours une station de base et un récepteur GPS. La liaison de transmission chargée de diffuser les corrections est supprimée. En effet, les données station+récepteur seront combinées par un logiciel de post-traitement une fois les mesures réalisées.

Contrairement au temps réel, ce n'est pas le format RTCM qui est utilisé. Le logiciel de traitement utilise généralement le format RINEX qui est accepté par la plupart des constructeurs. Ce format contient les données brutes du récepteur GPS dont les pseudo-distances.

Il existe un réseau de stations GPS permanentes (cf. Figure 12) nommé RGP (Réseau Géodésique Permanent) qui propose des fichiers horaires cadencés à 30 s ou 1 s [7].

Ces données sont fournies gratuitement et permettent d'obtenir une précision métrique le lendemain du jour des mesures.



**Figure 12.** Réseau RGP

### 3.2.1. Sources d'erreurs DGPS

Les techniques différentielles améliorent la précision de localisation en supprimant un grand nombre de sources d'erreurs. Le Tableau 2 ci-dessous présente les erreurs pour l'ensemble des sources [6].

Source	Erreur DGPS (<100 km Station de Référence)
Orbite	2,5 m
Horloge	1 m
Propagation ionosphérique et troposphérique	- m
Trajets multiples	0 à 20 m
Bruit récepteur	1 m
SA	- m

**Tableau 2.** Bilan des sources d'erreur DGPS

Le DGPS supprime quasiment la totalité des erreurs de localisation provenant de la propagation du signal dans les couches ionosphérique et troposphérique mais également du Selective Availability.

## 4. CONCLUSION

Le GPS a révolutionné les techniques de localisation. Cette technologie très complexe dispose d'un grand choix de récepteurs : GPS, DGPS, RTK (Real Time Kinematic), EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service).

Le §3 a présenté deux exemples de réseau différentiel : le réseau DGPS Maritime et le réseau RGP. Ils ne répondent pas aux mêmes besoins : Le temps différé sera essentiellement appliqué dans le domaine de la géodésie, topographie, tectonique, bathymétrie ; tandis que le temps réel répondra davantage aux activités de transport (maritime, fluvial, terrestre).

Suivant les techniques de localisation utilisées, la précision du GPS peut varier de quelques millimètres à plusieurs mètres. Si la technique DGPS donne une précision inférieure à cinq mètres, il existe d'autres solutions comme le RTK qui fournit une précision millimétrique. Il faudra donc choisir son système de localisation en fonctions de son domaine d'application (maritime, terrestre, avionique, etc.).

Comme nous l'avons vu aux §2.3 et §3.2.1, les erreurs de mesures sont fortement liées à la solution technique GPS choisie, à l'environnement et à la précision envisagée. Les exigences de précision, de qualité (continuité et intégrité) et durabilité seront de ce fait à prendre en compte.

En résumé, l'utilisateur devra connaître ses exigences de qualité et estimer la précision nécessaire à sa future application pour un usage optimum du GPS.

## 5. REFERENCES

- [1] Guiziou Robert, [http://artemis.univ-mrs.fr/cybermeca/Formcont/mecaspa/COURS\\_SA/GPS/GPS.htm](http://artemis.univ-mrs.fr/cybermeca/Formcont/mecaspa/COURS_SA/GPS/GPS.htm), juin 2000
- [2] Serge Botton, Françoise Duquenne, GPS Localisation et navigation, p.16-17, Ed. Hermes, 1996
- [3] O. Fleury, [http://www.ifrance.com/locodos/gpsOF/gps\\_principe.html](http://www.ifrance.com/locodos/gpsOF/gps_principe.html), 2001
- [4] <http://www.mcc.rsa.ru/IACKVO/gpdnoiseen4.html>
- [5] Ariane Andréani, Le GPS : une révolution, p.30-34, Ed. Jean Jary, juin 2001
- [6] [http://users.skynet.be/amfmgjs/DGPS\\_Muls\\_fr.htm](http://users.skynet.be/amfmgjs/DGPS_Muls_fr.htm)
- [7] <http://lareg.ensg.ign.fr/RGP/index.html>



# UN SYSTÈME D'AIDE AU CHENALAGE EN LOIRE MARITIME : LE «GPS-PORT» (SYSTÈME PRODUIT PAR MARIMATECH)

*Intervention de Monsieur Jean-Pierre HELARD et Monsieur Daniel LE NEN,*  
Port Autonome de Nantes Saint-Nazaire

## PROBLÉMATIQUE

Le port Autonome de Nantes Saint-Nazaire regroupe les installations portuaires de la Basse-Loire (estuaire de la Loire, de Nantes à Saint-Nazaire).

Ces installations qui sont situées respectivement à Nantes, Donges, Montoir et Saint-Nazaire, permettent de traiter différents trafics, pour un tonnage total de 31,6 Mt en 2002.

La desserte des installations est assurée par un chenal maritime de 68 km de longueur, qui se décompose en 2 parties :

- le chenal de Donges (de la bouée du Chatelier jusqu'aux postes pétroliers de Donges), de 26 km de longueur, est exploité à une cote de -12,40 CM, sur une largeur de 300 m,
- le chenal d'accès à Nantes (de Donges jusqu'à Nantes), est exploité à une cote de -4,70 CM, sur une largeur de 150 m.

Le suivi des navires marchands est assuré 24h/24h, par un centre VTS (Vessels Traffic Services), implanté à la capitainerie de Saint-Nazaire, depuis 1994.

Pour la zone comprise entre la centrale de Cordemais et la zone d'atterrissage, il s'appuie sur les informations fournies par les 2 stations radar de «Mindin» et de «l'Herbaudière».

**Permettre aux navires d'accéder aux différentes installations portuaires de l'estuaire de la Loire, dans les meilleures conditions de sécurité, reste la préoccupation majeure du PANSN, dont les chenaux d'accès sont sujets à forte sédimentation.**

Tous les navires de longueur supérieure à 75m sont pilotés. Sur les gros porteurs la présence de 2 pilotes est parfois requise, et la totalité de ces navires (charbonniers, méthaniers, pétroliers) bénéficie d'une aide radioélectrique au chenalage.

La mise en place d'aides radioélectriques à la navigation, dont certaines spécifiques au chenalage, est effective depuis 1982, date de mise en service du terminal méthanier de Montoir.

Initialement prévue pour fiabiliser l'accès des méthaniers à ce terminal de Montoir, l'utilisation de systèmes d'aide au chenalage s'est progressivement étendue aux navires gros porteurs fréquentant l'estuaire de la Loire (pétroliers, charbonniers, ...).

Ces systèmes (le SAREL d'abord, puis le SYLEPORT, commercialisés par la société SERCEL) utilisaient les données de position fournies par un réseau SYLEDIS, et fournissaient au pilote embarqué des informations, en temps réel, sur son chenalage : distance par rapport au prochain point tournant, écart par rapport à l'axe du chenal, vitesse, ...

La couverture de ces systèmes, d'abord limitée à la zone s'étendant de la mer (prise pilote) jusqu'aux appontements pétroliers de Donges, a été ensuite étendue (en 1990), jusqu'à Nantes par installation de balises complémentaires.

La précision de ces systèmes est vite devenue insuffisante (+/- 5 à 7 m). Leur complexité d'exploitation s'est souvent traduite par une mise en cause de leur fiabilité. Par ailleurs, leur maintenance est devenue difficile avec l'arrêt de leur commercialisation.

Tout ceci a contribué à ce que le PANSN, ayant par ailleurs testé les possibilités du DGPS, d'une part, et celles des transpondeurs, d'autre part, décide de mettre en place un nouveau système baptisé GPSPORT, s'appuyant sur la position fournie par le GPS (en mode différentiel).

Le cahier des charges pour la réalisation de ce nouveau produit, comportait 3 impératifs :

- Position fournie par le système GPS , en mode différentiel (avec précision centimétrique),
- Système convivial : poids, encombrement, manipulation, facilité d'exploitation (cartographie, données numériques sur la position dans le chenal).
- Possibilité de dialogue, bidirectionnel, entre la terre (VTS, Station de pilotage) et le navire assisté.

Une consultation (sur appel d'offres), lancée en septembre 2001, a conduit le PANSN à retenir la proposition de la société MARIMATECH, dont nous décrivons, ci-après, les équipements.

## LE SYSTÈME «GPS-PORT»

### Principes

Le GPSPORT s'appuie sur les informations de position issues du système satellitaire.

Le pilote embarque un coffret comprenant : un transpondeur et un récepteur. Le transpondeur calcule sa position et la transmet au récepteur (Pc) qui élabore les paramètres de navigation et les présente au pilote (représentation cartographique et numérique).

En mode naturel, les informations de position sont issues directement des satellites.

En mode différentiel, une balise à terre, transmet des corrections différentielles au transpondeur. Dans cette configuration la **précision est centimétrique**.

L'utilisation de 2 transpondeurs, placés, aux 2 extrémités, de la passerelle (ailerons), ou du navire (proue et poupe), permet d'améliorer la précision du suivi du mouvement.

Dans cette dernière configuration, il est possible d'utiliser le système dans les phases d'accostage.

En annexe, on trouvera des schémas résumant les principes de ce système GPSPORT.

## **Les équipements constitutifs du système MARIMATECH**

Dans la configuration utilisée par le P.A.N.S.N., le système comprend 2 types d'équipements, du fait que l'on travaille en mode différentiel :

- à terre, une station d'émission-réception (E-SEA Shore), reçoit les informations des satellites, et retransmet au navire les corrections différentielles (balise GPS différentielle, système de transmission UHF des données vers le navire),

A cette station est associé un ordinateur permettant de faire du monitoring.

- à bord du navire :

Un transpondeur (E-SEA Cat) positionné, par le pilote, sur la passerelle du navire, reçoit les informations des satellites et les transmet à un récepteur embarqué (E-SEA Pad) qui les traite et fournit au pilote des informations sur son chenalage.

Cet E-SEA Pad permet ainsi au pilote de visualiser, sur une cartographie vectorisée, la progression du navire dans le chenal, ainsi que les paramètres de navigation y afférant.

Ainsi qu'explicité précédemment, 2 E-SEA Cat pourront être embarqués, soit pour affiner la précision du chenalage, soit pour effectuer des opérations d'accostage.

Une représentation de ces différents équipements figure en annexe.

## **Fonctionnalités**

Les informations fournies sur l'E-SEA Pad sont de 2 types (numériques, et cartographiques), et sont affichées sur 1 écran couleur de 11 pouces, lisible de jour comme de nuit.

Les différentes fonctionnalités sont accessibles, par stylet, et par clavier.

La représentation écran est de type cartographique, avec en marge, les valeurs numériques des paramètres de navigation et les tendances.

Sur son écran, l'opérateur dispose :

- . de la position actuelle de son navire dans le chenal, avec un rafraîchissement de celle-ci toutes les 2 secondes,
- . d'1 vecteur prévisionnel, permettant de visualiser, en anticipation, sa position future,
- . d'1 trace historique des positions passées (paramétrable), et d'une prédiction de position.

