

016/2001

CA 1

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET
POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



Université de Blida
Institut d'Aéronautique

I . A . B

Département de la
Navigation Aérienne

Option :
Opération Aérienne



Juin 2001

Projet de fin d'étude
Ingénieur d'état

— . . . —

ETUDE DE CONCEPTION
ET DEVELOPPEMENT
D'UN OUTIL
INFORMATIQUE DE
TRACER DES ROUTES
AERIENNES

Présenter par :

Boubegra A/Bassir
Ghedada Amine
Hayag Djamel

Promoteur :

M^r R.Benaissa

INTRODUCTION.....	01
CHAPITRE I GENERALITES	
I- INTRODUCTION	03
II- CARTES ET PROJECTIONS.....	03
1- LA FORME DE LA TERRE.....	03
2- NOTION DE COORDONNEES.....	04
3- COORDONNEES GEOGRAPHIQUE GLOBALE.....	05
III- PROJECTIONS.....	06
1- QUELQUES PARAMETRES DE PROJECTIONS.....	06
2- DIFFERENTES PROJECTIONS UTILISEES EN AERONAUTIQUE.....	07
3- COMPARAISON ENTRE DEUX PROJECTIONS.....	09
IV- RAPPEL DE NAVIGATION.....	09
1- DIFINITION DES DIRECTIONS.....	09
2- LES DIRECTIONS ORIGINES.....	09
3- ELEMENTS DE BASE.....	11
4- DIFINITION SUR LES RELEVEMENTS RADIO-ELECTRIQUE.....	12
5- RLATIONS ENTRE LES DIFFERENTES DIRECTIONS.....	13
V- LES MOYENS RADIO-NAVIGATION.....	14
1- LE VOR.....	14
2- NDB.....	14
3- DME.....	15
4- VOR/DME.....	15
5- TACAN.....	15
6- VORTAC.....	15
VI- REDEVANCE.....	16
1- REDEVANCE DE SURVOL.....	16

CHAPITRE II ETUDE CONCEPTUELLE.

I - INTRODUCTION.....	17
II - DIFFERENT TYPE DE NAVIGATION.....	17
1- NAVIGATION ESTIMEE.....	17
2- NAVIGATION OBSERVEE.....	18
III - LES ROUTES A LA SURFACE DE LA TERRE.....	19
1- ETUDE DE L'OXODROMIE.....	19
2- ETUDE DE L'ORTHODROMIE.....	20
IV - QUSEQU'UNE ROUTE AERIENNE.....	21
V- INFLUENCE DE LA REGLEMENTATION.....	21
VI- TECHNIQUES DE TRACER D'UNE ROUTE SUR UNE CARTE.....	22
VII- ETAPES SUIVIE POUR LA CREATION DES MULTITUDES DE ROUTES.....	23
1- CREATION DE LA BASE DE DONNEE.....	23
2- L'IMITATION DE L'AIRE.....	25
3- SELECTION D'UNE ROUTE ENTRE DEUX STATIONS.....	25
4- LA STATION LA PLUS PROCHIE.....	26
5- LES ROUTES ENTRE DEUX AERODROMES.....	26
6- CALCULES DES REDEVANCES DE SURVOL.....	27

CHAPITRE III REALISATION ET PROGRAMMATION.

I- INTRODUCTION.....	29
II – CHOIX DU MATLAB.....	29
III- UTILITE DU MATLAB.....	29
IV- FONCTIONS PERSONNALISEES.....	31
1- CAPDIST.....	31
2- PORTEE.....	31
3- RAYON.....	31
4- GEOMETRIE DE BASE.....	31
5- FONTIONS SUR LES ARBRES ET LES FILS.....	32
6- DIFFERENT TECHNIQUES UTILISEES DANS LE LOGICIEL.....	36
7- FONCTION SUR LES ARBRES.....	37
V- PRESENTATION DU LOGICIEL.....	39
1- TABLES STRUCTUREES.....	39
2- STRUCTURE DE LA TABLE VOR.....	40
3- STRUCTURE DE LA TABLE NDB.....	42
4- STRUCTURE DE LA TABLE AEROPORT.....	43
5- STRUCTURE DE LA TABLE POINTS GEOGRAPHIQUE.....	44
6- STRUCTURE DE LA TABLE DES ZONES INTERDITES.....	45
7- STRUCTURE DE LA TABLE DES FLMIN.....	46
VI- ORGANIGRAMME.....	47
1- ORGANIGRAMME DU PROGRAMME DE L'AIRE DE SELECTION.....	47
2- ORGANIGRAMME DU PROGRAMME POUOIR.....	50
3- ORGANIGRAMME DE LA SELECTION DE LA STATION LA PLUS PROCHE.....	52

4- ORGANIGRAMME DE SELECTION DE MULTITUDES DE BALISES..	
.....	54
5- ORGANIGRAMME DE CONCEPTION DE MULTITUDES DE	
ROUTES.....	59
6- ORGANIGRAMME DES ROUTES ENTRE DEUX AERODROMES...61	
7- PROGRAMME DE CALCUL DE REDEVANCE DE SURVOL.....63	
VII- EXEMPLE.....	64
CONCLUSION	66
GUIDE DU LOGICIEL..	
ANNEXE.	
BIBLIOGRAPHIE.	

Remerciements

Nous remercions toutes personnes ayant participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail et en particulier notre directeur d'institut, notre promoteur, tous les professeurs qui ont participé à notre formation ainsi que certains navigateurs de la base aérienne de Boufarik et monsieur le responsable du service informatique du commandement des forces aérienne de Cheraga.

INTRODUCTION

Les premiers aviateurs du début de siècle, utilisaient les chemins de fer ou d'autre repères soit géographiques soit autres pour la navigation aérienne, mais l'évolution technologique et l'exploitation des avions dans différents domaines, ainsi que la naissance des compagnies aériennes avaient imposé un nouveau système de navigation aérienne, basé sur la navigation maritime mais beaucoup plus performant, et en espace d'un demi siècle on est passé de la navigation avec le compas magnétique jusqu'au GPS qui est un système de navigation par satellites.

De nos jours l'exploitation des moyens modernes de la navigation aérienne n'ont pas résolu le problème de choix d'une route aérienne, qui répond aux critères de sécurité, exigés par les différents organismes de l'aviation civil, sans oublier la rentabilité de cette route dans le domaine d'exploitation de la compagnie, à partir de ce principe certains grandes compagnies, comme la BRITISH AIRWAYS a crée, des bureaux de recherches pour l'optimisations, et la création des nouvelles routes, par contre d'autre compagnies utilisent les cartes JEPPESEN, qui sont des cartes opérationnelles pour le tracé des routes d'une façon manuelle qui est longue et encombrante, et nécessite beaucoup de carte pour les longs trajet, en plus de ça, les cartes JEPPESEN sont misent à jour chaque mois, et acheminer via le réseau de poste.

A partir de ces données qu'on peut les considérer comme des problèmes quotidiens d'une compagnie, il nous a été proposé le sujet dont le thème est l'élaboration d'un logiciel de tracer des routes aériennes, ceci est bien évidemment afin de gagner le temps et rendre le tracé de route réalisable par de simple technicien en aéronautique.

Le plan de notre travail consiste, en un certain nombre d'étape, qui se résume en ces quelque mots :

Dans la première partie de notre mémoire nous allons présenter des généralités sur les cartes, des rappel de navigation et radionavigation.

La deuxième partie de notre mémoire sera consacrée a une étude théorique du logiciel.

Dans La troisième partie, nous allons présenter la réalisation de tracer des routes aériennes.

Chapitre I
Généralités

I- INTRODUCTION

Dans ce chapitre nous présentons un certain nombre de définitions et de concept, que nous allons utiliser au cours de notre étude, parmi ces concepts et définitions, qui seront présenter succinctement, on a les cartes et projections, les différentes cartes utilisées en aéronautique, ainsi qu'un rappel de navigation et radionavigation.

II- CARTES ET PROJECTION

1- LA FORME DE LA TERRE

L'étude de la forme de la terre est l'objet d'une science particulière, la géodésie. Elle s'attache à décrire la géométrie de cette forme et ses relations avec la pesanteur, caractérisée par son intensité et sa direction.

La surface mathématique la plus proche de la surface de la terre, abstraction faite du relief, est celle d'un ellipsoïde de révolution, c'est à dire d'une sphère aplatie aux pôles.

Cette surface mathématique permet de traiter la représentation planimétrique de la surface de la terre en appliquant divers algorithmes de transformation en surface plane.

L'adoption d'une surface équipotentielle de référence permet, par le calcul de la différence entre deux côtes géopotentielles, de traduire l'altitude par une mesure homogène à une distance.

Cette surface de référence est baptisée géoïde. Elle a été choisie telle que la surface des mers, supposée prolongée sous les terres émergées, en soit une approximation.

Chaque pays, pour calculer le réseau géodésique dont dépend sa cartographie, a naturellement choisi un ellipsoïde propre, aussi voisin que possible du géoïde sur l'étendue de son territoire national.

Il existe un assez grand nombre d'ellipsoïdes de référence.

Le tableau suivant montre les ellipsoïdes les plus utilisées.

Ellipsoïde	a (m)	b (m)	α
Clarke 1880	6378249,20	6356515	1/293,5
International de Hayford 1924	6378388	6356911	1/297,0
International 1967 (depuis l'apparition des satellites)	6378 160,0	6356774,5	1/298,247

a : Grand axe ; b : Petit axe ;

α : Aplatissement = $(a - b) / a$.

2- NOTION DE COORDONNEES

Pour se localiser sur la terre, il est nécessaire d'utiliser un système géodésique duquel découlent les coordonnées géographiques figurant sur les cartes. Celles-ci peuvent être exprimées soit sous la forme de longitude et latitude (coordonnées dites géographiques), soit en représentation cartographique plane (coordonnées dites en projection).

3- COORDONNEES GEOGRAPHIQUES GLOBALES

• *Longitude et latitude* : déterminées directement par rapport au globe (coordonnées sphériques exprimées en degrés, minutes, secondes ou en radians); c'est un système universel, global, dans lequel chaque lieu a une coordonnée unique.

Notation des unités angulaires pour les latitudes et longitudes

degrés, minutes, secondes	° ' "
degrés, minutes décimales	° .'
degrés décimaux	°
grades	gr
Radians	rad

Approches numériques :

1°	= 60'	= 3 600"
180°	= 200 gr	= 3.141592654 rad
48.61°	= 48° 36.6'	= 48° 36' 36"
48.60°	= 54 gr	

Un degré de longitude équivaut à environ 111 km sur l'équateur mais ne vaut plus que 74 km à une latitude de 48 degrés et devient nul aux pôles.

En considérant une terre sphérique de rayon 6360 km :

1° de longitude = cosinus (latitude) * 111 km

1° de latitude = 111 km.

III- LES PROJECTIONS

I- QUELQUES PARAMETRES DES PROJECTIONS

Distorsions et propriétés

- **Conformité** : Conservation des **angles** et des **formes** (localement).
- **Équivalence** : Conservation des rapports de **superficie**.
- **Équidistance** : Conservation des rapports de **distance**.

Remarque : aucune projection ne peut conserver plus d'une de ces propriétés en même temps (exemple: une projection ne peut être à la fois conforme et équivalente).

La surface de projection ou surface développable

- Projection **cylindrique**.
- Projection **conique**.
- Projection **azimutale**.

* **Projection cylindrique** : La surface de projection est un cylindre tangent ou sécant au modèle de la Terre. (Exemple : UTM, Gauss,...)

* **Projection conique** : La surface de projection est un cône tangent ou sécant. (Exemple : Lambert, Lambert93,...)

* **Projection azimutale** : Le plan lui-même est tangent au modèle de la terre. Exemple : Stéréographie polaire (carte du ciel, cartes des régions polaires,...)

Les intersections entre le plan de projection et l'ellipsoïde forment des lignes appelées « Automécoïque ».

La position de la surface de projection par rapport à la surface du globe

- Projection **tangente** lorsque la surface de projection touche le globe en un point ou le long d'une ligne.
- Projection **sécante** lorsque la surface de projection recoupe le globe.

À noter qu'il n'y a pas de distorsion d'échelle sur les points ou lignes qui touchent ou recouper le globe. Par exemple, on parle d'une projection conique à un **parallèle standard** (projection tangente) ou 2 parallèles standard (projection sécante) sur lesquels l'échelle est conservée.

2- DIFFERENTES PROJECTIONS UTILISEES EN AERONAUTIQUE

On ne se propose pas d'étudier tous les projections utilisées en aéronautique, mais seulement celle qui conduisent aux cartes utilisées dans le cadre du P.P./IFR

La projection Mercator Direct, Oblique, et transverse.

La projection Lambert direct.

◆ **Projection MERCATOR directe**

C'est une projection géométrique ayant pour base une projection faite depuis le centre de la terre sur un cylindre tangent à l'équateur. On obtient ainsi un canevas.

Les méridiens sont représentés par des droites parallèles avec les pôles rejetés à l'infini.

Les parallèles sont représentés par des droites parallèles, perpendiculaires aux méridiens.

Un tel canevas n'est pas conforme et non satisfaisant sur le plan aéronautique, mais pour remédier à ce problème, et rendre la carte conforme, on modifie l'écartement entre les parallèles, de tel sorte que ces derniers seront de plus en plus écartés à mesure qu'on s'éloigne de l'équateur.

- Cette carte est conforme, Loxodromique.

♦ Projection "TRANSVERSE MERCATOR"

La projection « Transverse Mercator » est réalisée en projetant les coordonnées terrestres sur un cylindre tangent à la terre le long d'un méridien. Il s'agit d'une projection conforme, ce qui signifie que les petites formes sont conservées. Les seuls paramètres requis pour définir cette projection sont la longitude du méridien central et une latitude de référence, bien qu'un facteur d'échelle puisse également être spécifié.

La distorsion augmente lorsque vous vous éloignez du méridien central. Cette projection est couramment utilisée pour minimiser la distorsion dans la représentation des formes terrestres qui s'étirent du Nord au sud.

♦ Projection LAMBERT

La représentation Lambert est une projection sur un cône tangent à l'ellipsoïde le long d'un parallèle de latitude φ_0 appelé parallèle origine. On peut également définir la même projection sécante à l'ellipsoïde le long de deux parallèles origines. C'est une projection « Conforme » qui conserve les angles.

L'ellipsoïde de référence est l'ellipsoïde de Clarke 1880.

3- COMPARAISON ENTRE LES DEUX PROJECTIONS

Le canevas Mercator direct est loxodromique. Il est donc très simple d'y mesurer une route vraie, un relèvement vrai, ou d'y tracer un cap. Par contre il n'est pas équidistant donc il faut prendre des précautions pour y mesurer les distances.

- Le canevas Lambert est pratiquement équidistant dans la zone « utile ».

On pourra donc y mesurer les distances simplement, en considération que l'échelle est pratiquement constante. De même il est pratiquement orthodromique et on pourra y assimiler les orthodromies à des droites.

Par contre il faut prendre des précautions pour mesurer les angles, en particulier la route vraie.

IV- RAPPEL DE NAVIGATION

1- DEFINITION D'UNE DIRECTION

Une direction est définie ou matérialisée par une mesure angulaire comptée de 0 à 360 dans le sens rétrograde, à partir d'un axe bien déterminé pris pour origine. Cet axe s'appelle la direction origine.

- Les orientation se mesurent dans le plan horizontal.

2- LES DIRECTIONS ORIGINES

◆ Nord vrai

Ou nord géographique, il est définie par la droite orientée vers le pôle nord, par l'intersection du plan tangent à la terre en ce point et le plan méridien, et on note (Nv)

◆ Nord magnétique

Tous point sur la surface de la terre est soumis à l'action du champ magnétique terrestre.

Le nord magnétique (Nm) en un point est matérialisé par la projection horizontal du champ magnétique terrestre , et on note Nm.

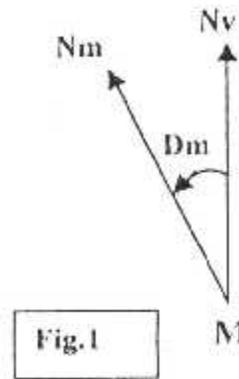
Toute orientation mesurée à partir du nord magnétique sera qualifiée de magnétique.

La déclinaison magnétique

L'angle entre le nord vrai et le nord magnétique s'appelle la déclinaison magnétique « Dm ».

- $Dm > 0 \Rightarrow$ EST
- $Dm < 0 \Rightarrow$ OUEST

$$Nv = Nm \pm Dm$$



♦ Nord compas

Est la direction matérialisée par la référence de l'instrument compas à l'aide duquel on mesure les directions.

La déviation du compas

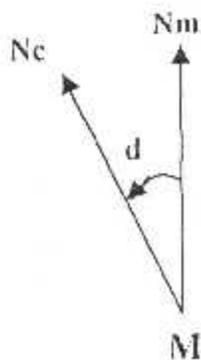
L'angle entre le nord magnétique et le nord compas s'appelle la déviation du compas « d ».

$$(d > 0 \Rightarrow \text{EST} \quad d < 0 \Rightarrow \text{OUEST})$$

La variation

L'angle entre le nord compas et le nord vrai s'appelle la variation « W »

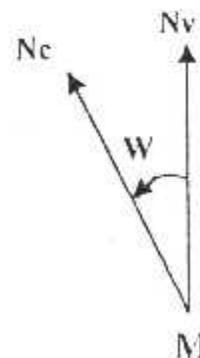
$$(W > 0 \Rightarrow \text{EST} \quad W < 0 \Rightarrow \text{OUEST})$$



$$Nm = Nc \pm d$$

$$W = d + Dm$$

Fig 2



$$Nv = Nc \pm W$$

3- ELEMENTS DE BASE

◆ Le Cap (C)

Angle entre la direction origine et l'axe de l'avion. Compté de 0° à 360° dans le sens rétrograde. On a (C_v, C_m, C_c) .

◆ La Route (R)

Angle entre la direction origine et la tangente à la trajectoire suivie au point au point considéré. On a (R_v, R_m) .

◆ La dérive (X)

Angle entre l'axe de l'avion (Cap) et la trajectoire (Route).

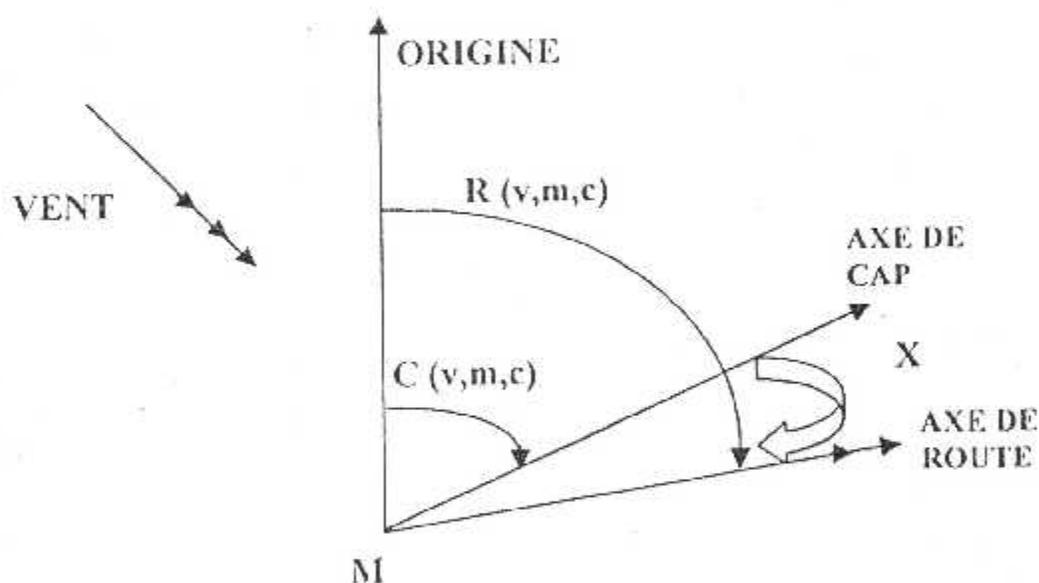


Fig 3

◆ Le gisement (Gt)

Angle entre l'axe de l'avion pris comme origine et un repère.

◆ Le relèvement (Z)

Angle entre la direction origine et la direction d'un repère. On a (Z_v, Z_m, Z_c)

4- DEFINITIONS SUR LES RELEVEMENTS RADIOELECTRIQUES

- QTE : Le relèvement vraie (Zv) d'un avion par une station.
- QUJ : Le relèvement vraie (Zv) d'une station par un avion .
- QDR : (ou radial) relèvement magnétique (Zm) d'un avion par une station.
- QDM : Relèvement magnétique (Zm) d'une station par un avion.

Le QDM est aussi le Cm a prendre par vent nul pour rejoindre une station.

- *Les relations entre ces différents angles sont :*

$QDM = QDR \pm 180^\circ$	$QUJ = QTE \pm 180^\circ$
$QUJ = QDM + Dm$	$QTE = QDR + Dm$
$QDM = Cm + Gt$	$QUJ = Cv + Gt$

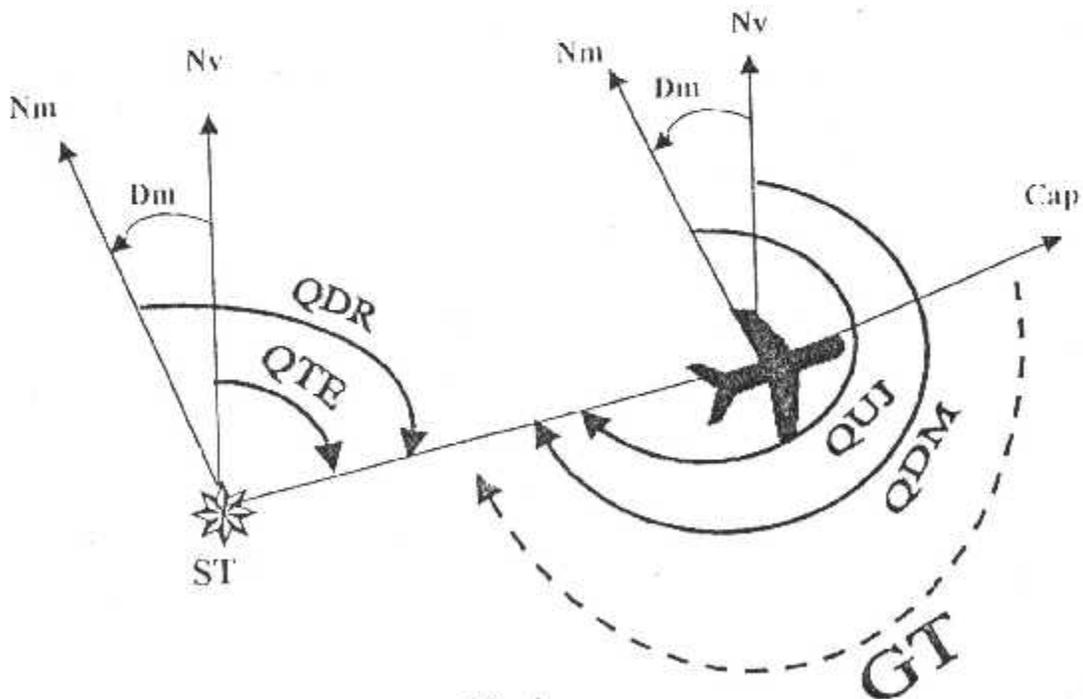


Fig 4

5- RELATIONS ENTRE LES DIFFÉRENTES DIRECTIONS

• Voici un tableau récapitulatif sur les relations entre différentes directions vu précédemment.

