

INSTITUT FRANÇAIS DE NAVIGATION

**LES SYSTÈMES DIFFÉRENTIELS
ASSOCIÉS AUX SYSTÈMES SATELLITAIRES
FOURNISSANT L'INFORMATION
DE POSITION ET DE TEMPS**

RAPPORT DE FIN D'ÉTUDES

OCTOBRE 2000



Lettre de commande n° 98 MT 117 du 3 décembre 1998

MINISTÈRE DE L'ÉQUIPEMENT, DES TRANSPORTS ET DU LOGEMENT

DIRECTION DE LA RECHERCHE ET DES AFFAIRES SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES

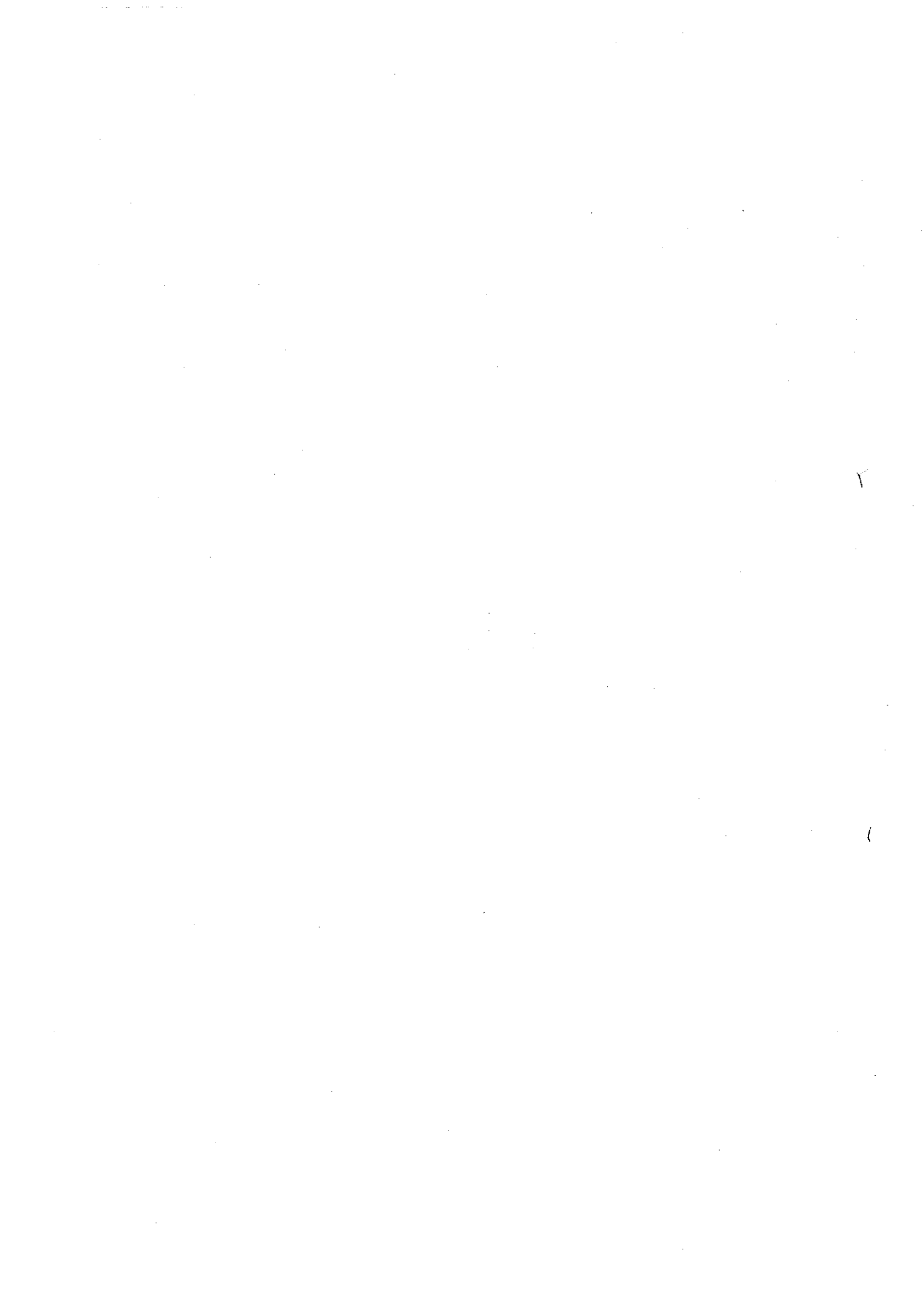


TABLE DES MATIERES

Introduction	1
I^{ère} partie - Définitions	3
1.1 - Historique.....	3
1.2 - Extension des définitions	4
II^{ème} partie - Les besoins des usagers et les études des marchés correspondants	6
2.1 - Généralités	6
2.2 - Méthode.....	7
2.2.1 - Sur la formulation des exigences opérationnelles	7
2.2.2 - Sur l'évolution du marché	7
2.3 - Résultats.....	8
2.3.1 - Le marché européen des services de radiopositionnement	9
2.3.1.1 - L'évolution générale.....	9
2.3.1.2 - La répartition par nature d'activités.....	9
2.3.2 - Les départements ministériels français intéressés	10
2.4 - Conclusion	11
III^{ème} partie - Les systèmes différentiels existant en France et à l'étranger	12
3.1 - Introduction.....	12
3.2 - Systèmes différentiels - Principes.....	12
3.2.1 - Rappels sur les systèmes satellitaires de base (GPS) et du principe des systèmes différentiels	13
3.2.1.1 - Systèmes satellitaires de base. La détermination de position et de temps.....	13
3.2.1.2 - Précision du système GPS	13
3.2.1.3 - Sources d'erreur	13
3.2.1.4 - Principes du système différentiel GPS (DGPS).....	14
3.2.2 - Configuration élémentaire	14
3.2.2.1 - La détermination des corrections à la station de référence	15
3.2.2.2 - Les caractéristiques des émissions : fréquence et format	16
3.2.3 - Les réseaux des stations DGPS.....	18
3.3 - Les systèmes différentiels français.....	19
3.3.1 - Le système DGPS français destiné à la navigation maritime	19
3.3.2 - Le service DGPS de l'Institut Géographique National	21
3.4 - Les systèmes différentiels à l'étranger.....	23
3.4.1 - Généralités.....	23
3.4.2 - Systèmes utilisant le format RTCM 104 et les fréquences de la bande 285-325 kHz.....	23
3.4.3 - Systèmes utilisant des formats et des fréquences autre que RTCM 104 et couvrant des zones de dimension inférieures à 500 km.....	25
3.4.4 - Systèmes différentiels destinés à des usagers répartis sur de larges zones	26
3.5 - Le système EUROFIX.....	27
3.5.1 - Généralités.....	27
3.5.2 - Le système LORAN "C" : Historique - Situation actuelle - Aspects politiques ...	27

6.1.4 - Conclusions de l'analyse du développement des systèmes différentiels selon les divers scénarios.....	57
A - Conclusions communes applicables à tous les scénarios :	57
B - Conclusions communes aux scénarios I et III :	58
C - Conclusions communes aux scénarios II et IV	58
D - Conclusion applicable au seul scénario III.....	58
E - Conclusion applicable au seul scénario IV	58
6.1.5 - Le rôle de l'Etat en tant qu'opérateur et la gratuité du service rendu	58
6.2 - Recommandations	58
6.2.1 - Au niveau international.....	59
6.2.2 - Au niveau national.....	61
6.2.2.1 - L'organisation de l'acquisition de l'information pertinente et de la coordination des activités des services compétents.....	61
6.2.2.2 - Les actions sur le terrain.....	61
6.2.2.3 - Les conditions de gestion des systèmes français actuellement gérés par l'Etat et dont le maintien en service n'est pas mis en cause	62
6.2.2.4 - La préparation et la mise à jour d'un "plan français de radionavigation"	62
Conclusion générale.....	64
Bibliographie	65

Annexes

- 1 Définitions adoptées par l'OACI des paramètres caractérisant la qualité du service d'information de position et de temps
- 2 Tableaux donnant à titre d'exemple les valeurs requises des dits paramètres pour chaque type d'activité
- 3 Tableaux extraits de la proposition de révision de la résolution de l'OMI A.860(20) soumise au Comité de Sécurité Maritime en vue d'adoption par l'Assemblée Générale de l'OMI de 2001
- 4 Courbe extraite de la Communication de la Commission (1999) 54 final, réf. [X]
- 5 Courbes d'évolution du marché européen des services de radiopositionnement extraite de la présentation de l'étude GALA , réf. [IX]
- 6 Stations DGPS du réseau RGP (carte extraite) de l'étude de l'IGN, réf. [XIV]
- 7 Carte des positions des stations GPS différentiel et leur portée
- 8 Accord NELS - Configuration de la chaîne LORAN "C"
- 9 Architecture d'ensemble du système EGNOS
- 10 Liste d'acronymes

Les systèmes différentiels associés aux systèmes satellitaires fournissant l'information de position et de temps

Rapport de fin d'études

Introduction

Une lettre de commande réf. [I] n° 98 MT 117 du 3 décembre 1998 de la Direction de la Recherche et des Affaires Scientifiques et Techniques (DRAST) a confié à l'Institut Français de Navigation une étude sur la pertinence de l'implication de l'Etat dans le déploiement d'un réseau de stations d'émissions de corrections de l'information de position et de temps fournis par les systèmes satellitaires dits de base tels que le GPS¹.

Le présent rapport est le rapport final de l'étude. Son objectif est de présenter les résultats de nos propres investigations et de nos échanges de vue avec la DRAST ainsi qu'avec les instances responsables des autres services compétents du Ministère de l'Equipement, des Transports et du Logement.

Le rapport est organisé en six parties qui suivent l'ordre du programme annexé à la lettre de commande de référence [I].

La première partie de ce rapport est réservée à l'introduction des définitions jugées pertinentes pour la bonne compréhension de l'exposé. Elle explique les raisons générales pour lesquelles se sont développés les systèmes différentiels.

La seconde partie traite de façon plus détaillée les besoins auxquels visent à satisfaire les systèmes satellitaires et les systèmes différentiels associés. Elle relate les résultats des études approfondies des marchés potentiels auxquels les systèmes de l'un et l'autre types ont donné lieu.

La troisième partie est l'inventaire des systèmes différentiels existant en France et à l'étranger. C'est dans cette partie que l'on trouve les informations dont le programme de référence [I] fait mention sur les systèmes EGNOS et EUROFIX, et plus généralement les indications relatives aux aspects techniques des divers types de systèmes différentiels existants ou projetés dans un proche avenir.

La quatrième partie vise à préciser les relations entre la puissance publique et les parties intéressées qu'il s'agisse des usagers finaux des systèmes différentiels ou des fournisseurs de service d'information correspondants. Ces relations présentent à côté d'aspects institutionnels, des aspects réglementaires, économiques et tarifaires.

La cinquième partie se concentre sur l'avenir à proche et moyen terme des systèmes différentiels. Etant donné les incertitudes pesant notamment sur les choix politiques dont doivent faire l'objet les systèmes satellitaires ainsi que sur la réponse des usagers aux

¹ GPS : Global Positioning System.

services qui leur sont offerts, cette cinquième partie se base sur des jeux d'hypothèses conduisant à examiner plusieurs scénarios.

Enfin la sixième partie expose les conclusions et recommandations tirées de l'exercice. Nous espérons qu'elles fourniront à la DRAST des éléments permettant d'étayer les décisions à venir.

Avant de terminer cette introduction, il nous paraît bon de mentionner que nous n'avons conservé dans le corps même du rapport que l'exposé et la justification des principes qui nous ont guidé dans nos démarches.

Le rapport se trouve donc accompagné d'un ensemble de 9 annexes où le lecteur pourra trouver les détails qu'il pourrait souhaiter. Parmi celles-ci figure une bibliographie dressant la liste des articles publiés dans la littérature spécialisée ainsi que des documents d'étude auxquels nous ont donné accès les personnalités avec qui nous sommes entrés en relation².

² Rappelons brièvement ici qu'en vue de la préparation de ces scénarios l'IFN avait remis à la DRAST :

i) un rapport intérimaire réf. [III] :

- traitant des aspects techniques, institutionnels, économiques et tarifaires des systèmes différentiels,
- énonçant une liste d'hypothèses de base sur lesquelles fonder les scénarios des développements ultérieurs des systèmes différentiels,

ii) une note complémentaire réf. [IV] :

- fournissant des informations complémentaires sur les infrastructures différentielles en France ainsi que dans d'autres pays,
- complétant les corps d'hypothèses de définition des scénarios.

1^{ère} partie - Définitions

1.1 - Historique

Le concept de système différentiel date de l'époque (milieu des années 1960) où ont été mis en place (principalement pour des besoins militaires) des systèmes fournissant une information de position (OMEGA et LORAN "C") utilisables par des mobiles (navires ou avions) sur des zones très étendues.

A l'époque, le seul moyen connu de permettre à un mobile de connaître sa position consistait à lui adresser par voie radioélectrique un message approprié à partir d'au moins deux stations situées à terre.

Pour couvrir de larges portions du globe, les émissions devaient utiliser des fréquences inférieures ou égales à 150 kHz.

Le système Omega³ à couverture mondiale installé par les Etats-Unis principalement pour les besoins de la navigation des sous-marins, a été le premier système couvrant la totalité de la surface terrestre.

Il utilisait les fréquences les plus basses du spectre (10-14 kHz).

L'inconvénient principal de ces types de système était le manque de précision de l'information de position. L'erreur sur la position du mobile était de l'ordre de 3 milles nautiques, suffisante pour les besoins de la navigation générale en haute mer⁴, mais insuffisante pour la navigation dans les eaux côtières ou resserrées, ainsi que pour d'autres applications telles que la pêche ou l'exploration pétrolière.

Le besoin d'améliorer la **précision** du système Omega a été à l'origine du développement d'un système Omega différentiel dont le principe consistait :

- à mesurer en une station de position connue, la position de cette station au moyen d'un récepteur Omega,
- à comparer la position calculée par le récepteur Omega et la position connue telle qu'elle résultait par exemple de levés géodésiques,
- à transmettre au moyen d'un émetteur placé à la station considérée le résultat des calculs de la différence entre position mesurée et position connue.

Un mobile équipé d'un récepteur Omega et recevant les émissions de la station pouvait à son tour corriger l'information de son propre récepteur de la dite différence. Il obtenait ainsi une valeur corrigée de sa propre position.

Des campagnes de mesures répétées (aussi bien en différents lieux qu'à différentes époques) ont prouvé que le procédé permettait d'améliorer de façon très significative la précision de la position du mobile dans une zone de dimension suffisante centrée sur la station d'émission des corrections. Des valeurs typiques de 100 m pour l'erreur de position

³ Ainsi nommé parce qu'il apparaissait comme une solution finale du problème de la radiolocalisation en tout point du globe.

⁴ Acceptable également par la navigation aérienne en route.

et de 200 milles pour le rayon de la zone de validité des corrections ont été à l'origine du système dénommé Omega différentiel associé au système Omega.

De nombreuses stations Omega différentiel ont été construites dans le monde et mises en service notamment dans le début des années 1970. En France un réseau de 4 stations a fonctionné jusqu'au début des années 1990.

Des systèmes différentiels mettant en jeu les mêmes principes ont été réalisés pour améliorer localement le système de radionavigation LORAN "C". Un système LORAN "C" différentiel a en particulier été réalisé pour faciliter la navigation maritime dans le canal de Suez.

En résumé, à l'origine, les systèmes différentiels sont apparus comme des moyens d'améliorer la **précision** de l'information que peuvent fournir des systèmes à couverture étendue et utilisés à des fins de **navigation** (maritime ou aérienne). Tous ces systèmes fournissaient donc l'information corrigée de position en temps réel.

Depuis, l'habitude s'est prise de continuer de désigner fréquemment sous le terme de systèmes différentiels (de précision données), les systèmes dont l'objectif essentiel est d'améliorer la précision, et la précision seulement, des systèmes satellitaires.

Notons ici que les marins et les aviateurs a qui l'information de position rend des services inestimables dans le domaine de la navigation et plus généralement toutes les entités qui utilisent cette même information pour contrôler et commander leur mouvement ont besoin qu'elle soit disponible et exploitable en temps réel. Par souci de simplification nous omettrons de faire mention des mots "temps réel" toutes les fois que le contexte le permettra. Les mots "temps différé" seront utilisés dans le cas où la durée des traitements affectant les signaux aura une incidence significative sur l'instant où les informations attendues de l'utilisateur sont effectivement mises à sa disposition.

1.2 - Extension des définitions

En fait dès avant le développement des systèmes satellitaires, les instances internationales compétentes (OACI⁵ pour l'aviation civile, OMI⁶ et AISM⁷ pour la marine marchande) se sont préoccupées de donner des définitions harmonisées de la **qualité** des informations fournies par les systèmes d'aides à la navigation maritime et aérienne.

Ce travail difficile s'est étalé sur une longue période. Bien que les définitions des paramètres qui caractérisent la qualité du service d'information de position et de temps fourni par ces systèmes ne soient pas absolument identiques, l'OACI et l'OMI s'accordent aujourd'hui pour admettre que la qualité d'un système d'aide à la navigation est caractérisée par l'ensemble des six paramètres suivants :

couverture	(coverage)
précision	(accuracy)
fiabilité	(reliability)
disponibilité	(availability)
intégrité	(integrity)
continuité de service	(continuity of service)

⁵ Organisation de l'Aviation Civile Internationale.

⁶ Organisation Maritime Internationale.

⁷ Association Internationale de Signalisation Maritime.

Les définitions de ces paramètres (telles qu'adoptées par l'OACI) sont données dans l'annexe 1 du présent rapport.

Les travaux de l'OACI et de l'OMI ont tout d'abord conduit à exprimer les exigences opérationnelles de systèmes répondant aux besoins des différentes phases de navigation tant aérienne que maritime, en termes de plages de valeurs de ces paramètres.

Ils ont plus généralement guidé les recherches d'identification des besoins d'utilisateurs potentiels de l'information de position et de temps.

La constatation d'ailleurs évidente que les systèmes satellitaires de base existants (GPS, GLONASS⁸) ou projetés ne peuvent pas couvrir la totalité des besoins a conduit à étudier la possibilité de réaliser des systèmes complémentaires qui, pour une ou des applications déterminées, amélioreraient en l'amenant au niveau souhaité, la qualité du service rendu.

Certains de ces nouveaux systèmes peuvent légitimement être dénommés **différentiels** lorsqu'il s'agit de systèmes fondés sur l'amélioration de la qualité du système de base grâce à la comparaison des informations de position et de temps fournies par le système de base en un ou plusieurs lieux déterminés.

Certains autres ne sont pas du tout ou ne sont que partiellement fondés sur de telles comparaisons. Par exemple l'amélioration de la fiabilité, de la disponibilité et de la continuité de service ne peut pas être obtenue par la seule analyse du signal fourni par le système de base. Qualifier de systèmes différentiels les systèmes fondés sur d'autres moyens que cette analyse est manifestement un abus de langage.

Conformément au programme de l'étude nous nous en tiendrons, en principe, aux systèmes proprement appelés systèmes différentiels.

Dans ce cadre sera examiné le projet de système EUROFIX dont l'originalité réside dans l'utilisation d'une infrastructure de station terrestre existante (infrastructure LORAN "C") à laquelle peuvent se coupler des sous-systèmes de calcul et de transmission de corrections.

Nous traiterons cependant aussi de la situation du système EGNOS bien que ce système très complexe comporte des sous-systèmes que l'on ne peut qualifier de différentiels. L'analyse d'EGNOS se trouve en fait justifiée par une autre raison : EGNOS est en effet un candidat possible au remplacement de tout ou partie de l'infrastructure de systèmes différentiels.

⁸ Global Orbitography Navigation Satellite System.

II^{ème} partie - Les besoins des usagers et les études des marchés correspondants

2.1 - Généralités

Dès avant la mise en service effective du système GPS l'on a reconnu que l'universalité du nouveau système et ses performances constitueraient une avancée sans précédent dans l'histoire des systèmes fournissant l'information de position et de temps.

De très nombreux travaux ont été entrepris avec l'objectif général de rassembler des éléments permettant de prédire l'évolution future des systèmes de base et des systèmes différentiels associés.

Le présent rapport se référera essentiellement aux travaux suivants, classés :

- en études de portée nationale :
 - étude technico-économique - Réseau DGPS produite à la demande de la DRAST par FDC (voir rapport final du 23.06.99, réf. [V])
 - rapport final de l'étude de développement des systèmes satellitaires européens satisfaisant aux besoins des usagers civils produit à la demande à la DRAST par notre Institut, réf. [II].
- en études menées sous l'égide de la Commission de l'Union Européenne au titre de divers programmes récents de recherche :
 - Programme APAS (1994-1995) : Space system for navigation, 1996. ISBN 92 - 827 - 8254 - 9, réf. [VI]
 - 4^{ème} Programme pour la recherche et le développement. Proposed Baseline for a European Radionavigation Plan, 1996, réf. [VII]
 - GNSS Strategic Study. Phase A. IFN contribution to subtasks A.41, A.42 - Users' requirements, réf. [VIII]
 - Programme Galileo. Projet GALA (Galileo Architecture). Compte rendu de la présentation du projet à la Commission (mai 2000), réf. [IX].

Toutes les recherches citées comportent des études de marché visant à préciser :

- la demande en services d'information de position et de temps,
- l'offre correspondante des services fournis par les systèmes satellitaires et les systèmes différentiels associés.

2.2 - Méthode

Les études du marché potentiel des systèmes satellitaires se sont toutes efforcées :

- i) dans une première phase de définition des exigences opérationnelles, d'identifier les activités rendues possibles ou simplement susceptibles d'être facilitées grâce à la connaissance de l'information⁹ de position et de temps, et donc d'identifier les services de position et de temps nécessaires à l'exercice de ces activités,
- ii) puis d'évaluer le marché de ces services sous la forme d'indicateurs convenables. Deux types d'indicateurs sont le plus souvent considérés :
 - les populations des usagers qui, exerçant une activité déterminée, sont disposés à payer le coût des services attendus,
 - les chiffres d'affaires engendrés par la fourniture de ces services.

2.2.1 - Sur la formulation des exigences opérationnelles

La méthode aujourd'hui communément suivie d'identification des exigences opérationnelles consiste à caractériser pour chaque type d'activité le service attendu par les valeurs des paramètres de qualité définis plus haut.

Les analyses se présentent dès lors sous la forme de tableaux exhibant pour chaque type d'activités les valeurs requises des dits paramètres. Des exemples de tels tableaux se trouvent dans les études de référence [VII] (European Radionavigation Plan), [V] (FDC) et [II] (IFN, 1998).

Les tableaux de l'annexe 2 construits selon ce principe synthétisent et mettent à jour ceux de notre étude de 1998. Ce sont ces tableaux qui ont été pris pour base des réflexions qui suivent.

On trouvera en annexe 3 les propositions soumises très récemment à l'OMI (juin 2000) sous la forme également de tableaux en vue de spécifier les services de radiopositionnement répondant aux besoins de la navigation maritime. On notera sur cet exemple le caractère maintenant systématique de la formulation en termes quantitatifs des exigences de qualité des services requis par des applications déterminées.

2.2.2 - Sur l'évolution du marché

Beaucoup d'incertitudes affectent nécessairement les évaluations exprimées en termes d'indicateurs numériques du marché potentiel des services de position et de temps fournies par les systèmes satellitaires et leurs dérivés.

On ne dispose en effet de données complètes :

- ni sur les motifs qui décideront les diverses populations d'usagers à recourir aux services de position et de temps,
- ni parfois même sur le nombre d'individus constituant ces populations.

Sur le premier point, il est clair que le coût des services de radiopositionnement constitue un élément fondamental du choix des usagers. Or ces coûts dépendent d'une part des solutions qui seront apportées aux problèmes de tarification évoqués plus loin et d'autre part de l'évolution des technologies.

⁹ L'information est en général le résultat d'une mesure brute suivie ou accompagnée d'un traitement.

Sur le second point s'il est, par exemple, vrai que les populations telles que celles des compagnies de navigation aérienne ou des armateurs au commerce international candidats à l'usage de service de radionavigation sont bien connues, il est déjà beaucoup plus difficile de dénombrer les usagers potentiels de l'aviation générale, de la pêche ou de la plaisance.

A fortiori, en est-on réduit aux hypothèses lorsque il s'agit d'applications dont il n'existe pour le moment que des réalisations partielles ne mettant pas en jeu des séries importantes voire des projets dont la faisabilité n'est pas pleinement démontrée.

Diverses approches ont été suivies pour surmonter ces difficultés.

i) Un procédé naturel consiste à procéder par échantillonnage, soit par voies de questionnaires ou d'interviews. L'étude FDC réf. [V] a comporté l'analyse des réponses à un questionnaire détaillé. Lors de l'étude IFN réf. [II] nous avons organisé sur la base d'un guide d'entretien des interviews auprès de groupements professionnels représentant notamment les activités de professions variées dans le domaine du transport routier.

ii) L'étude GALA dans la forme où elle a été présentée le 23 mai 2000 à l'European Maritime Radionavigation Forum (EMRF) a introduit l'idée - intéressante - d'une représentation du marché en quatre catégories de services (supposées a priori susceptibles d'intéresser les divers types d'activités identifiés comme indiqué plus haut).

Ces quatre catégories de services seraient les suivantes :

- | | |
|---|---|
| - Service de position, vitesse et temps | <i>Position Velocity and Time Service (PVT)</i> |
| - Service de précision et d'intégrité | <i>Accuracy and Integrity Service (AI)</i> |
| - Service de Haute Intégrité | <i>High Integrity Service (HI)</i> |
| - Service temps, distance | <i>Ranging and Time Service (RT)</i> |

iii) Rappelons enfin pour mémoire qu'une première approche théorique des choix des usagers des services de radiopositionnement a été proposée dans notre étude réf. [II]. Malgré les simplifications apportées à un modèle que l'on souhaitait pouvoir analyser mathématiquement, l'approche apporte une contribution à l'évaluation des marchés de deux systèmes de radionavigation concurrents.

2.3 - Résultats

Des études citées ci-dessus et de la revue que nous avons faite de la littérature, deux types de résultats se dégagent, à garder présents à l'esprit pour la suite de ce rapport.

Les premiers concernent l'évolution du marché européen des services de radiopositionnement.

Les seconds ont trait aux domaines de compétence de l'Etat qui sont maintenant affectés par les problèmes que pose la mise en œuvre de ces services.

2.3.1 - Le marché européen des services de radiopositionnement

2.3.1.1 - L'évolution générale

Le lecteur trouvera en annexe 4 la courbe publiée dans la Communication de l'Union Européenne du 10 février 1999, réf. [X], représentant l'évolution du marché européen de la navigation¹⁰ par satellite de 1994 à 2004.

La courbe montre l'accroissement d'un facteur d'environ 10 du marché entre les années 1994 et 2004 (de 105 millions de dollars à 950 millions de dollars).

Dans l'annexe 5 on trouvera les prévisions du consortium chargé de l'étude GALA qui concernent le moyen et le long termes (2005 - 2020). Les courbes représentent l'évolution des marchés de chacun des types de service mentionnés ci-dessus exprimée en nombre d'utilisateurs potentiels.

Extraites de ces courbes, les estimations produites pour l'année 2010 sont les suivantes (toutes applications confondues) :

		Nb d'utilisateurs ¹¹
- <i>Position Velocity and Time Service</i>	<i>PVT</i>	500.000.000
- <i>Accuracy and Integrity Service</i>	<i>AI</i>	175.000.000
- <i>High Integrity</i>	<i>HI</i>	320.000
- <i>Ranging and Timing Service</i>	<i>RT</i>	<u>60.000</u>
		675.380.000

GALA évalue le marché à l'horizon 2010 aux environs de 20 milliards d'Euros. Cette estimation est supposée comprendre : le produit des ventes d'équipement augmenté des droits d'usage des services mentionnés ci-dessus.

La comparaison des évaluations de GALA et de la Commission, corroborées par les estimations que l'on peut tirer de l'étude IFN de 1998 portent à croire que les évaluations de la Commission à l'horizon 2004 sont plutôt modestes.

2.3.1.2 - La répartition par nature d'activités

La courbe de la Commission précise les conditions dans lesquelles se répartira en 2004 le marché des applications des systèmes de radiopositionnement. On notera la très forte progression des applications de navigation automobile qui devraient d'après la Commission représenter environ 50% du montant global (2004). L'étude IFN de 98 réf. [I] annonçait une proportion du même ordre de grandeur (dans une fourchette comprise entre 50% et 66%).

Les documents fournis par GALA corroborent ces estimations. Enfin nous avons pu relever dans le rapport de référence [V] que selon FDC, qui cite le dossier Galileo du Centre National d'Etudes Spatiales (CNES), le secteur routier représentait d'ici 2005 - 2008, 84% de ses parts de marché des équipements et des services, 9% étant la part du non transport et des loisirs, 5% celle de l'aéronautique, 1% celle respectivement du maritime et du ferroviaire.

¹⁰ Le mot navigation employé par la Commission est à interpréter dans son sens large. Les activités citées ne sont pas seulement de navigation.

¹¹ RACAL définit le nombre d'utilisateurs comme étant le nombre de terminaux récepteurs équipés des circuits intégrés appropriés.

2.3.2 - Les départements ministériels français intéressés

Les paragraphes précédents ne peuvent avoir la prétention de dresser une liste exhaustive des multiples applications pouvant bénéficier des systèmes de radiopositionnement.

La littérature spécialisée se fait régulièrement l'écho de nouvelles applications auxquelles l'on n'avait jusqu'à présent pas encore songé.

La liste ci-dessous des principaux départements ministériels français susceptibles d'avoir à intervenir dans la définition de la mise en œuvre et l'exploitation des systèmes satellitaires et de systèmes différentiels associés serait donc à remanier le cas échéant si nos énumérations des activités et applications concernées devaient être complétées. Mais on ne sera pas surpris que cette liste comprenne d'ores et déjà un nombre élevé de départements tant sont diverses les applications déjà identifiées.

Le Ministère des Transports, de l'Équipement et du Logement est directement intéressé par les applications relatives :

- aux Transports (aérien, maritime, fluvial et terrestre) parmi lesquelles les applications destinées à la Navigation,
- à la construction et à l'exploitation des infrastructures de transport (routes, voies ferrées, ports, voies navigables et ouvrages de génie civil correspondants),
- à la connaissance et à l'identification du milieu (géodésie, cartographie, systèmes d'informations géographiques, connaissance des fonds marins, météorologie, etc...).

La Direction Générale de l'Aviation Civile et la Direction de l'Administration Générale et des Gens de Mer sont chargés respectivement de la conception, de la mise en place et de la gestion des aides à la navigation aéronautique ou maritime. La Direction du Personnel par l'intermédiaire de l'Institut Géographique National est en outre chargée de l'élaboration, de l'édition et de la diffusion de l'information géographique.

Le Ministère chargé de la Recherche est concerné par tous les programmes de recherches et d'études auxquels sont subordonnés les développements mentionnés plus haut.

Le Ministère chargé de l'Agriculture intervient en tant que chargé des intérêts des exploitants des ressources marines (pêche, ostréiculture, mytiliculture) et ayant compétence dans les domaines de l'agriculture de précision (optimisation de l'exploitation des sols, ensemencement, enrichissement, traitement).

Le Ministère chargé de l'Industrie a compétence vis à vis de la gestion des ressources fossiles : mines, forages, exploitations pétrolières.

Le Ministère chargé de l'Environnement a compétence quant aux problèmes de l'eau, la mesure des paramètres caractérisant la qualité de l'air, la gestion des espèces.

Le Ministère de l'Intérieur a compétence vis à vis des applications qui peuvent faciliter la répression du banditisme et des fraudes et le contrôle de l'immigration.

Enfin, une grande majorité de tous les projets de nouveaux services de position et de temps ont des implications :

- financières regardant le Ministère des Finances,
- juridiques regardant le Ministère de la Justice,
- internationales et européennes regardant le Ministère des Affaires Étrangères et le Ministère des Affaires Européennes.

2.4 - Conclusion

Les rappels et compléments de cette seconde partie de ce rapport nous paraissent démontrer que l'explosion des applications des systèmes de radiopositionnement par satellites et des systèmes dérivés est à considérer comme un fait acquis qui n'est plus à démontrer.

Les développements qui suivent considèrent ce fait comme donné. Il crée une situation qui conduit nécessairement l'Etat à s'interroger sur le rôle qu'il doit y jouer.

III^{ème} partie - Les systèmes différentiels existant en France et à l'étranger

3.1 - Introduction

La troisième partie de ce rapport est divisée en trois paragraphes respectivement consacrés :

- à un exposé des principes des technologies mises en œuvre,
- à la description des systèmes différentiels français,
- à celle des systèmes étrangers qui nous paraissent les plus dignes d'intérêt.

C'est dans ce troisième paragraphe, que l'on trouvera des explications, d'une part sur le système EGNOS dont une configuration complète devra être nécessairement soumise à des tests d'évaluation, et d'autre part sur le système EUROFIX. Ce dernier système s'appuie sur une infrastructure de radionavigation existante, le système LORAN "C", et a déjà donné lieu à des tests approfondis en laboratoire et in situ. On s'attend à ce que des essais opérationnels soient très prochainement entrepris.

3.2 - Systèmes différentiels - Principes

Pour des raisons évidentes, tous les systèmes qui sont examinés dans ce paragraphe visent à améliorer les performances du système GPS. Les indications qui suivent peuvent cependant être considérées comme valables - sauf sur des aspects de détail - pour tout système satellitaire fournissant comme GPS un service satellitaire mondial de position et de temps.

Après de brefs rappels sur les caractéristiques de précision du système GPS et des raisons pour lesquelles elle se trouve limitée,

nous décrirons brièvement les configurations élémentaires qui composent les systèmes différentiels les plus simples

puis nous indiquerons comment l'on peut augmenter la couverture des performances de systèmes différentiels grâce à la mise en réseau de combinaisons appropriées de configurations élémentaires.

