

Conception et développement d'un prototype SIG pour la gestion du suivi d'exécution des travaux d'une autoroute

El Hassane SEMLALI, Sèdéhou AZON and Elarbi ELARCHI, Morocco

Key words : GIS prototype, highway, database, follow-up, GeoDatabase.

SUMMARY

Roads play a strategic role in the economic development of a country, because they are very useful in transporting travelers and merchandises as well. The study of any project of execution of a highway requires handling a great quantity of graphic and alphanumeric data in order to insure a daily follow-up. Therefore, decision-making concerning a simple positioning operation is time consuming and rises several difficulties of management. Moreover, the national highway inheritance counts thousands of structures (bridges, aqueducts,...etc.). These structures change in the course of time, and supplied tools for their management do no longer respond to user's needs. Therefore, the development of a GIS then becomes a necessity.

Within this framework, and in order to implement a GIS prototype for the fulfillment of a highway's works, we hereafter propose to go through the following steps:

- Classification and design of a data base for a highway's works.
- Exploitation of this data base by the Geodatabase object model of ARCINFO 8.1, in order to develop a GIS solution for a highway's works accomplishment
- Implementing a GIS prototype for the follow-up of a highway's works

This GIS prototype allows several analysis functions such as:

- manage works as far as they are executed
- create reports and synoptics
- helps in the dynamic placement of linear and punctual events
- helps in the dynamic research and positioning objects within the highway space
- presents results in the form of drawing, screens, or tables.

RÉSUMÉ

La route constitue un axe stratégique pour le développement économique d'un pays, car elle joue un rôle essentiel dans le transport des voyageurs et des marchandises.

L'étude d'un projet d'exécution d'une autoroute nécessite la manipulation d'une grande quantité de données graphiques et alphanumériques pour le suivi quotidien. La prise de décision concernant une simple localisation géographique demande la manipulation et la recherche à travers plusieurs types de documents, ce qui constitue une perte de temps et des difficultés énormes de gestion.

En plus, le patrimoine autoroutier national compte des milliers d'ouvrages. Ces ouvrages sont appelés à évoluer au cours du temps, les outils utilisés pour leur gestion n'arrivent plus à répondre aux attentes des décideurs. Le développement d'un SIG est alors devenu une nécessité.

Dans ce cadre, et afin de mettre en place un prototype SIG pour le suivi d'exécution des travaux d'une autoroute, nous proposons de passer par les étapes suivantes:

- Classification des données d'une autoroute et conception d'une base de données pour les travaux d'exploitation.
- Exploitation de cette BD par le modèle orienté objet Geodatabase de ARC/INFO 8.1, afin de développer une solution SIG appropriée.
- Mise en place du prototype SIG pour le suivi d'exécution des travaux d'une autoroute.

Le prototype SIG mis en place, permet de se doter d'une multitude de fonctions telles que:

- la gestion des travaux au fur et à mesure de leur exécution,
- la création de rapports d'avancement des travaux et de synoptiques,
- le placement dynamique d'ouvrages exécutés,
- les localisations et les recherches dynamiques dans l'espace géographique constitué par l'autoroute et ses annexes
- la présentation des résultats sous forme de dessin, d'écran d'édition, d'états, ou sous forme de réponses dynamiques ou tabulaires.

Développé autour du SIG-logiciel ARC/INFO 8.1, ce prototype SIG comprend aussi des modules personnalisés tels que: l'éditeur autoroutier, la digitalisation dynamique d'événements, l'analyse d'événements, et la localisation dynamique des points kilométriques (PK).

Conception et développement d'un prototype SIG pour la gestion du suivi d'exécution des travaux d'une autoroute

El Hassane SEMLALI, Sèdéhou AZON et Elarbi ELARCHI, Maroc

1. INTRODUCTION

La route constitue un axe stratégique pour le développement économique d'un pays notamment par son rôle essentiel dans le transport des voyageurs et des marchandises. L'infrastructure routière ou autoroutière est l'un des principaux éléments stratégiques pour le développement socio-économique d'une région. Elle assure, notamment, les échanges économiques entre les régions du pays, elle permet de réduire les coûts de transport, et enfin elle facilite l'accessibilité aux centres urbains et ruraux.

En général, la construction d'une autoroute passe par de trois grandes phases à savoir: l'étude de définition, l'étude d'avant-projet, et l'étude du projet d'exécution. Après sa construction et sa mise en circulation une attention particulière doit être allouée à la phase d'exploitation qui vient à la suite de ces trois étapes.