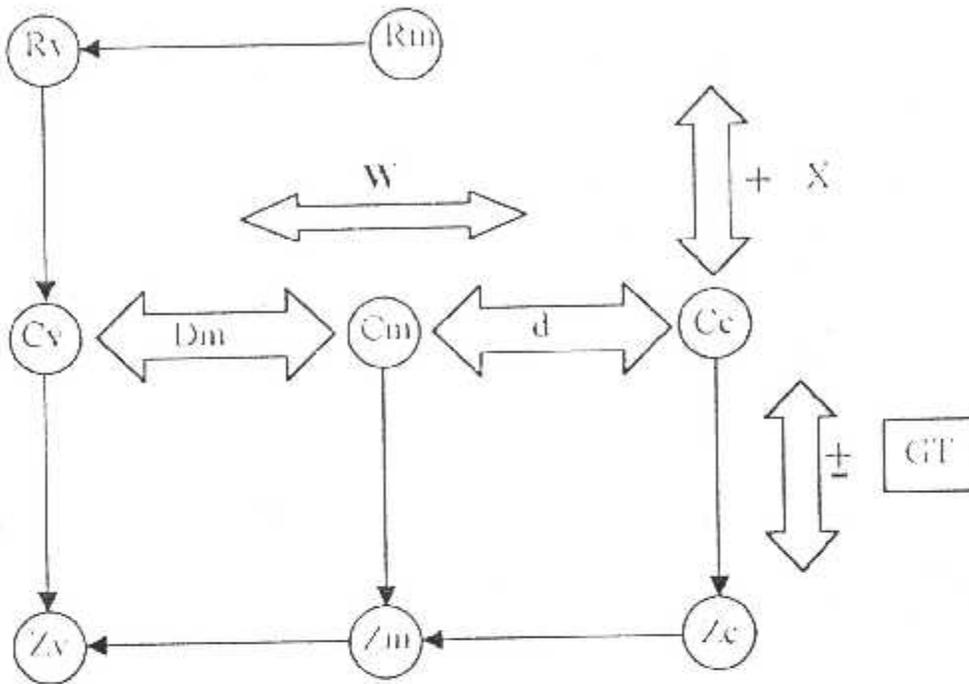


Fig 5

C_v : Cap vrai.

C_m : Cap magnétique.

C_c : Cap compas.

Z_v : Relèvement vraie.

Z_m : Relèvement magnétique.

Z_c : Relèvement compas.

R_v : Route vrai.

R_m : Route magnétique.

Gt : Gisement.

X : Dérive.

d : déviation.

D_m : Déclinaison magnétique.

W : Variation.

V- LES MOYENS DE RADIO - NAVIGATIONS

1- Le VOR

Définition

Le VOR (dont le nom signifie Very high frequency Omni Range) est un aide radioélectrique au sol, rayonnant dans tout azimut un signal indiquant à l'utilisateur son relèvement magnétique par rapport à la station.

Le VOR matérialisé dans l'espace les 360 directions d'une rose centré sur la station et calée sur le Nord magnétique.

Les indications du VOR, reçues à bord sont indépendantes du cap de l'avion.

Le VOR est un aide de position et non d'orientation.

Il existe deux sortes de VOR, fonctionnant suivant le même principe, mais de puissance d'émission donc de portée différente.

◆ VOR D'ATTERISSAGE (I/VOR ou A/VOR)

Moyen radio d'atterrissage, de portée réduite (25 NM environ).le plus souvent on l'appelle VOR Terminal.

◆ VOR DE NAVIGATION

Moyen de radionavigation, quelquefois implanté sur un aéroport, le plus souvent en campagne aux points clés des régions de contrôle. Son indicatif comporte généralement 3 lettres. Sa portée nettement plus grande, est dite "optique". D'autre part, on reçoit un VOR à une distance d'autant plus importante que votre altitude est plus grande. L'émission VOR se fait dans la plage VHF de 108 à 117,95 MHz.

2- NDB (Non Directionnal Beacon)

Moyen de radionavigation implanté le plus souvent en campagne aux points clés des régions de contrôle. Son indicatif comporte généralement 3 lettres. Sa portée est très grande (de l'ordre de 150 NM). le NDB fonctionnent dans la plage MF de 200 à 2000 kHz. Ce système est certes plus facile à utiliser, mais est moins précis quant au cap à suivre pour arriver à la balise. Ajoutons encore que les NDB (Non Directionnal Beacon) ont une portée plus grande que les VOR.

3- DME (Distance Measuring Equipment)

Le DME fonctionne dans la bande de fréquence du domaine UHF, entre 969.0 et 1213 MHz et il nous fournit une information sur la distance cette information, peut être reçue par les récepteurs DME civil ainsi que les « TACAN » militaire.

TACAN = Tactical Air Navigation.

4-VOR/DME

Ce concept représente une combinaison idéale, où on retrouve à la fois les informations de direction VOR et la donnée de distance DME.

Les avions militaires qui ne sont équipés que du récepteur TACAN, ne peuvent utiliser que l'information de distance.

5- TACAN (Tactical Air Navigation)

L'information de direction travaille sur les bandes de fréquences UHF, et ne peut être utilisée que par des avions militaires équipés d'un (TACAN Equipment).

La sélection des fréquences se fait automatiquement en affichant le 'Tacan-Channel' avec un sélecteur combiné de fréquences, semblable au récepteur VOR/DME.

6- VORTAC

C'est une installation de navigation combinée qui remplit en même temps trois fonctions différentes c'est-à-dire :

- L'information de direction donnée par le VOR.
- L'information de direction donnée par le TACAN.
- L'information distance donnée par le DME.

Remarque : Les avions qui sont équipés d'instrument DME civils, ne peuvent recevoir les canaux TACAN.

Ces deux dernières balises, n'existent pas dans les pays choisis pour notre travail mais ils peuvent exister dans d'autres pays.

VI- LES REDEVANCES

Définition

Sur tout aéroport ouvert à la circulation aérienne publique, les services rendus aux usagers et au public donnent lieu à une rémunération sous la forme de redevance perçue au profit de la personne qui fournit le service.

Les redevances sont classées en deux catégories :

- Les redevances aéronautiques.
- Les redevances extra- aéronautiques.

Dans notre étude on s'est intéressé aux redevances aéronautiques et plus précisément les redevances de survol.

1- REDEVANCE DE SURVOL

Les redevances de route sont calculées sur la base des tarifs officiels publiés par le gestionnaire de service de contrôle de la navigation. Ces redevances font intervenir trois (03) paramètres, à savoir :

- La longueur de l'étape.
- La masse maximale de décollage.
- Taux unitaire.

◆ Types de redevances de survol

- Sans escale.
- Avec escale.
- Nationale.

Chapitre II
Etude
conceptuelle

I- INTRODUCTION

Au 20ème siècle, des hommes ont découvert de nouvelles routes. Des routes qui défient tous les obstacles naturels : les montagnes, les océans, les déserts. Les tracés laissés par ces hommes dans le ciel écrivent la saga des routes aériennes. Mais bien avant de définir les routes, on essaye de donner quelques explications sur la navigation.

II- DIFFERENT TYPES DE NAVIGATION

On groupe sous le vocable « NAVIGATION » l'ensemble des techniques qui permettent de se rendre d'un point du globe terrestre à un autre. A cette définition, on doit ajouter que la position doit pouvoir être déterminée à tout moment lors du voyage et que la route choisie doit être suivie avec la plus grande précision possible.

Il existe deux types de navigation, qui sont :

1-NAVIGATION ESTIMÉE

La navigation estimée est sans aucun doute la première qui ait été pratiquée, son principe s'explique comme suit :

Partant d'un point connu, avec une certaine vitesse, dans une direction déterminée, à une heure précise, je peux savoir, au bout d'un temps fixé, quelle est la distance que j'ai parcourue. Puisque je connais la direction dans laquelle je me suis déplacé, donc ma position est parfaitement déterminée par rapport à mon point de départ.

Nous voyons déjà que 3 instruments seront indispensables pour pratiquer la navigation estimée.

1. Le compas : Pour déterminer la direction de déplacement
2. Indicateur de vitesse : Pour la mesure de cette dernière.
3. La montre pour connaître le temps écoulé.

2- NAVIGATION OBSERVEE

Nous avons vu précédemment, que l'estime, même très bien conduite, nécessitait des corrections. Plus la précision exigée de la navigation sera grande, plus ces corrections seront fréquentes. Ils consisteront en l'observation des lieux de positions. Deux ou plusieurs lieux nous donnerons une position observée.

Les lieux de position, suivant le type de navigation que l'on effectue, pourront être obtenus par :

- Observation visuelle : Cas de moins en moins fréquent
- Utilisation de hauteurs d'astres : C'est la navigation astronomique.
- Utilisation d'un moyen radio à courte, moyenne ou grande distance : C'est la navigation radioélectrique.

Pour notre étude c'est le troisième type qui nous intéresse, alors nous essayons de donner quelques détails pour ce type de navigation.

♦ Navigation radio électrique

Nous allons se contenter de citer que le VOR et le NDB qui sont deux moyens radio électrique.

VOR : par l'intermédiaire du récepteur à bord le VOR fournit au pilote le relèvement de l'avion par la station, par rapport au Nord magnétique de la celle-ci, cette information s'appelle QDR. ce QDR est parfois transformé en QDM. (Si on se réfère à la prochaine station.

Le VOR est largement utilisé à travers le monde entier, insensible aux parasites atmosphériques, mais sa portée est limitée à la portée optique et qui est donnée par la formule suivante.

$$\text{PORTEE en NM} = 1.23 * \sqrt{\text{ALITUDE}(Ft)}$$

NDB : Il fournit au pilote l'information du gisement grâce à l'ADF (instrument de bord. Son utilisation est de moins en moins fréquente.

Le NDB possède une très grande portée qui est de l'ordre de 150Nm, mais un faible choix de gamme de fréquence.

III- LES ROUTES A LA SURFACE DE LA TERRE

Pour la navigation aérienne, il existe deux sortes de route, route Loxodromique et route Orthodromique.

1- ETUDE DE LA LOXODROMIE

Définition : la loxodromie est une courbe qui coupe tous les méridiens sous un même angle.

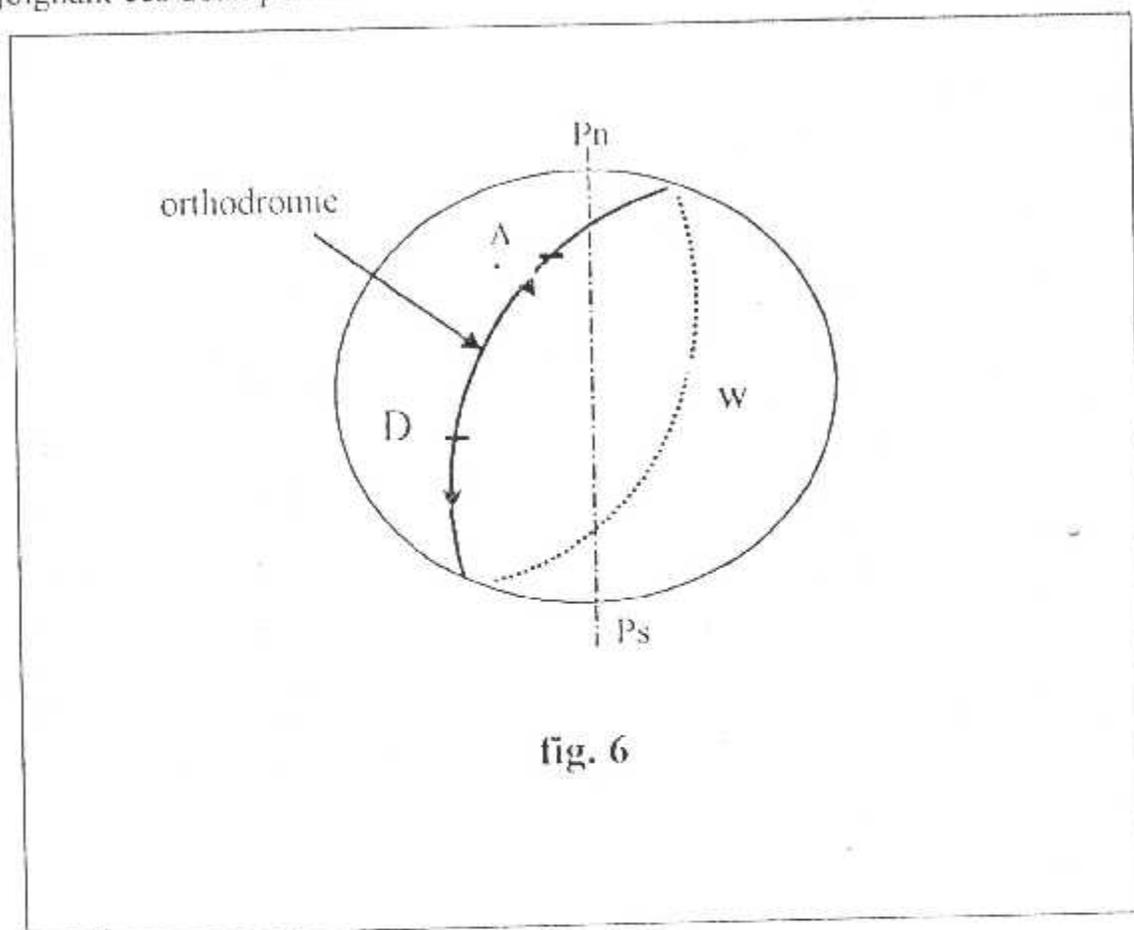
Donc, un avion qui gouverne à un cap vrai constant par vent nul suit une loxodromie sur la terre.

Observations :

- La loxodromie est une courbe. Elle tourne sa concavité vers le pôle de l'hémisphère considéré.
- La loxodromie peut être un grand cercle : C'est le cas d'une loxodromie orientée Nord-Sud. Elle est alors confondue avec les méridiens.
- Une loxodromie orientée Est-Ouest coupe tous les méridiens à angle droit. Dans ce cas la loxodromie est confondue avec les parallèles ou éventuellement l'équateur.
- Entre deux points on peut faire passer une infinité de loxodromie. Une seule nous intéresse, c'est celle qui joint directement les deux points. Mais rien ne nous empêche de tracer des loxodromies, qui partant du premier point, arriveraient au deuxième point en faisant un, deux, trois, n tours de la terre.
- La loxodromie n'est pas le plus court chemin d'un point à un autre.

2- ETUDE DE L'ORTHODROMIE

Définition : l'orthodromie entre deux points est la plus courte portion de grand cercle joignant ces deux points.



Si on considère sur terre un point de départ D et un point d'arrivée A, il est possible de faire passer par ces deux points un grand cercle et un seul. De D, nous aurons deux solutions pour rejoindre A : Soit la plus courte par le grand cercle (DA sur la figure -6-), soit la plus longue utilisant la portion DWA du grand cercle.

♦ Angle de route

On appelle angle de route l'angle entre le méridien du lieu considéré et l'orthodromie. Contrairement à la loxodromie, l'orthodromie coupe les méridiens sous un angle de route constamment variable.

◆ Intérêt de l'orthodromie

- L'orthodromie est le plus court chemin d'un point à un autre.
- Les ondes électriques suivant des orthodromies sur la terre, il faut en tenir compte lorsque l'on travaille avec des relèvements radio.

L'orthodromie est souvent associée à la carte Lambert et elle est représentée sur celle-ci par une droite entre deux points. C'est cette droite qui représente la route aérienne.

IV- QU'EST-CE QU'UNE ROUTE AÉRIENNE ?

Une route aérienne c'est un itinéraire bien déterminé suivi par un avion, lors d'un vol entre deux points.

Cet itinéraire sera préparé sur une carte aéronautique, dans le cadre de la préparation du vol, et doit respecter une réglementation bien définie.

V- INFLUENCE DE LA RÉGLEMENTATION

Il nous est interdit de choisir une route et une altitude au petit bonheur. En effet le pilote doit respecter :

- Les altitudes de sécurité.
- Les altitudes au niveau acceptable avec la route.
- Le survol des villes.
- L'interdiction de survol des zones interdites.
- Le respect des routes aériennes et airways.

Il nous faudra nous accommoder de tous ces paramètres, souvent inconciliables.

VI- TECHNIQUE DE TRACER DE ROUTE SUR UNE CARTE

Sur une carte le tracé se fait sans prendre en considération l'effet du vent, donc le cap sera égal à la route.

La technique de tracer d'une route sur une carte aéronautique est la suivante :

- Porter sur la carte les points de départ et de destination.
- Tracer une ou plusieurs droites pour joindre les deux points. Toute en essayant de bénéficier d'un maximum des stations radio ou d'aide à la navigation.
- Déterminer le cap comme suit :

Pour déterminer le cap, on prend un rapporteur, et on pose son point 0 avec l'intersection de la route avec un méridien, puis on lit la valeur de l'angle entre le méridien et la route dans le sens d'une aiguille d'une montre, la valeur obtenu représente le cap vrai pour avoir le cap magnétique, on doit ajouter ou retrancher la valeur de la déclinaison au point de départ.

Il faut noter que le cap sera mentionné sur la carte a coté de chaque tronçon tracé, et il sera recalculé et mentionné après chaque virage et après une variation de déclinaison supérieure à 1° par rapport à la déclinaison précédente.

- Calcul de la distance entre les deux points.
- Détermination des altitudes des secteurs survolés.
- Prendre en considération les différentes zones (zones interdites, réglementés et dangereuses.

Tout ce travail sera fait par un personnel qualifié au sol dans le cadre de la préparation du vol.

Cette technique se répète pour chaque préparation d'un vol, alors il nous a été proposé l'élaboration d'un logiciel avec un large choix de route toutes en respectant la réglementation.

Une étude acceptable de cette élaboration était possible après plusieurs conseils des navigateurs, la lecture des ouvrages sur la navigation aérienne et un apport de certaines techniques personnelles

Dans le paragraphe suivant on va présenter en détails notre étude qui est basée sur des étapes essentielles pour la réalisation de notre travail.

VII- ETAPES SUIVIES POUR LA CREATION DES MULTITUDES DE ROUTES

Notre étude est basée sur la conception des multitudes de routes (routes entre stations) avec le calcul des redevances de survol de chacune d'elle. Il faut rappeler que le tracer se fait sur une carte Lambert, on a considéré un vent nul (Route= Cap) Et en plus on a limité les régions de notre choix a quatre pays (l'Algérie, Maroc, Tunisie, Libye)

La présente étude respecte par ordre les étapes suivantes :

- Création d'une base de données des moyens radio, aérodrome, zone interdites, altitude minimal en route (FLmin)
- Limitation de l'aire.
- Sélection des routes entre deux stations à l'intérieur de l'aire limité.
- Détermination du point le plus proche par rapport à l'aérodrome de départ.
- Tracer les multitudes de routes qui existent entre deux aérodromes.
- Calcul des redevances de survol en fonction de la nature du vol.

1- CREATION DE LA BASE DE DONNEES (BDD)

BDD A/D, VOR, NDB et points géographiques

Cette tache a été possible grâce à un fichier appeler UFP (Universal Flight Pannel) qui contient tout les informations relatives aux aérodromes, VOR, NDB et points géographiques.

- ◆ Informations aérodrome : Pour chaque aérodrome L'UFP nous donne :
 - Le nom de l'aérodrome.
 - Code OACI.
 - Coordonnées géographiques.
 - Elévation en pied de l'aérodrome par rapport au niveau de la mer.
 - Déclinaison magnétique en ce point.
- ◆ Information VOR : L'information VOR contient :
 - La région de son implantation.
 - Le code.
 - Les coordonnées géographiques.
 - La fréquence.
 - Le type (VOR, VOR/DME, TACAN, VORTAC)
 - La classe (Terminal, High class).
 - L'élévation.
 - La déclinaison magnétique.
- ◆ Informations NDB : L'information NDB contient :
 - La région de son implantation.
 - Le code.
 - Les coordonnées géographiques.
 - La fréquence.
- ◆ Informations des points géographiques :
 - Le code.
 - Les coordonnées géographiques.

BDD zones interdites et Flmin

- ◆ Zones interdites

Pour la BDD de ces zones on a utilisés les informations publiées sur les AIP.

◆ Flmin

Pour déterminer l'altitude minimale en route on a utilisés les cartes JEPPESEN.

2- LIMITATION DE L'AIRE

Pour la limitation de l'aire on a élaboré une technique personnelle associe à certain principe de base de la géométrie. Cette technique s'explique comme suit :

A partir de l'aérodrome de départ on détermine un point situé à une distance de 16Nm en avant de celui de départ, puis on trace deux droites, une perpendiculaire au point de 16Nm et l'autre perpendiculaire au point qui représente l'aérodrome d'arrivée, sur la première on choisit deux points situés à trois degrés (3° est pris comme exemple) de part et d'autre du point de 16Nm, et ça sera la même chose pour la deuxième perpendiculaire, la surface délimitée par ces quatre points va nous permettre d'obtenir une aire qu'on va appeler aire de sélection.

Ce travail a pour intérêt de limiter le nombre des stations à celui qui est inclus dans cette aire, et aussi réduire la surface de travail.

3- SELECTION DE ROUTE ENTRE DEUX STATIONS

Pour qu'une route entre deux stations appartenant à l'aire de sélection soit prise, il faut qu'elle ne traverse pas une zone interdite et en plus il faut que la portée de la première station inter sectionne avec celle de la deuxième station.

La portée de la station sera calculée suivant trois méthodes :

- 1- A partir du Flmin, si le résultat est négatif, alors on passe à la deuxième méthode.
- 2- On multiplie notre Flmin par deux pour augmenter la portée, si avec la nouvelle portée on peut joindre une station on doit vérifie que la portée de la station joignait inter sectionne avec l'ancienne portée, dans le cas contraire, c'est à dire avec la nouvelle portée on ne peut joindre aucune station, alors on essaye la troisième méthode.
- 3- On calcule la portée avec le flmax.

4- LA STATION LA PLUS PROCHE

Selon la réglementation il faut que dans un cercle de centre l'aérodrome de départ et de rayon 16Nm, il existe une station radio et c'est cette station qu'on appelle la station la plus proche.

La station la plus proche ça sera la première station qu'il faut joindre à partir du point de départ.

