

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE SAAD DAHLEB BLIDA
FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIEUR
DEPARTEMENT D'AERONAUTIQUE

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES
Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur
en Aéronautique

Spécialité: Navigation Aérienne
Option : Opération Aérienne

Theme:

**Contribution du Système D'Information
Géographique dans la Gestion du Trafic Aérien**

Présenté par :
KHENNOUS Samir
MAHDJOUB Hichem

Promoteur :
Dr: L.BOUNATIRO

Année 2006-2007



Dédicace

Je dédie humblement ce modeste travail à :

- * A mes très chères parents en témoignage de leur amour, affectation et surtout de leur soutien durant toute ma vie scolaire que je leur souhaite une longue vie ;*
- * A mes frères et mes sœurs ;*
- * A toute ma famille ;*
- * A mes amis ;*
- * A tout ceux qui mon aidé de près ou de loin.*

Samir

Dédicace

Je dédie humblement ce modeste travail à :

- * A mes très chères parents en témoignage de leur amour, affection et surtout de leur soutien durant toute ma vie scolaire que je leur souhaite une longue vie ;*
- * A mes frères et mes sœurs ;*
- * A toute ma famille ;*
- * A mes amis ;*
- * A tout ceux qui mon aidé de près ou de loin.*

HICHEM

TABLE DES MATIERES

1.1 Introduction générale	1
Première partie Les Systèmes d'Informations Géographiques (SIG)	3
Chapitre 1-Les données géographiques	4
1.1 Introduction	5
1.2 Données, informations et connaissances	5
1.3 Définition de l'information géographique	6
1.4 Modes d'acquisition des données	6
1.5 Caractéristiques des données géographiques	13
1.6 Conclusion	15
Chapitre 2-Les systèmes d'information géographique	16
2.1 Introduction	17
2.2 Historique	17
2.3 Qu'est ce qu'un SIG	17
2.4 Structure d'un SIG	19
2.5 Les composants d'un SIG	19
2.6 Fonctionnalités d'un SIG	20
2.7 Les domaines d'applications	23
2.8 Conclusion	26
Chapitre 3-Notions sur les Bases de Données Géographiques	27
3.1 Introduction	28
3.2 Qu'est ce qu'une BD	28
3.3 Notion sur les BD spatiales	28
3.4 Les différents niveaux de modélisation d'un système d'information	29
3.5 Les modèles	31
3.6 Les systèmes de gestion de bases de données	33
3.7 Communication dynamique SIG/SGBD : SQL et ODBC	33
3.8 Conclusion	33
	34

Chapitre 4: Généralité sur Cartes aéronautiques	35
4.1 Introduction	36
4.2 Différents types de carte aéronautiques	37
4.3 Conclusion	39
Deuxième partie: Etudes théoriques	40
Chapitre 5: Notion sur le plus court chemin	41
5.1 Introduction	42
5.2 Définition du plus court chemin	42
5.3 Les méthode de calcul du PCC	43
5.4 Conclusion	44
Chapitre 6 : La Méthode de Dijkstra	45
6.1 Introduction	46
6.2 Présentations de la méthode de Dijkstra	46
6.3 Algorithme de Dijkstra	47
6.4 Propriété de la méthode de Dijkstra	47
6.5 Conclusion	49
Troisième partie : Partie programmation	50
Chapitre7 : développement de l'application LOG PCC	
7.1 Introduction (présentation Delphi)	52
7.2 le programme PCC et SIG (description du programme)	53
7.3 Conclusion	57
Chapitre -8 Application du plus court chemin	58
8.1 Introduction	
8.2 Description du réseau d'Air Algérie	59
8.3 Traitement ET analyse	66
8.4 Conclusion	66
Conclusion générale	67

Liste des figures

Figure 1.1 :	Image satellitaire	6
Figure 1.2 :	La prise d'images aériennes	7
Figure 1.3 :	Un orthophotoplan	8
Figure 1.4 :	Les levés topographiques	9
Figure 1.5 :	Un satellite	9
Figure 1.6 :	Le principe de GPS	10
Figure 1.7 :	Image d'un satellite-3	10
Figure 1.8 :	Image de l'appareil digitalisation	11
Figure 1.9 :	Qualité de digitalisation	11
Figure 1.10 :	rubber-sheeting	12
Figure 1.11 :	Couches d'informations dans un SIG	14
Figure 2.1 :	Point de vue des informaticiens	18
Figure 2.2 :	Point de vue décideur	18
Figure 2.3 :	Structure d'un système d'information géographique	19
Figure 2.4 :	Composant d'un système d'information géographique	19
Figure 2.5 :	L'acquisition des données géographiques	21
Figure 2.6 :	L'archivage des données géographiques	21
Figure 2.7 :	L'affichage des données géographiques	22
Figure 2.8 :	L'analyse des données géographiques	22
Figure 3.1 :	Base De données Spatiales	28
Figure 3.2 :	Le système d'information	30
Figure 3.3 :	Entité	31
Figure 3.4 :	Diagramme de modèle entité association	32
Figure 4.1 :	Les coordonnées géographiques	38
Figure 4.2 :	La mesure des distances	39
Figure 4.3 :	Les différents angles d'orientations	40
Figure 5.1 :	Carte de navigation à vue Echelle 1/500 000 ^{ème}	49
Figure 5.2 :	Carte radionavigation à vue 1/1000 000 ^{ème}	50
Figure 5.3 :	Carte de navigation 1/2 000 000 ^{ème} IFR	51
		52
		53
		53

Figure 5.4 : La navigation à l'estime
Figure 5.5 : Le cheminement à vue 55
Figure 5.6 : Le cheminement radionav

Figure 7.1 : Ecran de mot de passe
Figure 7.25 : Les heures de vol

Résumé

Dans le domaine de navigation aérienne le problème de préparation et gestion de vol se pose souvent, dans ce contexte s'inscrit le présent travail intitulé (contribution d'un SIG pour la gestion du réseau aérien) .en effet il existe plusieurs aspects pour la gestion d'un plan de vol agréable .dans le présent travail on s'oriente vers le calcul du plus court chemin entre un point de départ A et un point d'arrivé B, la problématique est posée de la manière suivante.

Dans un ensemble de points (réseau) caractérisés par leur coordonnées (l,g) comment trouver le plus court chemin entre deux points , la méthode utilisée est celle de Dijkstra.

Nous avons utilise le reseau aerien d'air Algerie dans l'application de notre programme.

Introduction générale

Dans le domaine de la navigation en utilisant le mot trajet (synonyme : chemin) qui signifie la distance à parcourir pour aller d'un point à un autre. aujourd'hui, il est devenu nécessaire d'établir et gérer un plan de vol adéquat avec lequel on arrivera à diminuer le trajet et par conséquent réduire le coût d'une mission. La progression quasi-constante du trafic aérien depuis le début de l'aviation Commerciale génère aujourd'hui des problèmes de saturation tant sur les plateformes d'aéroport, ou dans l'espace aérien supérieur.

Si les avions sont aujourd'hui largement optimisés et automatisés, on peut s'étonner que la gestion de vol soit restée pour la plupart artisanale, faisant appel à l'expérience humaine plus qu'à la puissance de calcul d'un ordinateur.

Nous présentons dans notre travail le problème de gestion du trafic aérien pour lesquels un algorithme permet de proposer des solutions

Dans ce cadre général est inscrit notre travail qui a pour but de déterminer le meilleur trajet à suivre par le pilote en cas où il existe plusieurs chemins, ce chemin est pratiquement le plus court chemin noté PCC.

Il en est de même pour les services techniques. Ces derniers ne disposent pas d'un outil efficace pour l'archivage des données et leurs mises à jour concernant la gestion du trafic.

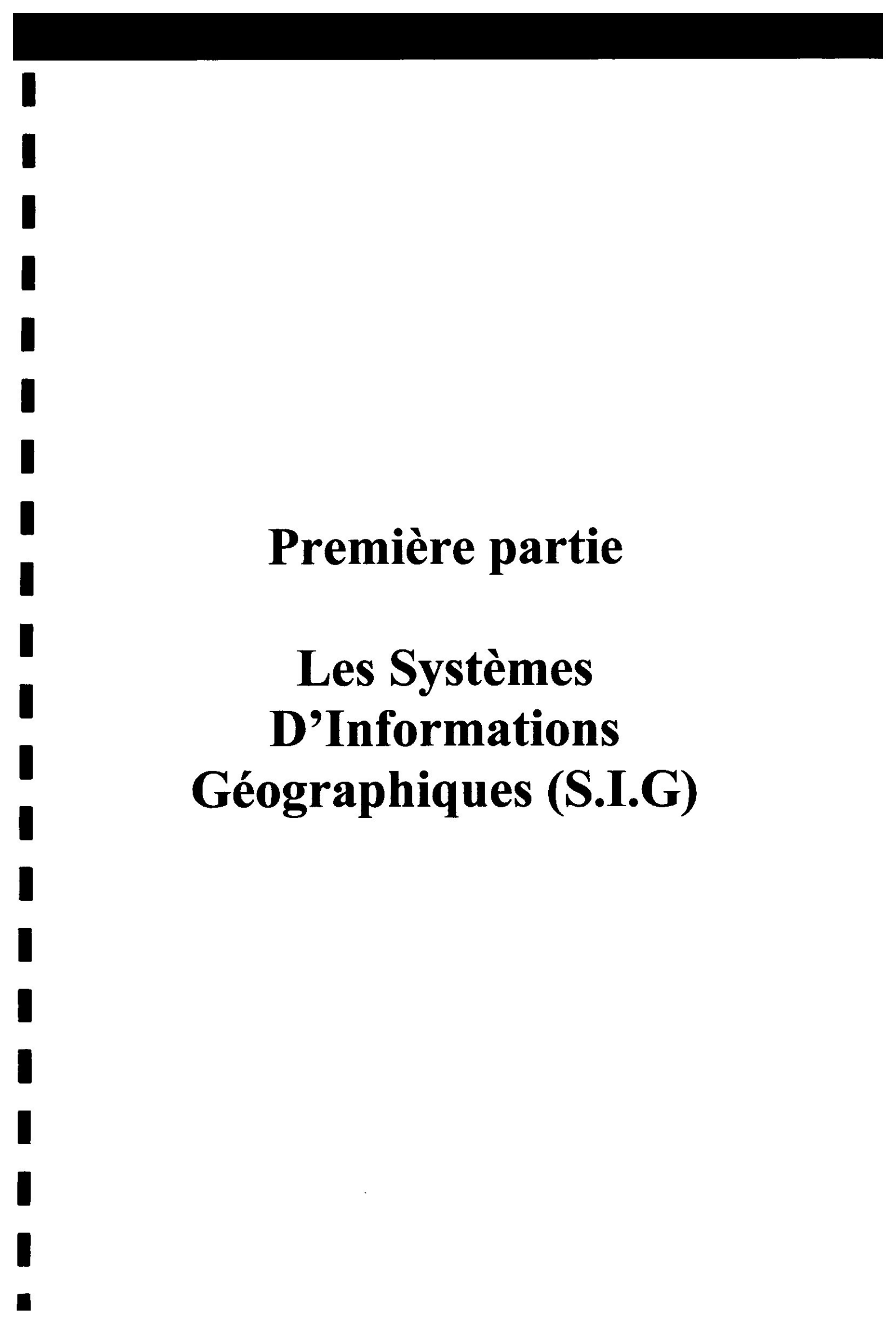
Il nous est donc apparu intéressant de développer un outil numérique et visuel qui permet de faciliter ces tâches tout en minimisant le risque d'erreur. Nous avons privilégié l'utilisation des techniques des Systèmes d'Informations Géographiques (S.I.G) où l'utilisation des cartes est fondamentale.

Les S.I.G sont utilisés dans divers domaines scientifiques et techniques. Ils font appel à plusieurs techniques et à de nombreuses méthodes, allant de la géodésie aux systèmes de gestion de bases de données, en passant par la cartographie automatique, l'algorithmique, la modélisation, la statistique, etc. Ils permettent de traiter rapidement et efficacement des volumes importants de données et souvent en temps réel.

Le Logiciel Développé dans le cadre de ce projet dénommé LOG-PCC qui utilise les techniques des SIG, permet de :

- Calculer le plus court chemin entre deux points.
- Diminuer le risque d'erreur humaine.
- D'avoir une rapidité et une précision dans la préparation des plans de vol,
- De pouvoir modifier la mission en cours de vol en temps réel.

Développé avec les outils Delphi et Access, LOG-PCC est un outil paramétrable et évolutif. En saisissant les différents paramètres : Les trajets de vol (Départ arrivée), LOG-PCC permet de nous donner automatiquement le plus court chemin à prendre (un tracé d'une carte prête à la navigation) et le Plan de Vol

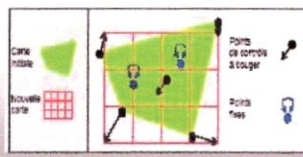
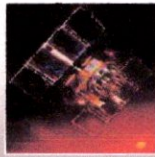
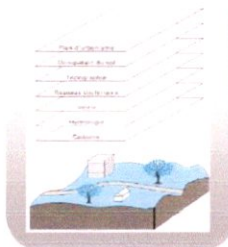


Première partie

**Les Systèmes
D'Informations
Géographiques (S.I.G)**

Chapitre 1

Les données géographiques



1.1 Introduction

De quelle information disposait Christophe Colomb pour découvrir l'Amérique ? et Anibal pour contourner la méditerranée afin de conquérir Rome ? Et Jule César pour conquérir la Gaule.

Si l'on est sûr que ces données n'étaient pas informatisée, il n'en reste pas moins que les renseignements et les connaissances qu'on leur avait fournis étaient pertinents.

Il est primordial de cerner les particularités des informations géographiques afin de construire des véritables systèmes d'informations capables de gérer et d'extraire « la substantifique moelle » des données géographiques. Leur caractéristiques essentiels est d'être des données localisées (ou référence spatiale), multi source et multimédia permettant de décrire les données cartographiques, les données graphiques (schémas, images et photographies), les données descriptives et littérales les techniques pour gérer les données géographiques ont commencé a se développer il y a une vingtaine d'années autour d'outil permettant en priorité le recueil d'informations géographiques (cadastre, topographie, réseau souterrains).progressivement ces techniques se sont élargies a l'utilisation de données thématiques, et l'adjonction de données textuelles aux données uniquement graphiques pour devenir de véritable systèmes d'informations géographique(SIG).

On attend d'n SIG qu'il assure trois fonctions de base, aide à la gestion quotidienne, aide à la décision en fournissant des informations judicieusement sélectionnées de façon à comparé des hypothèses et enfin communication de l'information entre plusieurs services, administration ou utilisateur différents.

Nous examinerons successivement les différentes modes d'acquisition des données qui sont par nature multi source et les caractéristiques des données géographiques qui les différencient
Des données de gestion.

1.2 Données, informations et connaissances

1. **Donnée** : toute représentation conventionnelle d'une information stockée sous une forme analogique ou numérique.

2. **Information** : Est la signification qui est attachée à une donnée. Une Information concerne un utilisateur. Elle devient une donnée quand elle est dans L'ordinateur, l'information sera plutôt utilisée pour designer des éléments avant Et après le traitement informatique

3. **Connaissances** : Compréhension d'un phénomène résultant de l'analyse de l'information [B5]

1.3 Définition de l'information géographique

L'information est dite géographique lorsqu'elle se rapporte à un ou plusieurs lieux de la surface du globe terrestre. [B5]

1.4 Modes d'acquisition de données

Dans la pratique, les données géographiques proviennent de sources différentes, on dit qu'elles sont **Multi-sources**. Certaines données sont directement mesurées sur le terrain (levés topographiques) ou captées à distance (système de positionnement de type GPS "Global Positioning System", photos aériennes, images satellitaires), ou saisies à partir de cartes ou de plans existants à partir de tables à numériser. De toutes manières, on présentera dans la suite ces différents modes d'acquisition.

- **Les images satellitaires**

Un progrès considérable pour la cartographie, est l'avènement de l'aéronautique, qui allait permettre de disposer d'une plate-forme de prise de vue placée bien plus haut et ne subissant ni secousses ni vibrations : **le satellite**.

En 1972, les américains ont lancé le programme satellitaire LANDSAT, destiné à l'étude du sol. La France, en 1985, lança à son tour ses satellites SPOT (Satellite Probatoire d'Observation de la Terre). Les satellites tournent autour de la Terre et au fur à mesure de leur progression, ils mesurent des radiations sur une zone de 60 km de large.

L'image numérique est traitée de manière différente en fonction de la nature du sol que l'on veut représenter. On attribue alors des couleurs afin de rendre lisible l'image satellitaire.

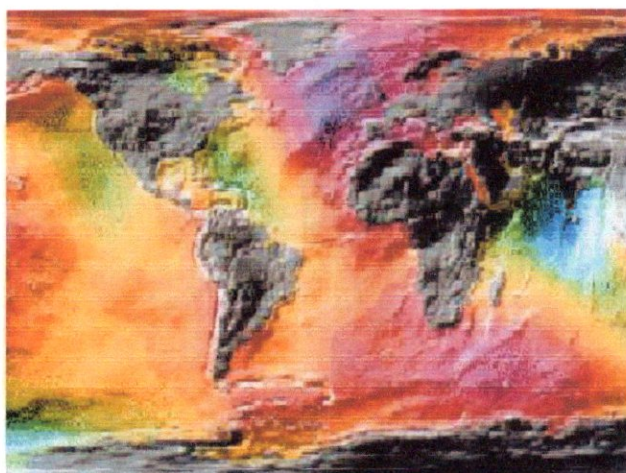


Figure 1.1 - Image satellitaire.

- **Les photos aériennes**

Un cliché effectué à plusieurs kilomètres d'altitude donne une bonne image d'une petite région, laissant apparaître les routes, les cultures et les villages mais pas d'indication de relief. Pour connaître l'altitude, il faut effectuer des couples de clichés stéréographiques c-à-d des photos prises successivement avec un recouvrement important ; on dispose ainsi pour

chaque endroit d'un couple de photos correspondant à un angle de prise de vue différent (Fig1.3). On obtient en regardant ces deux clichés avec un appareil de restitution binoculaire, une image unique avec un relief très exagéré. Aux images d'un même point ainsi fusionné par la vision de l'observateur, on peut superposer celle d'un repère liée à l'instrument et dont les coordonnées (de droite à gauche, d'avant en arrière, de haut en bas) varient avec le point examiné.

Ces coordonnées affichées et enregistrées par l'instrument, correspondent aux trois coordonnées de terrain, **latitude, longitude, altitude**. On arrive ainsi, à partir d'un point de référence connu, à déterminer sur un couple de clichés stéréo la position de tous les points de terrain photographié. C'est le principe de topographie rapide : **stéréophotogrammétrie**.

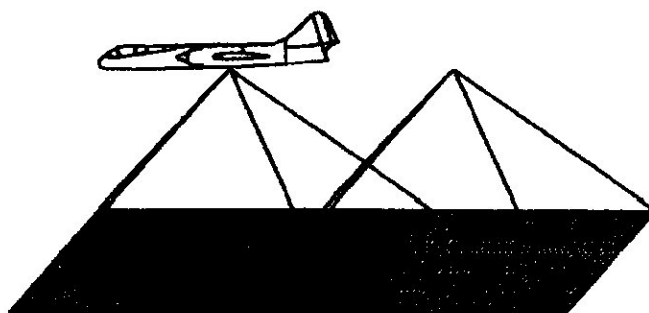


Figure 1.2 -La prise d'images aériennes.