Bien entendu les informations données ici ne sont qu'une brève synthèse d'une littérature extrêmement abondante. Les principaux documents de référence sont :

- l'ouvrage GPS - Localisation et navigation, S. Botton, F. Duquenne, Y. Egels, M. Even, P. Willis, CNIG - Editions Hermès, réf. [XI],
- les contributions à la présente étude MLR Electronique, réf. [XII] et de Geoid, réf. [XIII] déjà citées dans notre rapport intérimaire,
- les rapports que nous ont obligeamment communiqués les ingénieurs de l'Institut Géographique National (IGN), sur :
 - la mise en place d'un service DGPS - Etude technique préalable, août 1999, réf. [XIV]
 - le réseau géodésique français (1995), réf. [XV].

3.2.1 - Rappels sur les systèmes satellitaires de base (GPS) et du principe des systèmes différentiels

3.2.1.1 - Systèmes satellitaires de base. La détermination de la position et du temps

Rappelons que le principe de la mesure d'une position par satellite consiste à mesurer les distances entre le point de réception et plusieurs satellites, dont les trajectoires dans le ciel sont connues en fonction du temps avec une grande précision. Quatre satellites suffisent en théorie pour déterminer une position absolue (tri-dimensionnelle) et l'heure exacte. Lorsque l'altitude est connue, seuls trois satellites sont nécessaires.

24 satellites du système GPS circulent autour de la terre. A un instant donné, en un lieu donné, un récepteur situé à la surface de la terre ne recevra qu'un nombre limité d'entre eux, de 5 à 10, en moyenne 7 ou 8.

Ceci assure une redondance qui contribue à améliorer la mesure. La constellation Glonass puis la constellation Galileo pourraient donc, du fait de leur seule présence, **contribuer à améliorer la précision de GPS et réciproquement**.

3.2.1.2 - Précision du système GPS

Depuis que le Président des Etats-Unis (1er mai 2000) a décidé l'abandon¹² de la dégradation volontaire du signal GPS, antérieurement connue sous le nom de selective availability, la position théorique du système GPS est de 22 mètres (2D rms) dans le plan horizontal et de 27,7 m sur la verticale d'un lieu¹³. Le système GLONASS en configuration normale a une précision analogue.

3.2.1.3 - Sources d'erreur

La mesure individuelle de distance entre satellite et position d'observation est affectée par divers types d'erreur :

- les erreurs affectant la connaissance de la position des satellites (éphémérides) et des temps de passage aux diverses positions (horloge),
- celles résultant des variations des vitesses de propagation des ondes radioélectriques à leur traversée des couches basses de l'atmosphère,
- celles résultant des conditions de réception (trajets multiples) et de fonctionnement même du récepteur (erreur d'horloge, bruit thermique, bruit de calcul).

¹² Sauf décision contraire que prendrait notamment en cas de crise grave le gouvernement (département de la Défense) des Etats-Unis.

¹³ Les campagnes systématiques de mesure du signal GPS confirment dans l'ensemble la validité de ces valeurs, mais font néanmoins ressortir des variations notamment en fonction de la latitude.

Le tableau ci-dessous donne une idée des ordres de grandeur de ces erreurs.

Catégorie d'erreur	Source d'erreur	Contribution en mètres (1 σ)
Satellites	Stabilité d'horloge	3,0
	Perturbations	1,0
	Ephémérides	4,0
	Divers autres	1,0
Propagation	Ionosphère	4,9 à 9,8
	Troposphère	1,5
Récepteur	Multi-trajets	2,5
	Bruits	1,5
	Divers autres	0,5

3.2.1.4 - Principes du système différentiel GPS (DGPS)

La propriété essentielle sur laquelle se fondent les systèmes différentiels est le fait que les erreurs affectant la mesure de la position et du temps en deux points distincts ne varient que lentement avec la distance entre ces deux points. Typiquement l'erreur ne varie que de quelques mètres pour des distances de l'ordre de plusieurs dizaines sinon la centaine de milles.

On se trouve donc vis à vis de GPS dans la même situation favorable que celle décrite dans la première partie qui avait fait le succès du système Omega Différentiel.

Le principe du système GPS consiste à transmettre à une station cherchant à déterminer sa position et disposant d'un récepteur GPS, la valeur de la différence (dite correction) entre la position connue d'une station dite de référence et celle fournie par un récepteur GPS placé à cette dernière station.

3.2.2 - Configuration élémentaire

Dans sa configuration la plus simple, un système DGPS est constitué :

- d'une station à terre de référence équipée comme il vient d'être dit d'un récepteur GPS au moyen duquel on calcule les corrections, différences entre la position mesurée et la position connue,
- d'une station d'émission des corrections également installée à terre transmettant les corrections à l'utilisateur,
- de récepteurs de bord.

Ces derniers récepteurs :

- reçoivent les informations émises par la station d'émission des corrections et les signaux GPS,
- calculent et affichent la position corrigée.

Des liaisons (le plus généralement filaires) sont établies entre station de référence et station d'émission des corrections.

Les stations d'émission des corrections émettent sur des voies radioélectriques spécifiées.

Dans une telle configuration les principales options techniques qui gouvernent les choix des équipements ont trait :

- au récepteur GPS à implanter à la station de référence et qui servait à la détermination des corrections,
- aux caractéristiques des émissions (fréquence et format) de transmission des corrections.

Les explications qui suivent visent à justifier les principales options auxquelles on s'est aujourd'hui arrêté.

3.2.2.1 - La détermination des corrections à la station de référence

Pour calculer les corrections deux types de mesure sur le signal GPS peuvent a priori être effectués :

- soit des mesures dites sur le code consistant à démoduler le signal émis par les satellites,
- soit des mesures consistant à mesurer la phase de ce même signal (mesures de phase).

Les premières permettent d'obtenir des précisions métriques, les secondes des précisions décimétriques, voire centimétriques ou millimétriques.

Dès lors que l'on se propose de diffuser des informations utilisables en temps réel, ce qui est le cas notamment de toutes les applications de navigation, on ne peut recourir qu'à des mesures de code. Les mesures de phase ne fournissent en effet la position qu'à un nombre inconnu de longueur d'onde près et sont de ce fait ambiguës. Le lever d'ambiguïté nécessite un traitement approprié du signal dont la durée est dans l'état actuel de la technique incompatible avec une utilisation du système en temps réel.

Un second paramètre détermine le choix du récepteur GPS de station de référence.

On sait en effet que le signal GPS est émis sur deux fréquences porteuses L_1 et L_2 ($L_1 = 1.575,42$ MHz ; $L_2 = 1.227,60$ MHz).

Les récepteurs les plus simples (et donc les moins coûteux) ne font des mesures que sur une seule fréquence.

Il y a des avantages décisifs à équiper les stations de référence de récepteurs fonctionnant sur les deux fréquences L_1 et L_2 . L'usage de deux fréquences permet en effet de réduire considérablement l'erreur ionosphérique. Cette dernière est comme on l'a vu ci-dessus au paragraphe 3.2.1.3 la plus importante de celles qui affectent la précision de la mesure GPS.

Bien entendu les considérations ci-dessus n'empêchent pas que l'on équipe la station de référence de récepteurs à mesure de phase grâce auxquels on pourra élaborer des corrections affinées au bénéfice d'autres applications (telles que par exemple la topographie).

Les progrès de la technologie incitent d'autant plus à ce dernier type d'équipement que les temps de traitement se réduisant, il commence à être possible d'élaborer en temps réel des mesures de phase faites à la station de référence. C'est le principe du système RTK (Real Time Kinematic) qui permet à un utilisateur qui a mis en place sur un point géodésique une station DGPS appropriée, de recevoir en temps réel des corrections de précision centimétrique.

3.2.2.2 - Les caractéristiques des émissions de corrections : fréquence et format

Dans la configuration élémentaire qui fait l'objet du présent paragraphe, la portée pratique des émissions de corrections est au plus égale à la distance entre la station de référence et l'utilisateur au-delà de laquelle les corrections n'apportent plus à ce dernier un gain de précision significatif.

Pour les applications de navigation en eau resserrées les portées obtenues de ce fait sont de l'ordre de quelques dizaines de kilomètres. Elles atteignent 150 à 250 kilomètres pour les applications de navigation maritime dans les zones côtières.

Il est important de noter que les portées dépendent des fréquences sur lesquelles les corrections sont transmises et que les bandes de fréquences disponibles pour l'usage considéré sont strictement limitées.

Les bandes de fréquence sur lesquelles sont autorisées à fonctionner les stations d'émission de corrections différentielles sont, conformément aux dispositions du Règlement des Radiocommunications¹⁴ :

- la bande affectée au service de radionavigation maritime et aéronautique (radiophare), soit 283,5-325 kHz dans la Région I¹⁵ et 285-325 kHz dans les Régions II¹⁵ et III,
- la bande affectée au service de radiodiffusion (broadcasting), 87,5-108 MHz en Région I¹⁵, 88,10-108 MHz en Région II,
- la bande 890-910 MHz réservée au service mobile.

Bande des radiophares maritimes

La bande des radiophares maritimes est actuellement très encombrée en Europe où de nombreux radiophares ont été installés pour les besoins de la navigation maritime côtière surtout en Manche et en Mer du Nord.

La précision relativement médiocre des relèvements effectués sur un radiophare et le fait que pour connaître une position il faut au moins deux relèvements, et le coût non négligeable des radiogoniomètres professionnels au moyen desquels les navigateurs peuvent faire le point ont pour effet que les radiogoniomètres ne sont aujourd'hui pratiquement plus utilisés.

L'on doit donc raisonnablement s'attendre à l'extinction progressive des radiophares maritimes. Celle-ci est seulement retardée par l'intérêt que continuent de leur porter les plaisanciers qui équipés d'un simple récepteur de radiodiffusion du commerce¹⁶ peuvent faire un point approximatif.

¹⁴ On se souviendra de plus, que les bandes citées ne sont pas les seules affectées plus généralement au service de radionavigation maritime et aéronautique mais l'utilisation de ces bandes à des fins de transmission de corrections différentielles est pratiquement subordonnée à la disparition de systèmes de radionavigation existants. Dans le domaine maritime cette disparition est aujourd'hui de fait pour ce qui concerne le système DECCA.

Elle est susceptible d'affecter à moyen terme le système LORAN "C" ce qui offrirait la possibilité d'utiliser des fréquences de l'ordre de 100 kHz.

¹⁵ Les Régions I à III sont définies par le Règlement des Radiocommunications. La Région I couvre l'Europe et l'Afrique, la Région II le continent américain et la Région III l'Asie.

¹⁶ Equipés de la "bande marine".

Les services de signalisation maritime qui dans le monde gèrent les radiophares maritimes et donc la bande de fréquence correspondante, sont dans l'ensemble favorables à l'assignation de fréquences de la bande considérée à des stations GPS différentiel.

Les portées des émissions de radiophare sont typiquement de l'ordre de 150 km¹⁷.

Le Radio Technical Committee for Maritime Services (RTCM) a défini les formats standards des données utiles à la navigation tant terrestre que maritime.

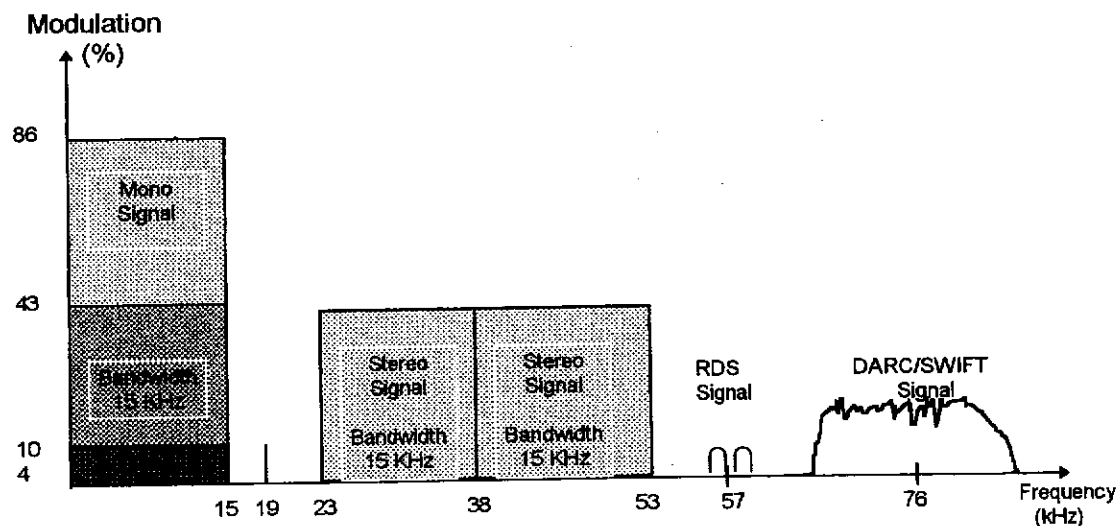
64 types différents de messages ont été identifiés par le RTCM. Actuellement seule la version 2.0 de la spécification RTCM est utilisée pour la diffusion des corrections DGPS calculées par des mesures sur les codes.

L'homologue du RTCM dans le domaine aéronautique, RTCA, a également établi les formats des messages de transmission des corrections DGPS pour les besoins éventuels de l'aviation civile.

Bande FM de radiodiffusion : 87,5-108 MHz

La bande FM est bien adaptée à la diffusion d'informations dans un rayon de l'ordre de 20 km autour de la station d'émission.

Dans la bande de fréquence assignée à la radiodiffusion en modulation de fréquence (FM), deux canaux (sous-bandes) respectivement dénommées RDS (Radio Data System) et DARC (Data Radio Channel) ont été réservées à la transmission de données et notamment à celle des corrections GPS (voir schéma ci-dessous).



Les canaux se distinguent principalement par leur débit de transmission.

Le débit de la sous-bande RDS est faible (18,75 bps). Les données sont regroupées en blocs de 26 bits eux-mêmes regroupés en groupe de 4 blocs destinés à des applications spécifiques. A la transmission des corrections différentielles sont aujourd'hui affectés les groupes 3A, 11A et 11B.

¹⁷ On caractérise la portée des radiophares maritimes par la distance à laquelle le champ électrique rayonné par le radiophare est supérieur ou égal à 50 microvolts par mètre.

Le débit de la sous-bande DARC est de 10 à 15 kilobits par seconde. Les premières applications de DARC ont eu lieu au Japon au début des années 1990. Mais pour le moment la transmission de corrections différentielles en utilisant la voie DARC en est seulement au stade de projets.

Bande 862-960 MHz

Cette bande est réservée au service mobile et l'on sait l'énorme usage fait de cette bande par les radiotéléphones portables.

Un standard DAB a été prévu pour la transmission d'informations dans la bande considérée avec des débits pouvant atteindre 1,5 M bits, soit 100 fois le débit autorisé par le standard DARC.

L'utilisation du standard DAB pour la transmission de corrections GPS différentiel n'en n'est qu'à l'état de projet.

3.2.3 - Les réseaux des stations DGPS

Des réseaux de stations de corrections DGPS ont été réalisés ou sont en projet avec l'objectif de réduire les coûts d'un service DGPS sur des zones étendues.

Les mesures GPS à partir desquelles sont acquises les données nécessaires au calcul des corrections étant effectuées par définition au niveau local, il est clair que l'on réduit les coûts du service DGPS en concentrant en un centre opérationnel :

- le calcul des corrections
- la préparation des messages envoyant les corrections aux utilisateurs.

La configuration de principe d'un système fournissant le service DGPS sur une zone telle que la France peut par exemple prendre la forme du schéma que l'on trouvera en annexe 6 (extraite du rapport IGN de réf. [XIV]).

Sur le plan technique, une telle disposition nécessite le recours à divers moyens de transmettre des données à distance.

Le rapport IGN de référence [XIV] énumère et compare les prix parmi les réseaux de communication possibles en mode permanent ou en mode commuté, à savoir :

- le réseau téléphonique (RTC) commuté
- le réseau numérique à intégration de service (RNIS)¹⁸ commuté
- les lignes louées ou spécialisées (permanentes point à point)
- le réseau à commutation de paquets PSDN¹⁹ (permanent ou commuté).

La mise en réseau des stations offre des avantages supplémentaires qu'expose le rapport IGN.

Dès lors que l'on dispose de résultats d'observation systématique de plusieurs stations de référence, il devient possible de construire un module spatio temporel des effets des erreurs de positionnement différentiel (troposphère, ionosphère, éphéméride et horloges des satellites) et de procéder aux interpolations permettant de prédire ces erreurs avec une précision accrue.

¹⁸ RNIS Réseau Numérique à Intégration de Service.

¹⁹ PSDN Packet Switch Data Network.

On estime ainsi possible d'amener aux environs de 50 m la précision des mesures GPS sur l'ensemble du territoire métropolitain supposé couvert par une douzaine de stations de référence.

On pense que les résultats d'interpolations faites à partir d'un modèle fiable, permettraient de créer des stations de référence virtuelles dont les corrections seraient diffusées.

Plus généralement l'acquisition continue sur des surfaces comparables à celle de notre pays de données GPS permettra de mieux détecter l'occurrence d'anomalies et donc de la signaler en temps voulu. Autrement dit un réseau **de stations GPS différentiel contribue au contrôle de l'intégrité du système de base.**

3.3 - Les systèmes différentiels français

Il existe aujourd'hui en France un système DGPS opérationnel essentiellement destiné aux besoins de la navigation maritime. Ce système a été réalisé et il est géré par le Ministère de l'Équipement, du Transport et du Logement (Direction des Gens de Mer et de l'Administration Générale).

D'autre part se mettent en place les éléments d'un système destiné à fournir un service DGPS sur la totalité du territoire français. L'initiative de cette réalisation a été prise par l'IGN. Le réseau vise à satisfaire aux besoins de géoréférencement sur la totalité du territoire. Il couvrira aussi les applications terrestres (navigation, agriculture, etc...)

3.3.1 - Le système DGPS français destiné à la navigation maritime

On trouvera des informations détaillées sur ce réseau dans le numéro 183 de NAVIGATION (réf. [XVII]). Ces informations sont brièvement résumées ci-dessous.

Le réseau a été mis en service au cours des années 1995-1998. Il est essentiellement composé de six stations de référence couplées à des stations d'émission des corrections DGPS.

La carte ci-jointe représente le réseau des six stations qui couvre le littoral français (annexe 7) :

- dans la Manche : Gatteville
- sur l'Atlantique : St Mathieu, les Baleines, Cap Ferret,
- en Méditerranée : Cap Béar et Porquerolles.

La carte mentionne la station belge d'Ostende qui avec la station de Gatteville couvre le Pas-de-Calais et le littoral français de la Mer du Nord.

Toutes les stations françaises ont été installées dans les locaux de stations de radiophares. Elles fonctionnent sur des fréquences de la bande 285-325 kHz.

L'article cité précise les types de message RTCM 104 utilisés pour la transmission des informations. Les messages de transmission des corrections (messages de type 1 et 9) sont émis à des intervalles de temps au plus égaux à 10 secondes.

Performances

Les cercles de portée tracés sur la figure de l'annexe 7 sont les ensembles des points pour lesquels le champ rayonné est au moins égal à $10 \mu\text{v}/\text{m}^{20}$.

L'installation à Belle Ile d'une station de contrôle centralisé prévue par l'article cité est actuellement en cours.

D'ores et déjà des mesures systématiques prouvent qu'en moyenne la précision du point mesuré au moyen des informations DGPS est de l'ordre de 5 m à 2σ et que la répétabilité du signal est excellente.

Toutefois l'on ne s'est pour le moment assigné qu'un objectif de disponibilité relativement modeste (95% du temps).

Usagers du système

La plupart des utilisateurs du GPS différentiel français sont les pêcheurs au chalut de fond qui utilisent le système pour revenir aux lieux où ils savent que se tient le poisson. Cette pêche est particulièrement active en Manche et en Atlantique.

Des usagers potentiels du système et notamment des utilisateurs terrestres (agriculteurs, géomètres, transporteurs routiers) ont manifesté de l'intérêt pour le système qui vient d'être décrit. Cependant dans son état actuel le DGPS maritime français ne couvre qu'une portion réduite du territoire national²¹.

L'utilisateur doit prendre en charge l'acquisition du récepteur DGPS approprié. La société MLR est le principal fabricant français de ces récepteurs. Une valeur typique des coûts d'acquisition de tels récepteurs est de 40 000 F

Rôle de l'Etat

Le service DGPS réalisé et géré par le Ministère français de l'Équipement, des Transports et du Logement est gratuit comme l'est l'ensemble des services de signalisation maritime considérés en France comme services publics.

L'Etat a donc pris en charge les dépenses de premier établissement de l'infrastructure. Il assure en outre la charge des dépenses d'entretien et de fonctionnement.

Toutes les stations ayant été installées dans des bâtiments appartenant à l'Etat, pourvus d'antennes et raccordés au secteur public de distribution de l'énergie électrique, les dépenses de premier établissement ont essentiellement concerné l'acquisition et la mise en place des matériels composant les stations de référence, les équipements d'élaboration et de transmission des corrections et les organes de mesure et de contrôle. Les dépenses de premier établissement sont évaluées aux environs de 800 kF par station, soit au total environ 5 MF.

Toutes les stations sont automatiques. Elles ne nécessitent qu'une surveillance réduite. La fiabilité des équipements électroniques et informatiques est dans l'ensemble satisfaisante. Cependant la dépense des sites d'implantation et la relative difficulté d'accès des stations

²⁰ Cette valeur de champ est à rapprocher de la valeur de $50 \mu\text{v}/\text{m}$ citée à la note de bas de page 20 et numérotée 17.

²¹ Le DGPS français n'est, par exemple, pas reçu en région parisienne.

installées sur des îles entraînent des coûts non négligeables que les exploitants évaluent aux environs de 750 kF par an (20% par an des dépenses de premier établissement).

3.3.2 - Le service DGPS de l'Institut Géographique National

Le rapport de l'IGN de réf. [XIV] donne des informations sur le service DGPS que l'Institut Géographique National a entrepris de développer en liaison avec d'autres services de l'Etat mais en tenant compte également de projets de l'industrie privée. Les informations ci-dessous résument ou sont même directement extraites de ce rapport.

L'idée de départ sur la base de laquelle est fondée l'initiative de l'IGN de développer un service DGPS est fondée sur le fait que l'Institut, dans ses attributions de garant de la rectitude de l'information de position fournie par les systèmes de référence géodésique (aujourd'hui RGF 93 faisant suite à l'ancien système géodésique de référence nationale dit NTF) :

- exploite en permanence les mesures GPS d'un réseau dit réseau RGP (réseau GPS permanent) d'une vingtaine de stations DGPS réparties sur le territoire national comme le montre la figure de l'annexe 6,
- contrôle et surveille l'intégrité des données fournies à partir d'un centre opérationnel.

L'association au RGP de stations d'élaboration des corrections permettra aux utilisateurs de disposer, selon le rapport dont le passage suivant est extrait,

- "- d'un positionnement direct dans le système géodésique RGF 93
- de données faisant l'objet d'un contrôle qualité permanent
- d'une fiabilité de l'accès au positionnement
- d'une information de localisation cohérente et compatible sur tout le territoire
- d'un accès à la plus grande exactitude possible."

Selon les vues de l'IGN, l'Institut sera responsable :

- "du calcul en continu des corrections GPS et de l'assurance de leur qualité en temps très peu différé,
- de la mise au point et la maintenance du système afin d'assurer à l'utilisateur un service opérationnel en continu,
- de la mise à disposition sur un serveur de données en temps très peu différé des mesures GPS,
- de la sauvegarde et de l'archivage des données fournies corrections DGPS pour les diffuseurs, mesures GPS pour les utilisateurs."

En revanche la diffusion et leur usage seront placés sous la responsabilité des diffuseurs et des utilisateurs.

En conséquence, ce sont des partenaires pouvant provenir soit du secteur public soit du secteur privé qui mettront en œuvre les systèmes de diffusion à l'adresse des utilisateurs pour toute application en y comprenant les applications à valeur ajoutée.

Performances

Le service DGPS est fourni en temps réel. Sa précision est comprise entre 1 et 3 m avec un niveau de confiance 95%.

Les performances de fiabilité, d'intégrité et de disponibilité du système dépendent des dispositions prises pour assurer le contrôle du fonctionnement du système ainsi que des

caractéristiques demandées du système d'alarme. Il est prévu de définir et de tester ces dispositions et caractéristiques au cours d'une phase expérimentale préliminaire s'étalant au moins sur une année.

Rôle et responsabilités des parties prenantes

Dans le dispositif en cours de réalisation à l'initiative de l'IGN c'est à l'Etat que revient la charge de l'équipement des stations DGPS, de la transmission et du traitement de ces informations au centre opérationnel et enfin de la mise en place en ce centre du serveur délivrant l'information au monde extérieur.

C'est l'IGN qui en principe réalise et finance la réalisation de cette infrastructure et en assure la maintenance. Cette disposition n'exclut pas l'intégration dans le réseau de stations DGPS des stations d'élaboration des corrections d'autres stations mises en place pour leurs besoins propres par d'autres organismes publics (par exemple stations du réseau dit des Phares et Balises (voir 3.3.1 ci-dessus), stations établies et gérées par le CNRS, Universités et LCPC.

Les stations de diffusion sont ou seront établies, financées et gérées soit par des sociétés de radiodiffusion (Europe 1) ou des collectivités locales (communautés urbaines) ou toute autre entité en ayant la vocation.

Dans ce dispositif l'Institut Géographique National peut instituer des redevances rémunérant le service de mise à disposition d'information dont la qualité est contrôlée. Des accords peuvent être passés entre l'IGN et les organismes qui assureront la gratuité de l'information de position dans l'hypothèse où ces organismes seraient des organismes de l'Etat responsables de la protection de la vie humaine.

Coût (Premier établissement et fonctionnement)

Les coûts de premier établissement des stations de correction ainsi que celui du centre opérationnel relativement modestes peuvent être estimés à :

300 k F pour chaque station DGPS
1 M F pour le centre opérationnel.

Les coûts des stations varient suivant que sont ou non disponibles sur le site les équipements logistiques destinés au service du matériel (abris, raccordement au secteur public de distribution, support d'antennes, etc...).

Les dépenses de fonctionnement et de maintenance comprennent :

- a) les dépenses du personnel spécialisé affecté au service des équipements. Ces dépenses sont évaluées aux environs de 1 MF an,
- b) les dépenses d'abonnement et d'utilisation des réseaux de télécommunication assurant les liaisons entre les stations et le centre opérationnel. Elles ont été évaluées dans diverses hypothèses d'utilisation des réseaux publics aux environs de 30 à 50 000 F par station et par an. La dépense pour l'ensemble des réseaux est donc comprise entre 600 kF et 1 MF par an.

3.4 - Les systèmes différentiels à l'étranger

3.4.1 - Généralités

Des systèmes différentiels ont été développés dans de nombreux pays et notamment en Europe et aux Etats-Unis.

On peut schématiquement les classer en trois catégories suivant qu'il s'agit :

- de systèmes principalement destinés aux besoins de navigation maritime utilisant les signaux au format RTCM 104 diffusés sur des fréquences de la bande 285-325 kHz,
- de systèmes principalement destinés à des usagers terrestres et développés soit à l'initiative, soit avec le support, des services et organismes publics exerçant des activités en géodésie et de topographie.
Ces systèmes sont les analogues du système en cours de réalisation en France à l'initiative de l'IGN. Comme en France l'organisme qui dispose et certifie les données n'est pas chargé de leur diffusion. Fréquemment des compagnies privées se chargent de la diffusion et utilisent à cet effet les standards et les bandes de fréquence décrits aux paragraphes 3.2 et 3.3 ci-dessus.
- des systèmes offrant un service de positionnement précis à des usagers opérant sur de très larges zones comme les compagnies de recherche pétrolières.
Ces systèmes mettent en œuvre des réseaux étendus de stations de corrections ainsi que des transmissions à grande portée (de grande longueur d'onde ou transmission par satellites).

Les informations qui suivent donnent une série d'exemples de systèmes des trois catégories citées.

3.4.2 - Systèmes utilisant le format RTCM 104 et les fréquences de la bande 285-325 kHz.

De nombreux réseaux de stations de diffusion de corrections différentielles au format RTCM 104 ont été mis en place depuis le milieu des années 1990 à l'initiative des plus importants services chargés dans le monde de la signalisation maritime. L'association internationale de signalisation maritime (AISM) a joué un rôle très actif dans le coordination d'un effort d'équipement dont les objectifs sont doubles :

- remédier à la médiocrité de la précision du système de base,
- réutiliser les fréquences de la bande réservée aux émissions de radiophares maritimes progressivement devenus obsolètes du fait de la mise en service de systèmes à infrastructure terrestre à couverture étendue²².

Nous décrivons brièvement la situation des réseaux DGPS existant en Europe et dans le reste du monde. Nous terminerons par quelques remarques d'ordre général.

Situation en Europe

En Europe, les services de signalisation maritime de l'Europe du Nord (Royaume-Uni, Belgique, Pays-Bas, Allemagne, Pologne et Etats scandinaves) ont comme la France développé pour les besoins de la navigation maritime des réseaux de stations d'émission de corrections DGPS au format RTCM 104.

²² Parmi lesquels le système LORAN "C" qui est décrit avec quelque détail à la fin de cette partie.

On dénombrait en fin 1999, 25 de ces stations en y comprenant les stations françaises.

L'AIISM a :

- dressé le plan des fréquences à utiliser pour les stations de radiophares diffusant les corrections,
- défini les dispositions à prendre pour que dans une période transitoire les radiophares maritimes continuent d'émettre le signal utilisable en radiogoniométrie.

Les pays du Sud de l'Europe (Espagne, Italie, Portugal, Grèce), moins avancés ont néanmoins établi des programmes d'équipement de leurs côtes en stations d'émission de corrections GPS.

Situation dans le reste du monde

Un document publié par l'AIISM²³ en fin 1999 dénombre en dehors d'Europe 135 stations d'émissions RTCM 104; le Canada et les Etats-Unis interviennent dans ce total respectivement pour 23 et 59 stations.

Aux Etats-Unis et au Canada où les administrations responsables de la signalisation maritime sont également compétentes sur les voies d'eau maritimes et fluviales (Grands Lacs, Mississippi, St Laurent), un nombre significatif des stations GPS différentiel ont été créés pour les besoins de la navigation intérieure.

Ajoutons à ces informations quatre remarques :

i) Sur les performances des systèmes

D'après les rapports provenant des services gestionnaires tant en Europe, qu'aux Etats-Unis et au Canada, les performances de précision des systèmes sont très homogènes. Elles sont de l'ordre de 5 m.

En revanche on ne dispose pas actuellement de renseignements sur les valeurs effectives des autres paramètres caractérisant la qualité des systèmes qui ont été recensés. On se reportera donc faute de mieux aux exigences du projet de modification de la résolution A.860 de l'OMI (voir texte ci-joint en annexe 3).

ii) Sur la prise en charge des dépenses de premier établissement et de fonctionnement

Installés à l'initiative des services publics chargés de la sécurité maritime, la totalité des dépenses de premier établissement et de fonctionnement des réseaux DGPS au format RTCM 104 est en règle générale prise en charge par les Etats dont dépendent ces services. L'accès aux informations est aussi le plus souvent gratuit.

Cependant au Royaume-Uni et dans certains Etats du Commonwealth, les usagers du service des corrections DGPS sont astreints à payer une taxe d'usage dit "droit de feux" qui assure le financement des dépenses de 1er établissement et de fonctionnement des aides à la navigation maritime. Cette taxe est perçue sur les navires faisant escale dans le port de l'état considéré. Le produit de la taxe sert au financement des dépenses de premier établissement et de fonctionnement.

²³ List of Radionavigation services, IALA novembre 1999 (IALA est le sigle anglais de l'AIISM).

iii) Sur l'utilisation des réseaux RTCM 104 par des usagers terrestres

La plupart des réseaux de stations d'émission de corrections DGPS installés pour les besoins de la navigation maritime ont une couverture terrestre non négligeable. Ceci est vrai principalement aux Etats-Unis et au Canada pour les raisons indiquées plus haut. C'est également vrai en Europe du Nord. Cette circonstance attire une clientèle non négligeable d'usagers terrestres qui n'acquittent aucun droit spécifique.

iv) Sur l'utilisation des réseaux RTCM 104 par l'aviation civile

Les performances de ces réseaux concernant notamment le contrôle d'intégrité ne paraissent cependant pas suffisantes pour couvrir sans modification les besoins de l'aviation civile.

3.4.3 - Systèmes utilisant des formats et des fréquences autre que RTCM 104 et couvrant des zones de dimension inférieures à 500 km

L'annexe G au rapport déjà cité de l'IGN fournit divers exemples dont font aussi mention les publications citées dans la bibliographie jointe à ce rapport, de systèmes installés en Europe et visant à couvrir des besoins semblables à ceux que vise à satisfaire son propre service DGPS.

Ce sont les systèmes :

SWISSTOPO installé à l'initiative de la Commission Géodésique Suisse et géré par l'Office Fédéral de Topographie.

Ces données de corrections DGPS sont calculées par un récepteur fonctionnant en permanence installé en une station de référence (Zimmerwald). Elles sont ensuite compressées et cryptées dans un format RTCM compatible avec une modulation RDS, enfin diffusées sur des fréquences de la bande 87-108 MHz.

Dans le système SWISSTOPO l'utilisateur :

- paie un abonnement (200 à 800 F suisses selon le niveau de précision, 5 à 10 m ou 1 à 2 mètres à 2 sigma), (1 Franc suisse = 4 Francs français)
- doit faire l'acquisition d'un décodeur (600 F suisses)
- peut recevoir, moyennant paiement, une aide technique du gestionnaire de système.

Des études sont en cours avec l'objectif d'élargir la couverture du système. Elles prévoient l'utilisation des formats d'émission du type DARC.

SWEPOS. Ce système est l'homologue Suédois du système SWISSTOPO. Il a été mis en place par le Service Topographique National²⁴ et financé par plusieurs administrations ou services publics²⁵.

Dans ce système les informations sont codées au format RDS et transmises dans la bande FM (87-108 MHz).

²⁴ En collaboration avec l'Observatoire d'Uppsala.

²⁵ Chemin de fer suédois, forces armées, administration nationale de l'aviation civile. Institut Suédois des Télécommunications, Services de l'Équipement.

Des accords ont été conclus entre le Service Topographique National et une société privée (TERACOR) qui diffuse les informations par l'intermédiaire de Radio Stockholm.