Notons que le patrimoine autoroutier marocain compte des milliers d'ouvrages. Ces ouvrages sont appelés à subir des modifications au cours du temps et dans l'espace. En plus, les informations concernant le suivi des ouvrages exécutés, qui sont de type numérique et alphanumérique, sont gérées de manière hétérogène. En conséquence, la prise de décision concernant une opération de positionnement pose des difficultés énormes de gestion et des délais de recherche très longs. A cela s'ajoutent les problèmes de collecte des données après la construction d'une autoroute. Si bien que les outils utilisés pour la gestion de ces données n'arrivent plus à répondre aux attentes des décideurs. Le développement d'un SIG est alors devenu une nécessité.

C'est face à toutes ces réalités et avec l'aide de la Division des Travaux de l'Autoroute du Contournement de Casablanca que nous proposons de concevoir un prototype SIG pour gérer le suivi d'exécution d'une autoroute, et par la suite préparer un système de gestion du patrimoine autoroutier depuis la phase des travaux. Pour aboutir aux attentes escomptés, nous proposons de passer par les étapes suivantes:

- Classification des données d'une autoroute et conception d'une base de données pour les travaux d'exploitation.
- Exploitation de cette BD par le modèle orienté objet Geodatabase de ARC/INFO 8.1, afin de développer le prototype SIG projeté.
- Mise en place de la solution SIG pour le suivi d'exécution des travaux d'une autoroute.

2. CONCEPTION DE LA BASE DE DONNEES AUTOROUTIERE

La modélisation d'une BD se résume dans deux grandes phases: la première phase concerne la modélisation conceptuelle des thèmes, alors que la deuxième est relative à la modélisation logique/physique des données.

2.1 Modélisation conceptuelle des données

Une base de donnée est définie comme une collection de données non redondantes stockées de manière structurée sur un support identique dont la gestion et le procédé de stockage sont assurés par un logiciel appelé système de gestion de bases de données (Pantazis et Donnay, 1996) .

La modélisation conceptuelle des thèmes est indépendante de la nature et du type des supports informatiques disponibles. Dans cette phase on s'intéresse à doter la base de données d'une structure solide qui permettra, d'une manière efficace, d'optimiser l'échange des données entre les applications. On identifie les objets du monde réel comme des entités possédant deux types d'attributs: les attributs alphanumériques (donnent une description de l'objet), et les attributs graphiques qui décrivent la géométrie de l'objet.

Au cours de cette phase de modélisation conceptuelle des données nous avons opté pour la modèle Entité-Relation pour établir un modèle conceptuel de données (MCD). Le formalisme entité/relation utilise un langage graphique simple pour dégager une description synthétique des phénomènes et de leurs liens structurels. Son but est de dégager une structure des données qui soit indépendante des outils informatiques pour permettre une vérification par les différents services impliqués, avant de réaliser le système informatique (Thériault, 1995). Les thèmes et les entités de la base de données sont définis selon trois classes d'entités:

- Entités sans dimension spatiale: c'est l'exemple de l'entité « Structure_Ouvrage d'Art » qui représente les caractéristiques structurelles d'un ouvrage d'art.
- Entités à référence spatiale: un ouvrage hydraulique par exemple.
- Objets cartographiques nécessaires pour les localiser: points, lignes et polygones.

Etant donné la complexité et le nombre élevé des données à intégrer dans la BD, et dans le but de simplifier la présentation, le schéma Entité-Relation a été découpé selon des thèmes, qui seront ensuite reliés dans des diagrammes d'ensembles afin de définir complètement le cadre général du système d'information (Thériault, 1995).

Ainsi, après une définition complète des entités d'une autoroute et de ses annexes, les thèmes retenus sont au nombre de six: route, chaussée et contraintes, ouvrages d'art, assainissement, terrassement, puis travaux généraux et patrimoine.

2.2 Modélisation logique/physique

La phase de modélisation logique consiste à faire une représentation des données suivant le modèle de données du SGBD noyau du SIG. Le modèle logique suivi est celui du modèle relationnel. La partie niveau physique correspond à la définition des structures physiques des données en tenant compte des structures des périphériques de stockage et des méthodes d'accès. Le modèle physique exprime la structure logique de la base de données et constitue un passage de la description conceptuelle à l'implémentation physique de la base de données. Le modèle physique des données a été généré automatiquement à partir du modèle conceptuel des données en apportant les corrections nécessaires pour l'adapter aux besoins de notre prototype SIG.

3. MISE EN ŒUVRE DU PROTOTYPE SIG

Le modèle de données GeoDatabase de ARCGIS est un modèle orienté objet type vectoriel. Dans ce modèle, on distingue les classes d'objets dits simples (objets non spatiaux), les entités géographiques (objets spatiaux), les entités réseau (entités géométriquement connectées entre elles), les entités texte ou étiquette, et aussi d'autres entités plus spécialisées.