5- LES ROUTES ENTRE DEUX AERODROMES

La première route qui sera tracée c'est celle entre l'aérodrome de départ et la station la plus proche, ensuite on calcul le Cap entre la station et l'aérodrome d'arrivée, à partir de cette station on essaye de déterminer une aire sous forme de portion de cercle qui a pour rayon la portée de la balise est limité d'un côté par l'angle de cap plus 45° et de l'autre par le cap moins 45° , cette aire sera appelée aire de balayage, à l'intérieur du quel seront tracées toutes les routes entre les différentes stations qui existent à condition qu'elles satisfèrent les conditions déjà citées dans le paragraphe (sélection de route entre deux stations).

- Pour le tracé de toutes les routes possibles entre la station courante et les autres stations on a eu recours à la récursivité et les forets (voir chapitre réalisation et programmation)
- Si l'aérodrome de destination existe dans la première aire de balayage, donc la route entre le point de départ et celui de l'arrivée sera tracé, bien sur avec vérification des conditions déjà citées dans le paragraphe (sélection de route entre deux stations).

Cette procédure se répète pour chaque station sélectionnée jusqu'à l'aérodrome d'arrivée.

- Il faut préciser que pour chaque route tracée, on aura le cap, Flmin et la distance.

Le cap sera calculé d'après l'équation suivante :

Equation de Cap :

$$\text{Cap} = \text{cotg} ((\text{long1} - \text{long2}) / (\text{lat1} - \text{lat2}))$$

Toutes en prenant en considération les conditions suivantes :

- ◆ $(\text{lat1} < \text{lat2}) \ \& \ (\text{long1} < \text{long2}) \Rightarrow \text{cap} = \text{cap}$
- ◆ $(\text{lat1} > \text{lat2}) \ \& \ (\text{long1} < \text{long2}) \Rightarrow \text{cap} = 180 + \text{cap}$
- ◆ $(\text{lat1} > \text{lat2}) \ \& \ (\text{long1} > \text{long2}) \Rightarrow \text{cap} = 180 + \text{cap}$
- ◆ $(\text{lat1} < \text{lat2}) \ \& \ (\text{long1} > \text{long2}) \Rightarrow \text{cap} = 360 + \text{cap}$
- ◆ $(\text{lat1} < \text{lat2}) \ \& \ (\text{long1} = \text{long2}) \Rightarrow \text{cap} = 0$
- ◆ $(\text{lat1} > \text{lat2}) \ \& \ (\text{long1} = \text{long2}) \Rightarrow \text{cap} = 180$
- ◆ $(\text{lat1} = \text{lat2}) \ \& \ (\text{long1} < \text{long2}) \Rightarrow \text{cap} = 90$

6- CALCUL DES REDEVANCES DE SURVOL

Les redevances de route sont calculées sur la base des tarifs officiels publiés par le gestionnaire de service de contrôle de la navigation. Ces redevances font intervenir trois (03) paramètres, à savoir :

- La longueur de l'étape.
- La masse maximale de décollage.
- Taux unitaire.
- ◆ **Types de redevances de survol**
 - Sans escale.
 - Avec escale.
 - National.

Il faut noter que le taux unitaire est le même pour tous les pays du monde.

◆ **Formule de calcul**

La formule de calcul utilisée nous a été donnée par l'ENNA, et la voici

$$\text{taux unitaire} * \sqrt{\text{poids}/50} * \text{distance facturée}/100$$

Taux unitaire : valeur définie suivant une réglementation bien spécifiée

Poids : masse maximal de décollage.

$\sqrt{\text{poids}/50}$: coefficient du poids

Distance facturée /100 : coefficient de distance

- Dans le calcul le coefficient de distance sera arrondi à la valeur maximale.

Distance facturée

→ Survol sans escale :

$$\text{Distance facturée} = \text{distance parcourue} - 0$$

→ Survol avec escale :

$$\text{Distance facturée} = \text{distance parcourue} - 20$$

→ Survol national (vol interne) :

$$\text{Distance facturée} = \text{distance parcourue} - 40$$

Chapitre III
Réalisation et
programmation

I- INTRODUCTION

La rapidité et la précision sont deux caractéristiques de l'informatique, ces deux paramètres ont une importance capitale dans le domaine du transport aérien, et afin de bénéficier de ces avantages, on a eu l'idée de proposer une informatisation de tracer des routes aériennes de manière à :

- Rompre avec la méthode classique de tracer.
- Donner à l'exploitant un choix de routes.
- Diminuer les risques et les erreurs.

II- CHOIX DE MALAB

Matlab est l'outil avec lequel nous avons développé notre logiciel de tracer de route. Le choix de cet outil repose sur les avantages que présente Matlab, en ce qui concerne sa richesse, en terme d'éléments de bibliothèque et la boîte à outil, qui contient le Mapping toolbox, et aussi sa simplicité en terme de langage de programmation, ainsi que sa disponibilité au sein de l'institut.

Néanmoins, d'autres tels que le Delphi, C++, et autre peuvent également être utilisés, notre choix s'est porté sur le Matlab, car avec les autres langages ça nous aura demandé beaucoup de temps pour réaliser notre travail.

III- UTILITE DU MATLAB

Certaines fonctions de Matlab étaient utilisées dans notre logiciel, ces fonctions sont :

- **Axesm** : C'est une fonction qui crée une projection qui existe dans le mapping toolbox, d'une carte ainsi que sa structure de données, et nécessite comme valeur d'entrée le type de projection, et les valeurs limites qui sont des latitudes. Lors de la création de la projection les axes de la carte ou Xgrid et Ygrid (méridiens et parallèles) seront à l'état 'Off', et on peut les activer avec la fonction Gridm, qu'on va définir après.

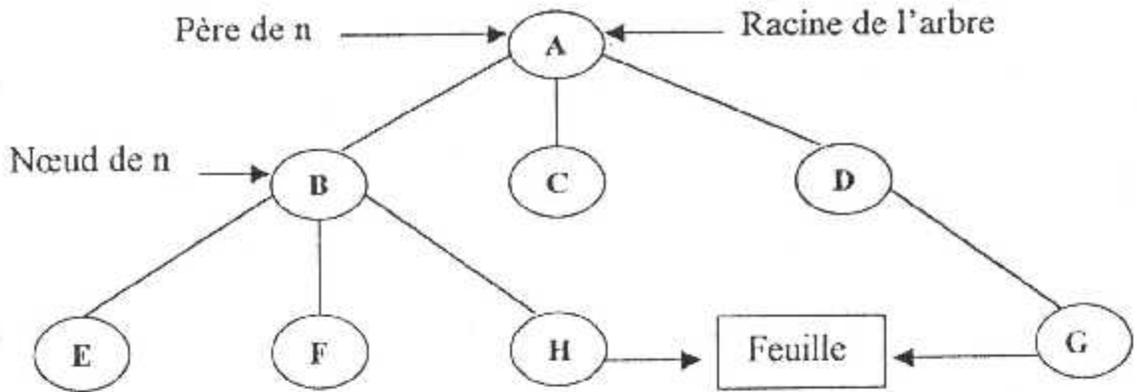


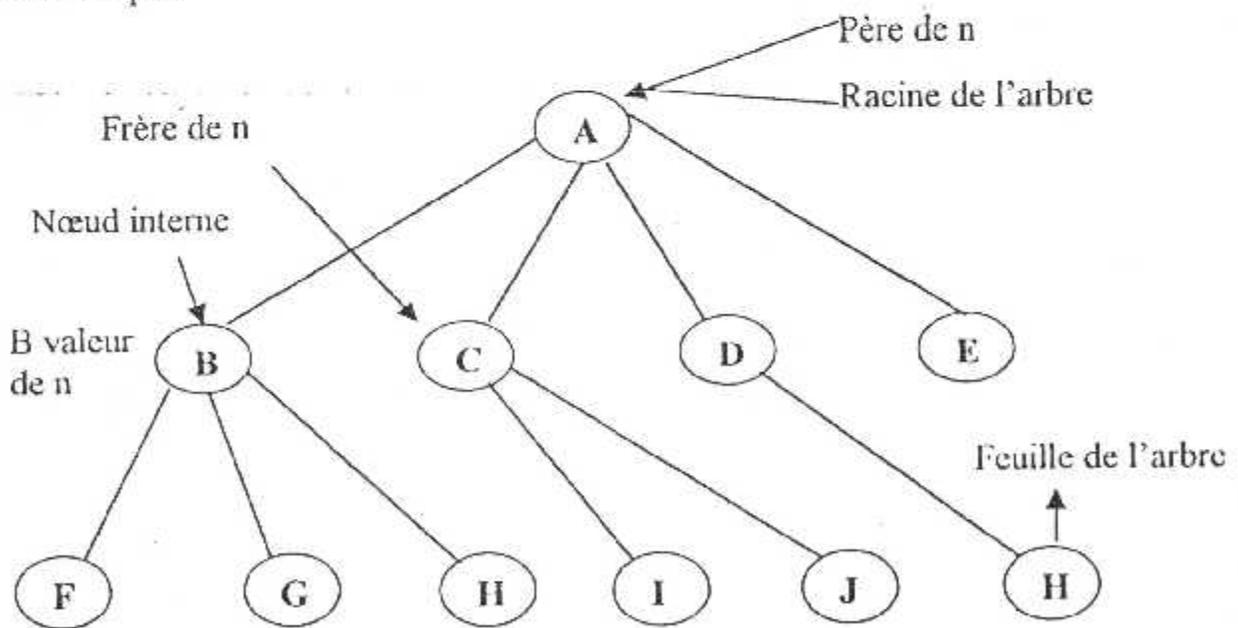
Fig : 8

Forêts

Nous avons utilisé le Matlab dans notre travail qui n'a pas la notion des pointeurs (forme dynamique), donc nous allons présenter notre structure de donnée sous forme statique (table).

Terminologie relative aux forêts :

La terminologie des arbres est très souvent utilisée pour décrire les arbres en informatique.



Forêt

Fig : 9

- **Displaym** : Cette fonction affichera les données du vecteur d'entrée dans une structure de données géographique.
- **Gridm** : Cette fonction assure le rôle d'un interrupteur qui contrôle l'apparition ou la disparition d'une grille qui matérialise les méridiens et les parallèles sur la carte.
 On a Gridm 'On' : apparition de la grille sur la carte.
 Gridm 'off' : disparition de la grille.
 Gridm 'reset' : réinitialise la grille en utilisant les propriétés courantes.
- **Distance** : Cette fonction permet le calcul dans un grand cercle une distance entre deux points (distance orthodromique), les deux points d'entrées seront considérés comme une matrice à deux colonnes de la forme latitude et longitude, et le résultat obtenu sera donné par défaut en degré.
- **Plotm** : C'est une fonction qui projette en deux dimensions un objet sur la carte, et afin que l'objet soit visible sur la carte on doit le spécifier par une propriété reconnue par le Matlab.
- **Worldlo** : C'est une base de données exploitable par le Matlab où sont structurés sous forme de vecteur certaines données de l'atlas mondial. Les demandes valides sont :
 Poline, Popatch, Potext, Pppoint, PPtext, Doline, Dupatch.
- **GRIDDATA** : Cette fonction est de la forme :
 $ZI = \text{GRIDDATA}(X, Y, Z, X_i, Y_i)$ cela se traduit par la création d'une surface de la forme $Z = f(X, Y)$ dont x et y sont des vecteurs et vérifie si les vecteurs X_i et Y_i appartiennent à cette surface.
- **WORLDMTX** : Fichier qui contient de la carte du monde, sous forme d'une matrice, après l'instruction « image (map) » sous Matlab

pays est associée à une couleur ; chaque niveau de couleur est représenté par un nombre entier, qui est l'indice dans la table du champ « map legend ».

IV- FONCTIONS PERSONNALISEES

Avant de réaliser la programmation du logiciel, il a été évident d'élaborer une technique plus adéquate, et créer certaines fonctions personnelles.

1- CAPDIST

C'est une fonction qui calcule le cap et la distance entre deux points, ayant pour valeur d'entrée les coordonnées géographiques (latitude et longitude)

$$[\text{cap}, \text{dist}] = \text{capdist}(\text{lat}_1, \text{long}_1, \text{lat}_2, \text{long}_2)$$

2- PORTEE

C'est une fonction qui se base sur l'équation de calcul de portée de V.O.R qui est la suivante :

$$\text{Portée (NM)} = 1.23 \sqrt{H + (\text{élévation})} \quad (\text{avec } H \text{ en ft}).$$

Pour le cas du NDB on a pris sa vraie portée qui est fixe, et elle est de l'ordre de 150Nm.

3- RAYON (RAY)

C'est une fonction qui utilise l'information de la portée comme rayon, qui sera exploiter pour la sélection des balises.

$$\text{Ray} = \text{portée}(\text{type}, \text{indice}, \text{flmin}).$$

4- GEOMETRIE DE BASE

Durant la programmation, on a élaboré des fonctions qui traitent certains principes de base de la géométrie, ces fonctions sont :

♦ **Situe** : C'est un simple programme associé à une équation de la géométrie de base, qui va nous permettre de positionner un point sur une droite.

$$[x, y] = \text{situe}(x_0, y_0, a, b, \text{dist}, 0)$$

$$\text{On a : } y = ax + b$$

$$y_0 = ax_0 + b$$



$$(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2 = \text{dist}^2$$

- ◆ **Cdroite** : Ce programme va nous servir de tracer une droite entre deux points

$$[a, b] = \text{cdroite}(x_1, y_1, x_2, y_2)$$

$$\text{On a : } y_1 = ax_1 + b$$

$$y_2 = ax_2 + b$$



$$y_1 - y_2 = a(x_1 - x_2)$$

$$a = \frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2}$$

$$b = y_1 - ax_1$$

- ◆ **Droite** :

$$[tx, ty] = \text{droite}(x_1, y_1, x_2, y_2)$$

$$[a, b] = \text{cdroite}(x_1, y_1, x_2, y_2)$$

$$tx = x_1; 0.01 : x_2$$

$$ty = a x + b$$

- ◆ **Perpendiculaire** : Ce programme sert à déterminer une droite perpendiculaire, à une autre déjà existante.

$$[ap, bp] = \text{perp}(a, b, x, y)$$

$$ap = -1 / a$$

$$bp = y - (ap * x)$$

5- FONCTIONS SUR LES ARBRES ET LES FILS

Le tracé d'une multitude de routes nous a poussé à la création des fonctions ou sous programmes qui traitent différentes opérations sur les arbres et les fils, et l'utilisation de la récursivité.

Rappel

Récursivité

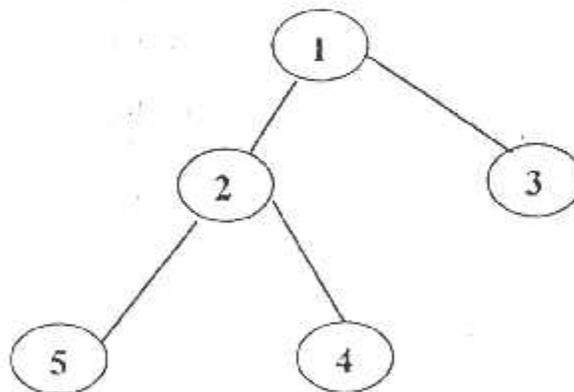
La notion de sous-programme avec paramètres se trouve sous une forme ou sous une autre dans presque tous les langages de programmation. La décomposition d'un programme en sous programmes est indispensable pour mettre en évidence la structure bloc du programme et le rendre compréhensible par parties correspondant chacune à un sous programme.

Disposant des notions de procédures et fonction, il est possible d'introduire de nouvelle classe d'algorithmes (récursivité) que nous étudierons dans ce paragraphe.

- Un programme est récursif, s'il s'appelle lui-même en cours d'exécution. La récursivité est simple si les appels récursifs ont lieu dans le corps du sous programme. Elle est croisée si les appels récursifs ont eu lieu au travers d'appels de sous programmes intermédiaires.
- Dans les définitions récursives, on doit définir un ou plusieurs cas particuliers (trivial) et un cas général. Il faut aussi s'assurer que le cas général arrive toujours vers le cas particulier (trivial).

Arbre

Définition : par définition, un arbre binaire est vide ou bien c'est un nœud contenant une valeur et ayant un fils gauche et droit qui sont des arbres binaires. La taille d'un arbre est le nombre des nœuds.



Arbre Binaire

Fig :7

Terminologie :

- Arbre { fils, père, grand-père, frère... }
- Racine (n'a pas de prédécesseur)
- Feuille (les nœuds qui n'ont pas de fils)
- Forêt : ensemble d'arbres

Forme statique de la forêt :

Dans ce paragraphe nous allons présenter l'arbre dans un tableau d'après un exemple.

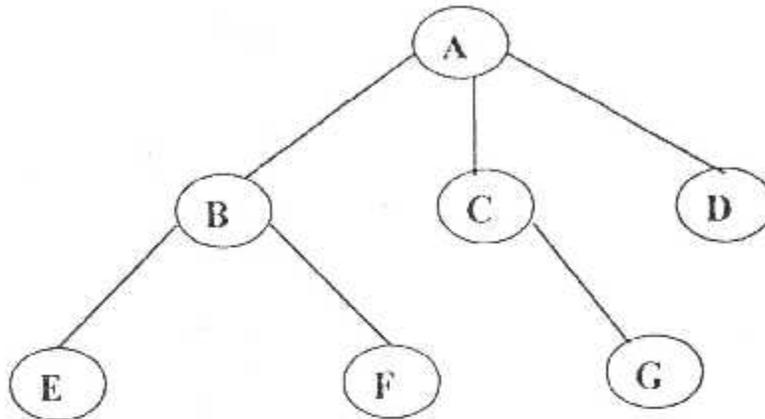


Fig : 10

Interprétation statique de l'arbre :

indice	Info	père	F ₁	frère
1	A	-1	2	-1
2	B	1	3	5
3	E	2	-1	4
4	F	2	-1	-1
5	C	1	6	7
6	G	5	-1	-1
7	D	1	-1	-1

- Info : représente la valeur du nœud courant.

Tab (1).info = A

- Père : représente l'indice du père du nœud courant dans la table

Tab (1).Père = -1 c'est à dire : A est une racine de l'arbre.

Tab (2).Père = 1 c'est à dire : le père de B est Tab(1) = A

- F_1 : représente l'indice du premier fils (à gauche) du nœud courant.

Tab (1). f_1 = 2 \Rightarrow le premier fils de A est la Tab(2) = B.

Tab (7). f_1 = -1 \Rightarrow D n'a pas le premier fils c'est à dire que D est une feuille.

- Frère : représente l'indice du prochain frère du nœud courant (à droite)

Tab(2).frère = 5 \Rightarrow Tab (5) = C qui est un frère de B.

6- DIFFERENTES TECHNIQUES UTILISEES DANS LE LOGICIEL

Le but de ces techniques est de rendre l'exécution du programme plus rapide et éviter au programme le recours à la BDD initial dans chaque création d'une route, et ceci grâce aux méthodes suivantes.

♦ Le champ info de l'arbre

Les champs de l'info de l'arbre qui va construire la multitude de routes sont :

- Catégorie.
- Indice.
- Latitude.
- Longitude.
- Cap.
- Distance.
- Flmin.

♦ Catégorie et indice

Représentent le lieu de la balise courante par sa catégorie (1 : aéro, 2 : VOR, 3 : NDB, 4 : PTG, 5 : DAP) et son indice dans sa table structurée dans la BDD pour éviter la recherche séquentielle d'une information quelconque (on préfère la recherche directe que séquentiel).

◆ Latitude et longitude

Représentent latitude et longitude de la balise courante.

◆ Cap, distance et Flmin

Représentent les informations les plus importantes dans la construction d'une route.

◆ Construction de la sous BDD (Tables)

Au moment de lancer du programme de construction de la route il y'aura une création des sous tables à partir d'une aire limitée dans le but de minimiser le temps de la recherche dans les tables originales. La sous table crée aura la structure suivante :

- Catégorie.
- Indice.
- Latitude.
- Longitude.

◆ Choix du cas trivial dans la récursivité

Dans note cas, le cas trivial signifie l'existence de l'arriver, le programme sort de la récursivité, mais dans le cas général il doit joindre la balise suivante a condition que l'arrivée n'existe pas il n y aura pas une intersection de la route avec une zone interdite.

7- FONCTIONS SUR LES ARBRES

Il été nécessaire d'introduire les arbres pour réaliser une multitudes de routes.

◆ Créer arbre

Cette fonction ou programme crée un arbre en forêt sous forme d'un tableau de dimension (1) à partir de l'info.

Arbre = créer arbre (info).

Arbre. Info = info.

Arbre.f₁ = -1.

Arbre. père = -1.

Arbre. Frère = 1.

◆ Créer fils

[arbre, pos] = Créer fils {arbre, ipère, info}

Ce programme crée un fils du nœud indicé par ipère dans l'arbre, par info dans le champ info et sa position dans le nouveau arbre (table) dans « pos », en effet (3-2) notre programme « pos » et toujours le dernier élément dans la table.

◆ Parcours

Feuille à la tête (racine) : Ce programme renvoie le parcours « info » de l'arbre de la feuille donnée par son indice jusqu'à la racine dans le vecteur « vect »

Vect = feu2tete (arbre, ifeu);

Exemple : Si on prend l'exemple suivant (3-2, forme statique)

Vect = feu2 tête (arbre, 3) ⇒ vect = (E,B,A)

◆ Conversion de l'arbre a une matrice

Ce programme converti l'arbre a une matrice par un parcours général .

[mat, mn] = arbre2mat (tete, ind, n, mat);

Exemple : Si on reprend l'exemple précédent donc on aura :

[mat, mn] = arbre2mat (arbre, 1,0, [])

ind : en commence le parcours à partir de la racine.

n : La dimension de la matrice initiale (mat = []).

mn : La dimension de la matrice finale.

⇒ mat = A B E

A B F

A C G

A B

mn = 4 (le nombre de lignes).

V- PRESENTATION DU LOGICIEL

Pour le tracé d'une multitude de route ce logiciel traite différents programmes, qu'on va les détailler par la suite avec des organigrammes, et exploite des tables structurées qui sont l'équivalent des bases de données dans d'autres langages.

I- TABLES STRUCTUREES

Pour la réalisation de ces tables, on a eu recours à différentes sources, qui sont les AIP, les cartes JEPPESEN et certain fichier contenant des bases de données sur les différentes stations à travers le monde, ces fichiers de données sont utilisés par des compagnies aériennes national.

Conception des structures

Les structures des tables ont été choisit de façon à répondre aux besoins de notre travail, ces derniers comprennent des champs communs, qui sont les suivants :

- Région.
- Code.
- Latitude.
- Longitude.

A l'exception de la table du Flmin.

♦ Création de navigateur

Le but principal du navigateur est la mise à jour de la table et aussi, il va nous permettent d'ajouter, supprimer, le parcours de la table, et enfin sauvegarder.

♦ Création de l'afficheur

La création de la fenêtre est possible grâce à l'outil 'guide' du Matlab et les instructions suivantes :

- Findobject.
- Get.
- Set.