L'échelle n'étant pas la même au centre et sur les bords des photos, des distorsions apparaissent. De même, une maison sur une colline apparaîtra plus grosse qu'une même maison située au fond d'une vallée. La correction de l'ensemble de ces distorsions (due aux effets de relief, à la géométrie de la prise de vue, aux mouvements de roulis et de tangage de l'appareil, à la mise en projection cartographique) est un travail fastidieux.

Note que les détails ne sont pas visibles sur les photos aériennes (comme les limites de parcelles, les réseaux souterrains), ce qui limite son intérêt.

Les photos aériennes peuvent également constituer un orthophotoplan, souvent utilisé dans les SIG.

Un orthophotoplan est une mosaïque de photos aériennes prises à la verticale à la différence de photos aériennes normales prises en biais. Ces photos sont bien positionnées et les distorsions d'échelle ont été rectifiées.

Ces distorsions dues aux effets du relief, au tangage de l'appareil ou encore à la mise en projection cartographique, font que l'échelle n'est pas la même au centre de la photo que sur les bords. Des corrections sont donc nécessaires.



Figure 1.3 - Un orthophotoplan.

- **Les levés topographiques**

Les cartes topographiques axées sur une représentation fidèle du terrain, sont restées très longtemps très difficiles à dresser. Le repérage d'un point demande en effet 03 valeur : la distance de ce point par rapport à deux ligne fixes de référence, en l'occurrence les parallèles et les méridiens, et sa hauteur par rapport au niveau moyen de la mer. (Fig. 1.5)

Les géomètres allaient sur le terrain avec le **théodolite** (Fig. 1.5) comme outil principale : il s'agit d'une lunette de visée permettant de mesurer des distances et des angles horizontaux et verticaux avec une grande précision.

Partant de deux point connue et utilisant les relations trigonométrique dans les triangles, ils mesuraient les coordonnées d'un troisième point, lequel servait à sont tour de référence pour en calculer un quatrième, et ainsi de suite. Cette méthode appelée **triangulation** puisqu'on trace des triangles pour quadriller une région, réclame d'aller sur le terrain. Actuellement, les appareils se sont perfectionnés en portée et en précision (tachéomètres, géodimètres à laser).

- **Le système GPS**

Le système américain GPS (Global Positionning System) permet de s'orienter grâce aux satellites (Figure 1.6). Le principe est l'utilisation de l'émission permanente de deux types d'ondes hertziennes provenant d'un réseau de satellites américains. Tout récepteur GPS au sol est alors capable, à partir des signaux de l'espace, de calculer instantanément sa position avec une précision de quelques centimètres.

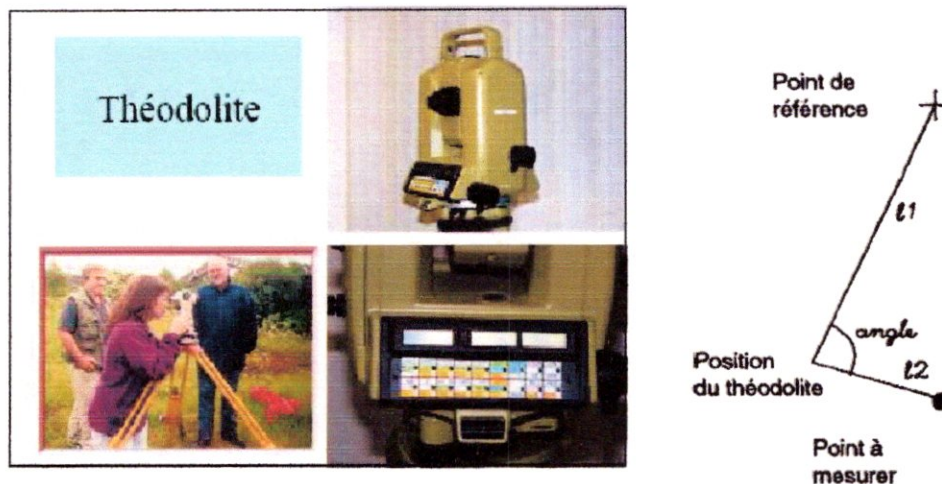


Figure 1.4 - Les levés topographiques.

Limites d'un lotissement, tracé d'une nouvelle route, mise à jour du cadastre, il suffit de poser sur le sol une balise électronique et d'attendre le passage d'un satellite.

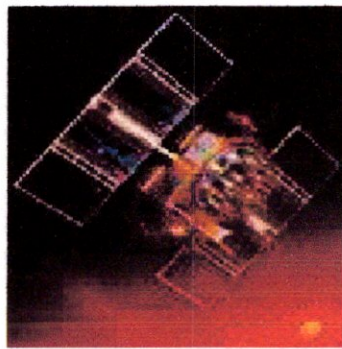


Figure 1.5 - Un satellite.

Le système est composé d'une constellation de satellites suffisamment nombreux (24 satellites orbitant à 20000 km d'altitude et répartis sur 6 plans orbitaux) pour qu'à tout instant aux moins trois d'entre eux soient clairement "visibles" de n'importe quel point à la surface du globe.

Chaque satellite émet un **signal sinusoïdal** et **signal codé** contenant de nombreuses informations, dont sa propre position et l'instant exact de l'émission du signal.

Quand un récepteur GPS reçoit le code, il peut déterminer directement le temps que l'onde a mis pour parcourir la distance (de l'ordre de 70 ms). En multipliant par la vitesse de la lumière, on obtient la pseudo distance, qu'il faudra corriger des perturbations naturelles. Comme la longueur d'onde du signal codé est de 10 à 100 m selon le code utilisé, la distance absolue que l'on obtient n'est estimée qu'à quelques mètres près.

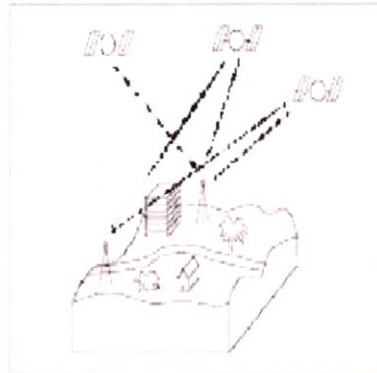


Figure 1.6 - Le principe de GPS.

Trois mesures sur trois satellites fournissent les trois distances nécessaires à la détermination des coordonnées du point : latitude, longitude et altitude.



Figure 1.7 - Image d'un satellite-3.

Un tel système permet de parfaire le positionnement absolu des repères terrestres ; il est utilisé en navigation maritime, terrestre et aérienne et son emploi va se généraliser dans toutes les mesures.

- La digitalisation



Figure 1.8 - Image de l'appareil digitalisation.

La technique de digitalisation permet de récupérer la géométrie des objets d'une carte à l'aide d'une table à digitaliser. Grâce à elle il est possible de prendre les coordonnées d'un point dans le repère de la table à digitaliser et, en fonction de l'échelle et de l'origine, de calculer les coordonnées du point ainsi saisi. Une souris à laquelle est adjointe une loupe avec

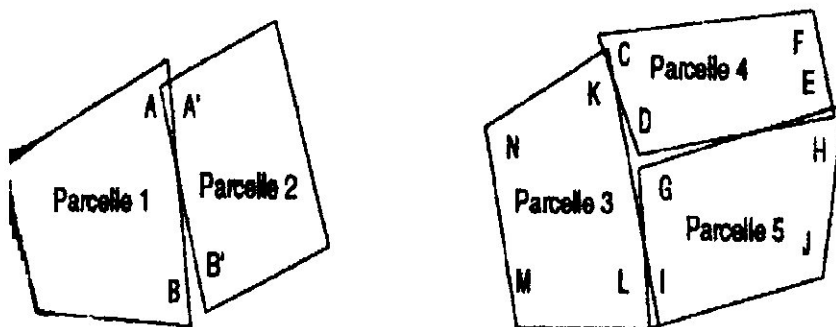
réticule permet de bien positionner le point à saisir. La résolution pour les modèles de table les plus précis est de l'ordre de 1 : 10 mm.

Des fonctions du logiciel de saisie permettent de caler le document fixé sur la table par rapport à des points de repère dont on entre les coordonnées exactes.

Des fonctions de saisie d'arcs et de saisie de surfaces sont également offertes. Pour la saisie d'arcs, il existe un mode point par point (les coordonnées ne sont enregistrées que lorsqu'on clique une des touches du curseur), et un mode continu (un point est enregistré à intervalles de temps ou de distance réguliers). Le deuxième mode ramène en général trop de points qui n'apportent pas toujours d'informations supplémentaires ; en revanche, dans le premier mode le choix des points est subjectif. Pour la saisie des zones, il y a deux manières de procéder :

- On peut saisir une surface par ses contours ; dans ce cas, on est obligé de saisir le contour de la surface (ou les contours si la surface est trouée). Si on veut partager la géométrie d'une partie d'un contour avec un objet existant cela peut s'avérer fastidieux.
- On peut aussi commencer par saisir des arcs, puis créer les zones dans un deuxième temps en pointant les faces constituant la surface". Cette solution facilite grandement le partage de la géométrie, diminue l'encombrement dans les bases de données et facilite certains algorithmes de traitement et de maintien cohérence.

Pour obtenir une digitalisation de qualité, il faut tenir compte de ce que la carte fait petit angle avec l'axe de la table à digitaliser et qu'elle a pu subir des déformations dues au vieillissement, il est souvent nécessaire de déterminer une fonction de correction des coordonnées (Fig1.10).



Nécessité d'un partage de la géométrie et de la topologie

Figure 1.9 - Qualité de digitalisation.

De manière générale, on appelle **rubber-sheeting**, un ensemble de techniques basées sur des transformations élastiques avec ou sans contraintes de manière à corriger ces déformations.

La digitalisation n'améliore pas la qualité du document initial, sauf si l'on dispose d'un très grand nombre de points de **calage** et d'une bonne fonction de transformation.

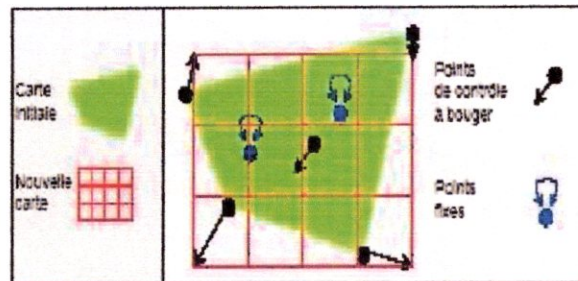


Figure 1.10 - rubber-sheeting.

Les principales difficultés rencontrées lors de la saisie sont de veiller à la fermeture des polygones, au raccordement de lignes ainsi que de ne pas oublier d'objets, ni les saisir plusieurs fois.

Les logiciels de saisie possèdent en général des fonctions d'aide à une saisie propre du point de vue topologique, telles que le partage de la géométrie et de la topologie (segment commun à plusieurs parcelles), l'accrochage d'un point sur le noeud ou l'arc le plus proche avec une tolérance donnée. Lors de la digitalisation, opération manuelle par excellence, l'opérateur structure l'information géographique de manière pertinente. Il précise de quel type sont les zones saisies (bâtiment, parcelle) et précise aussi les différents attributs (numéro de parcelles, nombre d'étages d'un bâtiment, etc.).

- **Le scannage de plans**

La dernière technique de saisie est le scannage de plans. Le principe du scannage est de transformer un dessin en données numériques raster ou en trames. Un faisceau de lumière est envoyé sur le document ; l'intensité réfléchie est enregistrée. Tandis que le faisceau balaye le document, sa position est également enregistrée sous forme de lignes et de colonnes. Le document peut être fixé sur un support plat ; seul la source de lumière et le photo détecteur se déplacent. Le document peut être fixé sur un tambour rotatif ; la tête de scannage se déplace alors uniquement le long de l'axe du tambour.

Le scannage est un procédé rapide et peu coûteux, surtout si on se contente de données pixels non structurées. En revanche, il nécessite des opérations complémentaires très complexes en vue d'obtenir une structure des informations géographiques ; c'est la **vectorisation** ou passage du mode **raster** au mode vecteur. En effet, par scannage d'un plan, on obtient des séries de pixels qu'il faudra regrouper astucieusement. Pour ce faire, la première opération est généralement de reconstituer des segments de droites et des polygones. Dans ce but, des procédures de reconnaissance de formes pourront être utilisées. Un petit segment de droite pourra être un morceau de polygone (par exemple parcelle, bâtiment), de hachure, de lettre ou de caractère, du contour de la carte de légende, de symbole (par exemple une Ecole).

La vectorisation automatique a des limites. Les symboles et textes sont rarement identifiés automatiquement. Les éléments linéaires sont traités à condition que le plan initial soit en bon état et surtout qu'il n'y ait pas de hachures ce qui n'est pas le cas dans la plupart des plans cadastraux). Pour obtenir un résultat de qualité comparable à la digitalisation, il faut exécuter

des traitements nécessitant, dans certains cas, l'intervention d'un opérateur, ce qui tend à diminuer l'intérêt économique.

- **Import de fichiers**

Une façon de réduire les Coûts de saisie est de récupérer des données courantes et de les convertir au format, au système d'unités et au système de projection souhaités. Pour cela, on utilise des interfaces qui permettent :

- Soit de transformer directement les données dans le format interne du SIG récepteur grâce à des bibliothèques de conversions à ce format interne ;
- Soit de passer par l'intermédiaire d'un format d'échange reconnu par une fonction d'importation de données du SIG récepteur tel que (**DXF, TIF, DWG, JPEG,....**).

La norme EDIGEO :

Actuellement, plusieurs formats d'échange existent mais afin de réduire ces différentes interfaces et de convertir de façon universelle les données, il serait bien d'avoir **une norme d'échange standard**.

Chaque pays développe ses propres formats d'échange des données. La France utilise la norme **EDIGEO (Echange de Données Informatisées dans le domaine de l'information Géographique)** et souhaite que cette norme devienne une norme européenne. C'est une norme AFNOR depuis août 1992.

Une norme d'échange est destinée à l'échange d'informations géographiques numériques sur support informatique entre des SIG différents. [B6]

1.5 Caractéristiques des données géographiques

Les données géographiques présentent un certain nombre de caractéristiques qui les rendent particulières lors de leur modélisation et de leur traitement informatique : la richesse de leur sémantique, l'importance de la notion de précision liée notamment aux procédures de saisie, et l'existence d'une multiplicité de représentation géométriques.

- **Sémantique :**

Représente la signification des données géographiques c'est-à-dire la manière dont elles réfèrent les phénomènes qu'elles sont sensés représenter. On examinera un des aspects qui est les couches d'information.

Les couches d'information :

La diversité des applications géomatiques suggère de structurer les informations géographiques en couches (**layers**) ; ainsi on pourra parler des couches cadastre, hydrologie, voirie, réseaux souterrains, etc.

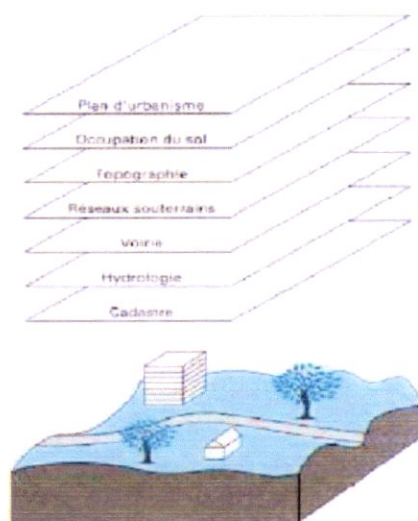


Figure 1.11 - Couches d'informations dans un SIG.

Souvent une couche d'information correspond à un type d'utilisateurs. Des fonctions spéciales des SIG permettent de manipuler et surtout de superposer ces couches d'information.

- **Sémiologie graphique :**

Cartographier consiste non seulement à positionner des objets sur une carte et à leur affecter un symbolisme, mais aussi à assurer la lisibilité et la compréhension de l'ensemble. L'objectif de sémiologie est donc de choisir les symboles, les couleurs, le placement de texte, etc., de manière à mettre en évidence les caractéristiques propres de la carte.

- **Positionnement des objets cartographiques :**

Le positionnement judicieux des objets cartographiques et des toponymes (noms des lieux) est une opération complexe. En effet, il faut veiller à éviter la superposition des objets, à éviter d'écrire le nom de l'objet sur celui-ci ou sur un autre objet, à s'assurer de la lisibilité et de la compréhensibilité de la carte, à choisir une légende informative et enfin à s'assurer que les relations topologiques sont toujours vérifiées lorsqu'on déplace un objet.

- **Concepts de représentation :**

Pour représenter les objets géographiques, il sera nécessaire de s'appuyer sur un certain nombre de concepts issus de la géométrie euclidienne, et de la théorie des graphes.

Géométrie euclidienne :

On distingue les objets à zéro dimension (points), à une dimension (ligne), à deux dimensions (aire ou surface). Dans la nature tous les objets sont tridimensionnels ; cependant on se contente souvent de dimension inférieure.

Théorie des graphes :

De nombreux géomatiques ont une modélisation empruntée à la théorie des graphes. C'est le cas des réseaux de communications, des réseaux souterrain comme ceux d'adduction

d'aux ou d'assainissement. Les concepts sont le noeud, l'arête ou l'arc, ainsi que la chaîne d'arêtes ou d'arcs.

- **Modélisation des objets spatiaux :**

La représentation graphique de données se fait sous deux formes principales :

- Données sous forme **vecteurs** (point, ligne, surface), appelées aussi modèle **filaire**.
- Données sous forme **raster**, obtenues par balayage de trames, appelées aussi modèle **matriciel**.

Le format vecteur est le plus couramment utilisé pour les données géographiques car il est le résultat de la digitalisation de carte et de plans existant ainsi que celui issu des levés topographiques.

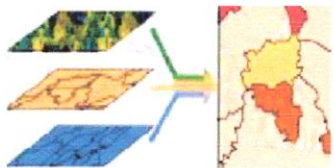
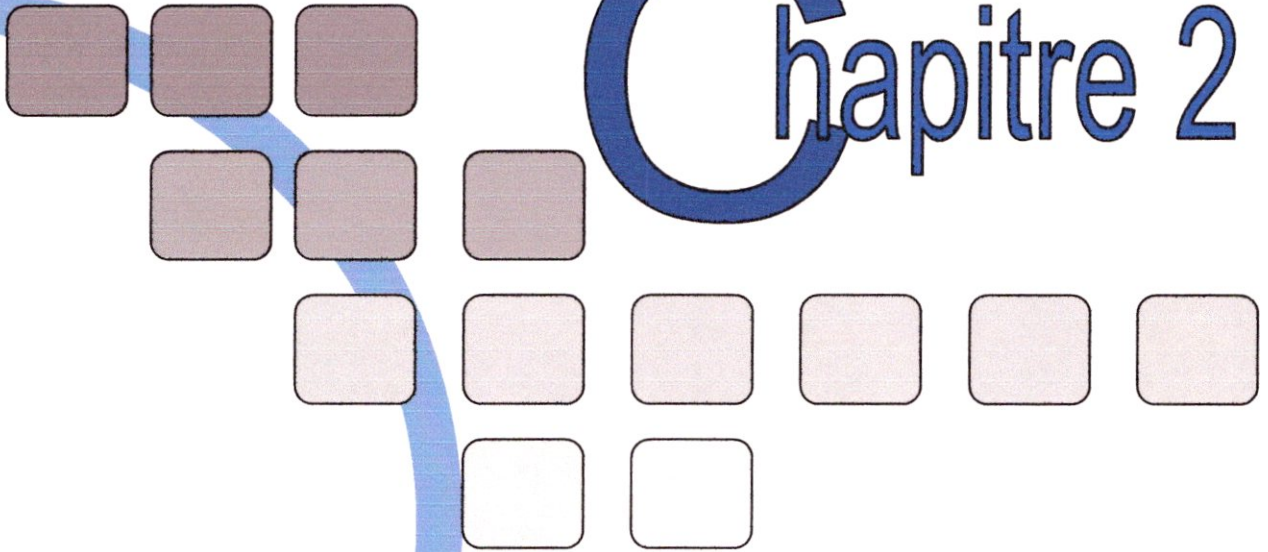
Le format raster permet une saisie plus rapide et génère des fichiers importants qu'il faille compacter. Il existe des logiciels plus ou moins performants pour passer du format raster au format vecteur. La plupart des SIG juxtapose l'utilisation des deux modèles de données, sans toutefois les associer totalement. [B3]

1.6 Conclusion

En partant des différentes applications, les caractéristiques particulières de l'information géographique ont été présentées. Les données géographiques différentes fondamentalement des données alphanumériques traditionnelles, les aspects structurants seront approfondis dans les chapitres suivants afin de concevoir des bases géographiques performantes.