Deux services sont proposés fournissant respectivement en temps réel des précisions à 2 sigma de 10 m et de 2 m.

SAPOS. Ce système a été développé par le groupement des instituts géographiques régionaux de l'Allemagne. Il utilise des données fournies par un réseau de stations GPS permanentes avec les caractéristiques suivantes de service :

Service	Type	Mode	Précision
EPS	Service de positionnement	Temps réel	1 à 3 m
HEPS	Service de positionnement très précis		1 à 5 cm
GPPS	Service de positionnement géodésique	Post-traitement	1 cm
GHPS	Service de positionnement géodésique très précis		Meilleure que 1 cm

Dans le cadre du service EPS, un système dit RASANT (Radio Aided Satellite Navigation System) a été développé pour le compactage puis la diffusion des données par l'intermédiaire des stations allemandes de radiodiffusion. Pour capter ces émissions l'utilisateur doit acquérir un récepteur dédié à un coût compris entre 1 000 et 2 500 DM. Ce coût comprend le droit d'utilisation du service.

3.4.4 - Systèmes différentiels destinés à des usagers répartis sur de larges zones

Trois exemples de systèmes différentiels couvrant de larges zones sont décrits brièvement ci-dessous. Dans chacun de ces systèmes l'élaboration de corrections valables sur de larges zones s'effectue grâce à une modélisation fine des erreurs susceptibles d'affecter les mesures GPS en différents points de la zone considérée.

Dans le premier système, le système ALF mis en service en 1996 par l'administration cartographique allemande, l'émission des corrections sur une fréquence suffisamment basse 123,7 kHz et avec une puissance rayonnée suffisante, permet d'atteindre des portées voisines de 1 000 km, voir réf. [XVII].

Dans le second et le troisième système (Londstar de la Société Racal, et Omnistar de la société Fugro (voir réf. [XVIII], [XIX], [XX] et le rapport IGN déjà cité) les corrections sont diffusées en bande L via des satellites géostationnaires (gérés par diverses entités telles que l'American Mobile Satellite Capacity AMSC).

Ces systèmes satisfont à une large gamme d'activités (agriculture, gestion des ressources naturelles et en particulier exploration pétrolière, topographie, etc...).

Le service est payant. Le rapport IGN mentionne un coût d'abonnement de 8 000 F HT par an et un coût d'équipement du récepteur de 70 000 F).

La précision de ces systèmes est très satisfaisante (mieux que le mètre).

3.5 - Le système EUROFIX

3.5.1 - Généralités

On désigne sous le nom de système EUROFIX un système de transmission de correction DGPS, fondé sur l'utilisation d'un système de radionavigation à infrastructure terrestre connu sous le nom de LORAN "C"²⁶.

Avant d'examiner le système EUROFIX en tant que tel quelques explications sont nécessaires sur l'histoire et la situation actuelle des chaînes européennes LORAN "C" ainsi que sur les raisons principalement politiques qui motivent l'intérêt de la Commission Européenne et des Etats membres pour ce système ainsi que pour l'EUROFIX qui en apparaît comme un dérivé naturel.

Le présent paragraphe se termine par un rappel des estimations provisoires des dépenses de 1er établissement qui seraient à engager si la décision était prise de développer EUROFIX à l'échelle européenne.

3.5.2 - Le système LORAN "C" : Historique - Situation actuelle - Aspects politiques

Il s'agit d'un système de radionavigation à infrastructure terrestre fonctionnant sur des fréquences issues de 100 kHz pour satisfaire à des objectifs militaires et de ce fait mis en place et géré par les Etats-Unis (US Coast Guard). Dès l'origine, les performances du système LORAN "C" (précision hectométrique, fiabilité et ampleur de la couverture attestée par la carte jointe en annexe 8) ont été appréciées des usagers civils principalement par les marins mais aussi aux Etats-Unis par les pilotes d'avions légers.

Vers la fin de 1980 - début des années 1990, le gouvernement des Etats-Unis dans la perspective de la mise en service de GPS, avait mis à l'étude les moyens de réduire leurs dépenses de gestion des chaînes LORAN "C". Compte tenu de l'intérêt manifeste pour le système par des usagers civils, ils ont proposé aux gouvernements des pays sur le territoire desquels étaient implantées les stations LORAN "C", de prendre en charge la gestion de ces stations en contrepartie de quoi les équipements étaient remis gracieusement aux nouvelles autorités gestionnaires.

Le transfert de la gestion des stations européennes aux services compétents²⁷ est devenu effectif le 1er janvier 1994.

L'US Coast Guard a donc progressivement transféré aux autorités des pays où avaient été implantés des stations LORAN "C" la gestion de ces dernières.

La carte jointe en annexe 8 représente la configuration de la chaîne LORAN "C" aujourd'hui gérée par les pays signataires de l'accord dit NELS²⁸ (North European LORAN "C" System)^{29,30} à savoir Danemark, Allemagne, Pays-Bas, Irlande, Norvège, France.

²⁶ Le lecteur intéressé par une description détaillée du système LORAN "C" et notamment par des précisions sur le signal "LORAN" ainsi que sur les fréquences des stations d'émission pourra se reporter à ce sujet au rapport FDC déjà cité (p. 41 à 46).

²⁷ En général les services chargés de la signalisation maritime, mais en France la Marine Nationale.

²⁸ Un accord similaire lie les pays du sud européen (France, Italie, Espagne, Turquie, Communauté des Etats indépendants).

²⁹ Les deux stations françaises ont été construites et sont gérées par la Marine Nationale.

³⁰ La station irlandaise de Loop Head n'est aujourd'hui qu'à l'état de projet.

Un accord similaire lie les pays du sud européen (France, Italie, Espagne, Turquie, Communauté des Etats indépendants).

La Commission de l'Union Européenne s'est montrée favorable au maintien en service des chaînes européennes LORAN "C" existantes. Elles y a vu tout d'abord un moyen de garantir la communauté européenne contre des décisions de modification de la qualité GPS prises unilatéralement par les Etats-Unis³¹.

Une décision du Conseil de l'Union Européenne de 1991 a donc érigé le système LORAN "C" en système de secours (back up system) pouvant se substituer au système GPS en cas d'interruption de ce dernier.

Le système EUROFIX - Principes et perspective

L'idée qui se trouve à la base du concept EUROFIX et qui revient à l'Université de Delft est de mettre à profit les qualités des stations LORAN "C", très fiables et capables de transmettre des signaux à des distances supérieures à 1.000 km³² pour fournir aux usagers utilisant à la fois les informations de position et de temps résultant de la combinaison des mesures des corrections GPS d'une part et, d'autre part, des signaux LORAN "C" habituels permettant de faire le point.

Les études et les essais réalisés par l'Université de Delft que résume la note remise à sa demande à la Commission Européenne par les Instituts européens de navigation (réf. [XXI]) montre que la disposition la plus favorable consiste à comparer en permanence des mesures de distance faites au moyen de GPS et des stations LORAN "C" d'une même chaîne et de diffuser l'information de correction à partir du même ensemble de stations (tel que celui du NELLS).

Dans une telle disposition il convient que les stations GPS et LORAN "C" soient synchronisées. Si le système GPS n'est plus disponible dans le concept EUROFIX les signaux LORAN "C" continuent d'être émis fournissant un signal de précision dégradé.

On peut en outre transmettre à l'utilisateur, sous réserve de l'établissement de liaisons convenables entre systèmes GPS et LORAN "C", une alerte augmentant ainsi l'intégrité du signal GPS.

La note déjà citée attire en outre l'attention sur les points suivants :

- la précision espérée (à 2 sigma) du système GPS / LORAN "C" combiné selon le concept EUROFIX, serait de 2 - 3 m,
- le développement du système est subordonné à la production par l'industrie de récepteurs à bas coût facilement intégrables dans les équipements de navigation de bord. Les auteurs de la note estiment qu'un tel objectif peut être atteint au prix de dépenses modestes,
- le signal LORAN "C" est beaucoup moins vulnérable aux effets des réflexions multiples que ne l'est le signal GPS. D'autre part la configuration des chaînes LORAN "C" existantes est telle que de très larges portions du continent Européen sont couvertes.

Le système EUROFIX satisfait donc dans de meilleures conditions que le système GPS ou ses dérivés différentiels dans leur versions décrites plus haut, aux besoins d'usagers

³¹ La compatibilité de LORAN "C" et de son homologue russe, le système CHAÏKA offre de ce point de vue un intérêt supplémentaire.

³² Le système utilise les fréquences de la bande 90-110 kHz. La modulation par impulsion réduit les interférences dues à l'onde de ciel.

terrestres notamment dans les zones de forte concentration urbaine. Dans une telle perspective il conviendrait de prendre en considération un programme de modernisation et d'extension des chaînes LORAN "C" européennes existantes comprenant :

- i) la réalisation de la station irlandaise de Loop Head de la chaîne NELS,
- ii) réactiver la chaîne sud européenne (SELS),
- iii) synchroniser les stations LORAN "C" avec le temps UTC ou le temps GPS,
- iv) intégrer les réseaux NELS et SELS avec les réseaux LORAN "C" et CHAÏKA.

3.5.3 - Estimation des coûts de développement d'un système EUROFIX européen

Les estimations ci-dessous reproduites du rapport FDC réf. [XIV] sont relatives à la mise en configuration normale du seul réseau NELS. 3 étapes ont été distinguées.

A la fin de l'étape 1, 4 sites NELS seront équipés de la technologie EUROFIX (Boe, Norvège - Vaerlasdet, Norvège - Sylt, Allemagne - Lessay, France).

A la fin de l'étape 2 tous les sites NELS existants seront équipés.

A la fin de l'étape 3, les stations italiennes et turque (SELS) seront mises à niveau et la configuration européenne serait complétée par 3, ou mieux 4 stations supplémentaires, y compris la station de Loop Head.

Les dépenses de 1er établissement (y compris le paiement des droits de propriété intellectuelle à l'Université de Delft) sont évaluées comme suit en M Euros (chiffres arrondis) :

Etape 1		0,7	0,7
Etape 2		<u>2,8</u>	<u>2,8</u>
		3,5	3,5
Etape 3	stations italiennes et turques	9,0	9,0
	stations supplémentaires	3 x 6 = <u>18,0</u>	ou 4 x 6 = <u>24</u>
	Total étape 3	<u>27</u>	ou <u>33</u>
	Total général	30,5	ou 36,5

Les dépenses de 1er établissement correspondant aux étapes 1 et 2 seront réparties entre les pays intéressés conformément au tableau ci-dessous (chiffres arrondis) :

	Norvège	Allemagne	Pays-Bas	Irlande	France	Totaux
Pourcentage	35 %	19 %	13 %	12 %	22 %	100 %
Montant contribution	1,25	0,6	0,4	0,4	0,85	3.5 M Euros

Le budget du fonctionnement du NELS est estimé aux environs de 625.000 Euros par station.

Le réseau NELS comprendrait 10 stations en y incluant la station de Loop Head et les stations de contrôle de Brest, d'où un montant des dépenses annuel de 6,25 M Euros à répartir selon l'accord NELS entre les parties prenantes.

Conclusion

On retiendra de ce bref résumé de la situation du système EUROFIX que l'utilisation de l'infrastructure LORAN "C" aux fins de diffusion des corrections DGPS a des mérites qui justifient l'intérêt que lui ont porté les chercheurs de l'Université de Delft et à leur suite bon nombre de spécialistes. Toutefois l'avenir du système est subordonné à la production et la diffusion de récepteurs à coût suffisamment attractif pour venir concurrencer d'abord le GPS et autres systèmes de base, mais aussi les systèmes différentiels décrits au paragraphes précédents.

Nous ne disposons pas d'élément objectif permettant de conclure sur les chances de succès de la promotion de récepteurs.

3.6 - Le système EGNOS

3.6.1 - Généralités

On désigne sous le nom d'EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service) le projet dont la réalisation est à présent très avancée qui, à l'initiative du groupe Tripartite Européen (ETG)³³ et avec le support financier des administrations chargées de l'aviation civile de l'Allemagne, de l'Espagne, de la France, de l'Italie et du Royaume-Uni, a pour objectif de fournir des informations complémentaires aux signaux GPS permettant d'utiliser ces derniers en respectant les exigences de précision, intégrité, disponibilité et continuité de service spécifiées par l'OACI³⁴.

EGNOS est l'équivalent pour l'Europe³⁵ des systèmes dits d'"augmentation" des performances des systèmes satellitaires de base (GPS et GLONASS) développés pour les besoins de l'aviation civile par les Etats-Unis (continent américain - système WAAS - Wide Area Augmentation System) ainsi que par le Japon (continent asiatique - système MSAS).

L'architecture du système EGNOS, ses performances ainsi que les éléments diffusés du coût de réalisation et d'exploitation ont fait l'objet de nombreuses publications.

Nous avons mentionné dans la bibliographie sous les références [XXII à XXV] les documents que nous avons consultés sur le sujet à l'occasion du présent travail.

Les informations très résumées qui suivent sont principalement extraites des documents cités. Elles concernent :

- les missions du système EGNOS et les performances qui en sont attendues,
- l'architecture du système,
- les perspectives de mise en service du système,
- les coûts de premier établissement et de fonctionnement .

³³ Le groupe ETG est constitué de la Commission de l'Union Européenne, de l'Agence Spatiale Européenne et d'Eurocontrol.

³⁴ Sous la forme de SARPs (Standards and Recommended Practices).

³⁵ Ainsi que pour l'Afrique et partiellement l'Asie.

Le présent paragraphe s'achève par une conclusion appuyée de quelques remarques finales sur les conditions d'une future utilisation d'EGNOS par la communauté des usagers.

3.6.2 - Missions du système EGNOS

Le système EGNOS a pour mission de fournir aux usagers les trois types de service définis ci-après :

- le service de niveau 1 consiste en la mise à disposition à des fins de navigation des informations de meilleure qualité que celles des systèmes GPS de base, grâce à la transmission via des satellites géostationnaires de signaux du type similaire à ceux du système de base. Le service de niveau 1 ne s'adresse qu'aux usagers de GPS. Les usagers de GLONASS n'y ont pas accès,

- le service de niveau 2 (aussi appelé Basic Wide Area Differential et noté WAD 2) consiste à fournir aux usagers, en plus des services de niveau 1, un ensemble supplémentaire de fonctions permettant d'améliorer la précision et l'intégrité du système satellitaire de base grâce à la transmission des corrections de temps et d'orbitographie concernant les indications fournies par les satellites GPS, GLONASS et géostationnaires,

- le service de niveau 3 (aussi appelé Precision Wide Area Differential et noté WAD 3) consiste à fournir aux usagers, en plus du service de niveau 2, des informations concernant l'état de l'ionosphère grâce auxquelles, on peut améliorer la précision du système de navigation :

- soit en utilisant seulement les satellites GPS et géostationnaires (niveau de service 3A symbolisé par le sigle WAD 3A)
- soit en utilisant l'ensemble des satellites disponibles GPS, GLONASS et GEO (niveau de service 3B symbolisé par le sigle WAD 3B)

Rappelons pour terminer que les performances attendues d'EGNOS sont celles du tableau ci-dessous dans lequel on a fait une distinction entre deux états d'avancement du système : une première phase expérimentale visant essentiellement à tester la validité des principes, une seconde phase d'exploitation normale.

OBJECTIFS D'EGNOS

Niveau		AOC Advanced Operational Capability		FOC Full Operational Capability		
		1	2	3	4	5
Précision à 95% en mètres	horizontale	150	150	24	150	24
	verticale	Aucune	Aucune	6	Aucune	6
Intégrité	limite d'alarme horizontale (mètres)	375	375	60	375	60
	limite d'alarme verticale	Aucune	Aucune		Aucune	
	délai d'alarme (secondes)	10	10	6	10	6
	risque	$3 \cdot 10^{-7}/h$	$3 \cdot 10^{-7}/h$	$3 \cdot 10^{-7}/150 \text{ s}$	$3 \cdot 10^{-7}/h$	$3 \cdot 10^{-7}/150 \text{ s}$
Continuité de service	risque	$1 \cdot 10^{-4}/h$	$1 \cdot 10^{-4}/h$	$1 \cdot 10^{-4}/150 \text{ s}$	$1 \cdot 10^{-4}/h$	$1 \cdot 10^{-4}/150 \text{ s}$
	longueur de l'interruption	pas encore fixée		pas encore fixée		
Disponibilité	longueur de l'interruption	pas encore fixée		pas encore fixée		
	objectif pour l'ensemble du globe	0.93	0.99	0.95	0.99999	0.99999
	objectif au niveau local	0.93	0.99	0.95	0.999	0.999
Fonctions obligatoires des récepteurs	algorithme d'intégrité	RAIM ³⁶	RAIM+ GIC ³⁷	DRAIM+ WAD ³⁸	RAIM +GIC	DRAIM ³⁹ +WAD
	hauteur des sat. au dessus de l'horizon	5°	5°	5°	5°	5°

3.6.3 - Architecture du système EGNOS

La planche faisant l'objet de l'annexe 9 représente l'architecture d'ensemble du système EGNOS.

On y distingue quatre segments :

³⁶ RAIM : Receiver Autonomous Integrity Monitoring (algorithme interne au récepteur qui vérifie que les indications des divers satellites, dès qu'on en reçoit plus du minimum de 4, donnent des données de distance qui sont géométriquement compatibles).

³⁷ GIC : GNSS Integrity Control, la fonction d'intégrité des SBAS.

³⁸ WAD : Wide Area Differential : la fonction différentielle des SBAS.

³⁹ DRAIM : RAIM sur un signal corrigé par DGPS, Differential GPS.

Le segment spatial

Ce segment est constitué de trois satellites géostationnaires (INMARSATII-AOR-E, INMARSATII-IOR et Artémis). Ils assurent avec un taux de redondance convenable la diffusion dans l'espace du signal porteur des informations nécessaires à la détermination de la position du mobile et du temps associé.

Les autres satellites sont d'abord ceux des constellations GPS et GLONASS mais on peut y ajouter les satellites géostationnaires éléments des autres systèmes d'augmentation à base satellitaire (Satellite Based Augmentation System - SBAS⁴⁰) comme WAAS et MSAS.

Le segment terrestre

Les éléments de segment situés à terre ont pour rôle de surveiller les émissions de GPS et éventuellement de GLONASS, de calculer et de diffuser aux usagers les corrections de distance des satellites géostationnaires et les informations d'intégrité.

L'ensemble des éléments constituant le segment sol est complexe. Il comprend :

- i) des stations de collecte de données satellitaires concernant GPS et GLONASS réparties sur la zone de service d'EGNOS dénommées RIMS (Ranging Integrity and Monitoring Station),
- ii) 4 centres (Master Control Centre, MCC), constitués chacun :
 - d'un CPF (Central Process Facility) en charge du calcul, de la validation et de la distribution des messages,
 - et d'un CCF (Central Control Facility) recevant les informations provenant des éléments d'EGNOS et des réseaux, gérant les interfaces entre ces éléments et configurant EGNOS en fonction de l'état de ces éléments,
- iii) un réseau EGNOS Wide Area Network (EWAN) chargé des connexions entre les éléments sol d'EGNOS,
- iv) des stations terriennes NLES (Navigation Land Earth Station) chargées de transmettre le signal de corrections aux satellites géostationnaires et de maintenir la synchronisation avec le temps GPS.

Le segment usager

Il est composé des récepteurs EGNOS. Ils permettent aux usagers de calculer leur position. Ces récepteurs GPS, reçoivent simultanément les signaux GPS et ceux des SBAS d'un format très voisin.

Le segment support

Il est composé des équipements fonctionnant off-line, à savoir :

- La "Performance Assessment and Check Out Facility" PACF, du centre technique d'EGNOS qui vient à l'appui de la gestion du système⁴¹. L'exploitation de ce centre a été confié à la France (Direction de la Navigation Aérienne et Centre National d'Etudes Spatiales), le PACF sera installé à Toulouse.

⁴⁰ Dans le jargon des spécialistes le WAAS américain et le MSAS japonais sont des SBAS.

⁴¹ Suivi des performances d'EGNOS, investigation des anomalies, spécification, validation et test des évolutions, coordination de la maintenance de la formation des personnels, contrôle de la configuration du système et archivage.

- Les "Application Specific Qualification Facility" (ASQF) qui mettent à la disposition des autorités responsables de l'aviation civile et de la certification aéronautique les outils permettant de qualifier, valider et certifier les diverses applications d'EGNOS. L'ASQF sera située en Espagne, Torrejon et exploité par l'AENA.

3.6.4 - Perspectives de mise en service du système EGNOS

Une base de tests EGNOS (EGNOS System Test Bed - ESTB) composée des divers éléments de tests développés dans la première phase du projet, et considérée comme partie intégrante du développement d'EGNOS, a été livrée au maître d'ouvrage en fin 1999. Ce banc de test est opérationnel depuis février 2000.

L'ESTB est constitué :

- d'un nombre limité de stations de référence RIMS qui reçoivent les informations GPS,
- d'un centre de traitement situé en Norvège qui élabore les informations de corrections différentielles et d'intégrité,
- d'un centre de traitement à Toulouse qui en utilisant les informations du centre précédent élabore un signal ESTB complet,
- de deux stations terriennes NLES qui permettent de diffuser le signal élaboré à Toulouse respectivement vers les satellites AORE et IOR.

Le première mission assignée à l'ESTB est de valider les performances attendues d'EGNOS et rappelées ci-dessus.

Des contacts que l'IFN entretient avec les services compétents de l'Aviation Civile, le CNES et EUROCONTROL laissent penser que le développement du système EGNOS progresse dans des conditions normales.

Il ne nous paraît donc pas douteux que le système subira avec succès la revue critique de définition qui est prévue pour la fin de l'année 2000. Au surplus le banc d'essai ESTB permettra de réaliser comme prévu des démonstrations grandeur nature permettant de recueillir des données de premier intérêt sur le comportement du système et ses performances effectives.

On ne peut cependant pas préjuger aujourd'hui des résultats de l'étude INTEG menée à l'initiative de l'Union Européenne des conditions dans lesquelles s'effectuera l'intégration d'EGNOS et de Galileo⁴².

3.6.5 - Coût du système EGNOS

D'après nos correspondants de l'Aviation Civile le coût de premier établissement d'EGNOS serait de l'ordre de 200 MF et probablement légèrement inférieur.

Les évaluations qu'avaient faites le STNA dès 1997 des coûts et dépenses d'exploitation et que rappelle le tableau ci-dessous restent valables.

Le tableau montre que l'on ne peut espérer voir rentabilisé le système EGNOS du fait d'économies résultant de la suppression du service du système de radionavigation existant.

⁴² Une étude dénommée INTEG a été lancée en fin d'année 1999 sur ce thème spécifique. Les résultats n'en seront connus qu'en fin d'année.

Rappelons à ce propos que les compagnies aériennes membres de l'AEA (Association of European Airlines) se sont déclarées fermement opposées à toute tentative d'augmentation du niveau des redevances rémunérant le service de radionavigation. Il n'y a pas lieu de s'attendre à une modification de cette position.

COÛTS D'EGNOS

		AOC Advanced Operational Capability		FOC Full Operational Capability		
Niveau		1	2	3	4	5
Zone de service			CEAC ⁴³	25% CEAC	CEAC	CEAC
Réseau de stations nécessaires	Master control station	1	2	2	4	4
	RIMS ⁴⁴	5	14	14	29	37
	NLES ⁴⁵	2	2	4	8	8
	nb de satellites géostationnaires	2	2	4	4	4
	utilisation la plus exigeante	navigation de zone de précision moyen primaire	approches classiques (non-precision approaches) moyen primaire	approches classiques avec guidage vertical moyen unique	approches classiques sans guidage vertical moyen unique	approche de précision moyen unique
Coût d'exploitation Mecus/an pour l'Europe		19,1	17,3	20,8	27,2	32,4
Coût en Mecus/an pour la France		3,9	4,1	4,7	7,7	8,0
Date où les opérations deviennent bénéficiaires ^{NB} en France (départ en 1997)		?	2014	2009	2012	2020
Bénéfices pour l'Europe à partir de ^{NB}		jamais		2006	jamais	

NB : La mise en œuvre de GNSS devient bénéficiaire pour les services de navigation français à cause d'un retrait plus important en France que dans le reste de l'Europe des VOR et des DME qui y sont plus denses, du fait de la situation centralisée de notre pays par rapport aux flux de trafic; mais ce bénéfice provient aussi du retrait plus ou moins progressif des ILS qui sont beaucoup plus nombreux sur les aérodromes français.

A l'inverse, dans la période intérimaire, le surcoût dû au fonctionnement simultané des deux types d'infrastructure est plus pénalisant en France.

⁴³ CEAC : Conférence Européenne de l'Aviation Civile (33 Etats).

⁴⁴ Ranging and Integrity Monitoring Stations (stations d'observation du fonctionnement de GPS et Glonass).

⁴⁵ Navigation Land Earth Stations (stations de connexion au satellite de diffusion de données).

3.6.6 - Conclusion

On retiendra de l'exposé qui précède que le système EGNOS combine un large ensemble de moyens :

- d'élaboration de corrections des informations des systèmes satellitaires,
- de transmission de l'information,
- de contrôle de la gestion de l'ensemble des éléments composant le système et de fonctionnement de leurs interfaces.

EGNOS apparaît bien comme un système différentiel mettant en jeu, très largement en plus des techniques différentielles, les moyens d'étendre la couverture du système et plus généralement tous ceux qui visent à amener la qualité du service rendu au niveau souhaité par les services de l'Aviation Civile⁴⁶.

Trois remarques concernant EGNOS sont à garder présentes à l'esprit dans les discussions qui vont suivre :

i) Les concepteurs et réalisateurs d'EGNOS ont essentiellement visé à satisfaire des besoins correspondant à une seule application : la navigation aérienne. Encore convient-il de noter que les ambitions initiales ont été quelque peu atténuées. L'idée initiale qu'un système satellitaire convenablement "augmenté" pourrait être considéré comme le moyen unique permettant de naviguer sans risque inacceptable ne suscite dorénavant que peu d'enthousiasme.

Les SARPs de l'OACI ont été corrélativement progressivement augmentées pour mieux assurer la compatibilité entre ce qui est possible et ce qui est désirable (voir à ce sujet réf. [XXIV]).

Quoi qu'il en soit de ces modifications, et même s'il est vrai que les exigences de performance de l'aviation civile étaient très contraignantes, un système répondant à ces exigences ne satisfait pas nécessairement à celles de toutes les applications. Notre rapport de mai 1998 avait attiré en particulier l'attention sur les exigences de qualité des applications intéressant les systèmes de contrôle - commande de la gestion de la circulation des trains sur des voies à trafic dense.

ii) Dans l'esprit des promoteurs du système EGNOS les récepteurs GPS doivent pouvoir utiliser sans modification préalable toutes les informations diffusées par le nouveau système. Il conviendra d'autant plus de vérifier ce fait que si EGNOS intéresse d'autres utilisateurs que les compagnies d'aviation, il faudra s'assurer de la compatibilité d'EGNOS avec les récepteurs GPS de ces autres utilisateurs. Cette compatibilité n'est pas certaine a priori car des récepteurs différents sont fréquemment utilisés pour des applications différentes.

iii) Le système EGNOS n'échappe pas aux contraintes résultant de l'utilisation du GPS comme système satellitaire de base. Si des configurations satellitaires européennes telles que Galileo voient le jour, il conviendra évidemment d'étudier les moyens de rendre EGNOS compatible avec la nouvelle configuration (voir ci-dessus la note de pas de page concernant l'étude INTEG d'intégration de GPS et de Galileo).

⁴⁶ A l'exclusion cependant des services exigés par la phase terminale des vols.

IV^{ème} partie - Rôle de la puissance publique

4.1 - Généralités

Dans cette quatrième partie nous nous proposons d'examiner les raisons qui motivent l'intervention de l'Etat dans la mise en œuvre et la gestion des systèmes différentiels.

Nous débuterons par un rappel des motifs qui sont en France reconnus comme justifiant les interventions de l'Etat dans ce type d'activités.

Nous examinerons ensuite les conditions dans lesquelles l'Etat :

- exerce ses prérogatives dans le domaine réglementaire,
- fournit certains services d'information de position et de temps,
- participe à la promotion des intérêts de l'industrie française.

Notons dès à présent que ni la mise en œuvre, ni la gestion des systèmes différentiels ne sont fondamentalement différentes de celles qu'impliquent tout système d'information mettant en présence un fournisseur de service et l'ensemble des usagers auxquels ce service s'adresse.

La particularité des services considérés ici sont le résultat de deux facteurs.

L'un est le fait que la décision de développement de systèmes différentiels fondés sur l'utilisation de systèmes satellitaires de base ne soit pas du seul ressort d'entités françaises. Les décisions prises au niveau international jouent ici un rôle majeur.

L'autre est le fait que l'Etat peut être amené à jouer le rôle d'opérateur de certains services différentiels considérés comme d'intérêt public.

4.2 - Les motifs de l'intervention de l'Etat

Les motifs qui sont en France reconnus comme justifiant l'intervention de l'Etat peuvent être rangés en quatre catégories :

- i) le respect des obligations internationales telles qu'elles ont déjà été souscrites et la défense des intérêts français lors de l'élaboration de tout nouvel accord international,
- ii) la volonté de garantir aux citoyens un niveau convenable de la sécurité des divers modes de transport (aéronautique, maritime et terrestre),
- iii) la volonté de garantir aux citoyens leur liberté individuelle, celle en particulier de ne pas s'opposer à leur libre déplacement sauf dans des circonstances spécifiées par la loi,
- iv) la défense et la promotion des intérêts français.

Dans ce cadre le rôle dévolu à l'Etat consiste essentiellement à définir le cadre réglementaire dans lequel doit se tenir les activités de mise en œuvre et d'utilisation des

informations produites par les systèmes différentiels, ainsi que les dispositions selon lesquelles l'observance des règles est contrôlée.

L'on considère plus particulièrement en France comme conforme aux objectifs ii) et iv) ci-dessus que l'Etat assure par ses propres moyens, la mise en œuvre et la gestion des systèmes différentiels destinés aux applications dites sécuritaires. Ces applications sont définies comme celles destinées à rendre possible ou simplement à faciliter les activités (essentiellement de transport) qui risquent de mettre en danger la vie humaine.

Dans ces conditions nous examinerons séparément dans ce qui suit :

- les interventions de la puissance publique dans le domaine réglementaire en distinguant entre les dispositions réglementaires qui affectent tous les types d'application et celles spécifiques aux applications sécuritaires.

Ces dernières sont par définition les applications utiles à des activités comme par exemple l'activité de navigation, dont l'exercice comporte des risques de pertes de vie humaine.

- les interventions de la puissance publique dans son activité de fournisseur de service,
- celles enfin qui ont pour objectif la défense et la promotion des intérêts économiques français.

4.3 - Le domaine réglementaire

C'est dans le domaine réglementaire que s'exercent (en France et dans beaucoup d'autres pays) les prérogatives de l'Etat.

4.3.1 - Applications toutes catégories

Les dispositions réglementaires concernent toutes les catégories d'application. Elles peuvent être subdivisées en :

- dispositions techniques,
- dispositions de nature déontologique,
- dispositions relatives aux règles relatives à la libre concurrence.

Dispositions techniques. La préoccupation principale concerne l'utilisation du spectre radioélectrique.

Nous avons rappelé dans la troisième partie les raisons qui ont conduit à utiliser pour les besoins de la diffusion des corrections différentielles les bandes de fréquence attribuées par le Règlement des Radiocommunication de l'UIT :

- au service de radionavigation maritime (110-130 kHz) LORAN "C" et système "EUROFIX",
- au service des radiophares maritimes (283,5 - 325 kHz) système DGPS au format RTCM 104,
- à la radiodiffusion MF (148,5 - 255 kHz) système ALF,
- à la radiodiffusion en modulation de fréquence VHF (85,5-108 MHz) système au format RDS et DARC,
- au service mobile UHF (862-1160 MHz) au format DAB en bande "L" EGNOS.

Si les applications des systèmes différentiels se multiplient, et pour éviter l'encombrement du spectre de fréquences, il faudra élaborer un plan d'allotissement de fréquences de transmission des corrections différentielles.

Un tel plan devra être adopté par les organisations intergouvernementales compétentes. Ces organisations sont l'OMI pour le domaine maritime, l'OACI pour le domaine aéronautique, l'UIT pour l'assignation et l'utilisation des fréquences.

L'adoption d'un tel plan offrirait d'abord la garantie que les stations d'émission des corrections se développent en suivant un programme convenable. Elle constituerait en outre la base d'actions de normalisation, permettant de réduire les coûts de production des équipements. On sait le rôle que joue en matière de standardisation les organisations telles que l'ISO et l'IEC ainsi que celui des organismes tels que RTCA et RTCM dans la production de normes et de protocoles d'essai.

Dans de nombreuses applications dont certaines n'ont fait l'objet que de peu de réalisation concrètes mais seront sûrement appelés à d'importants développements, l'usager final de l'information de position et de temps relative à un individu déterminé n'est pas cet usager lui-même mais un tiers.

Tel est le cas par exemple :

- d'un gestionnaire d'une flotte d'usager de transport (navires, camions, etc...) qui souhaitent connaître, à des fins de gestion de cette flotte, les positions à divers instants des éléments la composant,
- des sociétés automatisées voulant mettre en réseau un système de péage automatique,
- de services d'aides d'urgence à des véhicules en avarie ou en détresse.

Dans de telles applications le risque existe que l'information de position d'un individu impliqué dans le processus soit utilisé en son nom ou sans son accord.

Il est clair qu'il appartient à la puissance publique de définir des limites de l'utilisation par des tiers de l'information concernant les individus.

A notre connaissance les législateurs des pays européens ne sont aujourd'hui pas d'accord sur les nécessaires rapports juridiques entre informatique et liberté.

On conservera donc en mémoire la nécessité d'actions commune visant à harmoniser l'arsenal juridique gouvernant le sujet.

Dispositions relatives à l'exercice de la libre concurrence. On a vu plus haut que des applications ayant un objectif commun ont été développées par divers groupes d'industriels n'ayant pas de rapport entre eux.

C'est le cas par exemple des systèmes satisfaisant aux besoins de la recherche pétrolière.

Il n'y aurait donc pas pour le moment de tendance à des regroupements mettant en danger l'exercice de la libre concurrence.

