

République Algérienne démocratique et populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
Université SAAd Dahleb Blida
Faculté des sciences de l'ingénieur
Département d'aéronautique

Mémoire de fin d'études
Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'Etat en
AERONAUTIQUE
Option : Exploitation

Thème

**AVENEMENT DE LA TECHNOLOGIE NEXT
GENERATION DANS LES SYSTEMES DE
NAVIGATION AERIENNE**

Présenté par :

-

Dirigé par :

- Mr. D.Soufi

- Mme A.Benkhedda

Année : 2009

REMERCIEMENT

*Louange à notre seigneur « **ALLAH** » qui nous a dotés de la merveilleuse faculté de raisonnement. Louange à notre créateur qui nous a incités à acquérir le savoir C'est à lui que j'adresse toute ma gratitude en premier lieu.*

*Nous tenons à exprimer notre profonde reconnaissance et nos chaleureux remerciements à notre promoteur Monsieur **SOUFI Djamel**, qui nous a guidé et orienté tout au long de la réalisation de ce travail en prodiguant ses précieux conseils et ses vifs encouragements.*

*Nous tenons aussi à exprimer nos plus vifs remerciements à notre Copromotrice Madame **BENKHEDDA Amina** de l'université Saad Dahleb pour son soutien et son aide.*

*Nous tenons à remercier sincèrement monsieur **TRICHET.P** de Toulouse pour ses recommandations et sa riche documentation.*

Nous exprimons notre profonde reconnaissance aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre travail et qui nous ont honoré, en acceptant de juger celui ci.

Nous remercions également tout notre entourage, particulièrement nos collègues de promotion à qui nous tenons à exprimer toute notre sympathie pour avoir partagé plusieurs années d'études enrichissantes ensemble.



DEDICACES

J'ai l'immense plaisir de dédier ce travail :

A ma mère et mon père qui m'ont toujours soutenu, que dieu les protège.

A mes grands parents maternels et paternels.

A ma défunte tante hadja Malika.

A mes deux chères sœurs FAZILI et Nour -Elhayet.

A ma tante lalahoum.

A mes chers frères Adnen ,nasr-eddine et Samir.

A toute la famille OUALI et MOSTEGHANEMI.

A chrikj AMINE qui sans lui ce travail n'aurait pas été fait et sa famille.

A SBAI Yamine.

Et à tous ceux qui me sont chers.

SOMMAIRE

RESUME

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES ABREVIATIONS

INTRODUCTION GENERALE..... 1

Chapitre I : -Evolution des systèmes de navigation aérienne-

I.1. INTRODUCTION.....	3
I.2. HISTORIQUE SUR LES SYSTEMES DE NAVIGATION	3
I.3. DESCRIPTION DES SYSTEMES CLASSIQUES	4
I.3.1. Le VDF.....	4
I.3.2. LORAN	6
I.3.3. OMEGA	8
I.3.4. Le VOR	9
I.3.5. DME	13
I.3.6. TACAN	15
I.3.7. ILS	16
I.3.8. MLS	18
I.3.9. Le RADAR.....	19
I.4. CONCLUSION.....	21

Chapitre II : -Les systèmes satellitaires-

II.1. INTRODUCTION	23
II.2. LES CONSTELLATIONS DE BASE.....	23
II.2.1. Le GPS.....	23
II.2.2. Le système GLONASS :	32
II.3. LES SYSTEMES GLOBAL DE NAVIGATION PAR SATELLITE (GNSS):	37
II.4. LES SYSTEMES D'AUGMENTATIONS	38
II.4.1. Les systèmes de bord de renforcement GNSS (ABAS)	39
II.4.2. Les systèmes de renforcement GNSS par station sol GNSS (GBAS).....	40
II.4.3. Les systèmes de renforcement par satellites (SBAS)	41
II.4.3.1 Le système EGNOS	42
II.4.3.2 Le système WAAS.....	47

II.5. CRITERES DE PERFORMANCE DE NAVIGATION	49
II.6. OPERATIONS ET AUGMENTATIONS GNSS.....	51
II.7. DESCRIPTION DES SYSTEMES SATELLITAIRES EN DEVELOPPEMENT... 51	
II.7.1. GALILEO	51
II.7.2. Le GPS modernisé (GPS III).....	54
II.8. CONCLUSION.....	55

Chapitre III : - La technologie « Next generation » et son implication dans la gestion du trafic aérien -

III.1. INTRODUCTION	57
III.2. NÉCESSITÉ DE NOUVELLES TECHNOLOGIES	57
III.2.1. Le Comité FANS	57
III.2.2. La dixième conférence de navigation aérienne	58
III.2.3. Concept CNS/ATM	59
III.2.3.1 Définition	59
III.2.3.2 Vision stratégique.....	59
III.2.3.3 Mission de la mise en œuvre	59
III.3. LA TECHNOLOGIE <i>Next Generation</i>	60
III.3.1. Définition de la <i>Next Generation</i>	60
III.3.2. Les futurs systèmes de navigation	61
III.3.2.1 La navigation de surface (RNAV)	62
III.3.2.2 La navigation par satellite (GNSS)	65
III.3.3. Les futurs systèmes de communication.....	67
III.3.3.1 Evolution des modes de communication.....	67
III.3.3.2 Communication contrôleur-pilote par liaison de données (CPDLC).....	70
III.3.4. Les futurs systèmes de surveillance.....	71
III.3.4.1 ADS	72
III.3.5. Vision globale des programmes futurs de l'ATM.....	76
III.4. APPORT DE LA TECHNOLOGIE <i>Next Generation</i>	77
III.5. CONCLUSION.....	78

Chapitre IV : - L'Algérie et la technologie « Next Generation »-

IV.1. INTRODUCTION	80
IV.2. PRESENTATION DE L'ENNA	80
IV.2.1. Les missions de l'ENNA	81
IV.2.2. L'organisation de l'ENNA	82

IV.3. PRESENTATION DE L'ESPACE AERIEN ALGERIEN	84
IV.4. PRESENTATION DE L'ATC EN ALGERIE	86
IV.4.1. Les aérodromes.....	86
IV.4.2. Le réseau des routes.....	87
IV.5. CONCEPT CNS/ATM EN ALGERIE	88
IV.5.1. Communication	88
IV.5.2. Navigation	90
IV.5.3. Surveillance	91
IV.6. EVOLUTION DU TRAFIC AERIEN ALGERIEN.....	92
IV.6.1. Trafic en route	92
IV.6.2. Trafic aérodrome	94
IV.7. L'ALGERIE FACE A L'ÉVOLUTION DU TRAFIC AERIEN.....	97
IV.8. L'APPORT DE L'UTILISATION DU SYSTEME GNSS EN ALGERIE	98
IV.8.1. Apports opérationnels.....	98
IV.8.2. Apports économiques	98
IV.9. LE MANQUE POUR L'UTILISATION DU GNSS DANS LA NAVIGATION AERIENNE EN ALGERIE	99
IV.10. APERÇU DE L'IMPLANTATION DU GNSS AU NIVEAU REGIONAL	99
IV.11. QUE DOIT FAIRE L'ALGERIE POUR L'INTRODUCTION DU GNSS	105
IV.12. CONCLUSION	106
Conclusion générale.....	108
BIBLIOGRAPHIE	110

LISTE DES FIGURES ET GRAPHES

Liste des figures

Figure I.1. Principe de fonctionnement du LORAN.....	7
Figure I.2. Les stations OMEGA.....	9
Figure I.3. L'antenne VOR.....	9
Figure I.4. Les radiales VOR.....	10
Figure I.5. Diagramme de rayonnement de l'antenne VOR.....	11
Figure I.6. Différents angles de navigation d'un avion proche d'une station VOR.....	12
Figure I.7. La distance DME.....	13
Figure I.8. Principe de fonctionnement du DME.....	14
Figure I.9. Une antenne TACAN.....	16
Figure I.10. Atterrissage à l'ILS.....	17
Figure I.11. Couverture MLS.....	18
Figure I.12. Scope RADAR.....	21
Figure II.1. La constellation des satellites GPS.....	25
Figure II.2. Les stations de contrôle du GPS.....	25
Figure II.3. Le principe de triangulation.....	26
Figure II.4. Émission des signaux GPS.....	27
Figure II.5. Propagation du signal émis par deux satellites.....	27
Figure II.6. Principe de positionnement GPS.....	28
Figure II.7. Les pseudos distances GPS.....	29
Figure II.8. La constellation des satellites GLONASS.....	32
Figure II.9. Répartition des satellites de GLONASS.....	34
Figure II.10. Segment de control de GLONASS.....	34
Figure II.11. Les composants du GNSS.....	38
Figure II.12. Principe de fonctionnement de GBAS.....	40
Figure II.13. La couverture des augmentations SBAS.....	41
Figure II.14. Principe de fonctionnement d'EGNOS.....	43

Figure II.15. Architecture de system EGNOS.....	45
Figure II.16. Les stations de références du WAAS.....	48
Figure II.17. La couverture du WAAS.....	49
Figure II.18. La future structure du GNSS.....	55
Figure III.1. Réseau d'échange d'informations ADS-B.....	74
Figure III.2. Architecture ADS-B.....	75
Figure IV.1. Organigramme de l'ENNA.....	82
Figure IV.2. Organigramme de la DENA.....	83
Figure IV.3. Organigramme de la DCA.....	83
Figure IV.4. Carte des FIR de l'espace aérien Algérien.....	85
Figure IV.5. Carte des aérodromes en Algérie.....	87
Figure IV.6. Carte Réseau des routes internationales passant par l'Algérie.....	88
Figure IV.7. Carte de réseau des routes nationales.....	88
Figure IV.8. Carte de Couverture actuelle de VHF en Algérie.....	90
Figure IV.9. Carte de couverture Radar en Algérie.....	92
Figure IV.10. Disponibilité APV-I au-dessus de la Région AFI 23 juin 2005.....	102

Liste des graphes

Graphe IV.1. Evolution de trafic aérien En-Route 2003-2008.....	93
Graphe IV.2. Les prévisions de trafic En-route 2003-2015.....	94
Graphe IV.3. Evolution de trafic aérodrome 2001-2008.....	95
Graphe IV.4. Prévisions de trafic aérodrome 2001-2015.....	96

LISTE DES TABLEAUX

Tableau II.1. Configuration du GLONASS.....	35
Tableau II.2. Les performances d'EGNOS et les niveaux de performances définis par l'OACI.....	46
Tableau II.3. Les critères de performance de la navigation.....	50
Tableau II.4. Le potentiel des augmentations dans les catégories d'atterrissage.....	51
Tableau III.1. Les différents types de la RNP.	64
Tableau IV.1 : Les secteurs Actuels.....	85
Tableau IV.2. Les moyens de communication en Algérie	89
Tableau IV.3. Les VHF en Algérie (Nombre /Emplacement).....	89
Tableau IV.4. Les aides à la navigation en Algérie.....	90
Tableau IV.5. Les équipements de surveillance en Algérie.....	91
Tableau IV.6. Les Radars et leur emplacement en Algérie.....	91
Tableau IV.7. Le trafic Aérien EN-Route en Algérie.....	93
Tableau IV.8. Prévision de trafic en route (2003-2015).....	94
Tableau IV.9. Evolution du trafic aéroport de 2001 à 2008.....	95
Tableau IV.10. Prévision de trafic aéroport (2001-2015).....	96

LISTE DES ABREVIATIONS

AAC	Aeronautical Administrative Communications
AAIM	Airborne Autonomous Integrity Monitoring
ABAS	Airborne Based Augmentation System
ACARS	Aircraft Communications, Addressing and Reporting System
ADS	Automatic Dependent Surveillance
ADS-B	Automatic Dependent Surveillance-Broadcast
AEFMP	Algérie, Espagne, France, Maroc, Portugal
AFI	Africa-Indian Ocean Region
AFS	Aeronautic Fixed Service
AIS	Aeronautical Information Services
AMS	Aeronautic Mobile Service
AMSS	Aeronautical Mobile Satellite Services
AMSS	Aeronautical Mobile Satellite Service
AOC	Aircraft Operation Communication
APV	Approach with vertical guidance
ASECNA	Agence pour la Sécurité de la Navigation Aérienne en Afrique et à Madagascar
ATC	Air traffic control
ATC	Air Traffic Control
ATM	Air Traffic Management
ATN	Aeronautical Telecommunication Network
BRNAV	Basic Area Navigation
CAP	Circulation Aérienne Publique
CCF	Central Control Facility
CCR	Centre de Contrôle Régional
CNS	Communication Navigation Surveillance
CPDLC	Controller Pilot Data Link Communications
DAB	Département d'Aéronautique de Blida
DECCA	Hyperbolic Area Navigation System
DGPS	Differential Global Positioning System
DME	Distance Measurement Equipment
DOD	Department Of defense
DSA	Direction de Sécurité Aéronautique
ECAC	European Civil Aviation Conference
ECEF	Earth Centred Earth fixed
EGNOS	European Geostationary Navigation
ENAC	Ecole Nationale de l'Aviation Civile
ENNA	Etablissement National de la Navigation Aérienne

FAA	Federal Aviation Administration
FANS	Future Air Navigation Systems
FCI	The Future communications infrastructure
FIS-B	Flight Information Service
FM	Frequency Modulation
FMS	Flight Management System
GBAS	Ground Based Augmentation system
GDOP	Global Dilution Of Precision
GLONASS	Global Navigation Satellite System
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
GRAS	Ground-Based Regional Augmentation System
HF	High Frequency
IATA	International Air Transport Association
IFF	Identification Friend or Foe
ILS	Instrument Landing System
IRF	Instrument Flight Rules
LF	Low frequency
LORAN	Long Range Navigation
MCC	Mission Control Center
MLS	Microwave Landing System
Mode S	Mode selectif
MTSAT	Multi-Functional Transport Satellite
NAVSTAR	Navigation System by Timing and Ranging
NLES	Navigation Land Earth Station
NM	Nautical Mile
OACI	Organisation de l'Aviation Civile
PANS-OPS	Procedures for Air Navigation Services Operations
PBN	Performance Based Navigation
PSR	Primary Secondary Radar
QDM	Magnetic heading to facility
QDR	Magnetic Bearing
QTE	True bearing
RAIM	Receiver Autonomous Integrity Monitoring
RIMS	Ranging and Integrity Monitoring Station
RNAV	Area Navigation
RNP	Required Navigation
RVSM	Reduced Vertical Separation Minimum
SA	Selective Availability
SBAS	Satellite Based Augmentation System
SID	Sudden Ionospheric Disturbance

SID	Standard Instrument Departure
SSR	Secondary Surveillance Radar
STAR	Standard Terminal Arrival Route
STDMA	Self-organising Time Division Multiple Access
TACAN	Tactical Air navigation aid
TIS-B	Traffic Information Service
UHF	Ultra High Frequency
UTC	Universal Time Coordinated
VDF	VHF Direction Finding
VHF	Very High Frequency
VLF	Very Low Frequency
VOR	VHF Omni directional Range
WAAS	Wide Area Augmentation System
WGS-84	World Geodetic System 1984

INTRODUCTION
GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

L'Algérie a connu durant ces dernières années, une augmentation de trafic aérien assez importante, qui est en évolution constante se caractérisant par un nombre de mouvements qui est passé de 135768 mouvements en 2003 à 168314 mouvements en 2008 avec une augmentation moyenne du taux annuel de plus de 5% qui est passé de 4,4% en 2003 à 6,2% en 2008. Les prévisions de trafic pour 2015 donnent un taux d'augmentation de 57 % par rapport à 2003, soit 213878 mouvements prévus.

Compte tenu de cette situation, l'Algérie est appelée à introduire de nouveaux moyens CNS afin d'assurer une meilleure gestion de son trafic pour les années à venir.

Dans ce contexte, l'ENNA fait des efforts considérables dans les domaines de la communication et de la Surveillance pour répondre aux besoins et défis futurs liés au trafic.

L'utilisation de nouveaux moyens de navigation aérienne aura un rôle important pour relevé de ces défis et ce qui permettra à l'Algérie de se distinguer dans le domaine de la gestion de trafic et de la navigation

Ces nouveaux moyens sont liés essentiellement aux systèmes satellitaires. Le système GNSS est connu pour permettre une navigation sûre et précise pour toutes les phases de vol.

Notre étude s'intéresse à ce système, elle vise à déterminer ses éventuels apports pour l'Algérie.

L'étude est composée essentiellement de quatre (04) chapitres :

- Le 1^{er} chapitre contient une description des systèmes classiques de navigation aérienne tout en précisant les inconvénients de chaque système.
- L'objet du 2^{ème} chapitre donne les définitions des nouveaux systèmes basés sur les techniques satellitaires avec une analyse détaillée des différentes constellations opérationnelles, de ceux en développement et de leurs augmentations. Le chapitre fait aussi référence à la notion des critères de performances.
- Le 3^{ème} chapitre présente le concept CNS/ATM, et introduit les systèmes de nouvelle génération de la communication, navigation et surveillance. Une description de nouveaux programmes liés à l'amélioration de la gestion de trafic est établie tels que le NEXGEN (le système de transport aérien de la prochaine génération) des Etats Unis et SESAR (programme de recherche ATM dans le cadre du Ciel Unique Européen). Ce chapitre traite aussi l'interopérabilité et l'harmonisation de ces deux programmes.
- Le dernier chapitre enfin, donne une présentation de l'organisme délégué (ATC Service Provider) en Algérie pour la gestion de trafic aérien (ENNA). Nous y décrivons le concept CNS/ATM actuel en Algérie et nous proposerons l'introduction et la mise en place du GNSS en tant que moyen de nouvelle technologie en Algérie.
- Une conclusion sera établie à la fin de ce travail.

CHAPITRE I :

I.1. INTRODUCTION

La navigation est la science et les techniques qui permettent de connaître la position (les coordonnées) d'un mobile par rapport à un système de référence ou un point fixe déterminé, de fournir des informations concernant la route à suivre pour rejoindre un autre point de coordonnées connues et d'estimer avec un certain degré de précision toute information relative au déplacement de ce mobile : distance, vitesse, heure estimée d'arrivée... ; Au cours de la seconde moitié du XX^e siècle, elle s'est développée grâce à la radionavigation [28]. Le développement et la généralisation, au début du XXI^e siècle, des nouveaux moyens de positionnement tendent à changer la spécificité de la navigation aérienne.

I.2. HISTORIQUE SUR LES SYSTEMES DE NAVIGATION

La localisation classique des mobiles est basée sur l'utilisation des stations au sol. Elle s'est développée d'abord à l'occasion des voyages maritimes. Elle se fait dans le référentiel géographique et elle est basée sur une infrastructure artificielle de phares et de balises diverses. Et selon le cas, les données sont obtenues directement à bord du mobile, ou dans les stations de l'infrastructure, et communiquées ensuite au mobile [28]. Ces différents systèmes sont de type différent :

- Les radiophares tournant (ex : le VOR) ;
- Les systèmes de mesure de distance (ex : le DME) ;
- Les systèmes d'atterrissage (ex : l'ILS, MLS).

L'utilisation des ondes radio comme aide à la navigation est simultanée à la découverte des antennes à cadre directionnel et de la radiogoniométrie associée. Les radiophares ont commencé à aider les navires en Atlantique Nord avant leur usage en aviation.

En mesurant la direction de deux radiophares ou plus avec un radiocompas, le navigateur détermine un point probable par triangulation. Ces radiocompas se sont perfectionnés jusqu'aux modèles actuels encore largement utilisés en aéronautique [1].

Une évolution majeure a été obtenue avec les premiers systèmes hyperboliques, le LORAN et le Decca, vers 1940-1945. Le premier système hyperbolique est le LORAN-A, puis le Decca a été perfectionné dans les années 1970. L'Oméga était aussi un système hyperbolique, de couverture globale. Il fut développé pour le besoin de la marine américaine. Ce système utilise les ondes VLF, un mobile pouvait ainsi recevoir partout quatre ou cinq stations et calculer sa position avec une précision de quelques milles. Le système, peu précis,

lourd et coûteux au sol, a été abandonné dans les années 1990. Un système similaire fut développé par l'ex-URSS.

I.3. DESCRIPTION DES SYSTEMES CLASSIQUES

I.3.1. Le VDF

- **Description :**

Le VDF, est une aide à la radionavigation très ancienne, son rôle est de déterminer la direction de l'avion.

C'est donc un indicateur VHF de direction installé au sol. Le VDF désigne tout simplement le cap à prendre par l'avion pour rejoindre une station au sol. L'avantage de cet équipement est que l'information est fournie même en conditions de vol sans visibilité [1].

Le principe général utilisé dans les systèmes radiogoniométriques est la génération d'un champ électromagnétique autour d'une antenne alimentée par un courant alternatif, les antennes utilisées sont constituées par deux antennes verticales. La distance entre les deux antennes verticales est une fraction précise de la longueur d'onde, et elle détermine la nature du diagramme de rayonnement [26]. On choisit cette distance de façon à obtenir un diagramme en double cercle. Le diagramme obtenu produit à sa verticale un cône de silence et un diagramme horizontal qui rayonne dans toutes les directions.

- **Les avantages des VDF :**

Les VDF ont une bonne précision et sont insensibles aux éléments météorologiques.

- **Les inconvénients et les erreurs des VDF :**

Les VDF présentent plusieurs inconvénients :

- Un cône de silence à la verticale ;
- Le rayon du cône pratiquement égal à la hauteur de l'avion au-dessus de la station (angle de site de l'ordre de 45°) ;
- Une portée optique radioélectrique : $D(NM) = 1,2\sqrt{H(ft)}$;
- Une saturation très rapide;
- Une information non continue pour le pilote.

Comme on peut le constater les VDF présentent aussi plusieurs erreurs :

- Les erreurs de réflexion, néanmoins corrigeables, dues à l'onde directe et à l'onde réfléchie ;
- Les erreurs de polarisation en cas d'onde oblique ;
- La sensibilité aux obstacles.

- **Les caractéristiques du goniomètre :**

- **La fréquence :**

Sa fréquence peut varier de 118 à 136 MHz.

- **La portée :**

Sa portée est optique :

1000 ft : 20 à 39 Nm.

3000 ft : 50 Nm.

8000 ft: 100 Nm.

- **La précision :**

Sa précision est de 1° à 5°. Le VDF est insensible aux perturbations atmosphériques mais les fréquences sont arrêtées par les obstacles.

- **Les informations données :**

Les informations données sont des relèvements en phonie sur demande : QDM ou QDR. Ainsi, la position de l'avion peut être déterminée par les relèvements simultanés de plusieurs stations.

- **L'utilisation du goniomètre :**

Le goniomètre est utilisé en navigation ou en approche. En effet, un émetteur récepteur de bord peut obtenir après une émission sur la fréquence du gonio les informations suivantes :

- Des caps magnétiques à suivre par vent nul pour se diriger, sans vent, vers la station (QDM).
- Un relèvement magnétique par rapport à la station (QDR).
- Un relèvement vrai (QTE).

Le goniomètre fonctionne, en général, dans la bande de fréquence VHF 118,00 à 119,90 Mhz. L'équipement de bord comprend un émetteur VHF. Sur la fréquence requise, le pilote contacte la station VDF et transmet pour QDM.

Lorsque le pilote doute de sa position ou qui désire contrôler sa navigation estimée, peut contacter à partir d'une altitude suffisante une station goniométrique pour se situer par les QDR, QTE, ou se faire tirer par les QDM (radioalignement Homing) le long du trajet.

Quand le pilote d'un avion demande un QDM, l'opérateur voit apparaître sur son écran circulaire un spot radial : c'est-à-dire un rayon lumineux qui est en même temps un rayon du cercle-écran puisqu'il va comme l'aiguille d'un cadran du centre jusqu'au bord de l'écran. Il suffit alors à l'opérateur de lire, sur ce bord gradué de 0 à 360°, le QDM directement indiqué par le spot. Il peut lire aussi sur sa rose les QDR et QTE. Ainsi, le goniomètre au sol capte, mesure la direction de l'émission et annonce le QDM à suivre pour rejoindre sans vent la station. En prenant le cap indiqué, le pilote se dirige vers la station.

Quelques minutes plus tard, 10 minutes en moyenne, s'il demande à nouveau un QDM, il constatera que ce dernier aura certainement varié par rapport au précédent en raison de la dérive occasionnée par le vent.

Avec ce système de QDM en QDM, le pilote se fera tirer par le V.D.F. jusqu'à l'aérodrome où celui-ci est installé en général près d'une piste d'atterrissage. En principe, la station gonio est située dans la tour de contrôle.

- **Les types de VDF :**

On distingue plusieurs types de VDF :

- **Le VDF à aiguilles :**

Dans ce cas, l'opérateur dispose d'un cadran gradué et lorsqu'une émission est reçue, l'aiguille vient pointer sur le QDM correspondant.

- **Le VDF à oscilloscope :**

Dans ce cas, l'opérateur dispose d'un tube cathodique gradué et une figure caractéristique fait alors apparaître la lecture.

- **Le VDF à affichage numérique :**

Dans ce cas, l'opérateur dispose d'un cadran à trois tubes à affichage numérique. Le QDM apparaît alors directement devant l'opérateur.

I.3.2. LORAN

- **Description :**

Le LORAN est un système de navigation hyperbolique à longue portée, mis au point pendant la seconde guerre mondiale(1940) par l'armée américaine, utilisé pour des fins militaires, autrefois ce système équipait un grand nombre d'avions. Il avait été remplacé par les centrales inertielles. Le rôle de ce système est de fournir la position géographique de l'avion, en comparant les temps d'arrivée de signaux radio émis par plusieurs stations terrestres fixes [1].

La première version du système Loran, est le Loran-A, il fonctionne dans la bande de fréquences allant de 1,8 à 2,0 MHz. Après la guerre, le Loran-A subit quelques améliorations, en particulier au niveau de la précision de la base de temps et de la cohérence de phase à l'émission. Cette évolution, baptisée Loran-B, est abandonnée en 1956 au profit du Loran-C, qui utilise des émetteurs basses fréquences de 100 kHz. Plus fiable et de plus longue portée que son prédécesseur. Le Loran-C couvre la quasi-totalité du globe, ce dernier est toujours en activité et constitue un système complémentaire du système de navigation par satellite GPS.

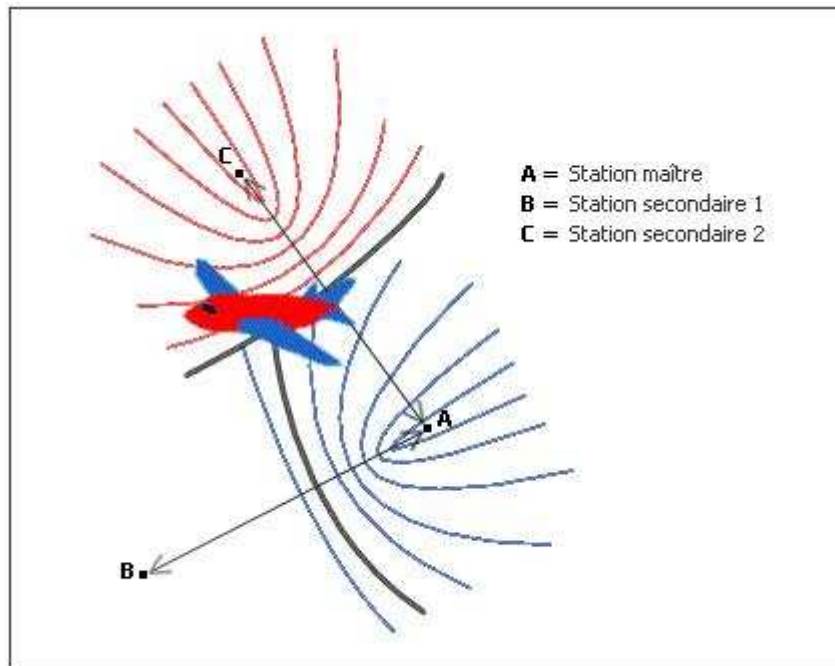


Figure I.1. Principe de fonctionnement du LORAN.

Son principe de fonctionnement repose sur une méthode de calcul par triangulation. Le système émetteur Loran est constitué d'une station « maître » (station A) et de deux stations secondaires ou « esclaves » (stations B et C). La station maître émet une impulsion ou un signal court à intervalles réguliers. Cette impulsion est répétée par les stations secondaires, qui sont contrôlées par radio à partir de la station maître. Les signaux reçus à bord de l'avion sont amplifiés et affichés sur un écran cathodique. Les circuits du récepteur mesurent l'écart de temps au millionième de seconde près entre l'arrivée des signaux radio émis par les trois stations terrestres. Comme la vitesse des ondes électromagnétiques est connue et que les distances entre les stations A, B et C sont fixes, le système calcule la différence des distances de l'avion à chacune des trois stations. À partir des mesures obtenues avec les stations A et B, la position de l'avion suit une hyperbole de foyers A et B ; de même, en répétant cette opération avec les stations A et C, la position de l'avion suit une autre hyperbole de foyers A et C. L'intersection de ces deux hyperboles donne la position de l'avion avec une bonne précision [1].

Le navigateur dispose ainsi d'une carte sur laquelle figure une série d'hyperboles, appelées lignes Loran de position. La lecture de la position de l'avion s'effectue alors comme une simple lecture de coordonnées géographiques, les cercles figurant les longitudes et les latitudes étant remplacées par des hyperboles.

Avec une fréquence basse de 100 kHz et une portée de 1 500 km à 3 500 km, le système Loran-C peut être utilisé pour mettre un cap et le maintenir, et bien évidemment pour déterminer une position. Il sert également à la navigation maritime et aérienne, ainsi que pour les transports intérieurs. Il possède l'avantage de ne pas dépendre des conditions météorologiques. Sa précision est de quelques centaines de mètres à quelques kilomètres selon le matériel utilisé et la distance entre l'appareil et les stations émettrices.

- **Les inconvénients du LORAN :**

- les signaux sont sujets aux interférences locales provenant notamment d'émetteurs à basses fréquences (LF) et du rayonnement provenant de lignes électriques à haute tension;
- Le système récepteur peut être vulnérable aux parasites dûs aux précipitations; et
- La panne d'un émetteur peut laisser une vaste zone sans couverture de signaux.

- **Intégrité :**

Le LORAN-C ne donne aucune indication au pilote lorsque les signaux émis se traduisent par des données de position inexacts. Ce système n'offre donc pas l'intégrité qui est d'une importance capitale pour les vols IFR.

I.3.3. OMEGA

- **Description :**

Le système Oméga est un système de type hyperbolique, similaire au Loran-C. La particularité de l'Oméga est de fonctionner dans la gamme des très basses fréquences (VLF), entre 10 et 14 kHz. La couverture mondiale de l'OMEGA est assurée par l'intermédiaire de huit stations terrestres. voir fig.I.2

La précision du système Oméga dépendait de la stabilité du guide d'onde ionosphérique, compensée par des calculs et des tables de prédiction. Certaines variations, comme celle due à l'altitude de l'ionosphère entre jour et nuit pouvaient être compensées, d'autres comme les perturbations soudaines (*Sudden Ionospheric Disturbance* : SID) pouvaient créer une erreur. Compte tenu de ces imprécisions, la qualité moyenne d'un point Oméga était de quelques milles. L'Oméga est donc resté un système de navigation au large pour les navires [26].

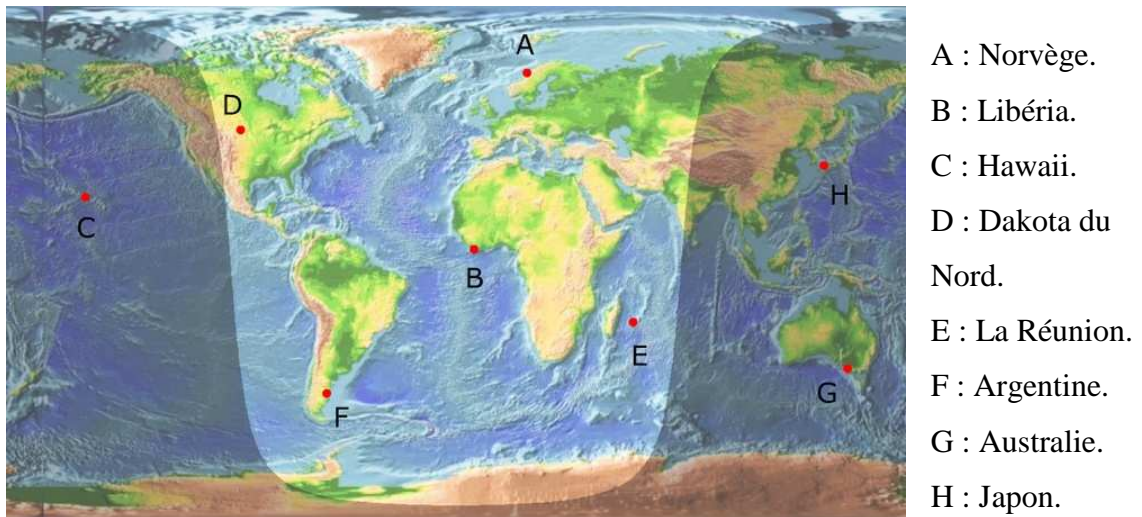


Figure I.2. Les stations OMEGA.

I.3.4. Le VOR



Figure I.3. L'antenne VOR.

- **Définition :**

Le VOR (*VHF Omnidirectionnal radio Range*) a été adopté en 1949 par l'OACI, comme aide à la navigation à moyenne distance pour l'aviation civile internationale. Et depuis, il est devenu le principal outil électronique de localisation dans la plupart des pays [1]. On distingue parmi les VOR :

- Les T-VOR (terminal VOR, gamme VHF=108 Mhz à 112 Mhz tous les 1/10 Mhz pairs), qui sont utilisés à courte distance.

- Les VOR (gamme VHF=de 95 à 117.95 Mhz tous les 1/20 Mhz), qui sont utilisés à moyenne distance.

- **Les radiales VOR :**

Les deux signaux rayonnant vers l'extérieur à partir d'une station VOR génèrent 360 faisceaux disposés comme les rayons d'une roue de bicyclette. Chacun de ces faisceaux est appelé une « radiale ». Les instruments de navigation VOR d'un avion peuvent déterminer sur laquelle de ces 360 radiales se trouve l'appareil. Le pilote peut également sélectionner une radiale pour définir une route magnétique en direction ou à partir d'une station VOR. Les équipements VOR affichent la position de l'avion par rapport à la station et à la route sélectionnée.