Chapitre 2

Les systèmes d'informations géographiques



2.1 Introduction :

À la différence des données de gestion, nous avons vu que les données géographiques se distinguent par certaines caractéristiques qui les rendent unique dans son genre ; et comme toute autre donnée ces données doivent être structurées au sein d'un système d'information pour être mieux exploitées ce qui nous conduit à la notion de système d'informations géographiques (ou SIG) (G.I.S : Geographical Information System).

Il apparaît qu'un SIG doit être à la fois un outil de gestion pour le technicien qui au quotidien assure le fonctionnement d'un certain service et outil d'aide à la décision pour les décideurs.

Nous examinerons successivement dans ce chapitre la définition des SIG selon deux points de vue celui des informaticiens et celui des décideurs. Puis nous allons voir comment un SIG est structuré et quelles sont ses composantes. Nous parlerons aussi de ses fonctionnalités et de ses caractéristiques. Enfin nous terminerons par ses domaines d'applications.

2.2 Historique

L'évolution et la diffusion des SIG dans la science de l'aménagement du territoire sont à mettre en lien avec les développements de la technologie informatique, de la conscience environnementale et des nouvelles approches scientifiques transdisciplinaires.

Les SIG sont apparus dans les années soixante dix. Particulièrement depuis le sommet de la Terre à Rio de Janeiro en 1992, a lieu une prise de conscience des problèmes environnementaux à toutes les échelles.

Le développement des SIG est étroitement lié à celui de l'informatique. Maguire et al. (1991) distinguent trois périodes principales :

- période 1950 - 1970 : début de l'informatique, premières applications de la cartographie automatique.
- Période 1970 -1980 : diffusion des outils de cartographie automatique, SIG dans les organismes d'Etat (armée, cadastre, services topographiques ...).
- 1980 à ce jour : croissance du marché des logiciels, développements des applications sur PC, mise en réseau (bases de données distribuées, applications sur Internet). [B1]

2.3 Qu'est ce qu'un SIG

Plusieurs aspects sont sous-jacents à la notion de SIG. L'information qui est la donnée géographique, qui qualifie cette information, en la supposant localisée dans l'espace. Le système qui sous-entend que cette information est organisée au sein d'un système informatique. D'où la signification des SIG varie selon le niveau de perception : informaticien, utilisateur, et décideurs plusieurs définitions sont alors possibles :

1. Un SIG est un ensemble de données numériques, localisées géographiquement et structurées à l'intérieur d'un système de traitement informatique comprenant des modules fonctionnels permettant de construire, de modifier, d'interroger, de représenter cartographiquement, la base de données, selon des critères sémantiques et spatiaux (Figure 2.1).

2. Outil de prise de décision, d'aide à la planification et au développement, constitué d'une part d'une base de données géographique référencées Spatialement à la terre pour une zone déterminée et d'autre part de procédure et de technique pour le recueil systématique, la mise à jour, Le traitement et la discussion des données. La base d'un SIG est un système de référence spatiale uniforme, qui facilite la liaison des données du système avec d'autres données localisées (FIG. 2.2). [W4]

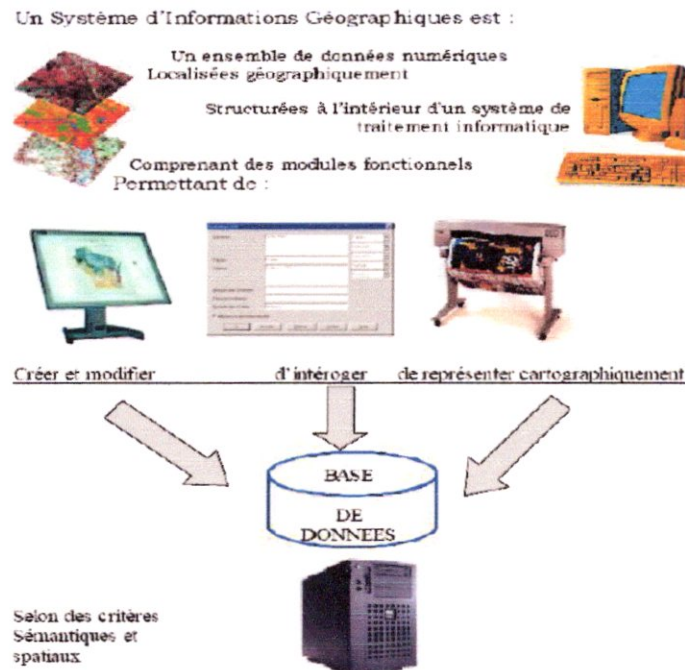


Figure 2.1 - Point de vue des informaticiens.

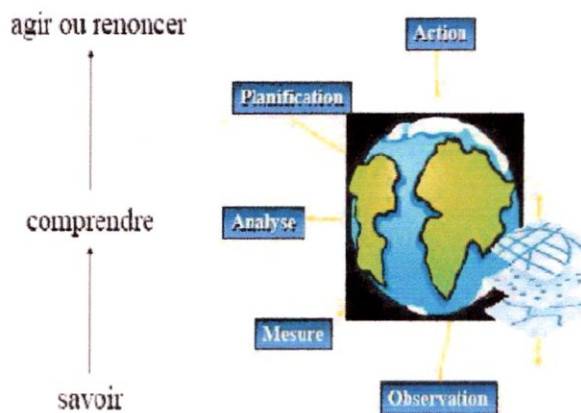


Figure 2.2 -Point de vue décideur.

2.4 Structure d'un SIG

La figure suivante met en évidence quatre groupes de fonctionnalités au dessous d'une couche applications : **l'acquisition des données géographiques** d'origines diverses, **la gestion** pour le stockage et la recherche des données, **l'analyse spatiale** pour le traitement et l'exploitation et enfin **la présentation des résultats** sous forme cartographique (FIG. 2.3).

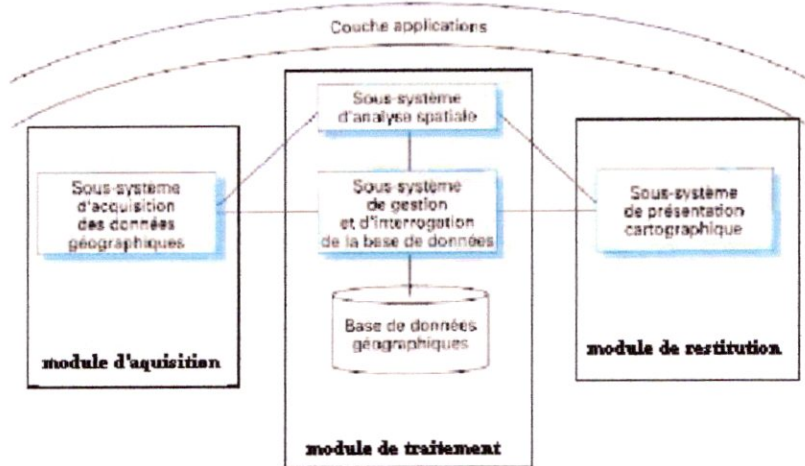


Figure 2.3 -Structure d'un système d'information géographique.

Les fonctionnalités dans chacun de ces groupes peuvent être plus ou moins complètes dans chacun des SIG commercialisés. Notons également que chaque utilisateur d'un SIG n'a pas nécessairement besoin de la totalité de ces fonctions. [W11]

2.5 Les composants d'un SIG

Au plan le plus simple et indépendamment de la chaîne de production des données géographiques qui repose sur des mécanismes industriels, il nous paraît, possible de distinguer cinq (05) composantes majeures dans les SIG :

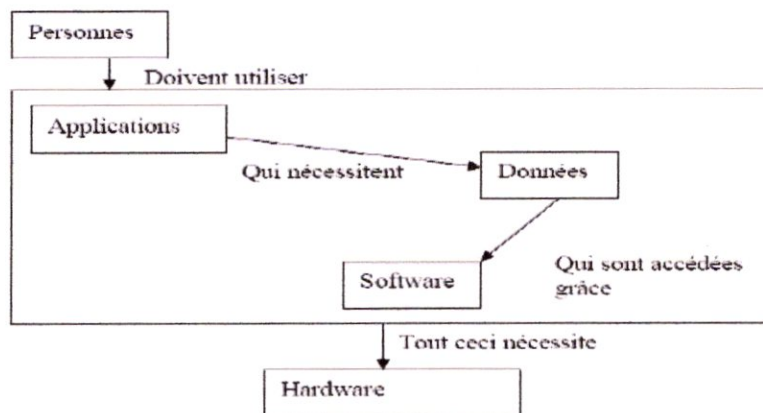


Figure 2.4 -Composant d'un système d'information géographique.

1. **Matériel (hardware)** : Les SIG fonctionnent aujourd'hui sur une très large gamme d'ordinateurs des serveurs de données aux ordinateurs de bureaux connectés en réseau ou utilisés de façon autonome.

2. **Logiciels (software)** : Les logiciels de SIG offrent les outils et les fonctions pour stocker, analyser et afficher toutes les informations .Principaux composants logiciel d'un SIG : Outils pour saisir et manipuler les informations géographiques Système de gestion de base de données Outils géographiques de requête, analyse et visualisation. Interface graphique utilisateur pour une utilisation facile.

3. **Données** : Les données sont certainement les composantes les plus importantes des SIG. Les données géographiques et les données tabulaires associées peuvent, soit être constituées en interne, soit acquises auprès de producteurs de données.

4. **Utilisateurs (personnes)** : Un SIG étant avant tout un outil, c'est son utilisation (et donc, son ou ses utilisateurs) qui permet d'en exploiter la quintessence. Les SIG s'adressent à une très grande communauté d'utilisateurs depuis ceux qui créent et maintiennent les systèmes, jusqu'aux personnes utilisant dans leur travail quotidien la dimension géographique. Avec l'avènement des SIG sur Internet, la communauté des utilisateurs de SIG s'agrandit de façon importante chaque jour et il est raisonnable de penser qu'à brève échéance, nous serons tous à des niveaux différents des utilisateurs de SIG.

5. **Méthodes (application)** : La mise en oeuvre et l'exploitation d'un SIG ne peut s'envisager sans le respect de certaines règles et procédures propres à chaque organisation. [B1]

2.6 Fonctionnalités d'un SIG

Les SIG peuvent être constitués pour répondre à différentes demandes. Comme le système universel n'existe pas, il faut les adapter selon les objectifs fixés. Toutefois ils ont en commun des fonctionnalités que l'on retrouve dans chaque système regrouper en 05 familles sous le terme de "5A" pour :

Abstraction, Acquisition, Archivage, Affichage et Analyse.

Ces termes résument les fonctionnalités que tous les systèmes doivent assurer, nous allons rapidement décrire ces fonctions attendues d'un SIG.

- **Abstraction :**

Les SIG sont utilisés pour réaliser des descriptions du territoire permettons d'obtenir l'information nécessaire pour répondre à une problématique

Ces informations que certains sont des représentations (modélisations) d'élément ou de phénomènes existants cherchent à reproduire le plus fidèlement possible la réalité d'une manière compréhensible pour répondre à des objectifs données.

Il est nécessaire donc de préciser les éléments sur lesquels on doit disposer de l'information et la nature de celle-ci, en plus leur dessin est effectué en respectant des règles sémiologiques destinées à faire percevoir facilement un maximum d'information aux lecteurs (de la carte).

On modélisant on doit prendre en compte les objectifs attendus du système d'information. Pour cela les méthodes utilisées pour la réalisation des systèmes d'information "classique" sont valables et doivent préciser les attentes (que veut-on faire ?), les méthodes (comment faire ?) et les problèmes concrets (avec quoi ?).

- **Acquisition :**

Les éléments que doit contenir le système sont connus dès que le modèle conceptuel est établi et que sont précisées les informations géométriques et sémantiques nécessaire. Les

données doivent ensuite être intégrées et doivent répondre aux exigences de qualité induites par les objectifs à atteindre.

Ces données peuvent provenir de fournisseurs extérieurs, de numérisation directe ou de traitement particuliers comme des images satellitaires par exemple. Les données peuvent être de quatre types différents selon la géométrie qui leur est associée : les données raster, vecteurs, les grilles ou MNT (Modélisation Numérique du Terrain), et les données sans géométrie. (Figure. 2.5)

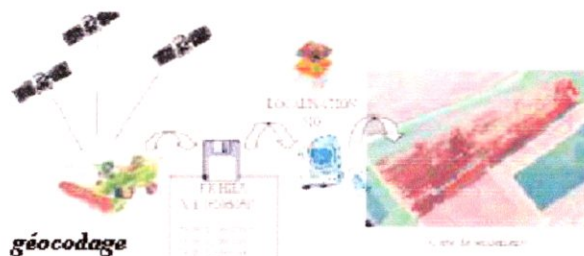


Figure 2.5 - L'acquisition des données géographiques.

- **Archivage :**

Ce module s'appuie sur le support de stockage d'informations, pour les données sémantiques que pour les données graphiques, l'utilisation d'un logiciel de CAO/DAO et une alternative possible pour gérer ces dernières données. Les fonctions d'interrogation sont traitées par un langage assertionnel qui transforme les termes de la requête de l'utilisateur en élément d'algèbre relationnel.

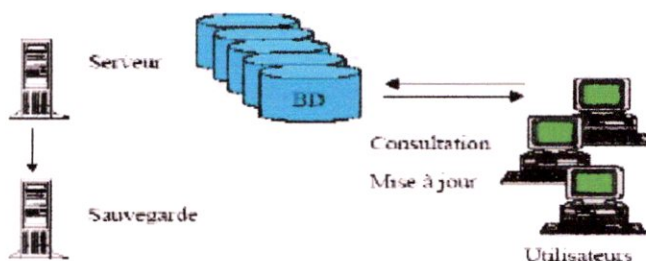


Figure 2.6 - L'archivage des données géographiques.

- **Affichage :**

Ce module intègre tous les outils de restitution des traitements, leur - n'alité tient dans la matérialisation physique des phénomènes spatiaux, et de leur interaction avec les données sémantiques, un mode hypertexte peut être retenu. (FIG. 2.7)



Figure 2.7 - L'affichage des données géographiques.

- **Analyse :**

Ce module contient les fonctions qui différencient les SIG entre eux. Les données contenues dans un SIG décrivent un terrain, et donc permettent d'appréhender les événements potentiels pouvant survenir. L'utilisation des données dans la résolution de problématiques variées valorisera d'avantage un système d'information. Les principales possibilités offertes par la mise à disposition de renseignements géométriques et de renseignements sémantiques concernent la mise en relation mutuelle d'objets localisés ayant certaines propriétés.

Les différentes relations que l'on peut mettre en oeuvre concernent la proximité (trouver les objets proches d'un autre), la topologie (objets jointifs, inclus, partiellement inclus, exclus) ou la forme (taille, type). Comme les objets possèdent aussi des attributs traduisant des propriétés autres que géométriques, les analyses faites dans les systèmes d'information classiques, c'est à dire sans utiliser de fonction géométrique, peuvent être réalisées. Il est ensuite naturel d'utiliser une combinaison entre les propriétés géométriques et les propriétés sémantiques afin de réaliser une analyse complète.

Il est ainsi possible de rechercher les objets ayant certaines propriétés situées dans une zone donnée ou à une distance maximale d'un lieu fixé. Les informations supplémentaires amenées par les propriétés géométriques sont utilisées pour effectuer des traitements complexes qui affinent des analyses et qui accélèrent leur mise à disposition car elles peuvent souvent être réalisées avec un seul outil. [B4]

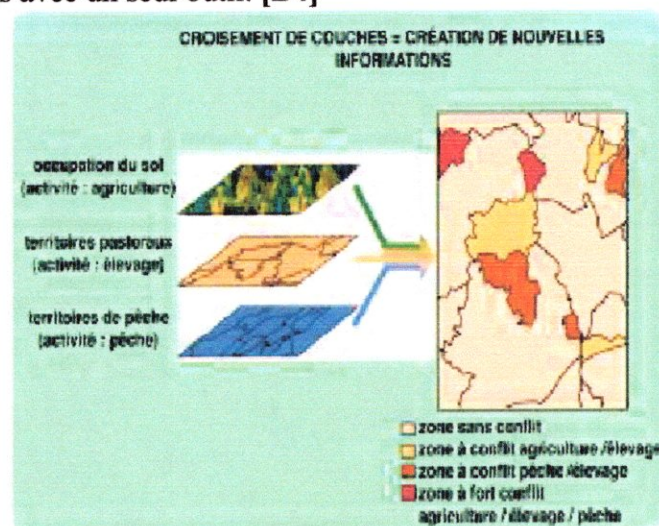


Figure 2.8 - L'analyse des données géographiques.

2.7 Les domaines d'applications

- **L'Etat et les collectivités locales :**

Adopté par les décideurs dans une multitude de secteurs et de multiples façons, un logiciel SIG permet à ses utilisateurs de gérer et de manipuler leurs données de manière judicieuse.

Les analystes sont à même déterminer les caractéristiques et les processus de projets viables ou non. Grâce à un logiciel SIG, les stratèges se donnent les moyens de créer les bases qui garantiront la longévité des communautés prospères, du commerce et de l'administration ainsi que la longévité des ressources de la planète.

L'Etat : Les organismes gouvernementaux font confiance à la technologie SIG pour établir des règles et légiférer ainsi que pour renforcer l'aide sociale apportée à leurs concitoyens. Un SIG est en outre un moyen judicieux pour ces organismes de fournir des informations publiques.

Collectivités locales : Les collectivités Locales font appel à un SIG pour organiser entre autres, des informations sur le cadastre, l'urbanisme, le développement économique, le patrimoine, les réseaux et toutes les informations publiques.

- **Gestion et préservation de l'environnement :**

Océans : Un SIG marin utilise des données sur les océans et les mers pour représenter des phénomènes survenant dans les eaux littorales et des grands fonds, comme les courants, la salinité, la température, la masse biologique et écologique et la densité.

Terres et sols : Des informations précises sur le paysage local sont indispensables dans la prise de décision sur ce qu'il faut protéger et comment le protéger. Les cartes numériques de sites peuvent être liées à des bases de données relationnelles qui stockent des données topographiques, à des données de base, de la documentation sur les sites et à des photographies numériques aériennes.