L'opérateur a le choix, en fonction de sa trajectoire, de différentes représentations : déplacement relatif, ou déplacement en mouvement vrai.

Les paramètres de navigation, représentés, en marge de l'écran, de façon numérique, ou analogique (aiguilles), et au choix de l'opérateur sont :

- . n° de segment le plus proche,
- . distance à l'extrémité du segment,

- . écart à l'axe, ou au front d'accostage,
- . cap
- . vitesse fond, vitesse transversale, vitesse sur l'axe,
- . route fond,
- . vitesse de giration,
- . nombre de satellites reçus,
- . mode de calcul du point (naturel ou différentiel),
- . qualité du point.

En annexe on a regroupé quelques représentations d'écrans, enregistrées le 14 mars 2003, lors de mouvements du navire «Queen Mary» , en construction aux Chantiers de l'Atlantique, à St-Nazaire (passage de la forme d'assemblage dans un bassin de finition du navire).

## **LA MISE EN ŒUVRE**

Les résultats d'une consultation au niveau européen (appel d'offres) lancée en 2001, ont conduit le P.A.N/S.N. à retenir le produit conçu par la société MARIMATECH.

Dans un premier temps, 5 ensembles mobiles (E-SEA Cat et E-SEA Pad), et 1 balise E-SEA Shore, ainsi qu'un PC de monitoring ont été acquis. Ils sont opérationnels depuis mars 2003.

Les équipements mis en place vont permettre aux pilotes de Loire d'assurer les mouvements des navires sensibles : méthaniers, gros porteurs (Pétroliers, vracquiers). Le système couvre la zone comprise entre la mer et les postes pétroliers de Donges.

Par la suite, au vu des possibilités réelles du système, il est envisagé d'acquérir d'autres mobiles (10 à 15), ainsi qu'1 balise E-SEA Shore supplémentaire, de manière à étendre la couverture jusqu'à Nantes. Ceci permettra de généraliser cet équipement à la majorité des navires pilotés, et d'avoir un suivi continu des navires depuis les bouées d'atterrissage jusqu'à Nantes (venant ainsi compléter l'information radar qui s'arrête au niveau de la centrale thermique de Cordemais).

# EXPÉRIMENTATION D'UN SYSTÈME D'IDENTIFICATION AUTOMATIQUE DE TRAFIC FLUVIAL SUR LA SEINE

*Intervention de Monsieur Philippe ROUX,*

SNS

Chef du Service Eau, Environnement et Sécurité des Transports

Philippe-jacques.roux@equipement.gouv.fr

## RESUMÉ

La Seine s'écoule dans le bief de Paris sur 25 km et sa traversée dans la capitale représente 13 km environ. Le trafic fluvial y est hétérogène et dense. Il est soumis aux conditions hydrauliques du fleuve, notamment à ses variations de niveau du plan d'eau (> 3 m) et de débits (400 à 1300 m<sup>3</sup>/s et plus) ; mais il doit aussi prendre en compte les nombreuses obstructions que constituent les 3 îles et les 36 ponts aux abords desquels les vitesses des courants peuvent s'accroître de 30 à 55 % notamment en période de crue.

Face à la croissance significative des accidents, le SERVICE NAVIGATION DE LA SEINE avec l'appui de la Préfecture de Police de Paris et des deux établissements publics, VOIES NAVIGABLES DE FRANCE et le PORT AUTONOME DE PARIS, s'est engagé dans une démarche multiple afin de renforcer la sécurité de la navigation dans le bief le plus fréquenté de France.

A défaut de surveillance radar du trafic, un système d'identification automatique interfacé à une carte électronique et à un logiciel de navigation peut représenter l'élément majeur d'un futur Centre d'Information et de Surveillance de Trafic Fluvial propre à ce bief, intégré dans un système d'information fluviale plus large aux normes européennes RIS.

L'expérimentation engagée en 2002 était une première pour le monde fluvial français et européen. Avec le concours du CETMEF elle s'est appuyée sur la technologie des transpondeurs maritimes AIS. Elle a permis de vérifier la faisabilité technique du dispositif AIS sur cette section de voie navigable encadrée d'une urbanisation forte.

Poursuivant des objectifs proches de ceux du projet européen DORIS expérimenté sur le Danube, le Service Navigation de la Seine proposera aux opérateurs d'envisager l'équipement de tous les bateaux navigants soit régulièrement, soit en transit sur ce bief très fréquenté.

## LE SERVICE NAVIGATION DE LA SEINE

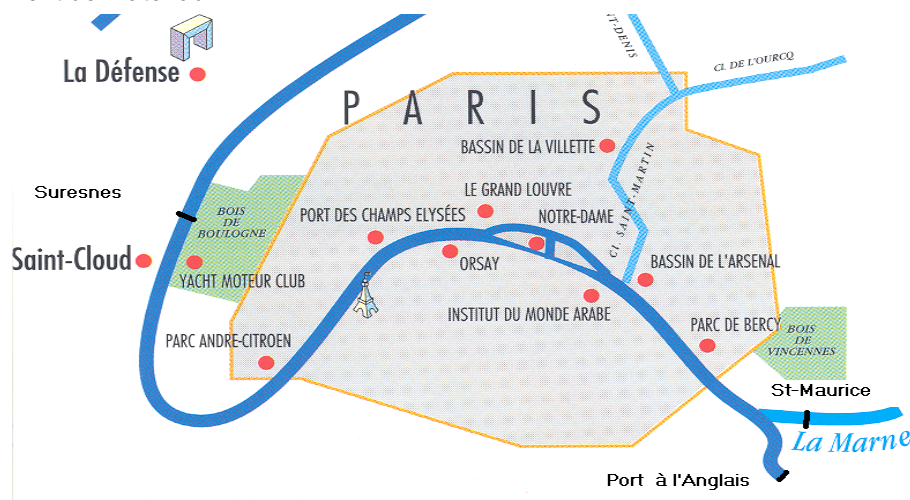
Le Service Navigation de la Seine est compétent sur 17 départements et 5 Régions. Il est composé de 1250 agents qui interviennent sur 25 % du réseau navigable national, soit 2260 km de rivières et canaux dont 1430 sont navigables, écoulant 30 % du tonnage national par voie d'eau. Le Service assure le contrôle de 60 % des unités fluviales nationales.



## DIAGNOSTIC ET SPECIFICITE DU BIEF DE PARIS : VERS UN TRANSPORT PLUS SÛR

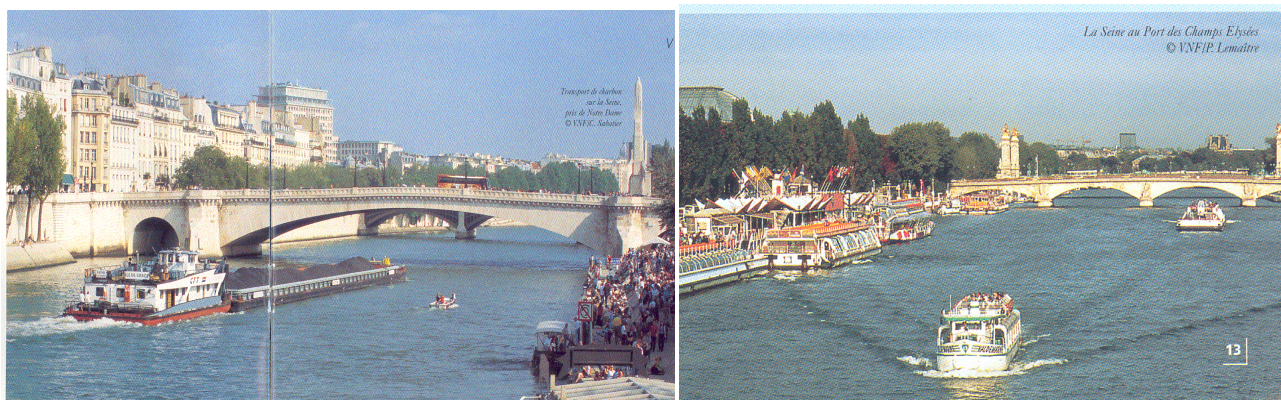
Le bief de Paris, est limité à l'Ouest par le barrage de Suresnes et à l'Est par ceux de Port-à-l'Anglais sur la Seine et de St-Maurice sur la Marne. Dans la capitale, sa largeur navigable varie de 25 à 150 m. La zone névralgique de navigation est comprise entre les 36 ponts qui enjambent le fleuve et plus précisément du pont de Grenelle au pont d'Austerlitz. L'Île de la Cité, l'Île Saint-Louis et l'Île aux Cygnes représentent les passages délicats dans Paris autour desquelles on a identifié 10 sites accidentogènes.

Il faut aussi compter avec l'encombrement des berges occupées par des activités diverses (115 établissements flottants recevant du public, bateaux-logement, 23 ports escales et quais pour (dé)chargement de matériaux).



## 1. ÉVALUATION DU RISQUE

Le trafic de commerce dans Paris s'élève à 6 MT/an avec 12 000 mouvements de bateaux soit 33/jour. Le transport de matières dangereuses atteint 150 000 T/an et 250 voyages /an, soit un mouvement toutes les 36 h environ. Cette activité est en grande partie produite par le Port Autonome de Paris qui « pèse » environ 20 MT/an qui s'appuie sur 10 plate-formes multimodales réparties dans 60 ports urbains pour desservir la Région Ile-de-France. C'est le 1<sup>er</sup> port fluvial Français et le second au niveau européen.



Au plan touristique, PARIS est considéré comme le premier port fluvial au monde avec 7 millions de passagers transportés chaque année par une flotte « captive » de 150 bateaux promenade, bateaux restaurant, mais aussi par des paquebots fluviaux de 110 m qui escalent ou transitent.

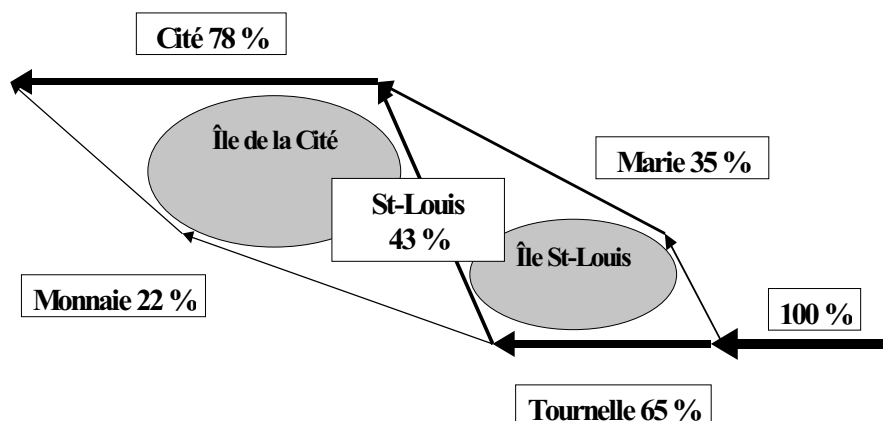
L'ensemble de cette flotte représente une capacité d'accueil de l'ordre de 38 000 personnes.