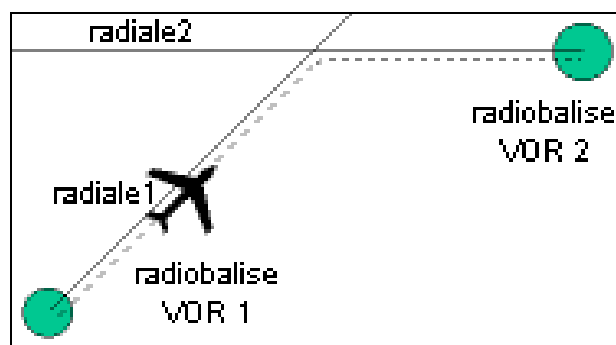


Figure I.4. Les radiales VOR.

- **Le VOR/D :**

Le VOR défini précédemment est connu sous le nom du VOR/C (conventionnel). Une autre version existe ; le VOR/D (Doppler) moins sensible aux phénomènes de multi-trajet.

Il utilise l'effet DOPPLER. Physiquement dans les VOR/D actuels, le signal est rayonné par 48 antennes disposées sur un cercle de 6,8 m de rayon, on commute les antennes de façon à obtenir les 30 tr/s. Ce principe équivaut à faire tourner une antenne à 6,8m d'un centre de rotation à 30 tr/s, soit une vitesse linéaire d'environ 4500 km/h.

Les signaux reçus d'un VOR/D, sont, du point de vue de l'avion strictement les mêmes qu'un VOR/C. L'équipement de bord n'y fait aucune différence.

- **Caractéristiques VOR:**

- **Diagramme de rayonnement :**

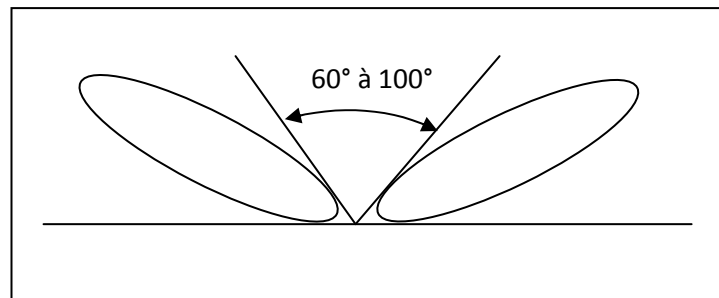


Figure I.5. Diagramme de rayonnement de l'antenne VOR.

- **Performances :**

- La puissance : elle est égale à 200 W.
- La portée radioélectrique : étant égale à 200 Nm à 40000 ft.

- **Identification :**

L'identification se fait par un signal morse (2 ou 3 lettres) modulé à 1020 Hz et répété au moins une fois toutes les 30 secondes.

- **Précision :**

La précision est de l'ordre de $\pm 3^\circ$.

- **Principe de fonctionnement du VOR :**

Le radiophare VOR émet une porteuse VHF (108-118Mhz) modulée de façon à émettre simultanément et indépendamment deux signaux de navigation à 30 Hz dont la différence de phase en azimut donnée soit précisément égale à cet azimut.

L'information angulaire (QDR) est transmise sous forme de différence de phase entre deux signaux sinusoïdaux :

Un signal de référence dont la phase est identique quel que soit l'azimut d'émission.

Un signal variable dont le déphasage par rapport au précédent est égal à l'azimut de la direction d'émission.

- **Utilisation du VOR :**

Le VOR sert à se positionner par rapport à une balise (QDR), Par l'intermédiaire des signaux captés par le récepteur de bord, l'instrument de lecture fournit l'information de relèvement magnétique : le QDR et donc l'information QDM telle que :

$$QDM = QDR \pm 180^\circ$$

Remarque : On parle du QDR quand on s'éloigne de la station, et de QDM quand on se rapproche de station.

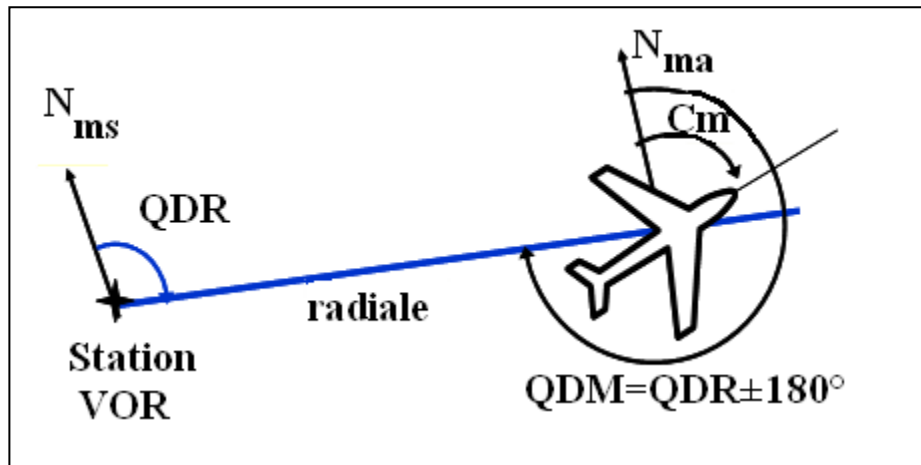


Figure I.6. Différents angles de navigation d'un avion proche d'une station VOR[26].

Le VOR est aussi utilisé :

- pour rejoindre une station ;
- pour le changement d'axe ;
- pour la mesure de distance ;
- pour faire un relèvement.

- **Limites d'utilisation :**

Les signaux radio de la bande VHF sont limités à la portée optique comme les ondes radio FM et les émissions de télévision. En d'autres termes, les montagnes et autres obstacles situés entre l'appareil et une station VOR peuvent bloquer le signal de navigation, à moins qu'il ne soit à une altitude supérieure à ces obstacles.

La portée d'un signal VOR est également limitée. Au-dessous de 18 000 pieds (5 486 m), elle varie généralement entre 40 et 130 milles nautiques en fonction du relief et d'autres facteurs. Au-dessus de 18 000 pieds, elle est d'environ 130 NM [26].

- **Inconvénients du VOR:**

On peut reprocher au VOR que la précision de localisation transversale décroît comme l'inverse de la distance à la station, et que la portée en est limitée à l'horizon, Mais l'instrumentation à bord a beaucoup contribué au succès du VOR, car il permet, avec l'indicateur d'écart transversal de suivre aisément une route rectiligne passant par la station.

La localisation par deux ou plusieurs relèvements VOR n'est pas très précise. C'est en l'associant à un système de mesure de distance que l'on constitue un système de navigation.

I.3.5. DME

- **Description :**

A l'heure actuelle, le seul système de mesure de distance conçu pour la radionavigation est le DME (*Distance Measuring Equipement*), utilisé par l'aéronautique civile et militaire depuis une trentaine d'années.

C'est un ensemble comprenant un élément interrogateur embarqué et, au sol, un élément répondeur généralement associé à un VOR ou à un ILS. Il donne une information de distance oblique (et non pas de distance réelle) en milles nautiques (NM) par rapport à la balise au sol grâce à la mesure du temps de réponse. Un calculateur intégré au DME embarqué permet également d'obtenir la vitesse sol de l'avion en nœuds (kt) et le temps en minutes pour rejoindre la station. En passant à la verticale d'une station DME, l'instrument indique une hauteur au-dessus de la station. [1] L'association du DME au VOR permet :

- Une compatibilité des installations au sol (co-implantation) ;
- Une couverture utile ;
- Avoir le même nombre de voies.

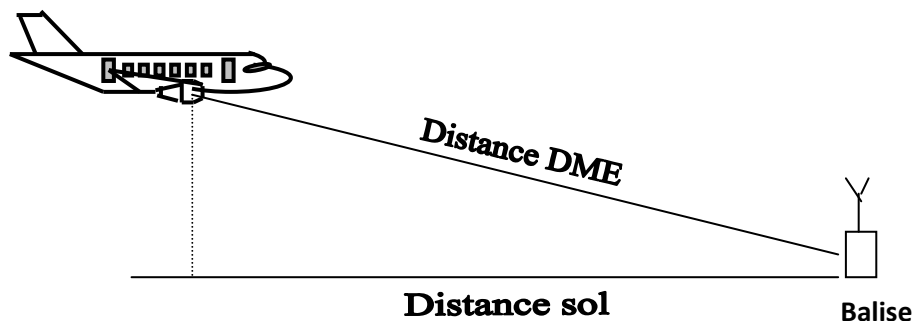


Figure I.7. La distance DME.

D'autre part, en chronométrant un nombre précis de nautiques, il est possible d'en déduire la vitesse sol de l'avion, donc le vent effectif : $V_e = |V_p - V_s|$.

Le DME possède tout de même des limites d'utilisations ; l'information « Vitesse sol » n'a de sens que si l'avion est aligné sur un radial (QDR) ou un (QDM). Dans tous les autres cas l'information n'est pas valable.

- **Inconvénient du DME :**

Le principal problème du DME est qu'il donne une mesure de distance non directe, mais une mesure oblique par rapport à l'horizon, et donc plus l'avion est haut plus l'erreur est grande, ce qui limitera son utilisation à haute altitude. Mais, contrairement aux radiophares tournants, il a une bonne précision et il est insensible aux perturbations atmosphériques.

I.3.6. TACAN

- **Description :**

La navigation aérienne tactique, ou le TACAN (pour *TACTical Air Navigation aid*), est un système de navigation employé dans les avions militaires. Il fournit à l'utilisateur une distance et un relèvement d'une station au sol. C'est une version plus précise que le système (VOR/DME) qui fournit les informations de relèvement et de distance pour l'aviation civile.

Le TACAN en général peut être décrit comme version militaire du système de VOR/DME. Il actionne dans la bande de fréquence 960-1215 mégahertz. L'unité de relèvement de TACAN est plus précise qu'un Vor standard puisqu'elle se sert d'un principe à deux fréquences, avec des composants de 15 hertz et de 135 hertz.

Le composant de mesure de distance de TACAN fonctionne avec les mêmes caractéristiques que le DME civil. Par conséquent, pour réduire le nombre de stations exigées, des stations de TACAN sont fréquemment co-implantées avec des équipements VOR. Ces stations co-implantées sont connues comme VORTAC. C'est une station composée de VOR pour l'information civile de relèvement et un TACAN pour l'information de relèvement militaire et l'information de mesure distance militaire/civile.

Le transpondeur de TACAN remplit la fonction de mesure de distance sans avoir besoin de DME co-implanté. Puisque la rotation de l'antenne crée une grande partie du signal d'azimut, si l'antenne échoue, le composant d'azimut n'est plus disponible et le TACAN ne fonctionne qu'en mode DME [28].



Figure I.9. Une antenne TACAN.

- **Avantage :**

Puisque les unités d'azimute et de distances sont combinées dans un système, l'installation est simple. Moins d'espace est exigé qu'un VOR parce qu'un VOR exige un grand contrepoids et un système assez complexe d'antennes déphasées. Un système TACAN, théoriquement, pourrait être placé sur un bâtiment, un grand camion, un avion, ou un bateau, et pourrait être opérationnel dans une courte période.

- **Inconvénients :**

Pour l'utilisation militaire un inconvénient primaire est le manque de la capacité de commander les émissions (condition d'émission) et la discrétion. Il n'y a aucun chiffage impliqué, un ennemi peut simplement utiliser la distance et le relèvement fournis pour attaquer un bateau équipé d'un TACAN. Certains TACAN ont la capacité d'utiliser un mode de « demande seulement » où ils transmettront seulement quand ils sont interrogés par un avion sur-canal. Le système d'atterrissage et d'approche de précision communs à une basse probabilité de l'interception pour empêcher la détection ennemie et une version de porte-avions peut être employée pour des opérations d'autoland.

I.3.7. ILS

- **Description :**

Le système d'approche aux instruments ou ILS est le plus précis des systèmes d'approche actuellement utilisés. Il crée, en début de piste un "cône d'ondes radio" qui permet à un pilote de savoir, par l'intermédiaire de capteurs, si l'alignement avec la piste est correct [1]. Un ILS classique comprend les trois éléments suivants :

- **Le Localizer (LOC)**

Qui guide le pilote vers la ligne centrale de la piste au cours de l'approche et de l'atterrissage de la piste. Le localiser est une radiobalise directionnelle qui transmet des

signaux sur l'un des 40 canaux compris entre 108.10 et 111.95 MHz. Le faisceau est en forme d'entonnoir, sa largeur est de 10 degrés à 18 NM de la piste, et diminue jusqu'à 210 m au seuil de la piste. Le LOC fonctionne dans la gamme de fréquence VHF dans la bande 108 à 112 MHz.

➤ **Le Glide path** (*Glide slope*)

Faisceau électromagnétique matérialisant la pente d'approche d'un Système d'approche aux instruments (ILS). Les émetteurs de *glide slope*, situés près de l'extrémité de la piste, envoient des signaux radio pour tracer la pente d'approche correcte vers la piste. L'angle de la pente est généralement de 3 degrés par rapport à l'horizontale, sa gamme de fréquence est la UHF dans la bande 329 à 335 MHz.

➤ **Les Markers** fournissant une information de distance par rapport à l'entrée de la piste.

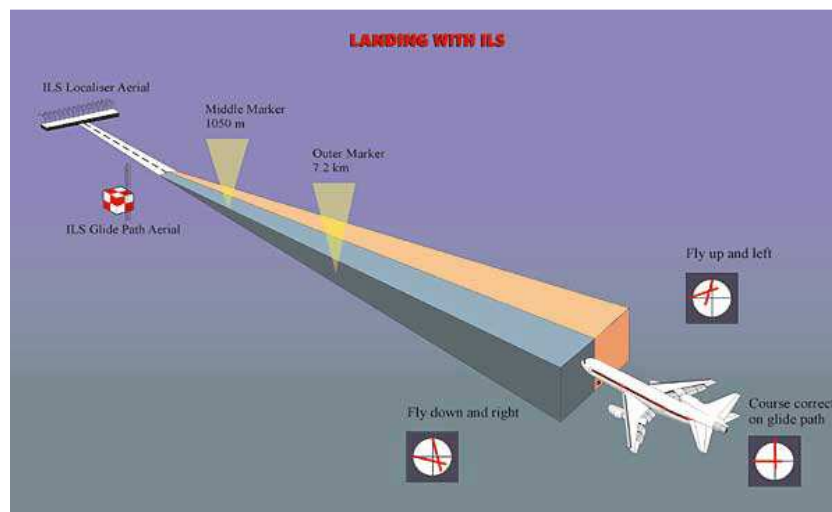


Figure I.10. Atterrissage avec l'ILS.

Les faisceaux localizer et glide path étant très étroits et sensibles aux perturbations, leur interception doit toujours être validée à l'aide d'une autre source de navigation. Pour le localizer cela peut être réalisé à l'aide d'un VOR ou d'un ADF. Pour la validation du glide path, on utilisait un ou deux markers (balise à émission verticale très ponctuelle), de plus en plus souvent remplacés par un DME (Distance Measuring Equipment) dont l'avantage est de fournir une information de distance en continu. Le DME est le plus souvent co-implanté avec le *glide path*, donnant ainsi directement la distance au seuil de piste, ce qui est très pratique ; mais il arrive exceptionnellement qu'il soit implanté avec le localizer.

Un voyant lumineux et un signal sonore sont activés au passage de chacun des markers. L'information de distance DME est quant à elle fournie sur l'afficheur DME.

La portée certifiée est de 15 à 20 NM pour le localizer (30 à 50 NM en pratique) ; légèrement moins pour le glide path. Le DME d'un ILS, moins puissant qu'un DME en route peut néanmoins être reçu jusqu'à 50 voire 100 NM.

- **Avantages de l'ILS :**

- Très grande précision ;
- Sous certaines conditions (dégagement des aires critiques, séparations accrues entre avions, secours électrique, balisage spécifique, ...), permet de réaliser des atterrissages automatiques et donc de se poser avec des visibilités très faibles.

- **Inconvénients de l'ILS :**

- Sensible aux perturbations des faisceaux électriques (par véhicule ou avion au sol ou avion en vol) ;
- Existence occasionnelle de faux axes par réflexion du faisceau sur un relief ;
- Faisceaux étroits nécessitant une aide pour la capture.

I.3.8. MLS

- **Description :**

Le MLS (*Microwave Landing System*) est un système d'aide à l'approche et à l'atterrissage, il est une évolution de l'ILS. Il permet de déterminer des trajectoires courbes et donc une approche de la piste à partir de plusieurs points d'entrée ainsi qu'un taux de descente adaptable aux performances de différents appareils. Le développement de ce système est en concurrence avec celui des nouveaux systèmes basés sur la navigation satellitaire et son avenir est incertain.

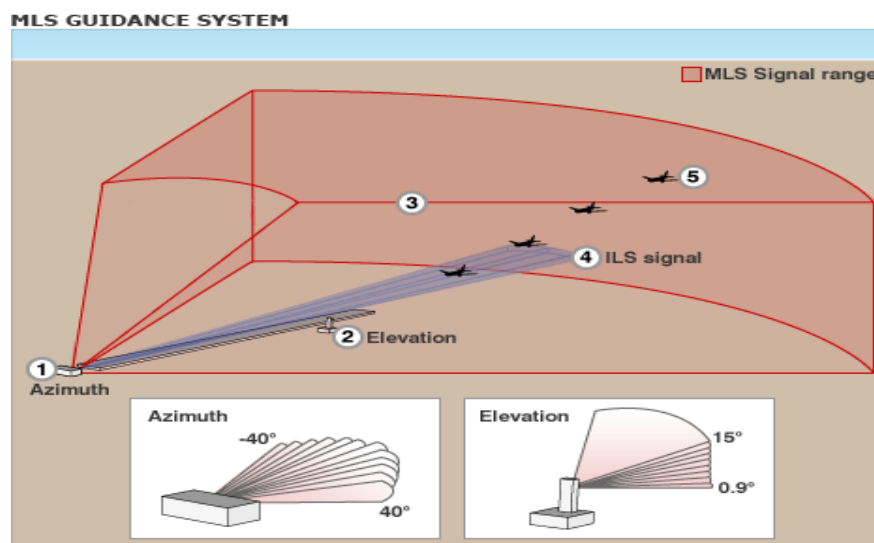


Figure I.11. Couverture MLS.

I.3.9. Le RADAR

Le mot radar est une abréviation de « *RA*dio *D*etection *A*nd *R*anging » est un système servant à la détection, la localisation et l'identification des objets. On distingue deux types d'exploitations fonctionnellement très différentes : les surveillances non coopérative et coopérative.

La surveillance non coopérative est assurée sans intervention de la cible à sa détection c'est la propriété de la réflexion d'une onde électromagnétique sur la surface physique de la cible qui est utilisée. La détection se fait par reconnaissance de la présence d'un signal réfléchi, la mesure de distance par mesure du temps de propagation radar – cible – radar, la mesure d'azimut par utilisation d'une antenne directive tournante. Ce sont les radars primaires. La surveillance coopérative est assurée grâce à la participation active de la cible à sa détection. La cible est équipée d'un répondeur (ou transpondeur). Ce transpondeur reçoit des interrogations du radar et répond ; c'est le cas des radars secondaires [26].

- **Radars primaires :**

Un radar primaire est un capteur qui illumine une portion d'espace avec une onde électromagnétique et qui reçoit en retour les ondes réfléchies par les cibles se trouvant dans cet espace.

Son fonctionnement est basé sur le principe de l'écho, on émet une impulsion de forte puissance qui est convertie en un front d'onde étroit qui se propage à la vitesse de la lumière (300 000 km/s). Ensuite on écoute les éventuels échos issus de la réflexion. Donc on effectue des émissions / écoute en continu, ce qui permet de couvrir l'espace sur 360°.

Les fonctions du radar primaire se traduisent donc par des détections et mesures à l'aide de moyens radioélectriques, la détection étant la décision de présence d'une cible par la reconnaissance du signal utile. On mesure avec un radar primaire :

- la distance D basée sur la durée de propagation de l'onde sur son trajet aller/retour ;
- Un angle θ basé sur la position d'une antenne directive en azimut ;
- Une vitesse radiale par effet doppler.

On peut donc remarquer qu'un radar situe un objet volant sur un quart de cercle dans le plan vertical, mais on ne peut pas connaître exactement les coordonnées géographiques horizontales, ni l'altitude d'un avion. Ces informations sont obtenues par triangulation de plusieurs radars.

Les radars primaires peuvent être de type deux dimensions (2D) donnant des mesures de distance et d'azimut ou trois dimensions (3D), une mesure complémentaire en angle de site (angle d'élévation dans le plan vertical) est alors disponible.

Les radars primaires sont utilisés dans le domaine civil et militaire.

Tous les radars primaires utilisés par l'Aviation Civile sont de type 2D. Les bandes de fréquences utilisées pour les applications Aviation Civile sont les bandes: bande L (1300 MHz – 23 cm) et bande S (3000 MHz – 10 cm). La polarisation est circulaire pour faciliter le traitement des échos météorologiques.

Pour remplir ses missions de défense aérienne, de conduite des opérations aériennes, et celles liées à la circulation aérienne militaire; la défense dispose de nombreux radars primaires 2D et 3D. Les bandes de fréquences utilisées sont, comme pour l'aviation civile, la bande L et la bande S. La bande X (9GHz) est utilisée pour le contrôle d'approche.

- **Radars secondaires :**

La séparation en deux liaisons a favorisé le choix de deux fréquences différentes : 1030 Mhz pour la liaison montante, 1090 MHz pour la liaison descendante. La polarisation est verticale.

Pour l'aviation civile, l'exploitation des radars secondaires est utilisée (seule) pour la détection 'En Route'. Elle est associée à l'exploitation radar primaire pour le contrôle d'approche et d'aérodrome.

Pour la Défense, les radars secondaires sont aussi utilisés, en complément des radars primaires, pour la reconnaissance entre avions « amis » et avions « ennemis » (*IFF : Identification Friend or Foe*). Ce type de radar ne répond pas au besoin opérationnel de la défense pour la détection de cibles non coopératives (dans le cadre de la mission de défense aérienne); ce qui explique la nécessité d'un nombre important de radars primaires pour assurer la couverture de l'espace aérien national d'un pays.

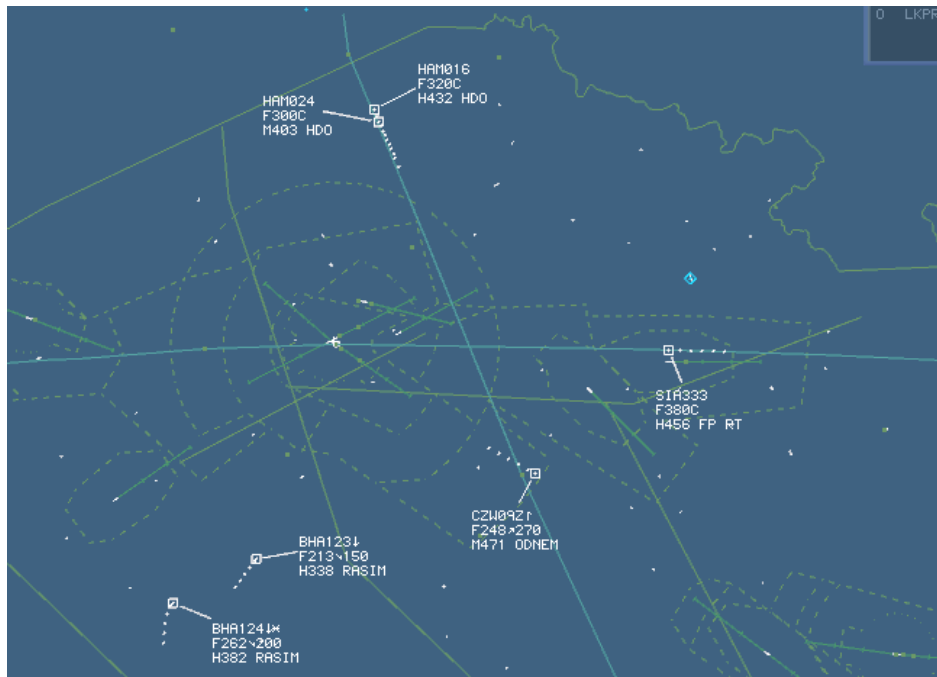


Figure I.12. *Le Scope RADAR.*

I.4. CONCLUSION

Jusqu'aux années 1970, la navigation aérienne était axée sur l'établissement de routes rigides basées sur le mouvement d'un point fixe à un autre. Ces points étaient fixés par des aides de navigation telles que les radiophares non directionnels (NDB), les radiophares omnidirectionnels VHF (VOR) et l'équipement de mesure de distance (DME). La combinaison de différents VOR et DME, permettant de naviguer d'un point à un autre sans avoir à passer par une aide concrète a rendu l'espace aérien plus souple et a permis de créer des routes plus directes. Cependant, les relèvements du VOR étant de nature angulaire et le DME souffrant de faibles degrés de précision, il n'était pas possible de vraiment ouvrir les routes et de les libérer des éléments terrestres fixes. La conception des routes et des procédures de départ et d'arrivée n'était donc pas optimisée. Les systèmes satellitaires ont représenté le grand bond en avant dont avait besoin l'aviation, rendant l'espace aérien entièrement souple tout en optimisant les routes et les procédures de départ et d'arrivée. Ces systèmes fournissent une grande précision à un faible coût, et permettent de limiter les risques de brouillage des données.

CHAPITRE II :

II.1. INTRODUCTION

La stratégie actuelle de l'OACI pour introduire des systèmes avancés de communications, de navigation, de surveillance/gestion du trafic aérien (CNS/ATM) envisage de passer progressivement de l'infrastructure de navigation terrestre actuelle à une utilisation accrue d'une infrastructure de navigation par satellite. L'étape initiale de cette transition a été soutenue par l'élaboration de normes et de pratiques recommandées (SARP) de l'OACI.

La navigation par satellite est une technologie qui occupera une grande place dans le domaine de la navigation aérienne, et sera le seul avenir pour une navigation performante, ayant des caractéristiques meilleures à savoir la continuité du service, l'exactitude et l'intégrité des systèmes, tout cela dans le but d'assurer la sécurité qui est un facteur primordial à satisfaire dans le domaine de l'aviation.

Le GNSS (Global Navigation Satellite System) place mondialement des systèmes basés sur des constellations de satellites. Il est utilisé dans les trois modes de transport (maritime, surface et aviation), et dans beaucoup d'applications professionnelles telles que les études, télécommunications et la banque qui établit des contacts synchronisés. En 1996, l'Organisation Internationale de l'Aviation Civile a endossé le développement et l'usage de GNSS comme une source fondamentale de future navigation pour l'aviation civile.

II.2. LES CONSTELLATIONS DE BASE

Le principe utilisé dans les systèmes de navigation par satellites est que l'utilisateur exploite les signaux provenant d'un certain nombre de satellites de positions connues pour déduire la position géographique. La vitesse ainsi que le temps peuvent être également déduit.

Ce principe de navigation présente l'avantage que l'utilisateur n'a pas besoin d'émettre des signaux, l'opérateur du système n'a pas d'information sur les utilisateurs, de plus le système n'est pas saturable puisque l'utilisation est dans un seul sens (satellite → utilisateur).

Il y a pour l'instant deux constellations de satellites ; le Système de Positionnement Global (GPS) créé par les États-Unis et le Système Russe (GLONASS). Les deux systèmes opèrent conformément aux Normes et Pratiques Recommandées de l'OACI [16].

II.2.1. Le GPS

- **Introduction :**

Le système NAVSTAR (NAVigation System by Timing and Ranging) appelé aussi GPS (Global Positioning System) est un système de positionnement par satellite, conçu, mis

en service et maintenu par le ministère de la défense des États Unis DOD (Department Of Defense).

Le GPS est issu d'un programme militaire américain débuté en 1958 qui visait à obtenir la position d'un mobile à l'aide d'un satellite. Les premiers travaux concernant le GPS datent concrètement des années 1970, le premier satellite a été lancé en 1978, son exploitation avait débuté en 1985 pour des besoins militaires avec une dégradation volontaire connue sous le nom « disponibilité sélective » (SA : Selective Availability) pour les utilisateurs civils donnant une précision de l'ordre de 100 mètres, et le système a été déclaré pleinement opérationnel le 27 Avril 1995. Le 1^{er} Mai 2000 le président Bill Clinton a annoncé qu'il mettait fin à cette dégradation permettant ainsi d'avoir une précision de 22 mètres au mieux.

Le GPS est utilisé dans plusieurs domaines ; la navigation maritime et aérienne, la cartographie, l'hydrographie, la géodésie ainsi que tous les travaux topographiques ne pourront certainement plus s'en passer.

Le système est composé de trois secteurs : le secteur spatial constitué de l'ensemble des satellites ; le secteur de contrôle qui permet de piloter le système ; et le secteur utilisateur qui est l'ensemble des utilisateurs civils et militaires du système [2].

➤ **Le secteur spatial :**

Il comporte 24 satellites (dont 3 satellites de secours) répartis de façon à assurer en tout lieu sur terre une visibilité simultanée de 4 à 8 satellites. Les satellites sont répartis sur 6 plans orbitaux ayant tous une inclinaison de 55° sur l'équateur et 60° entre eux, chaque orbite possède donc quatre satellites espacés entre eux de 90°. L'orbite des satellites est quasi circulaire, leurs altitude est d'environ 20 200 Km avec une période de révolution d'une demi journée sidérale soit 11 heures et 58 minutes, cela veut dire que, pour un endroit considéré, un satellite passe deux fois par jour.

Chaque satellite dispose d'une fusée auxiliaire pour permettre à la station de contrôle de le remettre sur son orbite, l'alimentation électrique est assurée par des panneaux solaires, des batteries rechargeables prennent le relais lors du passage de l'ombre de la terre. La durée de vie d'un satellite GPS est d'environ 7.5 ans, sa masse est 1 tonne, sa taille est 5 mètres, et embarque quatre (04) horloges atomiques ; deux (02) en rubidium et deux (02) en césium. L'orientation des satellites changent de façon à avoir les panneaux solaires en face du soleil et les antennes orientées vers la terre.

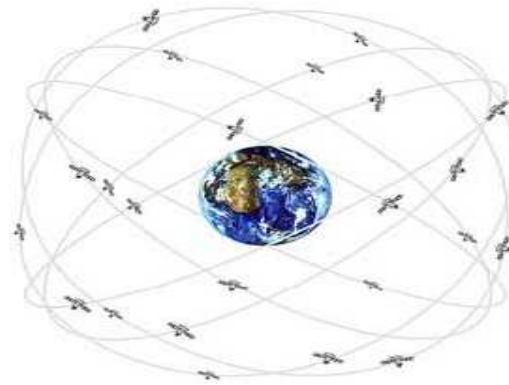


Figure II.1. La constellation des satellites GPS.

➤ **Le secteur de contrôle :**

Le segment de contrôle comprend cinq stations situées à Colorado Springs, Hawaï, Ascension Island, Diego Garcia et Kwajalein. Ces stations servent à vérifier l'état des satellites lors de leurs passages au dessus d'elles, collectionner les informations météorologiques, les données sont ensuite transmises à la station principale de Colorado Springs. A ce niveau, les paramètres décrivant l'orbite des satellites, la qualité des horloges sont estimés, la santé des satellites est également vérifiée. Ces informations sont renvoyées aux autres stations de chargement qui les transmettent aux satellites pour la composition des messages de navigation.

Le choix de cette distribution des stations de contrôle n'est pas hasardeux, mais c'est bien pour une très bonne couverture mondiale, en effet tous les satellites GPS sont vus à 92% du temps.



- ★ Station de contrôle principale.
- Stations de contrôle.

Figure II.2. Les stations de contrôle du GPS.

➤ **Le secteur utilisateur :**

Il est constitué par l'ensemble des utilisateurs bénéficiant des services du GPS militaires qu'ils soient ou civils, disposant de récepteurs capables de décoder et d'exploiter le signal reçu des satellites afin de fournir au minimum les informations de temps, de position et de vitesse.

L'utilisation militaire pourra être le guidage des bombes qui a pu atteindre pour des essais effectués sur des bombes larguées à une altitude de 3000 mètres une précision de 17 mètres, l'application principale dans ce domaine est le guidage des missiles, la navigation par GPS a pu accroître les performances de certains missiles utilisés par le ministère de défense américain. Avec l'amélioration du GPS par rapport à la technologie des années 70, actuellement la précision de positionnement pourra atteindre 10^{-3} mètre.

Pour les civils le domaine d'utilisation est assez vaste, le GPS commence à être embarqué sur plusieurs types de véhicules, les bateaux et les avions ont été depuis longtemps équipés de récepteurs GPS et leurs navigation se fait à base de ses informations, le pilote automatique par exemple utilise les informations du GPS en temps réel, la précision pour ces utilisateurs est de 20 mètres sans la dégradation volontaire et pourra atteindre 3 mètres avec les augmentations faites pour le GPS, et pour des applications de la géodésie comme l'auscultation des plaques tectoniques la précision est de l'ordre de 10^{-2} mètre.

• **Principe de localisation par GPS :**

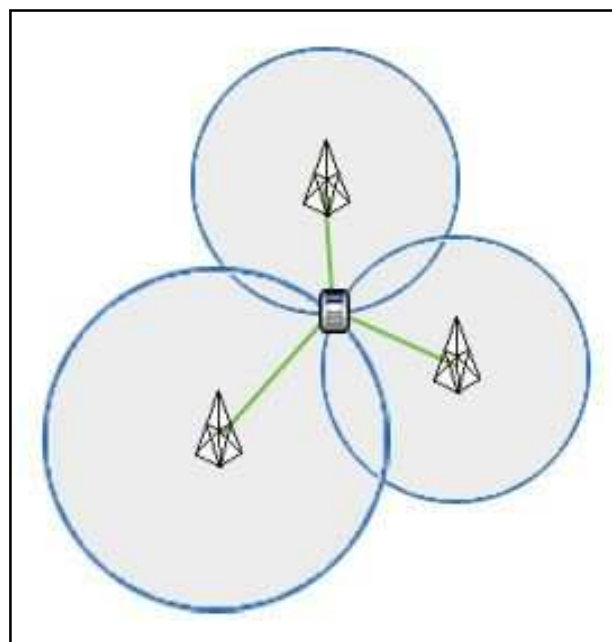


Figure II.3. *Le principe de triangulation.*

Le principe du positionnement GPS est très proche du principe de triangulation. On mesure la distance entre l'utilisateur et un certain nombre de satellites de positions connues. On définit ainsi des sphères centrées sur des satellites et dont l'intersection donne la position. Le récepteur GPS est capable d'identifier le satellite qu'il utilise à l'aide du signal pseudo aléatoire, émis par chaque satellite. Il charge, à l'aide de ce signal, les informations sur l'orbite et la position du satellite. Pour mesurer la distance qui sépare le satellite du GPS, on mesure le temps T mis par le signal pour aller de l'un vers l'autre [2]. Ainsi la localisation s'effectue sur trois phases :

➤ **1^{ère} phase « L'émission » :**

Tous les satellites possèdent une horloge atomique qui permet une mesure du temps très précise, ils peuvent donc envoyer sous forme d'ondes radio l'heure précise d'envoi d'un code, à intervalles très rapprochés et dans toutes les directions de l'espace. Les signaux des satellites GPS sont toutefois émis sous deux fréquences distinctes : L1 à 1575 MHz et L2 à 1227 MHz. La deuxième est la plus riche en informations mais cryptée, elle est réservée aux usagers autorisés de l'armée américaine.