La situation peut apparaître plus incertaine dans le domaine des applications sécuritaires bien que dans celui-ci les administrations soient maîtres du jeu.

Quoi qu'il en soit il conviendra de vérifier, ce que nous n'avons pas fait, si l'arsenal juridique existant garantit correctement l'exercice de la libre concurrence. Si la conclusion est négative il faudra préparer les ajustements nécessaires.

Il est à noter que ces actions ne doivent pas se limiter à la France seule mais être étendues au moins à l'Union Européenne. La France pourrait prendre l'initiative d'attirer l'attention de la Direction compétente de la Commission Européenne sur ce point.

4.3.2 - Applications sécuritaires

Nous envisagerons dans les deux paragraphes suivants :

- les conséquences sur les actions de réglementation de la prise en compte du caractère sécuritaire de certaines applications,
- les évolutions à prévoir de la méthodologie de cette réglementation.

4.3.2.1 - Conséquences sur la réglementation du caractère sécuritaire de certaines applications

Le caractère international des transports aéronautique et maritime et le coût pour la société des accidents impliquant la perte de vies humaines et le retentissement dans l'opinion publique de tels sinistres, conduisent les organisations internationales à ne pas limiter leur effort de réglementation à la seule gestion mentionnée de spectre radioélectrique.

Les instances internationales citées au paragraphe précédent se sont chargées d'un travail considérable de définition et de mise en œuvre de méthode détaillées d'analyse :

- des risques et de leurs conséquences,
- de l'impact des mesures visant à les limiter.

Ces travaux se traduisent par la mise au point au niveau international de textes de divers niveaux (conventions - résolutions - recommandations) soumis à des procédures strictes d'adoption ou d'homologation spécifiant :

- les objectifs des services d'information de position et de temps utilisés dans les applications sécuritaires (spécification opérationnelle),
- l'architecture et les conditions de mise en œuvre des systèmes fournissant le service spécifié (spécification technique des systèmes et de leurs composants),
- les conditions dans lesquelles sont délivrées les autorisations d'emploi des systèmes satisfaisant aux conditions ci-dessus.

Ces mêmes travaux concernent non seulement les interfaces entre le matériel et les personnels qui en assurent le service, mais aussi les niveaux de qualification des personnels et les procédures permettant de s'assurer de la conformité aux exigences de ces qualifications.

Ce sont les organisations internationales du paragraphe précédent qui jouent le rôle mentionné dans la préparation de la réglementation.

Les Etats dès lors qu'ils ont adhéré aux dispositions édictées au niveau international assurent la responsabilité de l'application des textes internationaux éventuellement complétés pour tenir compte d'exigences locales particulières.

Dans ce cadre l'Etat :

- vérifie la conformité aux spécifications des sous-systèmes produits et installés par l'industrie,
- contrôle, lorsqu'il ne l'assure pas lui-même, la gestion par des opérateurs des sous-systèmes d'élaboration ou de diffusion des corrections. Il contrôle la qualité du service rendu,
- délivre :
 - les certificats de navigabilité attestant la capacité d'un avion ou d'un navire à utiliser des espaces maritimes ou aériens déterminés,
 - les certificats d'aptitude des personnels,

- valide les outils spécialisés de formation tels que simulateurs.

4.3.2.2 - Les évolutions envisagées de la méthodologie de la réglementation

Des tendances nouvelles se manifestent en ce qui concerne l'exercice du contrôle de qualité des services liés à la sécurité. Elles auront une incidence sur les principes de la réglementation aujourd'hui en vigueur.

Un projet lancé à l'initiative de la Commission Européenne (projet MUSSST) a pris ce sujet pour thème. Le projet propose de baser le contrôle de qualité visant à s'assurer que l'usage du système respecte les objectifs de sécurité des applications sécuritaires sur les principes suivants, valables quel que soit le mode de transport concerné :

i) le contrôle de qualité de l'information de position et de temps nécessaire aux applications de navigation doit s'exercer aux niveaux :

- du calcul des corrections aux stations de référence ainsi qu'à celui de l'émission des dites corrections,
- de la présentation des informations de position et de temps au responsable de la conduite des mobiles par l'intermédiaire de l'interface homme-machine du récepteur,
- du mobile lui-même qui doit être apte à effectuer la mission qui lui est assignée grâce aux informations fournies par le récepteur,

ii) le contrôle de qualité consiste pour l'essentiel en la mise en œuvre de procédures de validation et de vérification. C'est l'esprit des normes ISO de la série 9000⁴⁷,

iii) il convient de substituer aux obligations de moyens qui définissent le plus souvent aujourd'hui les modalités de réalisation de divers types d'équipement des obligations de résultats. Dans une telle approche ce sont les producteurs ou installateurs d'équipement et les fournisseurs de service qui doivent apporter la preuve que les équipements et les conditions de leur utilisation satisfont aux exigences.

Dans une telle approche, les producteurs, équipementiers et fournisseurs de service doivent présenter aux autorités chargées de la certification d'approuver un document de sécurité (safety case) fournissant les justifications nécessaires.

4.4 - Le rôle de fournisseur de service

Nous avons indiqué dans la troisième partie que l'Etat français a d'ores et déjà pris l'initiative de fournir des services de corrections différentielles⁴⁸ satisfaisant aux besoins :

- de la navigation maritime : Réseau dit des "Phares et Balises" de stations fournissant des corrections au format RTCM 104,
- des usagers terrestres et notamment tous ceux qui à divers titres sont intéressés par un géoréférencement de précision (levés topographiques) issue de navigation terrestre.

On sait par ailleurs qu'en France l'administration de l'aviation civile est chargée de la fourniture des informations de navigation aéronautique en route et aux approches des aéroports. Les systèmes différentiels qui se substitueront en tout ou partie aux systèmes de

⁴⁷ Sur la base desquelles ont été mises au point des normes applicables aux composants du système et notamment aux logiciels associés.

⁴⁸ Aujourd'hui uniquement fondés sur le GPS mais extensibles en principe à d'autres infrastructures satellitaires de base.

radiopositionnement existants seront donc normalement fournis aux usagers sous la responsabilité de la Direction Générale de l'Aviation Civile.

On sait d'autre part :

- que les usagers du réseau de stations DGPS des Phares et Balises ne sont astreints à aucune redevance en application du principe français⁴⁹ que le service d'aide à la navigation maritime est un service public fourni gratuitement aux marins,

- que les missions d'élaboration de corrections DGPS valables sur le territoire national et de contrôle de leur qualité sont de la même manière institutionnellement considérées comme un service public, ce même principe ne s'appliquant pas à la diffusion de l'information correspondante,

- qu'en revanche le service des aides à la navigation aéronautique fait l'objet de redevances perçues par Eurocontrol sur les compagnies de navigation aérienne, puis reversées au budget annexe de l'Aviation Civile.

On sait aussi que dans les trois cas cités, les usagers ont à faire leur affaire d'acquérir à leur frais et d'installer les récepteurs leur permettant d'utiliser l'information.

Dans cette situation on peut se demander si l'Etat français doit ou non continuer à jouer à l'avenir le rôle de fournisseur de certains services de corrections différentielles.

La réponse à cette question dépend des hypothèses que l'on peut faire sur l'évolution prévisible de l'implication des Etats dans la mise en œuvre et l'exploitation des systèmes de base. Ces hypothèses seront présentées sous la forme de scénarios dans la cinquième partie du présent rapport. Nous renvoyons donc l'analyse de la question à la fin de cette étude.

Notons néanmoins dès à présent qu'une modification des conditions de l'intervention de l'Etat en tant qu'opérateur de systèmes élaborant et diffusant lorsqu'il y a lieu les corrections différentielles modifierait le régime de répartition des dépenses entre la collectivité et les usagers finaux des dites corrections.

4.5 - La promotion des intérêts français

Les intérêts français attachés aux systèmes différentiels sont directement liés à ceux de notre pays pour les systèmes satellitaires de base dont ils sont un sous produit.

Nous n'avons donc pas cherché en règle générale⁵⁰ à les inclure de façon spécifique.

Les indications qui suivent mesurent donc les intérêts globaux de notre pays pour les systèmes satellitaires en termes de volume de marché et d'emploi.

En terme de marché

La comparaison des estimations de notre étude de 1998 et les nouvelles données de communication de la Commission de l'Union Européenne du 10 février 1999, C

⁴⁹ Posé par un très ancien texte datant de la Convention (1792).

⁵⁰ Voir toutefois l'estimation particulière du marché français des récepteurs différé paragraphe suivant.

(1999)⁵⁴ final, citée plus haut avec la référence [X] conduisent, comme nous l'avons précisé dans la deuxième partie de cette étude, à des évaluations du marché français des récepteurs et des services à valeur ajoutée d'environ 1.350 MF pour l'année 2004⁵¹.

Ce chiffre ne comprend pas la part éventuellement prise par l'industrie française dans la réalisation d'infrastructure satellitaire de Galileo. La présence dans le secteur spatial de très puissants groupes français (ALCATEL, THOMSON notamment) permet de tenir pour certaine une importante participation française à ces projets.

En terme d'emploi

Dans la Communication de la Commission européenne (en son paragraphe 2.1 - création d'emplois susceptibles d'être engendrée par la mise en service de Galileo), le nombre d'emplois dépendant d'ici 2008 directement ou indirectement de Galileo est estimé à 100 000. Ramené à la France ce chiffre serait de l'ordre de 20 000 en admettant une règle de proportionnalité à la population. La part attribuable au développement des systèmes différentiels serait donc estimée en 2008 à $30\% \times 20\ 000 = 6\ 000$ si l'on admet que le chiffre d'affaires des systèmes différentiels et de leurs applications sera de 30% de celui concernant le système de base et ses applications.

Cette dernière valeur paraît surestimée. En effet même si l'on admet entre 2004 et 2008 un nouveau triplement du "marché différentiel", les évaluations faites ci-dessus conduisent à estimer ce dernier marché aux environs de 1,3 Milliards de Francs. Ceci ne correspondrait qu'à environ 1 500 emplois.

Bien entendu les considérations qui viennent d'être développées n'ont aucune rigueur et d'ailleurs les prévisions de la Commission ne prétendent pas à la précision.

On retiendra cependant que l'adoption de deux voies différentes ne conduit pas à de graves incohérences. Nous proposons finalement le chiffre de 2 000 emplois comme valeur plausible de l'impact sur l'emploi en France du développement de systèmes différentiels à l'horizon 2008.

Devant l'importance de ces intérêts exprimés en terme de marché ou d'emploi, il ne paraît pas douteux que l'Etat sera amené à intervenir au moins à deux niveaux :

- celui de la participation aux négociations internationales concernant la définition des systèmes de base,
- celui de la recherche.

Sur le premier point l'action consistera à s'assurer que les systèmes de base et les standards auxquels ils devront satisfaire soient compatibles avec les développements de technologies bien maîtrisées par notre industrie.

Sur le second point il s'agira de favoriser en France l'émergence de nouvelles applications et la promotion des technologies correspondantes notamment dans les domaines apparemment les plus porteurs comme par exemple les systèmes de transport intelligents.

⁵¹ D'après nos échanges avec le constructeur français de récepteurs différentiels la proportion du marché correspondant peut être évaluée aux environs du tiers du marché (soit 400 MF en 2004). Le développement très rapide à moyen terme des services à valeur ajoutée dans le domaine terrestre (transport routier et agriculture) devrait se répercuter en France à une cadence au moins égale à celle qu'annoncent les études du projet GALA pour le marché européen à partir de 2004.

V^{ème} partie - Les évolutions prévisibles de la situation

des systèmes différentiels et de l'attitude de l'Etat à leur égard

5.1 - Généralités

Nous nous proposons dans cette cinquième partie, d'examiner les évolutions probables des systèmes différentiels et de l'attitude de l'Etat à leur égard.

Les facteurs susceptibles d'influer sur l'évolution des systèmes différentiels sont la demande et l'offre de services d'information de position et de temps de qualité meilleure que ceux fournis par les configurations satellitaires de base.

Notre rapport a donné dans ses 2^{ème} et 3^{ème} parties des indications factuelles qui vont bien entendu être utilisées comme base de nos projections dans le futur.

De la même façon le rapport énonce dans sa quatrième partie les motifs qui gouvernent l'attitude prise par l'Etat vis à vis des services fournis par les systèmes différentiels. Ces motifs et les missions que s'assigne en conséquence la puissance publique sont suffisamment pérennes pour qu'ils servent eux aussi de base aux extrapolations envisagées.

Néanmoins l'évolution de la situation des systèmes (et avec elle en principe celle de l'attitude de l'Etat) dépendent aussi de circonstances parfaitement identifiables mais sur l'occurrence desquelles on ne dispose pas d'information.

Force est alors de fonder l'étude des évolutions possibles non seulement sur les données fournies par le rapport mais aussi sur des ensembles convenables d'hypothèses concernant l'occurrence des circonstances considérées.

Dans ce cadre on trouvera ci-après :

- la définition des hypothèses caractérisant les divers scénarios,
- les analyses des conséquences dans les divers scénarios des hypothèses et des données de base.

5.2 - Hypothèses de base

5.2.1 - Les hypothèses de base concernant l'infrastructure des systèmes

Pour d'évidentes raisons de simplicité nous avons limité très strictement le nombre des hypothèses de base.

Celles-ci sont au nombre de 4.

Elles sont d'abord simplement énoncées dans le paragraphe suivant. Elles font ensuite l'objet de quelques commentaires.

5.2.2 - Enoncé des hypothèses

Hypothèse H₁ - La configuration des systèmes satellitaires de base ne comprend que GPS et GLONASS.

Les caractéristiques de GPS sont celles assignées par le gouvernement des Etats-Unis à la seconde génération de GPS. Le gouvernement des Etats-Unis maintient sa décision de mettre un terme - sauf motif grave laissé à sa seule appréciation - à la dégradation volontaire du signal connu sous le nom de selective availability (SA).

Le système GLONASS est supposé comporter le nombre nominal de satellites qui doivent normalement constituer sa constellation et fonctionner dans des conditions lui assurant un niveau de service également nominal⁵².

Hypothèse H₂ - La configuration des systèmes satellitaires de base est composée :
- du système GPS et du système GLONASS dans les conditions de l'hypothèse H₁,
- du système Galileo sous la forme envisagée par la Communication de la Commission COM (1999) 54 final, réf. [X].

Hypothèse H₃ - Les systèmes différentiels EUROFIX et EGNOS se révèlent ne pas répondre aux besoins d'une fraction significative des usagers.

Hypothèse H₄ - L'un ou l'autre (ou les deux) des systèmes différentiels EUROFIX et EGNOS se révèle répondre aux besoins d'une fraction significative des usagers.

Les hypothèses H₁ et H₂ d'une part, H₃ et H₄ d'autre part sont exclusives l'une de l'autre. Ceci va nous conduire à examiner un ensemble de 4 scénarios possibles H₁ et H₃, H₁ et H₄, H₂ et H₃, H₂ et H₄.

Toutefois des distinctions seront faites à l'occasion de l'examen des combinaisons incluant l'hypothèse H₄ suivant que seul le système EGNOS ou seul le système EUROFIX répondrait au besoin d'une fraction significative d'usagers.

5.2.3 - Commentaires

Sur l'hypothèse H₁ - L'hypothèse H₁ correspond au cas où l'Union Européenne ne donne pas suite au projet Galileo. Bien que l'Union Européenne ait manifesté une forte volonté de prendre des dispositions visant à acquérir son indépendance vis à vis des Etats-Unis, il n'est pas à exclure que les Etats membres expriment des divergences d'opinions se révélant finalement insurmontables et entraînant l'abandon du projet.

Sur l'hypothèse H₃ - La principale inconnue concerne les conditions notamment de coût dans lesquelles les usagers potentiels d'EGNOS et d'EUROFIX pourront acquérir et utiliser les récepteurs correspondants.

⁵² Cette hypothèse pourrait être subordonnée à des actions de coopération entre la Russie et des pays industrialisés intéressés par le maintien en service de la constellation GLONASS.

En outre si le système EGNOS, bien qu'exclusivement conçu pour satisfaire aux besoins de l'aviation civile, est susceptible de satisfaire aussi aux exigences d'autres utilisateurs et en particulier de ceux de la navigation maritime, il est pour le moins douteux que le système EUROFIX fondé sur la réutilisation du réseau de stations LORAN "C" satisfasse aussi aux besoins d'atterrissage de l'aviation civile.

5.2.4 - Les hypothèses de base concernant le rôle de l'Etat

Nous avons mentionné ci-dessus le caractère permanent des raisons, exposées dans la quatrième partie, qui motivent en France les interventions de l'Etat.

On ne voit pas en effet ce qui viendrait modifier le rôle de l'Etat vis à vis des divers types d'application, notamment sécuritaires, ni les missions de défense des intérêts français, ni, par conséquent, celles de coordination des actions des départements ministériels intéressés.

On peut se demander cependant si dans la perspective d'une évolution libérale des modalités d'intervention de l'Etat il faut ou non revenir sur :

- l'opportunité pour l'Etat d'assurer par ses propres moyens la mission de fournisseur de service,
- la généralisation à certains domaines, parmi lesquels celui de la navigation maritime, du principe que c'est l'utilisateur et non l'impôt qui doit prendre en charge les dépenses de fourniture du service de position et de temps.

L'attitude qui sera prise par l'Etat sur l'un et l'autre points n'a pas d'influence décisive sur l'évolution de la situation des systèmes selon les combinaisons d'hypothèses définies au paragraphe précédent.

Nous pouvons donc ne discuter les hypothèses concernant le rôle de l'Etat qu'après avoir analysé les situations définies par les hypothèses H₁ à H₄ du paragraphe 5.2.2.

5.3 - Les scénarios d'évolution de la situation des systèmes différentiels

5.3.1 - Scénario I

Ce scénario est défini par les données du rapport et les hypothèses H₁ et H₃.

Dans le scénario défini par les hypothèses H₁ et H₃, l'Union Européenne se contente de la situation présente. L'Union Européenne abandonne le projet Galileo et l'on fonde le développement des systèmes différentiels essentiellement sur l'existence de GPS quitte à rechercher des moyens de se soustraire au monopole des Etats-Unis grâce à des accords à passer avec la Russie⁵³.

⁵³ GLONASS est en effet susceptible d'apporter un complément d'infrastructure intéressant dans la mesure où la Russie peut seule ou avec une aide extérieure réunir les moyens de maintenir le système en état de fonctionnement.

La décision récente de suppression de la SA a décalé de façon significative la limite en dessous de laquelle des systèmes différentiels sont nécessaires pour améliorer la précision des informations de position fournies en temps réel par le système de base (22 m⁵⁴).

Néanmoins une forte demande existe aux fins de navigation maritime et terrestre ainsi qu'à celles de géoréférencement d'une précision nettement supérieure.

Les systèmes fournissant en temps réel la précision de 5 m ou mieux, dont des exemples sont fournis en France respectivement par le système des Phares et Balises et le système DGPS de l'IGN ont donc dans les hypothèses considérées un avenir assuré. La population des utilisateurs de l'un et l'autre de ces services est appelée à croître à un rythme très élevé (voisin du triplement en 4 ans).

En outre l'exploitation permanente de ces services apporte à leur gestionnaire ainsi qu'aux fabricants des équipements une expérience irremplaçable qui seule peut leur permettre d'acquérir les compétences voulues dans un contexte de forte concurrence internationale.

Dans le scénario I il convient d'après nous que l'Etat continue de promouvoir les systèmes dont il assure aujourd'hui la gestion. Dans ce cadre devrait être encouragé le développement du réseau DGPS de l'IGN ainsi que l'intégration dans ce réseau des stations de référence du réseau des Phares et Balises. L'on avait noté que ces actions n'entraînent pour l'Etat que des dépenses modestes compatibles avec le budget des services concernés.

On peut penser dans ce cadre que ce sont les corrections élaborées dans leur version de 2ème génération par les stations de l'IGN (virtuelles ou non) qui soient transmises par les émetteurs des Phares et Balises.

Dans une telle architecture, les corrections destinées aux utilisateurs maritimes devraient continuer d'être émises dans la bande de fréquences aujourd'hui utilisée (285-325 kHz), grâce auxquelles les corrections sont reçues à des distances convenables.

Dans le scénario I les besoins de l'aviation civile ne sont couverts qu'imparfaitement par les systèmes de base.

Aucun système différentiel national même distribuant des informations de qualité requise ne répond aux exigences de couverture du territoire de l'Union Européenne.

L'échec d'EGNOS qu'implique l'hypothèse H₃ conduira à reprendre ce projet mais l'entreprise exigera une longue période pendant laquelle les besoins de l'aviation civile continueront d'être couverts par les moyens conventionnels.

5.3.2 - Scénario II

Ce scénario est défini par les données du rapport et les hypothèses H₁ et H₄.

Dans ce scénario, l'Europe a décidé de ne pas donner suite au projet Galileo.

Cependant, la communauté des usagers reçoit avec faveur les informations de position et de temps fournies soit par EGNOS soit par EUROFIX.

⁵⁴ Et même peut être mieux sur le territoire français ainsi qu'il résulte de mesures récentes.

Dans un cas comme dans l'autre on peut se demander si le succès du marché des récepteurs des signaux "EGNOS" et "EUROFIX" est susceptible d'influencer les développements du système français dit des Phares et Balises et de l'IGN.

La réponse à la question est incertaine. Tout d'abord, les précisions annoncées d'EGNOS et d'EUROFIX sont à peine équivalentes à celles du système dit des Phares et Balises et donc inférieures à celles du DGPS de l'IGN. D'autre part EGNOS et "EUROFIX" malgré leur couverture européenne ne satisfont pas aux exigences de couverture mondiale de la navigation maritime. L'on ne voit donc pas de raison décisive pour qu'un navire s'équipe d'un récepteur EGNOS ou EUROFIX alors qu'il ne pourra pas recevoir un signal de même qualité lorsqu'il naviguera par exemple dans l'Océan Indien.

Quoi qu'il en soit la mise sur le marché à des prix compétitifs de récepteurs EGNOS permettra de satisfaire, en plus des besoins de l'aviation civile, à des besoins de localisation à l'échelle de l'Europe (tels que ceux de flottes de camions) ainsi peut être qu'à certains besoins d'utilisateurs nationaux. Celle de récepteurs EUROFIX permettra de satisfaire aux besoins régionaux de la navigation maritime ainsi qu'aux applications terrestres (européens ou nationaux) ne nécessitant pas de précision meilleure que celle d'EUROFIX et d'EGNOS.

En résumé EUROFIX et EGNOS pourraient prendre certaines parts de marché. Le marché du système DGPS de l'IGN ne s'en verrait pas affecté mais EGNOS aussi bien qu'EUROFIX pourrait venir concurrencer à la marge le système Phares et Balises. Dans les deux cas cette concurrence n'affecterait qu'un marché d'applications terrestres de précision moyenne (5 m).

Il n'y aurait donc pas lieu pour autant de modifier le soutien de l'Etat aux systèmes IGN et Phares et Balises vis à vis desquels l'attitude resterait celle du scénario I.

Remarquons enfin que dans le scénario II, où l'Union Européenne décide d'abandonner Galileo, le succès d'EUROFIX amènerait les Etats concernés et tout particulièrement la France à maintenir un système qui à l'échelle de l'Europe fournirait l'information de position et de temps indépendamment du système GPS.

Une telle disposition satisferait aux besoins opérationnels de la Marine Nationale Française.

Il est cependant fort douteux que le maintien en service permanent du système EUROFIX libère l'Europe de sa dépendance vis à vis de GPS.

Dans la mesure en effet où les véhicules ne sont pas équipés de récepteur EUROFIX capables de se substituer immédiatement au récepteur GPS ou EGNOS en service, la substitution d'EUROFIX à un GPS supposé rendu inutilisable pour les Européens exigera du temps et d'importants moyens.

On ne peut donc espérer voir EUROFIX jouer le rôle de systèmes de secours (back up system) auquel la Commission Européenne songeait au début des années 1990 à moins que les Etats n'imposent par voie réglementaire l'obligation d'emport de récepteurs EUROFIX. Une telle obligation devrait sans doute s'assortir de contreparties financières auxquelles aucun Etat ne paraît être prêt actuellement.

5.3.3 - Scénario III (Hypothèses H₂ et H₃) et Scénario IV (Hypothèses H₃ et H₄)

Les scénarios n° III et n° IV diffèrent des précédents par le fait que l'Europe ayant résolu de donner suite au projet Galileo, une troisième configuration de base de systèmes satellitaires est mise en service.

Dans chacun de ces nouveaux cas l'existence même d'une configuration nouvelle, européenne et fournissant des signaux de qualité au moins égale à celle du système GPS, incitera les fournisseurs européens de services différentiels à se fonder sur les données Galileo plutôt que sur les données GPS.

En l'absence de données précises sur les caractéristiques et notamment sur le format du signal délivré par Galileo ainsi que sur les conditions d'accès aux divers niveaux de service offerts par Galileo⁵⁵, il n'est pas possible d'évaluer de façon précise l'incidence sur les systèmes différentiels existants et à venir, du basculement des données GPS sur celles fournies par Galileo.

Sous réserve des modifications induites par ce basculement, on se référera donc pour ce qui concerne le scénario III aux développements du paragraphe 5.3.1. relatif au scénario I.

En revanche, le scénario n° IV donne lieu, en plus de l'observation précédente, à deux remarques.

Observons tout d'abord que ce scénario envisage une situation dans laquelle le système GPS risquerait de venir concurrencer Galileo en tant que système fournissant les informations de position, de temps et de base à exploiter par un système EGNOS construit pour et par les Européens.

Il est clair qu'une telle situation serait incohérente. On sait que l'une des études sur la base desquelles doit répondre à la fin de cette année la décision de donner suite au projet Galileo, a précisément pour objet l'intégration dans Galileo du système EGNOS. Bien qu'il ne soit pas possible aujourd'hui de préjuger des résultats de ces études, nous admettrons qu'une décision en faveur de Galileo comporte pour corollaire l'intégration de Galileo et d'EGNOS.

Remarquons d'autre part que si la décision est prise de mettre en œuvre une configuration satellitaire de base proprement européenne, l'argument qu'"EUROFIX" pourrait servir de système de réserve au cas où les Etats-Unis prendraient unilatéralement la décision d'arrêter le fonctionnement de GPS, perd sa valeur. S'il s'avérait en plus que les récepteurs EUROFIX ne peuvent pas être mis sur le marché à des prix compétitifs le système EUROFIX serait définitivement condamné.

Si au contraire le coût des récepteurs EUROFIX s'avérait attractif, les perspectives de développement d'EUROFIX sont celles déjà évoquées au paragraphe précédent, à savoir qu'EUROFIX viendrait partiellement concurrencer le système Phares et Balises et qu'il satisferait aux besoins propres à la Marine Nationale au prix de dépenses relativement modérées comme indiqué au paragraphe 5.3.2.

Cela ne modifierait pas le support que selon nous l'Etat apporterait aux systèmes des Phares et Balises et de l'IGN dans les conditions évoquées ci-dessus.

⁵⁵ Les performances des services Galileo dont l'accès au contrôle ainsi que les coûts de ces services ne sont pas complètement définis aujourd'hui.

5.4 - Les modifications possibles des modalités de l'intervention de l'Etat

Comme annoncé au paragraphe 5.2 nous évoquons ci-après les éventualités :

- a) d'une modification des conditions de gestion des réseaux gérés par l'Etat (existant pour ce qui concerne le réseau dit des Phares et Balises et en cours de réalisation, réseau de l'IGN),
- b) de l'application du principe de paiement par l'usager des services rendus.

Sur le premier point, il faut constater que beaucoup d'administrations s'interrogent sur la préférence à accorder à la sous-traitance plutôt qu'à la gestion en régie directe.

Plusieurs services de signalisation maritime de l'Europe du Nord (Allemagne, Pays-Bas, Royaume-Uni) ont étudié cette question et ont même procédé à des tentatives de privatisation. Celles-ci se sont soldées par des échecs. Ceux-ci s'expliquent par plusieurs raisons :

- les difficultés de définir les relations contractuelles entre le maître d'ouvrage et l'entreprise chargée pour son compte de la gestion d'équipements de signalisation maritime.

Ces difficultés résultent d'abord de la diversité des équipements, de la nécessité de les surveiller en permanence et d'intervenir rapidement. Elles résultent surtout de la complexité du partage des responsabilités entre maître d'ouvrage et entreprise en cas d'accident attribuable à un défaut de la signalisation.

- l'extrême étroitesse de l'offre privée,

- le coût élevé des prestations.

Il nous paraît donc devoir être exclu de confier à d'autres organisations que celle du service des Phares et Balises mise au point au fil des ans, la gestion du réseau dit des Phares et Balises.

Il en est de même du futur réseau DGPS de l'IGN. L'Institut a en effet la possibilité dans des conditions exceptionnellement favorables de mettre à profit ses compétences pour gérer de façon économique son futur réseau DGPS.

Sur le second point, on peut effectivement envisager de mettre un terme au régime de la gratuité du service des aides à la navigation et donc de celle du service des corrections différentielles du réseau des Phares et Balises.

Dans une telle approche, il serait illogique de faire un sort particulier au service des corrections différentielles et de laisser de côté la question du paiement des autres types d'aides à la navigation (phares, feux, balisages flottants) dont la gestion entraîne des dépenses d'environ deux ordres de grandeur supérieurs.

La difficulté à laquelle se sont d'ailleurs heurtés les pays qui à l'instar du Royaume-Uni ont institué des taxes d'usage du service de signalisation maritime (droits de feux⁵⁶) est d'asseoir une taxe sur une base convenable. Au Royaume-Uni pour des raisons pratiques ne sont astreints aux droits de feux que les navires faisant escale dans les ports britanniques. Echappent donc aux droits tous les navires qui font usage des équipements de signalisation maritime du Royaume-Uni sans faire escale dans ses ports.

⁵⁶ En anglais : light dues.

A tout le moins, l'institution de taxes destinées à couvrir les dépenses de fourniture d'un service actuellement gratuit dans la majeure partie des Etats Européens, ainsi d'ailleurs qu'aux Etats-Unis, devrait faire l'objet d'une concertation au niveau international.

Il n'est d'ailleurs pas certain d'après nous que le paiement de droits de feux soit en parfait accord avec les conventions internationales⁵⁷.

En résumé nous ne conseillons pas de modifier le régime actuel du réseau Phares et Balises de diffusion de corrections différentielles. Ce régime met d'ailleurs à la charge entière de l'utilisateur les dépenses d'acquisition de récepteurs apportant ainsi indirectement une contribution au budget général.

Enfin nous avons mentionné plus haut que dans le mécanisme de l'IGN si les dépenses nécessaires à l'élaboration des corrections différentielles sont prises en charge par l'Institut dans le cadre normal de sa mission de maintien et d'amélioration de l'information géographique, la diffusion des corrections, dès lors qu'elle est assurée par des organisations privées, donne lieu au paiement de redevances.

Il ne semble pas opportun de modifier ce système qui satisfait les parties prenantes.

⁵⁷ La Règle 14 du chapitre V sur la sécurité de la vie humaine en mer ne paraît guère encourager la mise à la charge de l'utilisateur des aides à la navigation.

VI^{ème} partie - Conclusions et recommandations

Cette dernière partie dresse la liste des conclusions et recommandations qui nous ont paru devoir se dégager de notre étude.

6.1 - Conclusions

Ce premier paragraphe :

- rappelle brièvement le contexte et les objectifs de l'étude,
- identifie les faits que l'étude a permis de mettre en évidence,
- dresse la liste des hypothèses qui ont servi de base à l'établissement de nos perspectives sur l'évolution prévisible des systèmes considérés,
- expose les conséquences possibles de ces hypothèses.

6.1.1 - Le contrat et les objectifs de l'étude

L'étude s'intéresse essentiellement aux systèmes qui sur la base de mesures appropriées exploitent les signaux émis par les constellations satellitaires⁵⁸ et permettent d'améliorer la qualité de l'information de position et de temps fournie par ces constellations.

L'étude concerne d'abord les systèmes visant à améliorer la **précision** de cette information. Ils mettent en jeu à cet effet des techniques dites différentielles de comparaison, en un point de position parfaitement déterminée, de la position connue du point considéré et de la mesure par le système de cette même position.

Elle concerne d'autre part des systèmes plus complexes qui améliorent, en plus de la précision de l'information fournie par la constellation de satellites au moyen de techniques **différentielles**, mais **en mettant en jeu d'autres techniques**, les autres paramètres (intégrité, continuité de service, disponibilité, fiabilité) caractérisant la qualité de l'information fournie par les constellations de satellites.

Seuls, les premiers types de système sont à proprement parler des systèmes différentiels. L'étude a cependant porté en plus sur deux systèmes du second type susceptibles de jouer un rôle important en Europe dans les applications : le système EUROFIX et le système EGNOS.

L'étude passe en revue les principaux types d'applications qui justifient la mise en œuvre de systèmes différentiels, d'EUROFIX et d'EGNOS.

Elle fait le point des informations disponibles à ce jour sur les marchés potentiels de ces applications, sur les intérêts économiques en jeu ainsi que sur les conditions tarifaires des services de position et de temps mises à disposition des usagers.

Après avoir identifié les motifs pouvant inciter l'Etat à intervenir dans la mise en œuvre et la gestion des systèmes cités, l'étude se concentre sur les évolutions probables de ces systèmes ainsi que sur celle du rôle de l'Etat à leur égard.

⁵⁸ Existantes (GPS-GLONASS) ou projetées (Galileo).

6.1.2 - Les faits que l'on peut considérer comme établis

6.1.2.1 - Le marché des applications nécessitant le recours à des systèmes différentiels est appelé à un développement explosif

Le besoin en systèmes différentiels est apparu pratiquement au moment même où se mettaient en place les premières constellations de satellites du système GPS.

L'apparition de systèmes fournissant en tout point du globe et à tout instant l'information de position et de temps a en effet tout d'un coup ouvert un marché jusqu'alors latent⁵⁹ d'applications qui mettent à profit l'ensemble des techniques d'amélioration de la qualité de l'information des configurations satellitaires de base.

Le développement des techniques de l'information et des télécommunications a largement contribué à ce développement en fournissant non seulement des moyens efficaces d'améliorer la qualité de l'information des systèmes de base, mais aussi de traiter et de combiner cette information avec d'autres. Se trouve donc aujourd'hui disponible une très grande variété de services d'information satisfaisant aux exigences d'une population toujours croissante d'utilisateurs.