Il faut ajouter 18 établissements flottants qui proposent au public l'animation et/ou la restauration à quai. Ils peuvent accueillir près de 3000 personnes.

## 2. PERCEPTION DU RISQUE

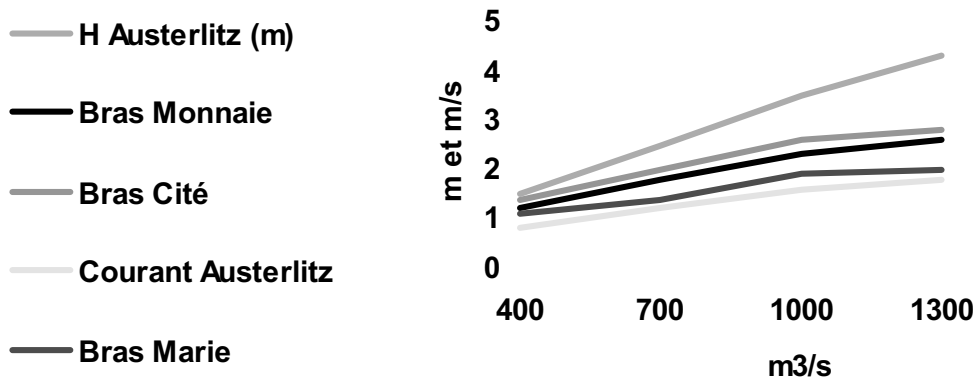
Le schéma ci-dessous indique la répartition des débits de la Seine au centre de Paris où se concentre le maximum de la navigation. Chacun des bras autour des îles présente une section d'écoulement différente, donc des débits et des courants différents auxquels s'ajoute un nombre de piles de ponts variables, signifiant autant de difficultés et d'obstacles pour la navigation.

Les difficultés de navigation proviennent en grande partie de la configuration parisienne où s'opèrent des variations hydrauliques ponctuelles et très significatives de la Seine que les usagers doivent appréhender. La seule référence à ce jour dont ils disposent consiste en la connaissance de la hauteur



du niveau du bief mesurée au pont d'Austerlitz. En fonction du débit, les courants subissent de fortes accélérations dans les bras : 30 à 40 % dans le bras de la Tournelle, 40 à 55 % dans le bras Marie.

Concernant les règles de navigation, l'ancien règlement datait de 1974. Il était intégré dans un règlement général comprenant la Seine, l'Oise, la Marne et l'Yonne. Un règlement particulier plus adapté aux conditions spécifiques de Paris et capable de renforcer la sécurité de la navigation a été publié en mai 2002. Certaines mesures fortes ont été prises : radio VHF obligatoire pour tous, passage

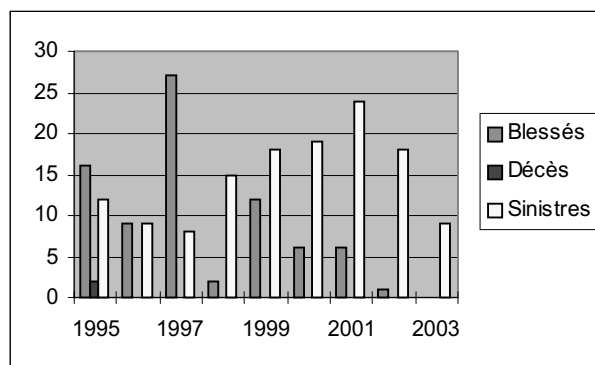


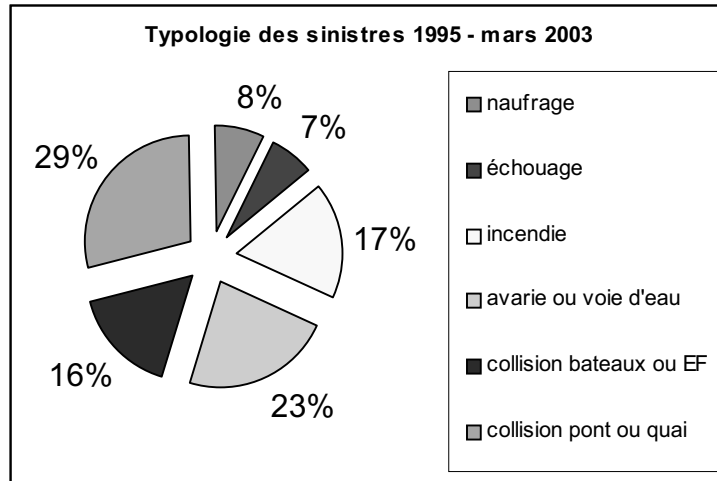
sous les ponts avec une garde de sécurité d'un mètre pour les bateaux à passagers,...

En fonction des variations de niveaux mesurés au pont d'Austerlitz ( $H_A$ ) et de débits de la Seine, une interdiction de navigation graduée a été prise jusqu'au Plus Hautes Eaux Navigables (PHEN) :

- + 1,6 m (27,42 m NGF) : du pont Bir Hakeim au pont Sully, Longueur des convois < 105 m
- $H_A = + 2,5$  m : interdiction du bras Marie aux bateaux passagers et interdiction du bras de la Monnaie aux bateaux de commerce
- $H_A = + 3,0$  m : interdiction du bras de la Monnaie à toute navigation
- $H_A = + 4,3$  m : toute navigation interdite (PHEN) dans Paris

Enfin, le bilan de l'accidentologie est révélateur de l'accroissement des sinistres constatés depuis plusieurs années : une accidentologie multipliée par 3 en 5 ans, heureusement accompagnée d'une division par 2 du nombre des blessés. Mais, au cours du 1<sup>er</sup> trimestre 2003, on déplore déjà 9 sinistres, soit 50 % du bilan 2002.





Devant cette croissance de l'accidentologie, le Service Navigation de la Seine s'est engagé depuis 2001 dans une démarche multi-projets d'analyse des risques et de gestion du risque.

L'analyse de l'accidentologie montre que :

- 25 % des accidents se produisent en période de crue
- 30 % affectent les bateaux de commerce
- 48 % concernent les bateaux à passagers qui naviguent 5,5 fois plus que les précédents

Globalement l'origine des accidents se répartit selon trois sources : l'avarie technique (36 %), l'absence de prévention (29 %), l'insuffisance de formation (35 %). Il convient de souligner que ces deux derniers facteurs représentent la défaillance humaine à hauteur de 64 %, ce qui indique que les efforts doivent porter vers une meilleure information des conditions de navigation et de l'environnement : c'est le rôle d'un système d'information fluviale performant, absent du bief de Paris jusqu'à présent, mais qui fait l'objet de réflexions approfondies.



### 3. GESTION DU RISQUE : LE SYSTÈME AIS, OUTIL D'AIDE À LA SÉCURITÉ

Depuis 2001, ces réflexions s'orientent vers la création d'un Centre d'Information et de Surveillance du Trafic Fluvial (CISTF). Les objectifs et les fonctionnalités viennent d'être définies avec le CETMEF. Prochainement, un appel à candidatures sera lancé afin de définir son étude technico-économique. Pendant que la technologie est testée sur le terrain (capteurs de courant et de hauteur libre sous pont, information aux usagers par panneaux à messages variables, serveur vocal...) la formation des pilotes n'est pas oubliée grâce à la participation du Service Navigation de la Seine à la conception d'un prototype de simulateur de navigation dans Paris. (projet SIMNAV)

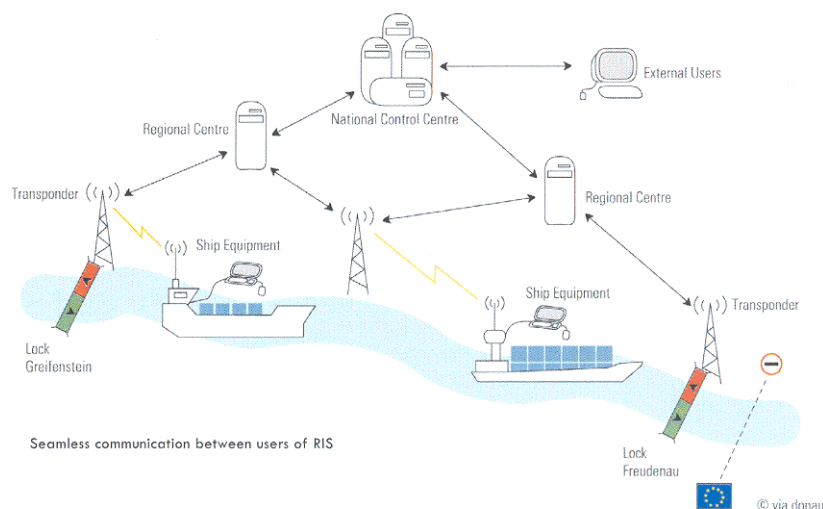
Mais, sans doute le système automatique d'identification (AIS) des bateaux testé de mai à août 2002 représente t'il un outil privilégié dans la panoplie des moyens dont disposera le CISTF.

L'expérimentation menée s'est révélée être un succès technique, même si les plus pessimistes font remarquer que les signaux GPS sont « volatils » en milieu urbain en disparaissant sous les ponts quelques secondes. Fondamentalement, cela ne paraît pas essentiel dans la recherche d'une vision globale du trafic sur l'ensemble du bief. Des solutions simples pourront remédier à ce défaut, comme l'installation d'une antenne à chaque extrémité du bateau.