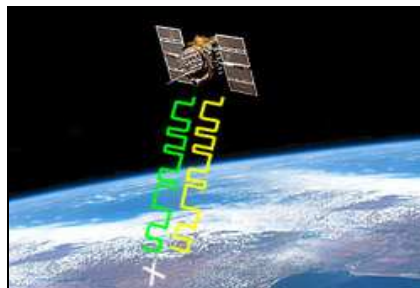


Figure II.4. Émission des signaux GPS.

➤ **2^{ème} phase « La propagation » :**

Les signaux transmis traversent les 20180 km séparant le satellite du sol terrestre, et leur propagation est notamment perturbée par les variations d'isotropies de l'atmosphère.

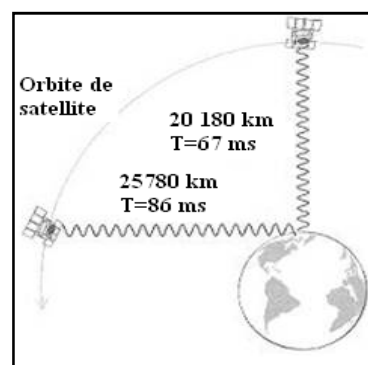


Figure II.5. Propagation du signal émis par deux satellites.

➤ 3^{ème} phase « La réception » :

Un récepteur reçoit les signaux : c'est à partir de ce moment que commencent les calculs de position. Connaissant l'heure d'émission par le satellite des paquets informatiques reçus et leur heure d'arrivée au récepteur, la distance parcourue se déduit aisément :

$$\text{Distance} = \text{Vitesse de la lumière} \times (\text{heure d'émission} - \text{heure de réception}).$$

$$\text{Et donc plus formellement : } \mathbf{D} = \mathbf{C} \cdot \Delta t$$

Le repère étant spatial, on obtient le lieu du récepteur sur une sphère ayant pour centre le satellite et pour rayon la distance récepteur/satellite que l'on vient de calculer. (Figure II.6.a.)

Si ce même récepteur capte le signal d'un second satellite, un calcul équivalent permet de définir une seconde sphère, centrée sur ce second satellite, sur laquelle doit également se trouver notre récepteur. Il se situe alors à la fois sur la première sphère et sur la deuxième. Il est donc quelque part sur le cercle de leur intersection. (Figure II.6.b.)

Même chose avec un troisième satellite. Alors tout simplement le récepteur se trouve sur l'un des deux points d'intersection de ces trois sphères. (Figure II.6.c.)

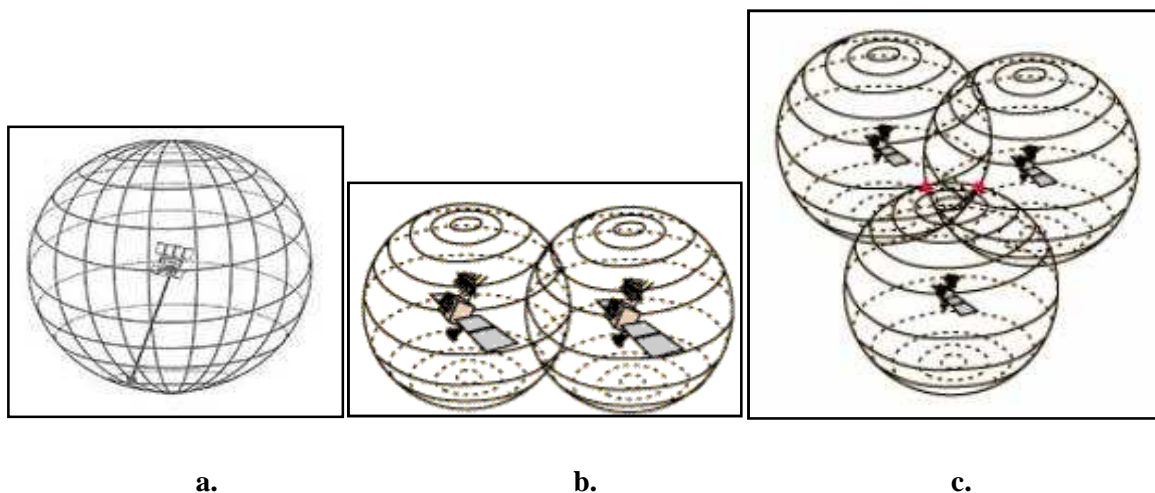


Figure II.6. Principe de positionnement GPS.

Or, l'utilisateur ne flottant pas dans l'espace, on peut déduire sa position exacte en éliminant le point incohérent. Si les positions des satellites sur leurs orbites sont connues avec suffisamment de précision (ce qui est le cas) et si un récepteur capte au moins 3 satellites, il dispose donc en théorie de trois données qui lui permettent de résoudre les trois inconnues définissant sa position : la latitude, la longitude et l'altitude.

On note d_1 , d_2 et d_3 les distances du récepteur par rapport à trois satellites de coordonnées connues (x_i, y_i, z_i) . Si (x, y, z) sont les coordonnées de l'utilisateur, la

résolution du système suivant permet de déterminer les coordonnées effectives de l'utilisateur dans un Repère ECEF :

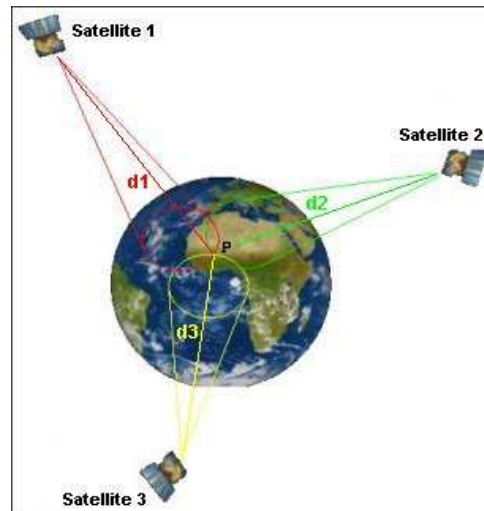


Figure II.7. Les pseudos distances GPS.

$$\begin{cases} d_1^2 = (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 + (z - z_1)^2 \\ d_2^2 = (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 + (z - z_2)^2 \\ d_3^2 = (x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 + (z - z_3)^2 \end{cases}$$

Pour valider tout le raisonnement qui précède, il faudrait que la mesure du temps soit extrêmement précise. Une erreur d'un millième de seconde provoque en effet une erreur de position de 300km ! A la vitesse de la lumière, une très grande précision est de rigueur.

Si les horloges atomiques des satellites sont très précises, et synchronisées au Temps Universel Coordonné UTC via l'observatoire américain exploité par le segment de contrôle, ce n'est pas le cas en revanche des horloges des récepteurs, généralement à quartz. De plus, la transmission des signaux peut être perturbée par de multiples facteurs, que nous allons voir par la suite. Il importe donc d'utiliser un 4ème satellite pour rectifier les calculs de manière satisfaisante.

- **Erreurs possibles et amélioration du système :**

La plupart des récepteurs sont capables d'affiner leurs calculs en utilisant plus de 4 satellites (ce qui rend les calculs plus robustes) tout en ôtant les sources qui semblent peu fiables, ou trop proches l'une de l'autre pour fournir une mesure correcte. On parle dans ce dernier cas de dilution de précision, mesurée par le facteur *Global Dilution Of Precision* (GDOP) [16].

Le GPS n'est pas utilisable dans toutes les situations : le signal émis par les satellites NAVSTAR étant assez faible, la traversée des couches de l'atmosphère est un facteur qui perturbe la précision de la localisation; de même, les simples feuilles des arbres peuvent absorber le signal et rendre la localisation hasardeuse. De la même façon, l'effet canyon, particulièrement sensible en milieu urbain, consiste en l'occultation d'un satellite par le relief (un bâtiment par exemple) ou pire encore, en un écho du signal contre une surface qui n'empêchera pas la localisation mais fournira une localisation fautive (problèmes des multi-trajets des signaux GPS).

En l'absence d'obstacles, il reste quand même un facteur de perturbation important : la traversée des couches basses de l'atmosphère. La présence d'humidité et les modifications de pression de la troposphère modifient l'indice de réfraction n et donc la vitesse (et la direction) de propagation du signal radio. Si le terme hydrostatique est actuellement bien connu, les perturbations dues à l'humidité nécessitent, pour être corrigées, la mesure du profil exact de vapeur d'eau en fonction de l'altitude, une information difficilement collectable, sauf par des moyens extrêmement onéreux comme les LIDARS, qui ne donnent que des résultats parcellaires.

Il existe un autre facteur de perturbation atmosphérique : la traversée de l'ionosphère. Cette couche ionisée par le rayonnement solaire modifie la vitesse de propagation du signal. La plupart des récepteurs intègrent un algorithme de correction mais en période de forte activité solaire, cette correction n'est plus assez précise. Pour corriger plus finement cet effet, certains récepteurs (bi-fréquences) utilisent le fait que les deux fréquences du signal GPS (L1 et L2) ne sont pas affectées de la même façon et recalculent ainsi la perturbation réelle [2].

- **Principe du GPS différentiel (DGPS) :**

Il existe des dispositifs comme le GPS différentiel (DGPS) qui permettent d'améliorer la précision du GPS en réduisant la marge d'erreur du système.

Le principe du DGPS est basé sur le fait qu'en des points voisins, les effets des erreurs de mesure (comme d'ailleurs les effets des erreurs ajoutées volontairement) sont très semblables : il suffit donc d'observer en un point connu les fluctuations des mesures, et de les transmettre à un récepteur observant les mêmes satellites, pour permettre à celui-ci de corriger une grande partie des erreurs de mesure, qu'elles soient liées au satellite (horloge), aux conditions de propagation (effets troposphériques, etc.) ou à des fluctuations volontaires du signal émis. On peut ainsi passer d'une précision de l'ordre de 20 à 10 mètres à une précision de 5 à 3 mètres sur une grande zone (plusieurs milliers de km) à partir d'un ensemble de

stations fixes, idéalement réceptrices des mêmes satellites que les terminaux mobiles et qui calculent en permanence l'erreur de positionnement du GPS (puisqu'elles connaissent exactement leur position) et transmettent cette information par radio ou par satellite.

Le mode « différentiel » existe en plusieurs variantes ; la plus élaborée utilise la mesure de la phase des signaux reçus (GPS RTK), et non le code binaire pour calculer les pseudo-distances; à partir d'une station située sur un point connu distant de quelques kilomètres, on obtient ainsi à l'aide du GPS des positions précises à quelques centimètres près dans les trois dimensions (GPS, géodésique ou cinématique), ce qui permet de l'utiliser pour des implantations en topographie. On peut même atteindre quelques millimètres avec des logiciels de traitement très élaborés.

- Inconvénients du GPS :

Le GPS est un système sous contrôle de l'armée américaine. Le signal pourrait être dégradé, occasionnant ainsi une perte importante de sa précision, si le gouvernement des États-Unis le désirait. C'est un des arguments en faveur de la mise en place du système européen Galileo qui est, lui, civil et dont la précision théorique est supérieure. La qualité du signal du GPS a été dégradée volontairement par les États-Unis jusqu'au mois de mai 2000, la précision d'un GPS en mode autonome était alors d'environ 100 mètres. Depuis l'arrêt de ce brouillage volontaire voulu par le président américain Bill Clinton, la précision est de l'ordre de 5 à 15 mètres [16].

En démontrant ses performances exceptionnelles, puis en se vulgarisant, le GPS a modifié la perception du positionnement et de la navigation au sein même de la société. De ce fait, l'opinion publique, les Institutions et les pouvoirs publics admettent de plus en plus difficilement qu'il soit possible de « ne pas savoir où l'on est » et dans les applications tant professionnelles que pour les loisirs, il est si facile à exploiter qu'il semble pouvoir décharger complètement les pratiquants des tâches de positionnement et de navigation.

C'est peut-être le principal danger du GPS. En dépit de sa fiabilité et de sa précision, il faut garder à l'esprit qu'un tel appareil ne peut être fiable à 100%. En outre, sa précision peut être mise en défaut car la continuité du calcul reste fragile et peut être interrompue par :

- une cause extérieure de mauvaise réception : parasite, orage, forte humidité
- une manœuvre au cours de laquelle la réception est masquée par la cellule
- l'alignement conjoncturel des satellites qui empêche le calcul précis (incertitude géométrique temporaire)

Des problèmes cartographiques peuvent également entrer en jeu, car le GPS ne donne pas une position par rapport à des repères au sol. Il se place par rapport à des satellites sur une grille qui est une définition mathématique du globe terrestre : la norme WGS 84. Il se peut qu'un obstacle, une destination - ou même tout le tracé d'une carte - soient positionnés suivant une autre référence ; or il en existe près de 200.

La légende de chaque carte signale presque toujours la référence utilisée et la majorité des récepteurs GPS modernes peuvent être programmés pour corriger leurs calculs en fonction d'une référence différente de la norme WGS 84.

Les applications du système GPS :

- utilisation de missiles de croisière ;
- positionnement des cibles ;
- géologie ;
- topologie ;
- prospection minière et pétrolière ;
- hydrographie ;
- gestion et suivi de flottes de transport ;
- circulation aérienne ;
- utilité individuelle (voiture, montagne,...) [28].

II.2.2. Le système GLONASS :

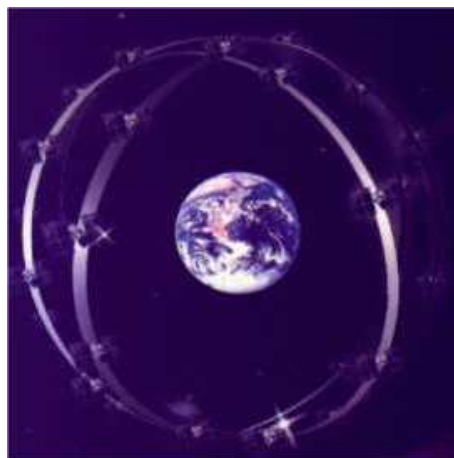


Figure II.8. La constellation des satellites GLONASS.

- **Introduction :**

Le GLONASS est né durant la guerre froide, les premiers travaux GLONASS ont eu lieu au milieu des années 1970. Dans leur confrontation permanente avec les militaires américains, les militaires russes ne pouvaient rester sans réagir et donc sans disposer de leur propre système de guidage d'armes, le GLONASS est donc l'équivalent russe du GPS américain [16].

Le 12 octobre 1982 le 1er satellite de la constellation GLONASS a été lancé, et au 24 septembre 1995, les 24 satellites de la constellation furent placés en orbite. En raison de la faible durée de vie des satellites (entre 2 et 3 ans) et des problèmes économiques de la Russie, GLONASS n'est plus complètement opérationnel, mais actuellement la Russie tente de réanimer son système par plusieurs lancements de satellites.

- **Composition :**

Comme tout système de positionnement par satellite, le GLONASS comporte une constellation de satellites qui permettent à un récepteur d'avoir sa position, le temps ainsi que sa vitesse, il est composé de trois parties : les moyens de contrôle basés au sol (le segment de contrôle); la constellation de satellites (le segment spatial) et l'équipement utilisateur (le segment utilisateur).

- **Le segment spatial :**

La partie spatiale est constituée de 24 satellites, placés sur 3 orbites à une altitude de 19130 km. En effet, en 2000 il ne restait que 6 satellites en vie. Cette situation critique a poussé les autorités russes à lancer le démarrage de deux nouvelles générations de satellites : Ouragan-M et Ouragan-K à durée de vie augmentée.

Le tir de 2003 emporte le premier Ouragan-M, sa précision est meilleure à savoir, 20 m dans le plan horizontal, 30 m dans le plan vertical et 5 cm/s en vitesse. Sa durée de vie est de sept ans. En novembre, une déclaration d'intention est signée entre l'Agence spatiale fédérale russe et l'Organisation indienne pour la recherche spatiale pour étudier la possibilité de mettre sur orbite des Ouragan-K aux moyens de lanceurs indiens.

Le 25 Septembre 2008, trois satellites GLONASS M ont été lancés, six autres satellites sont prévus pour Décembre 2009 dont trois sont de type M et trois de type K. Les Ouragan-K pèsent environ 745 kg, leur précision est de 14 m dans le plan horizontal, de 20 m en altitude, 5 cm/s en vitesse et peuvent être lancés par groupe de six par des lanceurs Proton-M/Briz-M. Le lancement du premier Ouragan-K a eu lieu en 2008.

Les études concernant une quatrième génération de satellites Ouragan-KM ont débutées en 2002, leur mise en service est prévue pour 2015. Actuellement la constellation GLONASS comporte 17 satellites.

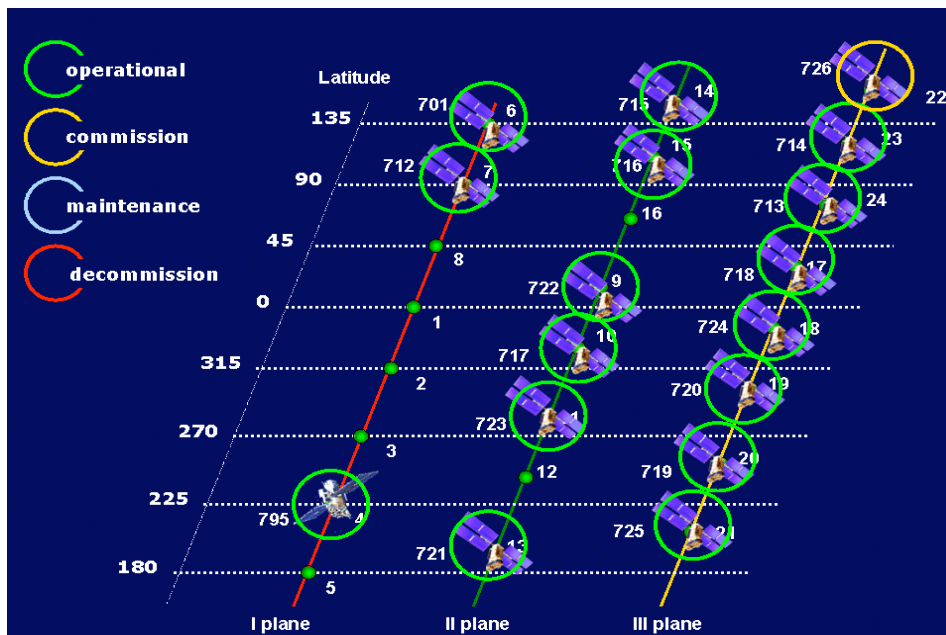


Figure II.9. Répartition des satellites de GLONASS.

➤ Le segment de contrôle:

Le segment de contrôle contient un centre de contrôle du système qui se situe à Krasnoznamensk et un réseau de stations de commande et de poursuite. Ce segment, similaire au GPS, doit contrôler l'état des satellites, déterminer les éphémérides et corriger le temps en respectant le temps GLONASS et UTC, et transmettre des données aux satellites deux fois par jour.

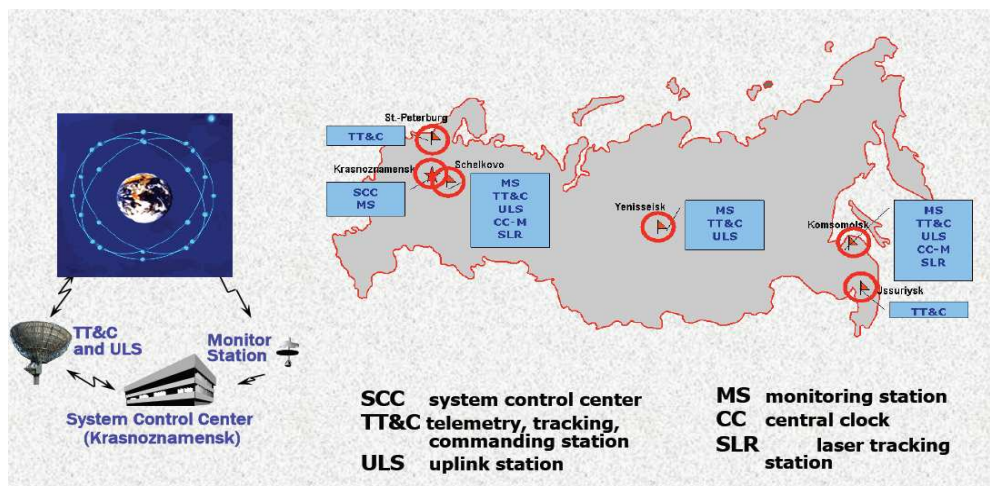


Figure II.10. Segment de control de GLONASS.

➤ **Le segment utilisateur :**

Le segment utilisateur consiste en un équipement qui reçoit les signaux des satellites, ce récepteur doit être capable de traiter simultanément les signaux reçus à partir d'au moins quatre satellites pour obtenir une mesure précise de position, de vitesse et du temps. Comme le GPS, GLONASS est utilisé dans le domaine civil et militaire. Le potentiel d'utilisation civile, est semblable à celui du GPS.

• **Configuration de GLONASS :**

Détenteur du système	RUSSIE
Nombre de satellites	17 opérationnels
Site de Lancement	Baikonur Cosmodrome, Kazakstan
Nombre de plans orbitaux	3, inclinés entre eux de 64.8°
Altitude des orbites	19130km
Période de révolution	11h15m40s
Système géodésique	PZ90.02
Référence de temps	UTC Russie
Onde porteuse L1	L1 : 1602.0 - 1614.94 MHz
Onde porteuse L2	L2 : 7/9 L1
Code binaire	C/A : 511 bits sur L1
Code binaire Precise	P : 5110000 bits sur L1 et L2
Message de navigation	Durée 2m30s, à 50 bits/s
Secteur de contrôle	5 stations

Tableau II.1. Configuration du GLONASS.

• **La localisation par GLONASS :**

Pour faire une localisation en trois dimensions (3D), le système fait une mesure de vitesse et de temps de propagation du signal émis par l'utilisateur, ceci d'une manière continue (sans interruption).

Chaque satellite de la constellation GLONASS transmet deux types de signaux :

- signal SP: signal de navigation de précision standard.
- signal HP: signal de navigation de précision élevée.

Le signal L1 de SP possède un accès multiple de division de fréquence dans la bande L; Il signifie que chaque satellite transmet le signal sur sa propre fréquence qui diffère de celle d'autres satellites.

Le récepteur de GLONASS reçoit automatiquement les signaux de navigation au moins de 4 satellites et mesure leurs pseudo-distances et vitesses. Le récepteur sélectionne en même

temps le message de navigation transmis par les satellites. Le calculateur du récepteur GLONASS traite toutes les données d'entrée et calculent : les coordonnées en trois dimensions, les trois composantes du vecteur de vitesse, et le temps avec plus de précision.

- **Les performances du système GLONASS :**

Le système GLONASS est contrôlé par les forces russes de l'espace, opérateur du système, fournissant les avantages significatifs à la communauté d'utilisateurs civile a travers une variété d'applications.

Le système comme nous l'avons vu précédemment a deux types de signal de navigation : signal de *navigation standard* (SP), et de précision élevée (HP). Les services de positionnement et de synchronisation de SP, sont à la disposition de tous les utilisateurs civils de GLONASS sur une base continue et mondiale, et fournissent les possibilités pour obtenir l'exactitude de positionnement horizontale : à moins de 57-70 mètres (probabilité 99.7%), et exactitude de positionnement verticale à moins de 70 mètres (probabilité 99.7%), les composantes de vecteur vitesse mesurant l'exactitude à moins de 15 cm/s (probabilité 99.7%). Ces caractéristiques peuvent être sensiblement augmentées en utilisant le mode différentiel de la navigation.

- **A quoi sert le système GLONASS ? :**

Dans le but d'accroître la précision et la fiabilité du GPS, pour son utilisation à la navigation aérienne et maritime, le système a été développé pour :

- La gestion du trafic naval et aérien ;
- L'augmentation de la sûreté ;
- Utilisé en Géodésie et en Cartographie ;
- Géophysique ;
- Topographie ;
- Océanographie ;
- Surveillance de transport au sol ;
- Transfert de temps et synchronisation ;
- Organisation écologique de surveillance, de recherche d'opérations de grande précision.

II.3. LES SYSTEMES GLOBAL DE NAVIGATION PAR SATELLITE (GNSS):

- **Présentation :**

Les recommandations de la communauté aéronautique mondiale lors de la 10^{ème} Conférence de la Navigation Aérienne en 1991, suivies de celles du conseil de l'OACI approuvant, en Février 1994, les conclusions du comité FANS (Future Air Navigation Systems) ont permis de lancer la navigation par satellite. En octobre 1994, la lettre du gouvernement des Etats-Unis à l'OACI offrant, sans percevoir de charges directes, un service de positionnement ouvert à l'aviation civile, puis, en juin 1996, la lettre de la fédération de Russie proposant un service identique pour GLONASS ont donné une impulsion décisive permettant à l'OACI d'engager les travaux de standardisation du GNSS, avec pour objectif de définir des systèmes GNSS utilisables pendant toutes les phases de vol, de la navigation océanique aux atterrissages de précision de Catégorie III. Suite à ces décisions, les travaux du groupe d'expert GNSS Panel ont permis à l'OACI de publier, en Novembre 2002, dans l'Annexe 10 à la Convention de Chicago, des standards GNSS couvrant l'ensemble des phases de vol jusqu'aux approches de Catégorie I seulement [23].

Le GNSS englobe tous les types de système de navigation par satellite, comme le système GLONASS, GALILEO, et les GPS/DGPS. Il faut préciser que tous les systèmes de navigation ne sont pas pour autant des GNSS, en effet ces derniers doivent répondre aux contraintes techniques et institutionnelles ci dessous :

- Au niveau technique : un GNSS doit satisfaire des exigences de disponibilité et de précision liées à son domaine d'utilisation (transport aérien, maritime et autres...).
- Au niveau institutionnel : un GNSS doit permettre une garantie de responsabilité et de bon fonctionnement. De plus il doit être placé sous le contrôle civil international.

- **Principe de fonctionnement :**

Les satellites dans les constellations émettent, en direction de la Terre, un signal de réglage et un message de données ; cela inclut leurs paramètres orbitaux (éphémérides). Le récepteur GNSS calcule la position, le temps et peut être d'autres informations selon l'application.

Quatre satellites sont exigés pour établir une position tridimensionnelle (longitude, latitude et altitude) et le temps. L'exactitude dépend de la précision du temps des satellites et la géométrie relative des satellites utilisés.

Une fois que le récepteur détecte sa position, il peut prévoir son orientation (navigation) entre les points de voûte sélectionnée par une base de données dans le récepteur. L'orientation de l'avion est typiquement fournie à travers des indicateurs traditionnels de déviation ainsi qu'à travers les démonstrations de la carte amovible [20].

Afin de trouver les critères de performance pour les applications critiques de sécurité de vie telles que l'aviation, GNSS doit être capable d'assurer l'intégrité, l'exactitude, la disponibilité et la continuité du service

Les satellites GNSS peuvent, dans des circonstances exceptionnelles, transmettre des signaux inexacts ou signaux qui sont à l'extérieur des tolérances établies par le SARP, sans prévenir les utilisateurs. De tels incidents doivent être détectés par des systèmes d'augmentation pour l'amélioration de l'intégrité.

Les systèmes d'augmentation courants sont les systèmes des avions-basés (ABAS), les Systèmes d'augmentation des satellites basés (SBAS), les systèmes d'augmentation de sol-basés (GBAS), et les systèmes d'augmentation régional de sol-basés (GRAS).

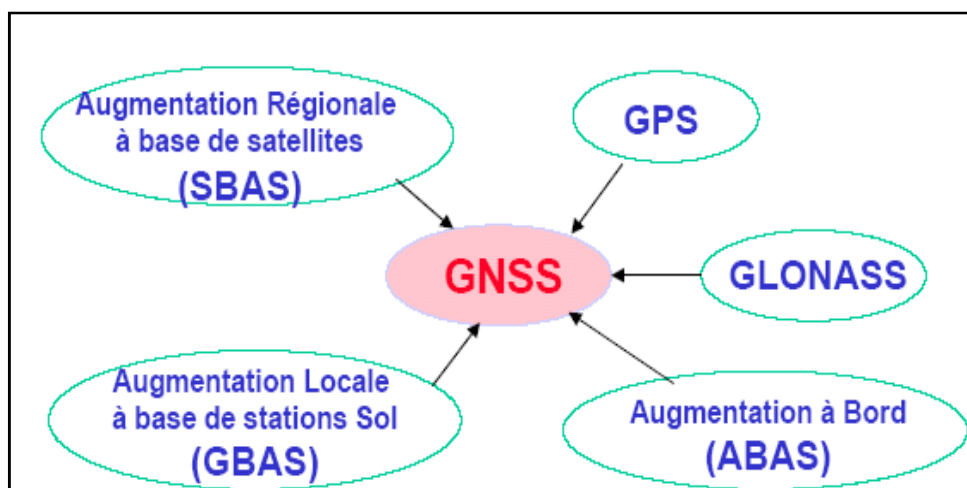


Figure II.11. Les composants du GNSS.

II.4. LES SYSTEMES D'AUGMENTATIONS

Le GNSS prend déjà en charge des approches directes de haute précision avec de faibles minimums pour de nombreuses pistes d'aéroports secondaires, ce qui se traduit en une diminution des retards, des déroutements et des survols pour les exploitants.

Toutefois, le GNSS (GPS ou GLONASS) ne permet pas à lui seul les approches avec guidage vertical, qui sont essentielles pour réduire le risque d'impact sans perte de contrôle.

De plus, à lui seul, le GNSS (GPS ou GLONASS) n'assure pas le niveau de disponibilité nécessaire pour permettre d'envisager de retirer du service un nombre

appréciable d'aides au sol. Il se pourrait qu'un usage plus répandu du GNSS en conjonction avec des systèmes de renforcement, décrit ci-après, permettent d'atteindre ces deux buts [22].

Les systèmes d'augmentation sont :

II.4.1. Les systèmes de bord de renforcement GNSS (ABAS)

Les systèmes GNSS ABAS utilisent uniquement des éléments de redondance interne à la constellation GPS, par exemple la multiplicité des mesures de distance à différents satellites, ou la combinaison des mesures GNSS avec celles d'autres senseurs de navigation, tels que les centrales à inertie, pour élaborer un contrôle d'intégrité. Ce contrôle d'intégrité est crucial pour le GNSS car, selon les caractéristiques de défaillance autorisées dans les standards OACI, les satellites GPS peuvent conduire à des erreurs de position très importantes pendant des durées de plusieurs heures [26].

Le renforcement de type ABAS le plus simple est traditionnellement dénommé RAIM, il s'agit d'exploiter les redondances d'un nombre de mesures supérieur à quatre; s'il se produit une erreur inacceptable, la fonction RAIM émet une alerte. Cette fonction est indisponible lorsque le nombre de satellites reçus est insuffisant ou leur géométrie est défavorable. Elle n'utilise pas les mesures d'autres senseurs. Certains systèmes utilisent les données barométriques dans le RAIM en vue de diminuer le nombre de satellites nécessaires pour assurer le contrôle d'intégrité. C'est l'algorithme généralement implémenté dans les récepteurs GNSS de l'aviation générale ou d'une partie de l'aviation d'affaire.

Certains avions dispose du renforcement dénommé AAIM qui est mis en œuvre dans les systèmes multi-senseurs. Il exploite les propriétés complémentaires du GNSS et d'autres senseurs de navigation (notamment les centrales à inertie) pour combiner leurs mesures et élaborer un contrôle d'intégrité plus performant.

Il est à noter que contrairement aux autres renforcements de type GBAS et SBAS, le renforcement ABAS ne permet pas d'améliorer la précision de positionnement. En conséquence, compte tenu des exigences de l'Annexe 10 pour les opérations utilisant le GNSS, l'utilisation des systèmes ABAS est limitée au mieux aux approches de non précision.

II.4.2. Les systèmes de renforcement GNSS par station sol GNSS (GBAS)

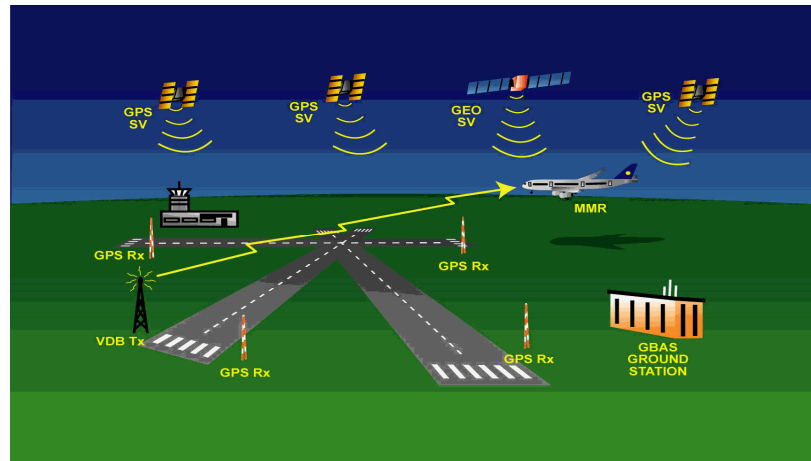


Figure II.12. Principe de fonctionnement de GBAS.

Pour réaliser des opérations de type approche de précision de Catégorie I, il est nécessaire de pouvoir éliminer un certain nombre d'erreurs de mesure des signaux transmis par les satellites GNSS, en particulier les erreurs d'horloge ainsi que les erreurs dues à la propagation dans l'ionosphère. La méthode la plus classique repose sur une technique appelée différentielle locale, où une station de référence située sur un aéroport par exemple, permet de mesurer précisément ces erreurs et donc de les retransmettre à un usager pour qu'il puisse les ôter de sa propre mesure. Cette technique dénommée GBAS a été standardisée et publiée par l'OACI.