D'abord limitées aux quelques dizaines de milliers de navigateurs aériens ou maritimes, ces services intéressent aujourd'hui des utilisateurs terrestres en nombre supérieur de deux ou même trois ordres de grandeur.

On a vu que l'étude GALA envisage en 2010 un marché toutes applications confondues de 20 milliards d'Euros. Pour l'année 2004, c'est à dire 4 ans avant la mise en service éventuelle de Galileo, les estimations de la Commission conduiraient au chiffre d'après nous conservateur de 3 milliards d'Euros.

6.1.2.2 - La classification des applications

Notre étude classe, comme il est d'usage, les services offerts aux utilisateurs sous la forme de diverses applications suivant la nature des activités que ces services facilitent ou rendent simplement possibles.

Dans une telle classification les applications relatives au transport sont les plus importantes. Le transport routier est appelé à jouer à moyen terme un rôle prépondérant.

Les applications concernant l'agriculture ainsi que l'exploitation des ressources naturelles fossiles (exploration pétrolière, mines) ou vivantes (pêche, gestion des espèces) ont également un large potentiel.

Une attention particulière est apportée aux activités comportant des risques de perte de vie humaine directement liées à la connaissance de la position et du temps. Les applications correspondantes qui ont pour cette raison été dénommées "sécuritaires", doivent satisfaire à des conditions très contraignantes.

⁵⁹ Même si des solutions partielles avaient d'ores et déjà été mises en œuvre pour satisfaire le besoin de radiopositionnement pour diverses applications telles que la navigation aéronautique et maritime.

6.1.2.3 - Principe des systèmes différentiels - Exemples de configurations élémentaires.

Les systèmes que l'on peut à proprement parler appeler différentiels sont basés sur le fait physique que la différence entre la position mesurée à l'aide d'une configuration satellitaire de base en un point déterminé, et la position réelle de ce point, ne varie que lentement.

Dans sa configuration la plus élémentaire, un système différentiel comporte dans ces conditions :

- une station dite de référence, où l'on calcule la différence entre la position connue de la station et la position mesurée,
- une station d'émission diffusant le résultat du calcul.

L'utilisateur est équipé d'un récepteur recevant à la fois les émissions du système satellitaire de base et les valeurs des corrections calculées à la station de référence. Le récepteur corrige de la même quantité les informations reçues du système de base. Il affiche à l'utilisateur la position corrigée.

Divers types de systèmes fondés sur ce seul principe ont été réalisés et continuent d'être développés.

Ils se différencient :

- par les performances des méthodes de mesure des corrections (par mesure sur le code du signal émis par les satellites - par mesure de phase de sa porteuse)
- par les caractéristiques (fréquence, bande passante, format des émissions des stations de diffusion des corrections).

Les paramètres influent sur la précision, la portée et les durées s'écoulant entre la réception du signal à la station de référence et l'émission des corrections.

Dans l'état actuel de la technique, des valeurs typiques des performances des systèmes différentiels sont celles du tableau suivant.

Mode de fonctionnement du récepteur à la station de référence	Précision	Accessibilité	Bandes de fréquence utilisées par les stations d'émission de diffusion des corrections	Portée
Mesure sur le code sur une fréquence	2,5 - 5 m	Temps réel	Hectométrique (285-325 kHz) radiophares format RTCM 104	200 - 400 km
Mesure sur le code sur deux fréquences	0,5 - 1 m	Temps réel	Métrique Format RDS ou DARC	100 - 150 km
Mesure de phase de la porteuse	Décimétrique, centimétrique, voire millimétrique	Temps différé	Celles utilisées le cas échéant par les réseaux de transmission de données	Couverture des réseaux de transmission de données

En France, le système différentiel dit des Phares et Balises est constitué de six stations de référence équipées de récepteurs monofréquence (couplées à des stations de diffusion des corrections utilisant la bande des radiophares maritimes. Ce système offre donc un service temps réel de précision comprise entre 2 et 5 m.

6.1.2.4 - Mise en réseau des configurations élémentaires

La mise en réseau de plusieurs stations de référence réparties géographiquement de façon convenable et leur connexion à un centre opérationnel permettent :

- d'offrir un service de corrections sur des zones plus étendues telles que le territoire français,
- de contrôler la qualité des corrections,
- de regrouper les moyens de mise au format convenable des informations pertinentes et ceux de leur transmission aux entités se chargeant de la diffusion des informations mises à disposition des utilisateurs (en temps réel ou différé).

Le réseau DGPS de l'IGN en cours de réalisation est bâti sur ce principe. Il comprendra une vingtaine de stations et un centre opérationnel. Les stations de référence étant équipées de récepteurs bifréquences, le système sera capable de fournir en temps réel une précision de 0,5 à 1 m.

Le système EUROFIX qui n'a jusqu'ici donné lieu qu'à des études approfondies de faisabilité, peut être classé dans la même catégorie. Il offre cette particularité que les stations d'émission des corrections seront les stations de l'infrastructure du système LORAN "C", que les services compétents de l'Europe du Nord maintiennent en exploitation en commun.

6.1.2.5 - Les systèmes complexes

Sous l'impulsion de l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale, les services de l'aviation civile des Etats-Unis et du Japon, ont entrepris de concevoir et de réaliser des systèmes complexes d'amélioration de la qualité des signaux délivrés par le système GPS.

Le rapport se limite à une description du système EGNOS, analogue européen des systèmes dont la mise en service est prévue aux Etats-Unis et au Japon. Des informations sont données sur l'architecture générale du système qui comporte, à côté d'un segment spatial constitué de satellites géostationnaires un important segment sol, comprenant des stations de mesures et de contrôle, des centres de communication avec le segment spatial et un important réseau interconnectant les composants du segment sol.

Depuis le début de l'année 2000 EGNOS est entré dans sa première phase opérationnelle.

6.1.2.6 - Systèmes différentiels en Europe et à l'étranger

L'analyse de la situation des systèmes différentiels en Europe et à l'étranger a porté sur les systèmes différentiels constitués d'ensembles de stations de référence et de stations de diffusion des corrections.

La diffusion des corrections au format RTCM 104 sur la bande de fréquences réservée aux radiophares s'est - depuis quelques années - généralisée en Europe, au Canada et aux Etats-Unis, d'abord à des fins de radionavigation maritime. Des applications terrestres de tels systèmes se développent à présent rapidement. Seules les applications maritimes sont pour le moment à considérer comme applications sécuritaires.

La diffusion de corrections au format RDS sur des fréquences de la bande de radiodiffusion en modulation de fréquence s'est elle aussi généralisée en Europe et aux Etats-Unis, principalement, avec initialement des objectifs de géodésie et de topographie correspondant en général aux missions des services publics (non sécuritaires) responsables de la validité des informations géographiques. Elle concerne également la

navigation des véhicules terrestres, la gestion des flottes de camions et l'agriculture. Toutefois on ne connaît pas aujourd'hui d'applications sécuritaires de tels systèmes.

Des systèmes permettant de calculer et de diffuser les corrections sur de très larges zones ont été développés principalement pour les besoins de la recherche pétrolière (système STARFIX de RACAL). Dans ces systèmes la diffusion des corrections est assurée par des satellites de télécommunication.

6.1.2.7 - Aspects financiers

Les coûts de premier établissement de chacun des éléments (station de référence, centre opérationnel, station d'émission, liaisons entre sites distincts) sont modestes (quelques centaines de kF par station). La plupart des équipements sont disponibles sur étagères. Ils ne sont pas soumis à de fortes contraintes d'installation⁶⁰.

Les dépenses de fonctionnement sont en proportion plus élevées dans la mesure où l'on doit prévoir, comme c'est le cas du réseau français des Phares et Balises, des interventions de personnels spécialisés dans des sites difficiles d'accès. Le coût des liaisons entre stations est d'autre part loin d'être négligeable.

Les coûts de systèmes complexes tels que le système EGNOS sont de deux ordres de grandeur supérieurs à ceux des systèmes précédents.

6.1.2.8 - Aspects tarifaires

Dans pratiquement tous les cas l'utilisateur ne peut faire usage des informations de position fournies par les systèmes satellitaires et convenablement corrigées, que s'il acquiert et installe un récepteur approprié.

Dans ce cadre l'utilisateur :

- peut avoir gratuitement accès aux émissions du système différentiel, c'est le cas de la plupart des réseaux du type Phares et Balises mis en œuvre et exploités par les autorités nationales chargées de la signalisation maritime,
- ou bien il doit s'acquitter en outre de redevances correspondant à l'usage continu ou occasionnel du service d'information de position et de temps.

6.1.2.9 - Le rôle de l'Etat

L'Etat prend et fait appliquer les mesures :

- permettant aux citoyens d'exercer leurs activités normales au niveau de risque accepté par la communauté nationale,
- leur garantissant l'exercice de leur liberté,
- garantissant l'exercice de la libre concurrence.

L'Etat représente et défend les intérêts de la communauté nationale dans les instances internationales où se décident les actions à mener à ce niveau.

Les interventions de l'Etat concernent principalement le domaine réglementaire. Dans ce cadre il porte une attention toute particulière à la réglementation qui a trait aux applications sécuritaires.

⁶⁰ Un ordre de grandeur très approximatif du coût d'un réseau d'une dizaine de stations est de 2 à 3 MF.

Mais en France l'Etat joue aussi le rôle de fournisseur de service, qu'il s'agisse de la fourniture des informations nécessaires à la navigation aérienne et maritime (applications typiquement sécuritaires) ou des informations géographiques de base dont la permanence et la qualité doivent être garanties par une autorité indiscutée.

Enfin l'importance des intérêts économiques français dans le domaine et de leur impact sur l'emploi justifie l'intervention de l'Etat, dans toutes les instances internationales compétentes ainsi que dans l'élaboration et le suivi de programmes de recherches nationaux.

6.1.3 - Les conditions intéressant le futur développement des systèmes différentiels

Le rapport énonce quatre hypothèses susceptibles de déterminer à moyen terme le développement des systèmes différentiels :

Hypothèse H₁ - La configuration des systèmes satellitaires de base ne comprend que GPS et GLONASS.

Hypothèse H₂ - La configuration des systèmes satellitaires de base est celle de l'hypothèse H₁, augmentée de Galileo.

Hypothèse H₃ - Les systèmes différentiels EUROFIX et EGNOS se révèlent ne pas répondre aux besoins d'une fraction significative d'utilisateurs.

Hypothèse H₄ - L'un ou l'autre des systèmes différentiels EUROFIX et EGNOS se révèle répondre aux besoins d'une fraction significative des utilisateurs.

Les hypothèses H₁ et H₂, H₃ et H₄ étant exclusive l'une de l'autre, le rapport discute les conséquences des 4 scénarios respectivement définis par les hypothèses H₁ - H₃ (scénario I), H₁ - H₄ (scénario II), H₂ - H₃ (scénario III), et H₂ - H₄ (scénario IV).

6.1.4 - Conclusions de l'analyse du développement des systèmes différentiels selon les divers scénarios

A - Conclusions communes applicables à tous les scénarios :

A.i) Dans tous les scénarios, les systèmes garantissant la qualité et la permanence des informations géographiques selon le type en cours de réalisation par l'IGN, répondent aux besoins spécifiques de populations importantes d'utilisateurs non couverts par d'autres systèmes.

A.ii) Dans tous les scénarios, la satisfaction de certains besoins spécifiques publics (par ex. contrôle et commande ferroviaire) ou privés (par ex. contrôle de la qualité d'ouvrages de génie civil), nécessite de nouveaux développements des systèmes différentiels.

A.iii) Dans tous les scénarios, il n'y a pas de raison de s'opposer au développement du marché des systèmes différentiels destinés aux multiples applications destinées à satisfaire à des besoins privés ayant typiquement pour objectif l'exploitation des ressources, sous réserve de la stricte observance de la réglementation concernant :

- la gestion du spectre des fréquences radioélectriques,
- la protection de la liberté individuelle,
- les règles de libre concurrence.

B - Conclusions communes aux scénarios I et III :

B.i) Dans les scénarios I et III, les besoins de l'aviation civile ne sont pas couverts.

B.ii) Dans les scénarios I et III les systèmes principalement destinés à la navigation maritime et utilisant les fréquences de la bande des radiophares maritimes comme les systèmes du type IGN ne sont pas concurrencés par d'autres systèmes.

C - Conclusions communes aux scénarios II et IV

C.i) Dans les scénarios II et IV, les systèmes du type Phares et Balises risquent d'être concurrencés à la marge soit par le système EUROFIX, soit par EGNOS.

C.ii) Il est douteux que le système EUROFIX satisfasse un jour à tous les besoins de l'aviation civile. Si dans le scénario II ou dans le scénario IV, EGNOS s'avérait être un échec, il faudrait en conclure que tous les besoins de l'aviation civile ne sont pas satisfaits.

C.iii) Si l'Europe décide de mettre en place Galileo, les systèmes différentiels européens devront logiquement se fonder sur l'utilisation des données de ce dernier.

D - Conclusion applicable au seul scénario III

L'abandon du projet Galileo fournirait un argument de poids au développement d'EUROFIX.

E - Conclusion applicable au seul scénario IV

Dans le scénario IV et si EGNOS reçoit de la part des usagers un accueil favorable, il faudra assurer la compatibilité d'EGNOS et de Galileo (étude INTEG).

6.1.5 - Le rôle de l'Etat en tant qu'opérateur et la gratuité du service rendu

Le rapport examine s'il convient :

- d'abandonner la gestion en régie directe des systèmes gérés par les Phares et Balises et l'IGN,
- de modifier les régimes actuels de mise à disposition de l'information, à savoir gratuité pour les corrections du système des Phares et Balises, redevance à verser par les diffuseurs privés des corrections du système IGN.

Il conclut au maintien du statu quo.

6.2 - Recommandations

Les recommandations de ce paragraphe ne concernent que les actions à mener par l'Etat dans le cadre des évolutions envisagées aux paragraphes précédents (voir à ce sujet la cinquième partie de ce rapport).

Les recommandations dont le présent paragraphe dresse la liste concernent l'attitude à prendre par l'Etat dans le cadre des évolutions envisagées au paragraphe précédent.

Cette attitude est évidemment dictée par la nature des objectifs des applications envisagées des systèmes différentiels. Selon les cas ceux-ci peuvent ou non influencer les missions régaliennes de l'Etat.

Nous avons insisté - dans ce cadre - sur les nécessaires implications de l'Etat dans les applications de caractère sécuritaire. Ces dernières justifient l'intervention de l'Etat à tous les niveaux de la conception, de la mise en œuvre et de la gestion des systèmes en y comprenant la certification des équipements, ainsi que celle de personnels chargés de leur exploitation ainsi qu'éventuellement une participation aux dépenses de 1er établissement et de fonctionnement.

Nous avons évoqué d'autre part le caractère de service public de la production, de la conservation ainsi que de l'amélioration de la qualité des informations géographiques.

Nous avons souligné d'autre part à diverses reprises que des applications répondant à des besoins strictement locaux (tels que par exemple la gestion des flottes de trains ou d'autobus), coexistent avec d'autres, correspondant à des besoins internationaux (tels que typiquement la navigation qu'elle soit maritime ou aéronautique).

Dans le second cas, les actions de l'Etat français ne peuvent s'envisager qu'en conformité avec les décisions prises au niveau international approprié.

En matière de navigation maritime ce niveau est celui de l'Organisation Maritime Internationale (OMI). En matière de navigation aéronautique ce niveau est celui de l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (OACI).

Nous avons donc divisé les actions à mener par l'Etat en deux catégories suivant qu'elles s'exercent dans un cadre international ou seulement dans le cadre national.

6.2.1 - Au niveau international

L'Etat aura à préparer et faire valoir une position sur :

- les décisions concernant Galileo,
- l'évaluation des performances, des coûts réels et des conditions pratiques d'utilisation du système EGNOS,
- le programme envisagé de tests et de développement du système EUROFIX,
- les conditions de la gestion des systèmes dont les services s'adressent à une clientèle internationale.

Le premier des sujets cités est le plus important et le plus urgent. Il n'entre cependant pas dans la mission qui nous a été confiée au titre de la présente étude⁶¹. L'issue des débats sur le sujet a donc été pris en compte sous la forme d'hypothèses dont les chances d'occurrence n'ont pas été examinées.

Sur le système EGNOS dont la vocation est essentiellement sécuritaire, plusieurs éléments gouvernent les décisions à prendre :

- le résultat des tests de validation du système EGNOS,
- l'accueil réservé aux systèmes par d'autres usagers que ceux de l'aviation civile,
- les conditions dans lesquelles serait assuré le financement du système EGNOS.

L'on peut raisonnablement prévoir le succès des tests de validation d'EGNOS. Mais on sait déjà que pour couvrir complètement les besoins de l'aviation civile et notamment ceux qui correspondent aux phases finales des vols, il faudra mettre en œuvre des systèmes

⁶¹ Et d'ailleurs quel que soit l'attrait que nous avons manifesté en 1998 dans notre étude précédente pour une solution européenne, venant contrebalancer l'influence prépondérante des Etats-Unis, le sujet mérite de toute évidence des réflexions approfondies auxquelles nous ne nous sommes pas livrés.

supplémentaires offrant de très hauts niveaux de qualité (notamment de précision et d'intégrité).

Dans l'hypothèse vraisemblable d'un succès technique d'EGNOS, et s'il se confirme que les dépenses d'exploitation d'EGNOS ne pourront être supportées par les seuls usagers de l'Aviation Civile, la question se pose nécessairement de savoir si ces dépenses peuvent être couvertes soit par le produit d'un droit d'accès, soit par des contributions des Etats. Il convient donc de se préparer aux débats que le sujet entraînera.

Dans la mesure où les études en cours sur l'intégration d'EGNOS dans Galileo n'apportent pas de réponse à cette question, et a fortiori si la décision est prise d'abandonner Galileo, il convient de promouvoir les études permettant de trancher. De telles études devraient être conduites au niveau international sous l'égide du groupe tripartite.

Sur le système EUROFIX, il faut aussi rassembler des informations sur l'adéquation d'EUROFIX aux besoins des diverses catégories d'usagers. D'après les indications rappelées dans la 3ème partie, le groupe de nations constituant le NELS (Danemark, France, Allemagne, Irlande, Norvège, Pays-Bas) dispose des estimations de la 1ère phase du projet EUROFIX qui consiste en une étude de faisabilité. Nous pensons qu'il convient, si ce n'est déjà fait, d'inciter le NELS à entreprendre cette étude avec l'objectif de se faire une idée précise, d'une part de la volonté de l'industrie de développer un récepteur EUROFIX, et d'évaluer l'accueil qui serait réservé à EUROFIX par les usagers potentiels.

Mais, même s'il s'avère que le système EUROFIX est susceptible d'intéresser une clientèle significative, la vocation sécuritaire d'EUROFIX est loin d'être certaine⁶². Il n'y aurait donc pas lieu pour l'Etat d'intervenir financièrement dans le développement du système sauf si - dans l'hypothèse d'abandon du projet Galileo - l'on voyait dans EUROFIX le seul moyen d'éviter les conséquences d'une décision unilatérale d'arrêt de GPS.

On notera cependant que l'intérêt porté au système LORAN "C" par la Marine Nationale peut justifier une contribution financière de la France au maintien en service de stations existantes mais qu'il ne peut à lui seul constituer un argument en faveur d'extensions du réseau LORAN "C".

Enfin sur la gestion de systèmes de type EGNOS ou EUROFIX qui s'adressent à une clientèle internationale, il conviendra d'examiner les conditions dans lesquelles la responsabilité de cette gestion étant confiée à des organismes internationaux, l'Etat français continuera à exercer pleinement ses responsabilités traditionnelles de certification que la qualité du service fourni sur leur territoire est conforme aux normes internationales et lorsqu'il y a lieu à leurs compléments internationaux. On sait que ce sujet est au cœur des études actuellement menées par la Commission sur les dispositions applicables aux systèmes satellitaires de base. On devra s'inspirer des résultats de ces études⁶³ lorsqu'il faudra se prononcer sur la difficile question du partage des responsabilités de la gestion entre les opérateurs qui pourront être des organismes internationaux institués par le jeu d'accords entre gouvernements et les autorités nationales qui continueront d'exercer les tâches de certification de la conformité aux normes internationales et s'il y a lieu aux règlements nationaux, des performances des équipements et des qualifications professionnelles des personnels concernés.

⁶² EUROFIX n'intéresserait de ce point de vue qu'une partie des usagers maritimes.

⁶³ Rappelons que le projet "MUSSST" de la Commission a pris ce sujet pour thème.

6.2.2 - Au niveau national

6.2.2.1 - L'organisation de l'acquisition de l'information pertinente et de la coordination des activités des services compétents

Parmi les actions à mener par l'Etat au niveau national doivent figurer en priorité l'organisation :

- de l'acquisition et la tenue à jour de l'information sur le développement et l'utilisation des systèmes différentiels,
- de la coordination des activités des services compétents.

Sur le premier point il convient de mentionner en premier lieu les actions du Conseil National de l'Information Géographique créé par décret du 26 juillet 1985.

La Commission "Positionnement Statique et Dynamique" de ce Conseil constitue déjà un lieu de rencontre et de réflexion où se regroupent la plupart des compétences françaises dans le domaine. Nous pensons qu'il faut mettre à l'étude les conditions dans lesquelles l'on pourrait créer sous l'égide du Conseil les bases de données nécessaires et lui confier la mission d'établir et de diffuser les synthèses guidant les décideurs dans leur choix.

Sur le second point, rappelons que la coordination des actions de l'Etat dans le domaine a toujours constitué un sujet difficile en raison du nombre élevé de départements ministériels intéressés. La coordination affecte plusieurs aspects parmi lesquels la mise au point des éléments d'une politique française dans le domaine ainsi que la coopération entre services exerçant principalement des activités techniques.

L'expérience de ces dernières années montre que dans un cas comme dans l'autre le Ministère de l'Equipement, des Transports et du Logement a pris conscience qu'il était le plus directement impliqué dans le développement des systèmes satellitaires et de leurs applications. Cette évolution nous semble parfaitement conforme à la réalité. La Direction Générale de l'Aviation Civile (DGAC), l'Institut Géographique National (IGN) et la Direction de l'Administration Générale et des Gens de Mer (Bureau des Phares et Balises), tous trois directement responsables des développements des systèmes considérés, appartiennent au METL.

Les réunions organisées par la DRAST auxquelles sont conviés les représentants de la commission compétente du CNIG et ceux des services cités, répondent certainement à un besoin.

Nous formulons le vœu qu'elles soient encouragées, laissant évidemment le soin à la DRAST de décider s'il convient ou non de formaliser cette pratique.

6.2.2.2 - Les actions sur le terrain

Nous avons déjà dit que selon nous il convient d'encourager l'initiative de l'IGN de développer un système d'élaboration de corrections différentielles permettant d'assurer un service temps réel de précision meilleure que 1 m.

Nous avons d'autre part évoqué et souligné l'intérêt de la proposition de l'IGN d'intégrer dans le réseau de stations de référence de l'IGN les stations du réseau géré par les Phares et Balises. Ces dernières devraient cependant être équipées de récepteurs bifréquences.

Seraient symétriquement étudiées la possibilité d'assurer les corrections diffusées par le réseau Phares et Balises au niveau de qualité de celles élaborées par les stations DGPS de l'IGN.

Deux autres types d'application des systèmes différentiels dont le domaine restera limité au territoire national ayant une vocation typiquement sécuritaire justifieraient que l'Etat y porte un intérêt particulier. Ce sont les applications concernant le contrôle et la commande du mouvement des trains sur les lignes à fort débit à voies multiples, et celles concernant la localisation des accidents. Il faudra veiller particulièrement à l'utilisation pour ces applications de fréquences convenablement protégées et organiser le contrôle systématique de la conformité des systèmes aux spécifications, éventuellement celui du niveau de qualification des personnels chargés de l'exploitation des équipements.

Pour l'ensemble des applications telles que la gestion des flottes qui ne s'adressent qu'à des populations restreintes d'utilisateurs, l'Etat ne joue pas d'autre rôle que celui du contrôle des réglementations d'ores et déjà en vigueur relatives à :

- la gestion du spectre des fréquences,
- la protection des libertés individuelles,
- l'application des règles de libre concurrence.

L'Etat peut en outre encourager des initiatives privées sous la forme par exemple d'aide à la recherche ou à des projets industriels.

6.2.2.3 - Les conditions de gestion des systèmes français actuellement gérés par l'Etat et dont le maintien en service n'est pas mis en cause

Ce paragraphe concerne le réseau dit des Phares et Balises et le réseau DGPS de l'IGN. Nous avons donné au paragraphe 6.1.5 les raisons pour lesquelles il ne nous paraît pas opportun de modifier les modalités de gestion des réseaux des Phares et Balises et de l'IGN ni celles de la mise à disposition des informations soit de l'utilisateur final (Phares et Balises) soit du diffuseur (IGN). Toutefois le cas nous paraît devoir être examiné où les corrections IGN seraient diffusées par un opérateur public, tel que par exemple Voies Navigables de France (VNF) pour les besoins de la navigation fluviale. Il convient d'examiner les conditions dans lesquelles de tels opérateurs publics seraient exonérés de redevance.

6.2.2.4 - La préparation et la mise à jour d'un "plan français de radionavigation"

On sait que le gouvernement fédéral des Etats-Unis publie et met à jour⁶⁴ un plan fédéral de radionavigation (Federal Radionavigation Plan) FRP, qui décrit le principe des systèmes fournissant l'information de position et de temps et précise la politique du gouvernement à leur égard pour les années à venir. Les plans de radionavigation sont soumis à enquête auprès des usagers. Le FRP est considéré comme un document de référence de valeur mais il permet aussi au gouvernement américain de tester systématiquement les réactions d'un large public en évitant de multiplier les enquêtes partielles de portée contestable.

⁶⁴ En principe tous les 2 ans, le dernier plan étant daté 1999.

Plusieurs pays ont suivi les Etats-Unis dans une telle démarche par exemple la Russie dont les intérêts pour les systèmes de radionavigation sont comparables à ceux des Etats-Unis mais aussi par exemple l'Italie et les Pays-Bas.

Nous pensons pouvoir recommander que la France entreprenne elle aussi de préparer un plan de développement des services fournissant l'information de position et de temps. Dans notre esprit un tel plan ne serait à entreprendre qu'à partir du moment où sera connue la décision de l'Union Européenne de donner suite ou non au projet Galileo.

L'élaboration du plan devrait durer environ une année en y comprenant les délais nécessaires à la consultation du public.

Le Centre National d'Information Géographique nous paraît devoir être l'organisme chargé de la maîtrise d'œuvre d'une telle étude.

Conclusion générale

Conformément au mandat reçu nous nous sommes efforcés dans le présent rapport de fournir une vue d'ensemble :

- des besoins en information de position de qualité supérieure à celle fournie par les systèmes satellitaires de base,
- des divers systèmes qui ont été réalisés ou dont la mise en service est envisagée,
- des évolutions que l'on peut raisonnablement prévoir de la situation présente.

Nous espérons avoir ainsi rempli le mandat que nous a confié la DRAST dans sa lettre de commande du 3 décembre 1998.

La consultation des diverses parties prenantes s'est avérée plus longue que prévu. Il en est résulté des délais supplémentaires. Ils ont été mis à profit pour tenir compte des modifications qui sont venues affecter une situation rendue très changeante du fait de la volonté de l'Union Européenne d'accélérer les études relatives au système Galileo.

Le présent travail est le résultat des efforts d'une équipe renforcée par la présence de MLR⁶⁵ et de GEOID.

Mais nous tenons à souligner que ces efforts n'auraient sûrement pas abouti si nous n'avions pas bénéficié en plus du soutien des ingénieurs de la DRAST qui nous ont donné les directives dont nous avons besoin, des avis et conseils des responsables de la DGAC, de l'IGN et de la DAMGM. Nous exprimons ici à tous nos vifs remerciements.

⁶⁵ Qui a rejoint depuis DSNP.

Bibliographie

- [I] Lettre de Commande n°98 MT 117 du 3 décembre 1998 de la DRAST (Direction de la Recherche et des Affaires Scientifiques et Techniques) du Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement (METL).
- [II] Etude sur le développement des systèmes satellitaires européens satisfaisant aux besoins des usagers civils (en exécution d'une décision d'aide à la recherche n° 96 MT 51 du 31 décembre 1996) - Rapport Final, IFN, mai 1998.
- [III] Les systèmes différentiels associés aux systèmes satellitaires fournissant l'information de position et de temps - Rapport intérimaire, IFN, 25 août 1999.
- [IV] Les systèmes différentiels associés aux systèmes satellitaires fournissant l'information de position et de temps - Note complémentaire, IFN, juin 2000.
- [V] Etude technico-économique - Réseau DGPS, FDC, 23 juin 1999.
- [VI] Transport research - APAS - Space systems for navigation, European Commission, 1996. ISBN 92 - 827 - 8254 - 9.
- [VII] Proposed Baseline European Radionavigation Plan (ERNP) - Booz, Allen & Hamilton S.A., Paris, 30 novembre 1996.
- [VIII] GNSS Strategic Study, Phase A - IFN contribution to subtasks A.41 - A.42 - User's requirements, mai 1997.
- [IX] Projet GALA - Galileo Architecture, présentation à Bruxelles du 18/19 mai 2000.
- [X] Galileo - L'engagement de l'Europe dans une nouvelle génération de services de navigation par satellites. Communication de la Commission Européenne COM (1999) 54 final, 10 février 1999.
- [XI] GPS - Localisation et Navigation, S. Botton, F. Duquenne, Y. Egels, M. Even, P. Willis, CNIG - Editions HERMES, 1996.
- [XII] Contribution de MLR Electronique S.A. à la présente étude, 1999.
- [XIII] Contribution de GEOID à la présente étude (étude technique n° 9045), juillet 1999.
- [XIV] Mise en place d'un service DGPS - Etude technique préalable (étude IGN n°27.952), août 1999.
- [XV] Le RGF (Réseau Géodésique Français) : avenir du canevas géodésique national ou la métamorphose de la NTF, IGN, juin 1995.
- [XVI] PELLE (Alain), "Mise en service du système de radionavigation GPS différentiel", revue NAVIGATION n°183, juillet 1998.

- [XVII] KÜHNE (Rudolf), ALBERDING (Jürgen), "DGPS und AMDS - Ein europäischer Positionierungsdienst im Aufbau", Séminaire SATNAV 98 organisé par la DGON, octobre 1998, Dresden.
- [XVIII] ORPEN (Ole), "Fugro STARFIX DGPS Services", in Proceedings of the Fourth International Conference on Differential Satellite Navigation Systems DSNS 95, avril 1995, Bergen.
- [XIX] ORPEN (Ole), "Recent développements in the Fugro STARFIX DGPS Services", in Proceedings of the Fifth International Conference on Differential Satellite Navigation Systems DSNS 96, mai 1996, St Petersburg.
- [XX] JOHNSTON (Gordon T), "Recent Development in GPS", in Proceedings of the Fourth International Conference on Differential Satellite Navigation Systems DSNS 95, avril 1995, Bergen.
- [XXI] IMERP Project - Implementation of the European Radionavigation Plan - Task B - Future of LORAN "C". Final report, 11 juillet 1997.
- [XXII] J. N. Pasquay, EGNOS - Contribution européenne au système global de navigation par satellite, revue NAVIGATION, n°177, janvier 1997.
- [XXIII] P. Verschueren et al., MUSSST project WP3 Final Report (juillet 2000).
- [XXIV] R. COLLEU, EGNOS, revue NAVIGATION n° 192, octobre 2000.
- [XXV] C. CARLE, La navigation par satellites, de EGNOS à Galileo. Conférence prononcée lors de l'Assemblée Générale de l'IFN (mai 2000), à paraître dans NAVIGATION, octobre 2000.

Les systèmes différentiels associés aux systèmes satellitaires fournissant l'information de position et de temps

Définitions adoptées par l'OACI
des paramètres caractérisant la qualité du service
d'information de position et de temps

Précision : Degré de conformité entre la position et/ou la vitesse estimée ou mesurée d'une plate-forme à un instant donné et sa position ou vitesse vraie. La précision de la radionavigation est habituellement présentée comme une mesure statistique de l'erreur de système.

Disponibilité : La disponibilité d'un système de navigation est le pourcentage du temps pendant lequel les services du système sont utilisables. La disponibilité est une indication de l'aptitude du système à fournir un service utilisable dans les limites de la zone de couverture spécifiée. La disponibilité des signaux est le pourcentage du temps pendant lequel il est possible d'utiliser les signaux de navigation provenant de sources extérieures. La disponibilité est fonction des caractéristiques physiques du milieu ainsi que des capacités techniques des émetteurs.

Fiabilité : Fonction de la fréquence à laquelle des défaillances se produisent dans le système. Probabilité qu'un système remplira sa fonction entre des limites de performances définies pendant une période de temps spécifiée dans des conditions d'utilisation données. L'expression théorique de la fiabilité est de un moins la probabilité de défaillance du système.

Intégrité : Aptitude d'un système à fournir en temps utile des avertissements aux usagers lorsque le système ne devrait pas être utilisé pour la navigation.

Continuité du service : Probabilité que le service GNSS sera disponible pendant toute la durée d'une phase d'exploitation, en presumant qu'il l'était au début de cette phase.

Les systèmes différentiels associés aux systèmes satellitaires fournissant l'information de position et de temps

Tableaux donnant à titre d'exemple les valeurs requises des dits paramètres
pour chaque type d'activité

Tableau 1

Exigences de performance d'un système fournissant l'information de position et de temps

Navigation aérienne

(A) Rappel des performances du système GPS *

Couverture	Précision	Continuité de service	Intégrité	Délai d'alarme	Disponibilité (%)	Fiabilité (%)
99.90 de la surface du globe	22 m 27.7 m	Non spécifié	Le GPS n'est pas un système intégré	peut dépasser 1 H	99.85	99.97

* Les informations du tableau A sont tirées du Federal Radionavigation Plan (FRP) publié par les Départements de la Défense et des Transports des Etats Unis.

(B) Applications sécuritaires

Les informations ci-dessous sont celles de l'annexe 6 de notre rapport final de l'étude IFN déjà citée. Cette annexe et les commentaires qui la précèdent sont reproduits ci-après.