2- STRUCTURE DE LA TABLE VOR

La structure de la table VOR est constituée de 11 champs :

1. T(i).CONTINENT.
2. T(i).PAYS.
3. T(i).NOM : Dans le cas général on lui donne le nom de la région où il se trouve.
4. T(i).CODE : Il est défini par 3 ou 2 lettres pour identifier la station.
5. T(i).LAT : C'est la position géographique de la station par rapport aux parallèles.
6. T(i).LONG : C'est la position géographique de la station par rapport aux méridiens.
7. T(i).FREQ : C'est la fréquence d'émission du signal de la station, cette fréquence est en Mhz.
8. T(i).TYPE : Soit en a un VOR ou un VOR/DME.
9. T(i).CLASSE : En quelque sorte ça définit sa nature d'exploitation c'est à dire soit un VOR de navigation, (high class) soit un VOR terminal.
10. T(i).ELEV: élévation par rapport au niveau de la mer, qui est donnée en ft.
11. T(i).VMN : la valeur de la déclinaison en ce point.

The screenshot shows a window titled "BDD VOR" with a form for data entry. The form fields and their values are as follows:

Continent	Afrique	
Pays	Algérie	
Region	ALGER	Rechercher
Code	ALR	
Latitude	3641.459	Nord
Longitude	312.929	Est
Elevation (M)	112.5	
Type	VOR/DME	
Classe	H/A	
Elevation (ft)	118	
Vari mag	-1.1	

On the right side of the form, there is a control panel with the following buttons:

- Ajouter
- Supprimer
- Save
- Quitter

TABLE VOR

Fig : 12

3- STRUCTURE DE LA TABLE NDB

La structure de la table NDB est constituée de 7 champs, avec des définitions similaires aux celles vu au VOR sauf la fréquence.

1. T(i).CONTINENT.
2. T(i).PAYS.
3. T(i).REGION.
4. T(i).CODE : le plus général on utilise un code de 2 lettres
5. T(i).LAT.
6. T(i).LONG.
7. T(i).FREQ : à la différence de celle de la VOR cette fréquence est en kHz.

The screenshot shows a graphical user interface for a database application. The window title is 'BDD NDB'. At the top, there is a search bar with the text 'Rechercher'. Below it, there are several input fields for data entry:

- Continent: Algerie
- Pays: Algerie
- Region: ALGIERS
- Code: 0A
- Latitude: 3646.855
- Longitude: 331.731
- Elevation (M): 342
- Vitesse (Kt): -1.1

There are also several buttons: 'Recherche' (next to the search bar), 'Ajouter', 'Supprimer', 'Save', and 'Quiter' (in a vertical stack on the right).

TABLE NDB

Fig : 13

4- STRUCTURE DE LA TABLE AEROPORT

Cette structure est constituée de 8 champs :

1. T(i).CONTINENT.
2. T(i).PAYS.
3. T(i).NOM : Le plus général c'est un nom de grandes personnalités qui ont marqué l'histoire du pays de l'aéroport, ou de la région de son implantation.
4. T(i).CODE : Code OACI composé de quatre lettres les 2 premières définissent le pays de l' aéroport.
5. T(i).LAT.
6. T(i).LONG.
7. T(i).ELEV.
8. T(i).VMN.

The screenshot shows a graphical user interface for a database application. The title bar reads 'BDD AEROPORT'. The main area contains a form with the following fields and values:

Continent	Algerie
Pays	Algerie
Région	Alger
Nom	HOUARI BOUMEDIENE
Code	DAAG
Latitude	3641.667
Longitude	313.016
Elevation (m)	82
VMN	-1.1

On the right side of the form, there is a vertical stack of buttons: 'Ajouter', 'Supprimer', and 'Quitter'.

TABLE AEROPORT

Fig :14

5- STRUCTURE DE LA TABLE DES POINTS GEOGRAPHIQUE

Points géographique

Ce sont des points définis par leurs coordonnées géographique est dépourvu de tous moyens radios, leur but est d'apporter plus d'informations au pilote et aux organes de control.

La structure de la table des points géographiques est constituée de 5 champs :

1. T(i).CONTINENT.
2. T(i).PAYS.
3. T(i).NOM.
4. T(i).LAT.
5. T(i).LONG.

TABLE POINT GEOGRAPHIQUE

Fig : 14

6- STRUCTURE DE LA TABLE DES ZONES INTERDITES

La structure de la table des zones interdites est constituée de 6 champs :

1. T(i).CONTINENT.
2. T(i).PAYS.
3. T(i).NOM.
4. T(i).FORME : Soit forme géométrique ou circulaire.
5. T(i).LAT.
6. T(i).LONG.

The screenshot shows a software window titled "BDD DAP". It contains several input fields and buttons:

- Continent: Afrique
- Pays: Algérie
- Code: DAP67
- La forme: forme geom
- Latitude: 26.6773, 26.8211, 26.9648, 27.0894, 27.1661, 27.3578
- Longitude: -7.4818, -7.7647, -8.0254, -8.2858, -8.4221, -8.4152, -8.4431

Buttons include "Ajouter", "Supprimer", "Save", "Quitter", and "Recherche". A map on the right displays a white polygon on a dark background. A "Elevation" field is also visible at the bottom.

TABLE DES ZONES INTERDITES

Fig : 15

7- STRUCTURE DE LA TABLE DES FLMIN

La structure de la table des Flmin est constituée de 3 champs :

1. T(i).LAT.
2. T(i).LONG.
3. VALEUR DE FLMIN.

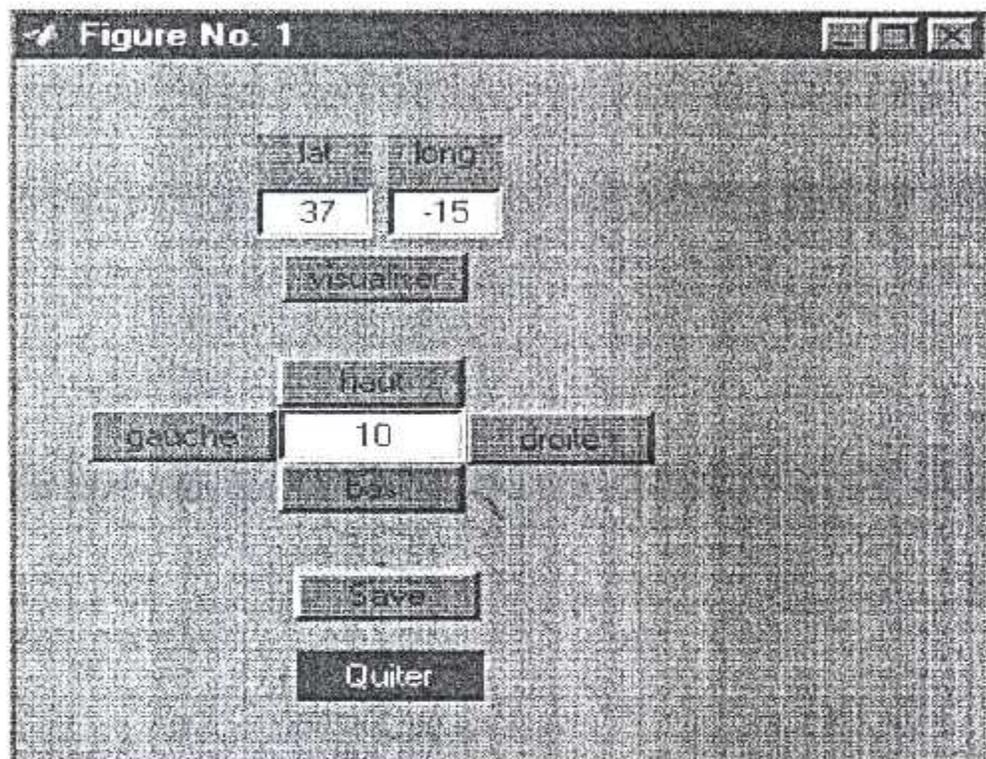


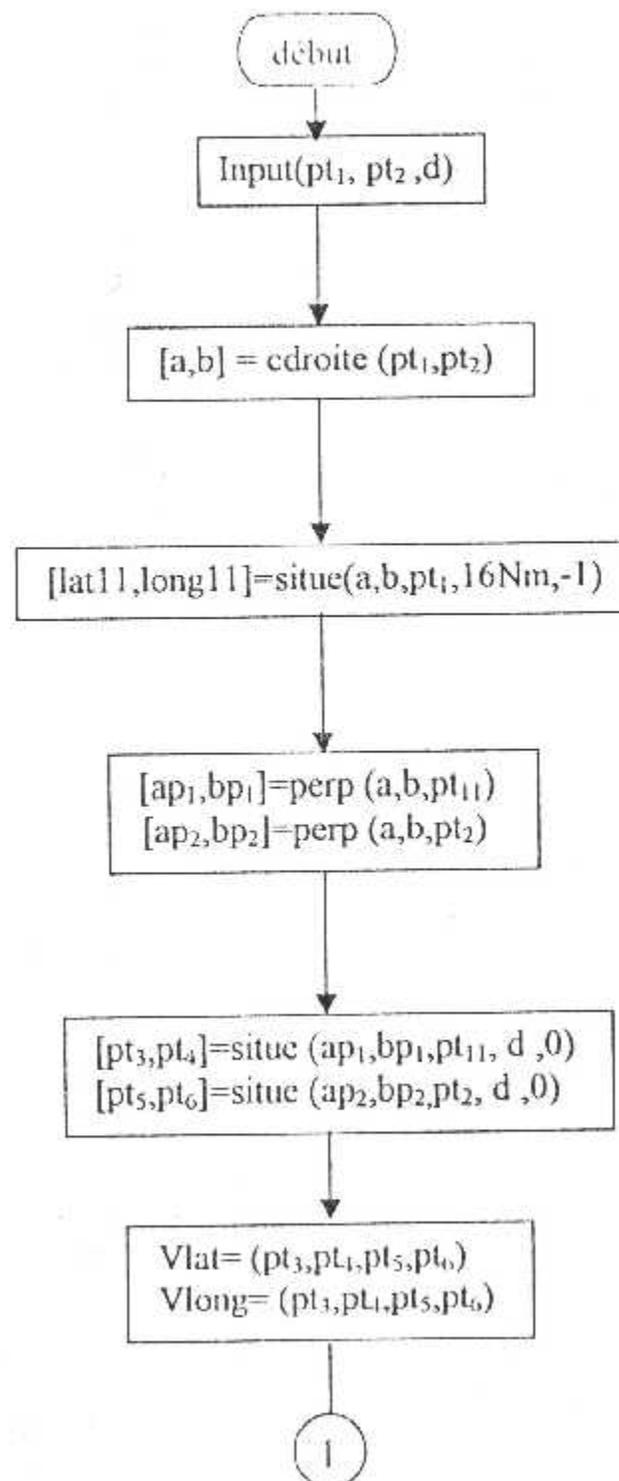
TABLE DE FLMIN

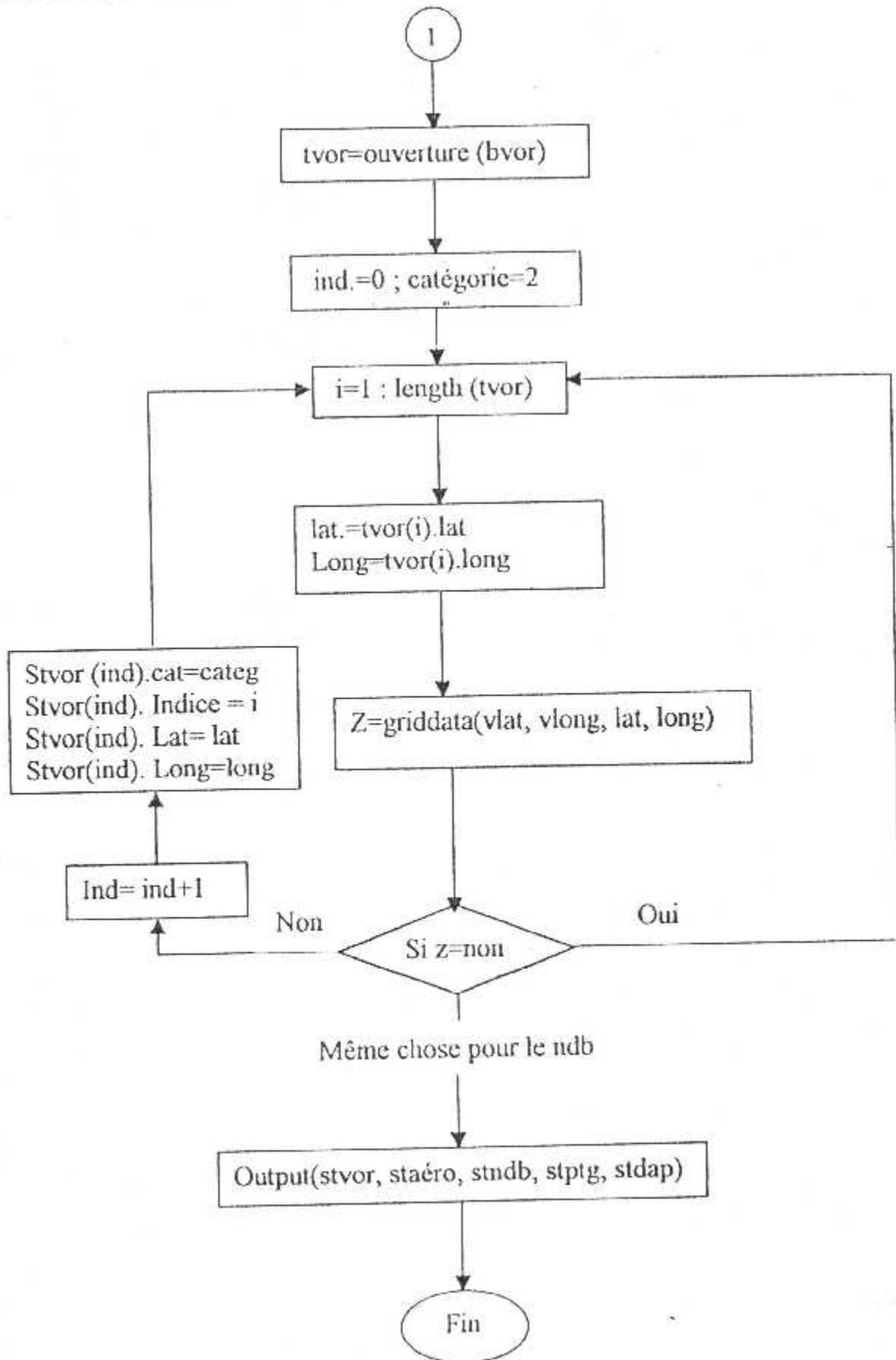
Fig : 16

VI- ORGANIGRAMMES

Dans le paragraphe suivant on va essayer de présenter les organigrammes des différents programmes utilisés pour la conception du logiciel.

1- ORGANIGRAMME DU PROGRAMME DE L'AIRE DE SELECTION

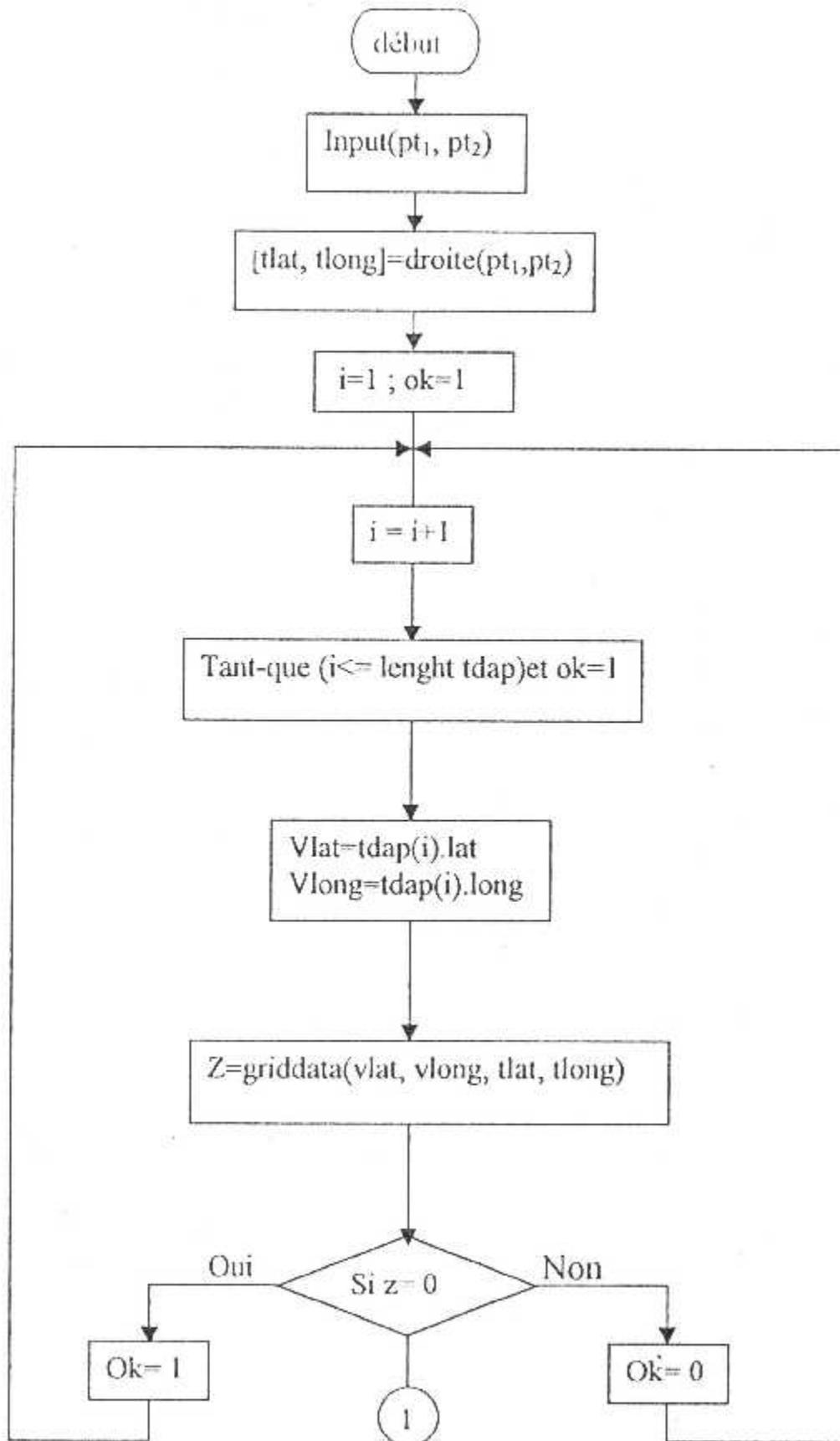


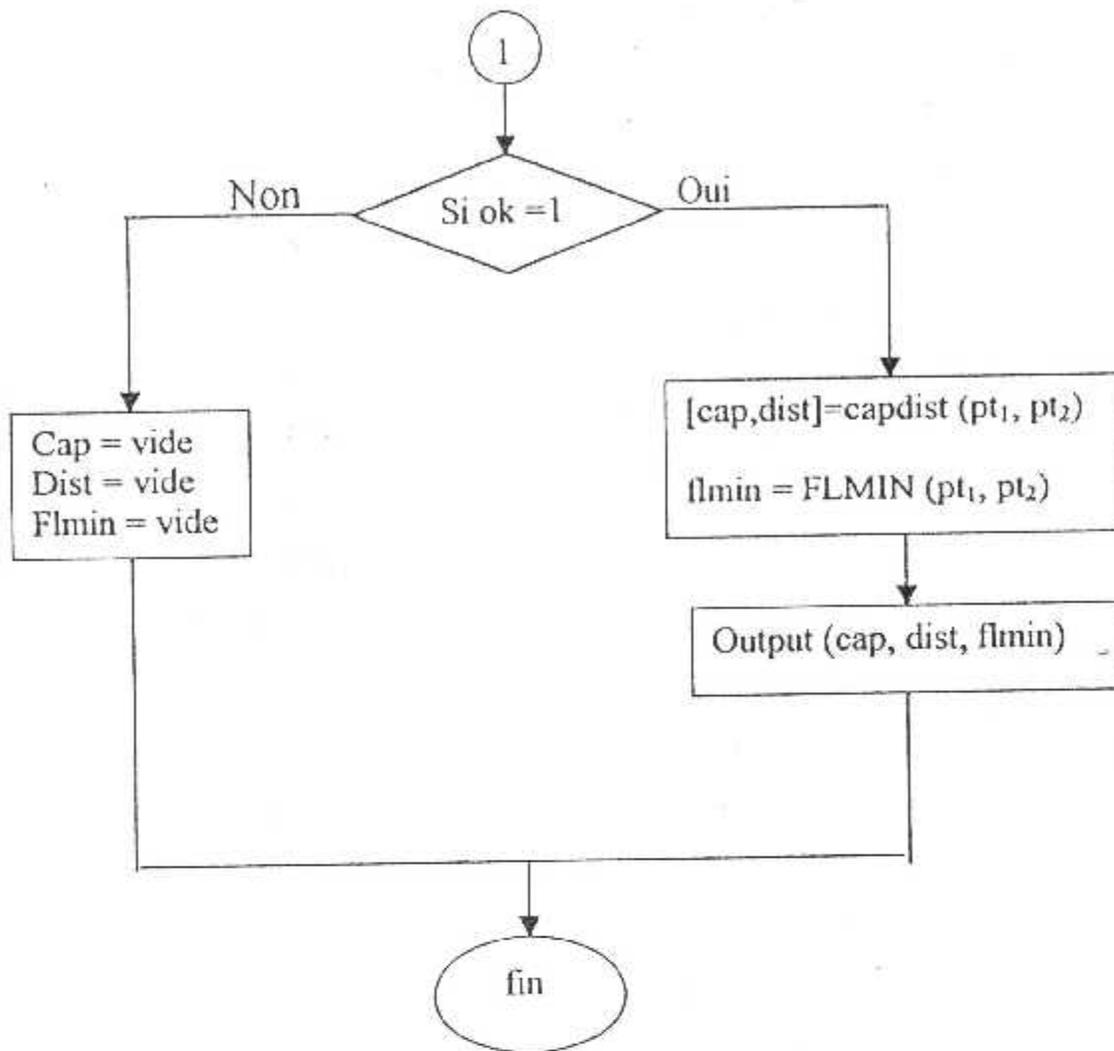


C'est l'organigramme d'un programme qui sert à limiter le secteur de sélection de station entre 2 points, et aussi à créer une sous base de donnée (voir paragraphe Construction de la sous BDD)

- Catégorie (voir paragraphe indice et catégorie)
- [lat11,long11] = situe (a, b, pt1, 16Nm, -1) cette instruction sert à déterminer un point situé sur droite prolongé de 16 Nm du premier point pt1 .
 - 1 : sur le prolongement de la droite par rapport au point choisie.
 - 0 : de part et d'autre du point choisi.
 - 1 : sur l'inverse du prolongement de la droite par rapport au point choisie.