Le GBAS assure initialement les approches de précision de catégorie I, et tend à être développé pour assurer les approches de précision catégorie II et III.

Le GBAS augmente la précision (Horizontale et Verticale), l'intégrité et la disponibilité des signaux GPS en transmettant des signaux d'augmentation depuis une station VHF basé au sol.

GBAS est conçu pour fournir un service pour un avion pendant l'atterrissage et fournit donc une couverture de 20 NM de l'extrémité d'approche de la piste à 4 NM au delà de l'extrémité de départ (pour fournir une couverture pour des approches interrompues). La couverture verticale s'étend jusqu'à 10 000 ft au-dessus du seuil de piste.

La précision requise du GBAS est :

- Précision Verticale de 4 m (entre 100 et 200 ft au dessus du seuil de piste), jusqu'à 16,7m.
- Précision Latérale de 16 m, jusqu'à 27,2 m.

Pour une station GBAS, la couverture est d'environ une trentaine de km, donc typiquement une zone d'approche associée à un aéroport, et une seule station GBAS peut fournir des approches à toutes les pistes de cet aéroport. Les standards OACI les plus récents prévoient qu'il soit possible d'interconnecter des stations GBAS pour former un réseau diffusant des corrections différentielles à grande échelle, un tel système étant identifié plus précisément par l'acronyme GRAS (Ground Regional Augmentation System) [11].

II.4.3. Les systèmes de renforcement par satellites (SBAS)



Figure II.13. La couverture des augmentations SBAS.

Les SBAS sont des réseaux de stations-relais terrestres et de satellites géostationnaires conçus pour recevoir les signaux des satellites GPS et transmettre des mesures de temps et de distance corrigées, augmentant ainsi considérablement la précision des mesures. De tels systèmes comportent donc, d'une part, des stations-relais et d'observations implantées sur des positions connues à travers le monde, et, d'autre part, des satellites géostationnaires en orbite fixe autour de la Terre. A partir de ces données de distance connues, et afin d'améliorer la précision des récepteurs dans des régions données, les SBAS corrigent les signaux des satellites GPS comportant des erreurs liées au retard atmosphérique, à l'inexactitude du positionnement des satellites et à leur mauvaise géométrie, parfois dues à leur alignement et leur trop grande proximité. Les SBAS jouent un rôle déterminant dans le domaine des transports aériens et dans d'autres applications où la précision et la fiabilité des mesures sont essentielles. En outre, les récepteurs qui peuvent fonctionner avec les SBAS sont compatibles entre eux, puisqu'ils utilisent les mêmes fréquences de signal que le positionnement par satellites. Trois systèmes d'augmentation de la précision sont aujourd'hui à différents stades de développement en Amérique du Nord, en Europe et en Asie. L'incroyable précision d'ores et déjà obtenue grâce à des SBAS, est particulièrement recherchée dans des domaines aussi divers que l'agriculture, les mines ou d'autres industries, ainsi que pour la randonnée, la plaisance, la chasse, les voyages et beaucoup d'autres activités liées aux loisirs et au commerce [11]. Et parmi ces systèmes SBAS on trouve : EGNOS(Europe), WAAS(États-Unis), CWAAS(Canada), MSAS(Japan), GAGAN(Inde), SNAS(Chine).

Parmi les plus importants systèmes actuellement fonctionnels :

II.4.3.1 Le système EGNOS

- **PRESENTATION:**

Le système EGNOS, pour « *European Geostationary Navigation Overlay System* », soit Système européen de complément à la navigation géostationnaire, est un réseau de 40 stations terrestres qui corrige les signaux des systèmes de positionnement américain GPS et russe GLONASS, et améliore à la fois leur fiabilité et leur précision. Il est épaulé par trois satellites propres à lui. Il préfigure le système de positionnement européen GALILEO. Quand le système GALILEO sera déployé, EGNOS diffusera également des données de correction pour ce système [12].

Il permet d'améliorer :

- « L'intégrité », par détection du dysfonctionnement de leurs satellites et en le signalant par l'émission d'une alarme dans un délai de 6 secondes ;
- « La précision », en diffusant des corrections différentielles, permettant ainsi une précision de l'ordre du mètre ;
- « La disponibilité » en mettant trois satellites supplémentaires à la disposition de GNSS, qui envoient un signal de positionnement du même format que celui des satellites GPS ou GLONASS.

- **Organisation du system EGNOS**

Le programme EGNOS a démarré en 1994 sous l'impulsion du CNES et de la DGAC et a été officiellement lancé en 1998, date à laquelle la gestion du programme a été confiée à un groupe européen tripartite comprenant la Commission européenne, l'ESA et Eurocontrol. Leurs principales missions sont :

- de fournir des moyens de validation à l'industriel pendant le développement et l'intégration d'EGNOS;
- de contribuer à la validation des normes SARP SBAS de l'OACI dont l'existence est indispensable pour l'utilisation d'EGNOS par les aviations civiles;
- de permettre le développement et la validation de récepteurs;
- d'être un moyen de communication et de promotion auprès des futurs utilisateurs

Eurocontrol est responsable de la validation opérationnelle pour l'aviation civile et vise à valider EGNOS pour des approches avec assistance verticale (APV-I et APV-II) et de précision (CAT-I), la navigation en route et en zone terminale [20.]

- **Principe de fonctionnement :**

Le signal EGNOS est obtenu grâce à un réseau de stations terrestres et de satellites. Les constellations GPS et GLONASS envoient leurs données de position à l'une des trente quatre stations RIMS réparties sur l'ensemble du globe. Cette dernière reçoit également des paramètres atmosphériques et climatologiques puis transmet le tout à un centre de contrôle principal (il en existe quatre, tous situés en Europe). Là, les données sont combinées pour être envoyées vers un satellite géostationnaire (Inmarsat III AOR-E, IOR ou Artemis) qui s'occupe de les redistribuer aux utilisateurs [16].

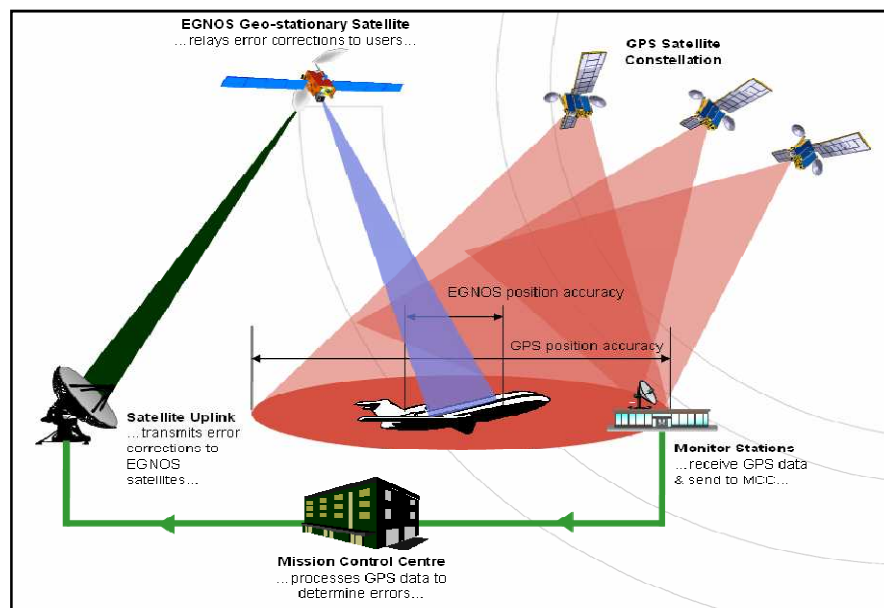


Figure II.14. Principe de fonctionnement d'EGNOS.

- **Composition d'EGNOS :**

EGNOS se compose en conséquence :

- **D'un segment sol de contrôle,** comprenant :

- 34 stations RIMS (Ranging and Integrity Monitoring Stations) distribuées géographiquement et enregistrant des données GPS et GLONASS. Parmi celles-ci, trois stations de référence EURIDIS (Toulouse (Fr), Kourou (Guinée Française) et Hartebeesthoek (Afrique du Sud)) fournissent une information précise sur la position des satellites géostationnaires [20].
- 4 stations MCC (Mission Control Center) qui rassemblent toutes les informations et calculent les corrections différentielles ainsi que la précision de tous les satellites visibles dans la zone de l'ECAC (European Civil Aviation Conference). Ces centres regroupent deux moyens de calcul : le CPF (Central Processing Facility) et le CCF (Central Control Facility). Pour des raisons de

disponibilité de service, il est indispensable de disposer de 5 CPF dans le système opérationnel, un des centres de mission comporte donc 2 CPF.

- 6 stations NLES (Navigation Land Earth Stations). Ces dernières envoient ces messages aux satellites géostationnaires. Les utilisateurs reçoivent les messages d'un satellite géostationnaire sur la fréquence L1 par une modulation et un codage similaire à GPS (Coarse Acquisition pseudo random code). Le système final comportera 2 NLES par satellite géostationnaire.
 - Le PACF (Performances Assesment and Check Out Facility) : le suivi de la performance du système est de la responsabilité de ce centre installé dans les locaux du CNES à Toulouse.
 - L'ASQF (Application Specific Qualification Facility) : L'ASQF fournit les moyens techniques nécessaires à la validation et à la certification des applications d'EGNOS. En particulier, pour l'aviation civile, l'ASQF sera chargée de valider les performances d'EGNOS en matière de performances de navigation ou RNP.
- D'un **segment spatial**, composé de transpondeurs installés sur 3 satellites géostationnaires (INMARSAT-3 AOR-E (15,5°W), INMARSAT-3 IOR (64°E) ET ESA ARTEMIS (21,5°E)).
- D'un **segment utilisateur**, composé de récepteurs EGNOS standards et d'un équipement spécifique pour les applications aériennes, maritimes ou terrestres. EGNOS améliore la performance des systèmes satellitaires GPS et GLONASS par l'intermédiaire des trois services suivants :
- "GNSS Integrity Channel": l'information d'intégrité transmise par les satellites géostationnaires fournit le niveau de sécurité exigé pour des approches avec assistance verticale (APV-I et APV-II), pour la navigation en route et en zone terminale.
 - "Wide Area Differential": la précision du positionnement augmente grâce à la transmission de corrections différentielles par les satellites géostationnaires.
 - "GEO Ranging": la transmission de signaux L1 (code et phase) de 3 satellites géostationnaires augmente le nombre de satellites disponibles pour le positionnement, ce qui améliore la géométrie de la constellation de satellites, vue du récepteur.

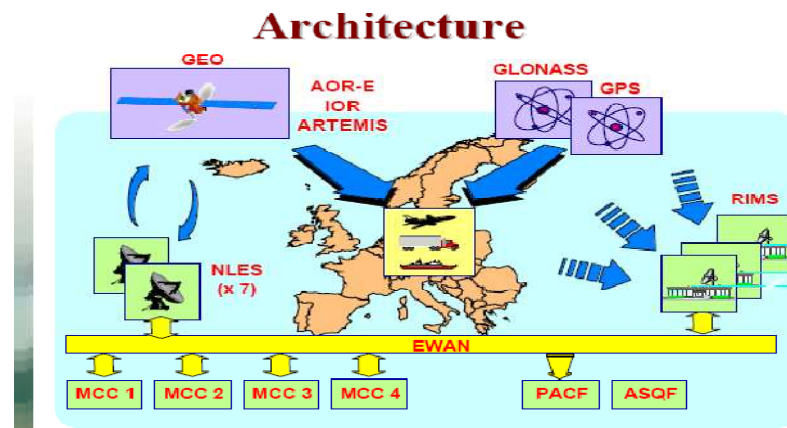


Figure II.15. Architecture de system EGNOS.

- **Les avantages d'EGNOS :**

Les avantages d'EGNOS sont :

- De pallier à l'absence d'infrastructure sol permettant de délivrer le service sur des zones étendues et non couvertes actuellement par des moyens de navigation classique (océans)
- De disposer d'un moyen de navigation adapté à la navigation de surface (RNAV) couvrant les phases en-route et approche.
- d'utiliser des signaux identiques au signal d'un satellite GPS, permettant de recevoir le signal avec le même hardware que les récepteurs GPS actuels, et sans modification de l'architecture de l'avionique bord [20].

- **Les performances d'EGNOS**

L'objectif initial d'EGNOS était de fournir un service de navigation permettant d'assurer sur la zone ECAC des opérations CAT I.

Une des caractéristiques de la navigation par satellite est d'avoir une précision constante pour une zone d'approche, alors que l'ILS fournit une précision angulaire lors de l'approche. Il a donc fallu trouver un moyen d'établir une équivalence entre les différents systèmes de navigation. L'OACI a défini le concept de qualité de navigation requise, RNP. Les types de RNP déterminent les niveaux de précision, d'intégrité, de continuité, et de disponibilité pour la navigation et les opérations d'approche, d'atterrissage et de départ. Une norme RNP est identifiée par une précision totale (erreur du système total à 95% dans le plan transversal, et le cas échéant dans le plan vertical, tenant compte de l'erreur de navigation du système et de l'erreur technique de vol) Une répartition du bilan d'erreur doit être ensuite établie pour en déduire une exigence de performance de précision à 95% du signal GNSS [20].

Les systèmes SBAS ont été développés dans le but de fournir l'équivalent du service CAT I pour toutes les approches situées dans leur zone de couverture. A l'expérience de la conception et du développement des systèmes SBAS EGNOS et WAAS, il est apparu qu'il serait difficile d'atteindre cet objectif à un coût raisonnable. Le concept d'Approche de Non Précision avec guidage vertical, APV a été introduit pour utiliser les capacités de ces systèmes [14]. L'opération APV se situe entre l'approche de non précision et l'approche CAT I. Deux types d'APV ont été définis :

- L'APV I qui est une approche de non précision (NPA) avec un guidage vertical
- L'APV II qui est une approche CAT I, avec un guidage vertical moins précis, donc avec des minima opérationnels plus élevés. A ce jour, la hauteur de décision associée à l'APV-II n'a pas encore été validée.

Les objectifs d'EGNOS sont de fournir :

- Un niveau de service NPA sur toute la zone ECAC
- Un service de niveau APVII sur toute la zone terrestre de l'ECAC

Les performances d'EGNOS dépendant de la position de l'utilisateur par rapport aux RIMS, le niveau de performance CAT I sera atteint et pourra être par la suite garanti sur certaines zones ECAC.

Les spécifications d'EGNOS			
	Précision Horizontale 95%	Précision Vertical 95%	Disponibilité
NPA	220 m	N/A	0.99 to 0.99999
APV I	220 m	20 m	0.99 to 0.99999
APV II	16 m	7,7 m	0.99 to 0.99999
CAT I	16 m	4 à 6 m	0.99 to 0.99999

Tableau II.2. Les performances d'EGNOS et les niveaux de performances définis par l'OACI

EGNOS étant déployé dans sa configuration initiale, il est possible d'étendre sa zone de service en déployant de nouvelles stations RIMS dans les zones destinées à être couvertes, et se trouvant dans la couverture d'un satellite géostationnaire faisant partie d'EGNOS. Plusieurs zones d'extension sont actuellement envisagées pour EGNOS, en particulier l'Afrique et l'Amérique du Sud [22].

II.4.3.2 Le système WAAS

Le WAAS (de l'anglais *Wide Area Augmentation System*) est un système d'aide à la navigation aérienne développé à la demande de l'administration fédérale de la navigation aérienne américaine (FAA) pour augmenter les performances du Global Positioning System (GPS). Il s'agit d'améliorer à la fois sa précision, son intégrité et la disponibilité des mesures. Le but est de permettre aux avions de se servir du GPS pour toutes les phases de vol, y compris les phases d'approche aux instruments, vers tout aéroport dans la zone de couverture[13].

Il permet d'améliorer :

- la « précision » : aussi bien en latéral qu'en vertical ;
- L' « intégrité » : en détectant une erreur du GPS ou du réseau interne au WAAS pour en avertir l'utilisateur dans les 6,2 secondes ; celle-ci est équivalente ou meilleure qu'en utilisant des récepteurs en RAIM.
- La « disponibilité » : qui est de 99.999% sur toute la zone de service, soit l'équivalent de moins de 5 minutes d'indisponibilité par an.

- **Composition du WAAS :**

Il se compose :

- **D'un Segment Sol :**

Le Segment Sol est composé de 38 stations de références Wide-area Reference Stations (WRS). Ces stations, positionnées très précisément, surveillent et collectent les signaux reçus de la constellation GPS, et envoient leurs données vers 3 stations principales - Wide-area Master Stations (WMS) - au travers d'un réseau terrestre de communications. Ces stations surveillent également l'intégrité des signaux réémis par les satellites géostationnaires du WAAS. Avec les données des WRS, les WMS génèrent deux types de corrections : rapides et lentes.

- Les corrections rapides concernent les erreurs susceptibles de changer rapidement et concernent principalement les signaux GPS eux-mêmes, positions instantanées des satellites ou erreurs des horloges embarquées. Ces corrections sont indépendantes de la position de l'utilisateur.
- Les corrections lentes concernent les corrections à plus long-terme des éphémérides et estimations de biais des horloges, et même les informations sur les retards et erreurs liées à la scintillation ionosphérique.

Une fois ces corrections générées, les WMS les envoient à deux stations montantes - *Ground Uplink Stations* (GUS) - qui les envoient vers les satellites du Segment Spatial pour diffusion vers le Segment Utilisateur.

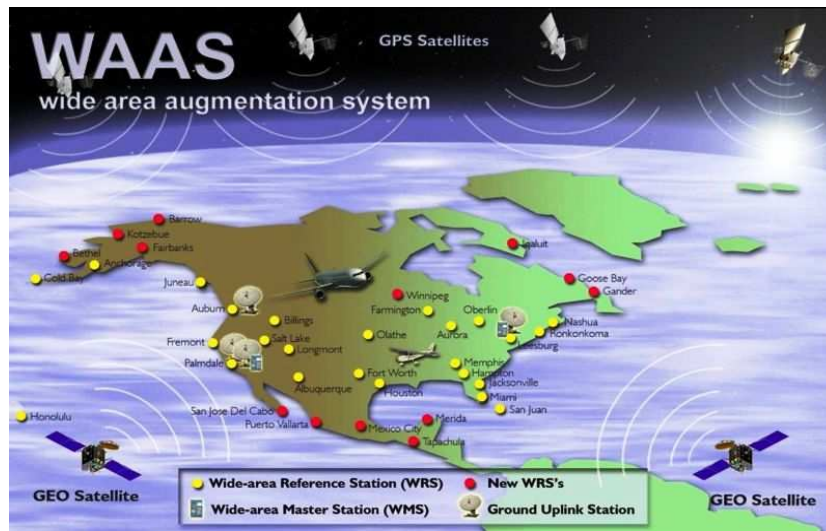


Figure II.16. Les stations de références du WAAS.

➤ **D'un Segment Spatial :**

Le Segment Spatial consiste en plusieurs satellites géostationnaires qui diffusent les messages de correction en provenance des GUS vers le Segment Utilisateur. Ces satellites diffusent aussi des messages similaires à ceux des GPS. Le Segment spatial est actuellement constitué de deux satellites commerciaux de télécommunications, Galaxy 15 et Anik F1R.

➤ **D'un Segment Utilisateur :**

Le Segment Utilisateur est constitué des récepteurs GPS et WAAS, qui utilisent l'information diffusé par la constellation des satellites GPS pour déterminer sa position et le temps courant. Ils reçoivent aussi les messages du WAAS venant du Segment Spatial.

Une fois une position approximative établie, le récepteur commence à utiliser les corrections lentes pour améliorer la précision du positionnement. Les corrections concernent notamment le retard ionosphérique.

Les données de corrections lentes peuvent être mises à jour toutes les minutes si nécessaire. Cependant les corrections d'éphémérides et d'erreurs ionosphériques ne changent pas si rapidement et ne sont mises à jour que toutes les 2 minutes, tout en étant valables pour les 6 minutes qui suivent.



Figure II.17. La couverture du WAAS.

II.5. CRITERES DE PERFORMANCE DE NAVIGATION

Afin de trouver les critères de performance pour les applications critiques de sécurité de vie en particulier l'aviation, GNSS doit être capable d'assurer l'intégrité, la précision, la disponibilité, et la continuité [11].

➤ Précision :

C'est le degré de conformité entre la position ou la vitesse mesurée ou estimée à un instant donné et la position ou la vitesse réelle : la précision de position est généralement présentée comme la borne de l'intervalle de confiance à 95% de l'erreur de position. En aviation civile: un système de navigation est suffisamment précis pour une certaine phase de vol, si son erreur de position moyenne (au niveau 95%) est inférieure à une certaine tolérance dépendante de la phase de vol. En supposant que l'erreur de position verticale suive une loi normale.

➤ Intégrité :

Le terme "intégrité" est défini par l'OACI (International Civil Aviation Organization) de manière générale :

« L'intégrité est une mesure de confiance en l'information fournie par le système entier. Elle inclut la capacité d'un système à prévenir l'utilisateur à temps que le système ne peut pas être utilisé pour l'opération voulue ».

Les exigences de l'aviation civile en termes d'intégrité pour un système de navigation sont exprimées par un risque d'intégrité :

« Le risque d'intégrité est la probabilité que l'utilisateur enregistre une erreur de position plus grande qu'un niveau d'alerte, sans être informé dans un délai prédéfini (temps d'alerte) à n'importe quel moment et endroit dans la région couverte ».

➤ **Disponibilité :**

Elle est définie par la probabilité avec laquelle l'utilisateur est capable de déterminer sa position avec la précision et l'intégrité exigées à n'importe quel moment et endroit de la région couverte. Un système est disponible, si les critères de précision et d'intégrité sont satisfaits. Pour une approche CAT-I, les standards de l'aviation civile exigent une disponibilité de 99 à 99.999%. La valeur dépend du besoin opérationnel et de la disponibilité d'autres systèmes de navigation.

➤ **Continuité de service :**

La continuité est définie par la probabilité avec laquelle l'utilisateur est capable de déterminer sa position avec la précision et l'intégrité exigées à n'importe quel endroit dans la région couverte pendant un intervalle de temps minimum dépendant de la phase de vol.

Le système de navigation satisfait le critère de continuité s'il est disponible pendant un intervalle de temps dépendant de la phase de vol. Pour une approche CAT-I, l'utilisateur doit disposer d'un système de navigation qui satisfait les exigences en termes de précision et d'intégrité avec une probabilité de 99.9992% pendant 15s. Cette caractéristique est très importante pendant l'atterrissage. Une alerte pendant cette phase de vol causerait une approche interrompue [11].

Typical operations	Accuracy 95%	Integrity			Availability	Continuity
		Time to alert	Alert limits (H - V)	Integrity risk		
En-route	lateral 2 Nm	5 min	4 Nm	$10^{-7}/h$	0,999	$1 \cdot 10^{-6}/h$
En-route Terminal area	lateral 0.4 Nm	15 s	2 Nm 1 Nm	$10^{-7}/h$	0,9999 0,99999	$1 \cdot 10^{-7}/h$
initial approach intermediate app NPA departure	lateral 220 m	10s	0.3 Nm	$10^{-7}/h$	0,9999	$1 \cdot 10^{-5}/h$ / 15s
NPV-I	lateral 220 m vert 20 m	10s	0.3 Nm 50 m	$2 \cdot 10^{-7}/150s$	0,9999	$1 \cdot 8 \cdot 10^{-6}/15s$
NPV-II	lateral 16 m vert 8 m	6s	40 m 20 m	$2 \cdot 10^{-7}/150s$	0,99999	$1 \cdot 8 \cdot 10^{-6}/15s$
CAT I	lateral 16 m $4 \leq \text{vert} \leq 6 \text{ m}$	6s	40 m 10 to 15 m	$2 \cdot 10^{-7}/150s$	0,99999	$1 \cdot 8 \cdot 10^{-6}/15s$
CAT II	lateral 6,5 m vert 1,7 m	2s	16 m 4 m	$10^{-9}/app$	0,99999	$1 \cdot 2 \cdot 10^{-6}/15s$
CAT III	lateral 4 m vert 0,8 m	1s	10 m 2 m	$10^{-9}/app$	0,99999	$1 \cdot 2 \cdot 10^{-6}/32s$ $1 \cdot 2 \cdot 10^{-6}/15s$

Tableau II.3. Les critères de performance de la navigation.

II.6. OPERATIONS ET AUGMENTATIONS GNSS

Les constellations de satellites seules ne peuvent pas répondre à des exigences rigoureuses d'aviation engendrées par l'exactitude, l'intégrité, la continuité et la disponibilité définies ci-dessus. Un certain degré d'augmentation est nécessaire pour chaque phase de vol. Ce Tableau montre le potentiel d'ABAS, de SBAS ou de GBAS de répondre aux exigences de navigation pendant une phase particulière de vol. Cependant, il reste aux Etats d'approuver un système d'augmentation spécifique ou une combinaison des systèmes d'augmentation pour des opérations spécifiques dans leur espace aérien [11].

OPERATION	En route	Terminal	NPA	APV I	APV II	PA CAT I	PA CAT II	PA CAT III	Airport Surface
ABAS									
SBAS									
GBAS									

Tableau II.4. Le potentiel des augmentations dans les catégories d'atterrissage.

II.7. DESCRIPTION DES SYSTEMES SATELLITAIRES EN DEVELOPPEMENT

Les systèmes GPS et GLONASS associés avec les systèmes d'augmentation sont considérés comme la première génération de systèmes GNSS. Cependant, le potentiel de cette génération ne répond pas parfaitement aux critères de performance d'où l'apparition d'une seconde génération de systèmes, capable de fournir tous les services civils, dont l'exemple le plus avancé est le Galileo européen. Ces systèmes procureront simultanément la précision et l'intégrité nécessaires à la navigation civile dans toutes les phases de vol. Le système GPS en développement doit inclure également la porteuse L5 d'intégrité, le mettant ainsi au niveau de cette génération.

II.7.1. GALILEO

Il existe actuellement dans le monde deux réseaux de satellites de radionavigation, l'un américain (GPS), l'autre russe (GLONASS). Tous deux ont été conçus dans une optique militaire. Le système russe n'ayant pas suscité de véritables applications civiles, GALILEO constitue la véritable alternative à l'instauration d'un monopole de fait au profit du GPS et de l'industrie américaine. Il est actuellement en cours de déploiement et serait opérationnel en 2013. C'est la réponse de l'Europe aux besoins croissants de fiabilité et de sécurité dans les

systèmes de transport. Il représente un enjeu stratégique au plan de l'indépendance politique et technologique de l'Europe [22].

Ce système est donc, destiné à supprimer la dépendance de l'Europe vis à vis du système GPS (Global Positioning System). Cette indépendance est importante, car le GPS souffre de nombreuses restrictions sur la précision du positionnement (de l'ordre de 20 mètres pour le signal gratuit), et sur la fiabilité (le positionnement peut être impossible dans certaines zones du globe pour des raisons techniques ou/et politiques).

Le système européen Galileo, dont la mise en place a été décidée par l'Union européenne en mars 2002, sera constitué d'une constellation de 30 satellites répartis en orbite circulaire moyenne (MEO) à 23 616 kilomètres d'altitude, inclinées à 56° degrés sur l'équateur, permettant ainsi une couverture correcte des régions de haute latitude. Sur chacun des trois plans d'orbite, neuf satellites sont régulièrement répartis, plus un en réserve, prêt à prendre la place d'un satellite défaillant. A cette altitude, la période de révolution des satellites sur leur orbite est de 14h et 21 minutes. Chaque satellite accomplit 5 révolutions en 3 jours, et se déplacent à une vitesse de l'ordre de 4 km par seconde. Le contrôle de la constellation sera assuré par deux centres de contrôle redondants situés en Europe, s'appuyant sur un réseau de 5 stations de contrôle réparties sur la surface terrestre, sur un réseau de 12 stations d'orbitographie et de synchronisation équipées d'horloges atomiques de haute précision (horloge maser à hydrogène pour les horloges de dernière génération) et sur un réseau de communications sécurisé. Des composantes locales sont aussi prévues pour optimiser les services tout-satellite par combinaison des signaux de Galileo avec ceux d'autres systèmes GNSS. Ces composantes locales offriront des services améliorés aux utilisateurs et permettront le développement d'une large gamme d'applications.

- **Le principal atout de Galileo :**

La précision de navigation est la différence entre la position réelle du mobile et la position estimée par ses moyens de navigation. La précision de la navigation avec un récepteur Galileo n'utilisant qu'une seule bande de fréquence pour les signaux de Galileo est, comme dans le cas actuel du GPS, limitée par les erreurs de propagation ionosphérique. Cette erreur peut se corriger dans le cas de GPS par des systèmes différentiels satellitaires SBAS, comme EGNOS, ou terrestres GBAS. Le service ouvert Galileo (SO) offre à tout le monde des signaux dans deux bandes de fréquences qui permettent à des récepteurs bi-fréquence d'éliminer l'erreur ionosphérique. La précision de la localisation est alors améliorée d'un facteur de l'ordre de 4, passant de 15m à 4m dans la direction horizontale et de 35m à 8m dans la direction verticale [16].

- **Autres avantages :**

- Une meilleure couverture satellitaire dans les hautes latitudes,
- La fiabilité : accès à un message d'intégrité informant des erreurs du système,
- La continuité : mission garantie de service public indépendante de tout caractère militaire (pas de risque d'interruption en cas de crise),
- la responsabilité contractuelle en cas d'accident grave dû à une défaillance du système, ce qui n'est pas le cas du système GPS à vocation militaire.
- De nombreux services nouveaux, constitue une alternative au GPS si l'un des systèmes est défaillant.

- **Les applications de Galileo :**

Les secteurs d'applications sont nombreux. Ils touchent aussi bien le secteur civil (marine marchande, aviation, véhicule de particulier, etc.) que militaire (positionnement des troupes et des unités mécanisées, des missiles ou des avions). Ces applications sont nombreuses et variées, et touchent tous les domaines de notre vie quotidienne.

On peut citer :

- La navigation qu'elle soit automobile, marine ou aérienne
- La topographie et la géodésie
- Les applications industrielles ou agricoles pour tout ce qui touche au positionnement (construction d'infrastructures, BTP...)
- Les loisirs : plaisance, randonnées...

- **Galileo et la navigation aérienne :**

Dans le domaine de l'aviation civile, Galileo sera utilisé dans les différentes phases de vol : guidage en vol, approche des aéroports, atterrissage, guidage au sol. Galileo rendra des services appréciables dans les cas où l'infrastructure classique au sol (radars de mouvement à la surface) est absente ou insuffisante face à l'augmentation du trafic aérien.

De plus, afin d'éviter une saturation des espaces aériens, il est important de prévoir un ensemble d'améliorations, dont celle des systèmes de navigation et de contrôle du trafic. Les systèmes actuels de navigation aérienne sont limités en termes de performance. Galileo apportera de nouvelles possibilités, notamment :

- diminution des distances minimales entre avions, tout en améliorant la sécurité ;
- Nouvelles trajectoires en phase d'approche et d'atterrissage, permettant de décongestionner les environs immédiats des aéroports ;

- Généralisation des possibilités d'approche et d'atterrissage automatiques à tous les aéroports, permettant de ne plus réserver ces capacités aux aéroports équipés en moyens spécifiques et coûteux ;
- Association avec les systèmes de communication aéronautiques, permettant de connaître avec précision les positions des avions et de mieux réguler le trafic au niveau des centres de contrôle aérien.

Le système Galileo offrira une performance sur l'ensemble du globe, ouvrant la voie à une simplification et à une harmonisation de l'ensemble des systèmes de navigation aériens. Les infrastructures au sol, telles que VOR ou DME, coûteuses en maintenance et en équipements à bord des avions, pourront être remplacées par des constellations Galileo. Enfin il faut savoir que les systèmes GPS et Galileo permettent de développer de nouvelles applications, en particulier lorsqu'ils sont associés à des systèmes de communication. Les hélicoptères utilisés pour le sauvetage pourront, par exemple, intervenir dans des conditions difficiles, notamment de visibilité, ce qui était jusqu'alors impossible.

Dans cette optique, le développement de la radionavigation par satellites apportera un soutien efficace à la mise en place de politiques de transport nouvelles et ambitieuses dans le monde entier, au service de l'ensemble des individus ou des collectivités. Force est de constater que, suite au succès du GPS, le développement de nouveaux systèmes globaux de navigation comme Galileo et la miniaturisation constante des récepteurs permettront de développer de nouvelles applications, notamment dans le monde des transports. Les secteurs mettant en jeu la sécurité seront plus naturellement utilisateurs des signaux Galileo.

II.7.2. Le GPS modernisé (GPS III)

Les Etats-Unis, inventeurs du système de navigation par satellite GPS, se préparent à rétorquer au projet rival européen Galileo avec une nouvelle génération de GPS aux capacités décuplées, qui égalerait les avancées technologiques promises par le nouveau concurrent.

Le système de localisation mondial (GPS), ayant atteint des possibilités complètement opérationnelles le 17 juillet 1995. A accompli ses buts originaux de conception. Cependant, les avancées additionnelles en technologie et les nouvelles exigences vis-à-vis du système actuel ont mené à l'effort de moderniser le système de GPS. Les annonces du vice-président et de la Maison Blanche en 1998 ont lancé ces changements. En 2000, le congrès des États-Unis a autorisé l'effort, désigné sous le nom de GPS III. Le projet comporte des stations de nouvelle base et de nouveaux satellites, avec la navigation additionnelle signalée pour les utilisateurs civils et militaires, et vise à améliorer l'exactitude et la disponibilité pour tous les utilisateurs. Le réseau sera progressivement mis en place en trois temps, avec un premier

lancement de satellites "prévu fin 2013", et devrait à terme être composé d'une constellation de 32 satellites,

On s'attend à ce que le système de la deuxième génération de GPS III ait environ 500 fois la puissance d'émetteur du système courant. Avec une constellation de 30-32 satellites, GPS III aura une troisième fréquence (L5 = 1176.45 mégahertz), des transmissions plus robustes de signal, ces fréquences fournissent l'exactitude en temps réel de 1 mètre [26].

II.8. CONCLUSION

La navigation par satellite est donc une nouvelle technologie dont les champs d'application ne se limitent pas aux transports mais couvrent pratiquement tous les domaines d'activité et restent encore largement à explorer et à développer. Différents systèmes sont déjà à l'œuvre ou en cours de développement pour offrir des services disponibles en permanence dans le monde entier. Loin d'être concurrents, ces systèmes peuvent se combiner pour apporter de meilleures performances aux utilisateurs.