ANNEXE 6

LES RNP OU PERFORMANCES DE NAVIGATION REQUISES DE L'OACI

Les tableaux ci-dessous indiquent, à titre d'information, les types de RNP définis par les groupes d'experts RGCSP et AWOP de l'OACI (colonnes 1 et 2). A titre d'exemple, le RNP 20 correspond à une performance requise de navigation telle que l'avion circulera dans un couloir de demi-largeur 20NM centré sur la route théorique avec une probabilité de 95%. En ce qui concerne les approches de précision, le RNP 0.02/40 correspond à une performance requise de navigation telle que l'avion circulera dans un couloir de demi-largeur 0.02NM et de demi-hauteur 40ft centré sur la trajectoire d'approche théorique avec une probabilité de 95%.

Ces exigences de performances au niveau de l'avion ont ensuite été déclinées par les groupes d'experts GNSSP et AWOP en exigences de performances sur le système de navigation et, dans le cas du GNSS, en exigences de performances sur les signaux radioélectriques. Pour chaque type de RNP, les exigences de performances associées sont exprimées en terme de :

- Précision latérale et, éventuellement, verticale à 95% du système de navigation (colonne 3);
- Précision latérale et, éventuellement, verticale à 99.999% du système de navigation (colonne 4);
- Continuité du système de navigation et des signaux radioélectriques (colonne 5);
- Intégrité du système de navigation et des signaux radioélectriques (colonne 6);
- Délai d'alarme du système de navigation (colonne 7);
- Disponibilité des signaux radioélectriques (colonne 8).

Signalons enfin que les valeurs indiquées ci-dessous ont été fixées en juin 2000 par le groupe d'experts GNSSP. Une procédure d'approbation par les Etats membres de l'OACI est en cours. La publication de la nouvelle annexe 10 (Communication à la Convention de Chicago comprenant ces normes est prévue pour 2001).

Tableau A.2.4-1. Critères de performance relatifs aux signaux électromagnétiques

Type d'opération	Précision horizontale à 95 % (1) (3)	Précision verticale à 95 % (1) (3)	Intégrité (2)	Délai d'alarme (3)	Continuité (4)	Disponibilité (5)	Type(s) de RNP associé(s)
En route	3,7 km (2,0 NM) (6)	s.o.	$1 \cdot 10^{-7}$ /h	5 min	$1 \cdot 10^{-4}$ /h à $1 \cdot 10^{-8}$ /h	0,99 à 0,99999	20 à 10
En route (région terminale)	0,74 km (0,4 NM)	s.o.	$1 \cdot 10^{-7}$ /h	15 s	$1 \cdot 10^{-4}$ /h à $1 \cdot 10^{-8}$ /h	0,999 à 0,99999	5 à 1
Approche initiale, approche intermédiaire, approche classique (NPA), départ	220 m (720 ft)	s.o.	$1 \cdot 10^{-7}$ /h	10 s	$1 \cdot 10^{-4}$ /h à $1 \cdot 10^{-8}$ /h	0,99 à 0,99999	0,5 à 0,3
Approche classique avec guidage vertical (NPV-I)	220 m (720 ft)	20 m (66 ft)	$1 \cdot 2 \cdot 10^{-7}$ par approche	10 s	$1 \cdot 8 \cdot 10^{-6}$ dans tout intervalle de 15 s	0,99 à 0,99999	0,3/125
Approche classique avec guidage vertical (NPV-II)	16,0 m (52 ft)	8,0 m (26 ft)	$1 \cdot 2 \cdot 10^{-7}$ par approche	6 s	$1 \cdot 8 \cdot 10^{-6}$ dans tout intervalle de 15 s	0,99 à 0,99999	0,03/50
Approche de précision de catégorie I (8)	16,0 m (52 ft)	6,0 m à 4,0 m (7) (20 ft à 13 ft)	$1 \cdot 2 \cdot 10^{-7}$ par approche	6 s	$1 \cdot 8 \cdot 10^{-6}$ dans tout intervalle de 15 s	0,99 à 0,99999	0,02/40

Notes :

1. Les valeurs (centile 95) indiquées pour les erreurs de position du GNSS sont celles qui sont exigées pour le type d'opération considéré à la hauteur au-dessus du seuil la plus faible (le cas échéant). Les spécifications détaillées figurent à la Partie B et le Supplément D, C.3.2, contient les éléments indicatifs.
2. La définition de la spécification d'intégrité précise un seuil d'alarme à partir duquel l'intégrité peut être évaluée. Voici les seuils d'alarme utilisables :

Type d'opération	Seuil d'alarme horizontal	Seuil d'alarme vertical	Type(s) de RNP associé(s)
En route	7,4 km (4 NM)	s.o.	20 à 10
En route	3,7 km (2 NM)	s.o.	2 à 5
En route (région terminale)	1,85 m (1 NM)	s.o.	1
NPA	556 m (0,3 NM)	s.o.	0,5 à 0,3
NPV-I	556 m (0,3 NM)	50 m (164 ft)	0,3/125
NPV-II	40,0 m (130 ft)	20,0 m (66 ft)	0,03/50
Approche de précision de catégorie I	40,0 m (130 ft)	15,0 m à 10,0 m (50 ft à 33 ft)	0,02/40

La plage de valeurs indiquée pour le seuil d'alarme vertical qui s'applique aux approches de précision de catégorie I correspond au critère de performance spécifié pour la précision verticale.

3. Les spécifications relatives à la précision et au délai d'alarme supposent l'utilisation d'un "récepteur exempt de défauts".
4. Les spécifications de continuité pour les opérations "en route", "région terminale", "approche initiale", "approche classique" et "départ" sont des plages de valeurs, car ces spécifications dépendent de plusieurs facteurs, notamment le type d'opération considéré, la densité de la circulation, la complexité de l'espace aérien et la disponibilité d'autres aides à la navigation. La valeur inférieure de chaque plage correspond à la spécification minimale applicable aux zones à faible densité de circulation et à espace aérien peu complexe. La valeur supérieure correspond aux zones où la circulation est dense et l'espace aérien complexe (voir Supplément D, C.3.4).
5. Le tableau donne également des plages de valeurs pour les spécifications de disponibilité, car celles-ci dépendent des besoins opérationnels, lesquels reposent sur différents facteurs, notamment la fréquence des opérations, les conditions climatiques, l'importance et la durée des interruptions de service, la disponibilité d'autres aides à la navigation, la couverture radar, la densité de la circulation ou encore les procédures de repli. La valeur inférieure de chaque plage correspond au seuil à partir duquel un système peut être considéré comme utilisable, sans pouvoir remplacer toutefois les aides à la navigation non GNSS. Les valeurs supérieures indiquées pour la navigation en route sont celles pour lesquelles le GNSS peut être la seule aide fournie. Les valeurs supérieures indiquées pour l'approche et le départ découlent des impératifs de disponibilité des aéroports à forte densité de circulation, en supposant que le système est utilisé pour les opérations de décollage et d'atterrissage multipistes et qu'il existe des procédures de repli qui en assurent la sécurité (voir Supplément D, C.3.5).
6. Bien que plus sévère que ne l'exigent les types de RNP indiqués dans la dernière colonne, cette valeur est très en deçà du niveau de précision que permet d'obtenir le GNSS.
7. Une plage de valeurs est donnée pour l'approche de précision de catégorie I. La valeur de 4,0 m (13 ft) est fondée sur les spécifications relatives à l'ILS et est une dérivation prudente de ces spécifications.
8. Les critères de performance du GNSS pour les approches de précision de catégorie II ou III sont encore à l'étude et seront intégrés ultérieurement au présent document.

(C) Applications non sécuritaires

Les applications non relatives à la navigation aérienne sont toutes considérées comme non sécuritaires.

Tableau 2

**Exigences de performance d'un système
fournissant l'information de position et de temps**

Transport maritime

A) Rappel des performances GPS *

Couverture	Précision	Continuité de service	Intégrité	Délai d'alarme	Disponibilité (%)	Fiabilité (%)
99.90 de la surface du globe	22 27.7 m m	Non spécifié	Le GPS n'est pas un système intégré	peut dépasser 1 H	99.85	99.97

* Les informations du tableau A sont tirées du FRP publié par les Départements de la Défense et des Transports des Etats Unis.

B) Applications sécuritaires

Types d'application	Normes de référence	Couverture	Précision	Continuité de service	Intégrité	Délai d'alarme (s)	Disponibilité (%)	Fiabilité (%)
Navigation maritime générale (voir Nota)	La résolution A.860(20) du 27 novembre 1997	Mondiale	≤ 10 m	non mentionné	Non mentionné	< 10	99.8	99.97
Navigation océanique (plus de 50 NM des côtes)	Résolution OMI A.529(13) du 17 novembre 1983 et résolution ci-dessus	d° comme ci-dessus	d° comme ci-dessus	d° comme ci-dessus	d° comme ci-dessus	d° comme ci-dessus	d° comme ci-dessus	d° comme ci-dessus
Navigation côtière (à moins de 50 NM des côtes)	Résolution OMI A.529(13) du 17 novembre 1983 et résolution ci-dessus	d° comme ci-dessus	d° comme ci-dessus	d° comme ci-dessus	d° comme ci-dessus	d° comme ci-dessus	d° comme ci-dessus	d° comme ci-dessus
Navigation dans les approches et à l'intérieur des ports	Résolution OMI A.529(13) et FRP	Locale	5 m	non spécifié	non spécifié	< 1s	99,8	99,97
Navigation intérieure	Non spécifié	Locale	5 m	d°	d°	< 1s	d°	d°

NOTA : La résolution A.529(13) et divers documents tels que le FRP ont fixé les performances de couverture et de précision des systèmes de radiopositionnement couvrant les besoins en précision de la navigation suivant qu'elle se déroule en phase océanique mondiale (2 MN), à une distance D de la côte < 50 Milles Nautiques, locale (4% de D), dans les approches des ports et à l'intérieur des ports (locale <10 m pour le chalutage, locale <1 m pour l'accostage), dans les voies de navigation intérieures (locale <5 m), de la navigation de plaisance (locale <10 m). Les valeurs des autres paramètres ne sont aujourd'hui **pas spécifiées par des normes.**

C) Applications non sécuritaires (exemples)

Types d'application	Normes de référence	Couverture	Précision (m)	Continuité de service	Intégrité	Délai d'alarme (s)	Disponibilité (%)	Fiabilité (%)
Gestion de flottes	Aucune *	Mondiale	Ces applications se satisfont des performances du GPS					
Contrôle et gestion des mouvements de containers sur parcs	Aucune *	Locale	0,05 m en x,y,z	Non spécifié	Non spécifié	1 s	Comme GPS	

* Les indications du tableau résultent de diverses consultations d'utilisateurs potentiels.

Tableau 3

**Exigences de performance d'un système
fournissant l'information de position et de temps**

Transport terrestre

A) Rappel des performances GPS *

Couverture	Précision	Continuité de service	Intégrité	Délai d'alarme	Disponibilité (%)	Fiabilité (%)
99.90 de la surface du globe	22 m 27.7 m	Non spécifié	Le GPS n'est pas un système intègre	peut dépasser 1 H	99.85	99.97

* Les informations du tableau A sont tirées du FRP publié par les Départements de la Défense et des Transports des Etats Unis.

(B) Applications sécuritaires

Types d'application	Normes de référence	Couverture	Précision (m)	Continuité de service	Intégrité	Délai d'alarme (s)	Disponibilité (%)	Fiabilité (%)
Transports guidés : Contrôle et commande de liaisons à trafic dense Contrôle de l'exploitation de lignes à faible trafic	Aucune *	Régionale	20	Non spécifié	Non spécifié	0,05	99,9 à 99,99	99,999
	Aucune *	Régionale	0,05 à quelques mètres	Non spécifié	Non spécifié	5	99,00	99,7
Transports routiers individuels Navigation et positionnement sécuritaires	Aucune *	Régionale	5 -10	Non spécifié	Non spécifié	1 - 5	99,00	99,50
Transport routiers professionnels Appel d'urgence	Aucune *	Locale	5 -10	Non spécifié	Non spécifié	5	99,00	99,50
Transport public de voyageurs Appel à l'aide	Aucune *	Régionale	5 -10	Non spécifié	Non spécifié	5	99,00	99,50

* Les indications du tableau résultent de diverses consultations d'utilisateurs potentiels.

C) Applications non sécuritaires

Types d'application	Normes de référence	Couverture	Précision (m)	Continuité de service	Intégrité	Délai d'alarme (s)	Disponibilité (%)	Fiabilité (%)
Transports guidés : Gestion des mouvements	*	Régionale	100	Non spécifié	Non spécifié	10	95	97
Contrôle de la position des infrastructures	*	Locale	0,05 - 5	d°	d°	< 1	99	99,7
Transports routiers individuels		Régionale	5 - 10	d°	d°	< 1 dans certaines applications temps réel	95	97
Navigation et positionnement	* **							
Transport routiers professionnels	*	Régionale	100 - 1000	d°	d°	10 - 100	95	97
Gestion de flotte	*							
Transport public de voyageurs	*	Régionale	10 - 50	d°	d°	5 - 10	95	97
Aide à l'exploitation et à l'information des voyageurs	**							
	*	Locale						

* Les indications du tableau résultent de diverses consultations d'utilisateurs potentiels.

** Application intéressant particulièrement les zones urbaines.

Tableau 4

**Exigences de performance d'un système
fournissant l'information de position et de temps**

Exploitation des ressources

Types d'application	Normes de référence	Couverture	Précision x y (m)	Continuité de service	Intégrité	Délai d'alarme (s)	Disponibilité (%)	Fiabilité (%)
Pêche	Aucune *	Régionale	10	Non spécifié	Non spécifié	5	99	99.5
Agriculture	Aucune *	Régionale	10	d°	d°	10	95	97
Recherche pétrolière	Aucune *	Régionale	1-5	d°	d°	5	99.5	99.7

Tableau 5

**Exigences de performance d'un système
fournissant l'information de position et de temps**

Applications scientifiques (Connaissance de la terre) *

Types d'application	Normes de référence	Couverture	Précision x y z (m)	Continuité de service	Intégrité	Délai d'alarme (s)	Disponibilité (%)	Fiabilité (%)
Géographie	Aucune	Mondiale	5	Non spécifié	Non spécifié	10	99	99.5
Géodésie	Aucune	Mondiale	0.01 à 1	d°	d°	10	99	99.5

* Le lecteur trouvera plus de détails sur les applications de ce type dans l'annexe III ci-jointe.

**Les systèmes différentiels associés aux systèmes satellitaires
fournissant l'information de position et de temps**

**Tableaux extraits de la proposition de révision de la résolution de l'OMI A.860(20)
soumise au Comité de Sécurité Maritime en vue d'adoption
par l'Assemblée Générale de l'OMI de 2001**

Appendix 2

Table of the minimum maritime user requirements for general navigation

	System level parameters			Integrity		Service level parameters		Coverage	Fix interval ² (seconds)
	Absolute Accuracy Horizontal (metres)	Alert limit (metres)	Time to alarm ² (Seconds)	Integrity risk (per 3 hours)	Availability % per 30 days	Continuity % over 3 hours			
Ocean	10	25	10	10^{-5}	99.8	N/A ¹	Global	1	
Coastal	10	25	10	10^{-5}	99.8	N/A ¹	Global	1	
Port approach and restricted waters	10	25	10	10^{-5}	99.8	99.97	Regional	1	
Port	1	2.5	10	10^{-5}	99.8	99.97	Local	1	
Inland waterways	10	25	10	10^{-5}	99.8	99.97	Regional	1	

Notes: 1: Continuity is not relevant to ocean and coastal navigation

2: More stringent requirements may be necessary for ships operating above 30 knots

Appendix 3

Tables showing the minimum maritime user requirements for positioning

	System level parameter			Service level parameters			
	Accuracy		Integrity	Availability % per 30 days	Continuity % over 3 hours	Coverage	Fix interval ² (seconds)
	Horizontal (metres)	Vertical ¹ (metres)					
Operations							
• tugs and pushers	1		2.5	10	10 ⁻³	99.97	Local 1
• icebreakers	1		2.5	10	10 ⁻³	99.97	Local 1
• automatic collision avoidance	10		25	10	10 ⁻³	99.97	Global 1
	Absolute	accuracy					
• track control	10	N/A	25	10	10 ⁻³	99.97	Global 1
• automatic docking	0.1		0.25	10	10 ⁻³	99.97	Local 1
Traffic management³							
• ship-to-ship coordination	10		25	10	10 ⁻³	99.97	Global 1
• ship-to-shore coordination	10		25	10	10 ⁻³	99.97	Regional 1
• shore-to-ship traffic management	10		25	10	10 ⁻³	99.97	Regional 1

Notes: 1: There may be a requirement for accuracy in the vertical plane for some port and restricted water operations

2: More stringent requirements may be necessary for ships operating above 30 knots

3: Traffic management applications in some areas, e.g. the Baltic, may require higher accuracy.

Table 1: Manoeuvring and traffic management applications

Appendix 3, continued

	System level parameters			Service level parameters				
	Accuracy			Integrity	Availability % per 30 days	Continuity % over 3 hours	Coverage	Fix interval (seconds)
	Horizontal (metres)	Vertical (metres)	Alert limit (metres)					
Search and rescue	10	N/A	25	10	10^{-5}	N/A	Global	1
Hydrography	1-2	0.1	2.5-5	10	10^{-5}	99.8	Regional	1
Oceanography	10	10	25	10	10^{-5}	99.8	Global	1
Marine engineering, construction, maintenance and management								
• dredging	0.1	0.1	0.25	10	10^{-5}	99.8	Local	1
• cable and pipeline laying	1	N/A	2.5	10	10^{-5}	99.8	Regional	1
• construction works	0.1	0.1	0.25	10	10^{-5}	99.8	Local	1
Aids to navigation management	1	N/A	2.5	10	10^{-5}	99.8	Regional	1

Table 2: Search and rescue, hydrography, oceanography, marine engineering, construction, maintenance and management and aids to navigation management

Appendix 3, continued

	System			level		parameter			Service			level		parameters	
	Accuracy		Vertical (metres)	Alert limit (metres)	Integrity		Integrity risk (per 3 hours)	Availability % per 30 days	Continuity % over 3 hours	Coverage	Fix interval ¹ (seconds)				
	Horizontal (metres)	Absolute accuracy			Time to alarm ² (Seconds)										
Port operations															
• local VTS	1	N/A	2.5	10	10 ⁻⁵	10 ⁻⁵	99.8	N/A	Local	1					
• container/cargo management	1	1	2.5	10	10 ⁻⁵	10 ⁻⁵	99.8	N/A	Local	1					
• law enforcement	1	1	2.5	10	10 ⁻⁵	10 ⁻⁵	99.8	N/A	Local	1					
• cargo handling	0.1	0.1	0.25	1	10 ⁻⁵	10 ⁻⁵	99.8	N/A	Local	1					
Casualty analysis															
	Predictable accuracy														
• ocean	10	N/A	25	10	10 ⁻⁵	10 ⁻⁵	99.8	N/A	Global	1					
• coastal	10	N/A	25	10	10 ⁻⁵	10 ⁻⁵	99.8	N/A	Global	1					
• port approach and restricted waters	1	N/A	2.5	10	10 ⁻⁵	10 ⁻⁵	99.8	N/A	Regional	1					
Offshore exploration and exploitation															
	Absolute accuracy														
• exploration	1	N/A	2.5	10	10 ⁻⁵	10 ⁻⁵	99.8	N/A	Regional	1					
• appraisal drilling	1	N/A	2.5	10	10 ⁻⁵	10 ⁻⁵	99.8	N/A	Regional	1					
• field development	1	N/A	2.5	10	10 ⁻⁵	10 ⁻⁵	99.8	N/A	Regional	1					
• support to production	1	N/A ²	2.5	10	10 ⁻⁵	10 ⁻⁵	99.8	N/A	Regional	1					
• post-production	1	N/A ²	2.5	10	10 ⁻⁵	10 ⁻⁵	99.8	N/A	Regional	1					

Notes: 1: More stringent requirements may be necessary for ships operating above 30 knots.
2: A vertical accuracy of a few cm (less than 10) is necessary to monitor platform subsidence.

Table 3: Port operations, casualty analysis, and offshore exploration and exploitation

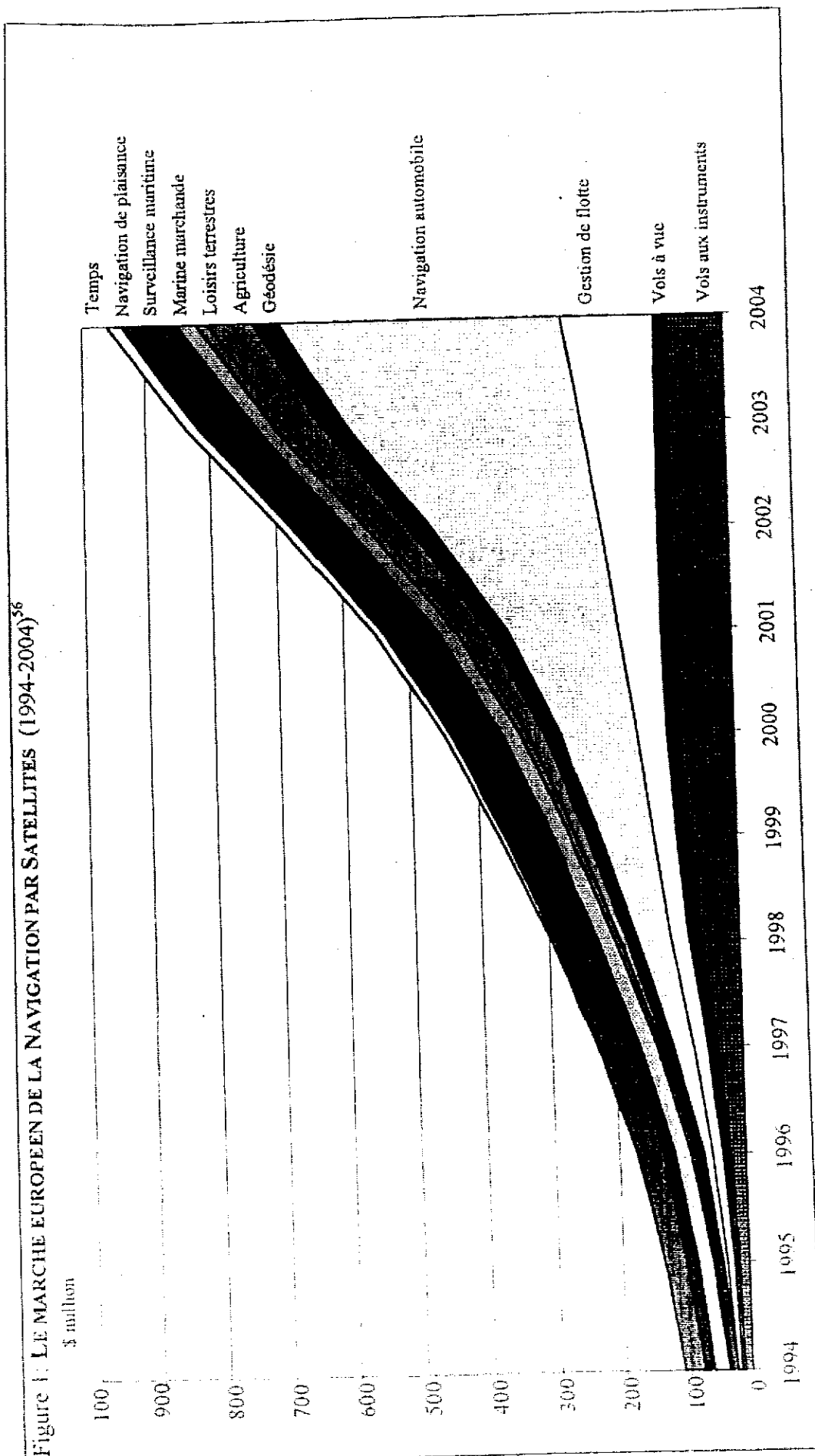
Appendix 3, continued

	System			level			parameter			Service			level		parameters	
	Accuracy		Vertical (metres)	Alert limit (metres)	Integrity		Integrity risk (per 3 hours)	Availability % per 30 days	Continuity % over 3 hours	Coverage	Fix interval (seconds)					
	Horizontal (metres)	Absolute accuracy			Time to alarm (Seconds)											
Fisheries																
• location of fishing grounds	10	N/A	25	10		10^{-3}	99.8	N/A	Global	1						
• positioning during fishing ²	10	N/A	25	10		10^{-3}	99.8	N/A	Global	1						
• yield analysis	10	N/A	25	10		10^{-3}	99.8	N/A	Global	1						
• fisheries monitoring	10	N/A	25	10		10^{-3}	99.8	N/A	Global	1						
Recreation and leisure																
• Ocean	10	N/A	25	10		10^{-3}	99.8	N/A	Global	1						
• Coastal	10	N/A	25	10		10^{-3}	99.8	N/A	Global	1						
• Port approach and restricted waters	10	N/A	25	10		10^{-3}	99.8	99.97	Regional	1						

Notes: 1: More stringent requirements may be necessary for ships operating above 30 knots
2: Positioning during fishing in local areas may have more stringent requirements.

Table 4: Fisheries, recreation and leisure applications

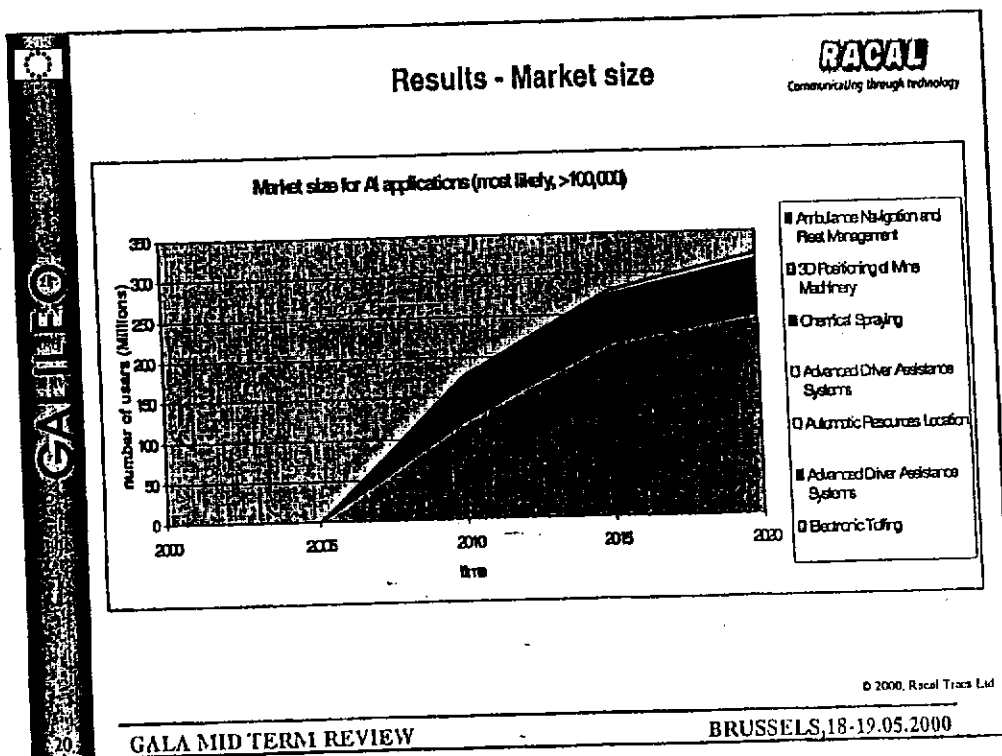
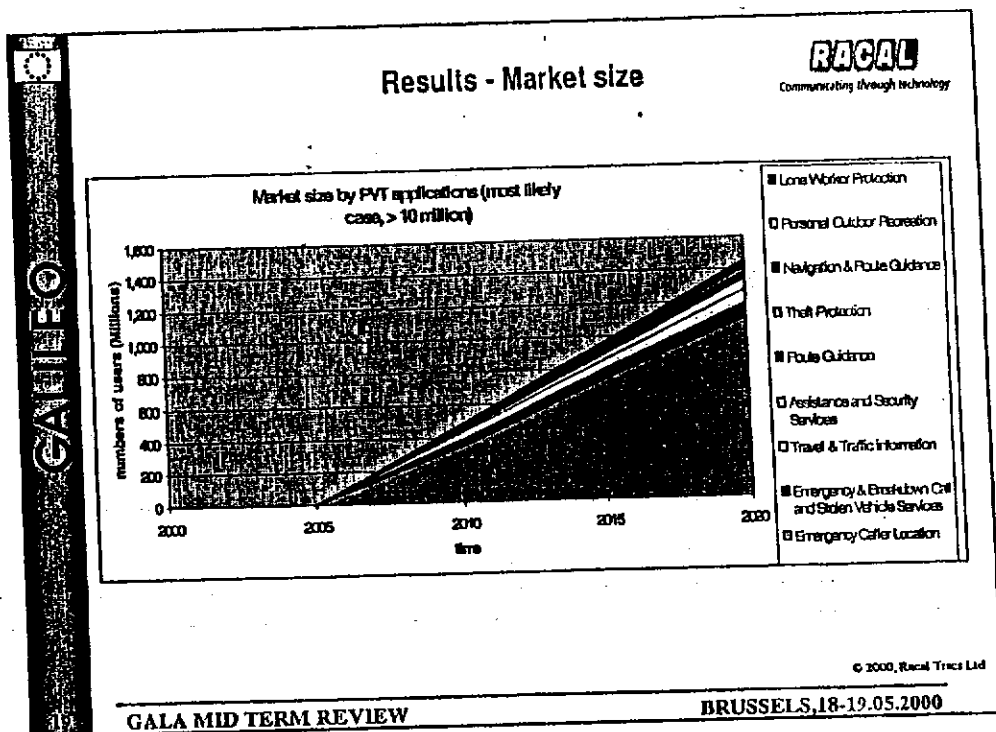
Courbe extraite de la Communication de la Commission (1999) 54 final, réf. [X]



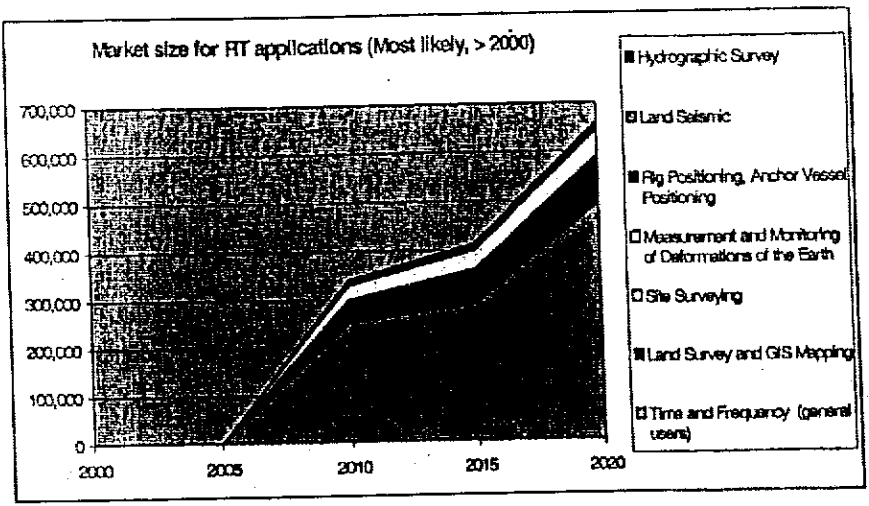


**Les systèmes différentiels associés aux systèmes satellitaires
fournissant l'information de position et de temps**

Courbe d'évolution du marché européen des services de radiopositionnement extraite de la
présentation de l'étude GALA, réf. [IX]

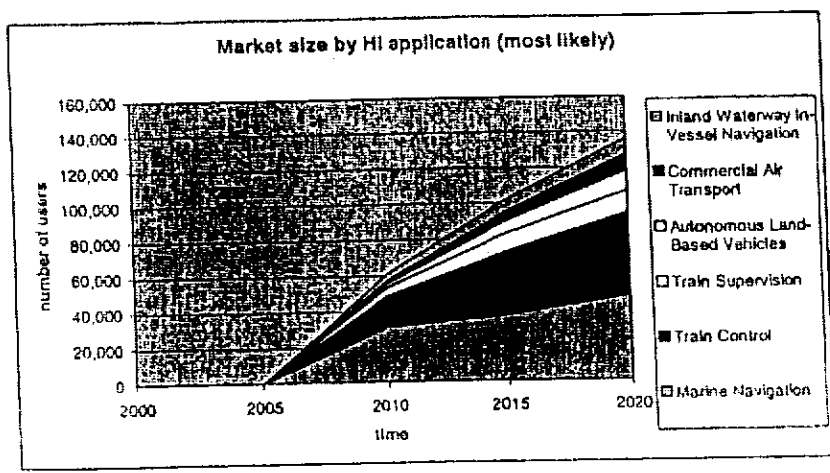


Results - Market size



© 2009, Racal Trane Ltd

Results - Market size



© 2009, Racal Trane Ltd

**Les systèmes différentiels associés aux systèmes satellitaires
fournissant l'information de position et de temps**

Stations DGPS du réseau RGP (carte extraite) de l'étude de l'IGN, réf. [XIV]