2- ORGANIGRAMME DU PROGRAMME POUVOIR

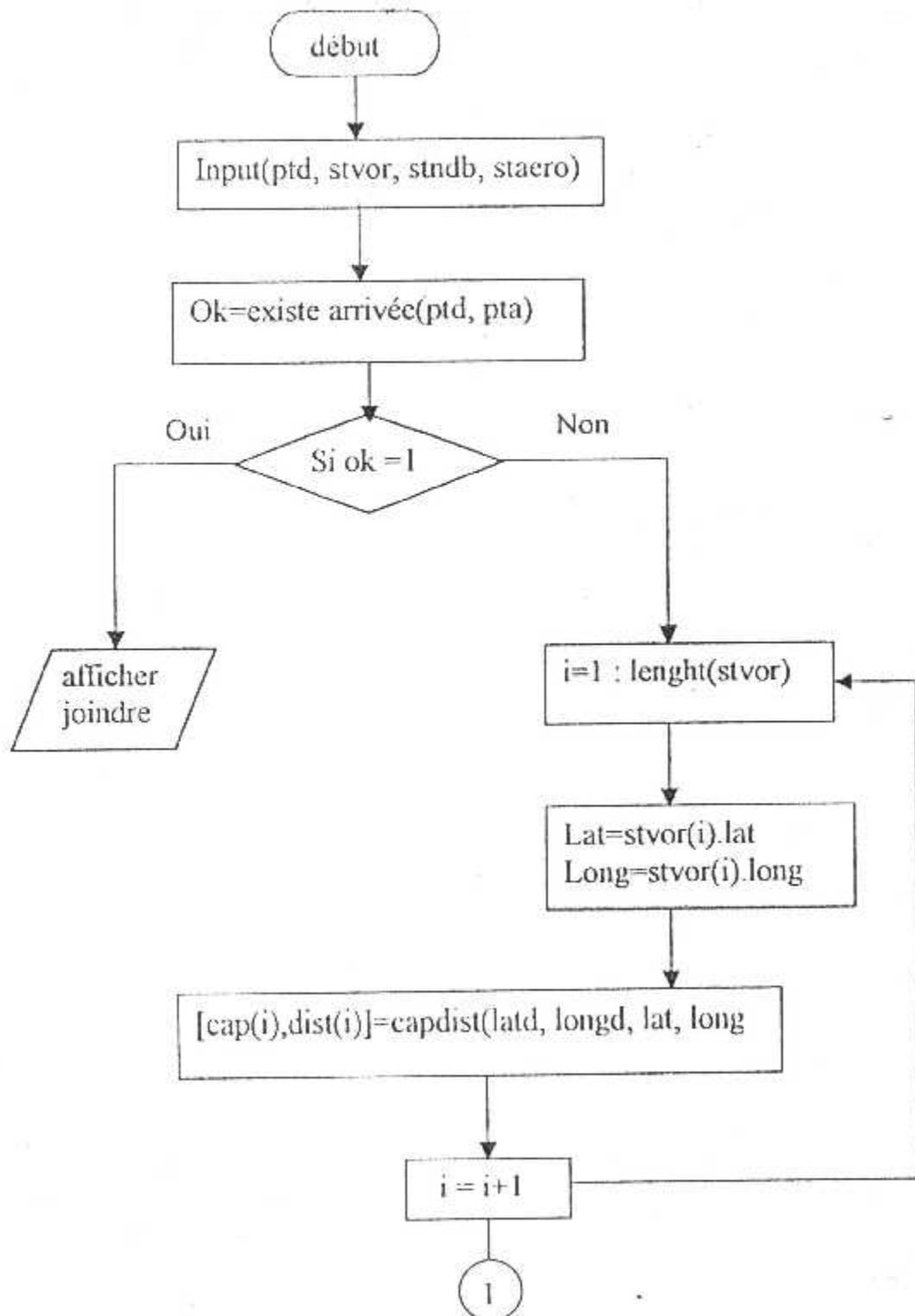


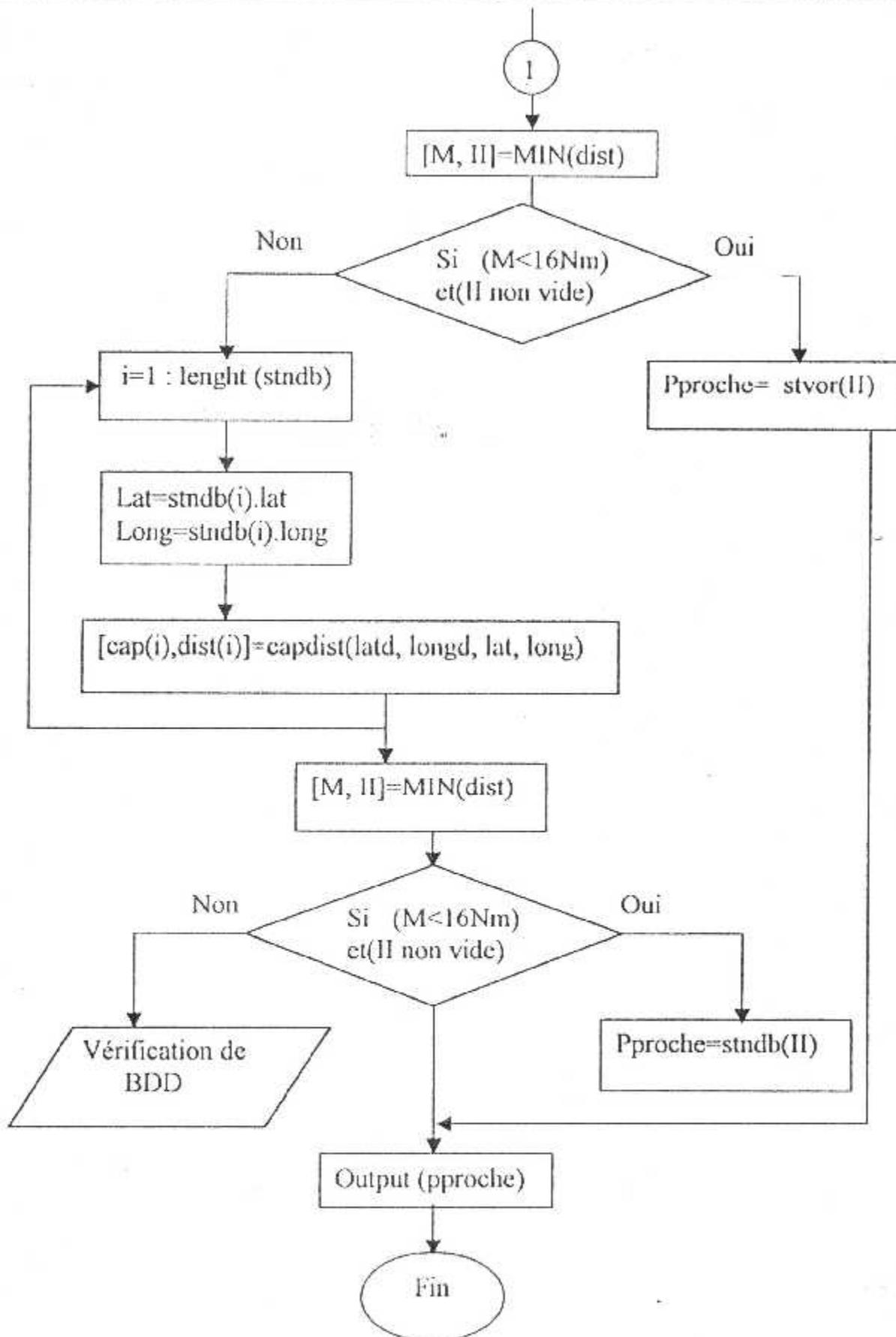


C'est l'organigramme d'un programme qui vérifie l'existence d'une intersection de la route avec une zone interdite, en utilisant le mot OK comme suit :

- OK = 1 \Rightarrow pas d'intersection \Rightarrow route sélectionnée.
- OK = 0 \Rightarrow existe intersection \Rightarrow route non sélectionnée.

3- ORGANIGRAMME DE LA SELECTION DE LA STATION LA PLUS PROCHE





Ce programme sélectionne la station la plus proche dans un rayon de 16 Nm de l'aérodrome de départ.

- OK = 1 existe arrivée dans le cercle de rayon de 16 Nm.
- OK = 0 pas d'arrivée \Rightarrow recherche des stations dans ce rayon.

4 ORGANIGRAMME DE SELECTION DE MULTITUDE BALISE

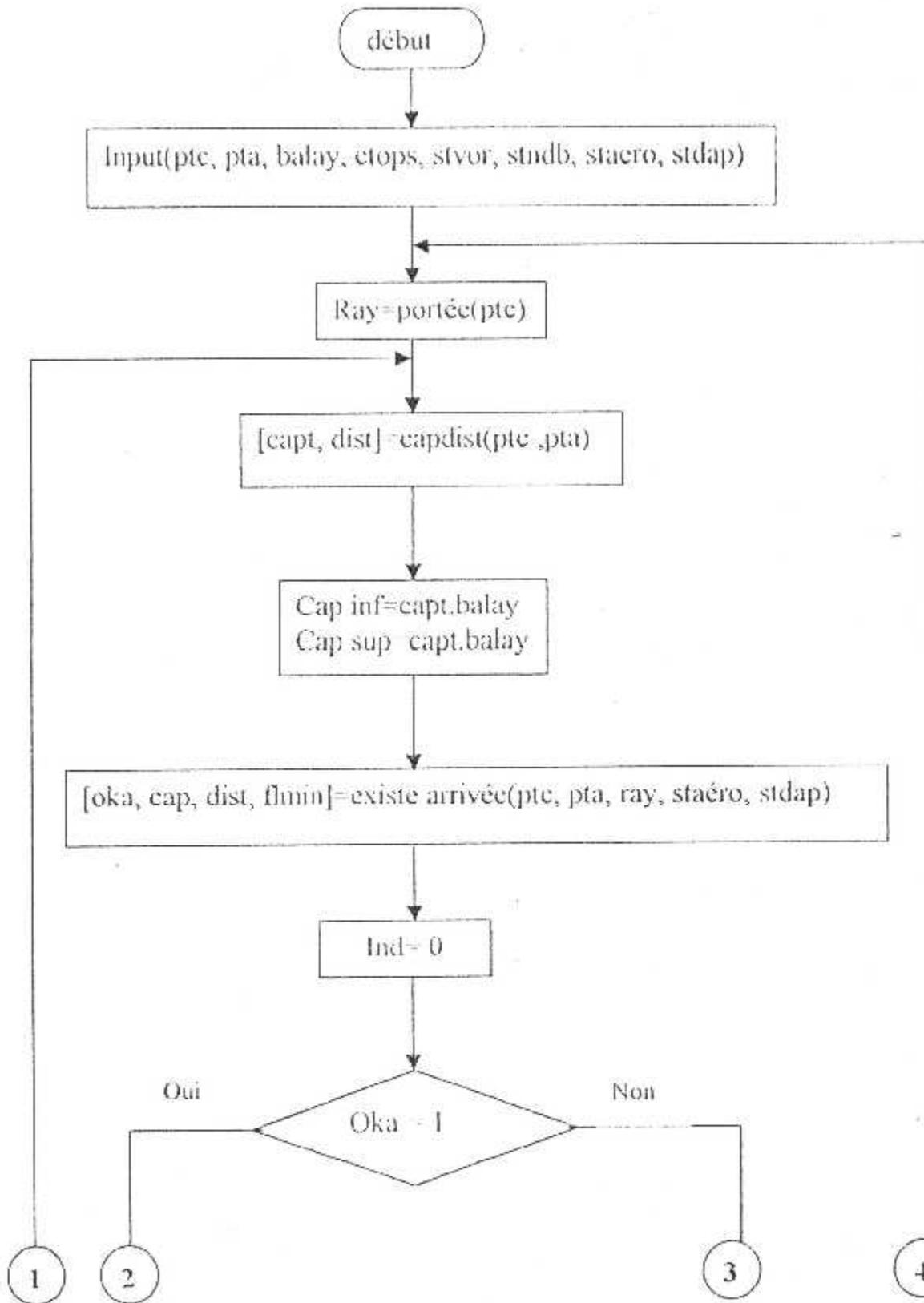
Vu l'importance de ce programme alors on va donner des explications sur son déroulement.

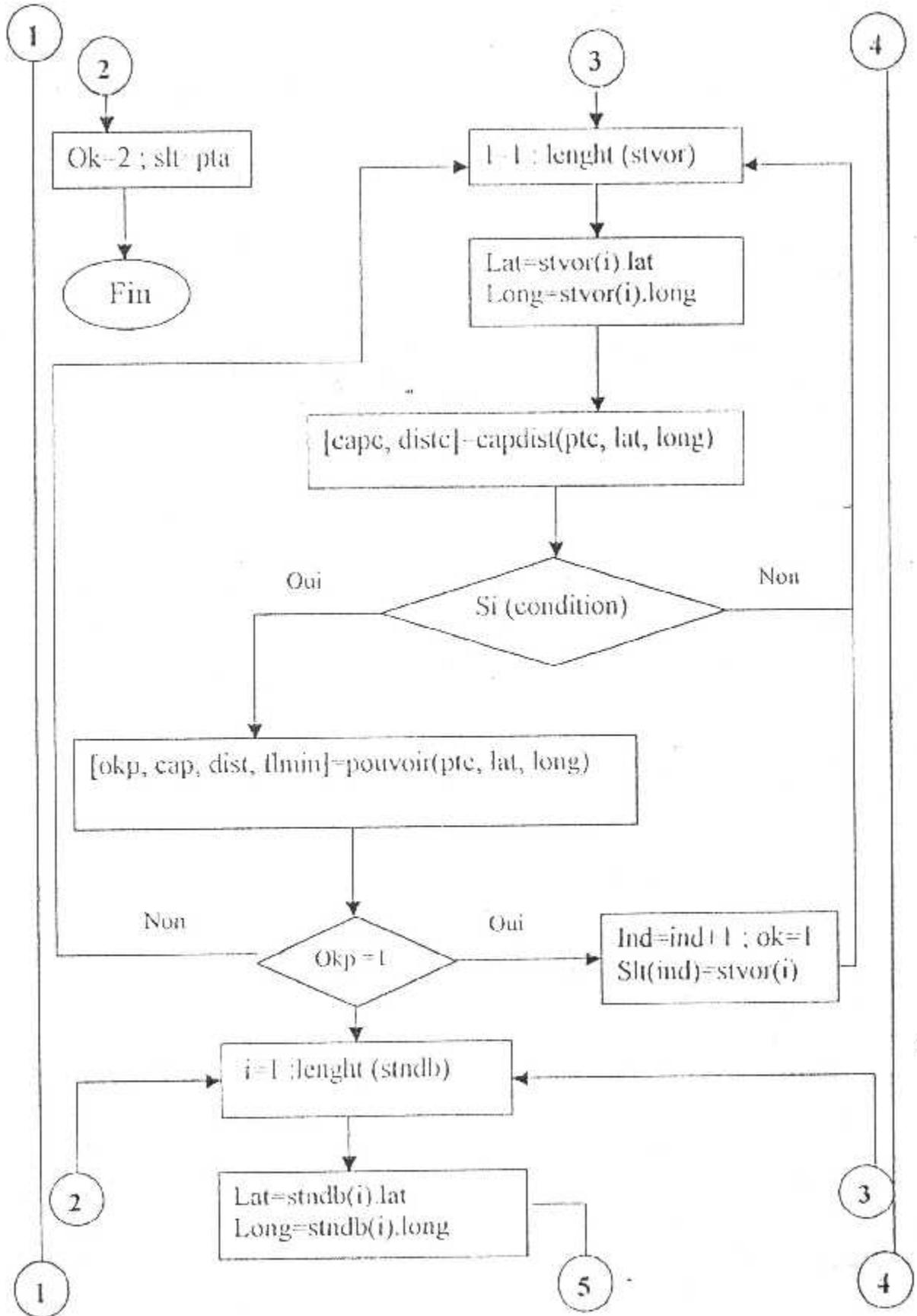
A partir de la balise ou station courante le programme effectue un balayage donné, par exemple 45° de part et d'autre de l'axe qui joint le point courant à l'arrivée, avec un rayon qui est égal à la portée du point courant (VOR ou NDB), cette méthode va nous servir d'obtenir une aire qui a la forme d'une portion d'un cercle, qui sera appelée aire de sélection à l'intérieur du quel sera détectée les différentes balises, et aérodromes.

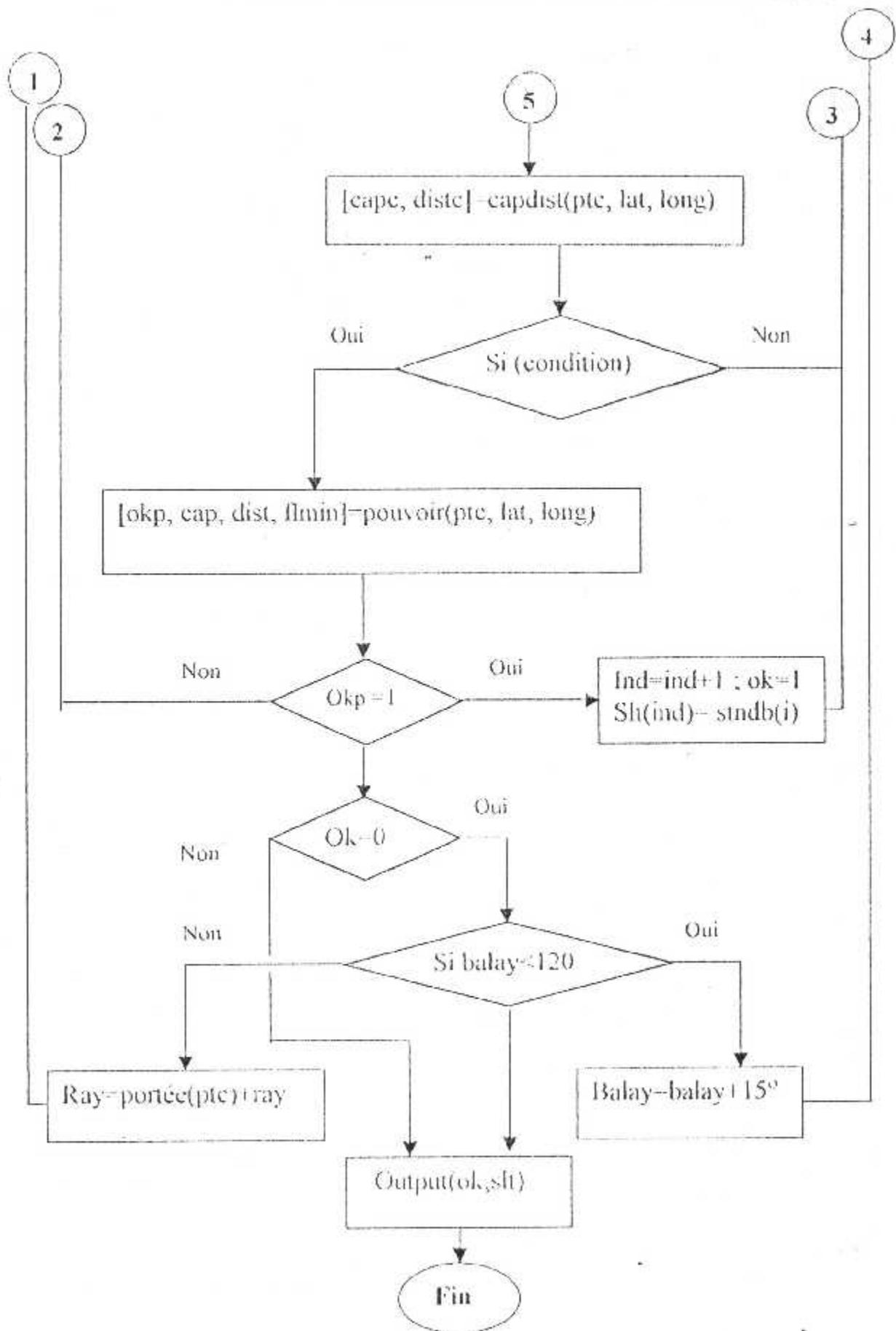
Si l'arrivée existe dans l'aire joint le point courant et l'arrivée à condition qu'il n'existe pas une intersection de la route avec une zone interdite.

Dans le cas contraire Toutes balises inclus dans l'aire de sélection, sera sélectionnée à condition que la route qui joint la balise (point courant) et une autre détectée n'aura pas une intersection avec une zone interdite (balise sélectionnée devient suivant du courant) Voir paragraphe (arbre et fils) et vu qu'on peut pas savoir le nombre de station sélectionnée, le nombre de routes choisies, et aussi si l'arrivée existe dans chaque balayage alors, on a utilisé la récursivité dans notre programme, et le cas trivial (sortie du programme si l'arrivée existe).

Ces étapes se répètent pour toutes balises sélectionnées par une simple instruction (courant \leftarrow suivant).