Faune : Un SIG est un outil important dans la gestion et la protection des habitats et des espèces. Un SIG permet d'étudier les populations animales à diverses échelles et fournit des outils analytiques pour étudier les corridors d'habitats, les schémas de migration et l'influence des parcs et réserves naturelles sur la préservation de la faune.

Végétation: Un N SIG représente l'outil idéal pour cartographier et inventorier la végétation et mieux comprendre pourquoi certaines espèces sont menacées ou en danger.

- **Recherche :**

Un SIG représente l'outil idéal pour les chercheurs. Grâce à lui, ils peuvent modéliser le monde réel, classer et observer des phénomènes et prévoir les changements à venir. Les modèles de données ArcGIS ont pour fonction de proposer des modèles réalistes pour la mise en œuvre de projets SIG. Ainsi, il devient plus facile pour les chercheurs et les professionnels de stocker, d'analyser et d'interroger les données. ESRI a créé un grand nombre de modèles de données pour faciliter l'utilisation des couches de données afin d'étudier les relations et de rechercher de nouvelles méthodes pour représenter le monde qui nous entoure.

- **L'Éducation :**

Un SIG aide les élèves de tout âge à comprendre l'importance de la géographie et de ses applications. Un SIG permet aux élèves et aux professeurs d'aborder des sujets qui suscitent (et entretiennent) un raisonnement critique, un apprentissage intégré et diverses aptitudes à tous les niveaux scolaires.

Un SIG peut aussi vous aider à prévoir l'avenir, il vous permet aussi d'étudier le passé, en intégrant des données historiques à des cartes interprétatives. Un SIG représente l'outil idéal pour les chercheurs qui, grâce à lui, peuvent modéliser le monde.

Un SIG aide ses utilisateurs à prendre de meilleures décisions pour gérer les ressources, assurer des services et fédérer durablement des communautés.

- **Prévention / Sécurité :**

Un SIG est un outil efficace dans la lutte contre la criminalité. Les experts de la police se servent d'un SIG pour la planification et la modélisation d'événements, la planification tactique et stratégique et la cartographie des lieux d'incidents. Des programmes dirigés par des services de police offrent à tous leurs officiers un accès aux informations sur les délits commis dans toute la ville.

- **Défense :**

La défense utilise les SIG pour les services de renseignements, la défense du territoire, l'analyse de terrain, la planification des missions et la gestion des infrastructures.

- **Transports :**

En ce qui concerne les transports, un SIG répond à trois besoins différents-la gestion des infrastructures, la gestion des parcs et de la logistique et la gestion des transits. Un SIG fournit des informations sur l'analyse et la planification des réseaux, le suivi et l'acheminement des véhicules, le suivi des stocks et l'analyse de la planification des itinéraires.

- **Télécommunications :**

Un SIG offre aux sociétés de télécommunications un éventail de solutions, qui permettent l'analyse des relations entre la couverture des signaux, l'édition de résultats de tests, la gestion des dossiers d'incidents, le suivi des requêtes clients et d'une façon plus générale tout le reporting de l'entreprise.

- **Santé :**

Toute gestion de services de soins et de santé qui se veut efficace fait appel à un SIG non seulement pour indiquer quelles ressources et quels besoins existent, mais également où le trouver. En outre, les experts de la santé se sont équipés de SIG pour surveiller l'épidémiologie et la santé publique. Ils peuvent suivre géographiquement les indicateurs de santé à différentes échelles, identifier les sites épidémiologiques et rechercher les sites à risques écologiques. Certains services de santé publique utilisent par exemple un SIG pour les programmes de lutte contre les moustiques.

- **Agriculture :**

Un SIG fournit des capacités analytiques qui sont à la cure de tout système agricole de précision réussi. Un SIG permet aux agriculteurs d'effectuer des analyses spatiales, propres aux sites, sur des données agronomiques.

- **Immobilier :**

Qu'il s'agisse de gestion de contacts sur carte ou de l'analyse sophistiquée des investissements dans les grands groupes immobiliers, les agences immobilières s'appuient largement sur la cartographie électronique. Un grand nombre d'agents immobiliers ont développé leurs activités en utilisant Internet pour commercialiser les biens dont ils avaient la charge.

- **Assurances :**

Un grand nombre de compagnies d'assurance ont fait de leur SIG l'élément central de leurs activités en l'utilisant pour visualiser, analyser et répartir les risques.

- **Commerce/Finance :**

Les analystes financiers ont recours à des SIG pour cibler leurs marchés en visualisant les besoins en services financiers. Des sociétés telles que Metropolitan Life et Chase Manhattan Bank font appel aux logiciels ESRI R pour améliorer la rentabilité et atteindre une excellence opérationnelle.

- **Média :**

Certaines sociétés de médias se sont munies d'un SIG notamment pour analyser les tirages et prospecter de nouveaux annonceurs, mais aussi pour créer des cartes qui seront utilisées dans les parutions elles-mêmes.

- **Commerce de détail :**

Les entreprises conservent des informations sur les ventes, les clients, les stocks, les profils démographiques et les listes de diffusion, qui sont autant d'éléments associés à des localisations géographiques. De ce fait, les directeurs, stratèges marketing, analystes financiers et gestionnaires utilisent de plus en plus des SIG pour organiser, analyser et présenter leurs données d'entreprise.

- **Gestion de l'énergie :**

Le processus d'acheminement de l'énergie repose largement sur des informations géographiques. De la conception des réseaux à la gestion des interruptions de service, plus de 80 % réalisée par les services publics porte sur des composants spatiaux et profitent donc pleinement des potentialités des SIG.

- **Gaz :**

La gestion des sources de gaz et des pipelines physiques se fait à partir d'un SIG qui permet d'obtenir toutes les informations, allant des caractéristiques des stations de production jusqu'aux conduites d'acheminement.

- **Electricité :**

Le SIG permet d'exploiter la base de données des installations électriques pour la maintenance, et l'intervention lors d'interruptions de services.

- **Eau et eaux usées :**

Dans des services ressources hydrauliques, les cartes de haute résolution détaillent la localisation géographique des pipelines souterrains, bassins versants, réservoirs et installations hydroélectriques. La base de données d'informations permet au service d'évaluer les possibilités de développement.

- **Foresterie :**

Les services de foresterie se servent d'un SIG comme composant clé permettant de gérer les ressources de gros bois d'oeuvre et de maintenir une gestion durable des forêts. Ces organismes tirent partie des fonctionnalités SIG pour des applications très diverses : estimation des sols, analyse du marché de gros bois d'oeuvre, planification des itinéraires des récoltes et visualisation du paysage rural.

- **Exploitation minière :**

La modélisation des terrains et des gisements, l'exploration, le forage, les programmes d'exploitation, la remise en état et la réhabilitation est des éléments cartographiques et numériques importants pour l'exploitation minière.

- **Ressources naturelles :**

L'exploration de pétrole et de gaz, l'aménagement hydraulique, la gestion du gros bois d'oeuvre et les opérations minières sont autant d'éléments qui nécessitent une évaluation fiable pour favoriser la croissance dans les zones capables de la soutenir, tout en évitant la pollution des rivières ou la destruction des ressources. Le délicat équilibre entre le développement industriel et la préservation de l'environnement nécessite des outils de modélisation et des outils analytiques de données spatiales.

- **Bibliothèques et musées :**

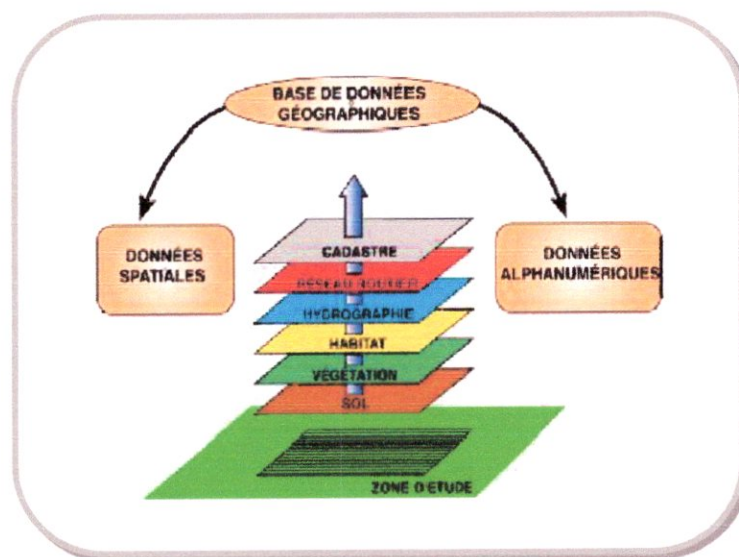
Un SIG permet de créer des cartes interactives pour les expositions dans les musées que les visiteurs peuvent ensuite consulter pour découvrir un personnage, un lieu ou un événement. Un SIG est également un outil de recherche précieux qu'utilisent les scientifiques et les chercheurs pour nous aider à mieux comprendre les systèmes naturels et les cultures humaines, de l'anthropologie à la zoologie. [B2]

2.8 Conclusion

Les SIG sont devenus très performants grâce aux progrès effectués sur les logiciels et sur les matériels. Ils permettent de traiter rapidement et efficacement des volumes importants de données et souvent en temps réel. La mise à disposition de données à jour concourt à faciliter la mise en oeuvre d'applications utilisant l'Information Géographique et permet d'assurer des résultats de qualité.

Chapitre 3

Notions sur les bases de données géographiques



3.1 Introduction

Modéliser les données est une étape fondamentale dans la conception des Bases de Données (BD) et nécessite des outils appropriés. Comme pour toute information susceptible d'être utilisée par l'ordinateur, il est possible de modéliser directement les données spatiales ou géographiques par des structures de données.

Cependant, cette approche est trop liée aux machines, c'est pourquoi des niveaux de modélisation plus proche des objets à manipuler sont préférables. Cela implique de se doter de Formalismes de représentation adaptés. Nous présentons ci-après un certain nombre de modèles de représentation des données, qui seront utilisés pour modéliser les données géographiques.

3.2 Qu'est ce qu'une BD

C'est un Ensemble de données organisées en vue de son utilisation par des programmes d'ordinateurs, associées éventuellement à toute information relative à leur utilisation.

L'avantage de cette approche :

- Réduire la redondance (duplication) des données ;
- Améliorer la qualité et assurer l'intégrité des données ;
- Faciliter l'entretien et la mise à jour des données ;
- Réduire le coût de développement des logiciels ;
- Restreint l'accès aux données et préserver la sécurité des informations.

Le concept de « banque de données » et souvent identifier au concept de « base de données ».

[W6]

3.3 Notions sur les BD spatiales

Les BD spatiales ont la particularité de la coexistence de deux types de données. **"Les données spatiales décrivent l'emplacement, la géométrie et la topologie de l'information à modéliser. D'autres données, de type classique, décrivent les éléments d'information non spatiale et prennent la forme d'enregistrements alphanumériques structurés"** (Scholl, 1996). On parle d'objet géographique pour les données spatiales et d'attributs pour les enregistrements alphanumériques. [W7]

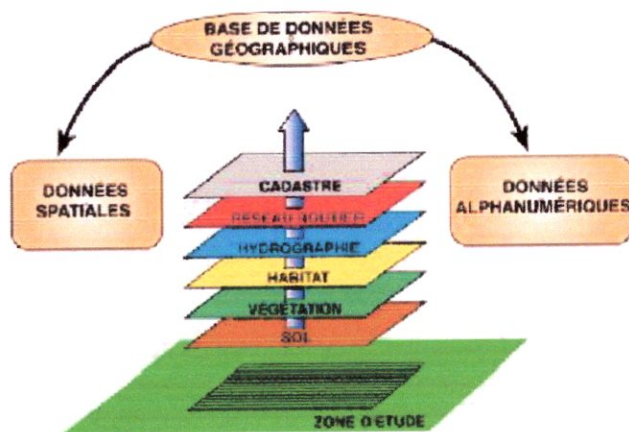


Figure 3.1 - Bases de Données Spatiales

3.4 Les différents niveaux de modélisation d'un système d'information

- **Généralités :**

Souvent lorsque l'information utile est dispersée entre plusieurs utilisateurs, son accès est rendu difficile, sinon impossible, sans une organisation minimale et sans l'aide d'un outil permettant de la rechercher : il s'agit du système d'information. La difficulté à rassembler l'information freine de manière générale son utilisation et parfois gêne l'obtention de résultats utilisant des éléments d'information disséminés auprès de plusieurs possesseurs.

Car outre que la connaissance même de leur existence peut être à elle seule un problème, elle ne suffit pas et la localisation ou la recherche d'éléments d'information peuvent générer des difficultés quelquefois insurmontables ou trop onéreuses pour justifier leur utilisation.

Destinés à rassembler les informations et utilisés pour permettre leur diffusion, les systèmes d'informations sont devenus les outils indispensables à toute entité gérant de l'information.

Cette information peut être financière, technique ou documentaire. Ces systèmes rassemblent et gèrent des masses importantes d'information et permettent d'avoir ainsi accès à cette dernière en retrouvant les renseignements cherchés ou en indiquant au minimum l'endroit ou le support les contenant.

L'information disponible est alors valorisée car son organisation autorisera une consultation poussée, permettant la réalisation de produits à valeur ajoutée (analyses, calculs, références).

Ils sont en effet utilisés pour améliorer la connaissance ou le savoir d'une entité comme une entreprise, un laboratoire ou une bibliothèque. Ils peuvent par exemple aider à la prise de décision en fournissant à des outils de mesure l'information nécessaire pour décrire l'état d'une partie ou de la totalité de cette dernière (comme un bilan financier ou comptable). En permettant de rassembler les informations élémentaires, ils fournissent un outil de travail pouvant être partagé par l'ensemble des collaborateurs qui ont ainsi un accès à la totalité de l'information et non plus uniquement à celle qu'ils possèdent ou celle dont ils connaissent l'existence.

Ils offrent la possibilité d'agrèger les données afin de calculer des indicateurs globaux répondant aux besoins des décideurs qui doivent détenir des informations fiables, synthétisant les opérations élémentaires réalisées, afin d'estimer les évolutions et les capacités de l'entreprise.

Ils permettent aussi de simuler des situations en calculant l'influence de l'évolution d'un ou de plusieurs paramètres sur les autres ou sur le bilan global. Ils mettent à disposition les données et les traitements associés permettant de réaliser des synthèses et des analyses variées.

Les données sont souvent gérées au moyen de systèmes de gestion de bases de données (SGBD) qui assurent le stockage des données de toutes sortes, puis effectuent la recherche, l'extraction et la présentation des informations nécessaires aux traitements demandés par ailleurs.

- Définition d'un système d'information

Un Système d'information est composé du matériel informatique et du personnel associé. Il remplit les fonctions d'entrées, de traitement, de mémorisation, de sortie et de commande pour effectuer une suite d'opération portant sur les données.

- Description générale :

La constitution d'un système d'information nécessite une réflexion approfondie afin de répondre le mieux possible aux attentes des futurs utilisateurs. C'est pour cette raison qu'il faut distinguer quatre niveaux de modélisation :

- Niveau externe.
- Niveau conceptuel.
- Niveau logique.
- La réalisation concrète de ce dernier (niveau interne).

Ces niveaux peuvent correspondre à des types de préoccupations : celle du maître d'ouvrage qui veut mettre en place un système afin de résoudre des problématiques de fonctionnement, celui du maître d'ouvrage qui doit trouver une solution pour répondre à la demande du maître d'ouvrage et celui du réalisateur qui créera le système.

Ces niveaux de préoccupations sont traduits dans les faits par les principales étapes d'une démarche visant à assurer le succès du système, étapes recommandées lorsqu'une étude est lancée afin de mettre en place ou d'améliorer une application utilisant un système d'information qui sont :

- **Le niveau externe** : le vrai point de départ est ce niveau qui représente pour chaque utilisateur, les sous ensemble du monde réel qui l'intéresse. Dans certain cas, pour chaque application, on définit un modèle externe qui décrit l'ensemble des données utile pour celle-ci. On obtient ainsi un ensemble de modèle indépendant.

- **Le niveau conceptuel** : Ce niveau est le plus important car il aboutit à l'élaboration d'un modèle conceptuel qui se présente comme la synthèse des modèles externe (que veut on faire ?). On l'appelle conceptuel pour deux raisons : d'une part il est basé sur des concepts bien établis et d'autre part il sert de base à la conception de la BD. Ce n'est pas seulement un outil de schématisation et de représentation du monde réel, mais également un excellent outil suscitant la discussion et le dialogue entre les utilisateurs. Cela va de soit qu'un bon modèle conceptuel doit être compréhensible et avoir l'aval des différents utilisateurs concernés par la conception de la future BD. Le formalisme le plus utilisé pour ce niveau est le modèle entité association.

- **Le niveau logique du système d'information** : précise comment les fonctionnalités attendues sont réalisées, quelle est l'information nécessaire et quels traitements vont l'utiliser afin de réaliser les objectifs fixés (Comment va t on faire ?). La conception à ce niveau du système ne prend en compte que les fonctionnalités demandées indépendamment des moyens techniques utilisés pour sa réalisation.

- **Le niveau de la réalisation** : Correspond au niveau des octets, c'est à dire des structures physiques de données en tenant compte des structures des périphériques de stockage, des méthodes d'accès. Généralement, ce niveau n'est pas accessible aux utilisateurs. Notons qu'il existe un principe fondamental à appliquer en toutes circonstances : l'indépendance des traitements et des données pour assurer une évolutivité du système. En effet ce principe simple à énoncer mais plus difficile à réaliser garantit que s'il est appliqué la forme des données n'interagit pas avec les développements et vice versa. Cela signifie qu'en cas

d'évolution des données, les traitements existants continueront à fonctionner et de même toute modification des traitements sera possible avec les données existantes.

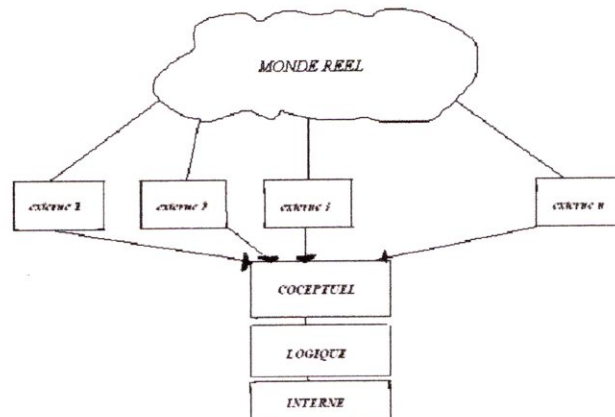


Figure 3.2 - Le système d'information

L'indépendance entre les deux constituants d'un système ne sera pas réalisée si par exemple le traitement demande aux données une structure particulière ou des propriétés spécifiques comme un ordre particulier dans la liste des attributs III. [W8]

3.5 Les modèles

Les méthodologies de conception des BD qui se sont imposées ces dix dernières années, ont beaucoup apporté dans la définition des concepts pour la représentation des données. Un nombre important de modèles a été développé, le modèle baptisé « entité-association » (entity relationship) est celui qui a fait l'unanimité.

Parmi les méthodologies qui l'utilisent, la méthode Merise est l'une des plus connues. Les concepts de ce modèle sont simples à comprendre car proches du monde réel.

- **Entité, classes d'entités :**

L'**entité** est un objet abstrait qui sert à regrouper des données pour représenter le fonctionnement d'une organisation. Ces données seront regroupées de façon homogène.

Exemples :

– dans une organisation "LYCÉE", on trouvera les entités **ÉLÈVE, CLASSE, MATIÈRE, PROFESSEUR.**

– dans une entreprise, on trouvera les entités **PRODUIT, CLIENT, FOURNISSEUR, COMMANDE, LIVRAISON,** etc.