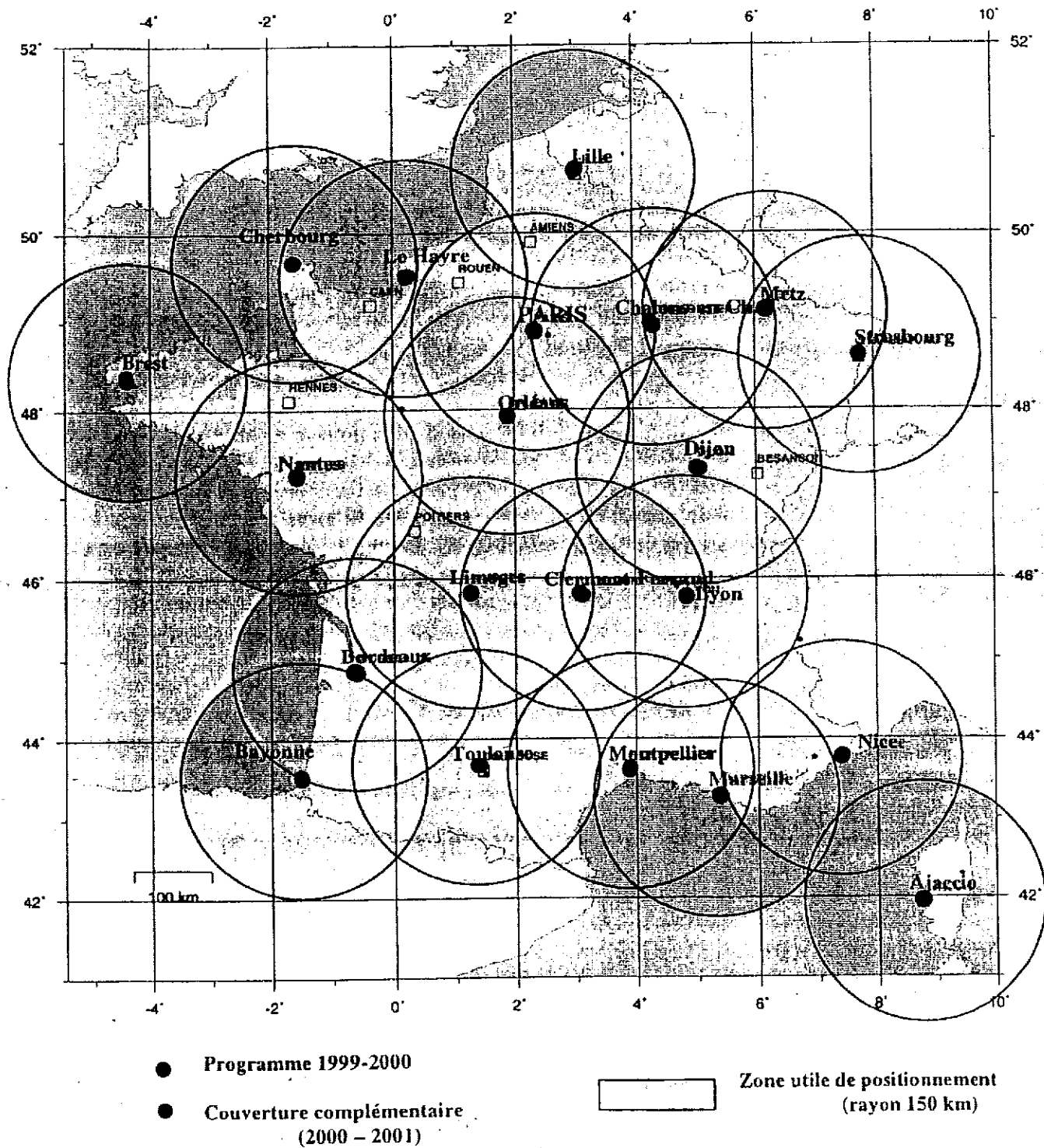
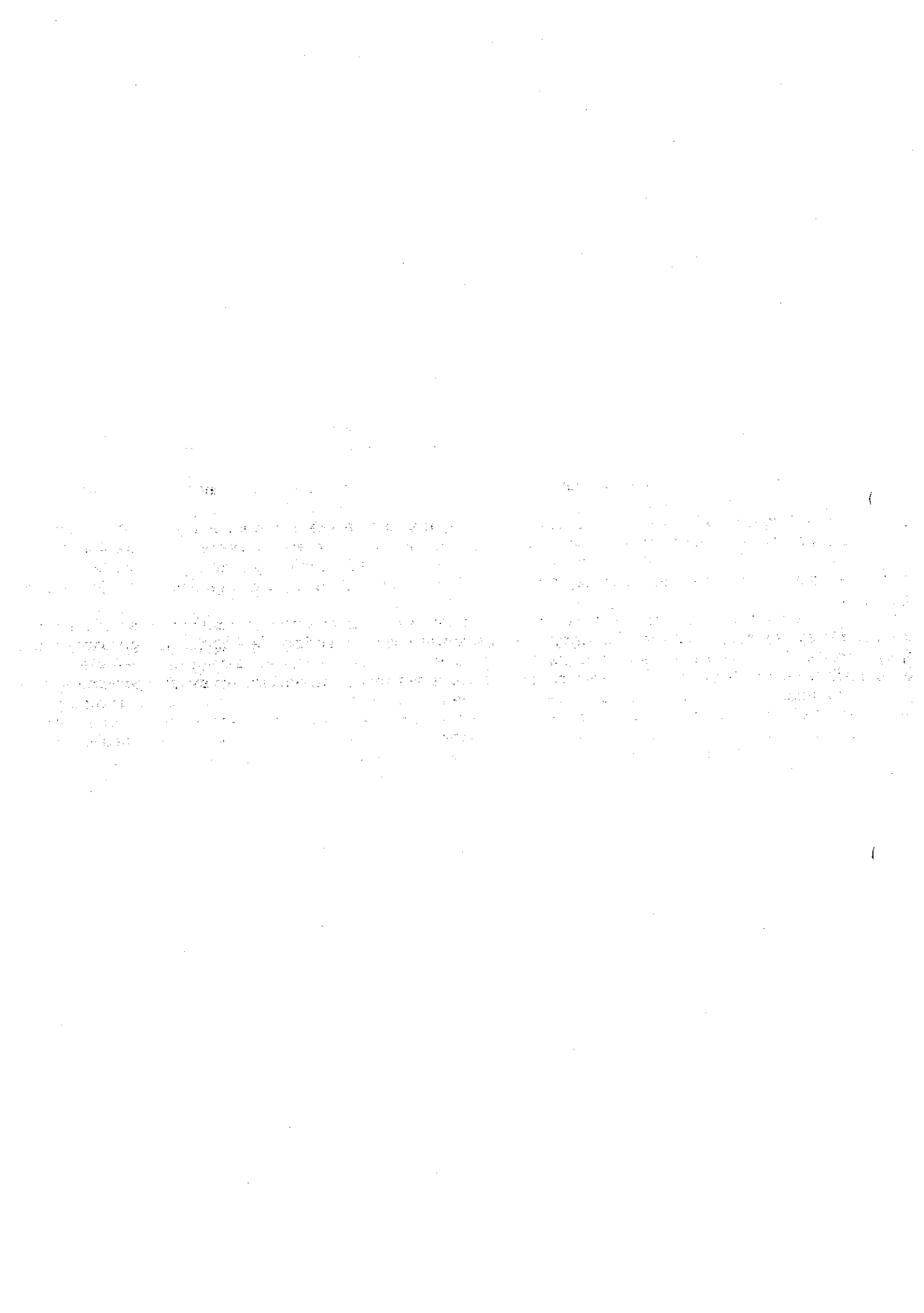
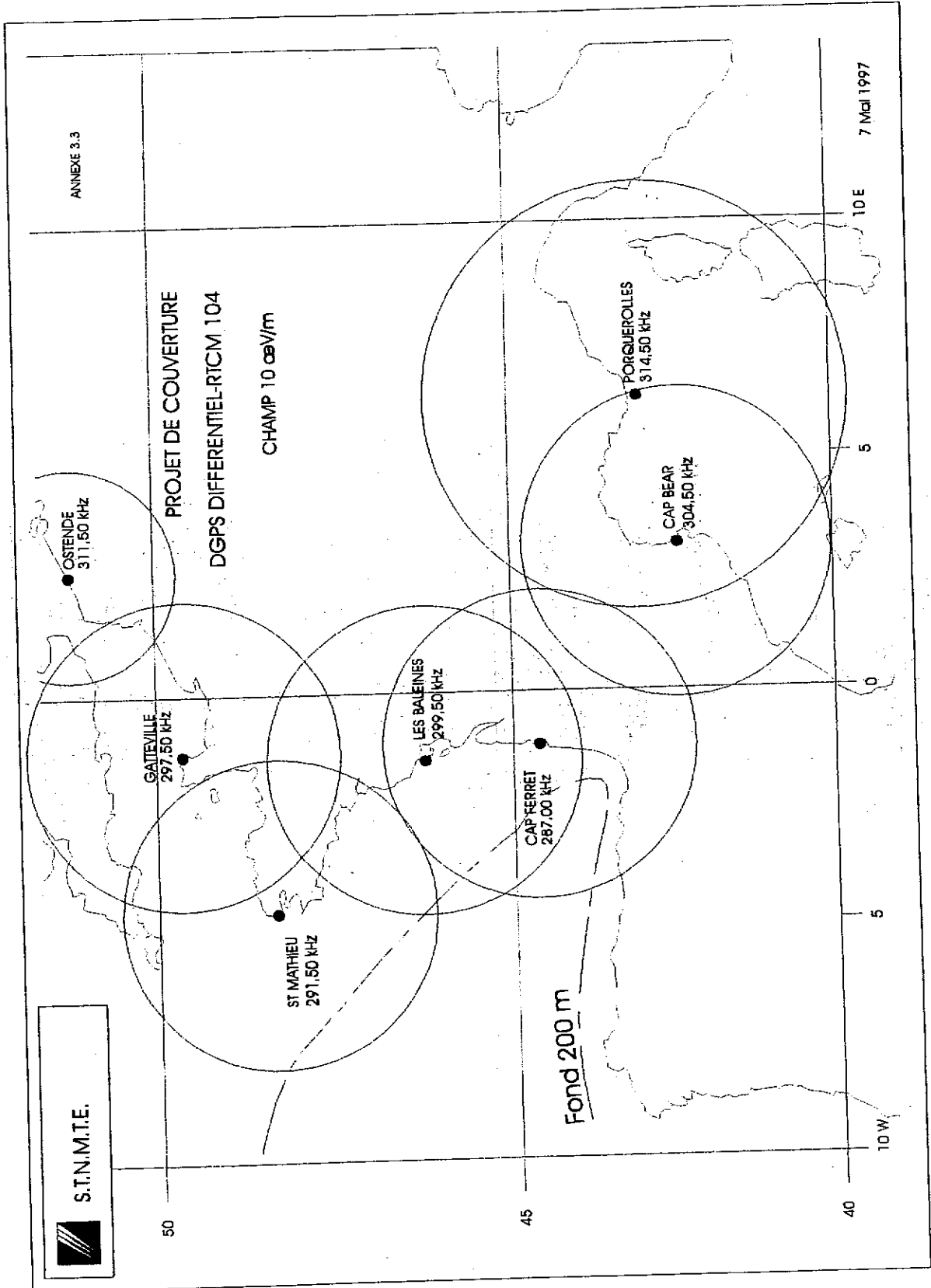
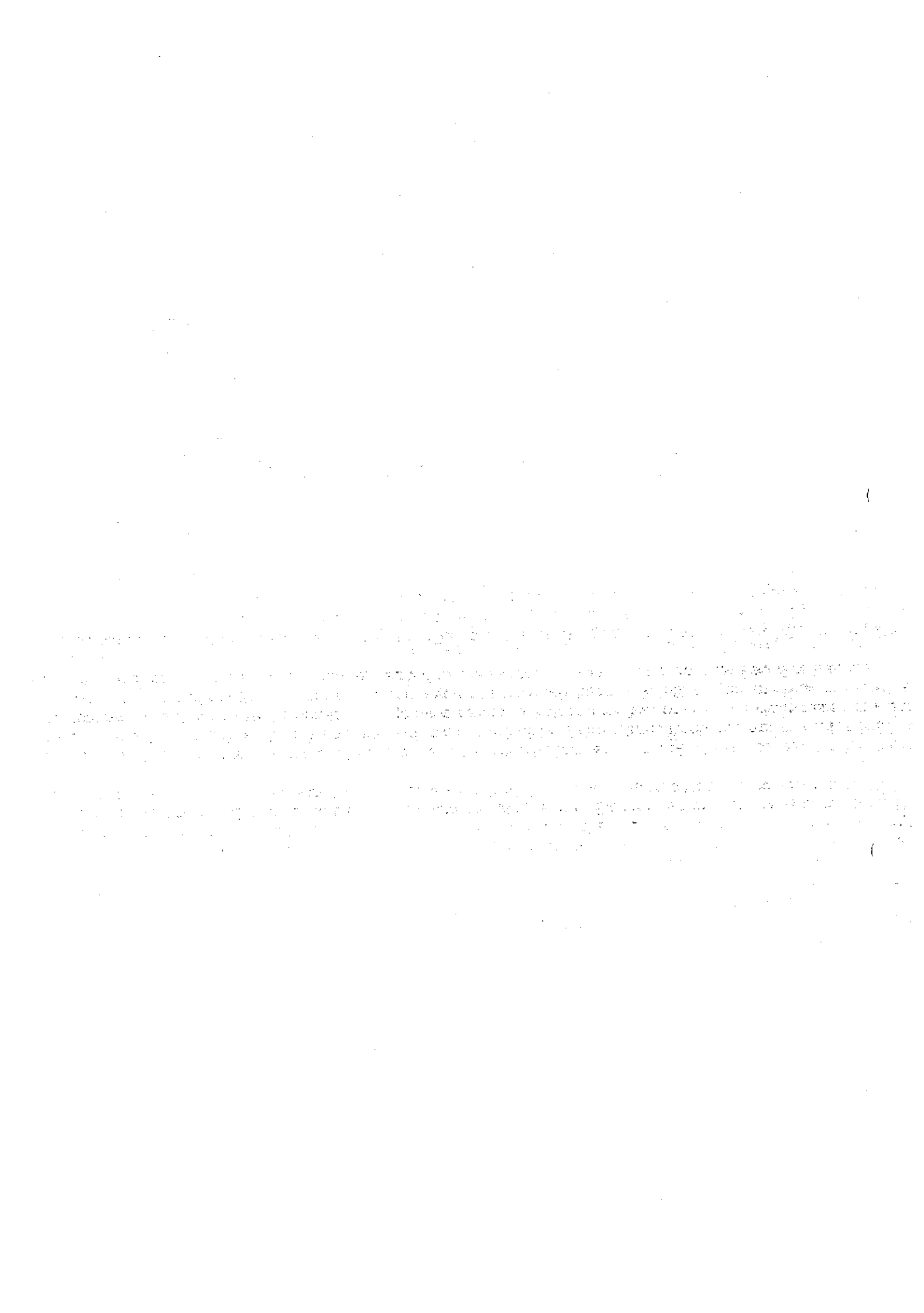


Figure 1 : schéma prévisionnel de répartition des stations DGPS





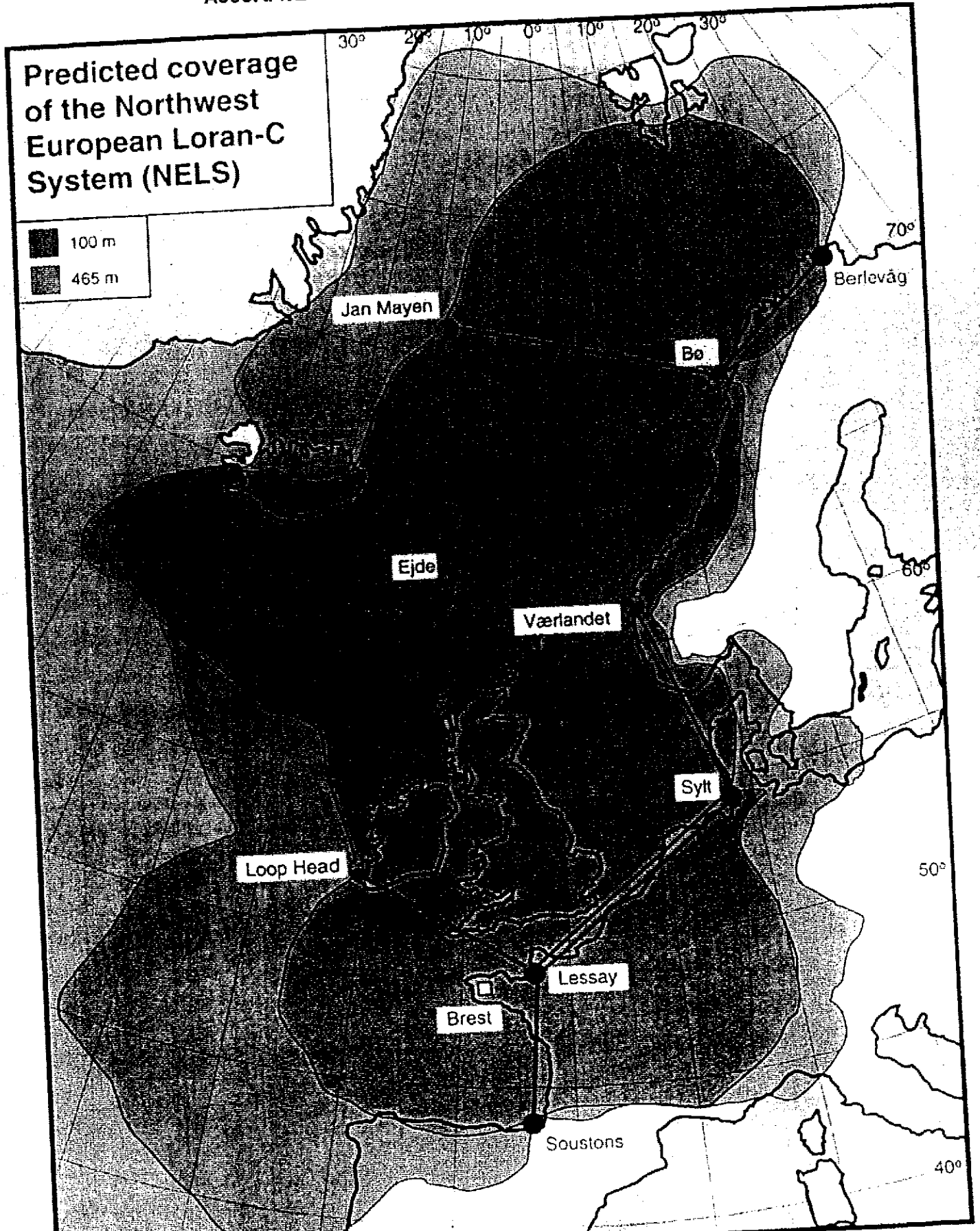
Positions des stations GPS différentiel et leur portée



Les systèmes différentiels associés aux systèmes satellitaires fournissant l'information de position et de temps

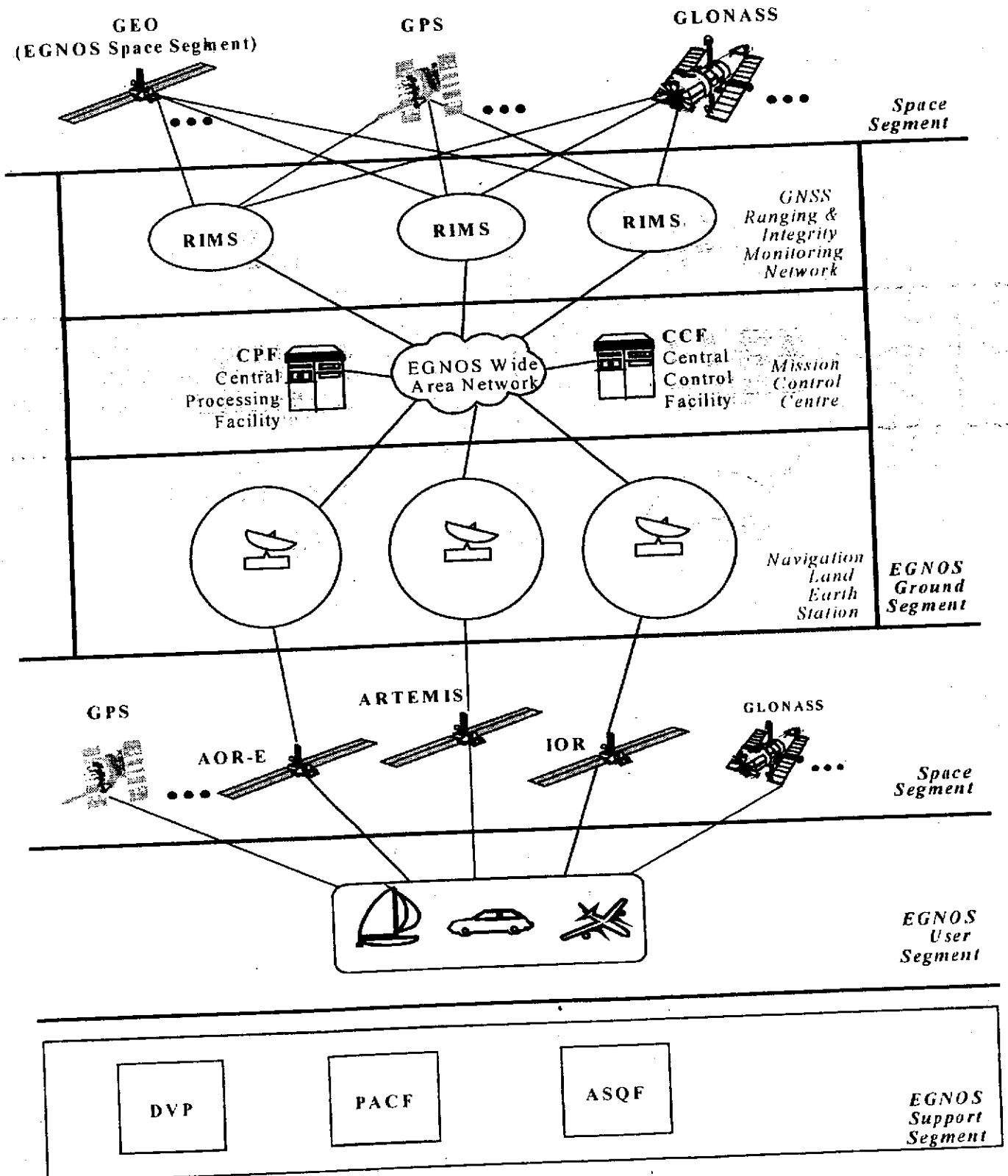
Accord NELS - Configuration de la chaîne Loran-C

Graphics: NELS



Les systèmes différentiels associés aux systèmes satellitaires fournissant l'information de position et de temps

Architecture d'ensemble du système EGNOS





**Les systèmes différentiels associés aux systèmes satellitaires
fournissant l'information de position et de temps**

Liste d'acronymes

AI	<i>Accuracy and Integrity service</i>
AISM	Association Internationale de Signalisation Maritime
CEAC	Conférence Européenne de l'Aviation Civile (33 Etats)
CNES	Centre National d'Etudes Spatiales
CNIG	Centre National de l'Information Géographique
DAMGM	Direction des Affaires Maritimes et des Gens de Mer
DARC	<i>DATA Radio Channel</i>
DGAC	Direction Générale de l'Aviation Civile
DGPS	<i>Differential GPS</i>
DRAST	Direction des Affaires Scientifiques et Techniques
DSNP/MLR	Filiales du groupe Thomson-Csf Detexis
EGNOS	<i>European Geostationary Navigation Overlay Service</i>
EMRF	<i>European Maritime Radionavigation Forum</i>
ESTB	<i>EGNOS Test Bed</i>
EUROFIX	Projet de système de diffusion de corrections différentielles fondé sur la réutilisation des stations du système de radionavigation Loran-C
FDC	France Développement Conseil
FM	<i>Frequency Modulation</i>
FRP	<i>Federal Radionavigation Plan (US)</i>
GALA	<i>GALileo Architecture</i>
GBAS	<i>Ground Based Augmentation System</i>
GEO	<i>Geostationary Orbital Satellite</i>
GLONASS	<i>Global Orbitography Navigation Satellite System</i>
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
HI	<i>High Integrity service</i>
IEC	<i>International Electrotechnical Committee</i>
IFN	Institut Français de Navigation
IGN	Institut Géographique National
ISO	<i>International Standardisation Organisation</i>
LCPC	Laboratoire Central des Ponts et Chaussées

Loran-C	Système de radionavigation à infrastructure terrestre à couverture régionale fonctionnant sur des fréquences voisines de 100 kHz
MSAS	<i>Maritime Satellite Augmentation System</i>
NELS	<i>North European Loran-C System</i>
NLES	<i>Navigation Land Earth Station</i>
OACI	Organisation de l'Aviation Civile Internationale
OMEGA	Ancien système de radionavigation à infrastructure terrestre, de couverture mondiale dont le service a été suspendu en 1997
OMI	Organisation Maritime Internationale
PSDN	<i>Packet Switch Data Network</i>
PVT	<i>Position Velocity and Time Service</i>
RDF 93	Réseau Géodésique Français 1993
RDS	<i>Radio Data System</i>
RGP	Réseau GPS Permanent
RIMS	<i>Remote Integrity and Monitoring Station</i>
RNIS	Réseau Numérique à Intégration de Service
RT	<i>Ranging and Time service</i>
RTCA	<i>Radio Technical Committee (Aviation)</i>
RTCM	<i>Radio Technical Committee (Marine)</i>
RTK	<i>Real Time Kinematic</i>
SA	<i>Selective Availability</i>
SARPs	<i>Specification And Recommended Practice for systems</i>
SBAS	<i>Satellite Based Augmentation System</i>
SELS	<i>South European Loran-C System</i>
UIT	Union Internationale des Télécommunications
VNF	Voies Navigables de France
WAAS	<i>Wide Area Augmentation System</i>

Les systèmes différentiels associés aux systèmes satellitaires fournissant l'information de position et de temps

Fiche de synthèse

Octobre 2000

Lettre de commande n° 98 MT 117

Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement

Direction de la Recherche et des Affaires Scientifiques et Techniques

Sous le titre rappelé ci-dessus l'étude rassemble les données sur les aspects techniques, institutionnels, économiques et tarifaires permettant à l'Etat de juger de la pertinence de son implication dans le déploiement de réseaux élaborant et diffusant des corrections des informations de position et de temps des systèmes satellitaires existants (GPS et GLONASS).

L'étude comprend six parties.

La première partie (définitions) rappelle les origines de la notion de systèmes différentiels et le rôle de ces systèmes dans l'amélioration de la précision de l'information fournie par les systèmes satellitaires de base.

Après une revue des résultats des nombreuses études de marché auxquels ont donné lieu les systèmes de base et les systèmes différentiels (deuxième partie), la troisième partie de l'étude présente le principe technique des systèmes différentiels et les conditions d'élaboration et de transmission aux usagers des dites corrections.

Des détails sont fournis sur les systèmes les plus répandus en France (système DGPS destiné à la navigation maritime, service DGPS de l'IGN) ainsi que sur ceux qui selon les mêmes principes sont en service à l'étranger.

Sont ensuite analysés les systèmes actuellement en cours de tests : EUROFIX et EGNOS qui combinent l'objectif des systèmes précédents d'amélioration de la précision avec celui de l'amélioration sur des zones étendues de la qualité du signal émis par les systèmes de base, et notamment de l'intégrité de ce signal.

Après avoir rappelé (quatrième partie) les motifs gouvernant l'action de l'Etat et examiné les particularités qu'offrent de ce point de vue les systèmes différentiels et notamment leur impact possible sur la sécurité des citoyens, l'étude envisage dans sa cinquième partie les conditions de l'évolution à court et moyen termes de la situation dans le marché des systèmes de base et des systèmes différentiels associés. Les décisions que prendra l'Europe quant à la mise en œuvre d'une constellation satellitaire proprement européenne mais pouvant être utilisée conjointement avec d'autres, joueront un rôle important dans cette évolution. Il en va de même des résultats des tests des systèmes EGNOS et EUROFIX.

L'étude donne la liste des faits que l'on peut considérer comme acquis et analyse les conséquences des hypothèses que l'on peut faire sur l'avenir.

L'étude propose une liste d'actions à mener par l'Etat pour faire valoir ses vues dans le domaine auprès des instances compétentes au niveau européen et international.

Les systèmes dits différentiels transmettant aux usagers des systèmes satellitaires fournissant en tout point du globe l'information de position et de temps, des corrections améliorant localement la précision de cette dernière, se développent rapidement dans le monde.

La Direction de la Recherche et des Affaires Scientifiques et Techniques, DRAST, a chargé l'Institut Français de Navigation de rassembler les éléments permettant à l'Etat de décider de la pertinence de son intervention dans le domaine.

La présente fiche résume la démarche suivie par l'Institut Français de Navigation pour répondre à cette question.

Le rapport de fin d'études qui présente cette démarche dans le détail se compose de six parties.

Sont tout d'abord introduites dans une **première partie** les définitions sur la base desquelles se fondent les concepts de systèmes de base (à savoir les grands systèmes de positionnement existants : (GPS américain, GLONASS russe et projet GALILEO européen) et de systèmes différentiels initialement conçus pour n'améliorer que la précision des systèmes de base mais capables aussi dans certaines versions plus complexes d'influencer favorablement d'autres paramètres de qualité du signal de base.

Sont ensuite résumés dans une **seconde partie**, les résultats des nombreuses études de marché qui se sont proposées d'identifier les besoins des usagers en information de position et de temps et de quantifier les marchés potentiels correspondants. Sont notamment rappelées les très larges perspectives d'utilisation de ces informations dans le domaine des transports aériens, maritimes et terrestres ainsi que la prédominance annoncée pour un futur proche des applications intéressant les transports terrestres. L'accent est d'autre part mis sur le fait que les gains de précision que permettent les systèmes différentiels sont jugés susceptibles d'attirer de très importantes clientèles de nouveaux utilisateurs même depuis que les Etats-Unis ont cessé de dégrader

La **troisième partie** décrit les systèmes différentiels existants et projetés dans leurs divers aspects techniques, financiers et institutionnels.

Le rapport met essentiellement l'accent sur :

- les systèmes utilisant les fréquences attribuées au service des radiophares (285-315 kHz), mis en service à large échelle en France et dans le reste du monde à l'initiative principalement des services de signalisation maritime regroupés au sein de l'Association Internationale de Signalisation Maritime. Ils sont appréciés non seulement des usagers maritimes mais aussi dans la partie terrestre de leur couverture par des usagers terrestres. Les systèmes de cette catégorie sont des systèmes locaux ce qui n'exclut pas que leur mise en œuvre fasse l'objet de plans coordonnés au niveau international,

- ceux qui utilisent des canaux spécialisés que l'Union Internationale des Télécommunications a réservés dans les bandes des ondes métriques assignées soit au service de radiodiffusion en modulation de fréquence soit aux services mobiles. Comme les précédents, ces systèmes sont des systèmes locaux dont la mise en œuvre serait avantageusement à coordonner au niveau international,

- enfin deux systèmes en cours de tests à grande échelle visant à améliorer la qualité des informations fournies par les systèmes de base sur de très larges zones. L'amélioration de précision attendue de ces systèmes respectivement dénommés EGNOS et EUROFIX serait du même ordre de grandeur mais sans doute légèrement inférieure à celle des systèmes dont il vient d'être fait mention, mais on peut espérer de ces systèmes qu'ils assurent aux systèmes de base l'intégrité qui leur fait défaut.

Les décisions à prendre dans l'avenir vis à vis des systèmes EUROFIX et EGNOS doivent faire l'objet d'accords internationaux.

La **quatrième partie** du rapport après avoir rappelé les missions régaliennes de l'Etat dans son rôle de protecteur et de garant de la liberté et de la sécurité des citoyens, de l'exercice de la libre concurrence et de la protection des intérêts français insiste sur les conséquences des ces missions dans le domaine réglementaire.

Il attire en particulier l'attention sur l'importance de la réglementation vis à vis des applications dites sécuritaires intéressant des activités risquant de mettre la vie humaine en danger. C'est évidemment le cas de toutes les applications visant à rendre possible ou simplement à faciliter la navigation des véhicules de transport (avions, navires, trains, automobiles).

Sont également évoquées les interventions de l'Etat en tant qu'éventuel fournisseur de service ou protecteur des intérêts français.

La **cinquième partie** du rapport identifie les schémas possibles d'évolution de la situation telle que décrite dans les parties précédentes.

Cette évolution dépendra principalement :

- d'une part de la décision que prendra l'Union Européenne dans les mois qui viennent de réaliser ou non une configuration satellitaire européenne utilisable par tout usager en temps normal conjointement avec les constellations américaine et russe, mais aussi en cas de besoin indépendamment de ces dernières,
- d'autre part du résultat des tests d'utilisation des systèmes EUROFIX et EGNOS et notamment de l'accueil que leur réserveront les usagers.

En l'absence d'éléments permettant de prédire avec certitude ce qu'il en adviendra nous avons décrit les évolutions probables sous la forme de quatre scénarios suivant la réponse positive ou négative qu'apportera l'avenir aux questions posées.