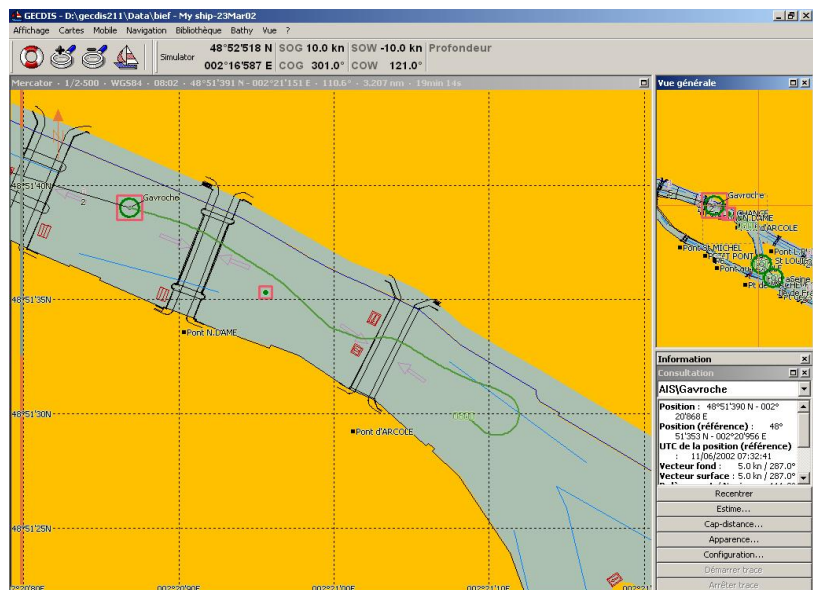
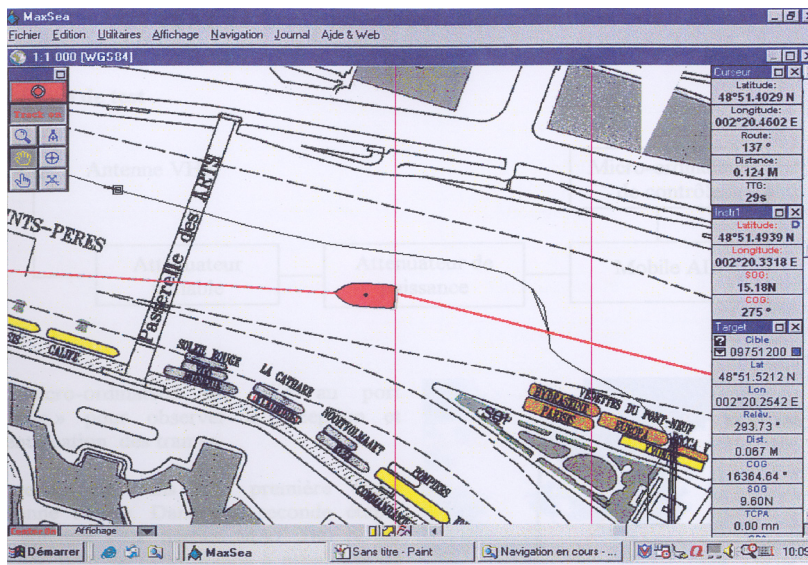
La navigation dans Paris est interdite au radar et doit s'effectuer à vue. L'AIS répond bien aux demandes des usagers et à l'administration de mobiliser une meilleure prévention, source de réduction d'accidents : voir au-delà d'un pont, d'une boucle, d'une île représente incontestablement des atouts pour le pilote dans les décisions qu'il doit prendre, aidé par des informations sur son environnement que peut lui fournir le CISTF.

Déjà plusieurs compagnies fluviales ont fait connaître leur intérêt pour assurer la gestion de leur flotte avec l'AIS. Les bateaux à passagers sont plus réservés pour embarquer cet équipement, car il le considère encore coûteux et ils naviguent à vue dans un espace réduit. Leurs sièges sont davantage intéressés dans le but d'assurer une meilleure gestion des rotations de leurs bateaux.

Le lancement de l'expérimentation autrichienne DORIS à Vienne en septembre 2002 ne peut nous laisser indifférent. Son succès nous conduira vraisemblablement à prendre des décisions très similaires pour le bief de Paris. Le transpondeur AIS constitue une interface standard et idéale entre le transport maritime et le transport fluvial. Il permettra de doter PARIS et son bief d'un véritable Centre d'Information et de Surveillance du Trafic Fluvial.



Deux logiciels de navigation ont été utilisés pour le test AIS effectué en 2002 sur le bief parisien. Nous avons utilisé deux cartes électroniques l'une en mode Raster, l'autre en mode vectoriel cette dernière étant élaborée à partir de nos données du bief. Elles étaient calées en mode WGS 84.



#### 4. BILAN DE L'EXPÉRIMENTATION AIS

Après quatre mois de test, le rapport du CETMEF a conclu au succès de l'expérimentation.

Bilan opérationnel :

- La mission « localisation continue des bateaux » est validée par l'expérimentation. La technologie AIS répond parfaitement à l'objectif initial que s'était fixé le Service Navigation de la Seine.
- La mission « Assistance et coordination des secours » est réalisable sous réserve du développement d'un logiciel d'exploitation ENC (Electronic Navigation Chart) disposant de toutes les fonctionnalités AIS et répondant aux besoins des usagers et des administrations.

### Bilan technique :

- La qualité de transmission des données AIS est suffisante pour couvrir l'ensemble du bief, même si quelques pertes sont observées sous les ponts et près des quais.
- L'ajout d'une seconde base AIS ne semble pas justifié. Son installation dépendra du type d'antennes AIS installées et de la couverture radio souhaitée.
- La précision DGPS est décevante (environ 10 m). Ce résultat est lié à l'environnement géographique urbain du bief parisien qui ne permet pas de garantir une réception des signaux GPS en continu.

Au vu de ces résultats, certaines améliorations sont à envisager. La localisation des bateaux, fonction stratégique du système devra faire l'objet d'études technologiques plus poussées en fonction des missions attribuées au CISTF : étude et simulation des problèmes de localisation GPS sur le bief parisien, expérimentation du nouveau système ECDIS,...



# UN SYSTÈME FLUVIAL : EXPÉRIMENTATION SNS

*Intervention de Monsieur Jacky BIRONNEAU,*

CETMEF

## 1. INTRODUCTION

Le CETMEF a assuré l'ingénierie de l'expérimentation SNS. L'objectif principal de cette expérimentation était d'étudier la faisabilité technique de l'utilisation de l'AIS (Automatic Identification System) pour le suivi du trafic fluvial sur le bief de Paris et l'échange d'informations avec les bateaux.

L'AIS est un système d'échanges automatisés d'informations par voies VHF, qui permet aux bateaux de se renseigner mutuellement et en temps réel sur leur identité, position, cap, vitesse et autres informations relatives à leur voyage. L'utilisation de l'AIS par un service de surveillance du trafic, lui permet de disposer de ces informations et d'échanger des messages avec les bateaux.

## 2. PRESENTATION DE L'EXPERIMENTATION

### 2.1. Les moyens mis en œuvre

Coté terre, l'exploitation des informations est assurée dans les locaux du SNS (quai d'Austerlitz) alors que les échanges radio avec les bateaux sont réalisés depuis le toit de la cité administrative (boulevard Morland).

Trois bateaux participent à cette expérimentation: un remorqueur de la Brigade Fluviale (l'Ile de France), un bateau de servitude du SNS (le Gavroche) et un bateau à passagers privé des Vedettes du Pont Neuf (l'Hydraseine).

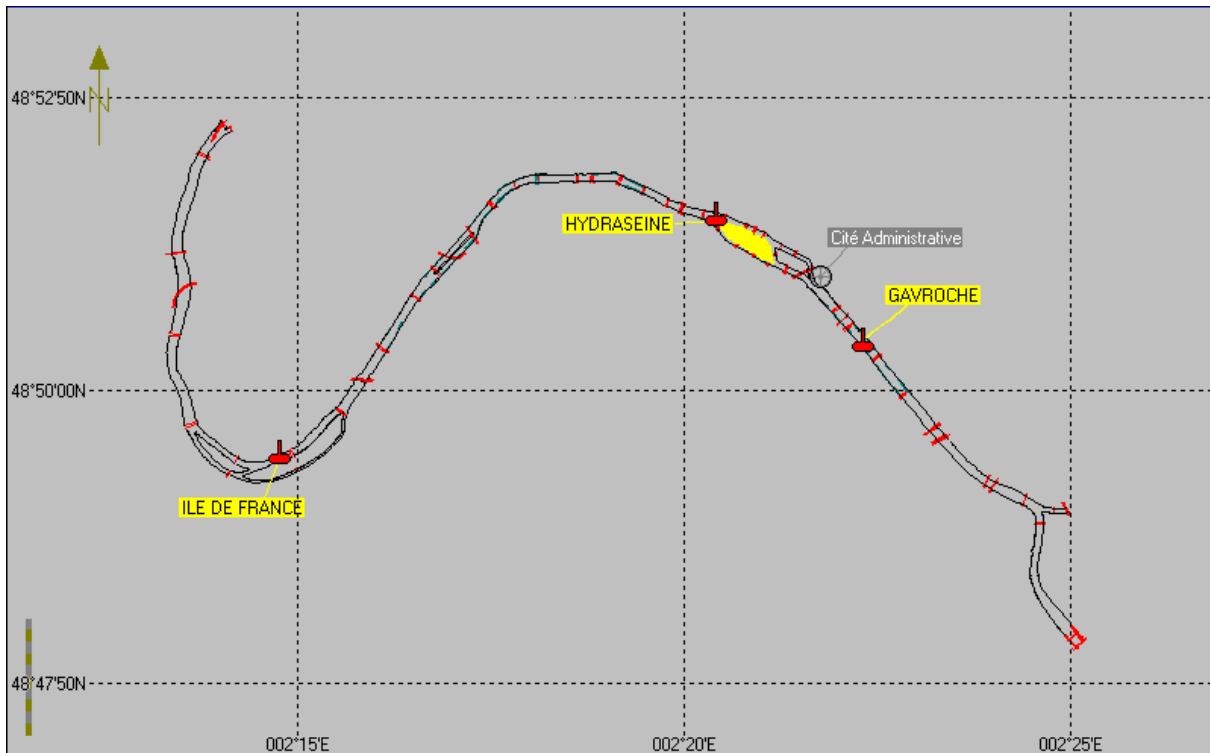


Figure n° 1

La figure n° 1 représente une vue générale du bief de Paris sur laquelle sont présentes les quatre stations AIS mises en œuvre pour l'expérimentation.

## 2.2. L'architecture d'une station AIS

L'architecture générale d'une stations AIS, à terre et embarquée, est la suivante :

### Équipement AIS

- Emission/Réception VHF
- Réception GPS avec génération (base AIS) ou exploitation (mobile AIS) de corrections différentielles du GPS.
- Traitement des messages AIS
- Gestion des échanges avec les équipements externes

### Interface utilisateur

- Visualisation des informations AIS
- Archivage, supervision

L'équipement AIS est appelé «base AIS» dans une station à terre et «mobile AIS» lorsqu'il est embarqué. La différence essentielle entre ces deux équipements est que la base AIS a la capacité de générer des corrections différentielles GPS. Le mobile AIS exploite ces corrections transmises par voie VHF dans des messages AIS.

L'interface utilisateur est un système informatisé doté d'un système d'information géographique et d'un logiciel de navigation.

### 3. RESULTATS OBTENUS

#### 3.1. La couverture VHF

L'infrastructure mise en place a globalement permis d'assurer une couverture VHF sur l'ensemble du bief parisien.

Il a également été constaté que les bateaux sont capables de se «voir» entre eux au delà des îles et méandres de la Seine avec une anticipation de plusieurs kilomètres. Rappelons que cette fonctionnalité est l'un des principaux objectifs initiaux de l'AIS dans le domaine maritime.