- **Attribut, identifiants :**

Les entités d'une même classe sont décrites par des informations appelées **propriétés, attributs**. Chaque entité (ou occurrence) de la classe doit être unique et être identifiable à l'aide d'une propriété particulier appelée **identifiant (ou clé)**.

Exemple :

Un nom de famille peut être présentes plusieurs fois dans l'ensemble des occurrences de l'entité

ÉLÈVE, on choisira donc un numéro d'élève afin d'éviter les homonymies.

- **Représentation :**
On représente (par convention) une entité dans un rectangle surmonté du nom de l'entité, listant l'ensemble des propriétés. L'identifiant sera mis en évidence par un soulignement (Aussi par convention).

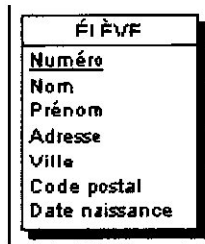


Figure 3.3 - Entité

- **Associations :**
Elle représente le lien entre deux entités, lien qui correspond généralement à un verbe dans la description de l'organisation.

Exemple :

Pour représenter la phrase suivante "un élève fait partie d'une classe", on aura, d'une part, l'entité **ÉLÈVE**, d'autre part, l'entité **CLASSE**, et entre les deux l'association **FAIT PARTIE**.

Par convention, l'association sera représentée dans un "cartouche", avec en haut le nom de l'association, et en bas les propriétés dont elle pourrait être porteuse.

- **Cardinalités :**
On indique pour chaque entité et chaque association deux cardinalités, minimum et maximum, qui indiquent le nombre d'occurrences de l'entité qui peuvent être concernées par cette association.

Les "couples de cardinalités " possibles sont : 0, 1 ; 1, 1 ; 0, n ; 1, n

- **Cardinalités :**
On indique pour chaque entité et chaque association deux cardinalités, minimum et maximum, qui indiquent le nombre d'occurrences de l'entité qui peuvent être concernées par cette association.

Les "couples de cardinalités " possibles sont : 0, 1 ; 1, 1 ; 0, n ; 1, n

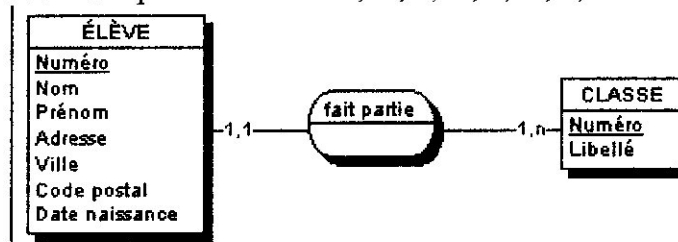


Figure 3.4 - Diagramme de modèle entité association

3.6 Les systèmes de gestion de bases de données

Les SGBD Géographiques sont au cœur des (SIG). Ils permettent de gérer la persistance des données, leur manipulation et leur analyse spatiale. Seulement, les techniques conventionnelles de BD ne suffisent pas au support de la complexité et du volume important des données et aux divers traitements géographiques.

En effet, la composante spatiale de ces données nécessite la mise en oeuvre d'un modèle intrinsèque décrivant la géométrie et/ou la topologie au sein du système. Les traitements sont plus complexes et font appel à des algorithmes géométriques, qu'il faut optimiser par des structures adaptées, en définissant par exemple des index spatiaux.

3.7 Communication dynamique SIG/SGBD : SQL et ODBC

On veut parfois pouvoir maintenir une BD à la fois sur un SIG et sur un SGBD classique. Soit parce que cela correspond à deux utilisations différentes, soit parce que la base sous le SGBD est très grosse et que le SIG sera moins performant pour réaliser des requêtes "simples" ne faisant pas intervenir le spatial. [W14]

Pour cela on souhaite alors faire communiquer les deux systèmes, cela peut se faire soit :
Statiquement Ou les échanges et les mises à jour se font par l'intermédiaire de fichiers.

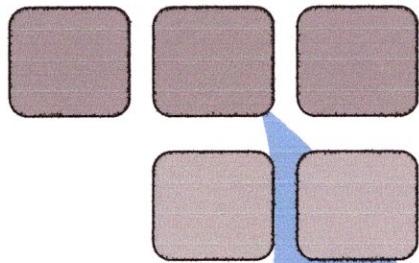
Dynamiquement Les deux programmes doivent pouvoir communiquer dynamiquement entre eux, pour s'échanger de l'information. Sous Unix les SGBD sous SQL peut jouer le rôle de serveur SQL. Une application cliente (le SIG) peut l'interroger (requête).

Dans le monde de la micro, ces possibilités existent aussi, plusieurs normes tentent actuellement de s'imposer, citons ODBC proposé par Microsoft et supporté par Access

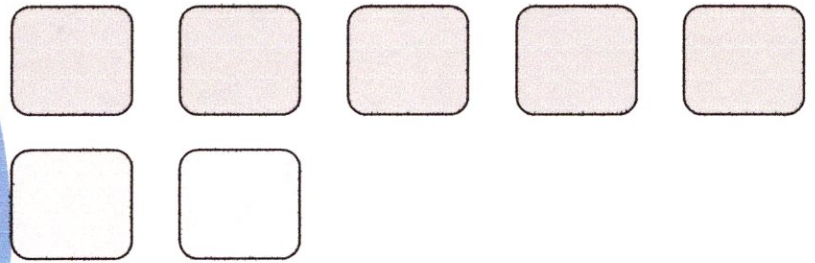
3.8 Conclusion

La conception des BD s'appuie sur des concepts solides pour lesquels il y a un consensus ; des méthodologies de conception ont été mises au point.

La mise en place des SIG doit s'appuyer sur ce savoir faire si l'on veut constituer des BD géographiques de grande ampleur.



Chapitre 4



Generalites Sur Les Cartes Aéronautiques



4.1 Introduction

Les anciens navigateurs, sans l'aide des instruments de navigation, explorèrent les côtes de l'Europe, de l'Asie et de l'Afrique. Les Vikings atteignirent même l'Amérique du Nord. Toutes ces expéditions se firent cependant au prix de nombreux naufrages. Les meilleurs d'entre eux savaient reconnaître leur route et l'évolution du temps à divers signes : l'aspect du ciel, la position des astres, la couleur et la saveur de l'eau, le comportement des animaux, etc.

Ce savoir a généralement disparu, surtout après l'utilisation des cartes et d'autres moyens d'orientation tel que la boussole et d'autres plus sophistiqués (exemple : G.P.S : Global Positioning system) sauf chez certains peuples du Pacifique qui savent encore, avec une simple pirogue, rejoindre une île située à des centaines de milles.

4.2 Les cartes aéronautiques

Pour pouvoir se déplacer et prévoir sa navigation, il faut représenter la terre sur des cartes.

La terre n'étant pas plate, lorsque l'on projette sa surface sur une carte on engendre des déformations qui modifient les distances.

Plus la carte représente une partie importante de la terre et plus les déformations sont importantes.

On utilise donc des cartes dont l'étendue représentée est limitée.

Les parallèles et méridiens sont figurés sur les cartes afin de pouvoir donner les coordonnées géographiques de tous les points y figurant.

- L'échelle d'une carte

Les cartes aéronautiques les plus utilisées ont pour échelle 1/500 000^{ème}, 1/1 000 000^{ème} et 1/2 000 000^{ème}. Ce chiffre représente le rapport entre la distance mesurée sur la carte et la distance réelle. En pratique, sur ces cartes 1cm représente respectivement 5 km, 10 km et 20 km.

Echelle = distance sur la carte/distance sur la Terre

L'unité de distance

$$1 \text{ NM} = 40\,000 / (360 * 60) = 1,852 \text{ km}$$

$$1 \text{ minute d'arc} = 1 \text{ NM}$$

- La carte de navigation à vue échelle 1/500 000^{ème}

Elle comprend 7 feuilles :

$$1 \text{ cm} = 5 \text{ km} (2,7 \text{ NM})$$

Les méridiens et les parallèles sont tracés des demi-degrés en demi-degrés

Le relief est représenté au moyen de différentes couleurs (appelées teintes hypsométriques)

Cette carte sert au vol à vue en basse altitude.

Les renseignements qui y sont indiqués sont entre le sol et 5000ft QNH. Tout ce qui commence au dessus n'apparaît pas.

- On y trouve les villes, villages principales routes, voies ferrées, cours d'eau, forêts, reliefs,...

- On y trouve aussi les obstacles artificiels (antennes,...).

Les zones aéronautiques y figurent également avec notamment les:

- TMA (région de contrôle terminale)

- CTR (zone de contrôle)
- Zones P, R, D (Prohibited, Restricted, Dangerous)
- Axes de voltige, zones de parachutage, ...
- Des informations sur la classification des zones et les fréquences radio de contact.
- Les terrains d'aviation avec
 - Le nom du terrain
 - La fréquence radio de la tour
 - L'altitude du terrain en ft (feet) (au QNH : la pression qui règne au niveau de la mer)
 - La longueur de piste en centaines de mètres.
 - La présence ou non d'un balisage lumineux
- Les principales balises de radionavigation et leur fréquence.

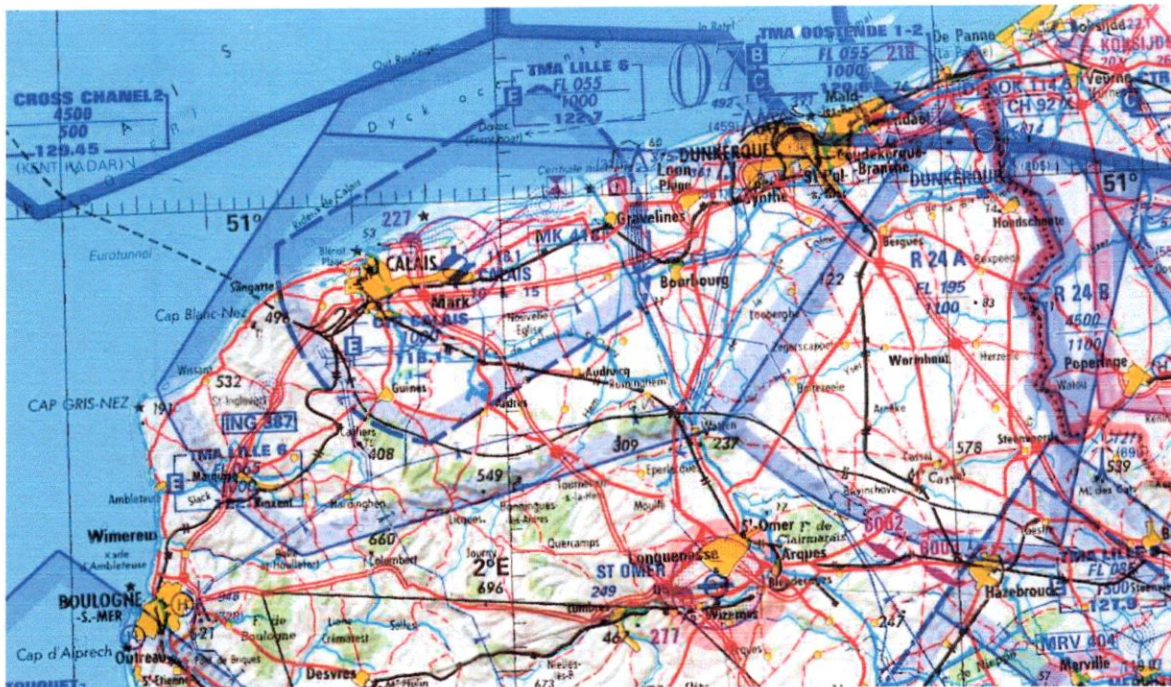


Figure 5.1 - Carte de navigation à vue Echelle 1/500 000^{ème}.

● La carte radionavigation à vue au 1/1 000 000^{ème} SIA

Elle fournit tous les renseignements indispensables sur les aides radioélectriques (VOR et NDB), les espaces aériens réglementés (rouge ou bleu : zones interdites/réglémentées/dangereuses/réservées, vert : espaces aériens contrôlés). Elle comprend 5 feuilles : nord-ouest, nord-est, sud-est, sud-ouest, région parisienne.

Echelle : 1 cm = 10 km (5,5 NM).

Cette carte est utilisée pour la radionavigation à vue.

Elle comporte beaucoup moins de détails sur le relief et le sol que la 1/500 000 mais plus sur les balises RN(radio nav) et les routes entre elles.

Les zones représentées sont comprises entre 3000ft AMSL (ou 1600 AGL) et le FL195.



Figure 5.2 - Carte radionavigation à vue 1/1000 000^{ème}.

- **La carte de navigation 1/2 000 000^{ème} IFR (instrument flight rules)**

La 1/2 000 000^{ème} ne représente aucun détail de la géographie des zones qu'elle représente.

Elle ne fournit que les informations sur les balises de RN, les airways, les zones de contrôle et les fréquences associées.

Il en existe toujours 2 pour une même région : 1 pour l'espace inférieur et 1 pour l'espace supérieur.

Elle ne sert qu'en vol IFR.

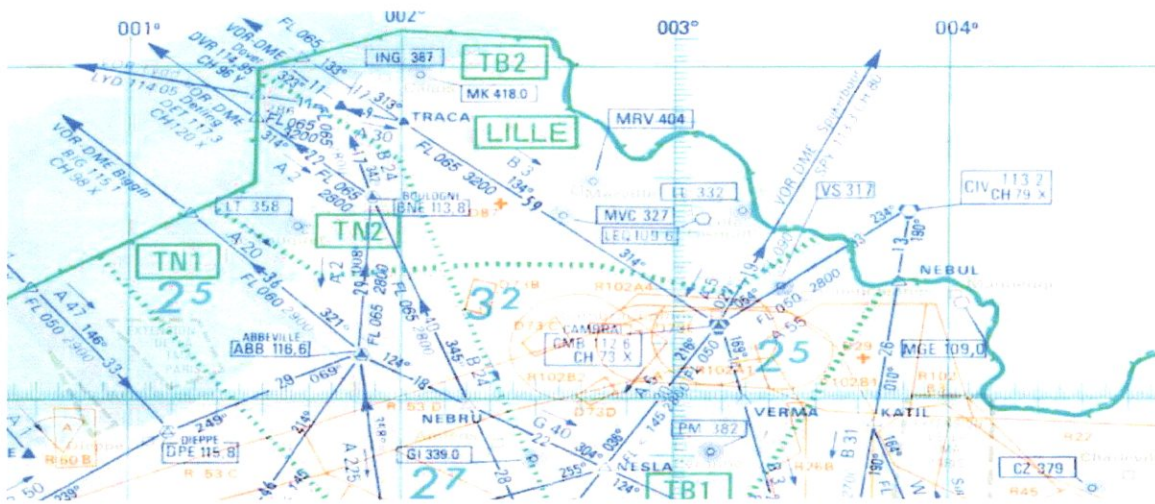


Figure 5.3 - Carte de navigation 1/2 000 000^{ème} IFR.

- **Les cartes d'aérodromes**

Elles peuvent comporter plusieurs volets selon l'importance du terrain .On peut trouver des :

- cartes générales indiquant les **cheminements d'arrivée**, de **départ** ou de **transit**, ainsi que **les fréquences radio** (aérodromes importants)
 - **renseignements utiles** (possibilité de ravitaillement, horaires d'ouverture et de fermeture des organismes présents sur le terrain...)
 - cartes des **taxiways** et **parkings**
 - cartes d'**atterrissage** indiquant le sens des circuits et les caractéristiques de la piste
- Ces cartes sont généralement présentées dans un manuel où les aérodromes sont classés par ordre alphabétique. Les cartes VAC sont éditées par le Service de l'Information Aéronautique (SIA). [B7]

4.3 Conclusion

Après des siècles d'utilisation, les cartes restent toujours un élément essentiel, il en est de même pour les techniques de navigation. Malgré l'introduction de nouveaux produits sophistiqués, la navigation d'aujourd'hui utilise toujours les anciennes techniques mais avec une plus grande précision.

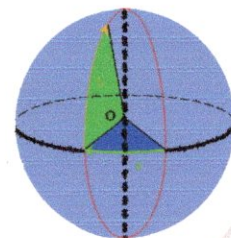
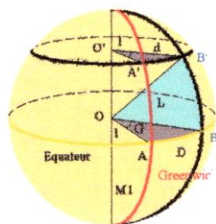


Deuxième partie

Etudes théoriques

Chapitre 5

NOTION SUR LE PLUS COURT CHEMIN



5-1 Introduction

Dans le domaine de transport par exemple, lorsque l'on cherche à se déplacer d'un point A, à un autre point B. Il est évident de suivre le plus court chemin, c'est-à-dire la trajectoire la plus courte entre A et B

Si il existe plusieurs possibilités pour déplacer du point (A) vers le point (B), le problème sera résolu si en peut déterminer le plus court chemin et qui sera note par PCC dans la suite du présent document

On représente un réseau par un graphe composé de nœuds (les sommets du graphe) et de liens orientés (les arcs du graphe). Imaginez, par exemple, un réseau composé de 20 nœuds - ce qui est très raisonnable - et comportant un lien direct entre chaque nœud (soit 380 liens orientés). Un simple calcul combinatoire montre qu'entre deux nœuds donnés, le nombre de « chemins » possibles est 6000 MILLIARES ! Ainsi, à supposer qu'il faille 1 microseconde pour calculer la longueur d'un trajet, la solution exhaustive prendrait environ 6 milliards de secondes, c'est-à-dire plus de 740 000 jours... et même si on réduisait le temps de calcul d'un trajet à 1 nanoseconde, il faudrait encore 741 jours. Cet exemple est extrême, mais il montre bien la nécessité de disposer d'algorithmes évitant de calculer tous les trajets possibles, pour éviter l'« explosion combinatoire ». Heureusement, on connaît de tels algorithmes, dont les temps de calculs resteront proportionnels, dans le pire des cas, au cube du nombre de nœuds (et souvent au carré). Ainsi, pour notre exemple, le nombre de chemins calculés sera au pire de 20^3 c'est à dire 8000 ou même de 20^2 c'est-à-dire 400, selon les cas. Ce qui est nettement mieux, chacun en conviendra.

5-2 Le plus court chemin: Définition et Applications

Dans l'exemple suivant on représente un réseau par un graphe composé de nœuds (les sommets du graphe) et de liens orientés (les arcs du graphe). Imaginez, par exemple, un réseau composé de 20 nœuds - ce qui est très raisonnable et comportant un lien direct entre chaque nœud (soit 380 liens orientés). Un simple calcul combinatoire montre qu'entre deux nœuds donnés, le nombre de « chemins » possibles est supérieur à 6000 MILLIARDS. Ainsi, à supposer qu'il faille 1 microseconde pour calculer la longueur d'un trajet, la solution exhaustive prendrait environ 6 milliards de secondes, c'est-à-dire plus de 740 000 jours. Cet exemple est extrême, mais il montre bien la nécessité de disposer d'algorithmes évitant de calculer tous les trajets possibles, pour éviter.

Plusieurs applications nécessitant l'utilisation du PCC pour des raisons économiques (gain du temps, gain du coût,) tel que l'étude d'un itinéraire routier, organisation d'un réseau de télécommunication, système d'information de trafic d'un réseau ferroviaire, analyse de réseaux sémantiques (par exemple de citations bibliographiques), navigation arienne, . . . etc.