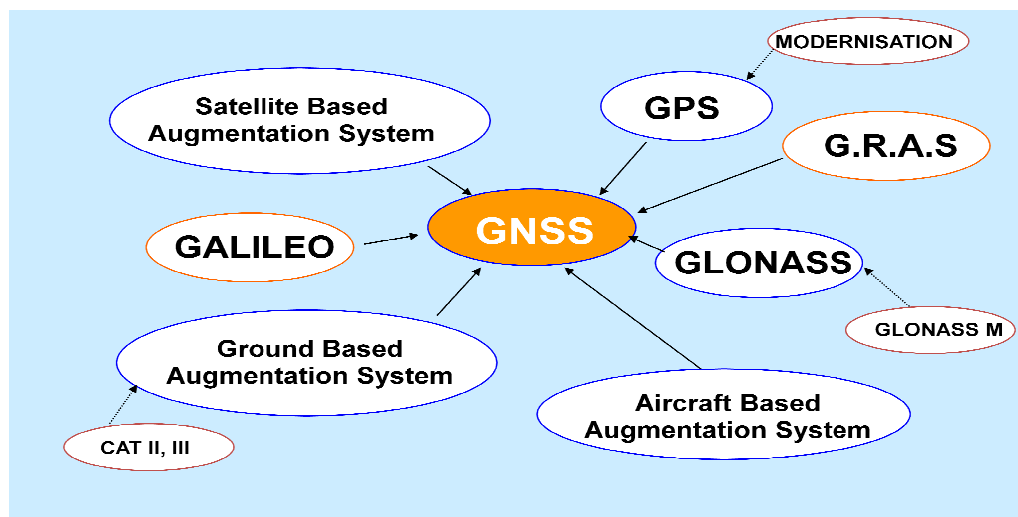


Figure II.18. La future structure du GNSS.

CHAPITRE III :

III.1. INTRODUCTION

Pour répondre aux besoins de l'aviation civil en vue de sa croissance considérable et continue durant ces dernières années et pour faire face aux limites des systèmes et des techniques classiques, l'OACI a vu la nécessité de créer un comité spécial des futurs systèmes de navigation aérienne et de mettre en œuvre les futurs systèmes CNS/ATM.

Pour une meilleure utilisation de ces futurs moyens de communication, navigation et surveillance, l'OACI axe ses efforts sur l'amélioration de l'ATM en se basant sur deux programmes à savoir NEXTGEN des USA et le SESAR Européen.

III.2. NÉCESSITÉ DE NOUVELLES TECHNOLOGIES

III.2.1. Le Comité FANS

Constatant la croissance régulière de l'aviation civile avant 1983, informé des prévisions de croissance du trafic et conscient de ce que de nouvelles technologies apparaissaient à l'horizon, le Conseil de l'OACI se pencha à cette époque sur les besoins futurs de la communauté de l'aviation civile. Sa réflexion l'amena à conclure qu'il fallait engager une analyse et une réévaluation approfondies des méthodes et des techniques qui avaient servi l'aviation civile internationale pendant des années. Voyant que les systèmes et les procédures employés par l'aviation civile avaient atteint leurs limites, le Conseil prit une importante décision à un moment clé, celle de créer le comité spécial des futurs systèmes de navigation aérienne (FANS). Le Comité FANS fut chargé d'étudier, de reconnaître et d'évaluer de nouvelles techniques, dont l'utilisation des satellites, et de faire des recommandations en vue de développement de la navigation aérienne à l'intention de l'aviation civile pour une période de l'ordre de 25 ans .

Le Comité FANS constata qu'il serait nécessaire de mettre au point des systèmes nouveaux pour s'affranchir des limites des systèmes classiques et pour permettre de développer à l'échelle mondiale. Les futurs systèmes devaient pouvoir évoluer, de façon à répondre davantage aux besoins des usagers, dont la santé économique allait être directement liée à l'efficacité des systèmes. Le Comité FANS conclut que la technologie reposant sur les satellites offrait une solution viable pour remédier aux carences des systèmes classiques à base de stations sol et pour répondre aux futurs besoins de la communauté de l'aviation civile internationale [9].

Le Comité FANS jugea en outre que, du fait que ses nombreux éléments sont étroitement liés et interdépendants, l'évolution de l'ATM à l'échelle mondiale faisant appel à

ces nouveaux systèmes exigerait une approche multidisciplinaire. Conscient que les nouveaux concepts pourraient un jour soulever des questions de coordination et des questions institutionnelles et se rendant compte qu'il faudrait une planification au niveau mondial, le Comité FANS recommanda au Conseil de l'OACI, dans son rapport final, de créer un nouveau comité qui donnerait des avis sur le contrôle, la coordination de la mise au point et la planification de la transition à l'échelle mondiale. Ainsi, on pourrait mettre en oeuvre les futurs systèmes CNS/ATM de façon rentable et équilibrée dans le monde entier, tout en tenant compte des systèmes de navigation aérienne et des zones géographiques [9].

En juillet 1989, donnant suite à la recommandation du Comité FANS, le Conseil de l'OACI institua le Comité spécial chargé de surveiller et de coordonner le développement du futur système de navigation aérienne et la planification de la transition (FANS Phase II).

Le Comité FANS Phase I acheva ses travaux en octobre 1993. Il reconnut que la mise en oeuvre des technologies connexes et les bénéfices escomptés ne se produiraient pas du jour au lendemain, mais s'étaleraient sur un certain temps, selon les infrastructures aéronautiques dont étaient dotés les divers États et régions et selon les besoins d'ensemble de la communauté aéronautique. Le Comité FANS Phase II convint en outre que, pour l'essentiel, les technologies auxquelles il songeait devenaient accessibles et qu'il fallait commencer par rassembler de l'information et, lorsque c'était possible, par tirer rapidement parti des technologies disponibles.

III.2.2. La dixième conférence de navigation aérienne

La Conférence a produit une série de recommandations acceptées de façon universelle et couvrant l'éventail complet des activités CNS/ATM, qui continue à guider et à orienter la communauté de l'aviation civile internationale dans ses travaux de planification et de mise en oeuvre des aspects techniques et opérationnels des systèmes CNS/ATM.

Cet entérinement des systèmes CNS/ATM à la dixième Conférence de navigation aérienne a marqué le début d'une ère nouvelle pour l'aviation civile internationale et il a ouvert la voie à de multiples activités relatives à la planification et à l'implantations des nouveaux systèmes tout autour du monde. À la suite de cette conférence, le Conseil de l'OACI souligna à nouveau l'importance du rôle des régions et des États en matière de planification et de mise en oeuvre des systèmes CNS/ATM et en matière de transition vers ces systèmes et il réaffirma la nécessité d'une participation active des bureaux régionaux de l'OACI dans ces domaines.

En septembre 1991, 450 représentants de 85 États et de 13 organisations internationales se réunirent au siège de l'OACI, à Montréal, à l'occasion de la dixième Conférence de

navigation aérienne, pour étudier et adopter le concept d'un futur système de navigation aérienne élaboré par les Comités FANS qui répondent aux besoins de la communauté de l'aviation civile jusque bien au-delà du tournant du siècle. Le concept FANS, connu aujourd'hui sous la désignation de systèmes de communications, navigation et surveillance et de gestion du trafic aérien (CNS/ ATM); fait intervenir un ensemble complexe de technologies connexes qui reposent largement sur les satellites. Il s'agit de la vision qu'a élaborée l'OACI avec l'entière coopération de tous les secteurs de la communauté aéronautique pour répondre aux besoins futurs du transport aérien international [9].

III.2.3. Concept CNS/ATM

III.2.3.1 Définition

Système de communication, de navigation et de surveillance faisant appel aux technologies numériques et aux systèmes satellitaires ainsi qu'à divers niveau d'automatisation appliquer au besoin d'un dispositif de gestion du trafic aérien mondiale homogène [17].

III.2.3.2 Vision stratégique

Favoriser la mise en œuvre d'un dispositif d'une gestion du trafic aérien mondiale homogène qui permettra aux exploitants d'aéronefs de respecter leurs heures de départ et d'arrivées prévues et de suivre avec un minimum de contraintes les profils de vol qu'ils préfèrent, sans compromettre les niveaux de sécurité convenus.

III.2.3.3 Mission de la mise en œuvre

Mettre sur pied un réseau de services de navigation aérienne homogène et coordonné à l'échelle de la planète qui permettra d'absorber la croissances mondiale du trafic aérien, tout en :

- Rehaussant le niveau de sécurité actuel ;
- Rehaussant le niveau de régularité actuel ;
- Améliorant l'efficacité globale des opérations dans l'espace aérien et aux aéroports, de façon a accroître la capacité ;
- Augmentant les possibilités pour les usagers de suivre les horaires et les profils de vol qu'ils préfèrent ;
- Réduisant au minimum les différences d'équipements de bord nécessaires Entre les régions.

Il y a quatre éléments principaux des systèmes CNS /ATM, qui sont :

- **Communication :**

L'élément communication des systèmes CNS/ATM permet l'échange de données et de messages aéronautiques entre les usagers et/ou les systèmes automatisés aéronautiques. Les

systèmes de communication servent aussi à appuyer certaines fonctions de navigation et de surveillance.

- **Navigation :**

L'élément navigation des systèmes CNS/ATM a pour objet d'assurer une capacité de détermination précise, fiable et fluide de la position des aéronefs, à l'échelle mondiale grâce à l'introduction de la navigation aéronautique par satellite.

- **Surveillance :**

Les systèmes de surveillance utilisés actuellement peuvent être divisés en deux types principaux : les systèmes de surveillance dépendante et les systèmes de surveillance indépendante. Dans les systèmes de surveillance dépendante, la position de l'aéronef est déterminée à bord puis transmise à l'ATC. Les comptes rendus de position vocaux actuels sont un système de surveillance dépendante dans lequel la position de l'aéronef est déterminée à partir de l'équipement de navigation de bord puis communiquée par le pilote à l'ATC sur une liaison radiotéléphonique. La surveillance indépendante est un système qui mesure la position de l'aéronef à partir du sol. La surveillance actuelle est basée sur les comptes rendus de position vocaux ou sur le radar (PSR ou SSR), qui mesure la distance et l'azimut de l'aéronef depuis la station au sol.

- **Gestion du Trafic Aérien :**

La gestion du trafic aérien (ATM) se résume dans tous les programmes ayant pour objectif d'augmenter la sécurité du trafic aérien, d'augmenter aussi la capacité de l'espace aérien et de réduire les coûts de fonctionnement ou tout simplement d'avoir une meilleure utilisation de l'espace aérien, ces objectifs sont atteints par l'amélioration des procédures du trafic aérien et l'amélioration des fonctions CNS. Il est donc chargé de l'acquisition, du développement, et de la réalisation des évolutions des systèmes d'assistance automatisée à la gestion du trafic aérien et à l'information aéronautique [26].

III.3. LA TECHNOLOGIE *Next Generation*

III.3.1. Définition de la *Next Generation*

Chaque jour les avions volent autour du monde. Pendant ces vols ils rencontrent des changements considérables à leur environnement. Ils peuvent voler par des régions à densité de trafic élevée et faible, au-dessus des océans ou des déserts, pourtant ils comptent toujours recevoir le même niveau de service du sol. Pour s'assurer que cette condition de base soit réalisée, les systèmes CNS à bord et au sol doivent se développer d'une manière compatible et coordonné « par exemple : les futurs moyens de la surveillance se serviront des sources de navigation pour fournir des données aux systèmes d'ATC sol ». L'OACI fait des efforts

constants axés sur l'amélioration du système ATM en optimisant le concept opérationnel de gestion mondiale du trafic aérien [4]. Ce concept a été approuvé par la 11e Conférence de navigation aérienne de 2003 et il constitue maintenant un élément important de tous les principaux programmes d'amélioration de l'ATM, dont le système de transport aérien de la prochaine génération (NEXGEN) des Etats-Unis et les efforts en cours au titre du Programme de recherche ATM dans le cadre du Ciel unique européen (SESAR). Les deux projets, de leur propre manière, ont les mêmes objectifs, à savoir améliorer la capacité et l'efficacité de leurs systèmes ATM respectifs.

A sa 36e session, l'Assemblée de l'OACI est parvenue à plusieurs conclusions importantes concernant l'ATM, renforçant ainsi la nécessité pour l'Organisation de continuer d'être le moteur de la planification et de la mise en œuvre d'un système ATM mondial fondé sur la performance. Certaines des nombreuses questions examinées et certains des nombreux accords qui ont été conclus contribueront beaucoup à la réalisation des objectifs de l'ATM mondiale [9].

L'Assemblée est convenue aussi que l'interopérabilité et l'harmonisation mondiales des deux projets (« SESAR » et « NEXGEN ») sont indispensables pour l'amélioration future du système de l'ATM mondiale. De fait, la plupart des améliorations ne pourront aboutir que si la nécessité de collaborer et de coopérer au niveau mondial est reconnue. Cela exigera une vision beaucoup plus générale et plus ouverte, une perspective de planification plus large et la planification de la mise en œuvre des installations et services dans de plus vastes zones géographiques. En d'autres termes, les plus grandes améliorations de l'efficacité ne pourront se matérialiser que grâce à la mise en œuvre d'une ATM plus globale et sans discontinuité [6].

III.3.2. Les futurs systèmes de navigation

Jusqu'aux années 1970, la navigation aérienne était axée sur l'établissement de routes rigides, basées sur le mouvement d'un point fixe à un autre. Ces points étaient fixés par des aides de navigation telles que les radiophares non directionnels (NDB), les équipements de la goniométrie (DF), les radiophares omnidirectionnels VHF (VOR) et l'équipement de mesure de distance (DME). La combinaison de différents VOR et DME, permettant de naviguer d'un point à un autre sans avoir à passer par une aide concrète, a rendu l'espace aérien plus souple et a permis de créer des routes plus directes. Cependant, les relèvements du VOR étant de nature angulaire et le DME souffrant de faibles degrés de précision, il n'était pas possible de vraiment ouvrir les routes et de les libérer des éléments terrestres fixes. La conception des routes et des procédures de départ et d'arrivée n'était donc pas optimisée, ni en termes de temps, ni en termes de consommation de carburant [13].

A sa 36^{ème} session, l'Assemblée de l'OACI est convenue que les Etats devraient dresser pour 2009 un plan complet de mise en œuvre de la navigation fondé sur les performances (PNB) afin de réaliser :

- La mise en œuvre de la RNAV et de l'exploitation RNP (la ou elles seraient nécessaires) en route et dans les régions terminales.
- La mise en œuvre de procédures d'approche avec guidage vertical (APV) ((Baro-VNAV et/ou GNSS renforcé) pour toutes les extrémités de pistes aux instruments comme moyen primaire d'approche ou comme moyen de secours, d'ici 2016, avec des jalons intermédiaires de 30 % d'ici 2010 et de 70 % pour 2014.

De cela, la navigation future va se caractériser par deux traits principaux : la navigation de surface (RNAV) et la navigation par satellite (GNSS).

III.3.2.1 La navigation de surface (RNAV)

La RNAV (Area Navigation) est une méthode de navigation permettant le vol sur n'importe quelle trajectoire voulue, dans les limites de la couverture des aides à la navigation de référence sur station au sol, ou dans les limites d'une aide autonome, ou grâce à la combinaison des deux moyens. Sa précision est définie par la RNP (*Required Navigation Performance*) [13].

On distingue deux types de la navigation de surface :

- La B-RNAV (Basic aRea NAVigation) qui requiert à l'équipement de bord RNAV :

Une précision de navigation en route de ± 5 NM pendant 95% du temps de vol (C.à.d conforme à RNP 5 en terme de précision uniquement), et

Une continuité de service de 99.99 % du temps de vol (équipement redondants à bord qui prit individuellement permettant un retour à une navigation conventionnelle).

- La P-RNAV (Precision aRea NAVigation) qui requiert de la part des appareils une précision de ± 1 NM pour au moins 95% du temps de vol.

Ce niveau de précision peut être obtenu par l'utilisation de :

- Deux ou plusieurs DME
- MLS ou ILS CATIII
- GNSS/GPS(1)
- IRS/INS seulement sur de courtes périodes

• **La RNP**

Terme générique définissant une précision de navigation nécessaire pour évoluer à l'intérieur d'un espace aérien défini. Compte tenu de la combinaison de l'erreur de capteur de navigation, de l'erreur de récepteur embarqué, de l'erreur d'affichage et de l'erreur technique de vol [16].

Au niveau générique, le type de RNP se fonde sur une valeur de précision de navigation qui doit être obtenue pendant 95 % du temps par L'ensemble des aéronefs évoluant dans l'espace aérien considéré. Cette notion est indépendante de l'infrastructure de navigation au sol.

Les types de RNP pour les opérations en route sont identifiés à l'aide d'une seule valeur de précision, définie comme étant la précision minimale de navigation requise pour un niveau de confinement spécifié. Les types de RNP en route sont décrits dans le Doc 9613.

Les types de RNP pour les opérations d'approche, d'atterrissage et de départ sont définis du point de vue de la précision, de l'intégrité, de la continuité et de la disponibilité de navigation requise. Bien que certains types de RNP prévoient une spécification de précision dans le plan latéral seulement (comme pour les phases en route), d'autres types prévoient des spécifications pour les plans latéral et vertical. Les types similaires à une spécification en route sont prévus pour les opérations telles des approches classiques ou des départs. La plupart des types de RNP pour les opérations d'approche et d'atterrissage exigent un confinement dans le plan vertical, fondé sur des renseignements produits par le système de navigation [17]. Le tableau suivant montre les différents types de RNP utilisé :

Type de RNP	Précision sur 95% du Temps de vols	Description
0.003/z	± 0.003 NM [± z ft]	Etre projeté pour les approches de précision s'atterrissage englober les conditions d'atterrissages, roulages et décollage (ILS, MLS et GBAS)
0.01/15	± 0.01 NM [± 15 ft]	Etre projeté pour les approches de précision jusqu'à 100 ft DH (ILS, MLS et GBAS)
0.02/40	± 0.02 NM [± 40 ft]	Etre projeté pour les approches de précision CAT I jusqu'à 200 ft DH (JLS, MLS, GBAS, SBAS)
0.03/50	± 0.03 NM [± 50 ft]	Etre projeté pour les approches RNAV/VNAV utilisant le SBAS
0.3/125	± 0.3 NM [± 125 ft]	Etre projeté pour les approches RNAV/VNAV

		utilisant des données d'entée Barométrique ou SBAS
0.3	± 0.3 NM	Supporter les approches Initias, Intermédiaire, les approche 2D RNAV être désirer de devenir l'application la plus commune.
0.5	± 0.5 NM	Supporter les approches Initias/Intermédiaire et de départ, utilisé seulement quand le RNP0.3 ne peut pas l'atteindre (moins d'infrastructure NAVAID) et la RNP1 ne peut pas être accepter (beaucoup d'obstacle dans l'environnement).
1	± 1.0 NM	Supporter les approches d'arrivées, Initias/Intermédiaire et de départ, aussi envisager pour supporter l'efficacité opérationnelle des routes ATS assimiler a la P-RNAV
4	± 4.0 NM	Supporter les route ATS et les espaces aériens basé sur des aides nav dont la distance entre eux est limitée, normalement associer aux espaces aériens continentaux mais parfois utilisée dans quelque procédure de terminal.
5	± 5.0 NM	Un type intérimaire mis en oeuvre en espace aérien ECAC pour permettre la continuité opérationnelle des équipements de navigation existants assimiler à la BRNAV
10	± 10 NM	Supporte la réduction des minima de séparations latérales et longitudinales, et mettre en valeur l'efficacité opérationnelle dans les régions océaniques et les espaces lointain lorsque la disponibilité des aides nav est limitée.
12.6	± 12.6 NM	Supporte les routes ATS basé sur des moyens de navigation dont la précision est limitée.
20	± 20 NM	La compétence minimum considérer acceptable pour supporter les besoins opérationnels des routes ATS

Tableau III.1. Les différents types de la RNP.

III.3.2.2 La navigation par satellite (GNSS)

Les systèmes mondiaux de navigation par satellite (GNSS) ont représenté le grand bond en avant dont avait besoin l'aviation, rendant l'espace aérien entièrement souple tout en optimisant les routes et les procédures de départ et d'arrivée. Avec la hausse actuelle des prix du carburant d'aviation et l'alarme de plus en plus pressante au sujet du réchauffement planétaire induit par les gaz à effet de serre, le GNSS est devenu un outil essentiel, qui apporte des solutions gagnant-gagnant aussi bien pour les exploitants que pour les défenseurs de l'environnement. Tout aussi importante est l'émergence des concepts de qualité de navigation requise (RNP) et de navigation fondée sur les performances (PBN), qui permettent d'harmoniser les capacités des systèmes embarqués et des systèmes de navigation de façon à obtenir la performance maximale nécessaire pour n'importe quel vol [6].

Les mécanismes de renforcements du GNSS peuvent apporter des solutions pour remédier aux problèmes de consommation de carburant qui touche à l'environnement et à l'économie suivant chaque phase de vol :

- **Départ :**

La phase de montée d'un vol exige une puissance maximale des moteurs, ce qui signifie que même avec l'aide du GNSS les économies de carburant réalisables dans le cadre de la procédure de départ sont minimes. Toutefois, la souplesse, la haute précision et l'intégrité des systèmes GNSS permettent de concevoir des procédures de départ qui évitent les zones densément peuplées et abaissent les impacts sonores. Il en résulte une réduction des nuisances pour les populations riveraines, de sorte que les préoccupations locales au sujet d'améliorations telles que l'agrandissement d'une piste seront moindres [6].

- **Croisière**

Si l'usage des systèmes inertiels et des aides de navigation classiques permet depuis longtemps de suivre des routes optimales entre deux points, le GNSS rend possible une navigation de plus haute précision, avec des performances cohérentes en tous points, ce qui améliore l'efficacité des aéronefs. Le résultat est une séparation réduite entre avions et une meilleure optimisation d'un espace aérien donné. Cela est particulièrement important pour des routes océaniques ou long-courrier où les compagnies aériennes rivalisent pour celles qui leur permettront de raccourcir les temps de vol. La réduction de la séparation permet des vols RNP 5 dans des régions isolées et des descentes en provenance de régions isolées situées dans des zones continentales; ensemble avec le RVSM, elle a rendu possible de répondre aux besoins de trafic tout en maintenant les niveaux de sécurité ou en les améliorant [6].

- **Descente**

Avant l'avènement du GNSS et spécialement des outils ADS-B, les descentes étaient effectuées graduellement et avec des modifications petites mais continues apportées aux niveaux de puissance sur la trajectoire de descente. L'introduction du SBAS permet d'amener l'avion dans un «tube» qui le dirige en toute sécurité jusqu'à un point et un niveau donnés. L'application la plus évidente permet à un avion d'effectuer une descente en utilisant une puissance minimale, en assurant une descente continue depuis le niveau de vol de croisière jusqu'au point d'atterrissage. Evidemment, cela doit être fait en accord avec les possibilités du contrôle et avec la restructuration de l'espace aérien pour faciliter ces applications, qui ont aussi un important impact sur l'exploitation aérienne [6].

- **Arrivée**

C'est pendant la phase d'arrivée d'un vol que les économies en rapport avec le rendement du carburant et les émissions de gaz à effet de serre sont le plus élevées. Jusqu'à présent, les aéronefs devaient se diriger pour atterrir vers un point à partir duquel le radioalignement de piste du système d'atterrissage et l'alignement de descente ILS étaient interceptés. Les tracés de trajectoire jusqu'à ce point pouvaient sembler parfois désordonnés, et les différents aéronefs devaient ajuster les procédures en fonction de leur type et de leurs caractéristiques respectives.

L'emploi du GNSS en particulier lorsqu'il est combiné avec un renforcement SBAS et/ou GBAS permet l'établissement de trajectoires d'approche de précision. Cela optimise l'espace aérien et réduit l'empreinte sonore, ce qui procure des avantages semblables à ceux qui sont obtenus au départ. Cela permet aussi d'adapter la procédure au type d'aéronef, en créant la possibilité d'établir des approches courbes ou segmentées qui permettront à l'avion de se positionner à distance optimale du seuil en fonction de leurs caractéristiques respectives, ce qui fait gagner du temps. La capacité de la piste se trouve également accrue, car les avions légers et rapides peuvent être placés devant des avions plus gros, dont la turbulence de sillage est plus grande [6].

Bien qu'il soit évidemment difficile de quantifier les économies totales, la combinaison de descentes continues et d'approches avancées permet d'économiser en moyenne cinq minutes par vol, selon une estimation prudente. Ces économies auraient certainement un impact sur une base mondiale ou régionale — et elles sont encore accrues si l'on tient compte de l'actuelle campagne de l'IATA «Gagner une minute».

Le GNSS aboutit ainsi à des temps réduits pour les diverses procédures et phases de vol, ce qui réduit sensiblement la consommation de carburant totale. Il aide à optimiser les niveaux de puissance, ce qui réduira sensiblement les émissions de gaz à effet de serre et les coûts des compagnies aériennes. Il faut des récepteurs GNSS compatibles avec le SBAS et le GBAS et une programmation correspondante du FMS pour assurer un bon fonctionnement avec ces systèmes, tandis que les services ATC devront aussi adapter les procédures de contrôle et la structure de l'espace aérien aux nouvelles capacités.

III.3.3. Les futurs systèmes de communication

Les systèmes de communications se classent en deux groupes : l'AMS (service mobile aéronautique) pour tout ce qui concerne les communications Air-sol ou Air-air, qui est supporté par les moyens HF ou VHF, et l'AFS (service fixe aéronautique) pour les communications Sol-sol, que ce soit entre les contrôleurs ou pour les besoins de la messagerie aéronautique (météo, plans de vol...).

Le domaine de communications est un pilier important dans la gestion du trafic aérien. Après avoir utilisé la radio communication dans un temps passé, les communications air-sol se sont basées sur les signaux AM dans la bande VHF. Pendant des années, dans le but de maintenir la capacité exigée, l'espacement entre les canaux a été réduit petit à petit de 50kHz à 25 kHz, actuellement, on passe à 8.33 kHz. Le nouveau concept des communications Air-sol se caractérise par l'introduction des communications par satellite et de divers moyens d'échanges de données codées [13].

Les améliorations en matière de communications vocales et de communications de données, en particulier la capacité de déplacer efficacement de grandes quantités de données avec beaucoup de vitesse et d'intégrité, jouent un rôle important dans le cadre des initiatives liées à la navigation, à la surveillance et à l'ATM.

III.3.3.1 Evolution des modes de communication

Les messages air-sol empruntent une des liaisons radio suivantes:

- HF (analogique) - Les radiocommunications par la bande HF permettent les échanges au-delà de l'horizon, mais leur fiabilité est limitée en raison principalement de la nature variable des caractéristiques de propagation des ondes. Tant qu'une nouvelle constellation de satellites utilisable en aviation et couvrant la totalité du globe n'aura pas été mise en place, la HF demeurera le seul moyen de communication disponible pour les vols dans les régions polaires [13] ;

- VHF (analogique) - Les radios VHF analogiques existantes offrent une excellente fiabilité opérationnelle; elles continueront d'être utilisées pour les communications vocales dans les régions terminales encombrées ainsi que pour les communications générales autres que de routine dans les zones de couverture correspondantes. Mais à court ou à moyen terme, il pourrait y avoir saturation de la bande VHF attribuée aux communications aéronautiques dans certaines parties du monde. Pour y faire face, des mesures ont été prises afin de réduire de 25 KHz à 8,33 kHz l'espacement entre les canaux, là où cela est nécessaire, et d'augmenter ainsi le nombre de canaux disponibles ;
- Liaison numérique VHF (VDL) mode 1 - C'est vers la fin des années 1970 que les exploitants d'aéronefs ont commencé à utiliser la radio VHF analogique pour échanger des données. Les radios VHF de bord existantes ont servi au transfert de données AOC et AAC entre les aéronefs et leurs exploitants au moyen de stations sol et de réseaux d'interconnexion spéciaux. Le système connu sous le nom d'ACARS (système embarqué de communications, d'adressage et de compte rendu) a considérablement évolué et pris de l'ampleur. Aujourd'hui, plusieurs grands transporteurs aériens l'utilisent pour leurs communications AOC et AAC- ainsi que, dans une mesure limitée, pour les communications ATSC non sensibles au facteur temps. L'ACARS n'a été soumis à aucun processus de normalisation OACI, mais la VDL mode 1 a été expressément conçue pour permettre l'emploi de la radio ainsi que du plan et de l'équipement de modulation ACARS. Le débit de données de la VDL mode 1 est de 2 400 bauds.-Le mode 1 peut être considéré comme une étape vers le mode 2 ;
- VDL mode 2 - Ce mode, qui a été normalisé par l'OACI, exploite des techniques radio numériques. Le plan de modulation de la VDL mode 2 est capable de prendre en charge les suites de protocoles de différentes applications opérationnelles, ce qui permet une utilisation beaucoup plus efficace du canal VHF ;
- VDL mode 3 - Ce mode, que l'OACI est en train de normaliser, utilise une technique d'accès multiple par répartition dans le temps (AMRT). L'AMRT fait appel à des processus radio numériques capables d'intégrer les systèmes de communications vocales et les systèmes de communication de données L'utilisation du spectre VHF est améliorée par la fourniture de quatre canaux radio distincts sur une même porteuse (espacement de 25 kHz) ;
- VDL mode 4 - Ce mode est fondé sur la technique dite de l'accès multiple par répartition dans le temps autogéré (STDMA), qui devrait autoriser des capacités de liaison de données en navigation et en surveillance en plus de fonctions de communication de données ;
- Liaison de données SSR mode S- La liaison de données mode S du SSR permet une capacité de surveillance et une liaison de données air-sol qui convient en

particulier pour une messagerie de données limitée dans les régions à forte densité. Elle peut en outre fonctionner dans un environnement mixte de transpondeurs d'aéronef présentant des niveaux différents de capacité de liaison de données ;

- Liaison de données HF - Des études ont démontré que l'on pourrait utiliser la liaison de données HF pour les communications ATSC. Étant donné que les Anomalies de propagation affectent rarement l'ensemble des fréquences de la bande HF en tous lieux, grâce à un réseau soigneusement disposé de stations sol bien interconnectées et à un ensemble approprié de fréquences communes, il serait possible, quels que soient le moment et le lieu, de trouver la fréquence qui convient le mieux pour transmettre des paquets de données. La liaison de données HF pourrait compléter le SMAS dans les régions océaniques ou éloignées et constituer un moyen primaire dans les régions polaires ;
- SMAS - Satellites de communication géostationnaires conçus expressément pour les communications mobiles, qui offrent une couverture étendue/quasi mondiale ainsi que des canaux voix et données de grande qualité. Le SMAS convient particulièrement aux aéronefs qui volent dans les espaces aériens océaniques et les espaces aériens continentaux éloignés.

Les communications Air - sol en VHF, qui ne se transmettent aujourd'hui que par la voix (à l'exception de l'ACARS) transmettront à l'avenir de la voix (entre pilote et contrôleur) et des données (entre calculateurs) sur des canaux différents [13].

Dans les régions océaniques et continentales éloignées, on prévoit que les communications vocales ne seront plus fondées sur le système HF mais sur des réseaux de satellites comme INMARSAT, MTSAT et PALAPA qui devraient transmettre aussi bien les messages liés à la navigation et à la sécurité aérienne que ceux sans priorités (messages compagnie, téléphone passagers, etc.). La disponibilité de ces derniers est d'autant plus importante dans des régions comme Asie- Pacifique à cause des vastes étendues d'espaces aériens océaniques. Les communications par satellite (AMSS, *Aeronautical Mobile Satellite Service*), vocales et numériques, y jouent déjà un rôle important dans la gestion de la circulation aérienne.

Les communications vocales par satellite sont très coûteuses par rapport aux communications HF dans les secteurs océaniques. Cependant, ces coûts diminueront fortement compte tenu de l'utilisation accrue des communications vocales par satellite de la part des passagers des compagnies aériennes ainsi que de la plus grande disponibilité des systèmes de satellites.

L'ATN (*Aeronautical Télécommunications Network*) est le réseau de demain de l'aéronautique. Universel et normalisé, il comprendra toutes les liaisons de messages codées air/sol et sol/sol destinées au contrôle de la circulation aérienne, et fédérera les sous réseaux hétérogènes VDL (VHF numérique), HF DL (HF numérique), AMSS et MODE S (SSR nouvelle génération) [18].

Un des systèmes de communications en données, nécessaires dans les programmes futures de gestion du trafic aérien est le système CPDLC (Communications par liaison de données contrôleur-pilote), qui utilise la liaison numérique VHF (VDL) Mode 2.

III.3.3.2 Communication contrôleur-pilote par liaison de données (CPDLC)

Le CPDLC permet l'échange d'information automatique entre le contrôleur et le pilote, basé sur des communications par satellite éliminant de ce fait le besoin d'interposition de téléphone, et faisant des tâches de mise à jour et de coordination de l'information plus faciles dans tout le vol, tout en soulageant la charge de travail pour le pilote et l'aiguilleur du ciel.

Actuellement, la solution a été développée et intégrée dans les systèmes existants de communication et de commande de trafic aérien.

- **Quelle est son utilité ?**

Ce mode additionnel de communication, contribuera à :

- Augmenter la sûreté en réduisant des erreurs de communication et la charge de travail pilote ;
- Prévoir un mécanisme plus dynamique et plus efficace d'échange de l'information d'air/sol ;
- Réduire les erreurs opérationnelles, y compris ceux résultant des instructions mal comprises ;
- Alléger des problèmes de congestion de fréquence et permettra au contrôleur de manipuler plus de trafic ;
- Désencombrer des fréquences VHF actuelles.

- **Comment fonctionne le CPDLC ?**

La fonction CPDLC permet au centre ATC et à un avion d'établir une communication par l'intermédiaire d'interfaces homme/machine graphiques. Pour cette application, il a été établi un ensemble d'éléments de message d'autorisation/d'information/de demande qui correspondent aux expressions conventionnelles utilisées en radiotéléphonie.

Les systèmes sol et bord permettront d'afficher les messages de façon appropriée, de les imprimer au besoin et de les stocker d'une manière qui permet de les retrouver facilement en temps utile et en cas de besoin.