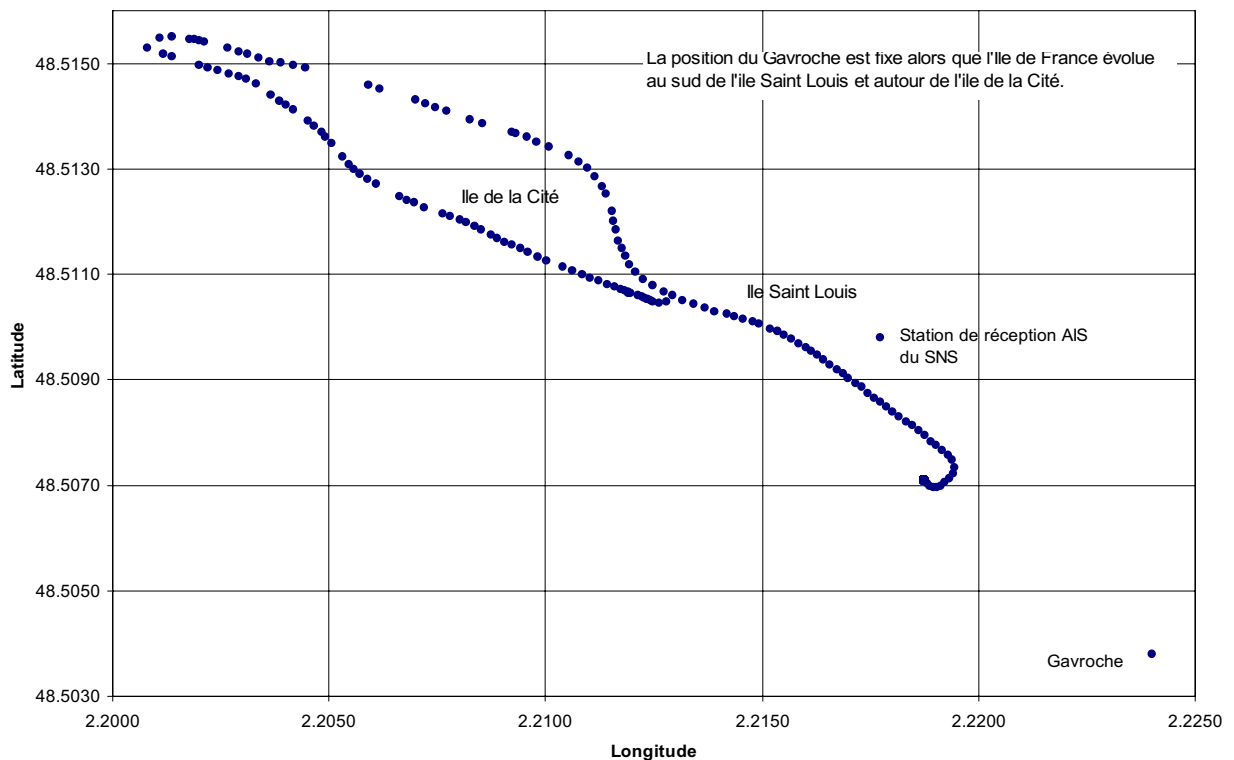


Figure n° 2

La figure n°2 présente les évolutions de l'Île de France autour des îles Saint Louis et de la Cité, telles que visualisées par le Gavroche depuis le quai d'Austerlitz.

#### 3.2. La couverture GPS

La capacité pour les bateaux à recevoir les informations diffusées par la constellation de satellites GPS est limitée par les bâtiments et ouvrages d'art, principalement les ponts.

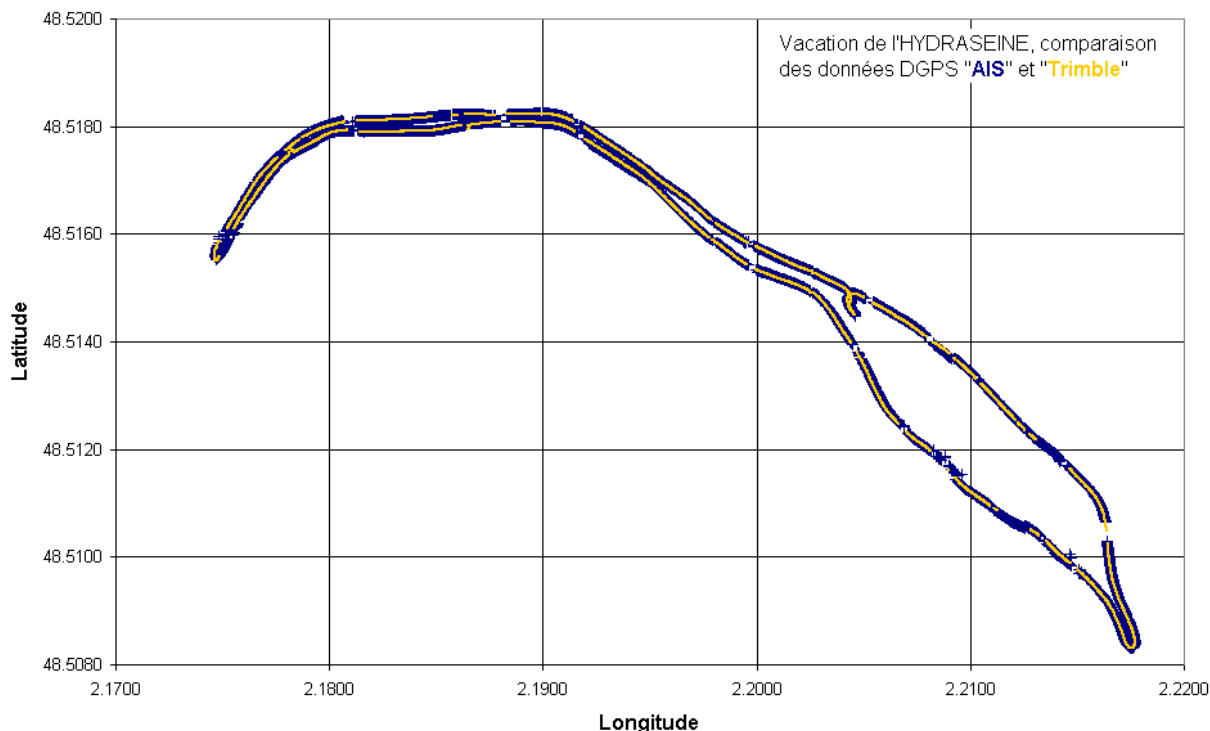


Figure n° 3

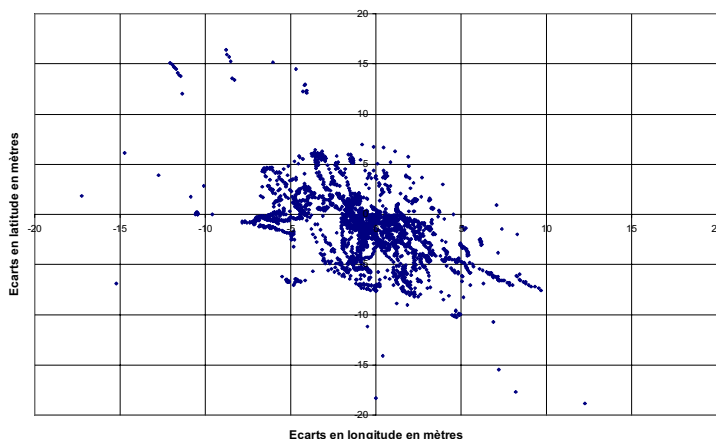
Pour réaliser les trajectoires présentées par la figure n° 3, une deuxième station différentielle GPS est embarquée à bord de l'Hydraseine lors de l'une de ses vacances. Les deux stations DGPS ne délivrent plus d'information de positionnement au passages du bateau sous les ponts. Nous constatons que les périodes sans informations de positionnement sont plus longues avec la deuxième station différentielle GPS, cette station ne semble délivrer une information que si elle est sécurisée.

### 3.3. La précision du positionnement

Sur le bief de Paris, les principales causes d'une réduction de la précision du positionnement sont les obstacles entre l'antenne GPS et les satellites et les trajets multiples des signaux GPS.

L'analyse des données présentées par les trajectoires de la figure n° 3 montre que :

- au moins quatre satellites sont exploités par la station mobile AIS pour élaborer les informations de positionnement pendant 86 % du temps,
- parmi les données fournies simultanément par les deux stations DGPS soit 80 % du temps, 56 % présentent un écart entre les positions données par les deux stations de moins de deux mètres et 99 % un écart de moins de dix mètres. La figure n° 4 présente la répartition spatiale des écarts de positionnement entre ces deux stations.



Le meilleur qui représente le cas général et le pire qui est favorisé par les situations particulières évoquées ci-dessus sont illustrés par les figures suivantes.

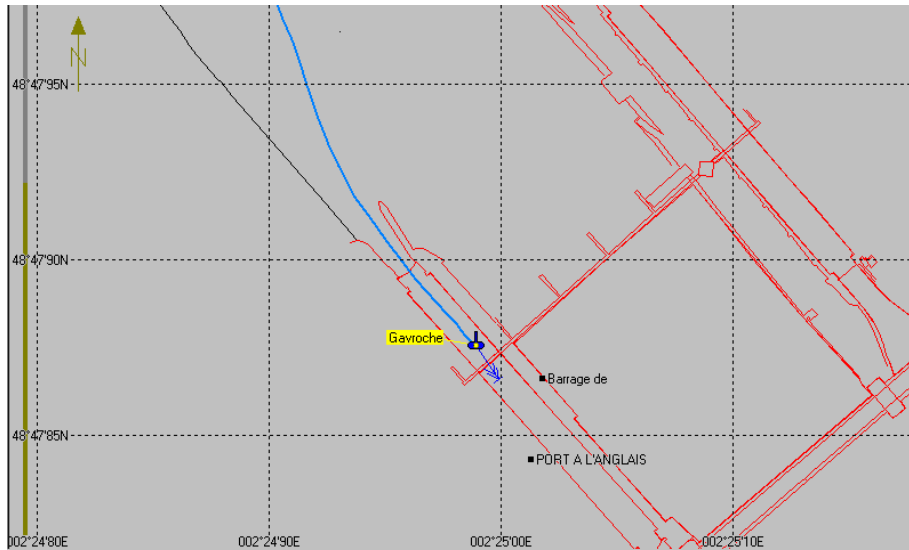


Figure n° 5

Le meilleur, c'est ici la représentation d'une trajectoire du Gavroche lorsqu'il se présente à l'écluse de Port-à-l'Anglais.