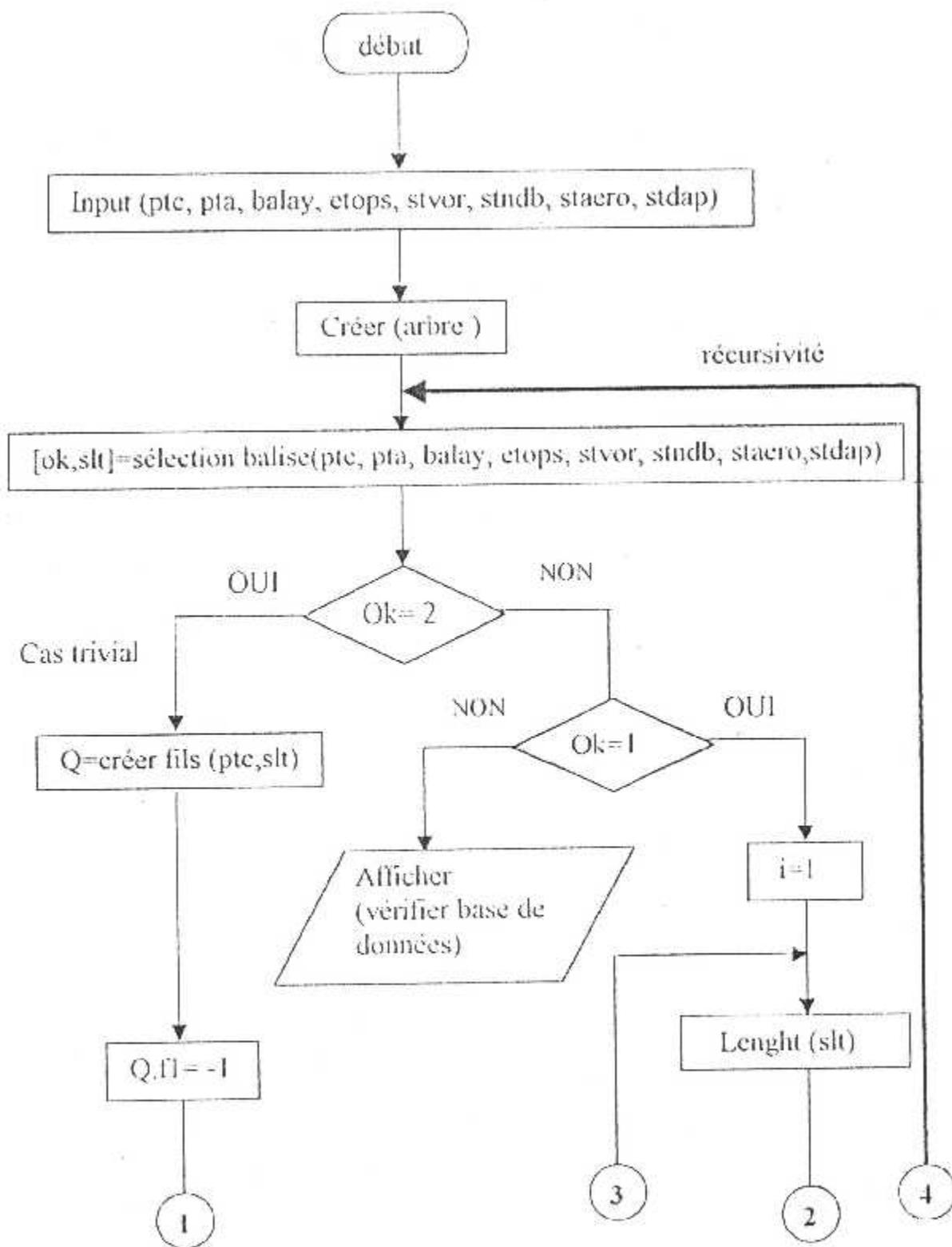


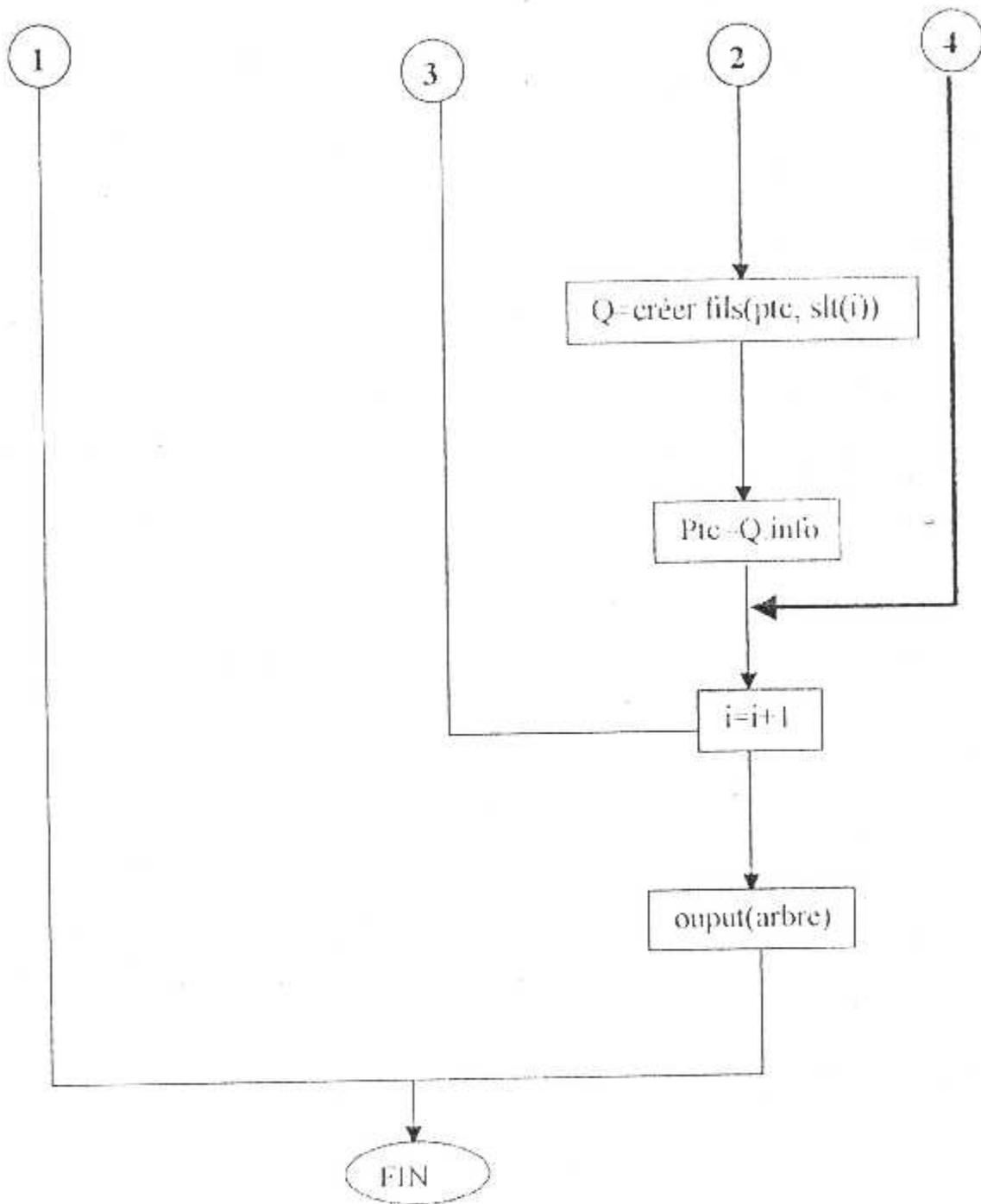


Condition : $\text{diste} \leq \text{rayon}$, et $\text{cap inf} \leq \text{cape} \leq \text{cap sup}$

- cape : Cap du point courant.
- diste : Distance entre le point courant et le point suivant.
- Capt : Cap de départ
- Oka : C'est le résultat du test de l'existence de l'arrivée, et on a :
 - $\text{Oka} = 1 \Rightarrow$ existe arrivée.
 - $\text{Oka} = 0 \Rightarrow$ pas d'arrivée.
- Okp : C'est le résultat du test de l'existence d'une intersection entre la Route et une zone interdite.
- Balay : L'angle de balayage.
- Sl : Sélection.
- Ok : Le résultat de l'exécution du programme.
 - $\text{Ok} = 0 \Rightarrow$ aucune sélection (vérification de la BDD)
 - $\text{Ok} = 1 \Rightarrow$ existence des balises (VOR et NDB) \Rightarrow récursivité.
 - $\text{Ok} = 2 \Rightarrow$ existe arrivée \Rightarrow cas trivial.

5- ORGANIGRAMME DE CONCEPTION DE MULTITUDE DE ROUTE

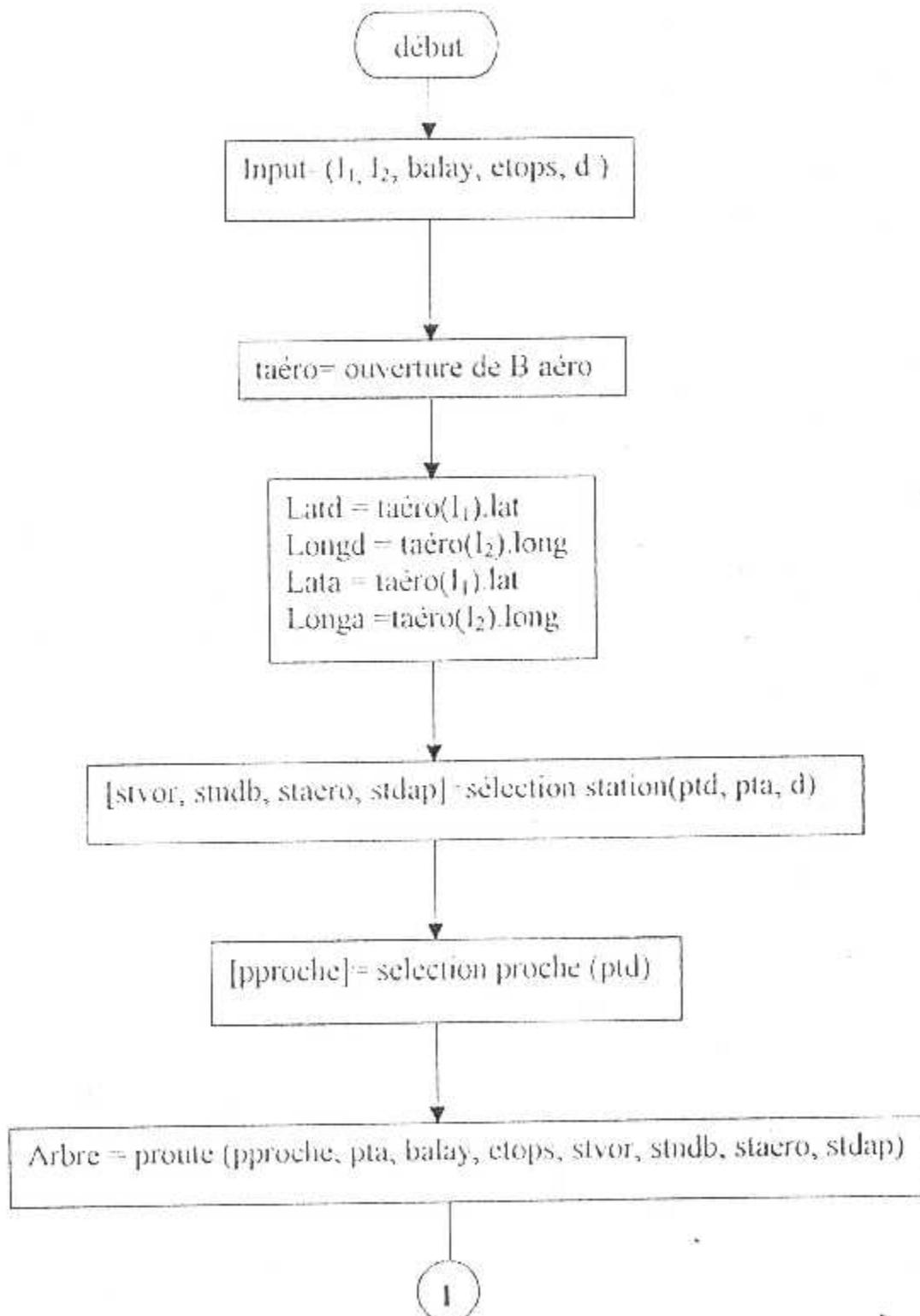


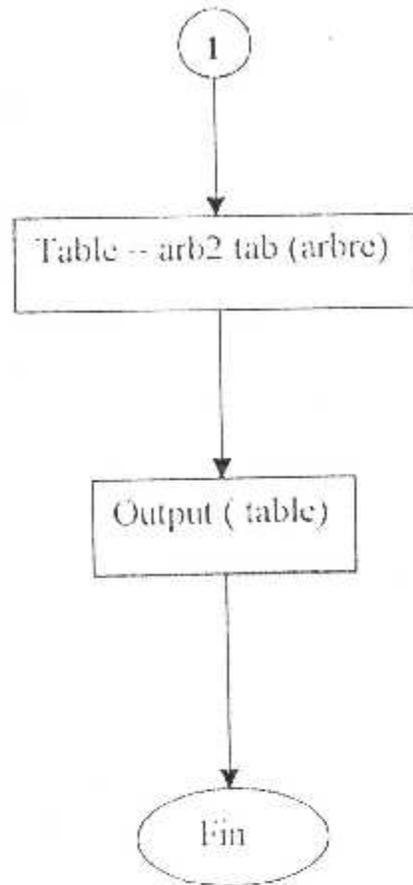


C'est l'organigramme d'un programme qui crée une multitude de route grâce au arbres et à l'appel du programme de sélection de multitude de balise.

6- ORGANIGRAMME DES ROUTES ENTRE DEUX AERODROMES.

C'est l'organigramme de programme final, et ce programme fait appel à tous les programmes vus précédemment. Il faut rappeler que dans ce programme le point courant devient point ou balise proche.





I_1 : Indice de l'aérodrome de départ.

I_2 : Indice de l'aérodrome d'arrivée.

Table = arb2 tab (arbre) \Rightarrow conversion de l'arbre à une table pour faciliter l'affichage des informations relatives aux routes.

7- PROGRAMME DE CALCUL DES REDEVANCES

Ce programme calcule les redevances selon les équations fournies par l'ENNA, (voir étude conceptuelle) en utilisant une table qu'on appelle redevance, cette table si on l'interprète sous forme matricielle, elle aura 193 lignes qui représentent le nombre des pays du monde, et 3 colonnes, qui sont les taux unitaires. Dans la table pour chaque pays on saisit les taux qui lui est associé.

La réalisation de cette table est possible grâce à « map legend »
(voir WorldMtx)

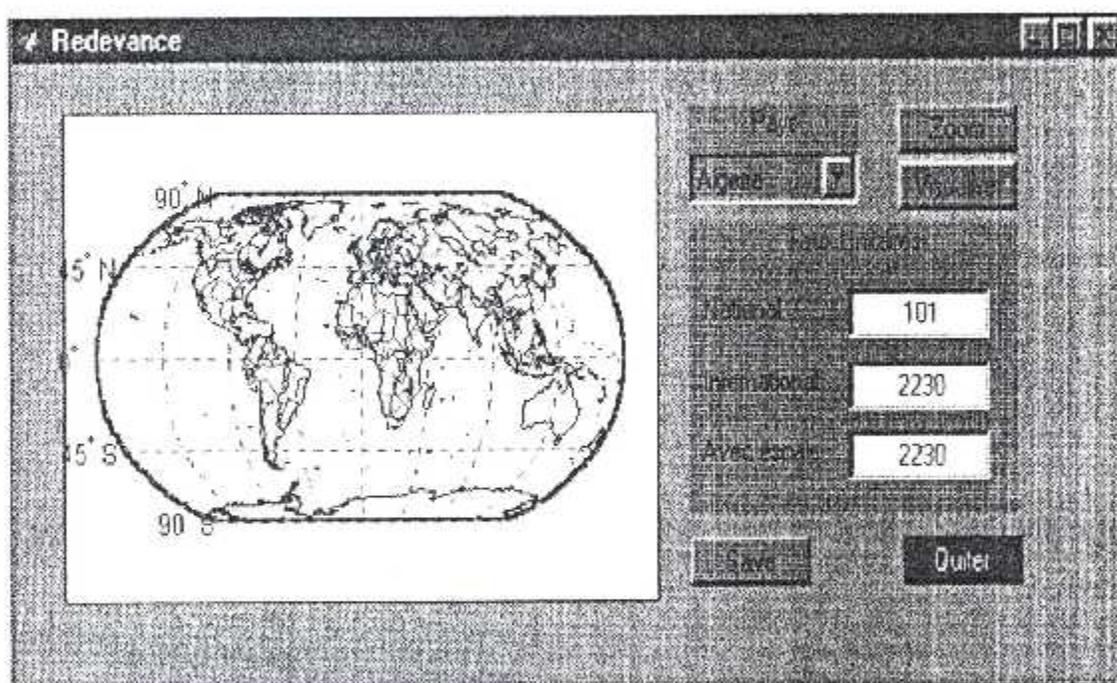


TABLE DES REDEVANCES

Fig : 17

Pour faire la différence entre un vol national et un autre sans escale, il y'aura une comparaison des indices de « map legend » des deux points (point de départ et point d'arrivé)

Pour un vol avec l'escale, c'est l'utilisateur qui doit le préciser et ça sera comme valeur d'entrée.

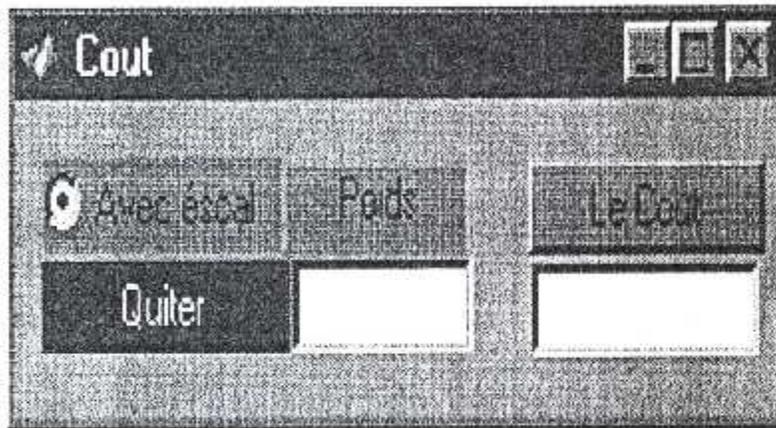


Fig. 18

VII – EXEMPLE

Afin de comprendre le déroulement de l'exécution des programmes, on a donné un exemple de tracer des routes possibles entre l'aérodrome Houari Boumediene d'Alger qui a pour code DAAG et l'aérodrome de Constantine le DABC.

La première chose à faire c'est donné les valeurs d'entrées qui sont les codes OACI des deux aérodromes, la valeur de la règle Etops et d qui nécessaire pour limiter l'aire de sélection, par défaut cette valeur est de 3° . Pour l'exécution il y' aura ouverture de la table aérodrome afin d'importer les coordonnées des deux aérodromes et les projetés sur une carte Lambert limitée à l'aire de sélection, cette aire est crée par le programme de l'aire de sélection, pour notre cas cette aire est représentée par une surface délimitée par quatre points ayant pour coordonnées :

Point 1 : 33° 68.667' N et 003° 13.016' E

Point 2 : 39° 68.667' N et 003° 13.016' E

Point 3 : 33° 17.2' N et 006° 37.2' E

Point 4 : 39° 17.2' N et 006° 37.2' E

Ce n'est que les stations qui sont à l'intérieur de cette aire qui seront à leur tour projetées sur la carte, une fois cette tâche terminée il y'aura appel au programme du point le plus proche et c'est ce point qui sera le premier nœud de notre forêt, ce dernier fait appel au programme de conception des routes en utilisant le programme pouvoir pour la sélection finale de la route, il faut préciser que pour chaque station sélectionnée il y'aura utilisation des fonctions ou programmes vu dans le paragraphe des arbres, c'est à dire que chaque station devient un nœud et vérifie si elle a un père, un frère ou un fils.

L'affichage des résultats (cap ou route, Flmin, et distance) est possible grâce à la conversion de chaque arbre qui représente une route à une table

Résultats de notre exemple :

Route	Station ou A/D	Flmin	Cap	Distance (Nm)
Première	DAAG	83	199	0.21
	ALR	85	141	91.07
	BSA	95	67	117.48
	DABC	0	0	0
Deuxième	DAAG	83	199	0.21
	ALR	99	89	87.11
	BJA	89	108	81.07
	DABC	0	0	0
Troisième	DAAG	83	199	0.21
	ALR	99	81	88.03
	DEL	89	116	85.75
	DABC	0	0	0

CONCLUSION

Notre étude nous a permis de concevoir un outil informatique pour le tracé des multitudes de routes entre deux points, en évitant bien sur les zones interdites et en respectant la réglementation. Le résultat de cette étude consiste à déterminer trois informations qui sont capital pour l'exécution d'un vol, ces informations sont : le Cap, le Flmin et la Distance de chaque route, en plus on a ajouté le coût de survol.

Certains paramètres étés impossibles de les prendre en considération pour cause de non-disponibilité des informations les concernant et on plus ils ne sont pas très influents sur notre travail, permis ces paramètres, on peut cité le Flmax, zone dangereuse et zone réglementée.

Ayant la certitude que cet outil est loin d'être exploiter dans le transport aérien puisqu'il est limité à quatre pays de l'Afrique du Nord et aussi certains paramètres nécessaires pour sa réalisation, manqués de précision, c'est pour ces raisons que nous espérons qu'il sera développé et amélioré avec plus de précision par les prochaines promotions afin qu'il soit généralisé sur le monde entier, et ceci dans le but d'obtenir un logiciel digne d'être exploiter par les compagnies aériennes.

Guide du logiciel

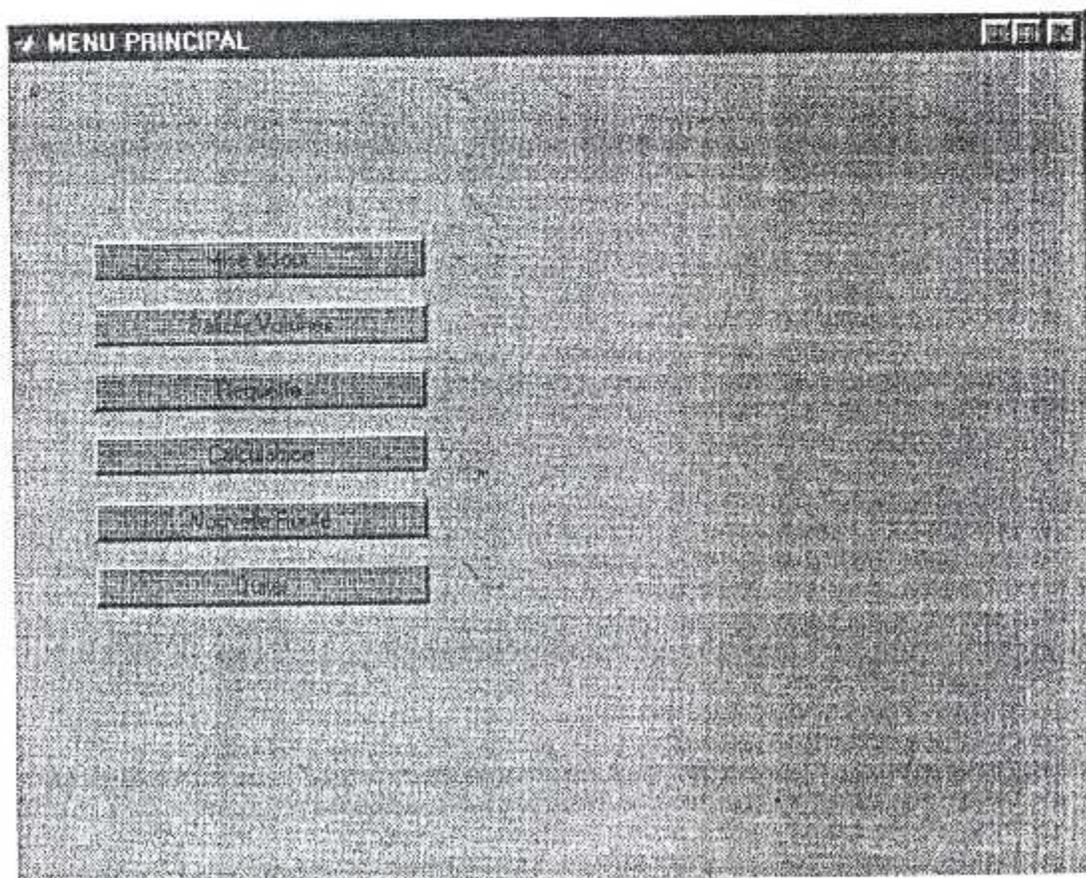
GUIDE D'APPLICATION

INTRODUCTION

La représentation de ce guide a pour but de faciliter la tâche aux utilisateurs, et surtout au personnel technique chargé de la préparation des vols grâce aux options qu'il possède, et aux fonctions de chaque bouton poussoir.