Avec l'augmentation des exigences pour plus canaux de voix afin de faire face à l'augmentation du trafic, le spectre de VHF va bientôt être saturé et il n'y aura plus de canaux à assigner. Ainsi il y a trois années, EUROCONTROL, la FAA et plusieurs prestataires de service européens de navigation aérienne, ont commencé une recherche pour évaluer le futur et chercher à développer de nouveaux systèmes de communications numériques qui remplacerait les systèmes analogiques courants. Ce nouveau système, nommé FCI, « the Future Communications Infrastructure », sera développé conjointement dans les Programmes SESAR et NextGen [5].

Le FCI sera un système des systèmes, facilitant les deux communications terrestres et satellitaires. Le nouveau système fonctionnera probablement dans la bande L, de ce fait réduisant la confiance dans le VHF pour une période.

III.3.4. Les futurs systèmes de surveillance

La surveillance du trafic aérien consiste à réunir les informations issues des fonctions de communications et de navigation pour calculer en permanence la position relative des aéronefs, avec l'assistance éventuelle de moyens de visualisation, ou en se référant uniquement aux procédures de compte-rendu de position vocal de l'avion.

Dans les régions à forte densité de trafic, l'augmentation du trafic est le premier facteur qui dirige les réflexions concernant les besoins CNS/ATM. Mais dans d'autres régions à faible densité de trafic, améliorer l'efficacité des techniques de communications et de navigation sur l'ensemble du territoire est l'objectif majeur.

Le radar de surveillance a toujours été un outil ATC servant à faire respecter les normes d'espacement minimum et à faciliter le débit de la circulation. La surveillance est soit indépendante, soit dépendante. Le radar primaire de surveillance (PSR) assure une surveillance indépendante, car il ne nécessite aucune réponse de l'aéronef. La surveillance dépendante exige une réponse de l'aéronef afin de corriger la position de l'aéronef dans l'espace. Le radar secondaire de surveillance (SSR) utilise une réponse interrogative provenant d'un transpondeur de bord pour déterminer la position de l'aéronef. La surveillance dépendante automatique (ADS) repose sur la transmission de la position RNAV, passant par le GNSS, de l'aéronef au moyen d'une liaison de données avec l'ATC. Les normes d'espacement applicables au PSR et au SSR sont bien établies. Celle de l'ADS est en cours d'élaboration, mais sera probablement semblable à la norme radar et bien meilleure que celle

de l'espace non radar appliquée aux comptes rendus de position vocaux. L'un des problèmes liés à l'ADS est le risque de défaillance de mode commun. La défaillance du système de navigation se traduit par la perte de la capacité de navigation à bord de l'aéronef et la perte de la surveillance ATC [13].

III.3.4.1 ADS

- **Introduction :**

Les aspects communication et navigation furent traités au travers des liaisons de données, du concept ATN et du GNSS tandis que, pour la partie surveillance, apparaissait le concept ADS. La signification de l'ADS est :

- *Automatic* : Système ne nécessitant ni action, ni requête humaine.
- *Dépendent* : La technique de surveillance est dépendante des informations embarquées.
- *Surveillance* : L'objectif principal est la surveillance.

Le principe était qu'un avion fournirait automatiquement, par liaison de données, des informations dérivées des équipements embarqués, telles que son identification, sa position 4D ou d'autres données pertinentes. Les objectifs principaux de l'ADS étaient d'améliorer la surveillance et de proposer une solution pour les zones désertiques ou océaniques. Pour ce faire, l'ADS s'appuie sur les améliorations des systèmes de communication et navigation.

Les premières études ADS ont, dans un premier temps, principalement considéré l'ADS-Contrat dont le principe est l'établissement d'un contrat entre un avion et l'ATC afin d'effectuer une certaine application. Mais, depuis quelques années, l'ADS-Broadcast devient le sujet « à la mode » et l'on voit nombre de projets, d'études et d'expérimentations se multiplier autour de ce concept. Les principales différences entre ces deux services de l'ADS résident dans le fait que le message ADS-B est envoyé systématiquement, avec un contenu non figé et sans destinataire identifié tandis que l'envoi du message ADS-C se fait uniquement dans le cadre d'un contrat avec un destinataire identifié. De ce fait, l'ADS-B se rapproche beaucoup plus d'une surveillance temps réel car il permet de connaître, à intervalle régulier (dépendent de l'application et de la phase de vol), la position exacte d'un avion identifié par son adresse OACI ou son identificateur d'appel [13].

Au delà de l'amélioration en termes de surveillance, beaucoup voient, au travers de l'ADS-B, un moyen d'augmenter la capacité, d'aller vers les concepts Free Flight.

- **Surveillance Dépendante Automatique mode Contrat (ADS-C) :**

L'application ADS-C (*Automatic Dependence System - Contract*) est conçue pour transmettre automatiquement des comptes rendus sur l'aéronef à un utilisateur mais avec un agrément entre le contrôleur au sol et le pilote sur les informations à transmettre.

Les comptes rendus ADS-C donnent des informations sur la position de l'aéronef ainsi que d'autres informations qui peuvent être utiles pour la fonction de gestion du trafic aérien, notamment le contrôle de la circulation aérienne. L'aéronef fournit des informations à l'utilisateur dans les cas suivants :

- Contrat à la demande: en vertu de ce contrat conclu avec le système sol, l'aéronef fournit les informations immédiatement et une seule fois ;
- Contrat périodique: en vertu de ce contrat conclu avec le système sol, l'aéronef fournit des informations périodiquement ;
- Contrat événement: en vertu de ce contrat conclu avec le système sol, l'aéronef fournit des informations lorsque certains événements sont détectés par l'avionique ;
- Contrat d'urgence: dans des situations d'urgence, l'aéronef fournit des Informations périodiquement sans établir d'accord préalable avec le système sol.

- **Surveillance Dépendante Automatique mode Diffusion (ADS-B)**

Comme son nom l'indique, la surveillance dépendante automatique peut être considérée comme un hybride de techniques de surveillance «traditionnelles» combinant une dépendance des rapports de position avec l'automatisation caractéristique des réponses SSR. Les rapports ADS-C s'exécutent selon un «contrat» conclu entre l'ATS et l'aéronef. Semblables aux données radar, ces rapports ne sont pas reçus par les autres aéronefs et les intervalles entre les rapports sont relativement longs.

Les rapports ADS-B (*Automatic Dependence System - Broadcast*), au contraire, sont diffusés à des intervalles plutôt fréquents et, en plus de communiquer des données du genre «radar» pour la surveillance à partir du sol, fournissent une capacité de surveillance à partir du poste de pilotage.

Comme elle a été définie par l'OACI : « L'ADS-B est une technique de surveillance par laquelle des paramètres, tels que la position, la route, la vitesse..., sont transmis via une liaison de données numériques, à des intervalles réguliers, pour utilisation par des utilisateurs air ou sol. L'aéronef émetteur ne sait pas quels seront les utilisateurs de ces données. Ceux-ci exploiteront ou non ces informations. ».



Figure III.1. Réseau d'échange d'informations ADS-B.

Simplement dit, l'ADS-B est le futur du contrôle du trafic aérien. Au lieu d'employer des données de radar pour garder des avions les uns des autres à des distances de sécurité, à l'avenir, les signaux du GNSS fourniront aux contrôleurs de la navigation aérienne et aux pilotes beaucoup plus d'informations exactes qui aideront à maintenir les avions sans risque séparés dans le ciel et sur les pistes.

Éventuellement, avec ADS-B, une partie de la responsabilité de garder des distances de sécurité entre les avions se décalera des contrôleurs de la navigation aérienne au sol aux pilotes qui auront des affichages dans les cockpits indiquant exactement tout le trafic aérien autour d'eux, avec la météo local.

➤ **Principe de l'ADS-B :**

Le principe de l'ADS-B est de transmettre Automatiquement (sans commande du pilote) différents paramètres, telles que l'identification de l'avion, sa position, sa route, sa vitesse (Dépendance vis à vis des autres senseurs de l'avion)..., pour des applications de Surveillance.

Ces messages seront diffusés par le biais d'une liaison de données vers des destinataires non désignés qui peuvent être d'autres aéronefs, des stations sol, des véhicules sol... Ces utilisateurs potentiels, dont l'avion émettant le message n'a pas connaissance, ont le choix de traiter ou de rejeter les messages reçus (en fonction principalement de leurs situations respectives).

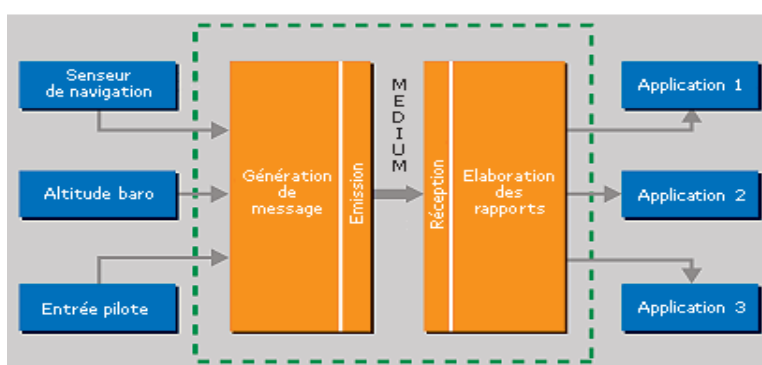
Le code contenant toutes ces données est automatiquement émis du transpondeur de l'avion une fois par seconde.

Les avions équipés pour recevoir les données et les stations au sol d'ADS-B reçoivent ces émissions jusqu'à une portée de 300 Km. Les stations au sol d'ADS-B ajoutent les cibles de radar des avions non-équipés ADS-B au mélange et envoient tout les supports d'information aux avions équipés - cette fonction s'appelle Traffic Information Service (TIS-

B). Les stations au sol d'ADS-B envoient également l'information de vol, telle que des restrictions provisoires de vol - ceci s'appelle Flight Information Service (FIS-B) [13].

Le principe de base de l'ADS-B est schématisé par la figure ci-dessous. Seules les fonctionnalités suivantes, apparaissant dans le cadre en pointillés (Figure.III.2), font parties de l'ADS-B :

- Une fonction « Génération du message ADS-B » qui fusionne les données provenant des senseurs avion ou d'entrées pilote pour « rédiger » le message ADS B.
- La fonction « Emission/Réception » des messages.
- Un médium liaison de données assurant la diffusion des messages.
- Une fonction « Elaboration de rapports ADS-B » qui synthétise les messages réceptionnés pour utilisation dans le cadre de diverses applications.



La Figure III.2. Architecture ADS-B

➤ **Medium ADS-B :**

A ce jour, trois media différents sont disponibles avec des degrés de standardisation et de validation différents :

- Le mode S squitter long ou 1090 : reconnu par Eurocontrol, la FAA (aviation commerciale), l'Australie mais aussi l'OACI pour assurer l'interopérabilité.
- La VDL mode 4, développée par l'autorité de l'Aviation Civile Suédoise : supportée par l'Europe du Nord et la Russie. La Russie a récemment décidé de mettre en œuvre le 1090ES pour l'aviation internationale a/c et la VDL mode 4 pour l'aviation régionale.
- L'UAT, développé par la MITRE : supportée par la FAA pour l'aviation générale (ou régionale).

Ces trois media concurrents sont actuellement testés par Eurocontrol dans le cadre de son programme ADS, par la FAA ainsi que dans divers projets soutenus par la Commission Européenne. Toutes ces études, dont le déroulement s'échelonne sur plusieurs années, ont

pour objet de tester ces trois médiums pour diverses applications de surveillance, de valider leur utilisation et de proposer un planning d'implémentation.

Cependant, il est impossible de dire lequel ou lesquels de ces médiums seront retenus en tant que liaison de données pour l'ADS-B. Néanmoins, il apparaît qu'un équipement mixte pourrait être nécessaire, pour des besoins d'interopérabilité, mais aussi pour assurer un niveau de sécurité compatible avec la criticité de l'application.

III.3.5. Vision globale des programmes futurs de l'ATM

Les programmes en développement pour l'ATM visent à transformer à long terme le système de transport aérien. Ils tentent de tirer profit des nouvelles technologies, telles que la surveillance et la navigation fondée sur les satellites [4].

Cette technologie et ces programmes sont notamment les suivants : la surveillance dépendante automatique - diffusion (ADS-B), la gestion de l'information au niveau du système (SWIM), les communications de données NextGen, la météorologie renforcée par le NextGen (NEW), la commutation par courants vocaux dans le NAS, et la mise au point de démonstrations et de l'infrastructure NextGen [6].

Parmi les technologies de la transformation, la plus importante est peut-être la surveillance dépendante automatique - diffusion (ADS-B) qui emploie les signaux GNSS pour fournir aux contrôleurs de la circulation aérienne et aux pilotes des renseignements beaucoup plus précis sur la position des aéronefs, ce qui contribuera à améliorer la sécurité de la séparation dans l'espace et sur les pistes. Lorsqu'ils seront convenablement équipés de l'ADS-B, les pilotes et les contrôleurs pourront pour la première fois observer en temps réel sur leur écran de visualisation les mêmes indications concernant la circulation aérienne, ce qui améliorera grandement la sécurité.

On trouve aussi des programmes importants tel que, la gestion de l'information au niveau du système intitulé SWIM. Il fournira en temps voulu à de nombreux usagers et pour de nombreuses applications des données de grande qualité. En réduisant le nombre et le genre d'interfaces et de systèmes, SWIM éliminera les redondances non nécessaires de l'information et facilitera mieux l'échange de l'information entre les divers services. Lorsqu'il sera pleinement appliqué, le programme contribuera à augmenter la capacité du système, améliorera la prévisibilité et la prise de décisions opérationnelles et réduira le coût du service. Il renforcera de plus la coordination pour permettre la transition de la gestion tactique des conflits vers l'exploitation stratégique fondée sur les trajectoires. Il permettra aussi de mieux utiliser la capacité en route actuelle [6].

Les documents SESAR disent que les échanges air-sol SWIM utiliseront initialement la liaison CPDLC et plus tard d' autres liens qui restent à développer. Les plans NextGen ne sont pas encore parvenus à ce niveau de détail. Enfin la définition de SWIM n'est pas encore assez avancée pour identifier exactement les échanges que l' application générera et la capacité de liaison qui lui sera donc nécessaire [8].

Une autre composante en données du système ATM est en cours de définition par les programmes de gestion de l'information aéronautique (AIM) d'Eurocontrol et de la FAA. Ils définissent le passage du processus du service d'information aéronautique traditionnel, basé sur le télex et le papier, à un système utilisant des sites web et l'Internet. Cela comprend la communication de données AIS et météo au poste de pilotage.

Les services qui ont recours aux communications de données transformeront le fonctionnement du trafic aérien d'un contrôle tactique à court terme, de minute en minute, en une gestion stratégique du trafic plus prévisible et planifiée. À terme, la plupart des communications seront effectuées par transmission de données par et pour les utilisateurs dotés du matériel approprié. Il est jugé que lorsque 70 % des avions pourront utiliser la liaison de données, l'échange de messages ordinaires contrôleur-pilote et les autorisations par transmission de données permettront aux contrôleurs d'acheminer environ 30 % de trafic supplémentaire [5].

III.4. APPORT DE LA TECHNOLOGIE *Next Generation*

Comme nous avons pu l'illustrer et le constater dans les parties précédentes, l'aviation des années à venir sera loin de ce qu'elle est actuellement, la navigation aérienne sera envahie par les systèmes satellitaires et la navigation de surface, les communications seront dotées de liaisons numériques et le domaine de surveillance penchera vers la disparition des systèmes classiques de surveillance tel que le radar et connaîtra l'utilisation d'autres moyens à savoir l'ADS et peut être de nouveaux systèmes en développement.

Il s'agirait en fait d'exploiter tous les moyens possibles afin de moderniser la gestion du trafic aérien qui est sans cesse en augmentation, et cela dans le but d'avoir un ciel bien géré, sécurisé et automatisé, tout en réduisant les coûts d'exploitation et les effets environnementaux [6].

L'atout qu'apportera la *Next Generation* pour les communications sera la réduction des prix du cycle de vie des équipements de communication ainsi que du déplacement des données, elle permettra aussi d'étendre les zones de couverture des liaisons communicatives contrôleur-pilote (DCPC). Les canaux radio VHF seront également beaucoup moins

encombrés et les messages seront plus clairs et plus nets. Bref, la *Next Generation* permettra d'avoir des réseaux de communications fiables ayant un accès pour toutes les parties intéressées aux données et aux produits d'information afin de faciliter la prise de décisions stratégiques et tactiques [3].

Grace à la technologie *Next Generation*, les exploitants pourront tirer parti des investissements dans le GNSS et dans d'autres instruments d'avionique RNAV en passant entièrement à un environnement de navigation de surface (RNAV) en route, dans les régions terminales et pour certaines approches, concevoir des approches en tirant parti des systèmes GNSS et d'autres instruments d'avionique évolués pour assurer des minimums inférieurs et accroître la capacité d'utilisation des aéroports, concevoir des procédures d'approche pour profiter du guidage vertical offert par le GNSS et par d'autres instruments d'avionique de bord, et ainsi réduire le risque d'impact sans perte de contrôle (CFIT) et l'espace aérien pourra ainsi être conçu à l'aide du concept RNP lorsqu'il permet d'en accroître la capacité. L'apport principal de la *Next Generation* pour la navigation sera la réduction des coûts de prestation des services de navigation en diminuant la dépendance en vers les aides à la navigation au sol.

Enfin, le bénéfice de la *Next Generation* se manifestera dans le domaine de la surveillance, la sécurité qui est facteur primordial dans la navigation aérienne sera améliorée en étendant les zones de surveillance aérienne et de surface d'aéroport, et le volume de l'espace aérien pourra s'accroître lorsqu'il est possible d'appliquer des normes d'espacement réduit par suite de l'amélioration de la surveillance. Les restrictions imposées aux trajectoires préférentielles des utilisateurs pouvant découler des limites de la surveillance seront réduites et les coûts d'acquisition de données de position d'aéronefs et de véhicules d'aéroport seront moins. La *Next Generation* devra aussi permettre d'avoir un meilleur partage des données de surveillance entre les aménagements de contrôle et avec les parties intéressées externes afin d'améliorer la planification tactique et stratégique des trajectoires ainsi la gestion de la circulation aérienne (ATM) sera beaucoup mieux souple [7].

III.5. CONCLUSION

L'interopérabilité et particulièrement l'interopérabilité globale ne se produit pas simplement. C'est le résultat de l'engagement, de la coopération et de l'accord laborieux et consacrés entre beaucoup de parties afin de préparer le développement des systèmes mûrs de CNS. Ces systèmes peuvent alors être enchâssés aux annexes d'OACI pour devenir le pilier de la prochaine génération de l'infrastructure d'ATM. L'Europe et les états unis le savent, c'est pourquoi SESAR et NextGen doivent fonctionner étroitement ensemble pour s'assurer que ça se produisent.

CHAPITRE IV :

IV.1. INTRODUCTION

L'emplacement géographique de l'Algérie fait d'elle un pays stratégique pour le passage des routes aériennes, le trafic aérien est en effet en augmentation continue d'une année à une autre et le ciel Algérien comme tous les ciels du monde entier se condense de plus en plus.

D'après l'aperçu cité dans le chapitre précédent sur les futures technologies en aéronautique, l'objectif principal des futurs systèmes et programmes est de trouver de bonnes politiques, de meilleures stratégies pour bien gérer le trafic aérien.

Dans ce chapitre, nous donnerons un aperçu sur la situation actuelle en Algérie concernant les systèmes CNS/ATM, nous exposerons les manques observés qu'elle possède dans ce domaine et nous proposerons des solutions et des suggestions pour combler ce manque et être à jour avec ce qui se fait dans les pays voisins.

IV.2. PRESENTATION DE L'ENNA

L'Établissement National de la Navigation Aérienne, (E.N.N.A.) est un établissement qui assure le service public de la sécurité de la navigation aérienne pour le compte et au nom de l'Etat, placé sous la tutelle du Ministère des Transports et a pour mission principale la mise en œuvre de la politique nationale dans le domaine de la sécurité de la navigation aérienne en coordination avec les autorités concernées et les institutions intéressées. Il est chargé en outre du contrôle et du suivi des appareils en vol ainsi que de la sécurité aérienne [25].

Dans le cadre du développement des projets liés à la navigation aérienne, l'E.N.N.A collabore avec des Institutions nationales et internationales :

- Ministère du transport ;
- Organisation de l'Aviation Civile Internationale (OACI) ;
- AEFMP : organisation régionale réunissant l'Algérie, l'Espagne, la France, le Maroc et le Portugal ;
- ASECNA : Agence pour la Sécurité de la Navigation Aérienne en Afrique et à Madagascar ;
- EUROCONTROL : Organisation européenne pour la Sécurité de la Navigation Aérienne ;
- Institut Aéronautique de Blida (IAB) ;
- Ecole Nationale de l'Aviation Civile à Toulouse (ENAC).

IV.2.1. Les missions de l'ENNA

Les principales missions de l'Etablissement :

- Veille au respect de la réglementation des procédures et des normes techniques relatives à la circulation en vol et au sol des aéronefs et à l'implantation des aérodromes et aux installations relevant de sa mission ;
- Dans le cadre de sa mission elle participe à l'élaboration des schémas directeurs et aux plans d'urgence des aérodromes, établit les plans, en coordination avec les autorités concernées, les plans de servitudes aéronautiques et radioélectriques et il veille à leur application ;
- Assure l'installation et la maintenance des moyens de télécommunication, de radionavigation, d'aide à l'atterrissage, des aides visuelles;
- Le contrôle de la circulation aérienne pour l'ensemble des aéronefs évoluant dans son espace aérien qu'ils soient en survol, à l'arrivée sur les aérodromes, ou au départ de ces derniers ;
- La sécurité de la navigation aérienne dans l'espace aérien national ou relevant de la compétence de l'Algérie ainsi que sur et aux abords des aérodromes ouverts à la CAP ;
- L'information aéronautique en vol et au sol et la diffusion de l'information météorologique nécessaire à la navigation aérienne ;
- Assure le service de sauvetage et de lutte contre les incendies sur les plates formes aéronautiques ;
- Contribue à l'effort du développement en matière de recherches appliquées dans les techniques de la navigation aérienne ;
- Concentration, diffusion ou retransmission au plan international des messages d'intérêt aéronautique ou météorologique ;
- Le calibrage des moyens de communication de radionavigation et de surveillance au moyen de l'avion laboratoire.

IV.2.2. L'organisation de l'ENNA

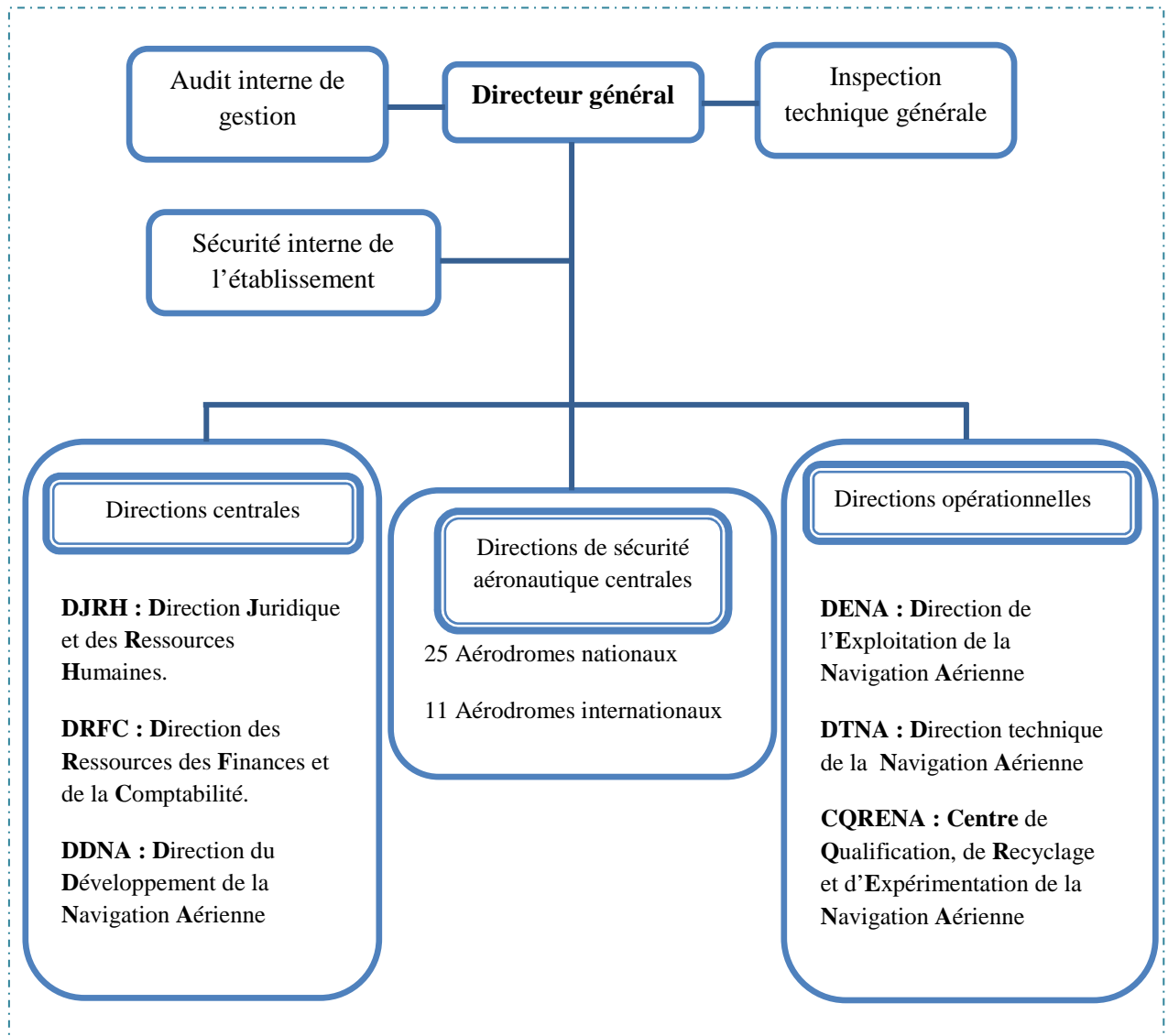


Figure IV.1. Organigramme de l'ENNA.

- **Direction de l'Exploitation de la Navigation Aérienne DENA :**

La Direction de l'Exploitation de la Navigation Aérienne est chargée d'assurer la sécurité et la régularité de la navigation aérienne et, veiller à la bonne gestion technique au niveau des aéroports [25]. Ses principales missions se résument comme suit :

- Gérer et contrôler l'espace aérien confié en route et au sol, par le centre de contrôle régional (CCR) et les différents départements de la circulation aérienne ;
- Mettre à la disposition de tous les exploitants le service de l'information aéronautique en vol et au sol, ainsi que les informations météorologiques ;
- Gérer les services de la télécommunication aéronautique ;
- Assurer le service de sauvetage et de lutte contre incendies aux aéroports.

La Direction de l'Exploitation de la Navigation Aérienne contient six (06) départements et un centre de contrôle régional :

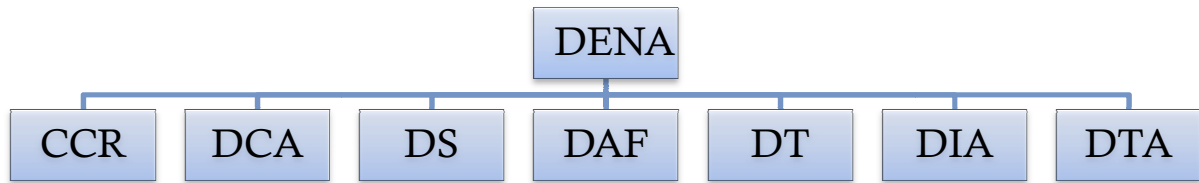


Figure IV.2. Organigramme de la DENA.

DCA : Département de la Circulation Aérienne

DS : Département Système

DAF : Département Administration et Finances

DT : Département Technique

DIA : Département Informations Aéronautiques

DTA : Département Télécommunications Aéronautiques

CCR : Centre de Contrôle Régional

- **Département de la Circulation Aérienne (DCA) :**

Le Département de la Circulation Aérienne, est chargé du contrôle et de la coordination des différents aéroports et le Centre de Contrôle Régional d'Alger, ainsi que les études liées au développement de la navigation aérienne, basé évidemment sur les normes OACI (Organisation de l'Aviation Civile Internationale) [25]. Au sein de ce département on trouve deux (02) services :

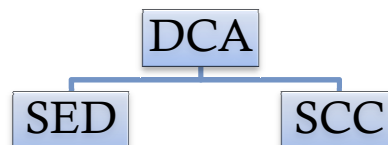


Figure IV.3. Organigramme de la DCA.

SED : Service Etude et Développement

SCC : Service Contrôle et Coordination

➤ **Le Service Etude et Développement (SED) :**

Qui a pour mission :

- Etude et élaboration des schémas de la circulation aérienne ;
- Etude et élaboration des plans de servitudes aéronautique de dégagements;
- La conception des procédures de départ (SID : Standart Instrument Departure), d'arrivée (STAR: Standart ArrivaI), d'approche initiale, finale et d'approche à vue ;
- Etude et élaboration des routes ATS ;
- Traitement des données statistiques de trafic aérien pour les besoins d'études.

➤ **Le Service Contrôle et Coordination (SCC) :**

Qui est tenu de maintenir à jour le fichier informatisé concernant l'état de tous les aérodromes sur le territoire national; d'analyser les anomalies d'exploitation relatives aux incidents, accidents concernant les aéronefs et leurs équipages. Ce service veille à l'application des normes OACI, il est également chargé d'autres missions relatives à l'exploitation des aérodromes confiés par la D.E.N.A [25].

IV.3. PRESENTATION DE L'ESPACE AERIEN ALGERIEN

L'ENNA, agissant au nom et pour l'Etat Algérien, assure les services du contrôle aérien et d'information en vol aux aéronefs traversant l'espace aérien national, qui s'étend de la partie sud de la Méditerranée contiguë aux FIR (s) Marseille, Barcelone et Séville, au Nord, et FIR Casa à l'ouest, FIR Tunis et Tripoli à l'est, FIR Dakar et Niamey au Sud. Tout le trafic dans cette espace aérien est géré par le CCR.

La FIR d'Alger contient l'espace aérien souverain immédiat chevauchant l'Algérie et l'espace aérien international au-dessus de la Méditerranée qui lui est délégué par l'OACI. La FIR est délimitée par les points suivants : 3900N 00800E, 3900N 00440E, 3820N 00345 E, 3615N 00130W, 3550N 00206W, 3505N 00212W, suivant ensuite les frontières nationales de l'Algérie [25].

La FIR est subdivisée en sept (07) secteurs (voir la carte et tableau ci-dessous) :

- **Centre**
- **Ouest**
- **Est**
- **Sud-Centre**
- **Sud-Ouest**
- **Sud-Est**
- **Sud-Sud**

Secteur Actuel	Altitudes	Classe
Alger Centre	FL245-F450	A
	GND/MSL-FL245	D
Alger Nord-est	GND/MSL-FL450	D
Oran	GND/MSL-FL450	D
Sud Centre	Toutes	E
Sud-ouest	Toutes	E
Sud-est	Toutes	E
Extrême Sud	Toutes	F

Tableau IV.1 : Les secteurs Actuels

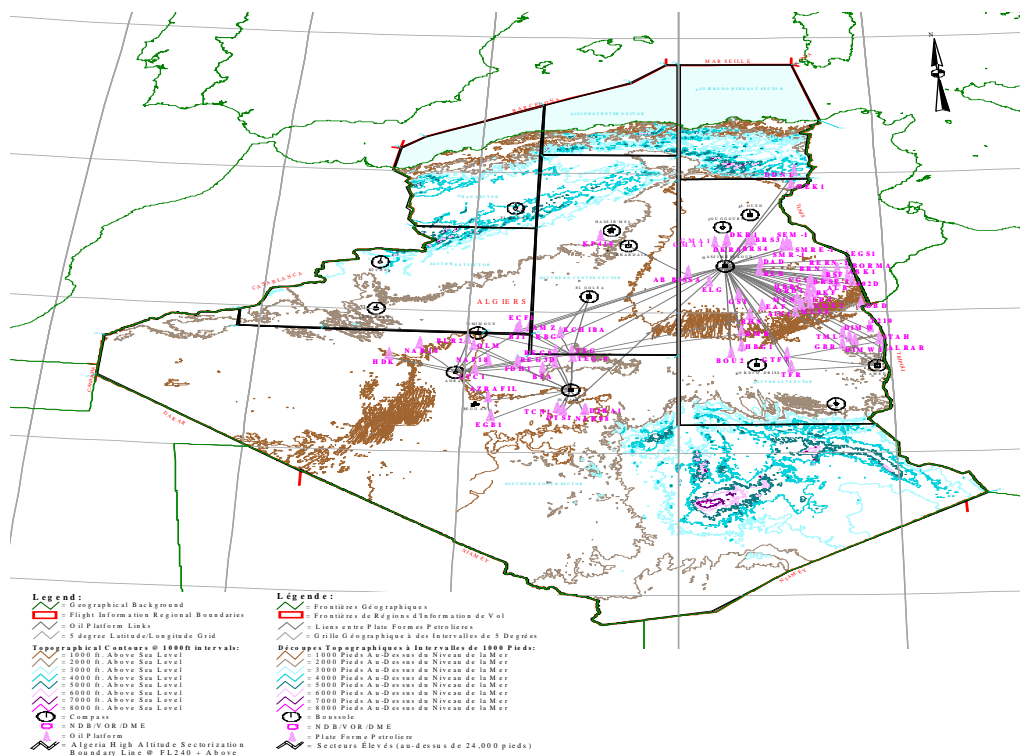


Figure IV.4. Carte des FIR's de l'espace aérien Algérien

IV.4. PRESENTATION DE L'ATC EN ALGERIE

IV.4.1. Les aérodromes

• Classification des aérodromes

La classification des Aérodromes se fait selon les dispositions décrites dans l'arrêté du 30.06.88 qui définit le classement des aérodromes selon le dimensionnement de leurs infrastructures, leurs équipements techniques et les horaires d'ouverture et de fermeture.

L'Algérie compte trente quatre (36) aérodromes répartis comme suit :

➤ 11 Aérodromes internationaux :

- 05 aérodromes reçoivent le trafic international régulier : Alger / Constantine / Annaba / Tlemcen / Oran.
- 03 aérodromes reçoivent le trafic international restreint (escale technique refoulement, etc.) : In-Amenas / Tamanrasset / Adrar.
- 01 aérodrome reçoit le trafic international en cargo et charter : Hassi-Messaoud.
- 02 aérodromes reçoivent le trafic international non régulier : Ghardaia et In-salah.