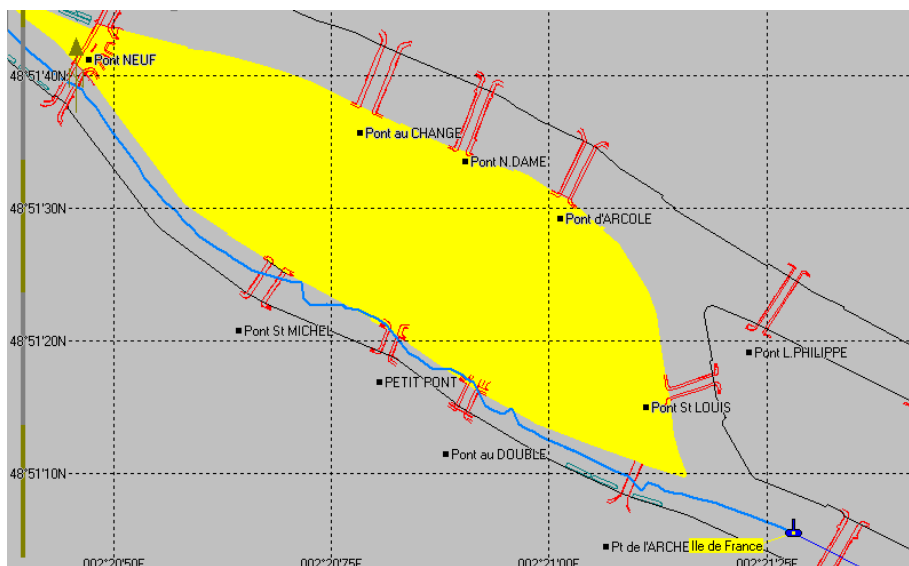


Figure n° 6

Le pire, c'est ici une représentation d'une trajectoire de l'Ile-de-France lors d'une navigation au sud de l'île de la Cité.

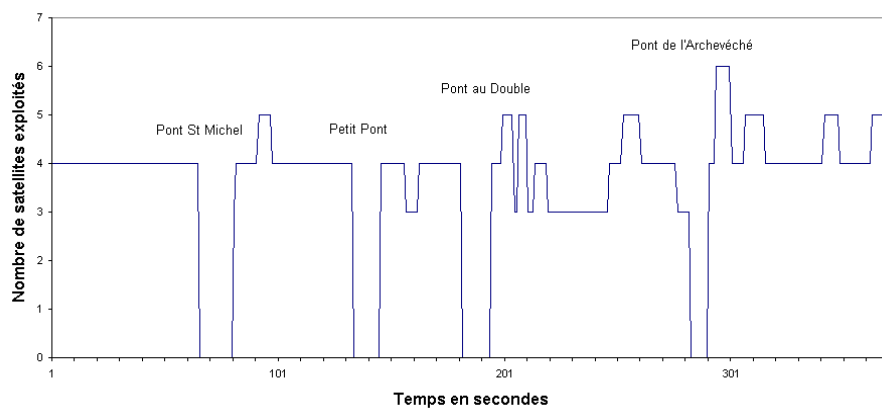


Figure n° 7

L'une des causes des anomalies de la trajectoire présentée par la figure n°6 est la variabilité du nombre de satellites exploités par le récepteur GPS.

## 4. CONCLUSIONS

### 4.1. L'apport de l'AIS pour les navigateurs

Un bateau équipé en AIS dispose d'informations sur la présence et les évolutions des autres bateaux équipés en AIS et présents dans sa zone de navigation. Les exploitants des bateaux apprécient particulièrement cette connaissance globale de leur environnement fluvial.

### 4.2. L'apport de l'AIS pour un centre d'information et de surveillance du trafic fluvial

Le système AIS permet à un éventuel futur centre d'information et de surveillance du trafic fluvial de communiquer avec les bateaux et lui offre une vision globale du trafic fluvial.

La précision des informations AIS visualisables est généralement suffisante pour donner une vision réaliste des positions et mouvements d'un bateau équipé en AIS. Cependant, la fiabilité n'est pas totale puisque dans des situations particulières, passage sous un pont ou environnement urbain défavorable, l'information de positionnement (DGPS) présentée peut être erronée.

## RÉFÉRENCES

- [1] Rapport d'étape sur le «Renforcement de la sécurité de la navigation sur le bief de la Seine à Paris» - IGPC Serge DUTRUY - novembre 2001.
- [2] Rapport DTELE/DRDE/2002-0323 «Expérimentations AIS sur le bief parisien» – CETMEF – décembre 2002.
- [3] Recommandation UIT-R M.1371 «Caractéristiques techniques d'un système d'identification automatique universel de bord pour navires, utilisant l'accès multiple par répartition dans le temps et fonctionnant dans la bande attribuée aux services mobiles maritimes en ondes métriques» – Union Internationale des Télécommunications – 1998.
- [4] Standard IEC 61993-2 «Class A shipborne installation of a universal shipborne automatic identification system (AIS) using VHF TDMA techniques» – Commission électrotechnique internationale – février 2001.
- [5] «IALA guidelines on universal shipborne automatic identification system» - Association Internationale de Signalisation Maritime - octobre 2001

# INFORMATION AND MANAGEMENT SYSTEM FOR INLAND NAVIGATION

## *Intervention du DR Reinhard PFLIEGL,*

via-donau, Entwicklungsgesellschaft m.b.H. für Telematik und Donauschifffahrt  
Donau-City-Strasse 1, A-1220 Vienna, Austria  
Tel: +43 1 5954896-20, Fax: +43 1 5954896-19  
E-Mail: pfliegl@via-donau.org, Homepage: www.via-donau.org

## 1. INTRODUCTION

The intensive use of inland waterways has been stated as a primary goal of transport politics in Europe (Commission White Paper on European Transport Policy ,European Transport Policy for 2010: time to decide', COM(2001)370). Regarding today's overloaded main transport corridors (TEN-T) as well as the expected tremendous traffic increase in scope of the enlargement of the European union, this goal is gaining importance.

Actual forecasts (PROGNOS 2000) predict a traffic growth of annually three to five percent, what represents a duplication of the actual traffic to 2015. Specific analyses for the East-West-Corridor predict an annual traffic growth of six to ten percent, driven by the economic increase of the central- and east-European countries and their integration into the European Union.

The share of road transport has been growing steadily over the last 20 years and has today reached a level of 80% which leads to a critically saturation and results in traffic jams and accidents. The damage for the economy has been by the European Union and is being numeralised with 300 billion Euro.

In awareness of such developments the European transport policy enforces their efforts on basis of traffic guidance, integration of traffic modes and shifting of traffic in order to achieve a well-balanced use of infrastructure and to stimulate a sustainable compliant development of traffic.

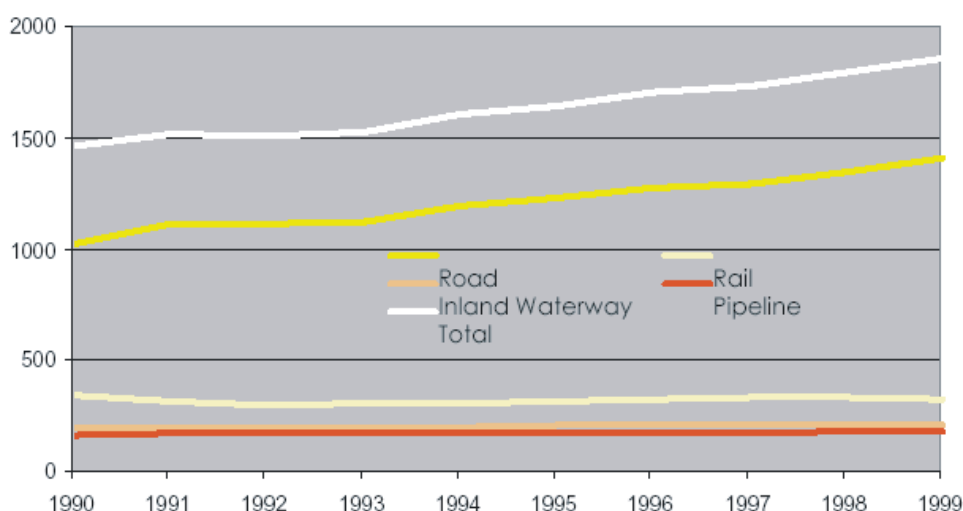


Fig 1: Share of traffic modes

## NOMENCLATURE

AIS	Automatic Identification System
ARA	Amsterdam, Rotterdam, Antwerp
BMVIT	Ministry for Traffic, Innovation and Technology
CEEC	Central Eastern European Countries
COMPRIS	Consortium Operational Management Platform for RIS
CPU	Central Processing Unit
dGPS	Differential Global Positioning System
DoRIS	Danube River Information Services
ECDIS	Electronic Chart Display and Information System
EGNOS	European Geostationary Navigation Overlay Service
ETA	Estimated Time of Arrival
FIS	Fairway Information Service
GIS	Geographic Information Services
GPS	Global Positioning System
IALA	International Association of Lighthouse Authorities
IMO	International Maritime Organisation
INDRIS	Inland Navigation Demonstrator for RIS
RIS	River Information Services
SOLAS	Safety Of Life At Sea
STI	Strategical Traffic Image
TEN	Trans European Network
TTI	Tactical Traffic Image
UTC	Universal Time Co-ordinated
VHF	Very High Frequency

## 2. INLAND WATERWAY TRAFFIC

The competitive access to high sea transport is a key element for all locations of the European industry, in order to succeed in global competition. Many European harbours (Rotterdam, Antwerp, Le Havre, Marseille, Bremen, Constanza etc.) are reachable via inland navigation.

Transportations of cargo on inland waterways are cost-efficient and environmentally friendly but are subject to variations of the water level, incalculable lockage times and suffer from interceptions for customs inspection or immigration procedures which can not be calculated reasonably. Those barriers cause a bad prediction of the Estimated Time of Arrival (ETA) and result in a low acceptance of inland navigation by the suppliers, especially for the transportation of containerised or high-quality goods.

The available capacity of Europe's inland waterways (on the Danube only one tenth of the available capacity is already used today) attest inland navigation a remarkable growth potential. The use of this free capacity by modal shift as well as by absorption of future traffic growth is a necessary factor in order to reduce the CO<sub>2</sub>-emission, the noise and all other external costs which are caused by road traffic.

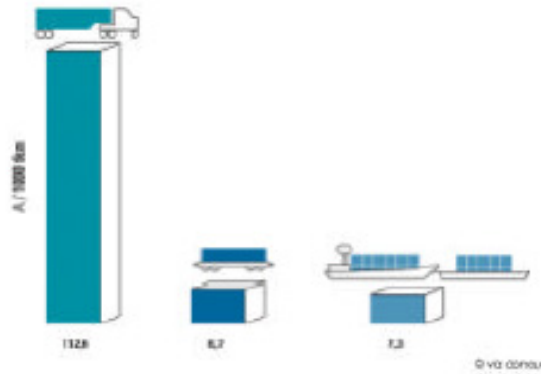


Fig 2: Comparison of the external costs for each transport mode

The weakness of the waterway Danube in its upper section (Budapest to Kehlheim) due to non-guaranteed water depth of 2,5 m, changing water levels and occurring blockade due to high water, has a negative effect on the reliability and planability of the transport. This negative effect can widely be compensated by means of modern information- and navigation systems, especially in situations of growing traffic volume.