Pour commencer, on ouvre le MATLAB, ensuite on tape « menu » et puis « Entr », on aura ainsi une figure qui contient six boutons poussoirs qui sont les suivants :

- Mise à jour.
- Balises voisines.
- Requête.
- Calculatrice.
- Nouvel route.
- Quitter.



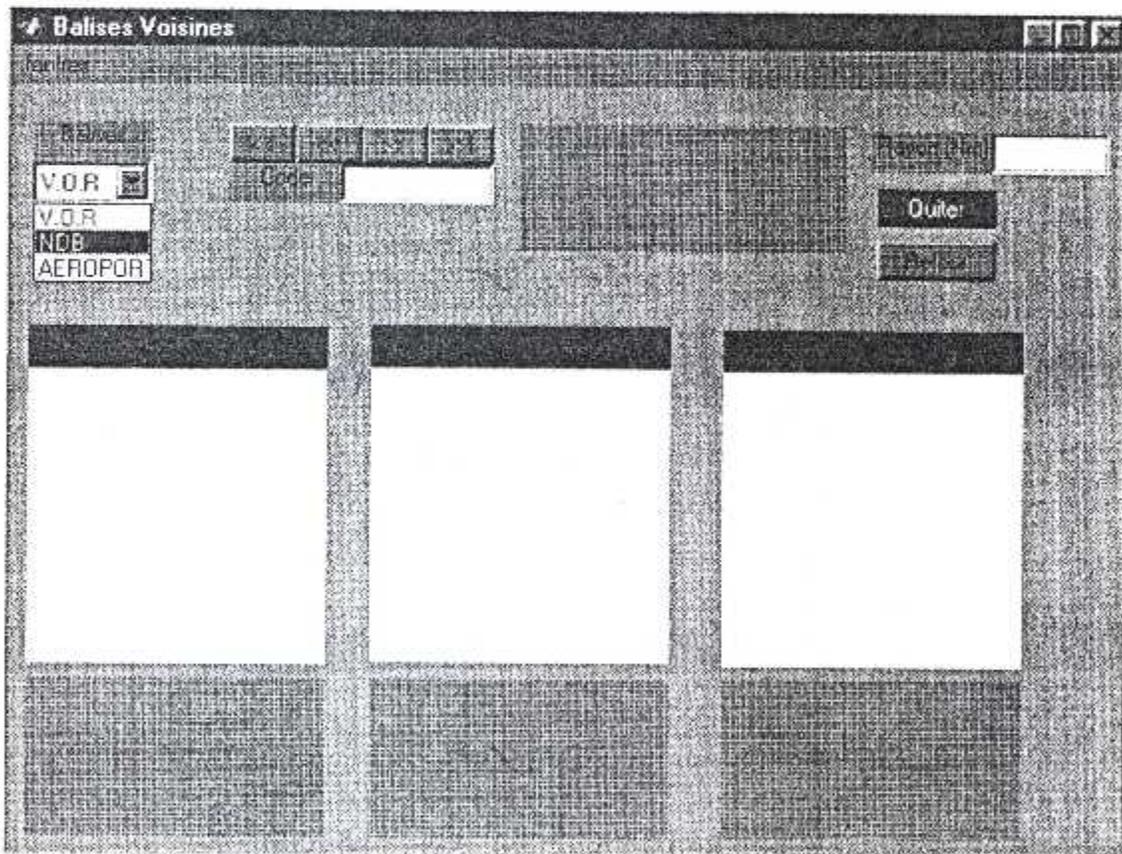
ACCESSOIRES

Dans la figure précédente on remarque que nous avons trois boutons poussoirs, qui ont moins d'importance que la mise a jour et la nouvelle route, qui sont les suivants :

- Balises voisines.
- Requête.
- Calculatrice.

◆ Balises voisines

Quant on click sur balises voisines, on obtient la figure suivante, qui contient :



- Types des balises (VOR, NDB, A/D)
- Code : On l'affiche « accès direct » ou bien on cherche par le navigateur « accès séquentiel », et on aura le code et les coordonnées de la balise de sélectionné.
- Rayon (Nm) : On affiche la valeur désirée, puis appelé « Entr » :

Nous aurons la liste des VOR, NDB, A/D inclus dans le cercle qui a comme centre le type de balise et le rayon désiré qu'on a affiché comme le montre la figure suivante :

Exemple :

- Type de balise VOR (ALR)
- Rayon (250 Nm)

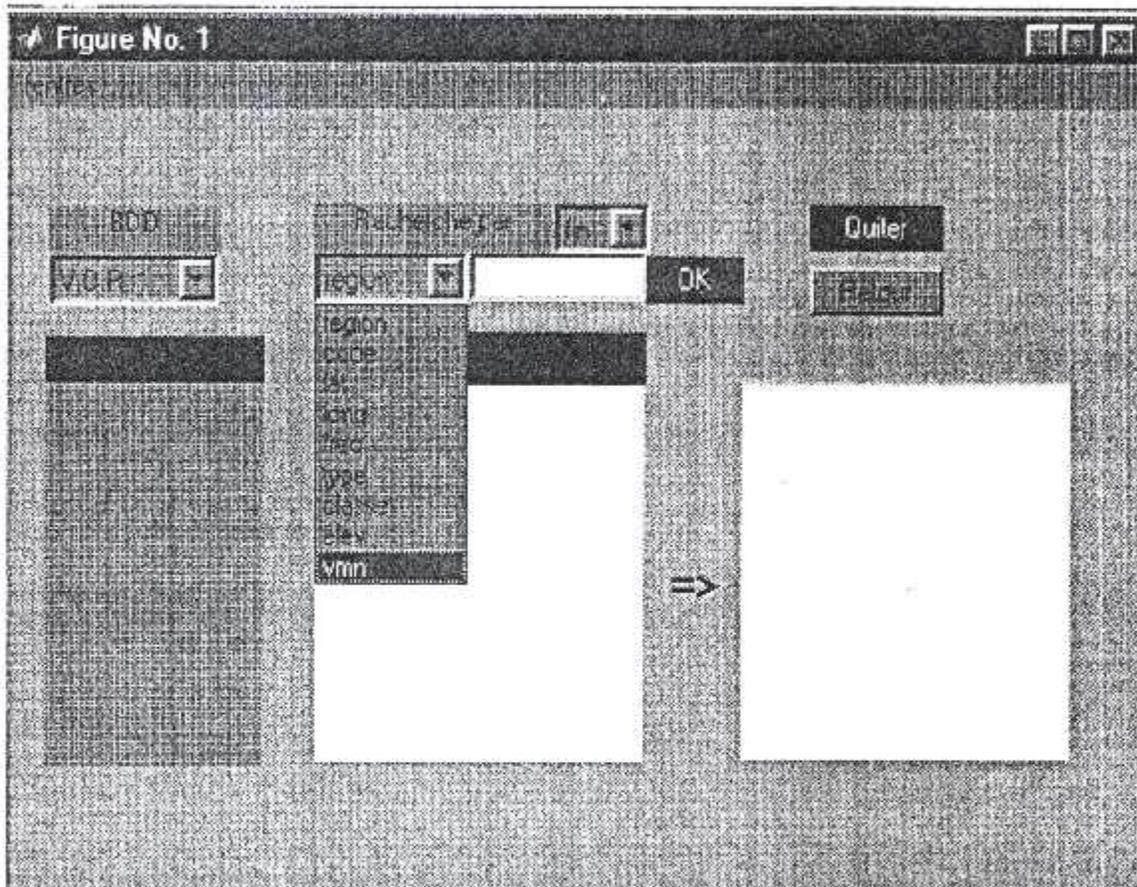
The screenshot shows the 'Balises Voisines' window with the following details:

- Top Panel:**
 - Type: VOR (selected)
 - Code: ALR
 - Frequency: 113.6 / 113.65 Hz
 - Mag: 12.929 B
 - Radius (Nm): 250
 - Buttons: Quitter, [F5]
- Main List:**

Code	Distance (Nm)
DAAG	0.2 Nm
DAAE	89.1 Nm
DAAD	94.6 Nm
DABC	95.2 Nm
CABB	117.3 Nm
CAAJ	127.9 Nm
DAAT	166.1 Nm
DAUI	185.8 Nm
DADB	195.9 Nm
DAAP	221 Nm
DADN	240.5 Nm
- Bottom Panels (Coordinates):**
 - Code: DAAG, Lat: 36°41'55"N, Long: 12°13'16"E
 - Code: ALR, Lat: 36°41'45"N, Long: 12°12'52"E
 - Code: DA, Lat: 36°48'55"N, Long: 12°31'33"E

◆ Requête

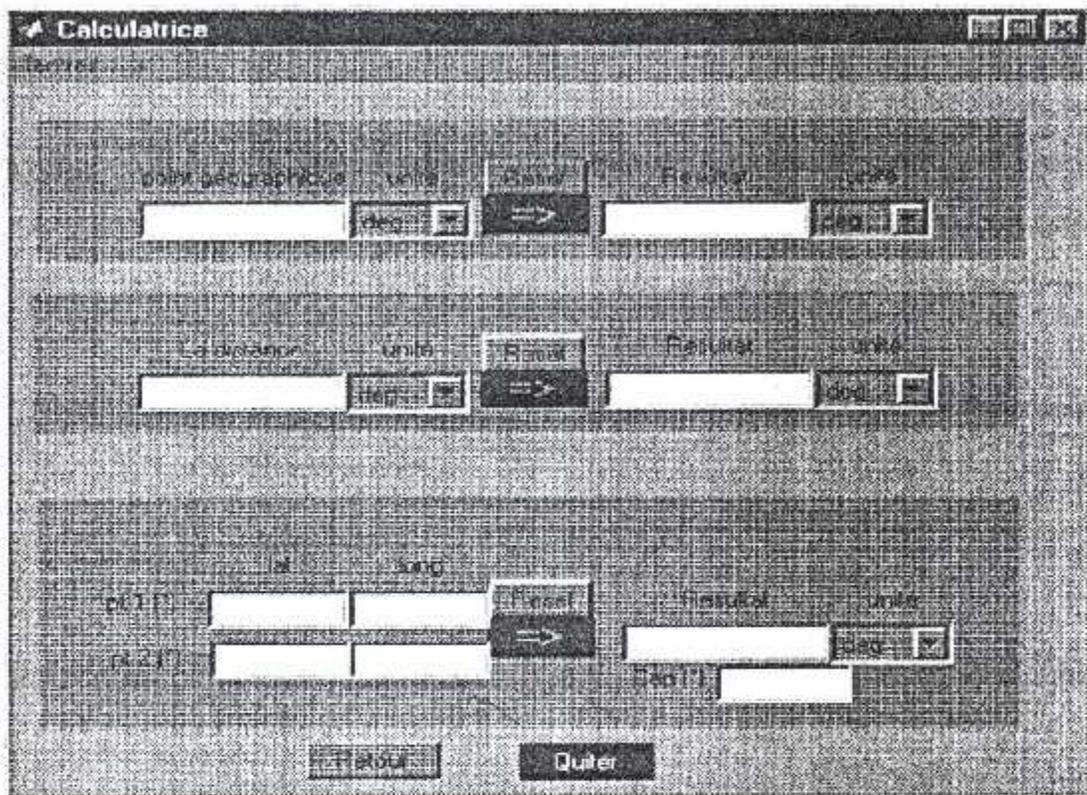
La requête a pour but de faciliter la recherche des bases de données sur différents champs : (VOR, NDB, A/D, PG), quand on click sur requête, nous aurons la figure suivante :



On utilisant le bouton poussoir « code », nous aurons plusieurs champs de recherches : région, code, lat, long, freq, type, classe, elev, Vmn comme le montre la figure si-dessus.

◆ Calculatrice

Elle joue un rôle important surtout dans la conversion des unités. On click sur le bouton poussoir calculatrice et on aura la figure suivante :

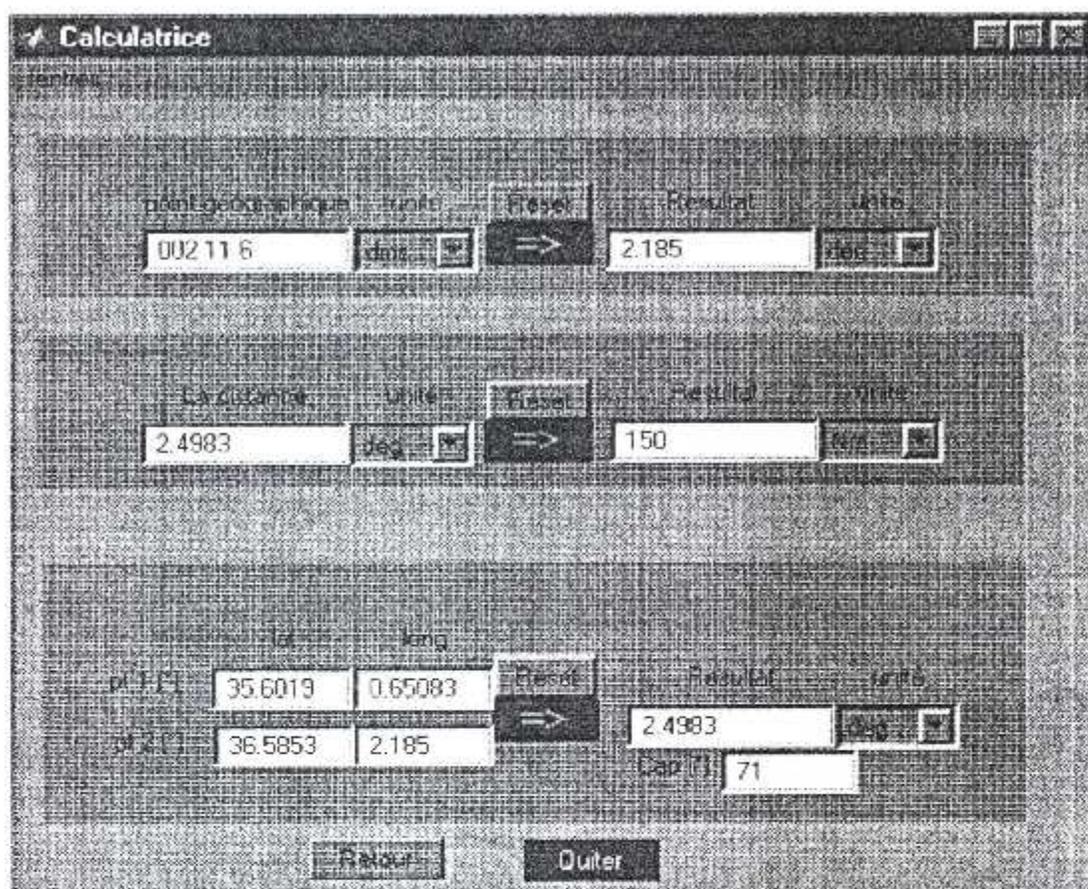


Nous avons une table pour les points géographiques qui contient les unités nécessaires pour la conversion (deg, dms, dm), une entre pour les valeurs qu'on veut afficher et une sortie pour les résultats et chacune avec les unités qu'on veut utiliser.

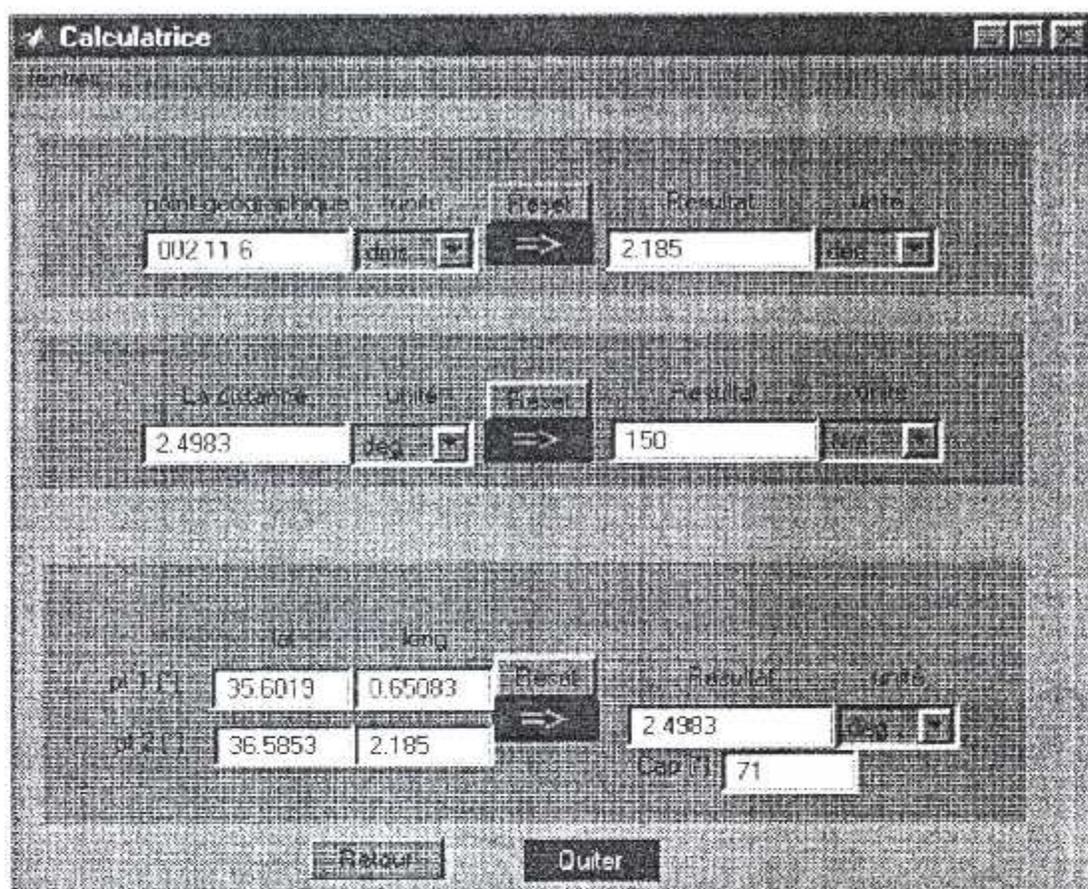
Nous avons aussi une autre table pour les distances qui contient les unités nécessaires pour la conversion de la distance (deg, Km, Nm, Sm), une entre pour les valeurs qu'on veut afficher et une sortie pour les résultats et chacune avec les unités qu'on veut utiliser.

Enfin nous avons une table pour avoir le cas entre deux points, on affiche à l'entrée les coordonnées (lat, long) de chaque point et on obtiendra un résultat à la sortie avec l'unité qu'on désire (deg, Km, Nm, Sm)

Exemple : voir les valeurs sur la figure ci dessus

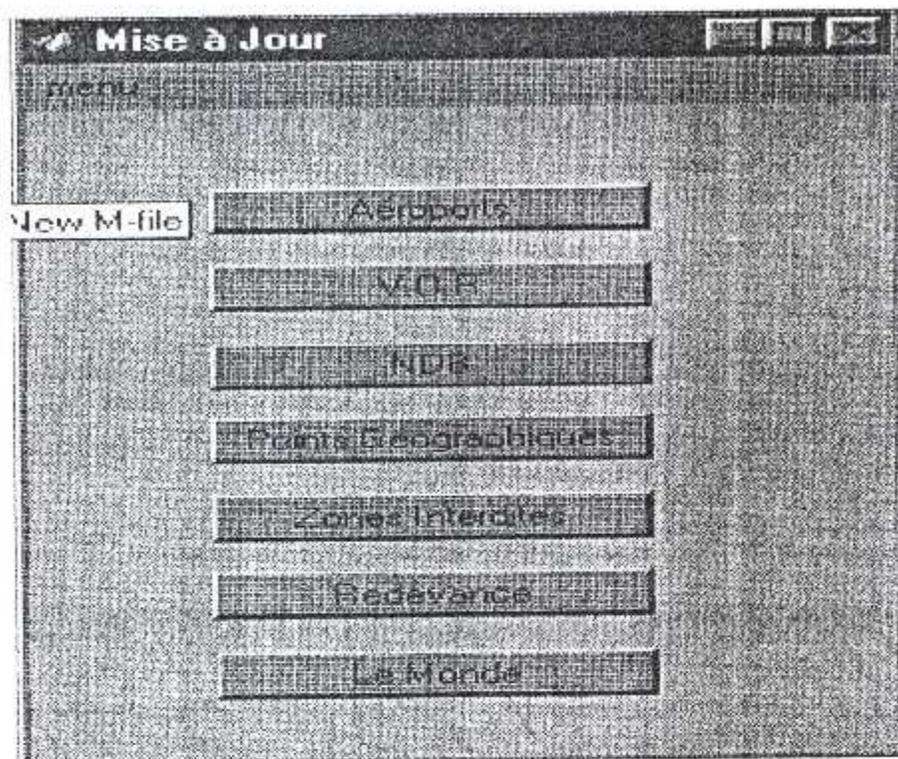


Exemple : voir les valeurs sur la figure ci dessus



MISE A JOUR

Quand on click sur ce bouton on obtient la figure suivante :



Cette figure contient les tables citées le chapitre III et qui ont été définie et expliquées et qui sont :

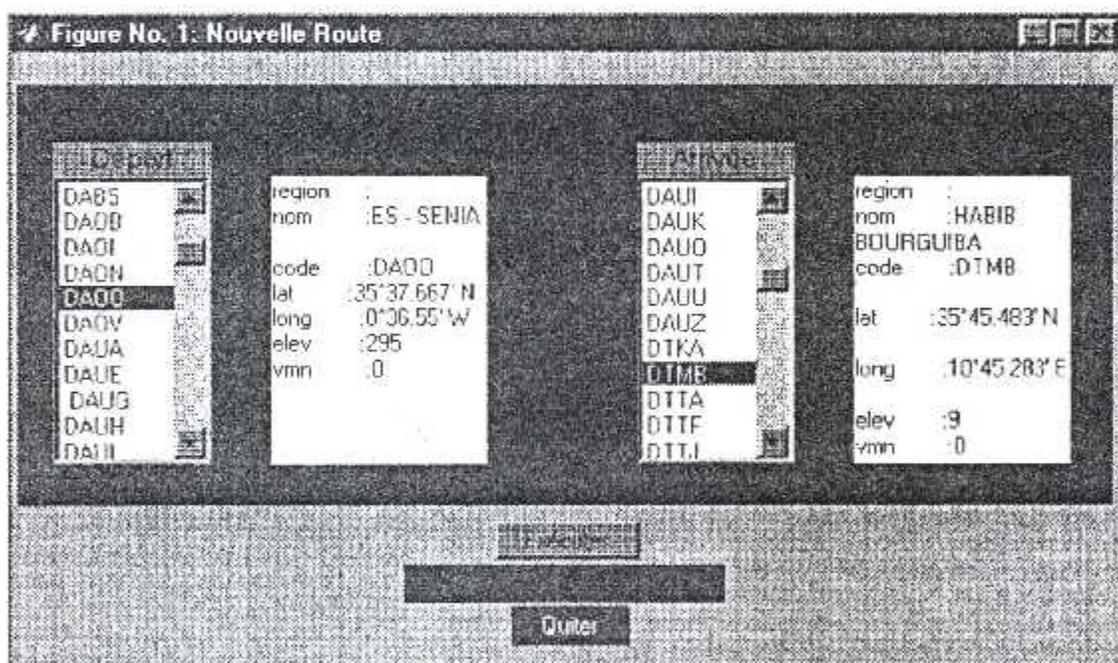
- Aéroport.
- VOR.
- NDB.
- Points géographiques.
- Zones interdites.
- Redevance.
- Le monde.