Sous le titre de conclusions et de recommandations la **sixième partie** du rapport :

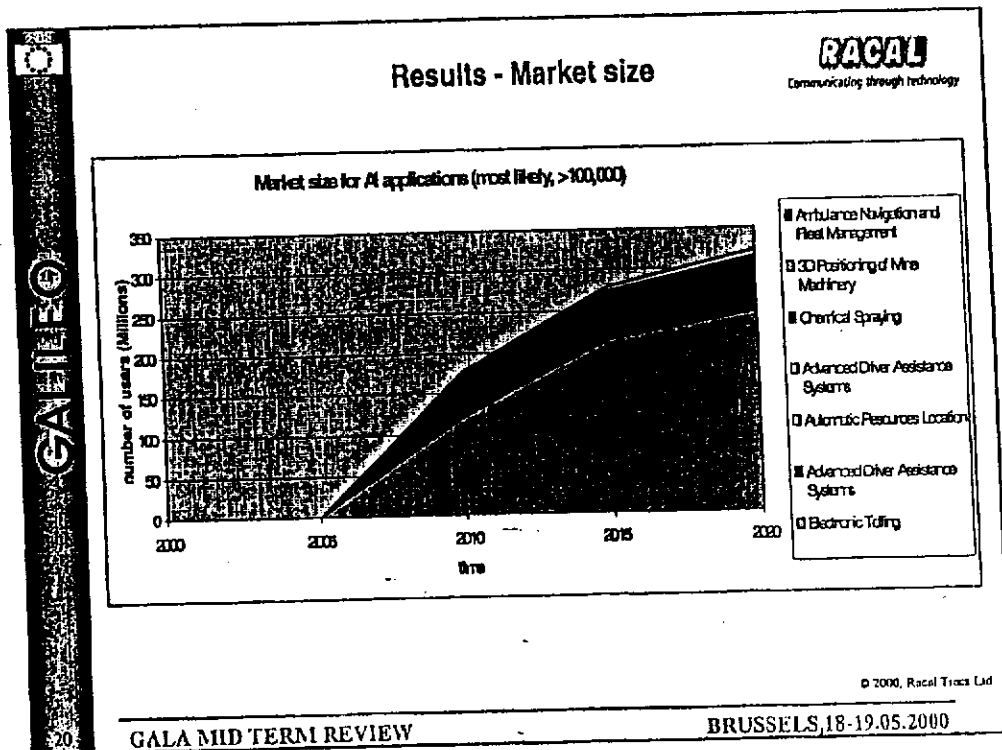
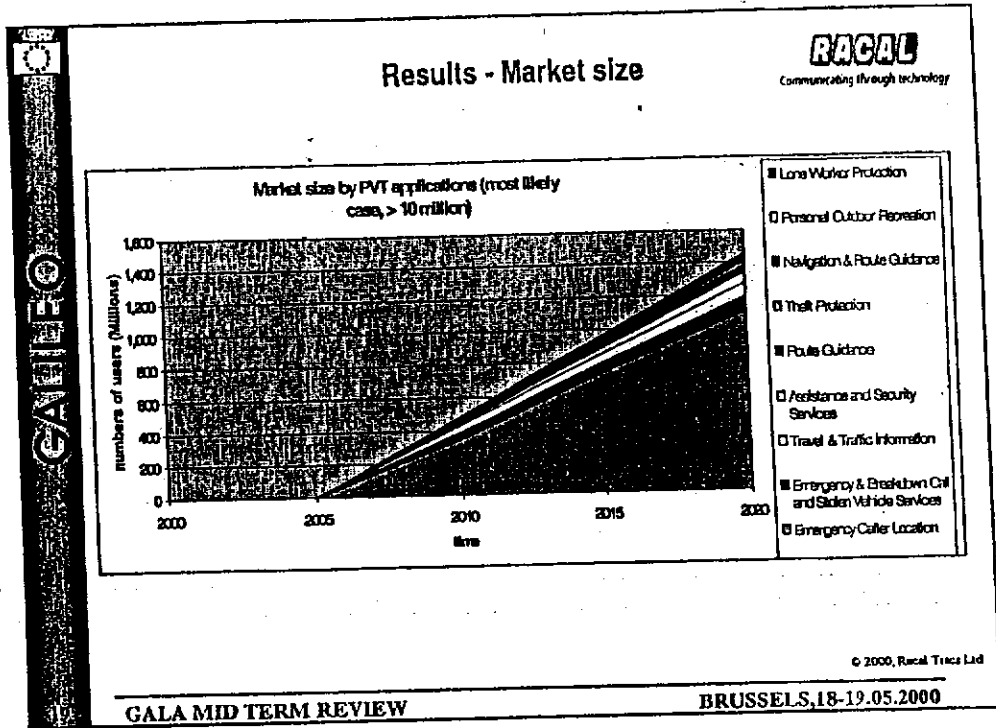
- dresse la liste des faits que l'on peut considérer comme établis,
- analyse les conséquences prévisibles des hypothèses de définition des scénarios,
- propose une liste d'actions à mettre en œuvre par l'Etat dans la mesure où les résultats de nos analyses seraient adoptés.

Nous n'entrerons pas ici dans le détail des conclusions qui pour l'essentiel résument les points évoqués dans le corps même de ce rapport. Insistons cependant sur le fait que les actions que nous proposons s'inscrivent dans le cadre de la continuité : les initiatives d'ores et déjà prises soit par le Ministère et notamment par le Secrétariat Général de l'Aviation

Civile, la Direction des Affaires Maritimes et des Gens de Mer (Bureau des Phares et Balises), l'Institut Géographique National et les organismes consultatifs tels que le Conseil National de l'Information Géographique, nous paraissent devoir être à poursuivre et si possible amplifiées. A cette condition notre pays continuera de faire valoir ses vues dans les instances européennes et internationales à qui il revient de décider de l'avenir des systèmes de base et donc des systèmes différentiels qui en sont le complément naturel.

**Les systèmes différentiels associés aux systèmes satellitaires
fournissant l'information de position et de temps**

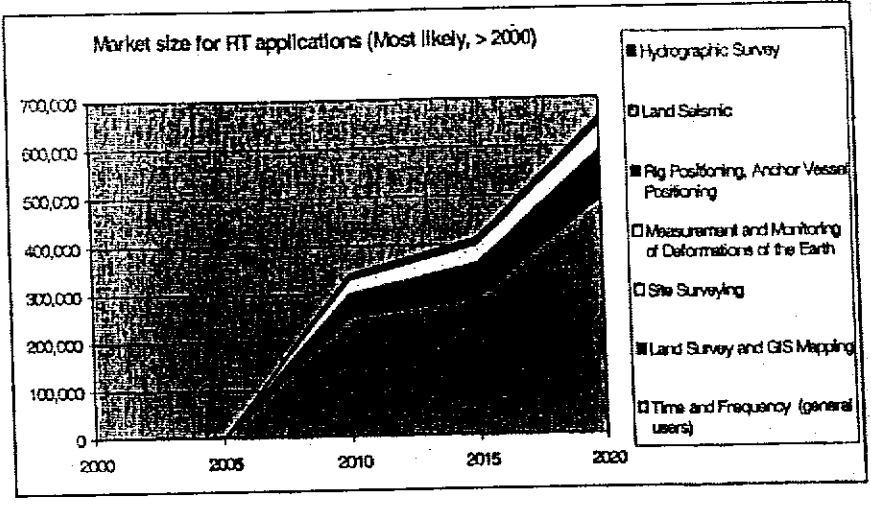
Courbe d'évolution du marché européen des services de radiopositionnement extraite de la
présentation de l'étude GALA, réf. [IX]



Results - Market size



Communicating through technology

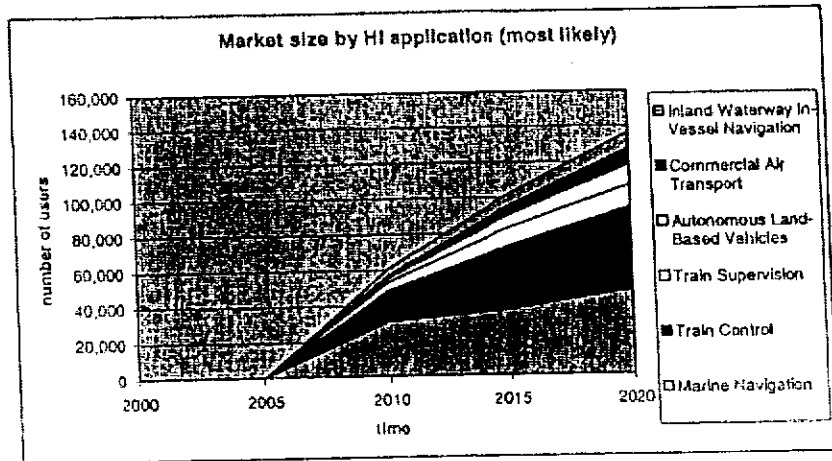


© 2009, Racal Trac Ltd

Results - Market size



Communicating through technology



© 2009, Racal Trac Ltd

**Les systèmes différentiels associés aux systèmes satellitaires
fournissant l'information de position et de temps**

Stations DGPS du réseau RGP (carte extraite de l'étude de l'IGN, réf. [XIV])

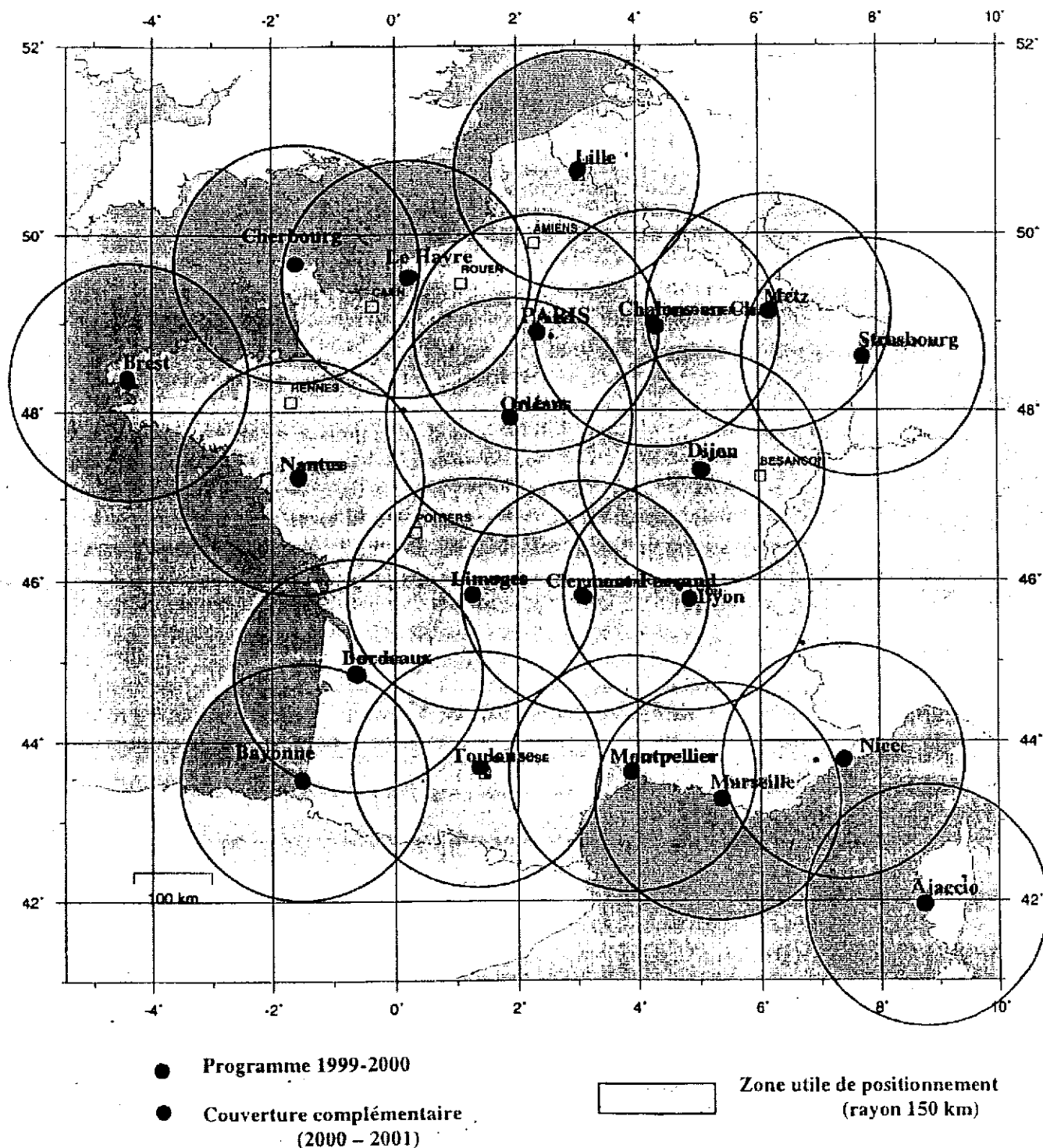
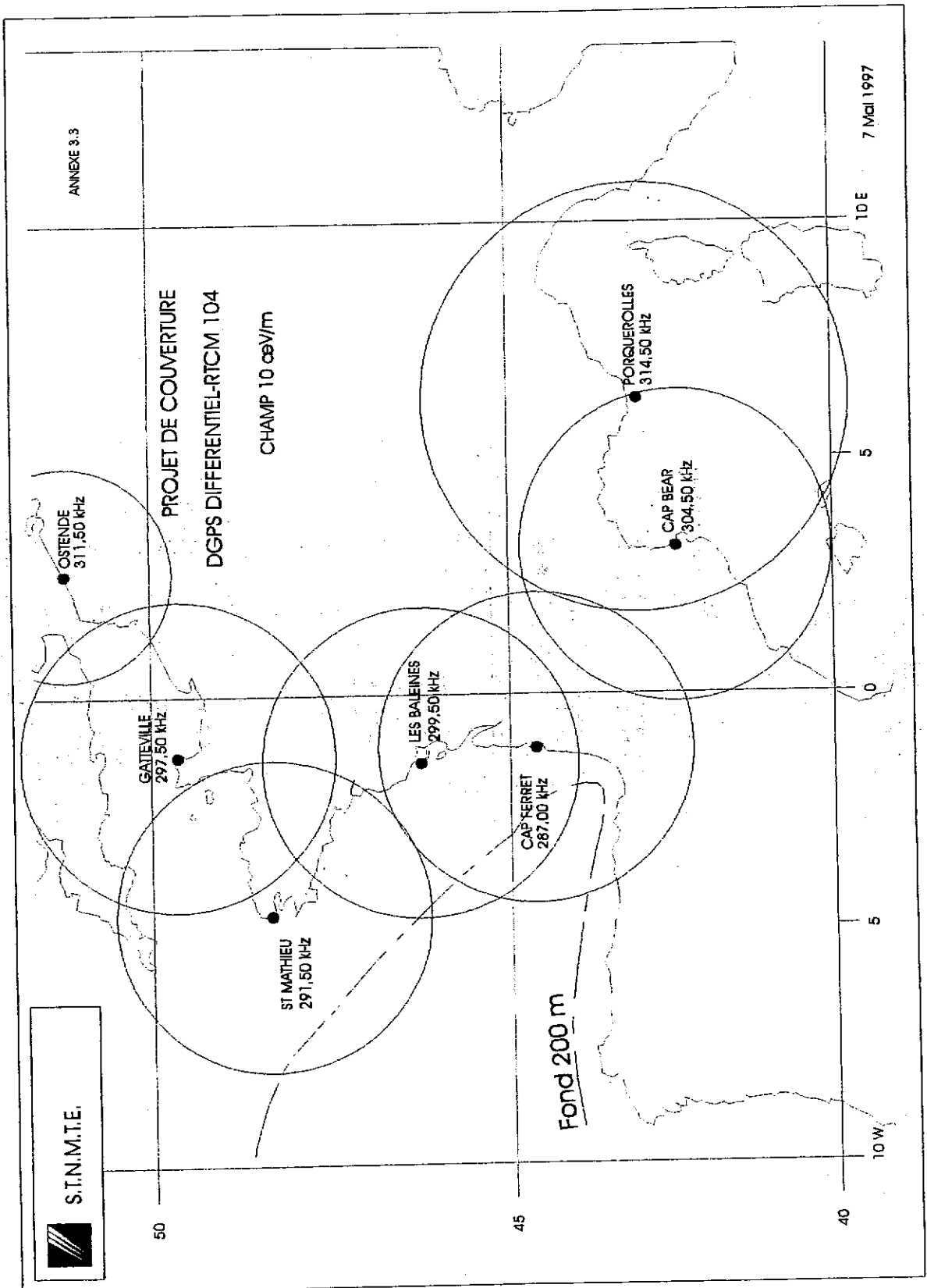


Figure 1 : schéma prévisionnel de répartition des stations DGPS

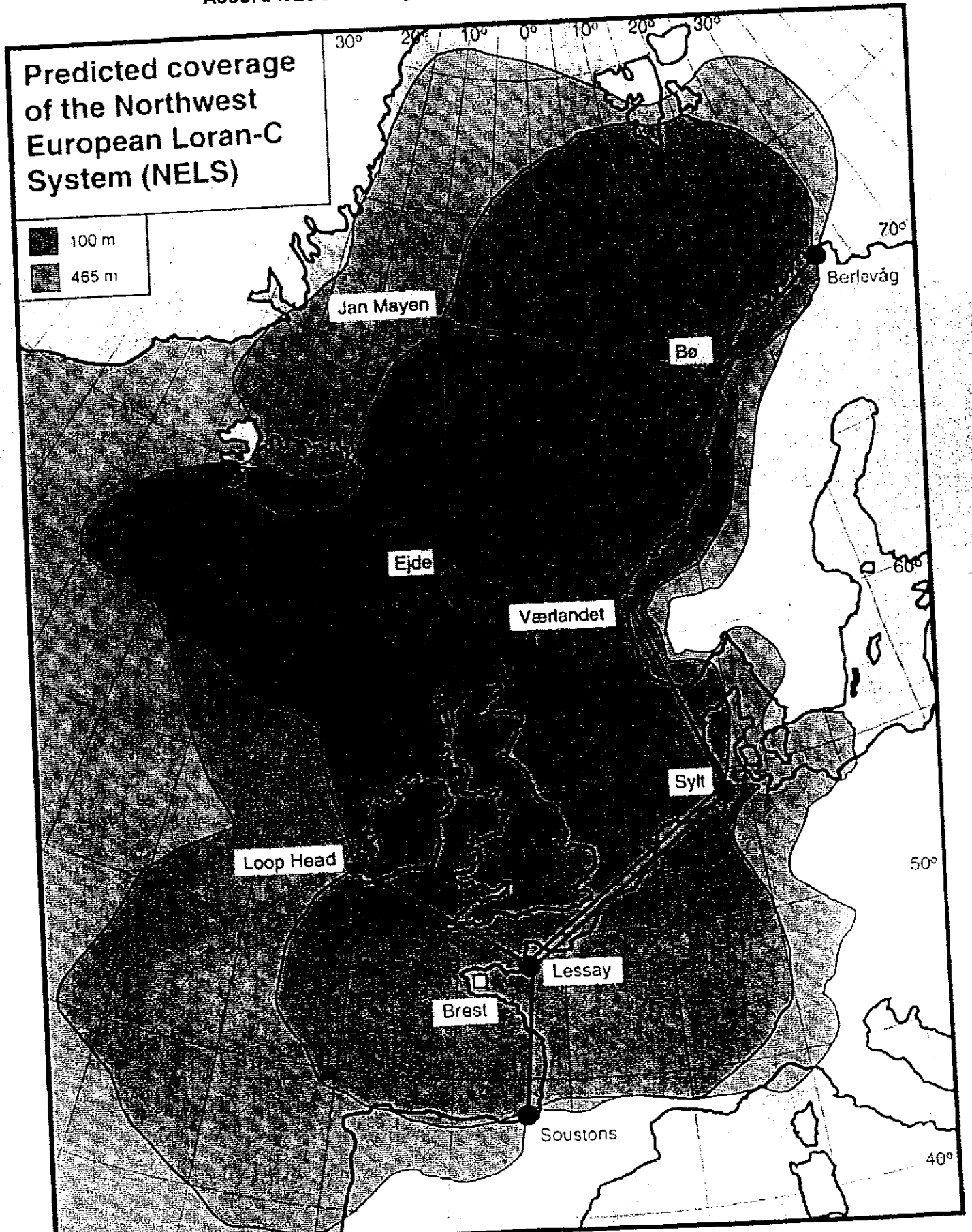


Positions des stations GPS différentiel et leur portée

Les systèmes différentiels associés aux systèmes satellitaires fournissant l'information de position et de temps

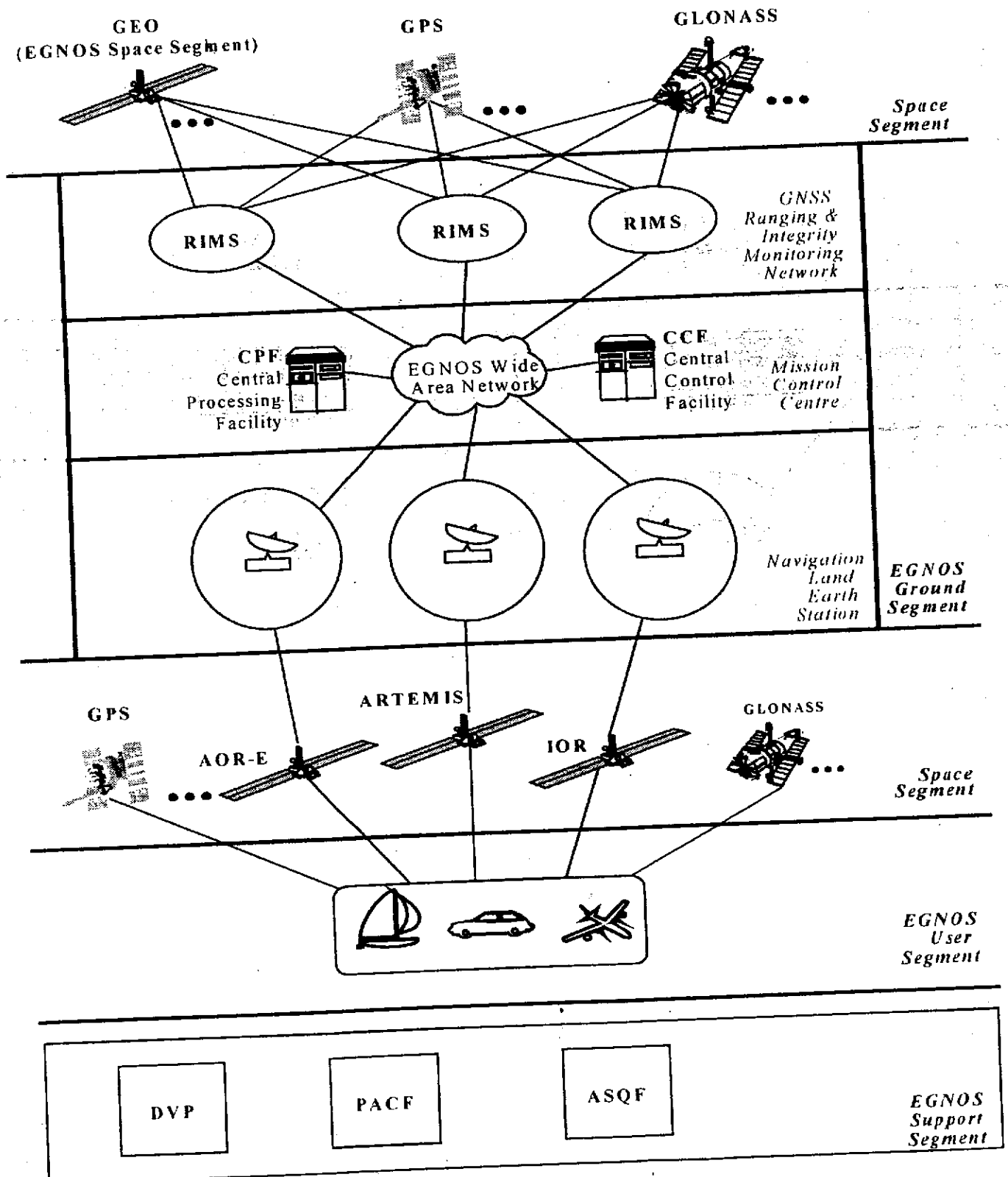
Accord NELS - Configuration de la chaîne Loran-C

Graphics: NELS



Les systèmes différentiels associés aux systèmes satellitaires fournissant l'information de position et de temps

Architecture d'ensemble du système EGNOS



**Les systèmes différentiels associés aux systèmes satellitaires
fournissant l'information de position et de temps**

Liste d'acronymes

AI	<i>Accuracy and Integrity service</i>
AISM	Association Internationale de Signalisation Maritime
CEAC	Conférence Européenne de l'Aviation Civile (33 Etats)
CNES	Centre National d'Etudes Spatiales
CNIG	Centre National de l'Information Géographique
DAMGM	Direction des Affaires Maritimes et des Gens de Mer
DARC	<i>DATA Radio Channel</i>
DGAC	Direction Générale de l'Aviation Civile
DGPS	<i>Differential GPS</i>
DRAST	Direction des Affaires Scientifiques et Techniques
DSNP/MLR	Filiales du groupe Thomson-Csf Detexis
EGNOS	<i>European Geostationary Navigation Overlay Service</i>
EMRF	<i>European Maritime Radionavigation Forum</i>
ESTB	<i>EGNOS Test Bed</i>
EUROFIX	Projet de système de diffusion de corrections différentielles fondé sur la réutilisation des stations du système de radionavigation Loran-C
FDC	France Développement Conseil
FM	<i>Frequency Modulation</i>
FRP	<i>Federal Radionavigation Plan (US)</i>
GALA	<i>GALileo Architecture</i>
GBAS	<i>Ground Based Augmentation System</i>
GEO	<i>Geostationary Orbital Satellite</i>
GLONASS	<i>Global Orbitography Navigation Satellite System</i>
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
HI	<i>High Integrity service</i>
IEC	<i>International Electrotechnical Committee</i>
IFN	Institut Français de Navigation
IGN	Institut Géographique National
ISO	<i>International Standardisation Organisation</i>
LCPC	Laboratoire Central des Ponts et Chaussées

Loran-C	Système de radionavigation à infrastructure terrestre à couverture régionale fonctionnant sur des fréquences voisines de 100 kHz
MSAS	<i>Maritime Satellite Augmentation System</i>
NELS	<i>North European Loran-C System</i>
NLES	<i>Navigation Land Earth Station</i>
OACI	Organisation de l'Aviation Civile Internationale
OMEGA	Ancien système de radionavigation à infrastructure terrestre, de couverture mondiale dont le service a été suspendu en 1997
OMI	Organisation Maritime Internationale
PSDN	<i>Packet Switch Data Network</i>
PVT	<i>Position Velocity and Time Service</i>
RDF 93	Réseau Géodésique Français 1993
RDS	<i>Radio Data System</i>
RGP	Réseau GPS Permanent
RIMS	<i>Remote Integrity and Monitoring Station</i>
RNIS	Réseau Numérique à Intégration de Service
RT	<i>Ranging and Time service</i>
RTCA	<i>Radio Technical Committee (Aviation)</i>
RTCM	<i>Radio Technical Committee (Marine)</i>
RTK	<i>Real Time Kinematic</i>
SA	<i>Selective Availability</i>
SARPs	<i>Specification And Recommended Practice for systems</i>
SBAS	<i>Satellite Based Augmentation System</i>
SELS	<i>South European Loran-C System</i>
UIT	Union Internationale des Télécommunications
VNF	Voies Navigables de France
WAAS	<i>Wide Area Augmentation System</i>

Les systèmes différentiels associés aux systèmes satellitaires fournissant l'information de position et de temps

Fiche de synthèse

Octobre 2000

Lettre de commande n° 98 MT 117

Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement

Direction de la Recherche et des Affaires Scientifiques et Techniques

Sous le titre rappelé ci-dessus l'étude rassemble les données sur les aspects techniques, institutionnels, économiques et tarifaires permettant à l'Etat de juger de la pertinence de son implication dans le déploiement de réseaux élaborant et diffusant des corrections des informations de position et de temps des systèmes satellitaires existants (GPS et GLONASS).

L'étude comprend six parties.

La première partie (définitions) rappelle les origines de la notion de systèmes différentiels et le rôle de ces systèmes dans l'amélioration de la précision de l'information fournie par les systèmes satellitaires de base.

Après une revue des résultats des nombreuses études de marché auxquels ont donné lieu les systèmes de base et les systèmes différentiels (deuxième partie), la troisième partie de l'étude présente le principe technique des systèmes différentiels et les conditions d'élaboration et de transmission aux usagers des dites corrections.

Des détails sont fournis sur les systèmes les plus répandus en France (système DGPS destiné à la navigation maritime, service DGPS de l'IGN) ainsi que sur ceux qui selon les mêmes principes sont en service à l'étranger.

Sont ensuite analysés les systèmes actuellement en cours de tests : EUROFIX et EGNOS qui combinent l'objectif des systèmes précédents d'amélioration de la précision avec celui de l'amélioration sur des zones étendues de la qualité du signal émis par les systèmes de base, et notamment de l'intégrité de ce signal.

Après avoir rappelé (quatrième partie) les motifs gouvernant l'action de l'Etat et examiné les particularités qu'offrent de ce point de vue les systèmes différentiels et notamment leur impact possible sur la sécurité des citoyens, l'étude envisage dans sa cinquième partie les conditions de l'évolution à court et moyen termes de la situation dans le marché des systèmes de base et des systèmes différentiels associés. Les décisions que prendra l'Europe quant à la mise en œuvre d'une constellation satellitaire proprement européenne mais pouvant être utilisée conjointement avec d'autres, joueront un rôle important dans cette évolution. Il en va de même des résultats des tests des systèmes EGNOS et EUROFIX.

L'étude donne la liste des faits que l'on peut considérer comme acquis et analyse les conséquences des hypothèses que l'on peut faire sur l'avenir.

L'étude propose une liste d'actions à mener par l'Etat pour faire valoir ses vues dans le domaine auprès des instances compétentes au niveau européen et international.

Les systèmes dits différentiels transmettant aux usagers des systèmes satellitaires fournissant en tout point du globe l'information de position et de temps, des corrections améliorant localement la précision de cette dernière, se développent rapidement dans le monde.

La Direction de la Recherche et des Affaires Scientifiques et Techniques, DRAST, a chargé l'Institut Français de Navigation de rassembler les éléments permettant à l'Etat de décider de la pertinence de son intervention dans le domaine.

La présente fiche résume la démarche suivie par l'Institut Français de Navigation pour répondre à cette question.

Le rapport de fin d'études qui présente cette démarche dans le détail se compose de six parties.

Sont tout d'abord introduites dans une **première partie** les définitions sur la base desquelles se fondent les concepts de systèmes de base (à savoir les grands systèmes de positionnement existants : (GPS américain, GLONASS russe et projet GALILEO européen) et de systèmes différentiels initialement conçus pour n'améliorer que la précision des systèmes de base mais capables aussi dans certaines versions plus complexes d'influencer favorablement d'autres paramètres de qualité du signal de base.

Sont ensuite résumés dans une **seconde partie**, les résultats des nombreuses études de marché qui se sont proposées d'identifier les besoins des usagers en information de position et de temps et de quantifier les marchés potentiels correspondants. Sont notamment rappelées les très larges perspectives d'utilisation de ces informations dans le domaine des transports aériens, maritimes et terrestres ainsi que la prédominance annoncée pour un futur proche des applications intéressant les transports terrestres. L'accent est d'autre part mis sur le fait que les gains de précision que permettent les systèmes différentiels sont jugés susceptibles d'attirer de très importantes clientèles de nouveaux utilisateurs même depuis que les Etats-Unis ont cessé de dégrader

La **troisième partie** décrit les systèmes différentiels existants et projetés dans leurs divers aspects techniques, financiers et institutionnels.

Le rapport met essentiellement l'accent sur :

- les systèmes utilisant les fréquences attribuées au service des radiophares (285-315 kHz), mis en service à large échelle en France et dans le reste du monde à l'initiative principalement des services de signalisation maritime regroupés au sein de l'Association Internationale de Signalisation Maritime. Ils sont appréciés non seulement des usagers maritimes mais aussi dans la partie terrestre de leur couverture par des usagers terrestres. Les systèmes de cette catégorie sont des systèmes locaux ce qui n'exclut pas que leur mise en œuvre fasse l'objet de plans coordonnés au niveau international,

- ceux qui utilisent des canaux spécialisés que l'Union Internationale des Télécommunications a réservés dans les bandes des ondes métriques assignées soit au service de radiodiffusion en modulation de fréquence soit aux services mobiles. Comme les précédents, ces systèmes sont des systèmes locaux dont la mise en œuvre serait avantageusement à coordonner au niveau international,

- enfin deux systèmes en cours de tests à grande échelle visant à améliorer la qualité des informations fournies par les systèmes de base sur de très larges zones. L'amélioration de précision attendue de ces systèmes respectivement dénommés EGNOS et EUROFIX serait du même ordre de grandeur mais sans doute légèrement inférieure à celle des systèmes dont il vient d'être fait mention, mais on peut espérer de ces systèmes qu'ils assurent aux systèmes de base l'intégrité qui leur fait défaut.

Les décisions à prendre dans l'avenir vis à vis des systèmes EUROFIX et EGNOS doivent faire l'objet d'accords internationaux.

La **quatrième partie** du rapport après avoir rappelé les missions régaliennes de l'Etat dans son rôle de protecteur et de garant de la liberté et de la sécurité des citoyens, de l'exercice de la libre concurrence et de la protection des intérêts français insiste sur les conséquences des ces missions dans le domaine réglementaire.

Il attire en particulier l'attention sur l'importance de la réglementation vis à vis des applications dites sécuritaires intéressant des activités risquant de mettre la vie humaine en danger. C'est évidemment le cas de toutes les applications visant à rendre possible ou simplement à faciliter la navigation des véhicules de transport (avions, navires, trains, automobiles).

Sont également évoquées les interventions de l'Etat en tant qu'éventuel fournisseur de service ou protecteur des intérêts français.

La **cinquième partie** du rapport identifie les schémas possibles d'évolution de la situation telle que décrite dans les parties précédentes.

Cette évolution dépendra principalement :

- d'une part de la décision que prendra l'Union Européenne dans les mois qui viennent de réaliser ou non une configuration satellitaire européenne utilisable par tout usager en temps normal conjointement avec les constellations américaine et russe, mais aussi en cas de besoin indépendamment de ces dernières,
- d'autre part du résultat des tests d'utilisation des systèmes EUROFIX et EGNOS et notamment de l'accueil que leur réserveront les usagers.

En l'absence d'éléments permettant de prédire avec certitude ce qu'il en adviendra nous avons décrit les évolutions probables sous la forme de quatre scénarios suivant la réponse positive ou négative qu'apportera l'avenir aux questions posées.

Sous le titre de conclusions et de recommandations la **sixième partie** du rapport :

- dresse la liste des faits que l'on peut considérer comme établis,
- analyse les conséquences prévisibles des hypothèses de définition des scénarios,
- propose une liste d'actions à mettre en œuvre par l'Etat dans la mesure où les résultats de nos analyses seraient adoptés.

Nous n'entrerons pas ici dans le détail des conclusions qui pour l'essentiel résument les points évoqués dans le corps même de ce rapport. Insistons cependant sur le fait que les actions que nous proposons s'inscrivent dans le cadre de la continuité : les initiatives d'ores et déjà prises soit par le Ministère et notamment par le Secrétariat Général de l'Aviation

Civile, la Direction des Affaires Maritimes et des Gens de Mer (Bureau des Phares et Balises), l'Institut Géographique National et les organismes consultatifs tels que le Conseil National de l'Information Géographique, nous paraissent devoir être à poursuivre et si possible amplifiées. A cette condition notre pays continuera de faire valoir ses vues dans les instances européennes et internationales à qui il revient de décider de l'avenir des systèmes de base et donc des systèmes différentiels qui en sont le complément naturel.