Most recent developments on the sector of River Information Services (RIS) provide powerful online navigation- and traffic control systems, which improve the controllability and transparency and therefore enhance inland navigation beside the ecological by an economic component.

The use of modern telematics systems for supporting navigation (on board), for traffic surveillance and –control by the responsible shipping authority and as a information platform for the handling of logistic activities in inland waterway transportation, represents the most important European impulse to increase attractiveness and reliability of inland navigation.

With the project DoRIS (Donau River Information Services), the RIS concept is currently being implemented in Austria. Furthermore additional RIS-based services have to be developed to strengthen and renew inland navigation in its position in modern supply chains.

### 3. RIVER INFORMATION SERVICES (RIS)

River Information Services is defined as a concept for harmonized information services to support traffic- and transport management on inland waterways including the necessary interfaces to other transport modes. This model has been developed in several European research projects in the 3rd and 4th Framework programme for research and development of the European Union, especially in the project INDRIS /Inland Navigation Demonstrator for River Information Services, 1997-2000).

The technical basis for RIS is provided by a fast short distance radio data communication between ships and ships as well as ships and shore, for the autonomous exchange of ship related information like name, position, dimension and other transport related data. Based on this data exchange the visualisation of traffic information on an electronic nautical chart – the so called Tactical traffic Image (TTI) – is being enabled. This TTI supports the skipper in his nautical manoeuvres as well as the responsible authorities which are responsible for supervising of the traffic.

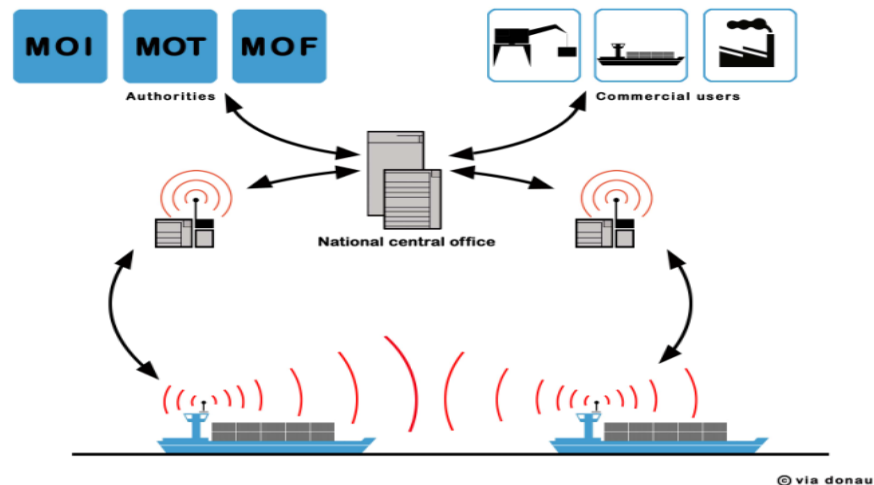


Fig 3: System concept for RIS

Regarding the results of previous R&D projects, the following benefits of RIS can be expected:

- Increase of safety of inland waterway transport
- Efficient traffic control in locks and bottlenecks
- Improved calamity abatement and -management
- Efficient monitoring of the transportation of dangerous goods
- Ecological use of waterways in nature protection areas (e.g. national park “Donau-Auen”)
- Time and fuel savings in commercial inland navigation
- Integration of an information system for commercial users like ship owners, suppliers, ports, tourism etc.
- Utilisation for the acceleration of the processes at customs and immigration procedures.
- Fast and efficient (language independent) information service for skippers

### 3.1 Key components of RIS

To support the mentioned goals, RIS has to provide the following information :

- Tactical Traffic Image (TTI)
- Strategic Traffic Image (STI)
- Fairway Information Service (FIS)

The Tactical Traffic Image is the illustration of the actual traffic situation of a certain sector on an electronic nautical chart. Basic technologies for the generation of a TTI are the Automatic Identification System (AIS), a global Positioning System (GPS) and the Electronic Nautical Chart Display and Information System (Inland-ECDIS). On shore the TTI offers a new method for traffic control and –guidance and on the vessels it supports the skipper as a navigational display.

The Strategic Traffic Image provides the user with forecasts of the short- and mid-term development of the traffic situation. It enables the authorities to improve their abilities in organising traffic in a better (safer and more efficient) way. Especially when facing situations of traffic at the capacity limits of the fairway, such services become very valuable. The strategic evaluation of traffic on an extended section leads to an increase of the possible traffic volume while decreasing the probability of accidents.

Electronic Fairway Information Service includes data provision like short- and mid-term forecasts of the water level, changes of the traffic situation because of maintenance activities on the waterway as well as other restrictions like accidents or one-way regulations, which are interactively being displayed on a geographic information system (Inland-ECDIS) on board of vessels and on shore.

### 3.1.1 ECDIS

ECDIS is an approved standard for GIS applications on the shipping sector. It has been adopted to the needs of inland navigation (Inland ECDIS), in order to fit the parameters which the European shipping authorities use for the generation of nautical charts. The digital waterway chart comprises all elements which are necessary for safe navigation (traffic signs, bridges, hectometre markings, fairway, shallow areas etc.). Furthermore it provides a modern user interface for easy handling and adoption to the needs of the beholder (zooming, changing level of detail, contrast and brightness adoption etc.).

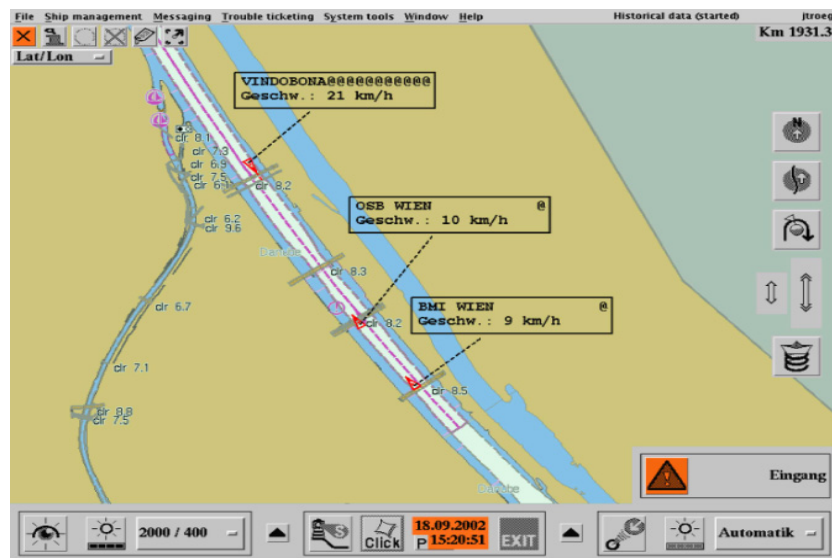


Fig 4: Digital nautical chart (Inland-ECDIS) showing a tactical traffic image

### 3.1.2 AIS

The standard for the Automatic Identification System (AIS) has been developed by the International Telecommunication Union (ITU), is recommended and supported by the International Association of Lighthouse Authorities (IALA) and became mandatory for high sea vessels over 300 GT by the SOLAS-Convention (Safety Of Life At Sea) of the International Maritime Organization (IMO). It is a ship borne radio data system exchanging static and dynamic ship data between equipped ships and between ship and shore stations.

AIS uses a Self-Organised Time Division Multiple Access (SOTDMA) protocol for the data exchange, without any need for an organising master station. The radio protocol is designed in a way that ship stations operate autonomously in a self organised manner. The radio link consist of two channels, which are both divided into logical time frames of one minute, is being subdivided into 2250 time slots per channel. The synchronisation of the different parties sharing the radio link is done via the Universal Time Co-ordinated (UTC) provided by the GPS.

Each participant organises its access to the radio channel by choosing free time slots, considering the future use of time slots by other stations.

### 3.1.3 AIS Transponder

The transponder as a key element for RIS, needs to be installed onboard ships as well as – in a slightly modified configuration – in base stations on shore.

A transponder unit comprises generally of three main functional elements :

- GPS module with the capability of differential-GPS correction
- the radio module for VHF communication
- a processing unit with interfaces to the external display unit / the base station controller, as well as to external ship sensors like gyro compass or speedometer.

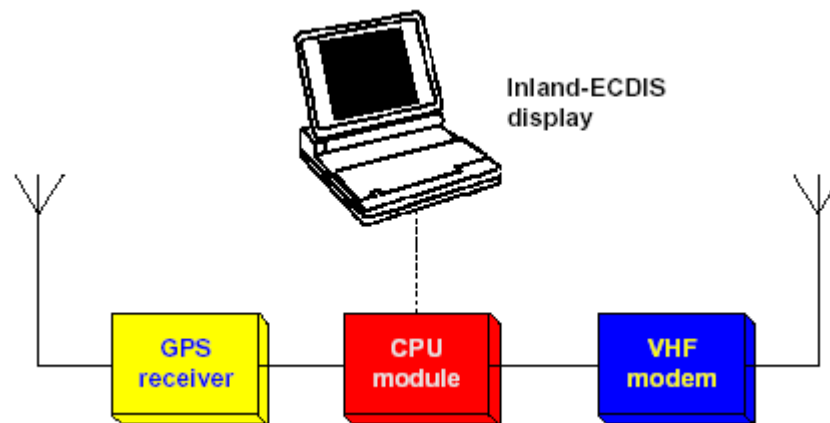


Fig. 5: Functional elements of the AIS transponder

For an exact determination of the actual position (better than 5 meters) satellite based positioning services like Navstar-GPS. Are being used. At the moment an integration of the European Geostationary Navigation Overlay Service (EGNOS) is being tested as augmentation system. The integration of the planned GALILEO system as a future communication and positioning technology is currently being taken into consideration.

At the moment the AIS system provides the possibility to generate dGPS data in the base stations and to broadcast it via the AIS link to all receiving ships. Beside all available augmentation system this 'inband-dGPS' represents a cheap and easy method to guarantee a certain quality of the positing information in the system.

The radio module is especially designed to fit the criteria of the AIS protocol. Together with the CPU module it is responsible of the correct communication by means of SOTDMA algorithm.

The processing unit comprises the processor itself, as well as necessary memory and the control of all internal and external interfaces. It is responsible for the fusion of positioning and sensor information in the AIS protocol and for the organisation of the autonomous radio communication.

Because of utilisation onboard of ships, the whole transponder unit has been specified for outdoor operation and has to stand a large temperature range (-30 °C to +70°C) and is protected against vibrations and electromagnetic radiation. Modern transponder devices are very much integrated so that they are not much bigger than a 5 centimetre thick, A4 book size object (including minimum keyboard and display).