➤ 25 Aérodromes domestiques :

- 21 aérodromes reçoivent le trafic national régulier. Parmi ces aérodromes :
 - 04 aérodromes mixtes : Béchar, Biskra, Ouargla, Tindouf.
 - 01 aérodrome à usage restreint : Hassi-Rmel.
 - 03 aérodromes militaires : Méchéria, Sétif et Lagouat sont ouverts à la CAP.
 - 01 aérodrome est fermé pour travaux : In-guezzam.
 - 01 aérodrome ne traite plus le trafic national régulier : Mascara.
- 02 aérodromes nationaux traitent le trafic international régulier :
 - Biskra / Bejaia

Les aérodromes sont gérés par les Directions de Sécurité Aéronautique qui sont classées selon quatre (04) niveaux

Niveau I (01): DSA d'Alger.

Niveau II (06) : DSA d'Annaba, Constantine, Hassi-Messaoud, Tamanrasset, Ghardaia et Oran.

Niveau III (08): DSA de Tlemcen, Tébessa, Adrar, Béchar, Ouargla, In-aménas, In-salah et Djanet.

Niveau IV (18): DSA de Jijel, El-oued, Touggourt, El-goléa, Tindouf, Béjaia, Tiaret, Timimoun, Batna, Biskra, B.B-Mokhtar, Illizi, In-guezzam, Bousaâda, Mascara, Mécheria, Sétif, Laghouat et Hassi'Rmel.

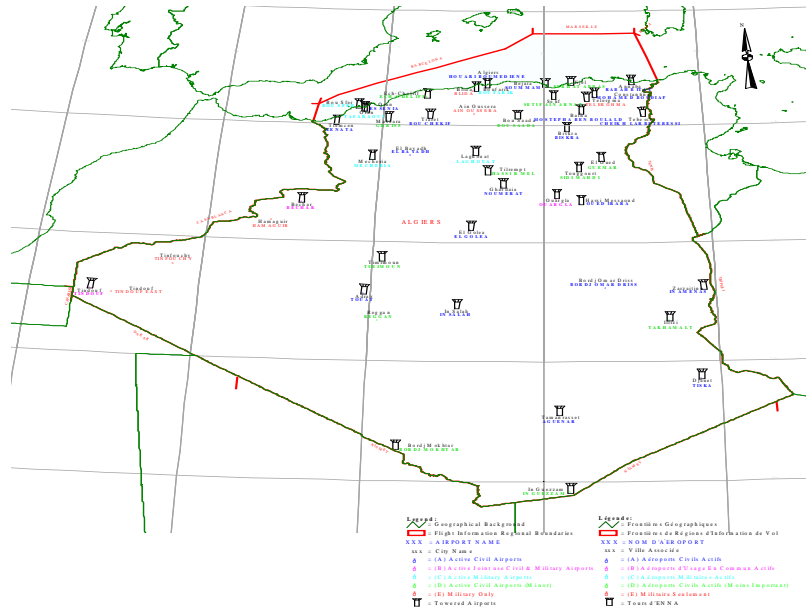


Figure. IV.5. Carte des aéroports en Algérie

L'ENNA réalise des projets dont le but est d'améliorer les services rendus aux utilisateurs des aéroports Algériens.

IV.4.2. Le réseau des routes

Vue de sa position géographique l'Algérie est considérée comme le point de ralliement important entre les deux continents Africain et Européen et même entre les pays de West et le moyen orient le réseau de routes est structuré comme suit :

- **Vols Europe - Afrique de l'Ouest ;**
- **Vols Afrique de l'Ouest - Moyen Orient ;**
- **Vols Europe- Amérique du Sud ;**
- **Vols Europe - Afrique du Sud.**

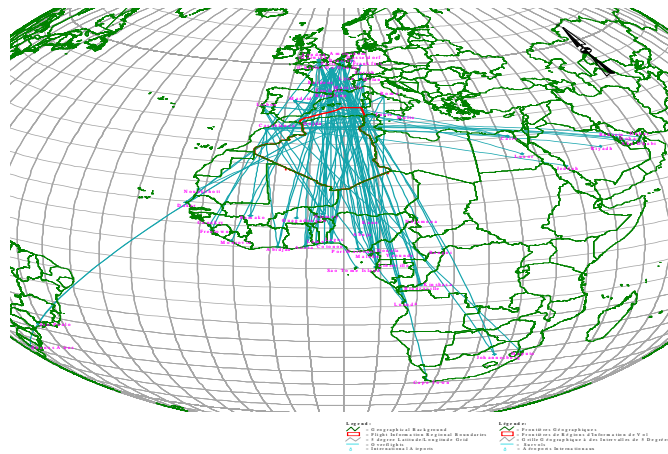


Figure IV.6. Carte Réseau des routes internationales passant par l'Algérie

En plus de ces routes il existe le réseau des routes nationales (voir la carte de réseau des routes nationales).

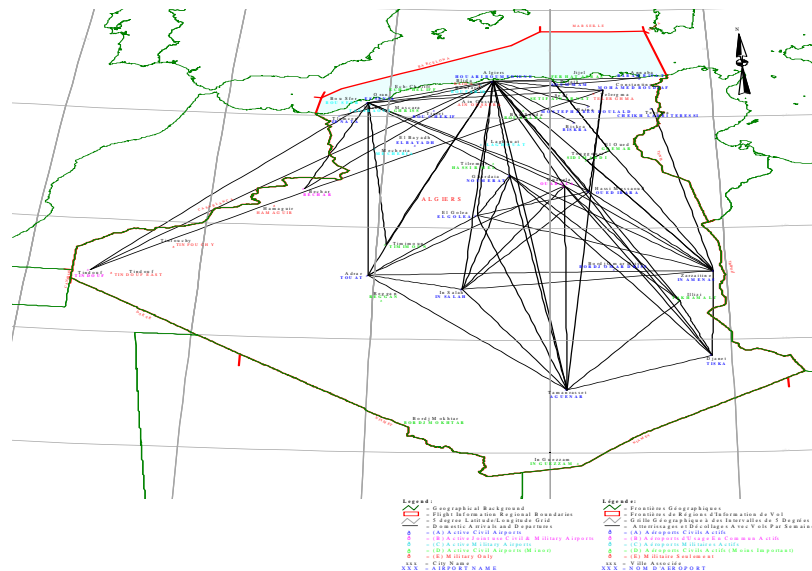


Figure VI.7. Carte de réseau des routes nationales [25]

IV.5. CONCEPT CNS/ATM EN ALGERIE

IV.5.1. Communication

Air-Sol : Il existe 34 Emetteur-Récepteur VHF Tour, 08 Stations Emetteur-Récepteur HF, 15 Stations VSAT, 03 Emetteur-Récepteur VHF CCR et 17 Antennes Avancée, utilisées en Algérie.

En général, les stations VHF et HF fournissent une couverture au-dessus de FL 245 (FL100, FL240, FL300) sur une grande partie de l'espace aérien. Une double couverture est fournie dans une grande partie du nord, la simple couverture étant fournie sur la majeure

partie de la région centrale et du sud immédiat; les zones de l'extrême sud n'ont aucune couverture radio VHF. (Voir carte de couverture VHF en Algérie) [17].

Type d'Équipement	Nombre
- Antenne Avancée	17
- Station VSAT	15
- Station Émetteur-Récepteur Haute Fréquence	08
- Émetteur-Récepteur VHF Tour	34
- Émetteur-Récepteur VHF CCR	03
- Enregistreur	27
- Station Inmarsat	06
- Thuraya	18

Tableau IV.2. Les moyens de communication en Algérie [25]

Station VHF/Site	Nombre de station
El Baydh	1
Oran Senia	1
Oran Bel horizon	1
Tiaret	1
TMA Alger	3
Constantine	1
Annaba	1
Biskra	1
Hassi-Messaoud	1
Gherdaia	1
EL Golea	1
Bechar	1

Tableau .IV.3. Les VHF en Algérie (Nombre /Emplacement)[25]

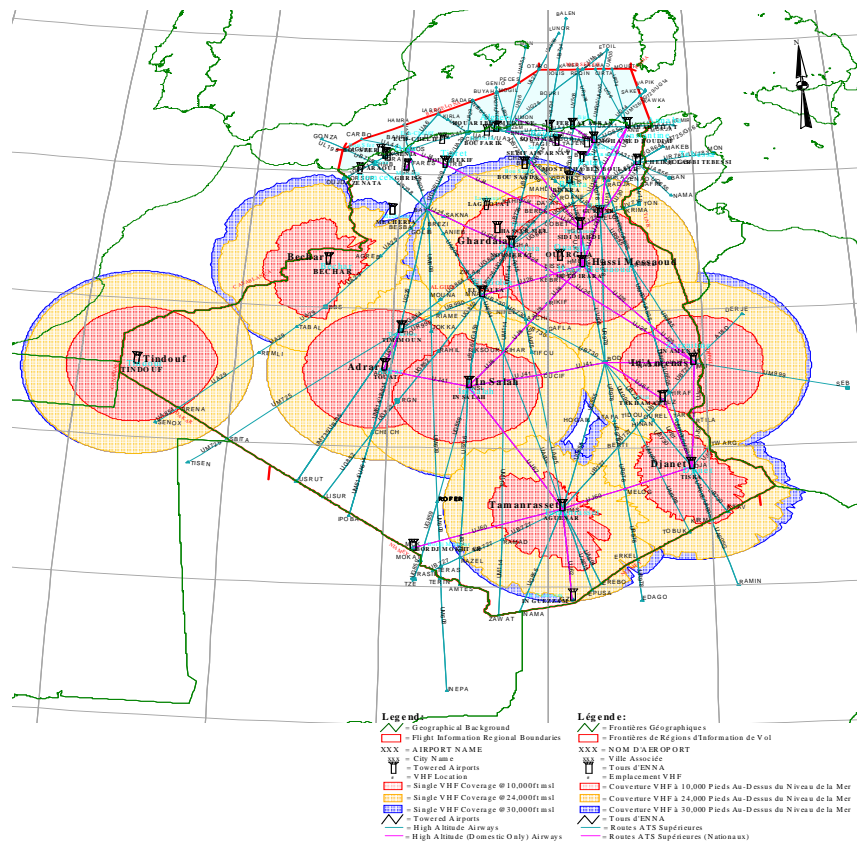


Figure.IV.8. Carte de Couverture actuelle de VHF en Algérie[25]

IV.5.2. Navigation

En Algérie il existe comme aide à la navigation 39 VOR, 45 DME (Distance Measuring Equipment) et 13 Système d'Atterrissage aux Instruments (ILS) qui utilisent le DME comme moyen de mesure de distance et qui sont opérationnelles dans la plupart des aéroports équipés de tours [17].

Type d'Équipement	Nombre
- ILS (Instrument Landing System)	13
- VOR (VHF Omni Range)	39
- DME (Distance Measuring Equipment)	45
- NDB (Non Directional Beacon)	33
- VOR Mobile	06
- Radiogoniomètre	09

Tableau IV.4. Les aides à la navigation en Algérie[25]

IV.5.3. Surveillance

Il existe un radar primaire à Alger et cinq radars secondaires à Alger, Annaba, à Oran, El Oued, et El Bayadh. Ils fournissent la couverture du segment nord de la FIR au-dessus de niveau de vol FL 100 (FL100, FL240, FL300) sauf un secteur au sud d'Alger. En plus, ces radars fournissent la couverture radar secondaire de secteur terminal à Annaba et à Oran et la couverture primaire et secondaire combinée de secteur terminal à Alger (voir carte de couverture Radar en Algérie) [17].

<i>Type d'Equipement</i>	<i>Nombre</i>
- RADAR	05
- Système automatisé du traitement du trafic aérien	05

Tableau.IV.5. *Les équipements de surveillance en Algérie [25]*

Type	Site
Primaire/Secondaire	Alger
Secondaire	Annaba
Secondaire	Oran
Secondaire	EL Oued
Secondaire	EL Bayadh

Tableau .IV.6. *Les Radars et leur emplacement en Algérie[25]*

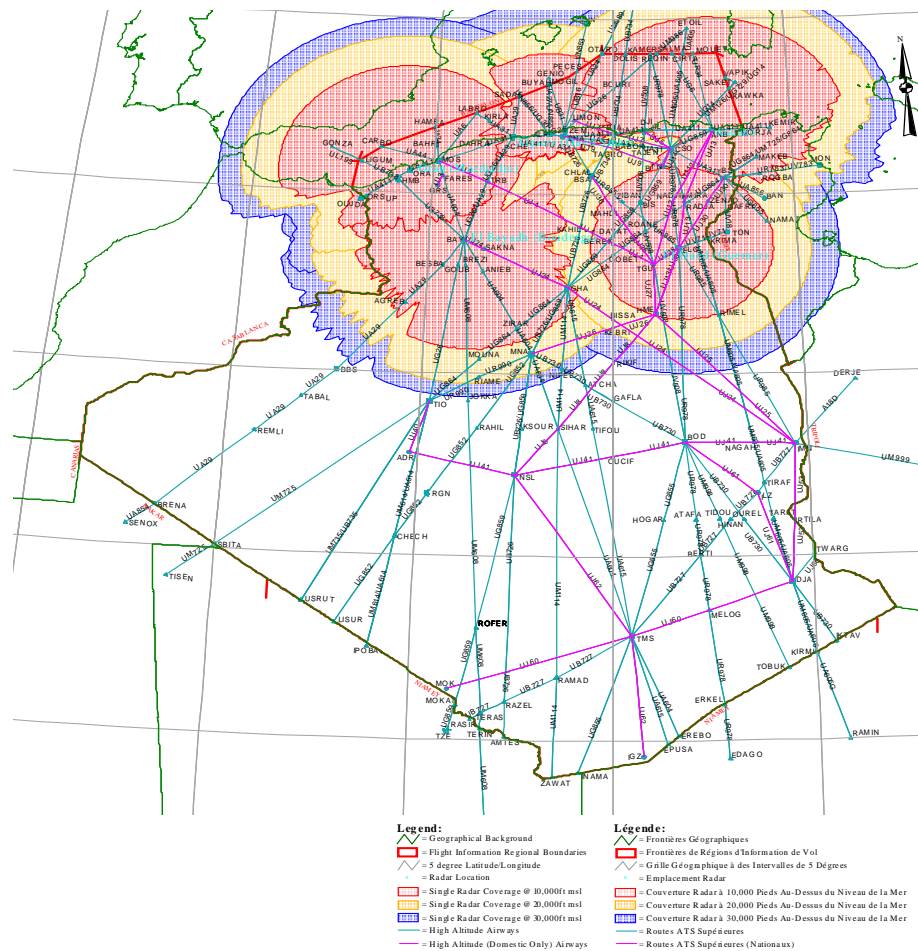


Figure.IV.9. Carte de couverture Radar en Algérie [25]

IV.6. EVOLUTION DU TRAFIC AERIEN ALGERIEN

Les statistiques officielles de l'ENNA classent les vols en trois catégories : Survol sans atterrissage en Algérie, qui sont indiqués dans les diagrammes ci-après comme étant les "Survol" ; les Survol Internationaux avec atterrissage en Algérie, qui sont indiqués dans les diagrammes ci-après comme étant les "Internationaux (avec Atterrissage);" et les Survol Nationaux avec Atterrissage qui sont indiqués comme étant les "Nationaux" (voir le tableau de trafic aérien en Algérie).

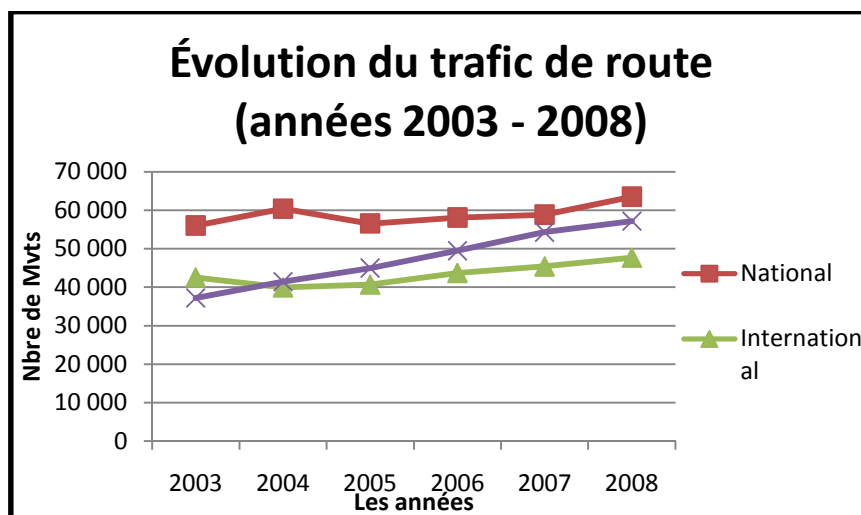
IV.6.1. Trafic en route

- **Analyse de l'évolution du trafic en route :**

Le tableau suivant comporte l'évolution du trafic en route de l'année 2003 à 2008 pour différentes classes de vols [25].

	Trafic						Var en %				
	2003	2004	2005	2006	2007	2008	04/03	05/04	06/05	07/06	08/07
Survol avec escale	98 536	100 340	97 216	101 814	104 240	111 193	1,8	-3,1	4,7	2,4	6,7
<i>National</i>	56 010	60 388	56 550	58 096	58 836	63 513	7,8	-6,4	2,7	1,3	7,9
<i>International</i>	42 526	39 952	40 666	43 718	45 404	47 680	-6,1	1,8	7,5	3,9	5,0
Sans escale	37 232	41 425	44 964	49 469	54 268	57 121	11,3	8,5	10	9,7	5,3
Totaux	135 768	141 765	142 180	151 283	158 508	168 314	4,4	0,3	6,4	4,8	6,2

Tableau .IV.7. Le trafic Aérien EN-Route en Algérie [25]



Graphique .IV.1. Evolution de trafic aérien En-Route 2003-2008

Avec 168 314 mouvements enregistrés en 2008, le trafic route a connu une progression assez importante durant ces dernières années, soit une croissance de 24 % par rapport à 2003.

- **Prévision du trafic aérien en route :**

Le modèle statistique choisi est : le modèle linéaire suivant $Y = aX + b$ tel que :

$$a = 6509,2$$

$$b = 116240,4$$

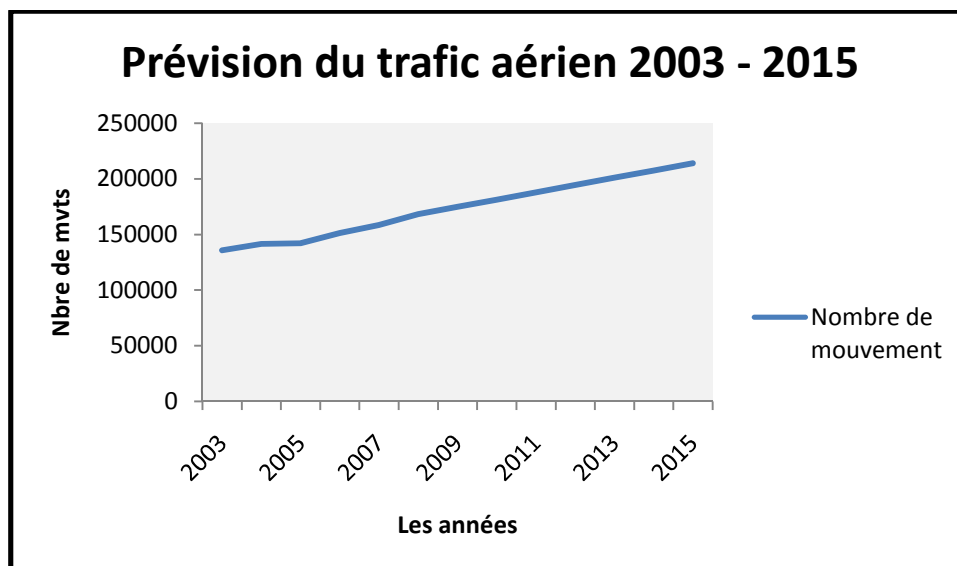
X : représente les années; par exemple:

2001 est présenté par $x = 1$.

2009 est présenté par $x = 9$.

Année	Nombre de mouvements
2003	135768
2004	141765
2005	142180
2006	151 283
2007	158 508
2008	168 314
2009	174823
2010	181332
2011	187842
2012	194351
2013	200860
2014	207369
2015	213878

Tableau .IV.8. Prévision de trafic en route (2003-2015)



Graphe .IV.2. Les prévisions de trafic En-route 2003-2015

D'après les prévisions du trafic aérien en-route de 2003- jusqu'au 2015 on constate que le trafic aérien passera de 135768 mouvements en 2003 à 213878 mouvements en 2015 avec un taux de croissance de 57% [25].

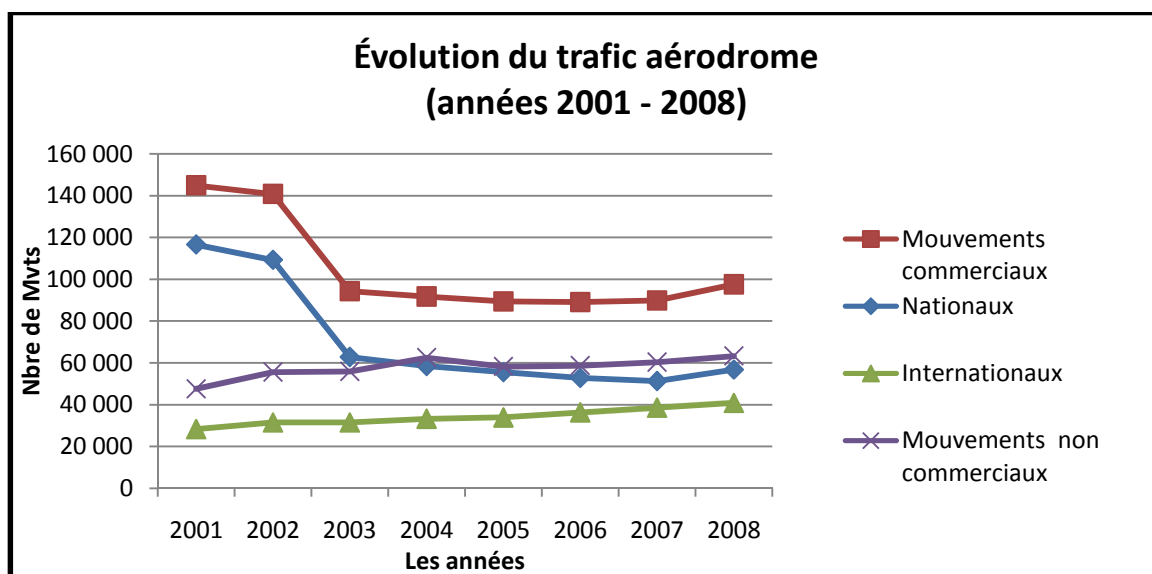
IV.6.2. Trafic aéroport

- **Analyse de l'évolution du trafic aéroport :**

Le trafic aéroport se répartit en deux (02) types de trafic : trafic commercial et non commercial et voici les résultats qui ont été enregistrés depuis l'année 2001 jusqu'à 2008 :

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	VAR EN% 02/01	VAR EN% 03/02	VAR EN% 04/03	VAR EN% 05/04	VAR EN% 06/05	VAR EN% 07/06	VAR EN% 08/07
Mouvements commerciaux	144 960	140 833	94 344	91 852	89 473	89 196	89 920	97 679	-2,8	-33	-2,6	-2,6	-0,3	0,8	8,6
<i>Nationaux</i>	116 609	109 315	62 837	58 531	55 526	52 816	51 293	56 772	-6,3	-42,5	-6,9	-5,1	-4,9	-2,9	10,7
<i>Internationaux</i>	28 351	31 518	31 507	33 321	33 947	36 380	38 627	40 907	11,2	0	5,8	1,9	7,2	6,2	5,9
Mouvements non commerciaux	47 635	55 624	55 894	62 546	58 264	58 720	60 365	63 297	16,8	0,5	11,9	-6,8	0,8	2,8	4,9
Total	192 595	196 457	150 238	154 398	147 737	147 916	150 285	160 976	2,0	-23,5	2,8	-4,3	0,1	1,6	7,1

Tableau. IV.9. Evolution du trafic aéroport de 2001 à 2008



Graphe .IV.3. Evolution de trafic aéroport 2001-2008

- **Prévisions de trafic aéroport 2001-2015 :**

Le modèle statistique choisi est le modèle non linéaire linéarisé

$$Y = e^{(aX+b)}$$

tel que :

$$a = 0.0256$$

$$b = 11.784$$

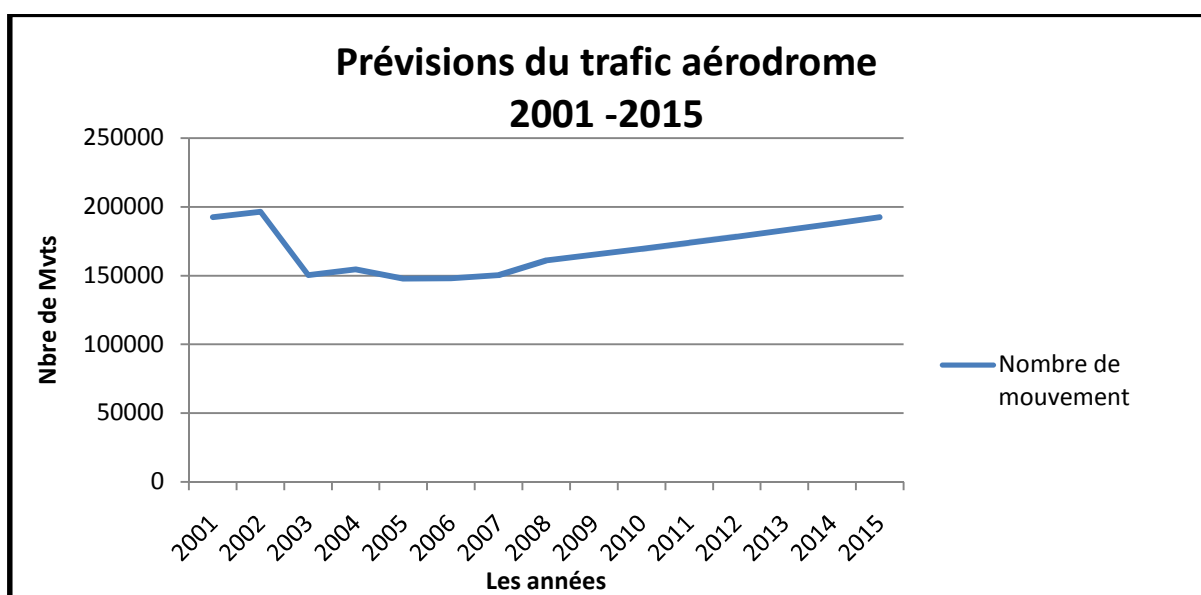
X: représente les années; par exemple:

2001 est présenté par $x = 1$.

2009 est présenté par $x = 9$.

Année	Nombre de mouvements
2001	192595
2002	196457
2003	150238
2004	154398
2005	147737
2006	147916
2007	150285
2008	160976
2009	165115
2010	169397
2011	173789
2012	178296
2013	182919
2014	187662
2015	192529

Tableau. IV.10. *Prévision de trafic aéroport (2001-2015)*



Graphe IV.4. *Prévisions de trafic aéroport 2001-2015*

De ce tableau on constate que le trafic aéroport passe de 150 238 mouvements en 2003 à 192 529 mouvements en 2015 soit un taux de croissance de 28,1 %.

IV.7. L'ALGERIE FACE A L'ÉVOLUTION DU TRAFIC AERIEN

L'étude faite auparavant concernant les statistiques et les prévisions du trafic aérien en Algérie, prouve que le trafic est en augmentation permanente et atteindra des taux significatifs dans les années à venir. Pour cela, l'Algérie doit prendre des mesures pour une meilleure gestion de ce trafic, à savoir des systèmes de nouvelle génération de Communication, Navigation, Surveillance.

Actuellement l'Algérie commence à entamer ce domaine de développement en adoptant de nouveaux systèmes.

Dans la communication, le projet du CPDLC a été lancé le 23 Août 2004 et a commencé à être opérationnel le 14 mai 2008 [25] ; mais pour des raisons de sécurité des communications, les messages de liaisons de données CPDLC échangés durant les phases d'expérimentation opérationnelle ne sont pas valides. Tandis que la communication par voix reste le seul moyen d'échange entre le pilote et le contrôleur opérationnellement valide.

Dans le domaine de la surveillance, une phase d'expérimentation de l'ADS-C a commencé le 23 Août 2004 dans l'espace aérien Algérien et la mise en œuvre de l'ADS-C s'est achevée le 06 Février 2008 [25]; On constate que les comptes rendus de ce système de surveillance donnent des informations qui peuvent être utiles pour une meilleure gestion du trafic aérien ; cependant, il est limité comparé à l'ADS-B. Ce dernier apporte diverses avantages, en particulier la séparation air-air dans les régions océaniques, ou là où la couverture Radar n'est pas disponible ; ce qui est le cas du Sud de l'Algérie, et c'est pour cela que l'ENNA projette d'utiliser l'ADS-B dans la FIR Alger à long terme.

L'Algérie fait des efforts considérables comme on vient de le citer pour l'évolution du contrôle aérien afin d'assurer une meilleure gestion et fluidité du trafic aérien.

Par contre, on mesure un retard important par rapport aux pays voisins dans l'utilisation du système global de navigation par satellites dans la navigation aérienne ayant des avantages qui mènent à une meilleure gestion du trafic aérien. L'Algérie doit donc faire de plus en plus d'efforts afin d'adopter et intégrer ce système dans la navigation aérienne.

IV.8. L'APPORT DE L'UTILISATION DU SYSTEME GNSS EN ALGERIE

Le GNSS aura des apports importants pour l'ATC Algérien dans les différents domaines tout comme en Europe ou en Afrique.

IV.8.1. Apports opérationnels

Quatre avantages quantifiables ont été identifiés comme réalisables en utilisant le GNSS en Algérie :

- Minimums inférieur

L'atterrissage serait possible avec les niveaux de visibilité inférieurs aux aéroports non équipés avec ILS, donc des délais réduisant et des diversions aux aéroports alternatifs et des vols annulés. Les évaluations de ces avantages doivent prendre en compte tous les coûts supplémentaires qui deviendraient nécessaires, ainsi qu'installer ou améliorer l'éclairage des pistes d'envol.

- Approches de la précision courbée/segmentée

GNSS pourrait permettre des procédures de l'approche de précision plus flexibles qui résulteraient en économies de temps/carburant et avantages d'impact du bruit réduit. Cependant, il peut y avoir des contraintes environnementales et des problèmes de travail du contrôleur augmenté qui peuvent empêcher ces avantages de se réaliser.

- Augmenter la capacité des pistes, il est considéré que le temps d'occupation de la piste d'envol et le temps entre l'approche consécutive d'avion et l'atterrissage alternatif et le départ pourraient être réduits.
- Les opérations dans les régions avec l'infrastructure d'aide de la navigation conventionnelle insuffisante (sud Algérien).

Le GNSS fournit une capacité de la navigation pour les régions où l'installation d'aides de la navigation conventionnelle ne peut pas être possible ou économiquement viable. Il pourra présenter un appui très important dans le programme ambitieux de l'Algérie pour l'implantation de RNAV qui nécessite une précision considérable surtout dans la phase PRNAV en route et en TMA. Il permettra aussi à l'Algérie d'exécuter son engagement envers l'OACI dans le projet d'implantation de GNSS en Afrique.

IV.8.2. Apports économiques

La majorité des pistes ne sont pas équipés de système d'aide à l'atterrissage et dont l'installation d'un tel système est non rentable économiquement GNSS permettra à l'Algérie de gagner en matière d'investissements due à l'implantation des instruments d'aide à l'atterrissage (ILS) dont le prix est relativement élevé avec les coûts de maintenance correspondant importants sachant que :

- Un ILS doit être remplacé après 15 ans de service.
- Tous pays avec un stock d'ILS d'une moyenne d'âge supérieur à 15 ans doit remplacer ces équipements en moyen d'un par an.
- Le coût de rafraîchissement d'un ILS est équivalent à 25% de son prix.

Le GNSS permettra d'apporter des bénéfices économiques tout en améliorant la sécurité et en assurant le service nécessaire à la navigation.

IV.9. LE MANQUE POUR L'UTILISATION DU GNSS DANS LA NAVIGATION AERIENNE EN ALGERIE

- Absence, au niveau du gouvernement, des organismes de réglementation, de structures uniformes qui permettent de prendre des décisions cohérentes concernant les GNSS ;
- Absence de structures régionales efficaces ;
- Activités d'assistance technique faisant double emploi ;
- Les compétences techniques dans le domaine des GNSS ne sont pas exploitées au niveau régional, voire bilatéral ;
- Absence de modèle uniforme pour le recouvrement des coûts de l'ensemble des services aéronautiques ;
- Absence d'infrastructure d'enseignement centralisée et institutionnalisée qui permettrait de se familiariser avec la politique, la réglementation, les opérations et les technologies dans le domaine de l'aéronautique ;
- Absence d'enquêtes sur le système géodésique mondial (WGS-84).

IV.10. APERÇU DE L'IMPLANTATION DU GNSS AU NIVEAU REGIONAL

Suite au développement de la technologie dans le monde entier, les Etats ont démontré l'apport de l'utilisation des systèmes satellitaires dans la navigation aérienne et l'OACI voit une nécessité d'une globalisation de cette utilisation et encourage les pays à l'introduction du GNSS. La région AFI fait des efforts à cette fin, et cela se remarque à travers quelque pays.

Tôt ou tard l'Algérie n'aurait d'autre choix que d'opter pour l'introduction du GNSS afin d'être à jour et suivre le développement qui se passe au niveau régional et mondial, et ainsi travailler à rattraper le retard dû à la décennie noire qu'elle a vécu.

Pour cela l'Algérie doit développer sa propre stratégie d'implantation de GNSS dans son territoire tout en profitant de l'expérience des différents organismes internationaux ou régionaux.

Durant la 11^{ème} conférence de navigation aérienne de l'OACI à Montréal, la région AFI a reconnu l'importance stratégique de la navigation par satellite, ses applications potentielles

et les déficiences actuelles du GNSS, et a décidé de développer sa propre stratégie de mise en œuvre du GNSS par une approche en trois phases, au travers d'un complément étendu (SBAS) basé sur EGNOS pour couvrir les besoins à court et moyen termes et sur un ensemble constitué de constellations existantes améliorées (GPS ou GLONASS) et de nouvelle constellation civile (GALILEO), à long terme [10].