L'objectif du présent travail est de déterminer les chemins optimales dans un réseau arienne, l'étude de ce problème nécessite le calcul du recherche du plus court chemin qui liée deux points géographiques (soit Aéroport), que nous préférons appeler la trajectoire optimale (minimale). Donc il s'agit d'une manière générale de

calculer plus courts chemins de n'importe quelle origine vers n'importe quelle extrémité

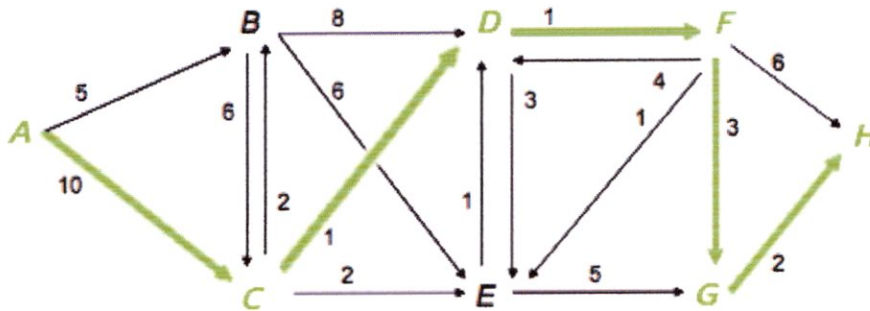


Figure IV-1 : Exemple Réseau routière

Soit le réseau routier représenté dans la figure précédente, pour aller du pont A à H il existe plusieurs solutions tel que par exemple :

- **Solution 1 :** $AC+CE+EG+GH= 10+2+5+2=19$
- **Solution 2 :** $AB+BE+EG+GH=5+6+5+2=18$
- **Solution 3 :** $AC+CD+DF+FG+GH=10+1+1+3+2=17$

On remarque que la meilleure solution pour aller de A à H est donnée par solution 3 qui a pour valeur 17 et son tracé est : $A \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow F \rightarrow G \rightarrow H$.

5- 3 Méthodes de calcul du plus cour chemin

Pour la détermination du plus court chemin, il existe des algorithmes assez simples tel que l'algorithme ordinal, l'algorithme de Dijkstra, l'algorithme de Bellman - KALABA

5-3-1 Algorithme ordinal : L'algorithme ordinal repose sur le principe très simple d'exploration à partir des prédécesseurs, en supposant qu'il n'y a pas de circuit, et que le sommet de départ est le seul sommet sans prédécesseur.

5-3-2 L'algorithme de Dijkstra: Quant à lui repose sur le principe d'exploration à partir du meilleur, c'est à dire du meilleur prédécesseur visité. Il peut être utilisé quand tous les arcs ont une valeur non négative, correspondant à ce qui est consommé sur un trajet donné. Dans ce cas, il ne peut pas y avoir de circuits absorbants, mais il peut y avoir d'autres types de circuits, comme des liens bidirectionnels. En pratique, cet algorithme est très souvent utilisé pour résoudre des problèmes de routage dans les réseaux de télécommunication.

5-3-3 L'algorithme de Bellman – KALABA : Connue aussi comme Bellman Ford, cet algorithme ne présuppose pas l'absence de circuits absorbants sur le graphe, et peut détecter et signaler ces circuits éventuels. Il s'appuie sur un des principaux principes d'optimisation combinatoire : le principe de la programmation dynamique, formulé à l'origine par Bellman et Kalaba.

Ces trois mécanismes peuvent être considérés comme des algorithmes d'exploration de la descendance du sommet, avec des stratégies différentes : tous les prédécesseurs calculés pour l'algorithme ordinal ; le meilleur visité, pour celui de Dijkstra ; et enfin par longueur successive pour celui de Bellman-Kalaba. Les deux premiers ont une complexité plus faible (de l'ordre de n^2 dans le pire cas) au lieu d'être de l'ordre de n^3 pour le dernier, tout comme pour l'algorithme de Roy-Warshall-Floyd. Ils sont donc utiles dans des situations où il y a un très grand nombre de sommets. C'est le cas par exemple des grands réseaux, des réseaux sémantiques (moteurs de recherche), ou encore des systèmes de recherche d'horaires. Ainsi, un graphe modélisant le système horaire des chemins de fer allemands comprend de l'ordre de 1 million de sommets et 1 million et demi d'arc. De plus, pour l'algorithme ordinal ou celui de Dijkstra, chaque étape nous fournit la valeur définitive d'un sommet, et on le sait. Si on s'intéresse aux chemins de valeur minimale entre le sommet de départ A et un sommet particulier B, on peut arrêter le calcul dès que B est calculé, même si tous les sommets ne sont pas calculés. On dit que la stratégie est gloutonne, ce qui signifie que certains résultats ne seront plus remis en question (un glouton est quelqu'un qui avale et ne peut pas revenir en arrière, c'est-à-dire ne peut pas remettre en cause ce qu'il vient de faire).

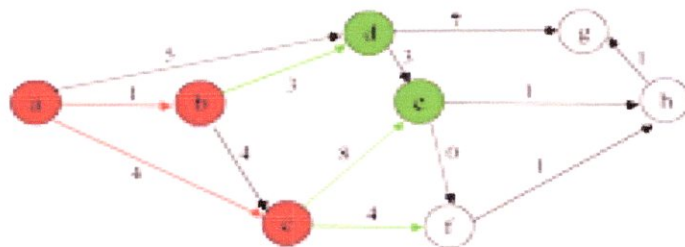
Pour l'algorithme de Bellman-Kalaba ou celui de Roy-Warshall-Floyd, en revanche, aucun sommet ne peut être considéré comme calculé avant que tous les sommets soient calculés : jusqu'à la fin de l'exécution (c'est-à-dire jusqu'à ce que la stabilité soit atteinte), toute valeur est susceptible d'être modifiée. Il s'agit là d'une stratégie de point fixe. Ce sont deux stratégies algorithmiques très générales que l'on rencontre ici.

5-4 CONCLUSION

IL existe plusieurs méthodes pour trouver le plus court chemin, la méthode de Dijkstra est adéquate à notre application

Chapitre 6

LA Méthode de dijkstra



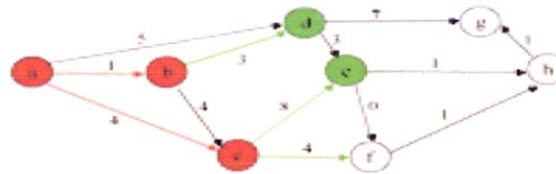
6-1 Introduction

Dans une autre application notre choix est effectué sur la méthode Dijkstra, c'est une méthode simple rapide et répond aux exigences de notre traitement.

Elle est parmi les méthodes les plus efficaces car elle convient au transport aérien et la gestion du réseau actuel des compagnies aériennes.

L'algorithme de Dijkstra a été publié en 1959 par son auteur Edsger W. Dijkstra (1930-2002) dans un article intitulé « *A Note on Two Problems in Connexion with Graphes* », *Numerische Mathematik*, vol.1, PP. 269-271, 1959), [Voire l'article de la publication en anglais : Annexe]

6-2 Présentation de la méthode de Dijkstra



Calcul des plus courts chemins issus du sommet a
(sommets, valeur, prédécesseur)

provisoire	calculés
(d, 4, b) (e, 12, c)	(a, 0, /) (b, 1, a) (c, 4, a)

Pour chaque sommet x , on veut calculer la valeur minimum $m(x)$ des chemins allant du sommet de départ A à x . Pour le routage, on veut déterminer le prédécesseur de x , noté $p(x)$, sur un chemin de valeur $m(x)$. Ceci permet de « tracer », en le « remontant », le meilleur chemin du sommet de départ A à n'importe quel sommet x .

L'algorithme de Dijkstra repose sur le principe d'exploration à partir du meilleur, c'est à dire du meilleur prédécesseur visité.

Un sommet x est dit visité si au moins un chemin de A à x a été évalué ; un sommet visité possède des valeurs $m(x)$, $p(x)$ provisoires : $m(x)$ est la valeur minimum des chemins de A à x déjà évalués, et $p(x)$ le prédécesseur correspondant.

Un sommet est dit calculer s'il est visité et si l'on sait que ses valeurs $m(x)$, $p(x)$ sont définitives (et correctes).

Initialement, bien sûr, le sommet A est calculé (avec $m(A) = 0$, $p(A)$ non défini puisque A est le point de départ des chemins), et chaque successeur x de A est visité, avec $m(x) = v(A, x)$, $p(x) = A$.

Le principe d'« exploration à partir du meilleur » consiste à chercher, parmi les sommets visités non encore calculés, un sommet dont la valeur $m(x)$ est minimum. On peut alors démontrer que, pour un tel sommet, les valeurs « provisoires » $m(x)$, $p(x)$

sont définitives (et correctes). Cette démonstration utilise explicitement le fait que les valeurs sont non négatives.

On marque donc x comme calculé et on « prolonge » l'exploration en examinant chacun des successeurs de x : chaque successeur y non encore visité devient visité, avec $m(y) = m(x) + v(y, x)$, $p(y) = x$ tandis que, pour chaque successeur y déjà visité, on effectue la mise à jour $m(y) = \min(m(y), m(x) + v(x, y))$ (et $p(y) = p(x)$ si $m(y)$ est mis à jour). L'exploration s'arrête lorsque tous les sommets visités sont calculés (les sommets non visités sont inaccessibles, on peut considérer qu'ils ont une valeur $m(x) = +\infty$).

Dans un problème de plus court chemin, on considère un graphe orienté $G=(S, A)$. Chaque arc a_i est muni d'un poids p_i . Un chemin $C=< a_1, a_2, \dots, a_n >$ possède un poids qui est la somme des poids des arcs qui constituent le chemin. Le plus court chemin d'un sommet d à un sommet a est le chemin de poids minimum qui va de d à a

L'algorithme de parcours en largeur d'abord est un algorithme de recherche du plus court chemin dans un graphe non pondéré : le poids de chaque arc est 1.

6-3 Algorithme de Dijkstra.

L'algorithme de Dijkstra suppose que tous les poids des arcs sont positifs ou nuls. On demande souvent à l'algorithme de calcul des plus courts chemins, non seulement de calculer les poids des plus courts chemins, mais également de calculer ces plus courts chemins : pour réaliser ceci on maintient pour chaque sommet la référence à son sommet prédécesseur dans le plus court chemin. Ce prédécesseur vaut nulle quand il n'est pas encore calculé.

Le lien prédécesseur induit un graphe appelé sous graphe de liaison dont les sommets sont les sommets du graphe G dont le prédécesseur est différent de nulle, plus le sommet origine (o), et les arcs sont les liens prédécesseur. Soit $G_p = (S_p, A_p)$

On a :

- l'ensemble des sommets S_p est l'ensemble des sommets de S qui ont un prédécesseur différent de *null* union $\{o\}$
- l'ensemble des arêtes A_p est l'ensemble des arêtes (prédécesseur(s), s) qui appartiennent à A avec s qui appartient à $S_p - \{o\}$

Le graphe G_p est l'arborescence des plus courts chemins.

6-4 Propriétés de la méthode de Dijkstra

Propriété 1 : Les plus courts chemin possèdent la propriété suivante : Tout sous-chemin d'un plus court chemin est lui même un plus court chemin. Cette propriété de sous structure optimale permet d'envisager deux techniques pour rechercher un plus court chemin :

- un algorithme glouton : Dijkstra : un algorithme glouton est un algorithme qui confronté à un choix, choisit ce qui lui semble le meilleur pour avancer. C'est un choix local, et on espère que la succession de choix locaux va amener à une " bonne solution ". (**Dijkstra, Kruskall, Prim, Huffmann, ... sont des algorithmes gloutons**)

La propriété 2: Tout sous chemin d'un plus court chemin est lui même un plus court chemin se démontre facilement : Soit $p = \langle s_1, s_2, \dots, s_n \rangle$ un plus court chemin de s_1 à s_n .

Soit $p_{i,j}$ un sous-chemin de p allant de s_i à s_j , il est forcément un plus court chemin, sinon p ne serait pas un plus court chemin. Ce plus court chemin serait obtenu en remplaçant dans p , $p_{i,j}$ par le chemin de s_i à s_j plus court.

Propriété 3: Soit $p_{d,a}$ le poids du plus court chemin de d à a : on a Pour tout s appartenant à S et (s, a) appartenant à A $p_{d,a} \leq p_{d,s} + p_{s,a}$ $p_{s,a}$ est le poids de l'arc de s à a . Il y a égalité lorsque s est sur le plus court chemin de d à

• Initialisation

Au début de l'algorithme, le chemin le plus court connu entre la source et chacun des sommets est le chemin direct, avec une arête de poids infini s'il n'y a pas de liaison entre les deux sommets. On initialise donc le tableau *distances* par les poids des arêtes reliant la source à chacun des sommets, et le tableau *parcours* par *source* pour tous les sommets.

1^{ème} étape

On suppose avoir déjà traité i sommets, *parcours* et *distances* contiennent respectivement les poids et le prédécesseur des plus courts chemins pour chacun des sommets déjà traités.

Soit s le sommet de C réalisant le minimum de *distances*[s]. On supprime s de C et on l'ajoute à D . Reste à mettre à jour les tableaux *distances* et *parcours* pour les sommets t reliés directement à s par une arête comme suit : si *distances*[s] + $F(s,t) < \text{distances}[t]$, alors on remplace *distances*[t] par *distances*[s] + $F(s,t)$ et *parcours*[t] par s ... et c'est tout !

P (n-2)^{ème} étape

Au départ, il y a $(n-1)$ sommets à visiter, mais comme on le verra ci-après, la dernière étape est inutile puisqu'elle n'apporte rien. Ainsi, dès la $(n-2)$ ^{ème} étape, *distances* et *parcours* contiennent toute l'information nécessaire pour trouver des plus courts chemins de la source à chacun des autres sommets (car alors $D=S$):

- *distances*[s] est le poids du plus court chemin de la source à s
- *parcours*[t] est le prédécesseur de s dans un plus court chemin de la source à s

Algorithme

L'algorithme utilise les fonctions annexes suivantes.

Initialisation de l'algorithme

Initialisation (G, sdeb)

1 pour chaque point s de G

2 **faire** d[s] := infini /* on initialise les sommets autres que sdeb à 0 */3

3 prédécesseur[s] := 0 /* car on ne connaît au départ aucun chemin entre s et sdeb */

4 d [sdeb] := 0 /* sdeb étant le point le plus proche de sdeb */

Recherche du nœud le plus proche

On recherche le nœud le plus proche (relié par l'arête de poids le plus faible) de sdeb parmi les nœuds situés dans un ensemble Q, constitué des nœuds éloigné d'une arête des éléments de P. On utilise pour cela la fonction Trouve_min(). Le nœud trouvé est alors effacé de l'ensemble Q et est alors retourné à la fonction principale comme résultat de la fonction.

Mise à jour des distances

On met à jour des distances entre sdeb et s2 en se posant la question : vaut-il mieux passer par s1 ou pas ?

Maj_distances (s1, s2)

1 **si** d [s2] > d [s1] + Poids (s1, s2)

2 **alors** d [s2] := d [s1] + Poids (s1, s2)

3 prédécesseur [s2] := s1 /* on fait passer le chemin par s1

Fonction principale

Voici la fonction principale utilisant les précédentes fonctions annexes :

Dijkstra (G, Poids, sdeb)

1 Initialisation (G, sdeb)

2 P := ensemble vide

3 Q := ensemble de tous les nœuds

4 tant que Q n'est pas un ensemble vide

5 **faire** s1 := Trouve_min(Q)

6 P := P union {s1}

7 pour chaque nœud s2 voisin de s1

8 **faire** maj_distances (s1, s2)

Le plus court chemin de sdeb à sfin peut ensuite se calculer itérativement selon l'algorithme suivant, avec A la suite représentant le plus court chemin de sdeb à sfin:


```

1 A = suite vide
2 s := sfin
3   A = s + A           /* insère s au début de A */
4   tant que s != sdeb
5     s = prédécesseur[s] /* on continue de suivre le chemin */
6     A = s + A

```

Améliorations de l'algorithme

Il est possible d'améliorer légèrement l'algorithme principal en arrêtant la recherche lorsque l'égalité $s1 = sfin$ est vérifiée, à condition bien sûr de ne chercher que la distance minimale entre $sdeb$ et $sfin$.

L'algorithme de Dijkstra pourra être mis en œuvre efficacement en stockant le graphe sous forme de listes d'adjacence et en utilisant un tas comme une file à priorités pour réaliser la fonction `Trouve_min`. Si le graphe possède m arcs et n nœuds, en supposant que les comparaisons des poids d'arcs soient à temps constant, alors la complexité de l'algorithme est : $\sigma[(m + n) \times \ln(n)]$. On notera que l'utilisation de tas de Fibonacci donne un meilleur temps d'exécution amorti : $\sigma[m + n \times \ln(n)]$.

6-5 Conclusion

L'algorithme de Dijkstra est un algorithme de type glouton : à chaque nouvelle étape, on traite un nouveau sommet. Reste à définir le choix du sommet à traiter, et le traitement à lui infliger

Tout au long du calcul, on va donc maintenir deux ensembles :

- C , l'ensemble des sommets qui restent à visiter ; au départ $C = S - \{source\}$
- D , l'ensemble des sommets pour lesquels on connaît déjà leur plus petite distance à la source ; au départ, $D = \{source\}$.

L'algorithme se termine bien évidemment lorsque C est vide.

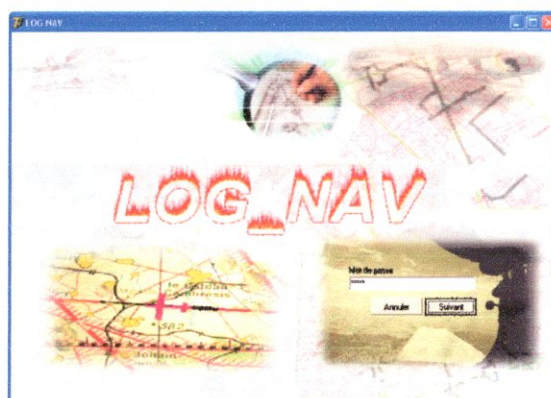
Pour chaque sommet s dans D , on conservera dans un tableau `distances` le poids du plus court chemin jusqu'à la source, et dans un tableau `parcours` le sommet p qui le précède dans un plus court chemin de la source à s . Ainsi, pour retrouver un chemin le plus court, il suffira de remonter de prédécesseur en prédécesseur jusqu'à la source, ce qui pourra se faire grâce à un unique appel récursif (beaucoup moins coûteux que dans le cas de Floyd...).

Troisième partie

Programmation

Chapitre 7

Développement de l'application



7.1 Introduction

En réponse à la problématique posée au niveau de la partie précédente, il nous est apparu intéressant de développer un outil numérique qui utilise les techniques des SIG. Ce système permettra :

- Calculer le plus court chemin entre deux villes.
- Diminuer le risque d'erreur humaine.
- Rapidité dans la préparation du plan de vol.

Le calcul d'une trajectoire optimale dans le domaine de navigation aérienne nécessite l'élaboration d'un programme informatique afin de déterminer le plus court chemin, dans le cadre se cadre un programme informatique nommée PCC (Plus Court Chemin) à été développé sous environnement Windows

• Le programme PCC

L'outil élaboré dans le cadre de ce mémoire a pour objectif la détermination de la trajectoire d'un avion entre deux points A et Z met en application la méthodologie développée pour le calcul du plus court chemin, c'est un programme nommé PCC réalise sous environnement WINDOWS, le choix du langage de programmation est effectué sous Borland Delphi Professionnel (version 7) .La figure suivante présente la fenêtre principe du programme PCC

7.2 Méthodologie

A cet effet nous nous sommes fixés comme objectif de réaliser un système informatique qui permettra d'améliorer la gestion du réseau jusqu'à les « automatiser ».