NOUVELLE ROUTE

C'est l'étape essentielle et finale de notre étude ou de ce logiciel. On click sur le bouton poussoir : nouvel route et on obtient une figure qui contient une table pour les différents aéroports saisie comme point de départ et une deuxième table pour ces aéroports mais comme point d'arrivé.

Après la sélection de l'aéroport de départ qu'on veut choisir et de l'aéroport d'arrivé désiré, on obtient au près de chaque aéroport sélectionné les données suivantes :

- Région, nom, code, lat, long, elev, Vmn.

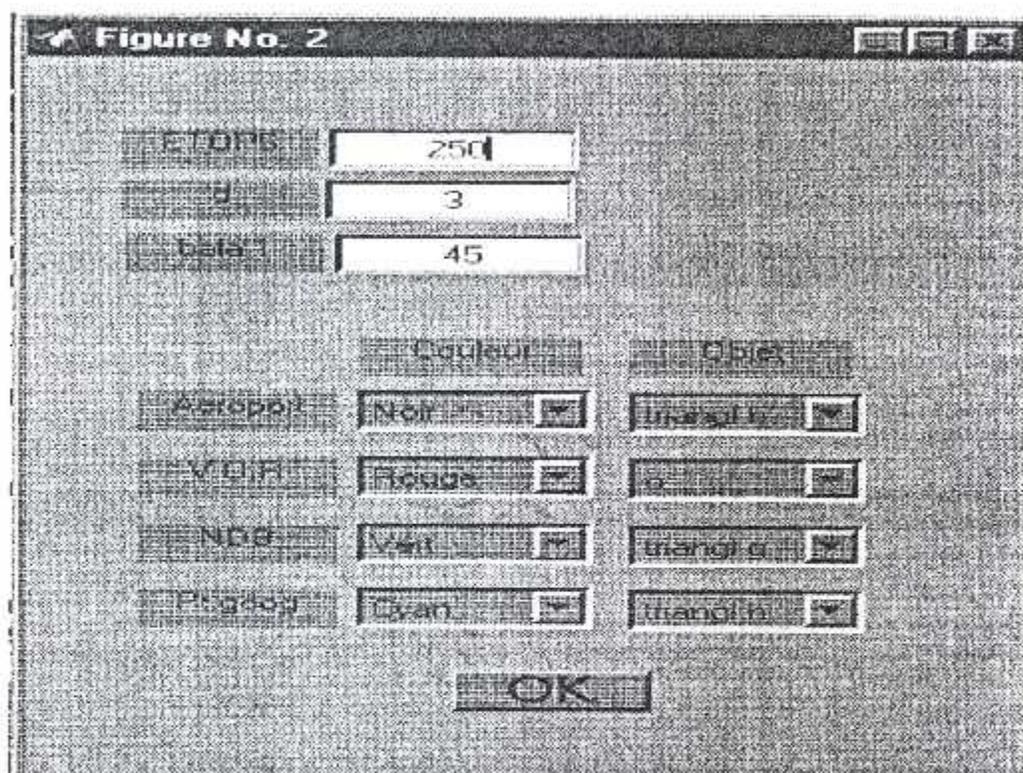


L'exécution : On click sur le bouton « Exécuter », nous aurons une nouvelle table qui contient trois champs :

- Etops (Nm) : 250.
 - d : 3°.
 - Balayage : 45°.
- } ⇒ Variables d'entrées

Cette table contient aussi les caractéristiques suivantes (couleurs, objets)

- Aéroports → Noir → Triangle Haut.
 - VOR → Rouge → Cercle.
 - NDB → Vert → Triangle Gauche.
 - Points géographique → Cyan → Triangle Haut.
- ◆ On click sur Ok : on obtendra la figure suivante :



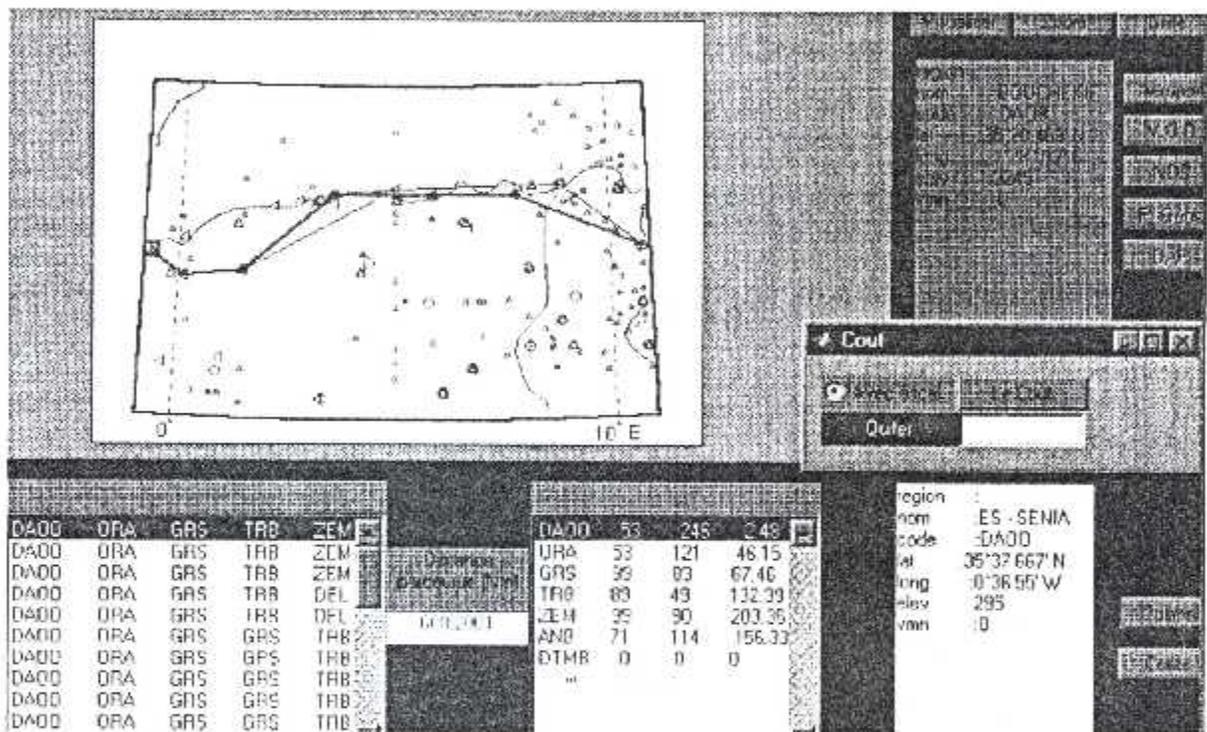
Les différentes stations qui s'implantent, ensuite les routes possibles qui joignent l'aérodrome de départ et l'aérodrome d'arrivé

◆ Nous avons trois boutons sur la droite de notre table :

- Visualisation.
- Zoom.
- Grille.

Chaque bouton un rôle pour facilité la tâche a l'utilisateur.

- ◆ On dessous de notre tracé : nous aurons les différentes stations parcourues par chaque route.
- ◆ Une table pour les différentes distances, Cap et Flmin parcouru par chaque route.
- ◆ Et enfin nous avons deux boutons : le premier est pour choisir la route optimale, le deuxième pour le coût (redevance) de cette route en sachant bien sur la nature du vol (avec escale, sans escale ou national), voir figure si dessus.



Et c'est ainsi qu'on a finalisé le guide de notre logiciel concernant la conception de multitudes de routes aérienne.

Annexe

QU'EST-CE QUE MATLAB ?

Matlab est un logiciel qui permet de faire des calculs mathématiques 'semi-formels'. Matlab connaît un grand nombre d'opérations ou de fonctions mathématiques : fonctions usuelles, calcul matriciel, fonctions plus spécifiques

UN PEU PLUS SUR MATLAB

Entrée et traitement des données

Matrices

Comme il a déjà été mentionné MATLAB travaille essentiellement sur des objets de type matriciel qui peuvent être réels ou complexes. Par conséquent un scalaire est une matrice 1×1 et un vecteur une matrice $N \times 1$.

Les matrices peuvent être définies de plusieurs façons, et Chaque élément d'une matrice est accessible par ses indices écrits entre parenthèses. L'élément de la 3^{ème} ligne et 4^{ème} colonne est $A(3, 4)$ Pour un vecteur x la 2^{ème} composante est $x(2)$

Attention les indices sont forcément strictement positifs.

L'indexation des éléments d'un tableau commence toujours à 1.

Lignes d'instructions

MATLAB utilise un langage interprété. Chaque expression écrite est interprétée et évaluée. La syntaxe est généralement de la forme:

Variable = expression (;

Expression (;

Le point virgule de terminaison de ligne indique si le résultat de l'évaluation est affiché ou non à l'écran selon qu'il est absent ou présent. Cela facilite la mise au point en offrant la possibilité d'obtenir très simplement des résultats intermédiaires de calcul.

Sous la première forme l'expression est évaluée et le résultat assigné à la variable définie. Sous la deuxième forme l'expression est évaluée et le résultat est assigné à une variable interne appelée `ans`.

Si l'on veut sauvegarder simplement la totalité des variables avant de quitter une session MATLAB, la commande `save` sauvegarde l'ensemble dans un fichier appelé `matlab.mat` que l'on pourra recharger avec la commande `load` à la session suivante.

Opérations sur les Matrices

Les opérations suivantes sont directement accessibles:

+	addition
-	soustraction
*	multiplication
^	élévation à la puissance
'	transpose conjugué
\	division à gauche
/	division à droite

Il y a vérification des dimensions des éléments mis en jeu pour chaque opération et un message d'erreur est délivré en cas de problème. Un seul cas échappe à cette règle c'est celui d'une opération entre un scalaire et chacun des éléments de la matrice.

Les opérations `*`, `.` et `/` peuvent agir élément par élément si on les fait précéder d'un point. On pourra vérifier la différence de résultat entre $A*B$ et $A.*B$.

Instructions de contrôle

Comme dans la plupart des langages il existe des instructions de contrôle de la forme `for`, `while` ou `if`. On notera ici qu'en raison du caractère interprété du langage il faut, dans la mesure du possible, éviter de les utiliser et les remplacer par la notion de boucle implicite que l'on verra plus loin.

FOR

La syntaxe est de la forme:

for *compteur* *début* : *pas* : *fin*, ou **for** *Matrice*
expression,
expression;

end

La séquence suivante:

$x = []$, **for** $k = 1:n$, $x = [x, 2*k]$, **end**

Si on utilise une matrice au lieu d'un compteur la boucle est exécutée autant de fois que le nombre de colonnes de la matrice.

WHILE

La syntaxe est de la forme:

While *relation*
expression;

end

La boucle est répétée tant que la relation reste vraie.

IF

La syntaxe peut revêtir les formes:

if *relation*
expression;

end

if *relation*
expression;

else

expression;

end

end

L'expression n'est exécutée que si la relation est vraie.

Relations

Les opérateurs de relation sont:

<	inférieur à
>	supérieur à
<=	inférieur ou égal à
>=	supérieur ou égal à
==	égal à
!=	différent de

Les évaluations de relations peuvent elles-mêmes être manipulées par des opérateurs logiques tels que & (et), (ou) et (non). Quand une relation intervient entre des scalaires, le résultat est un scalaire qui vaut 1 ou 0 suivant que la relation est vraie ou fausse. Quand une relation intervient entre deux matrices de même dimension, le résultat est une matrice constituée de 1 et de 0 suivant que la relation entre les éléments correspondants des matrices est vraie ou fausse.

Si on utilise une relation entre matrices dans un **while** ou un **if** l'interprétation sera vraie si tous les éléments de la matrice résultante de l'évaluation de la relation sont à 1. Suite à cette interprétation il faudra prendre quelques précautions d'usage.

Les Fonctions

On peut en distinguer trois types, les fonctions scalaires, les fonctions vectorielles et les fonctions matricielles.

Les fonctions scalaires

Comme leur définition l'indique elles agissent principalement sur des scalaires. On peut citer sans les commenter: **sin asin cos acos tan atan exp log abs sqrt sign round** etc...

Les fonctions vectorielles

Elles sont prévues pour opérer sur des vecteurs lignes ou colonnes. On peut citer sans les commenter: **max min sum prod mean std any** etc...

De même que pour les fonctions scalaires, on peut les faire opérer sur des matrices. Dans ce cas elles agissent sur chacune des colonnes de la matrice. Pour obtenir une action ligne par ligne il suffit d'utiliser l'opérateur de transposition.

Les fichiers

MATLAB peut exécuter une suite d'instructions figurant dans des fichiers. De tels fichiers sont appelés fichiers M ou '*M-files*' car leur extension est toujours *m*. Ces fichiers sont créés à l'aide d'un éditeur de texte standard. Il en existe deux types: les fichiers textes ou *scripts* et les fichiers fonctions.

De même pour les fichiers de données, on trouve des fichiers d'un format spécifique à MATLAB comportant un en-tête que l'on crée par la commande **save** et que l'on charge par la commande **load**.

Fichiers script

Un fichier *script* est une suite d'instructions MATLAB. Taper le nom du fichier sans son extension sur la ligne de commande MATLAB résulte en l'exécution des instructions contenues dans le fichier. Un *M-file* peut en appeler un autre ou s'appeler récursivement.

Il est cependant plus courant d'utiliser des fichiers fonctions.

Fichiers fonction

Les fichiers fonctions permettent d'étendre les possibilités de MATLAB. Ils sont l'équivalent des SUBROUTINE FORTRAN, des fonctions C etc... Ces fonctions utilisent des variables qui par défaut sont locales, mais peuvent être déclarées **global**. La syntaxe est de la forme:

fonction (*out1, out2, ...*) *fonction* (*nom*(*m1, m2, ...*))

Où *out_i* désigne une variable de sortie, et *m_i* désigne une variable d'entrée.

Les fichiers standards.

On appelle fichier standard tout fichier créé à partir d'un langage de programmation que ce soit un fichier texte ou binaire. Ces fichiers sont accessibles en lecture ou écriture à l'aide d'une syntaxe proche de celle du langage C. L'ouverture s'effectue en allouant un pointeur de fichier par la fonction `fopen`. Les lectures et écritures s'effectuent à l'aide des fonctions `fread` et `fwrite`. La fermeture du fichier est réalisée par `fclose`.

Chaînes de caractères et messages

Les chaînes de caractères sont définies entre simples 'quotes'. Ainsi `c = 'Ceci est une chaîne'` définira la variable `c` comme une chaîne de caractères que l'on pourra utiliser pour afficher un message.

L'affichage de messages s'effectue de plusieurs manières. On utilise pour cela les fonctions `disp`, `error` ou `input`. Par exemple `disp(c)` affichera la chaîne `c` à l'écran. `disp('Ceci est une chaîne')` aura le même effet.

Si on utilise `error('Erreur dans la fonction func')`, Le texte sera affiché et de plus l'exécution du programme sera arrêtée.

Enfin `Z = input('Entrez la valeur de Z:')` affichera le texte et attendra l'entrée de la valeur qui sera validée lors de la frappe sur la touche Entrée ou Enter.

Les graphiques

MATLAB peut afficher des courbes planes, des courbes 3D, des surfaces maillées 3D ou des surfaces à facettes 3D. Les commandes respectives sont `plot`, `plot3`, `mesh` et `surf`.

Courbes planes

La commande `plot (y)` trace la courbe correspondant au vecteur `y` en fonction du numéro des composantes. `Plot (x, y)` tracera le vecteur `y` en fonction du vecteur `x` s'ils sont de même taille. La commande `plot` ouvre une fenêtre graphique pour tracer la courbe. Les fenêtres graphiques sont numérotées, la fenêtre active étant par défaut la fenêtre 1. Pour rendre active une fenêtre graphique on fera précéder le trace par la commande `figure (n)`, où `n` est le numéro de la fenêtre.

$x = -\pi : .01 : \pi$; $y = \sin(x)$; `plot(x, y)` tracera la fonction sinus (x) dans l'intervalle $[-\pi, \pi]$ avec un pas de 0.01.

MATLAB permet également de tracer directement à partir d'une fonction avec la commande `fplot`.

Il est également possible de tracer plusieurs graphes dans la même fenêtre à l'aide de la commande `subplot` (voir aide). Enfin des représentations types sont obtenues à l'aide des commandes `polar`, `bar`, `hist`, etc...

Courbes 3D

La commande `plot3` est identique à la commande `plot`, elle ne fait appel qu'à une coordonnée supplémentaire. La syntaxe de base est `plot3(x, y, z)`. Les axes, titres et légendes se traitent comme dans le cas des courbes planes, la commande `zlabel` est disponible.

Fichiers de données

Les fichiers MATLAB

Il est possible à tout instant de sauvegarder une ou plusieurs variables dans un fichier spécifique MATLAB dont l'extension sera *.mat*. La commande à utiliser est `save`. Les différents formats et options sont listés ci-dessous:

`save filename X` sauve seulement X.

`save filename X Y Z` sauve X, Y, et Z.

`save filename X Y Z -ascii` utilise le format ASCII 8-digit au lieu du binaire.

`save filename X Y Z -ascii -double` utilise le format ASCII 16-digit.

`save filename X Y Z -ascii -double -tabs` utilise le format ASCII 16-digit délimité par des *tabs*.

Pour recharger un tel fichier on utilisera `load filename`. Chaque variable ayant été sauvegardé par son nom, les variables rechargées auront les noms, dimensions et valeurs au moment de la sauvegarde.

Réalisation d'interface graphique

En plus des caractéristiques exceptionnelles de MATLAB pour le calcul scientifique et technique, l'utilisateur peut créer pour ses applications, ses propres interfaces graphique (GUI Graphical User Interface).

En effet, MATLAB prévoit un ensemble de commandes et fonctions dont l'utilisation est relativement aisée pour la création et la manipulation d'objets graphiques (fenêtres, menus, boutons de commande, cases à cocher, etc...)

Les contrôles

Les contrôles sont des objets graphiques qui réagissent et provoquent une action lorsqu'ils sont manipulés par la souris ou le clavier.

Sous une interface graphique la communication avec l'utilisateur est généralement établie à l'aide des « contrôles » tels que les groupes d'options, cases à cocher, boutons de commande, textes statiques et textes modifiables. Ainsi, les programmes offrent une meilleure convivialité, car il suffit d'un simple clic avec le pointeur de la souris pour définir, par exemple, de nouvelles valeurs.

Les types de contrôles

Dans MATLAB, on trouve différents types de contrôles. Leur allure dépend de la plate forme sur laquelle vous travaillez. Nous donnerons des exemples en utilisant l'environnement MS- Windows

Liste des contrôles présents dans MATLAB

<i>Contrôle</i>	<i>Description</i>
Bouton- poussoir (ou bouton de commande)	Réalise une action.
Bouton radio (ou bouton d'option)	Un groupe de boutons radio permet une sélection exclusive (1 seul bouton active à la fois) Lorsqu'on en a un seul, il permet la permutation entre deux états.
Case à cocher	Un groupe de cases à cocher permet une sélection non exclusive (plusieurs cases peuvent être cocher à la fois) Lorsqu'on en a une seule, elle permet la permutation entre deux états.
Texte statique	Affiche une ligne de texte d'information.
Texte éditable	Zone de texte éditable, permettant à l'utilisateur d'entrer une chaîne de caractères
menu	Permet de choisir un élément dans une liste
Cadre (frame)	Affiche une bordure rectangulaire autour d'un ou plusieurs contrôles pour former un groupe logique.
Barre de défilement (slider)	Permet de choisir une valeur dans un intervalle donnée (en glissant un curseur)

Création de contrôles

Pour créer des contrôles, on utilisera la fonction `control` en respectant la syntaxe suivante :

`h = control (hfig, 'nompropriété', 'valeurpropriété' ...)`

tel que :

- h :** « handle » sur le contrôle crée utile pour la manipulation et la modification de ce contrôle.
- hfig :** correspond « handle » de la fenêtre sur la quelle on veut créer le contrôle.
- nompropriété :** correspond au nom de la propriété (style, position, string, callback, etc.), peut être indiqué en minuscules ou en majuscules.
- valeurpropriété :** peut être un nombre, un tableau ou une chaîne de caractères. le type dépend de la propriété.

L'action que MATLAB réalise lorsque l'utilisateur active le contrôle est indiquée dans la propriété « callback ».

Les propriétés des contrôle

Tous objets graphiques de MATLAB ont des propriétés qui contrôlent la façon dont ils sont affichés à l'écran. Ces propriétés contiennent des informations générales (le type de l'objet, l'objet parent, les objets enfants, etc...) et des informations spécifiques au type d'objet considéré (les échelles des axes, les données utilisées pour le tracé du graphe, etc...) A chaque création d'un objet, un « handle » lui associe, ainsi que des valeurs par défaut aux différentes propriétés générales et particulières de l'objet.

On peut obtenir des informations sur les valeurs courantes des propriétés d'un objet par les commandes `get`. Il est aussi possible de modifier les valeurs de certaines propriétés à l'aide de la commande `set`.

Pour consulter les valeurs des propriétés d'un objet ayant pour « handle » **h**, on utilisera `get(h)`. Pour obtenir la liste des propriétés modifiables d'un objet « handle » **h**, on utilisera la commande `set(h)`. Cette même commande permettra de fixer les valeurs de propriétés d'un objet. Sa syntaxe est la suivante :

`Set (handle, 'propriétép1', valeurp1, 'propriétép2', valeurp2, ...)`

`Vp = get (handle, 'propriété')`

Liste des propriétés courantes et leurs significations

<i>Propriété</i>	<i>Description</i>
Backgroundcolor :	Couleur du fond du contrôle.
Callback :	action à exécuter lorsque le contrôle est active.
Foregroudecolor :	Spécifie la couleur de texte ou du tracé pour le contrôle.
Horizontal alignement :	Position du texte dans un contrôle.
Max :	Valeur maximale que peut prendre le contrôle.
Min :	Valeur minimale que peut prendre le contrôle.
Position :	Position et taille du contrôle.
String :	Définit le texte qui apparaît sur le contrôle.
Style :	Définit le type de contrôle (bouton poussoir, texte statique, etc...)
Value :	Valeur courante du contrôle.
Visible :	Indique si l'objet apparaît ou non à l'écran

BIBLIOGRAPHIE

α NAVIGATION AERIENNE R.GALAN-J.P.TOURRES

CIRCULATION AERIENNE JEAN MERMOZ

INITIATION AU JEPPESEN-AIRWAY MANUAL

COURS DE NAVIGATION P.COURGEON R.GUILLOUX.

UFP UNIVERSAL FLIGHT PANNEL.

APRENDRE ET MATTRISE MATLAB.

WWW.MATHWORKS.COM

WWW.DEJANEWS.COM