Les trois phases adoptées par la stratégie GNSS AFI sont :

➤ **Phase I (court terme), jusqu'en 2005 :**

- Cette phase a permis l'utilisation du GNSS de base pour la navigation de la phase en route, jusqu'aux approches classiques (NPA),
- L'infrastructure au sol reste inchangée.
- Un banc d'essai AFI du GNSS ayant été mis en œuvre pour valider les objectifs et les algorithmes de correction différentielle du système EGNOS opérationnel qui sera mis en œuvre durant la Phase I.

➤ **Phase II (moyen terme) 2006-2011 :**

- Une capacité LPV (APV-1) : performance localiseur et une précision verticale de 20 m seront disponibles à tout point de la Région AFI.
- Les VOR, et NDB de régions terminales, ainsi que les radiobalises LF/MF qui ne sont pas associées avec l'ILS, seront progressivement retirés, en consultation avec les usagers durant la Phase II.
- Pendant la Phase II, Le GNSS à long terme sera en cours de développement.

➤ **Phase III (long terme), 2012 et au-delà :**

- Il est présumé qu'au moins deux constellations de satellites de navigation seront disponibles. Le GNSS est approuvé pour la navigation de la phase en route jusqu'à l'atterrissage en CAT I. Le système de renforcement satellitaire (SBAS), ou au sol (GBAS) de CAT I sera disponible aux emplacements où l'analyse des données MET historiques ou bien quand les caractéristiques de trafic en justifieraient le besoin. Le système de renforcement à base de stations sol (GBAS) répondra aux autres besoins.
- Pendant la Phase III, l'ILS CAT I sera retiré en consultation avec les usagers.
- Lorsque des besoins en ILS CAT II/III auront été confirmés, ces installations seront maintenues à moins que le progrès technique apporte la démonstration que le SBAS ou GBAS peuvent répondre à ces besoins.

La Phase I de la stratégie GNSS AFI comprend la mise en œuvre du GNSS de base et des bancs d'essais [10].

Le GNSS de base :

Dans l'une des conclusions de la 14^{ème} réunion de l'APIRG, il a été demandé aux Etats de publier leur approbation quand à l'utilisation opérationnelle du GPS pour la navigation en route jusqu'à l'approche de non-précision (NPA), et d'élaborer, mettre à l'essai et publier des procédures d'approche et d'atterrissage de non précision [10]. L'état de mise en œuvre est le suivant :

a) Approbation de l'utilisation opérationnelle du GPS :

Afrique du Sud, Cap-Vert, Egypte, Ethiopie, Kenya, Malawi, Tunisie, et Soudan;

b) Approbation attendue :

- Angola, Botswana, Lesotho, Maurice, Mozambique, Namibie, République démocratique du Congo, Seychelles, Swaziland, Tanzanie, Zambie et Zimbabwe (les procédures ont été mises à l'essai mais n'ont pas encore été publiées) ;

- Bénin, Burkina Faso, Cameroun, Congo, Côte d'Ivoire, Gabon, Gambie, Guinée équatoriale, Madagascar, Mali, Mauritanie, Niger, République centrafricaine, Sénégal, Tchad et Togo (les procédures ont été publiées mais les textes réglementaires ne l'ont pas encore été).

Bancs d'essais :

Trois bancs d'essais du système EGNOS ont eu lieu dans la Région AFI. Dix (10) stations de référence et de surveillance de l'intégrité (RIMS) ont été déployées en Afrique centrale, en Afrique australe et en Afrique orientale, respectivement dénommées Zone A, Zone B et Zone C. L'état de mise en œuvre des bancs d'essais est le suivant :

a) AFI Zone A:

- Le système est géré par l'ASECNA ;
- Les RIMS sont opérationnelles depuis mai 2003 à Douala, Brazzaville, N'djamena et Lomé (une station RIMS a été réinstallée à Bangui).

b) AFI Zone B

- Le système est géré par l'Afrique du Sud, la Namibie et la Zambie

- Les RIMS sont opérationnelles depuis octobre 2004 à East London, Johannesburg, Lusaka et Windhoek.

c) AFI Zone C

- Le système est exploité en partenariat avec la République centrafricaine (ASECNA), le Kenya et l'Éthiopie;
- La coordination est assurée par le Bureau Afrique orientale et australe de l'OACI ;
- Les RIMS sont opérationnelles à Addis Abéba et Bangui depuis mai 2005 ;
- Une RIMS à Nairobi, qui est connectée, mais qui est sujette à des interférences radioélectriques sur la fréquence L1 (GPS), n'est pas utilisée pour le calcul des émissions de corrections au-dessus de la Région AFI. Cette station sera réinstallée sur un autre site.

Le niveau de performance dans les Zones A, B, C correspond à l'APV-I. La disponibilité est d'environ 98,5% (entre 97% et 100%). La précision de la position est de 1 m dans le plan horizontal (95%) et de 2 m dans le plan vertical (95%). Quant à l'intégrité, aucune information erronée n'a été détectée.

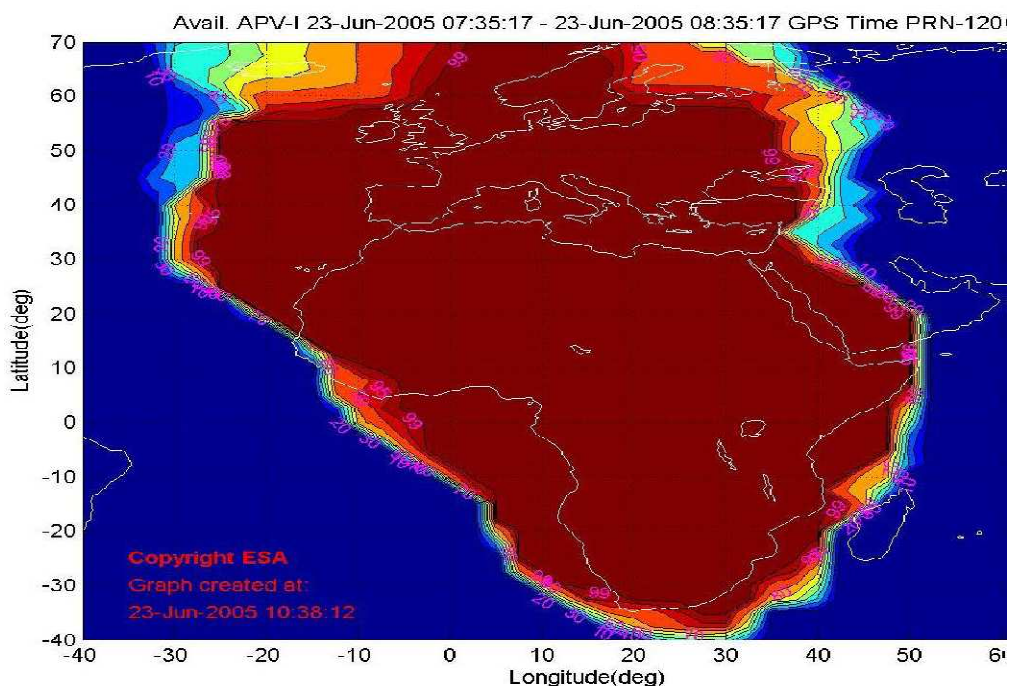


Figure.IV.10. Disponibilité APV-I au-dessus de la Région AFI 23 juin 2005

- **Essais de DAKAR :**

L'installation à l'aéroport de Dakar d'une station de référence mobile (RIMS) en juillet 2002 a permis d'obtenir une disponibilité à 95% du signal EGNOS généré par le banc

d'essai européen dans la région de Dakar. C'est une étape préparatoire à la mise en œuvre du banc d'essais EGNOS dans les zones A, B et C [11].

Ces essais, rendus possibles grâce à un partenariat entre l'ASECNA, l'ESA, la Commission Européenne, EUROCONTROL, les Aviations Civiles Française (DGAC) et Espagnole (AENA) ont permis de faire une évaluation préliminaire des performances GNSS[30].

Les résultats des essais effectués au Dakar sont les suivants :

- a) 12 séries de vols en trois jours avec plus de 30 approches APV1 comparées à l'ILS;
- b) plus de 70 participants incluant des pilotes, des représentants de l'OACI, de diverses Aviations Civiles Africaines et Françaises, de l'Agence Spatiale Européenne et d'Eurocontrol ;
- c) 20 personnes de l'ASECNA formées sur la technologie GNSS et le traitement GPS ;
- d) les vols ont montré une qualité de guidage proche de celle de l'ILS. Des démonstrations ont eu lieu sur une extrémité de piste non équipée d'un ILS ;
- e) une précision de type APV 2 a été atteinte durant la plupart des approches, malgré une configuration de stations réduites ;
- f) l'importance des effets ionosphériques a été constatée et des analyses détaillées.

- **Le projet METIS :**

L'un des projets qui peuvent aider à l'introduction du GNSS en Algérie est le projet METIS qui est financé par la Commission Européenne au travers du programme Euro-Med GNSS. METIS est géré contractuellement par l'Autorité Européenne de Supervision GNSS et réalisé par un consortium composé d'organisations Publiques et Privées d'origines Européennes et Méditerranéennes [30].

METIS réalise des activités ayant pour but de soutenir l'introduction des services GNSS dans les pays MEDA: **Algérie, Egypte, Israël, Jordanie, Liban, Maroc, Autorité Palestinienne, Syrie, Tunisie et Turquie.**

Le projet définit un Plan Régional GNSS proposant une politique Euro-méditerranéenne visant à préparer l'introduction des services EGNOS et Galileo, dans la zone MEDA pour les 5 à 10 prochaines années.

METIS réalise trois principales activités :

- Activité A, élaboration d'un **Plan Régional GNSS**

- Activité B, mise en place d'un **programme de Formation et de Promotion**
- Activité C, réalisation d'un ensemble de **Démonstrations des services GNSS**

A. Plan Régional GNSS

Le Plan Régional GNSS propose une politique Euro-Méditerranéenne visant à soutenir l'introduction du GNSS dans la zone MEDA. Ce plan définit une stratégie de développement commune en vue de l'introduction des services GNSS sur la période 2009 - 2019, et est principalement destiné à EGNOS.

Il inclut les besoins en terme d'infrastructure et de services, il identifie les opportunités et priorités pour EGNOS, analyse les points essentiels permettant l'introduction des services, il évalue les coûts et bénéfices et propose des actions concrètes pour les institutions des pays Européens et MEDA.

Depuis son lancement, le projet METIS a évalué les besoins des pays MEDA en terme d'infrastructure de Navigation et la possibilité d'introduire cette technologie innovante avec la coopération des acteurs locaux.

Au sein de cette zone Méditerranéenne, le secteur des Transports a été identifié comme le secteur le plus prometteur concernant l'utilisation d'EGNOS aujourd'hui, en vue de la préparation du marché pour Galileo dans le futur.

B. Programme de Formation et de Promotion

METIS met en place un programme comprenant l'organisation d'évènements de formations et de promotions, adaptés aux besoins de la zone MEDA. Cette activité est réalisée en proche collaboration avec le Bureau de Coopération Galileo Euro-Med.

Cette activité inclut Formations et Séminaires, évènements de promotion et ateliers de travail dans les différents pays MEDA et rassemblent les intérêts des acteurs de toute la zone méditerranéenne [30].

C. Démonstrations des Services GNSS

METIS réalise 9 démonstrations de services rendus par le GNSS, démontrant concrètement l'intérêt d'applications utilisant les services EGNOS dans des domaines variés et sur toute la zone MEDA.

Les domaines d'application ont été sélectionnés en identifiant les priorités au sein de la zone et des pays où sont conduites les démonstrations. Ces démonstrations visent les applications "sous-régionales", impliquant 3 pays ou plus, et les applications locales, impliquant un seul pays.

Les démonstrations METIS impliquent des acteurs locaux, leur donnant ainsi l'opportunité de valider des opportunités commerciales liées à l'utilisation d'EGNOS.

IV.11. QUE DOIT FAIRE L'ALGERIE POUR L'INTRODUCTION DU GNSS

- Sensibiliser les autorités aéronautiques, les fournisseurs des services de navigation aérienne et les usagers sur leurs rôles respectifs dans la mise en œuvre du GNSS,
- Mettre à niveau l'information des personnels aéronautiques sur l'état de développement du système mondial de navigation par satellite (GNSS), et les avantages techniques, opérationnels et économiques qu'il est possible d'en tirer à court et moyen termes,
- Élaborer des projets de textes réglementaires et de circulaires d'informations aéronautiques pour circonscrire les opérations GNSS,
- Convenir d'un plan d'action pour l'introduction des opérations aériennes fondées sur le GNSS,
- Modification de la structure d'espace aérien pour répondre aux besoins du GNSS. C'est-à-dire redéfinir cet espace en fonction des coordonnées du WGS-84. Et cette structure optimale de l'espace sera mise au point en coordination avec les spécialistes locaux du trafic aérien afin de garantir la sécurité et l'écoulement optimal du trafic.
- Elaboration de SID et STAR en rapport avec les procédures d'approche GNSS
- L'élaboration de procédures GNSS d'approche de non précision pour des pistes convenues
- Élaboration et dispositions en vue de la publication de toutes les cartes pertinentes. L'établissement de ces cartes se fera selon les dispositions du Manuel OACI des cartes aéronautiques.
- Une formation devrait être assurée pour répondre aux besoins de divers spécialistes aéronautiques. A cette fin, la formation, s'adressera aux participants suivants:
 - les pilotes et le personnel des DACM ayant besoin de connaissances générales en GNSS ;
 - Le personnel ATC, les inspecteurs en vol des DACM et autres personnels ayant besoin de se familiariser avec les procédures GNSS et le personnel chargé de la navigabilité, pour les besoins de certification en vol.

- Le personnel des DACM chargé d'homologuer les procédures GNSS

Pour ce faire, divers organes concernés (DACM, ENNA, Compagnies Aériennes, ...) doivent travailler en étroite collaboration avec l'Institut d'Aéronautique de Blida pour programmer des modules de cours afin que soit dispensé à chaque participant la formation qui correspond le mieux à ses besoins. Deux cours sont indispensables :

- Cours de conception de procédures d'approche aux instruments GNSS qui s'adresse aux spécialistes aéronautiques qui ont besoin de mieux assimiler les principes d'élaboration de procédures aéronautique de manière à pouvoir examiner, évoluer, autoriser, inspecter et homologuer les procédures GNSS en se fondant sur les critères des PANS-OPS.
- Cours de navigabilité par satellite qui est destiné aux spécialistes aéronautiques ayant besoin d'un niveau général de familiarisation avec l'utilisation du GNSS. Il vise également à former les pilotes à l'usage du GNSS pour les procédures d'approche et la navigation de routes.

IV.12. CONCLUSION

Les efforts de l'Algérie à être à jour se manifestent par la mise en œuvre du système ADS et du CPDLC, ces deux systèmes seront bénéfiques grâce aux avantages qu'ils possèdent, nous pouvons alors dire que c'est un grand pas ; le CPDLC n'est toujours pas utilisé dans plusieurs grands pays; mais nous ne pouvons nier le fait que l'Algérie accuse un retard dans le domaine de la navigation aérienne. Et l'aperçu exposé sur les pays voisins souligne le retard de l'Algérie sur le plan de la technologie GNSS.

La technologie « next generation » est alors un mystère pour l'Algérie, nous ne pouvons actuellement envisager l'adhésion aux programmes modernes de la gestion du trafic aérien tels que NextGen et SESAR, tant que l'Algérie n'aura pas adopté de nouvelles politiques et de nouvelles visions pour anticipé s'intégrer dans ce futur domaine.

L'applicabilité de cette technologie sera un bel et fort espoir, qui ne sera sans doute pas impossible, l'Algérie devrait exploiter l'expérience et s'inspirer des activités des pays voisins tout en adoptant ses propres stratégies en fonctions de ses propriétés et ses capacités.

**CONCLUSION GENERALE
ET PERSPECTIVES**

CONCLUSION GENERALE

Cette étude a nécessité une importante recherche de documentation et un effort de synthèse sur un thème qui n'est pas encore très bien maîtrisé de par le monde et particulièrement en Algérie.

La mise en œuvre opérationnelle des systèmes ADS-C et CPDLC prévue à partir de 2009, permettrait à l'Algérie d'améliorer le concept CNS pour être à jour avec les recommandations OACI et apporter des solutions réelles à la gestion du trafic.

Le retard dans le domaine de la navigation aérienne est assez important par rapport aux pays voisins, ce qui nécessite un intérêt immédiat pour l'introduction du GNSS et l'adoption de nouvelles politiques et de nouvelles visions pour s'intégrer dans ce futur domaine.

Afin de mettre en place ces nouvelles stratégies il faut investir dans différents plans (formations, installations, droit de navigation par satellite, nouvelles procédures GNSS pour nos aéroports). Tôt au tard l'Algérie devra franchir cette phase pour répondre aux besoins et aux défis du futur, en optimisant l'exploitation de l'espace aérien Algérien, rentabilisant le service de navigation dans les aéroports isolés et en exécutant son engagement envers l'OACI dans le projet d'implantation de GNSS en Afrique

Notre travail sera une base pour de futurs développements à travers des travaux de recherches approfondies qui aideront certainement à la prise de décision au sujet des programmes futurs de développement et les investissements correspondants en Algérie au Maghreb et en Afrique.

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Bernard cabanes. [1998], Instruments de Navigation aérienne,SEES.
- [2] Elliott D.Kaplan, UNDERSTANDING GPS,Artech Mouse.London.
- [3] Aerospace America/March2009, American institute of Aeronautics and Astronautics.
- [4] Journal OACI.2008-vol63, N°2.
- [5] Journal OACI.2008-vol63, N°3.
- [6] Journal OACI.2008-vol63, N°4.
- [7] Air traffic Management, March 2009,J.R.Wilson.
- [8] The EUROCONTROL-Magazine,2008, SKYWAY , Vol 12,N°49 .
- [9] Onzième conférence de la navigation aérienne Montréal, 22 septembre-3 octobre2003.
- [10]Quinzième réunion du groupe Régional AFI de planification et de mise en œuvre, 26-30 septembre 2005, Kenya.
- [11] Réunion Régionale spéciale de Navigation Aérienne24-29 novembre2008,Afrique-océan indien(AFI).
- [12] Adrian Waegli, pierre-yves Gillieron,le concept d'intégrité d'egnos,2003,aéronautique suisse.
- [13] NAV Canada, Plan du système de Navigation Aérienne.
- [14] Guide pour la réalisation d'approche de non précision au moyens d'équipement RNAV /GNSS, 2005, Mérignac.
- [16] Bouamrani Farid, Autopsie de système EGNOS et son éventuel intérêt pour le système ATC future de l'Algérie, 2007.
- [17] Allone Asma, Proposition de mise en œuvre du CNS/ATM en Algérie, juillet 2007.
- [18] Ahmed Nurdin AUIA, juillet 2000, Approche de veille scientifique aux application et développement de l'ATN, DEA Information scientifique et technique.
- [19] SESAR - Naissance d'une nouvelle coopération européenne « Un nouvel horizon pour le contrôle aérien », Sncta aiguilleurs du ciel N° 4 juillet 2006

[20] Interoperability Test Analysis between EGNOS and MSAS SBAS Systems par :Jorge Nieto, Joaquín Cosmen, Ignacio García, GMV, S.A.Javier Ventura-Traveset, Isabel Neto, European Space Agency (ESA) Kazuaki Hoshinoo, ENRI Institute

[21] Fiche de projet EURO-MEDITERRANEEN de navigation par satellite (GNSS).

[22] Provision of emergency communication messages through SBAS: The ESA ALIVE concept par: A.R.Mathur, J.Ventura – Traveset, C.Montefusco, F.Toran, H.P.Plug, L.Ruiz, I.Stojkovic, And J.C.Levy.

[23] ANNEXE 10, OACI, Volume 1.

[24] Aviation civil/publications/tp14371 / 3-0.<http://www.tc.gc.ca.com>

[25] www.enna.dz.

[26] Dmorieux/radionavigation0001.<http://home.nordnet.fr>.

[27] Controlearien/dme.<http://pageperso-orange.fr>.

[28] radionavigation.<http://wapedia.mobi.fr>.

[29] www.asecna.org.

[30] <http://www.euromedtransport.org>.

[31] <http://www.eurocontrol.int>.

[32] <http://www.faa.gov>

[33][http:// www.icao.int](http://www.icao.int).

RESUME

Ce travail s'intéresse à la technologie Next Generation qui vise les nouveaux moyens de communication, navigation et surveillance. L'étude fait un parcours sur l'évolution des systèmes de navigation aérienne qui abouti à l'introduction du système GNSS afin d'assurer une navigation robuste et sûre pour toutes les phases de vols. L'intégration et la mise en œuvre de ce système est proposé pour l'Algérie.

Mots clés : .

ABSTRACT

ملخص

مفاتيح:

Résumé

Ce travail s'intéresse à la technologie Next Generation qui vise les nouveaux moyens de communication, navigation et surveillance. L'étude fait un parcours sur l'évolution des systèmes de navigation aérienne qui aboutit à l'introduction du système GNSS afin d'assurer une navigation robuste et sûre pour toutes les phases de vols. La possibilité de l'intégration et de la mise en œuvre de ce système sont étudiée pour l'Algérie.

Abstract

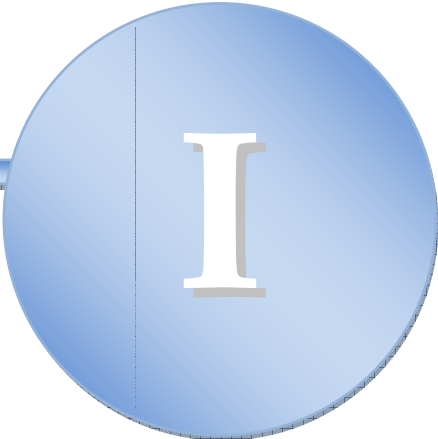
This work deals with next generation technology which concentrate on new means of communication, navigation and surveillance. The study focus on the evolution of air navigation systems and finishes with an introduction of GNSS system to provide a strong and sure navigation for all the Flight phases. In Algeria the integration and implementation, of this new system are proposed.

ملخص

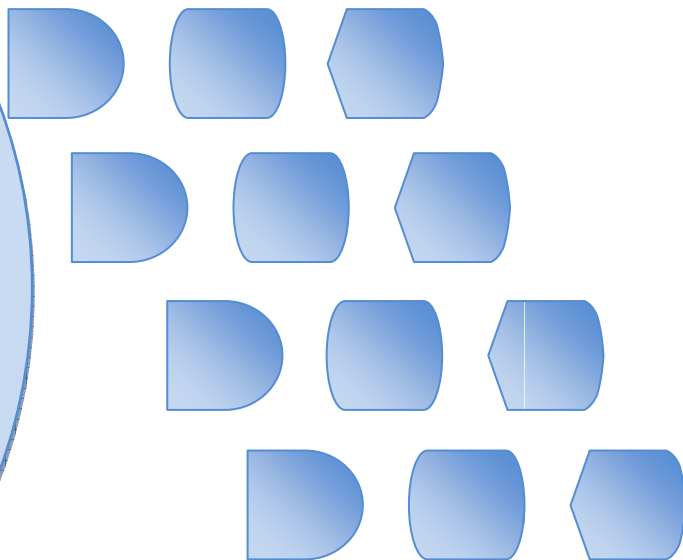
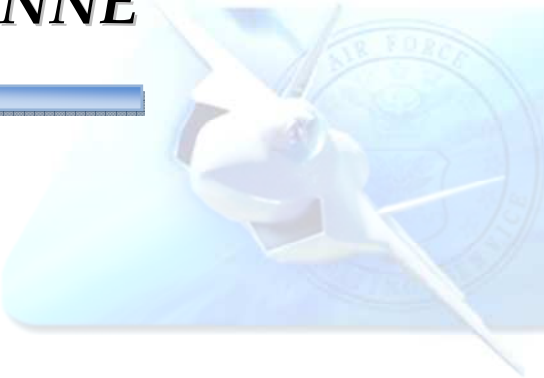
هذا العمل يهتم بتكنولوجيات "الجيل القادم" التي تستهدف الوسائل الحديثة للإتصالات, الملاحة و المراقبة. الدراسة تتطرق إلى تطور أجهزة الملاحة الجوية التي تتوصل إلى إدخال "GNSS" لضمان ملاحة دقيقة و آمنة في كل مراحل الطيران. استعمال و توظيف هذا النظام مقترح للجزائر.



CHAPITRE

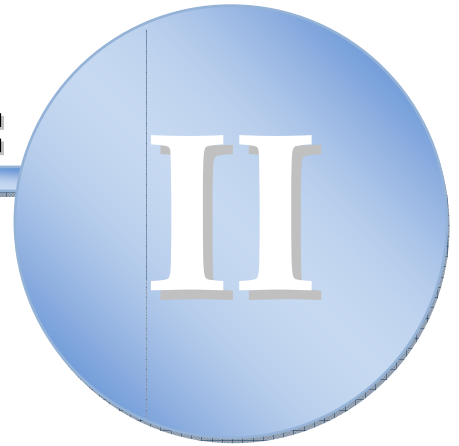


EVOLUTION DES SYSTEMES DE NAVIGATION AERIENNE

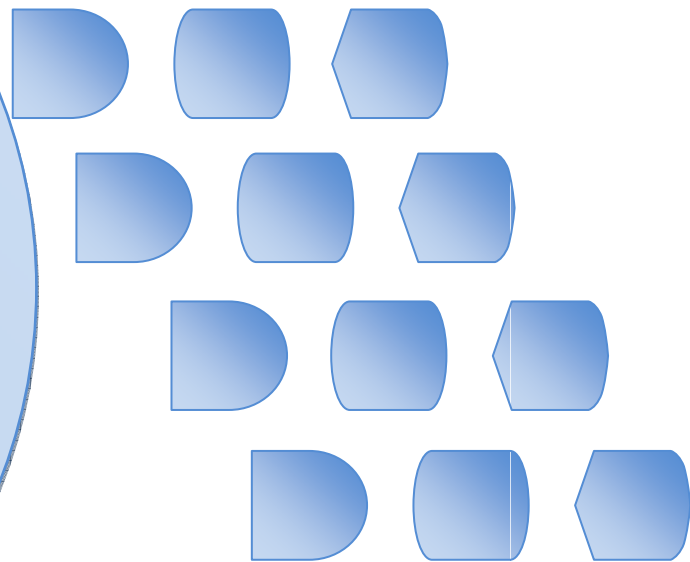




CHAPITRE

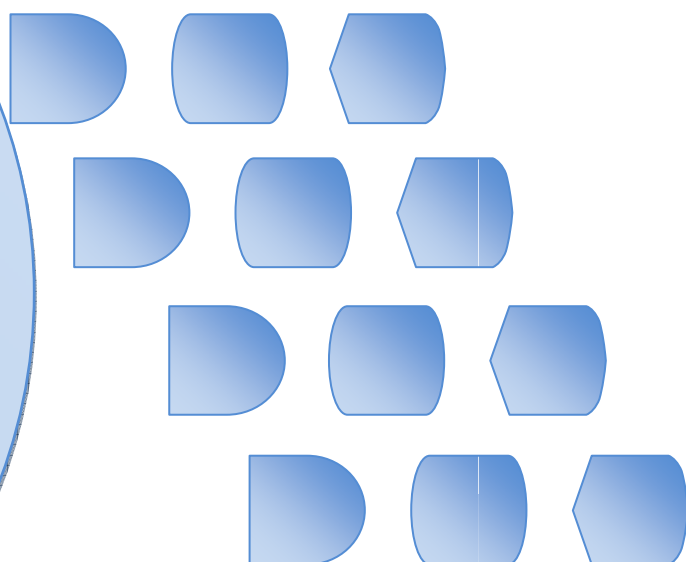


LES SYSTEMES SATELLITAIRES





***LA TECHNOLOGIE « NEXT
GENERATION » ET SON IMPLICATION
DANS LA GESTION DU TRAFIC AERIEN***

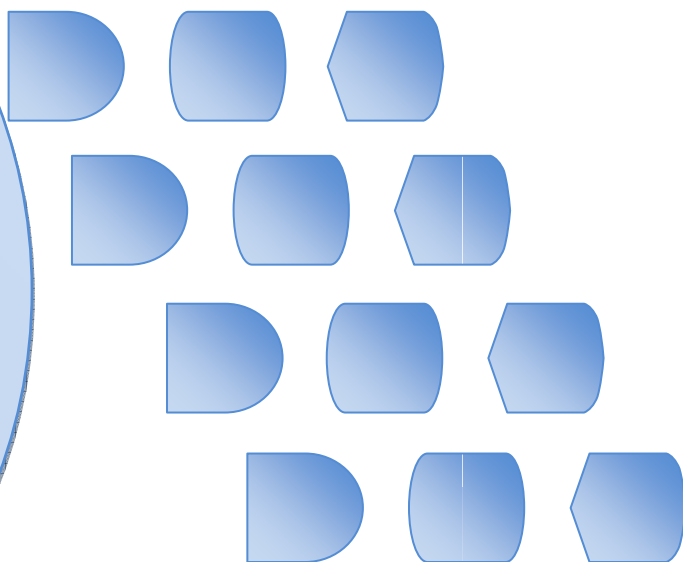




CHAPITRE

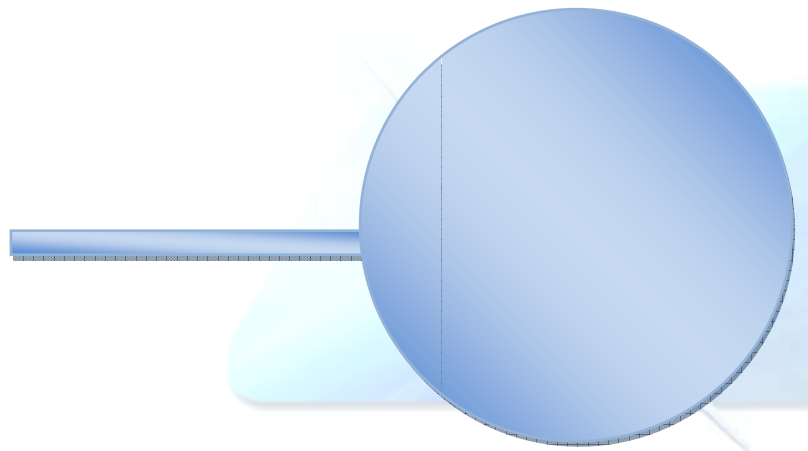
IV

L'ALGERIE ET LA TECHNOLOGIE « NEXT GENERATION »

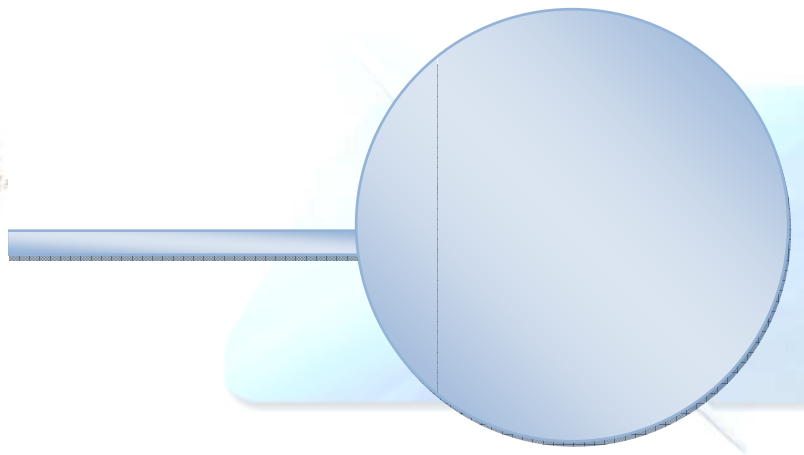




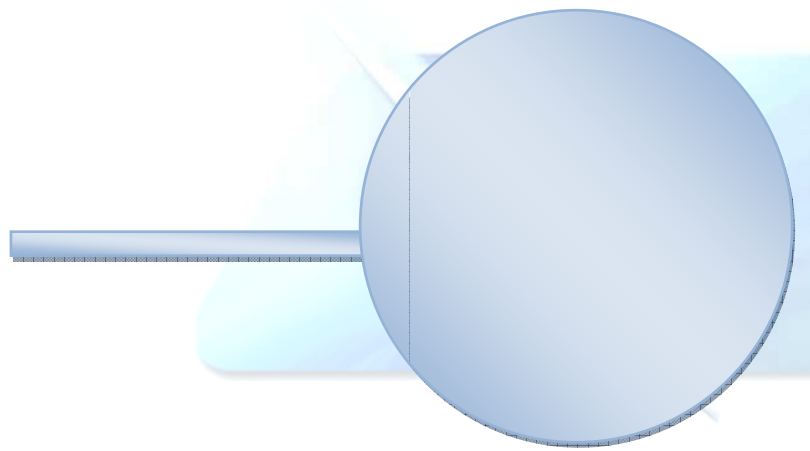
INTRODUCTION GENERALE



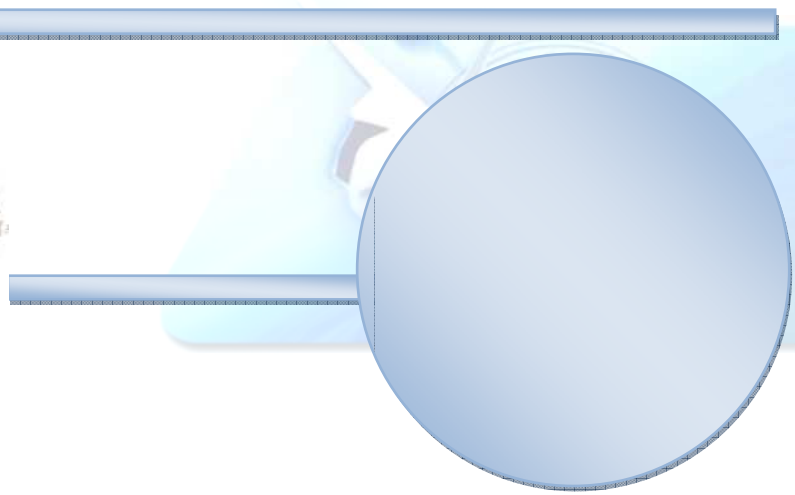
CONCLUSION GENERALE



ANNEXES



BIBLIOGRAPHIE



REMERCIEMENTS