Le système dénommé « LOG-PCC » que l'on doit développer doit fonctionner de la manière suivante :

• Données :

- **Données qui s'affichent automatiquement :**

Villes de départ villes d'arriver

- **Choix dans une listé**

Il y a deux méthodes de calcul

- **Données à saisir**

Coordonnées géographiques des villes ou de l'aéroport d'Algérie

• Traitement

La fiabilité de LOG-PCC est un souci majeur, pour cela il dispose d'un nombre important des contrôles de cohérence, on peut citer entre autres :

- Dans la saisie des paramètres, LOG-PCC indique l'erreur et refuse de l'accepter tant qu'elle n'est pas corrigée.
- Il nous donne le chemin à prendre et les villes de transition qui doit visiter

Résultats

- Edition du tracé d'une carte prête à la navigation (Chemin le plus court)
- Edition d'un Tableau contenant
 - les valeurs ont saisies (Point de départ, Point d'arriver,).

- Ainsi que les valeurs calculées (distance...)
- L'affichage du plan de vol.

7.3 Unités et conversions

.La Terre est une sphère légèrement aplatie aux pôles, de 40 000 km de circonférence.

NM: Notical Mile {1 minute d'arc = 1 NM

{1 NM = 40 000 / (360 * 60) = 1,852 km

KT: Nœud 1 Kt = 1 NM/heure = 1,852 Km/heure

DEG ou °

' : Minute (unité de mesure des angles)

“ : Seconde

Mn: Minute.

7.4 Les différents Symboles

P DEPART : Point de départ

P ARRIVE : Point d'arriver

ALR: Alger (Dar El Beida)

ANB: Annaba

BAY: El bayadh

BJA: Bejaia

BNA: Beni Amrane

BSA: Bou Saada

CHE: Cherchell

CSO: Constantine

DEL: Delles

DJI: Djijel

ELO: El Oued

GHA: Ghardaia

MSO: Mostaganem

ORA: Oran (Es-Senia)

TBS: Tebessa (Bendjeradi)

TGU: Touggourt

TRB: Tiaret

ZEM: Zemmouri

7.5 Difficultés rencontrées

Le plus grand problème que nous avons rencontré dans ce travail est celui de collecte de l'information. On a voulu prendre comme exemple pour réaliser ce travail plusieurs aéroports, On s'est donc rabattu sur 26 aéroports en utilisant toutes les données nécessaires.

7.6 Outil de développement

L'outil utilisé pour développer LOG-PCC est :

- Langage de programmation Delphi 7

Delphi est un outil puissant et relativement simple à utiliser pour créer des applications sous Windows, il utilise le langage pascal.

Avec ce logiciel de développement rapide (RAD, Rapide Application Développement) une panoplie de contrôles ou objets graphiques est disponible, permettant ainsi de créer des applications simples à utiliser.

- Utilisation générale :

Un projet en Delphi comporte deux structures :

- La partie visuelle du programme.
- La partie code du programme avec les procédures et les fonctions ;

La première structure permet de disposer des composantes appelées VCL (Virtual Component Library) bibliothèque de composants virtuels, cette opération s'effectue par un glissement et un déplacement dans la fiche du projet.

La deuxième structure permet de programmer avec l'aide de nombreuses instructions, à l'intérieur des événements (clique sur un bouton...)

- Connexion aux bases de données :

Une base de données est un recueil d'information concernant un sujet particulier.

Delphi propose plusieurs composants, pour manipuler des bases de données et des tables relationnelles.

7.7 Utilisation du Logiciel LOG-PCC

Le but de ce logiciel est de faciliter le travail des contrôleurs ; donc cela nécessite une simplicité de présentation et un nombre de variables très réduits à saisir.

- Etape 1 : (mot de passe)

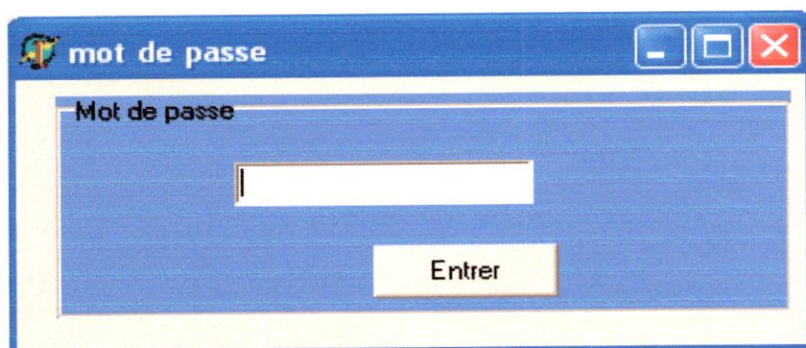


Figure 7.1 - Ecran de mot de passe.

- **Etape 2** (les deux méthodes de calculs):

Le programme LOG_PCC permet à l'utilisateur de :

- Calculer toutes les trajectoires possibles pour aller du point A au point B
- Déterminer avec précision la plus courte trajectoire entre deux points A et B, c'est-à-dire le plus court chemin entre deux points.

Dans la deuxième fenêtre nous avons le choix de la méthode de calcul grâce à deux boutons le premier pour l'application numérique et le second pour le graphique.



Figure 7-2 : Fenêtre principale du programme PCC sous Windows XP

- **Etape 3 (Le calcul du plus court chemin méthode N°1):**

La fenêtre de la première méthode dispose de plusieurs options :

-saisir les villes à l'aide d'un tableau on peut introduire villes de transition et la ville de départ et de l'arrivée avec leurs coordonnées géographiques.

En plus du bouton du traitement qui calcule le plus court chemin entre la ville de départ et la ville d'arriver . Le résultat s'affiche sur une autre fenêtre qui contient plusieurs informations (ville _D, ville _A, ordre, visiter ...etc.)

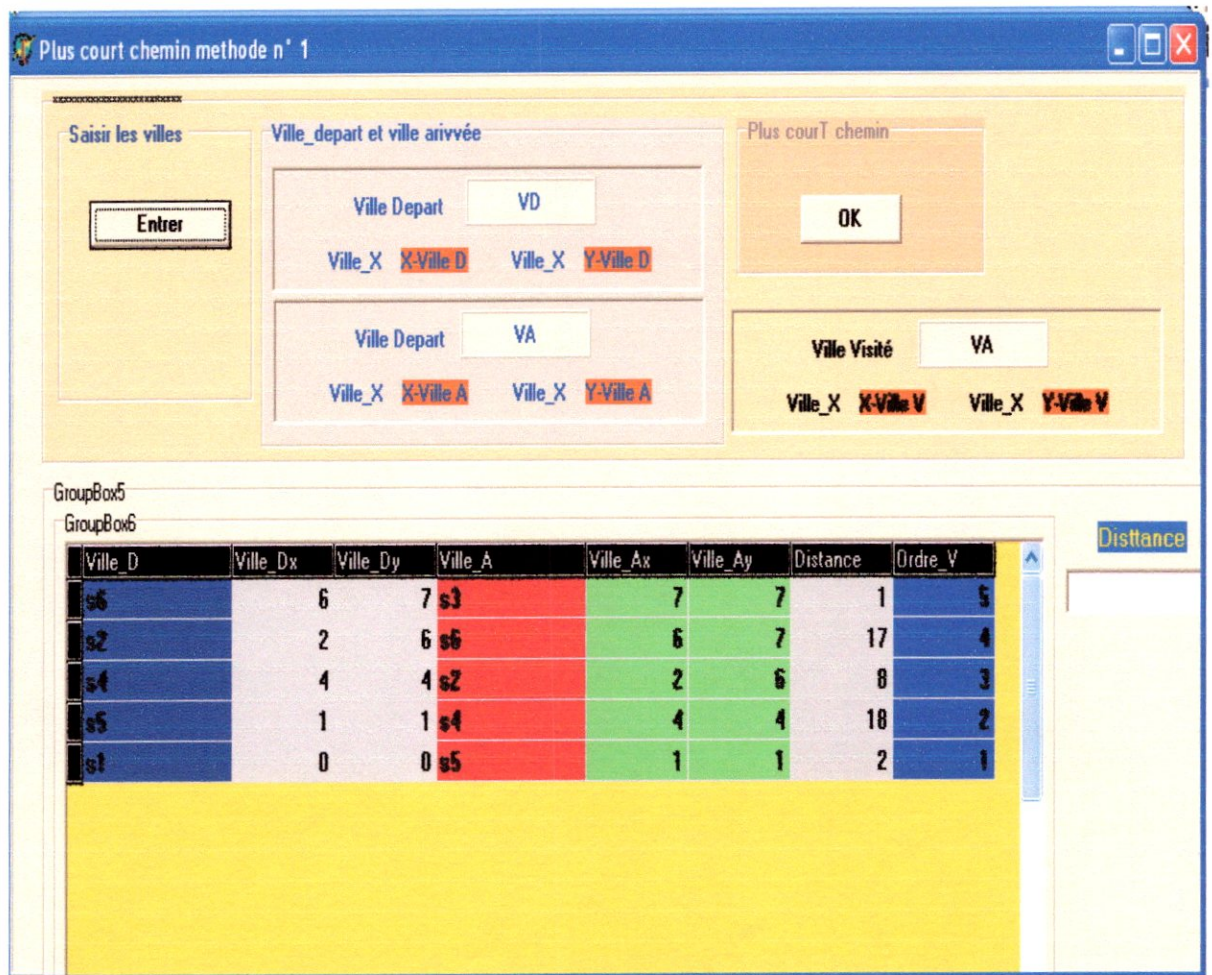


Figure 7.3 – Fenêtre principale de la 1^{ère} méthode

Etape 4 (:définir le point de départ et d arriver)

Dans cette étape on peut, d'une part introduire notre réseau aérien qui comprend toutes les villes, et grâce a deux procédures on a le choix de fixer la ville de départ et celle de l'arrivée et d'autre part à l'aide d'un bouton le supprimer et réintroduire un autre réseau. Selon chaque destination les coordonnées géographiques des villes d'escale s'affichent sur le tableau.

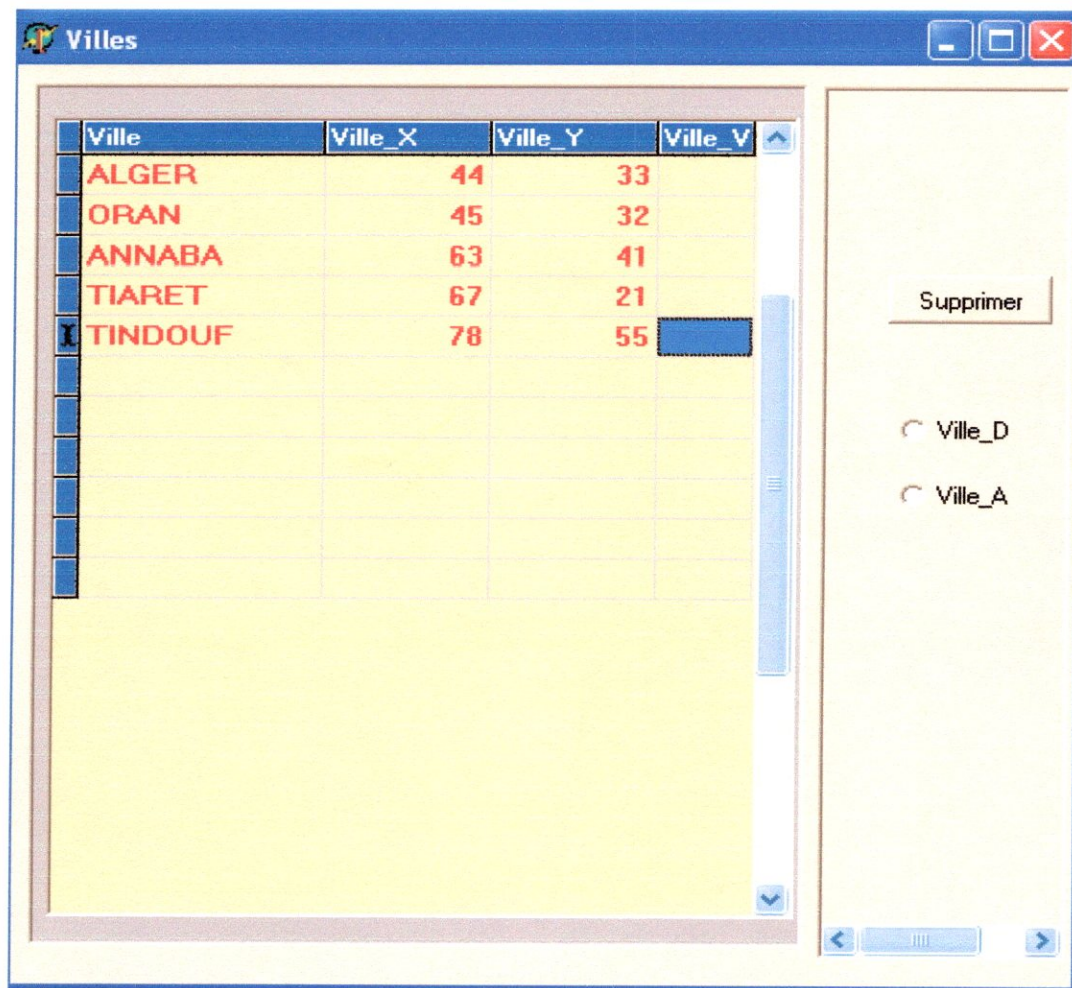


Figure 7. 4– Tableau de saisie du réseau

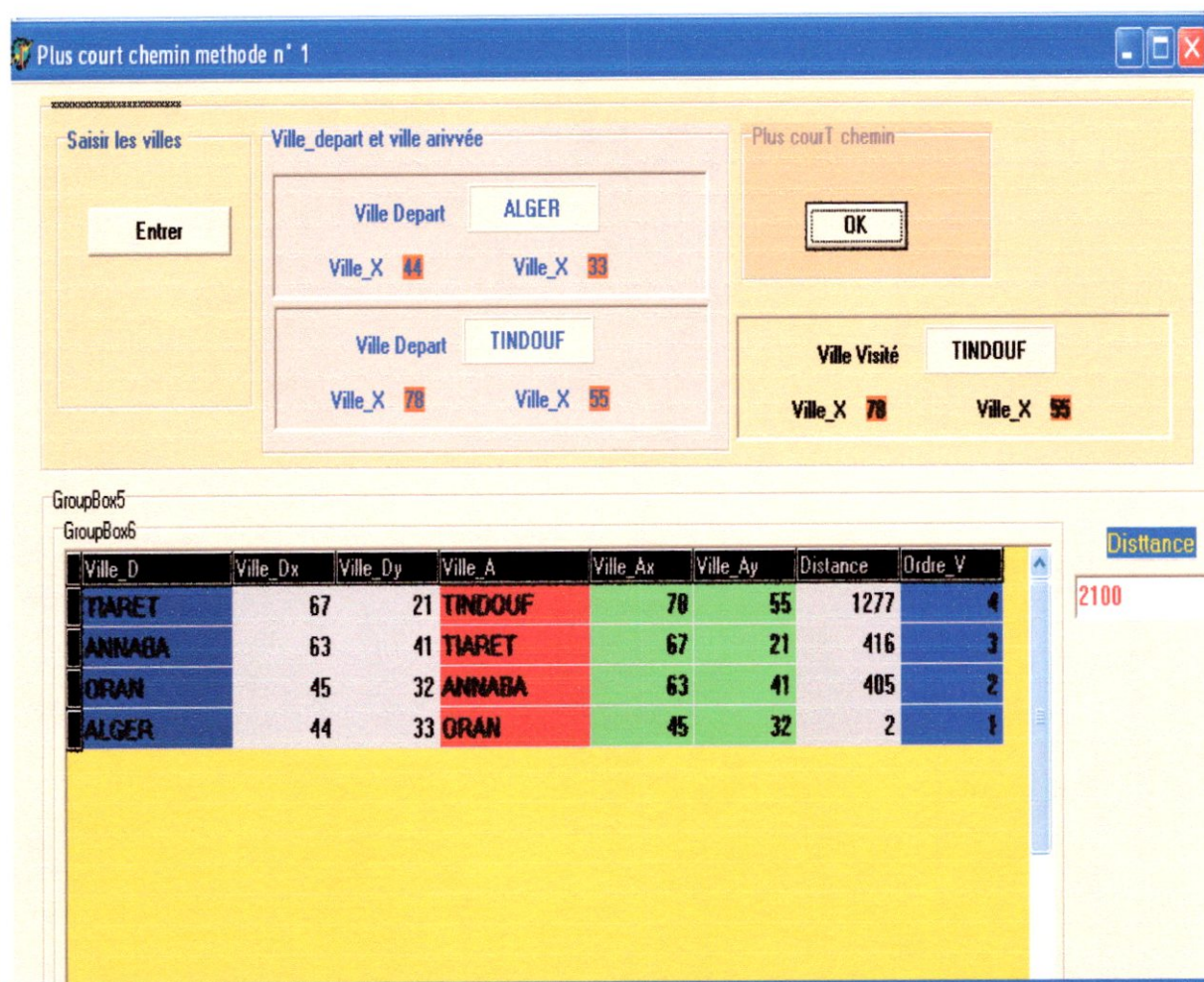


Figure 7. 4– Tableau de calcul des distances

Etape 4 : (Le résultat du plus court chemin)

Le résultat du calcul du plus court chemin s'affiche sur un tableau qui nous donne la combinaison idéale du vol entre la ville de départ et celle de l'arrivée. Cette combinaison est démontrée par des instructions qui sont l' **ordre** et la **distance**

- **L'ordre:** Cette case du tableau nous donne l'ordre et en même temps nous numérote les différents vols à prendre du départ vers l'arrivée.
- **La distance:** la distance de chaque vol est calculée puis affichée suivant l'ordre du tracé, ensuite une autre instruction nous affiche la somme totale des différentes distances survolées.