*Fig. 6: Transponder unit*

#### 4. DONAU RIVER INFORMATION SERVICES (DORIS)

Based on the results of European research projects (VTMIS, INDRIS), the Austrian Ministry for Traffic, Innovation and technology (bmvit) opened an European-wide tender which has been allocated by an Austrian consortia (Frequentis/entrateg). Under the name Donau River Information Services (DoRIS), Austria implemented the first RIS infrastructure, which will be widened all over the country after a successful test phase.

DoRIS is an advanced system for traffic management and –control for all activities on the Austrian Danube section. It uses most recent components in the field of transponder (AIS, dGPS), the geographical visualisation (Inland ECDIS) and the data management and provides a real-time traffic image (TTI) on board of ships as well as on shore.

The system comprises the following main components :

- AIS transponder (on board and on shore)
- Tactical Traffic Image (on board and on shore)
- Inland ECDIS of the Danube
- Regional and national control centres
- Network management
- Interface management for the provision of information services (e.g. via internet)

For the purpose of autonomous ship identification and communication, intelligent AIS transponders are fix or temporarily mounted on the vessels. Furthermore they are equipped with personal computers and large flat screens which are used to display the tactical traffic image. The autonomous ship-to-ship communication enables the skipper to watch his own as well as the position of other vessels in the near surrounding (up to 30 kilometres, depending on the local conditions). The geographic information system therefore provides an userfriendly and comfortable interface.

The control centres (at the locks and one national centre) receive the totality of the traffic information and have access to a Tactical Traffic Image of the whole river segment which is covered by the AIS base stations. Furthermore they have the possibility to select certain sections for display or to centre on a specific ship. The system also provides the sending and receiving of safety related messages, according to the UN-ECE event code. On demand an implementation of a Strategic Traffic Image (STI) will be considered in future extension scenarios.

The communication network uses radio- and data connections of commercial providers. The network is continuously being monitored by a sophisticated management system, which provides a status of all important components and connections as well as it comprises also a maintenance- and inventory management, hotline service etc. All main elements are implemented in a redundant way in order to comply with the high requirements of the safety related information of the Tactical Traffic Image.

The following kinds of communication are supported by DoRIS :

- Ship-to-ship communication for the exchange of ship related and position information by means of AIS transponder
- Ship-to-shore communication for the exchange of ship related and position information by means of AIS transponder
- Ship-shore-ship communication by means of AIS transponders and AIS repeater stations in critical areas (e.g. Schlögen, Struden, Wachau)
- Shore-to-ship communication by means of AIS transponders for the transmission of emergency messages

The following figure gives an overview on the system concept which built the basis for the architecture of the test centre, tendered in March 2001.

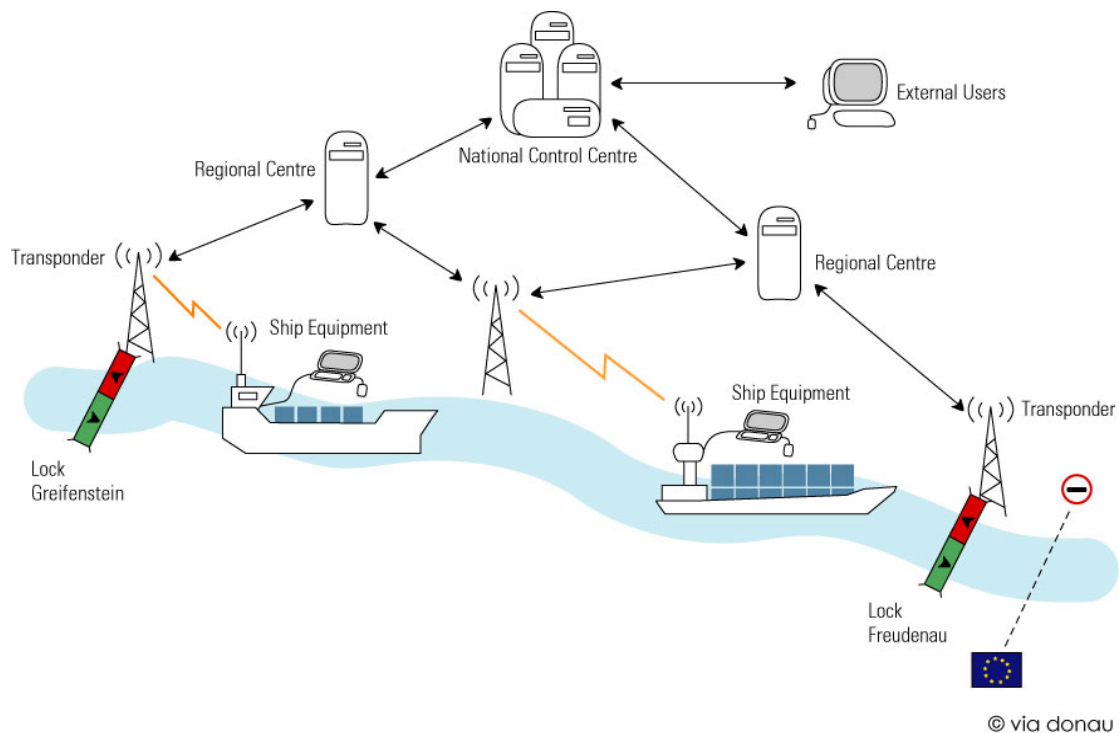


Fig. 7: System concept DoRIS

#### 4.1. Enlargement of DoRIS

Due to the early development phase for the main components of DoRIS (AIS transponders, Inland-ECDIS charts, data management) it has been decided to divide to implementation of RIS

in Austria into two steps. The first phase comprises the DoRIS test centre on the Danube section between the locks of Freudenuau and Greifenstein. This section with 33km length will act as a reference and as technology demonstrator for Austria. After a successful operational period of approx. 6 months, the infrastructure will be expanded to a larger test area of 300 kilometres. That phase will concentrate on the operational aspects of a regular mode with special emphasis laid on the reliability of the system as well as on the user acceptance by ministries, skippers and shippers.

The next figure illustrates the steps for the implementation of DoRIS on the Danube.

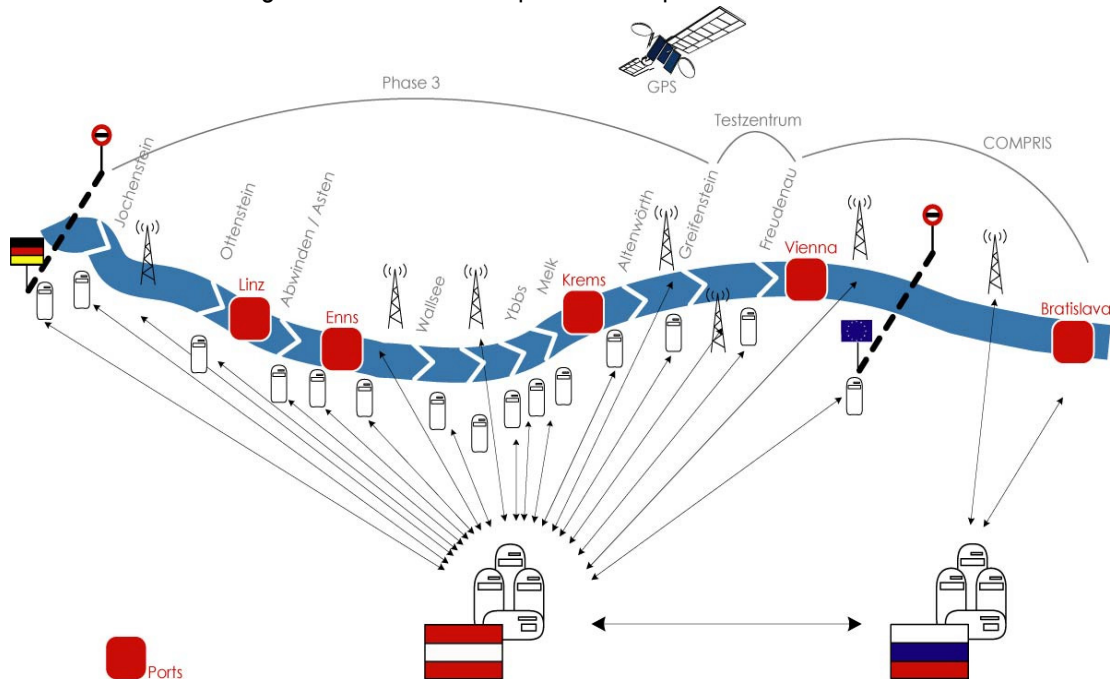


Fig. 8: Test centre and test section

The reference system as well as the test section will act as basis of comparison for the administrations and authorities of the Danube countries in order to support the implementation of RIS in those countries. All gained experiences will be made accessible for the European shipping authorities to stimulate the technical, administrative and legal adoptions in all over Europe.

Furthermore DoRIS will provide a basis for further developments like lock management, integration of on-line water levels, and others in order to decrease lockage times and to make waterway transportation more transparent and better planable.

## 5. INTERNATIONAL RIS NETWORK ON THE DANBUE

To support a co-ordinated extension of RIS in all countries on the Danube (Germany, Austria, Slovakia, Hungary, Croatia, Serbia, Romania, Bulgaria, Moldavia and Ukraine), a Europe-wide project has been initiated within the 5th framework programme for research and development. This project – COMPRIS – “Consortium for an Operational Management Platform for RIS”, is the most important initiative for research and development on the sector of inland navigation in Europe. COMPRIS started in September 2002 and includes all countries on the axis ARA – Black Sea. The duration is planned up to September 2005.



*Fig. 9: Geographical scope of COMPRIS*

Beside the ongoing technical advancement, this project also comprises the demonstration of cross-border RIS scenarios. This also includes the preparation of the necessary requirements for transboundary exchange of traffic information on technical, organisational and legal level.

The demonstration of cross-border RIS applications – especially with the east-European partners – is gaining importance when regarding the coming enlargement of the European Union. COMPRIS and the demonstration scenarios will set the stage for a successful and coordinated introduction of River Information Services along the Danube – fully in accordance with the declaration of the European traffic ministers from September 2001, to implement RIS on all important waterways in Europe.

## 6. SUMMARY

In order to attract inland navigation for transportation of cargo in Europe, it is necessary to make the transport processes more reliable, flexible and better planable. The Europe-wide implementation of River Information Services is an important requirement to make inland navigation economically more competitive. Because of the compatibility of the standards used for RIS and the high-seas technologies, a better merging of those two transport modes in the future is eased and can release part of the traffic from road transportation. Actual forecasts expect a triplication of the transport volume on the Danube until 2015 under the assumption that RIS will be implemented for traffic control on the Danube. By the DoRIS initiative of the Federal Ministry for Transport (bmvit), Austria gained a head start on the topic of RIS and opens potential markets (USA; China, Southeast Asia) for local industries.

With DoRIS, the Austrian traffic policy expects a noticeable impulse for the stimulation of a modal shift towards inland navigation.