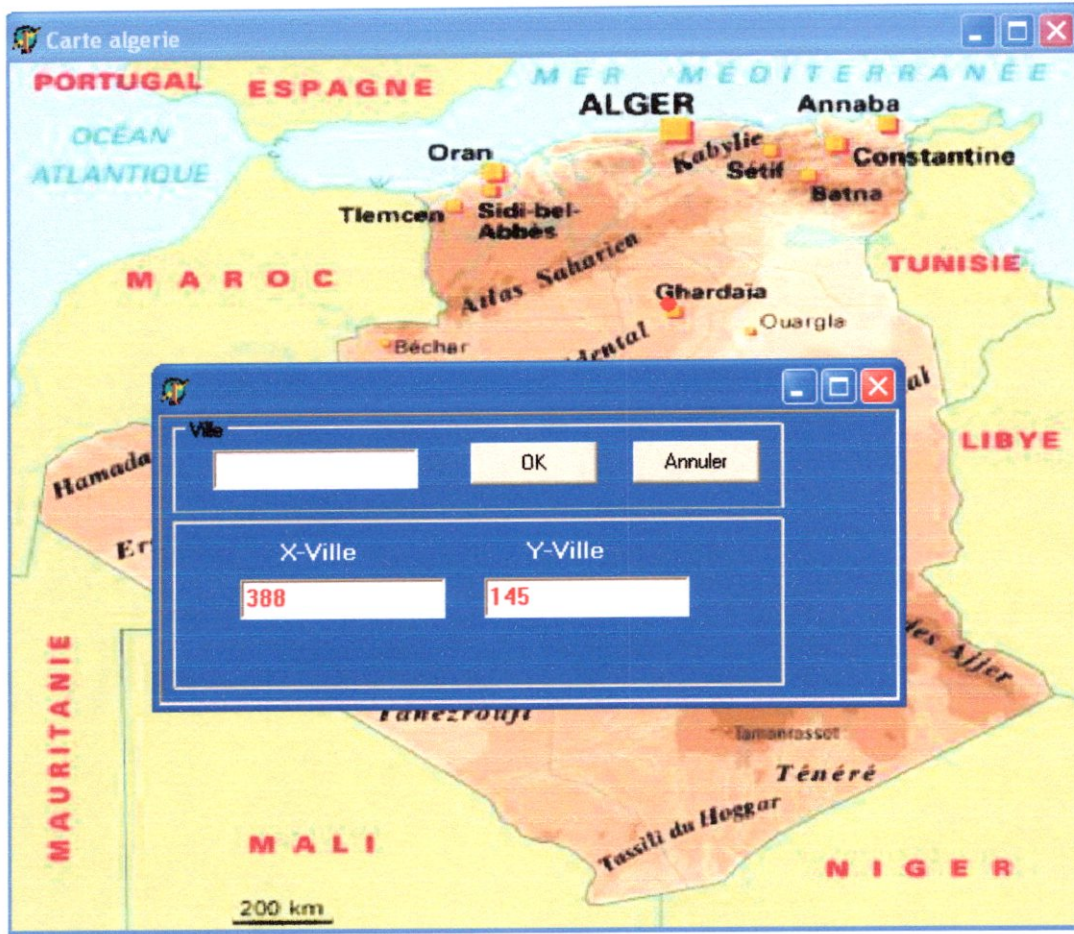


Figure 7. 4 calcul graphique

- Etape 5 :(Le calcul graphique)

Dans la deuxième méthode qui est le calcul graphique nous disposons d'un autre système de saisie.

Grâce au graphe changeable et selon notre besoin on peut visualiser et marquer le point de départ et celui d'arrivée ainsi que les autres villes de transition.

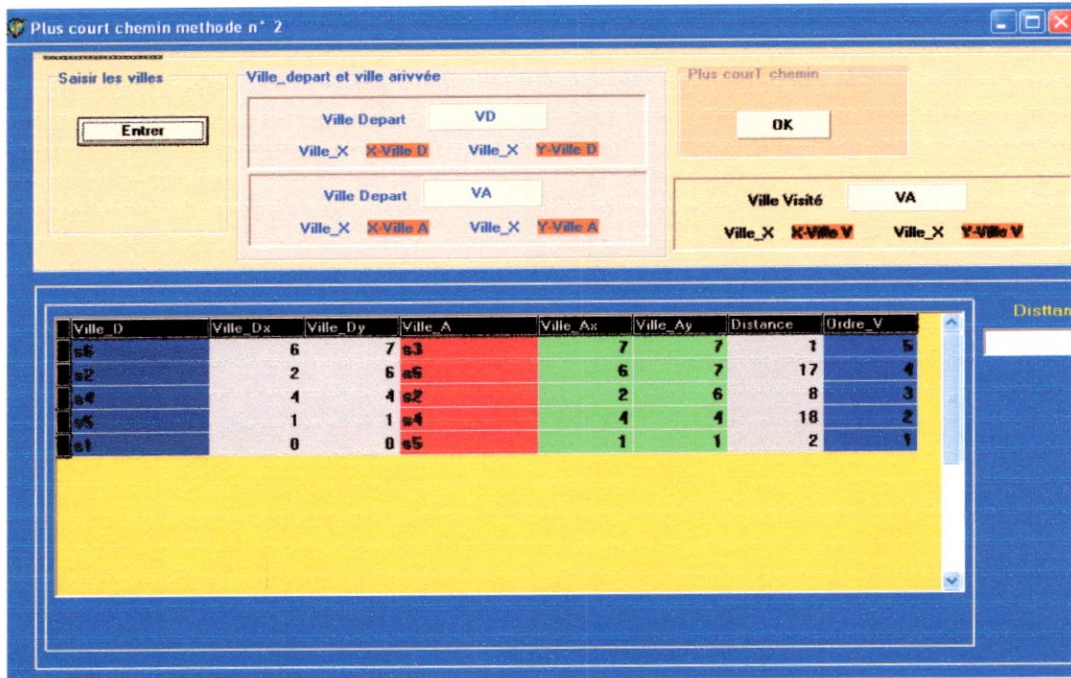


Figure 7.7 – Tableau de calcul des distances de la deuxième méthode

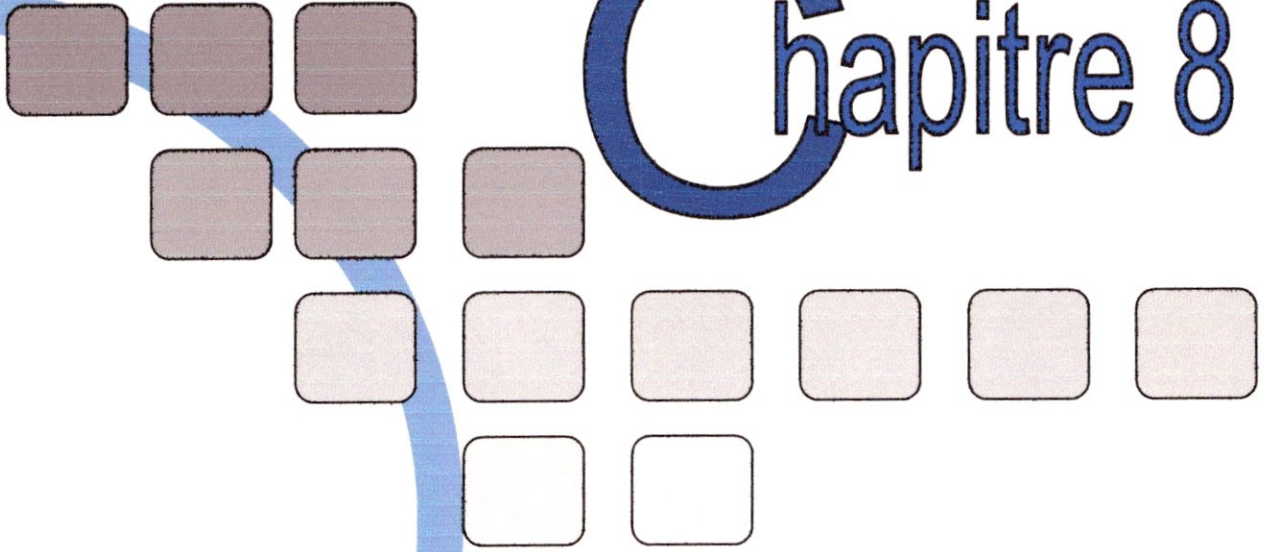
Etape 4 : (Le résultat du plus court chemin)

Le résultat du calcul graphique du plus court chemin s'affiche sur le tableau qui nous donne les villes à suivre selon l'ordre du vol entre la ville de départ et celle de l'arrivée.

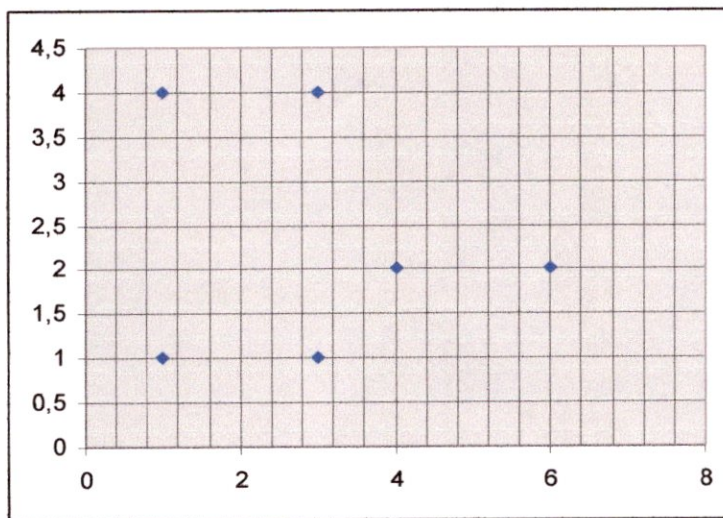
7.8 Conclusion

Il est bien évident que l'objectif de ce projet est d'avoir un système embarqué. Le système LOG_PCC fera partie intégrante de l'appareil, ceci permettra au pilote de modifier sa mission en cours de vol sans difficultés puisque toutes les opérations fastidieuses de calculs et les risques d'erreur lui sont évités.

Chapitre 8



Application du plus court chemin



8-1 Introduction

L'Algérie peut être divisée en deux régions de vol suivant les indications du tableau 1.2. il y a deux parties ; le nord et le sud du réseau de vol d'Air Algérie.

le réseau contient deux types de noeuds : noeuds centraux qui représentent les villes principales dans les régions du nord et du sud , et noeuds de jante qui représentent les villes dans d'autres régions. Les arcs représentent des jambes de vol entre les villes centrales et les villes de centre/jante.

Pour notre étude de cas, nous employons le logiciel PCC programme de vol pour plus de 116 lignes aériennes de passagers et de cargaisons, pour rédiger une revue mensuelle du programme des vols opérationnels directs entre 16 villes centrales et 10 villes de jante

Il contient 40 noeuds et 110 arcs, où chaque noeud représente une ville choisie et chaque arc représente un vol choisi. Parmi les 116 arcs, 40 arcs relient les villes centrales, 27 arcs relient des villes de jante aux villes centrales, et 13 arcs relient les villes centrales entre elles.

8-2 Description du réseau d'Air Algérie :

Le réseau d'Air Algérie se décompose en deux :

- 1) Réseau Domestique.
- 2) Réseau International.

- **Réseau domestique :**

Actuellement 29 villes du territoire national sont reliées par les lignes de la compagnie entre le Nord et le Sud du pays.

Ville du Nord : ALGER –ANNABA-BATNA-BEJAIA-CONSTANTINE-JIEL-MASCARA-ORAN-TEBESSA-TIARET-TLEMCEN-SETIF

Ville du sud : ADRAR-BECHAR-BISKRA-BORDJ BAJI MOKHTAR-DJANET-EL GOLEA-EL OUED-GHARDAIA-HASSI MESSAOUD-ILLIZI-IN AMENAS-IN SALAH-OUARGLA-TAMANRASSET-TIMIMOUN-TINDOUF.

- **Réseau international :**

Le réseau international d' Air Algérie est un réseau très vaste, il est constitué des escales suivantes (il existe 5 faisceaux)

FRANCE	EUROPE1	EUROPE2	M et M.O	AFRIQUE
PARIS CDG	MADRID	BERLIN	TUNIS	NIAMEY
MARSEILLE	BARCELONE	PRAGUE	CASABLANCA	BAMAKO
LILLE	PALMA	SOFIA	TRIPOLI	CONAKRY
METZ	ALICANTE	MOSCOU	CAIRE	LAGOS
LYON	ROME	ISTANBUL	DJEDDA	OUAGADOUGOU
TOULOUSE	GENEVE		BAHRAYN	ABIDJAN
NICE	FRANKFURT		AMMAN	NOUAKCHOUTT
BORDEAUX	BRUXELLES		DAMAS	
CHARLEROI	LONDRES		BEYROUTH	
	GATWICK		DOUBAI	

Tableau I.2 : Réseau international d'AIR ALGERIE

- **Description des données (Air Algérie)**

Dans notre application les données utilisées sont enregistrées dans un format ASCII sous forme d'un tableau qui nous donne des informations sur les situations géographiques des noeuds

LES COORDONNEES GEOGRAPHIQUES

Le tableau suivant nous donne les coordonnées géographiques en longitude et latitude de l'aéroport de l'Algérie :

	Villes	Latitude		Longitude	
1.	Adrar	27° 49'	N	001° 10'	W
2.	Annaba	36° 49'	N	007° 48'34"	E
3.	Alger	36° 41'	N	003° 13'	E
4.	Ain Salah	27° 15'	N	002° 30'	E
5.	Ain gezem	19° 34'	N	005° 44'	E
6.	Bousaada	35° 19'	N	004° 12'	E
7.	Bordj.B.M	21° 22'	N	0° 55'	E
8.	Bejaia	36° 42'	N	005° 04'	E
9.	Batna	35° 53'	N	6° 19'	E
10.	Djanet	24° 17'	N	9° 27'	W
11.	Gardaia	32° 22'	N	3° 47'	E
12.	Elouad	33° 30'	N	6° 46'	E
13.	Ghriss	35° 13'	N	0° 08'	E
14.	Illizi	26° 43'	W	008° 37'	E
15.	Tiaret	35° 20'	N	1° 28'	E
16.	Oran	35° 37'	N	0° 36'	W
17.	Tamanrasset	22° 48'	N	2° 77'	E
18.	Timimoun	29° 14'	N	0° 17'	E
19.	Tougourt	33° 03'	W	6° 05'	E
20.	Hasi Messoud	31° 40'	N	6° 08'	E
21.	El Golea	30° 34'	W	2° 51'	E
22.	Constantin	36° 17'	N	006° 37'	E
23.	Djijel	36° 47'	N	005° 52'	E
24.	Ain Amenas	28° 03'	N	009° 38'	E
25.	Telemcen	35° 00'	N	001° 27'	W
26.	Tebessa	35° 25' 57"	N	008° 07' 32"	E

Tableau I : Les Coordonnées géographiques des 26 villes

8-3 Traitement et analyse des résultats du programme PCC

Exemple de calcul

L'objectif de l'exemple suivant est de déterminer la trajectoire d'un avion pour aller du point de départ nommé Oran vers un point d'arriver nommé Annaba.

Les données utilisées sont :

- Les coordonnées géographiques (l, g) du point de départ soit : le point A (3,2)
- Les coordonnées géographiques (l g) du point d'arriver soit : le point B (6,2)
- Les coordonnées géographiques de l'ensemble des points appartenant au réseau, soit : le point C (1,4), le point D (4,2), le point E(3,1) et le point F(1,1,)

La figure suivante représente la répartition géographique de notre réseau de test:

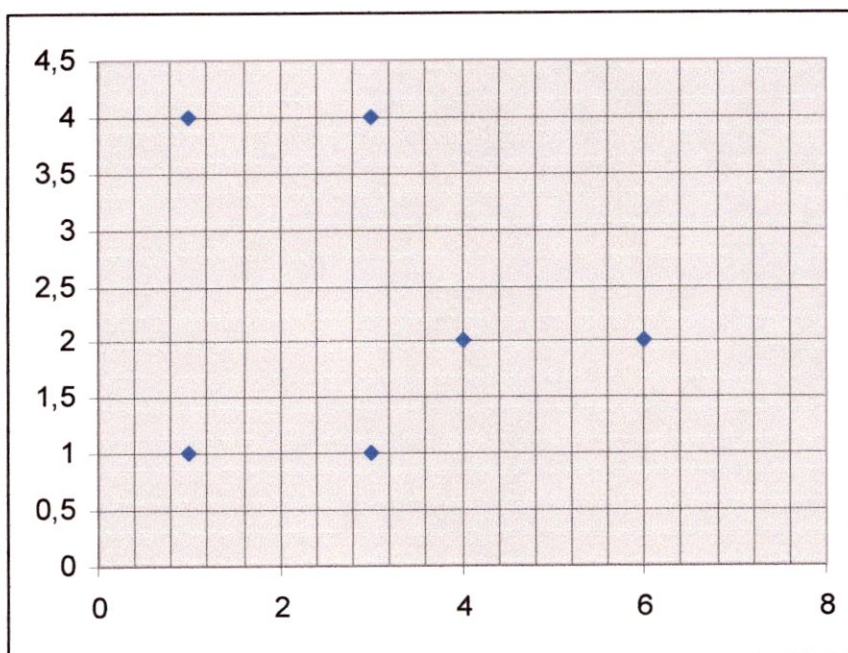


Figure IV: Représentation géographique du réseau test (Dessin EXEL)

Le tableau suivant nous résume les résultats obtenus :

	X	Y	D/A	V/NV	---
A	3	4	D		
C	1	4		V	1
D	4	2			
E	3	1		V	3
F	1	1		V	6
B	6	2	A		

8-4 Conclusion

Le réseau utilisé par Air Algérie n est pas tellement dense pour appliquer la méthode de calcul du plus court chemin mais à l'avenir ce programme peut gérer un trafic plus dense dans notre pays.

Conclusion générale

L'objectif principal de cette étude était la présentation des étapes à suivre pour l'établissement d'un plan de vol adéquat en se basant sur la détermination du plus court chemin entre deux points le choix de la méthode de calcul est effectué sur l'algorithme de dijkstra.

Une application a été développée sous forme d'un programme informatique nomme "plus court chemin PCC" réalise sous plate forme Windows en utilisant le langage de Programmation Delphi.

Le manque d'un jeux de données suffisants reste un obstacle majeur pour la création d'un module de système d'information géographique (SIG) dont l'idée prenable est de visualiser le chemin a suivre dans une carte .

Vu l'immensité de notre pays et son trafic aérien limité, notre programme log PCC n'est pas indispensable actuellement à la gérance du réseau d'Air Algérie.

Mais à l'avenir , avec l'économie de marché qui verra la création sans doute des compagnies privées et attirera sûrement d'autres étrangères, le trafic aérien deviendra plus dense , et ce logiciel sera plus efficace.

BIBLIOGRAPHIE

- [B1] **Agnès VOISARD** : *bases de données géographique, du modèle de données à l'interface utilisateur*, 1994.
- [B2] **Association française de topographie** : xyz n° 87, juin 2001.
- [B3] **Robert LAURINI et Françoise MILLER –RAFFORT** : *les bases de données et géomatique*. Edition HERMES.
- [B4] **Robert LAURINI** : *les bases de données géographiques*. Edition HERMES.
- [B5] **John E. HARMON and Steven j. Anderson**: *The design and implementation of geographic information systems*. Edition John Wiley Sons, Inc, Hoboken, New Jersey.
- [B6] **Dimos PANTAZIS et Jean-Paul DONNAY** : *la conception des SIG méthode et formalisme*. Edition HERMES.
- [B7] **J.M LESUCRE** : *NAVIGATION AERIENNE*. Edition Ecole Nationale De L'aviation Civile (E.N.A.C).
- [B8] (en) < *ASHORT INTRODUCTION TO THE ART OF PROGRAMING* > DE **EDSGER W. Dijkstra** contenant l'article original décrivant l'algorithme de DIJKSTRA (PAGE 67 à 73).
- [B9] (fr) **Thomas H. CORMEN CHARLER E. Leiserson Ronald. L Rivest et CLIFFORD Stein** < *introduction à l'algorithme* > deuxième édition 2001 < *Dijkstra's algorithm* > (page 595 à 601).

WEBOGRAPHIE

- [W1] <http://www.seing.ensg.ing.fr>
- [W2] <http://www.developpez.com>
- [W3] <http://www.ESRI-France.fr>
- [W4] <http://www.fao.org>
- [W5] <http://www.theses.ulaval.ca/2004/21867.html>
- [W6] <http://www.geog.umontreal.ca>
- [W7] <http://www.sia.enna.dz>
- [W8] <http://www.algerian.ais@sia-enna.dz>
- [W9] <http://www.aviationpassion.org>