3.1 Méthodologie suivie pour la conception de la BD spatiale

La méthodologie suivie repose sur les cinq étapes proposées par Zeiler (Zeiler, 1999):

- La modélisation conceptuelle, et la définition des objets et des classes de relation.
- La sélection des types de représentations géographiques.
- L'appariement de ces types à ceux du modèle GeoDatabase.
- L'organisation de la structure de la base de données spatiales.

Une étude des données composants une autoroute nous a permis de faire une classification des données selon les thèmes décrits dans les paragraphes précédents (paragraphe 2). La démarche suivie pour concevoir la BD spatiale est illustrée par la figure 1.

3.2 Composantes du prototype SIG autoroutier

Notons que dans le cadre de cette étude, nous avons utilisé les concepts de segmentation dynamique qui est un modèle de réseau employé pour représenter, analyser, rechercher, et illustrer des éléments linéaires. On peut alors associer des attributs multi-sources à une portion d'arc ou encore à plusieurs arcs. Ces attributs peuvent être stockés, affichés, recherchés et analysés sans affecter les coordonnées x, y constituant l'élément linéaire sous-jacent (ESRI, 1999).

Pour une exploitation efficace du prototype SIG, nous proposons son utilisation via une interface de quatre grandes composantes:

- Un menu de base composé de plusieurs modules qui permettent:
 - la gestion et le suivi d'exécution des travaux autoroutiers,
 - la consultation, l'édition et la mise à jour des données du SIG ,

- diverses analyses et traitements tels que la superposition des tables d'événements, le placement automatique d'ouvrages,
- la génération de sorties (graphes d'avancement, rapports d'événements.)
- Un «Editeur autoroutier », c'est une interface d'édition graphique et de configuration d'un projet autoroutier (référencement des axes, numérisation de route, etc.)
- Une interface appelée «digitalisation d'événements »
- Une interface sous le nom «Outils standards du SIG » qui constitue une boîte à outils personnalisée, pour les tâches courantes d'un SIG.

3.2.1 Description des composantes du menu de base

Mises à part le module «ARCGIS », qui intègre les fonctions SIG de ARCGIS, et le module « A PROPOS », qui renseigne sur le titre et la description de l'application, le menu de base est composé de sept autres modules dont les principales fonctions sont décrites par la figure 2 à la fin de cet article.

Sans rentrer dans les détails de tous les modules, nous présentons succinctement un aperçu sur quelques modules du menu de base

Le module *CHAUSSEE* permet la gestion et le suivi des travaux de la chaussée. Ce module met à la disposition de l'utilisateur un ensemble de commandes et de sous-menus comme par exemple:

- Suivi d'exécution: Ce sous-menu propose le suivi des quantités des couches de la chaussée (GNT, GBB et au BB), et une commande de suivi des travaux de chaussée (Suivi topographique, suivi des quantités, etc.).
- Etat d'avancement: on peut choisir entre trois choix correspondant respectivement aux validations des principales couches de la chaussée (GNT, GBB, BB). L'utilisateur peut consulter les états existants ou ajouter d'autres validations, dans ce dernier cas l'ajout est dynamiquement reflété sur l'avancement graphique des couches de la chaussées, si ces dernières existent sur la vue.
- Avancement graphique: Ce sous-menu propose, des synoptiques d'avancement concernant les trois couches (GNT, GBB, BB) de chaussée validées. Un thème dynamique est créé et ajouté à la vue à chaque fois que l'utilisateur clique sur chacune des options proposées. Il peut modifier, ou supprimer, au gré la symbolique du thème afin de mettre en relief ce dernier sur la carte.

Le module *TERRASSEMENT* renseigne sur les opérations inhérentes à la gestion des terrassements autoroutiers. En plus des informations générales sur les terrassements d'un projet, on peut consulter toutes les informations sur les remblais, les déblais et CDF (volume, coût,..etc). En particulier, on peut obtenir les renseignements suivants:

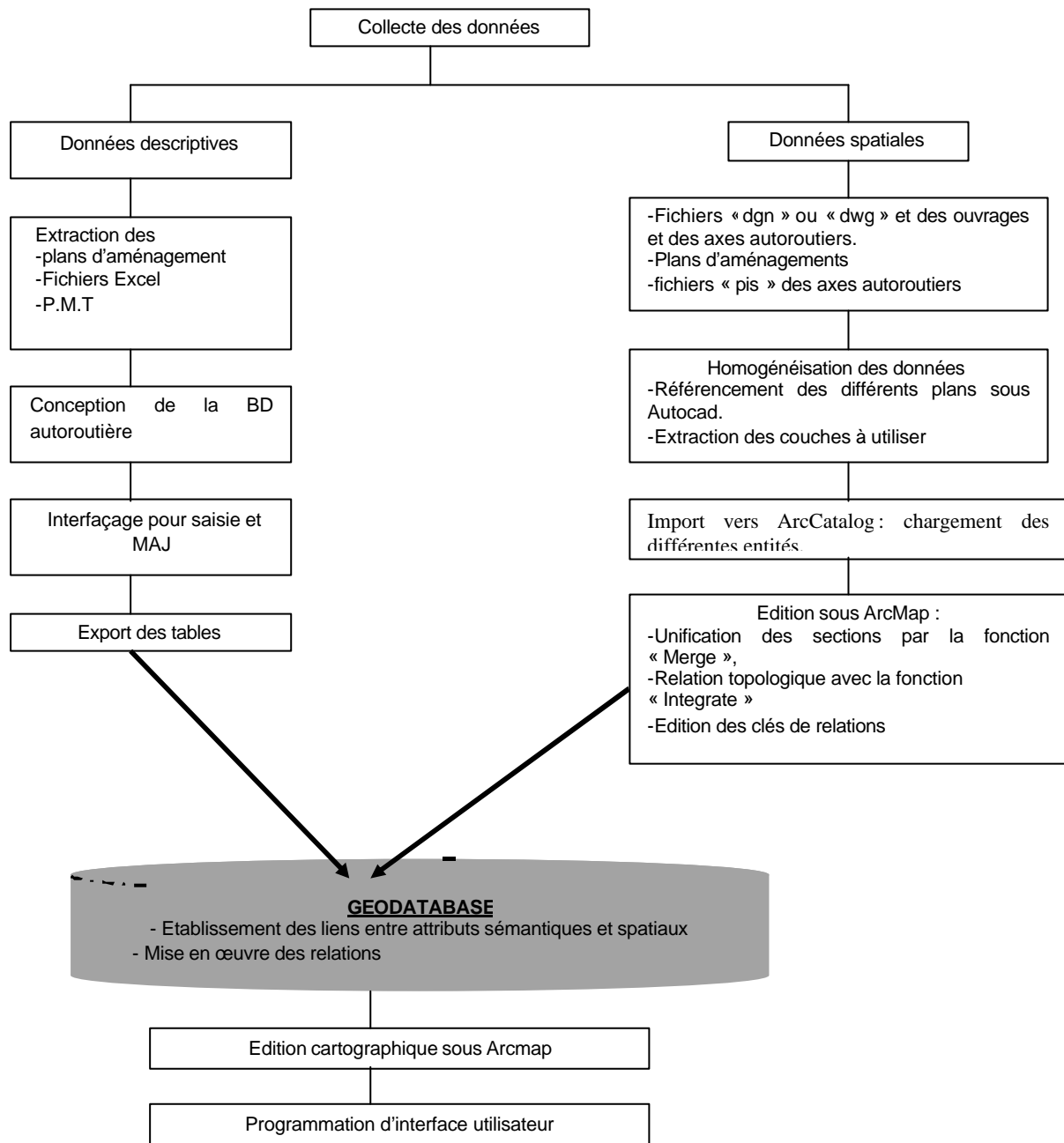


Figure 1: Démarche suivie pour concevoir la BD spatiale (adapté de Azon,2003)

- Etat d'avancement: Ce sous menu donne les états d'avancement des remblais, déblais, et ceux des autres types de terrassement tels que les décapages, les purges et substitution, les remblais contigus. On peut également consulter, saisir et mettre à jour les données sur les terrassements.

- Graphe d'avancement: à partir des états d'avancement cités ci-dessus, on peut modéliser et afficher automatiquement des graphes d'avancement sous forme d'histogrammes simples.

Le module *BASE DE DONNEES* quant à lui facilite la gestion interactive de la base de données spatiale. Il offre les possibilités de consultation, d'édition, d'ajout, de mise à jour et de modification des entités d'un thème quelconque.

3.2.1.1 Les fonctionnalités du module TRAITEMENT

Le module *TRAITEMENT*: c'est le module le plus puissant de ce prototype SIG, il traite les requêtes spatiales, permet le placement dynamique d'événements et présente les résultats des traitements.

- Requêtes spatiales: Les requêtes spatiales sont de très grande utilité dans notre SIG. Cette commande se base sur les relations spatiales (intersection, union, inclus dans,...) des entités d'un ou plusieurs thèmes. L'expropriation est l'un des problèmes qui exploite cette commande, quand il s'agit de déterminer les propriétés à exproprier au sein d'un couloir autoroutier. La figure 3 montre un exemple de ce type de requête, il s'agit d'exproprier les propriétés (bâties en couleur jaune) situées dans le couloir autoroutier à $\pm 35m$ de l'axe de la route.
- Création des rapports d'avancement: A travers une boîte de dialogue, ce sous-menu guide l'utilisateur dans la création de rapports personnalisés, qui peuvent contenir toutes les informations dérivées des tables de données descriptives des entités.

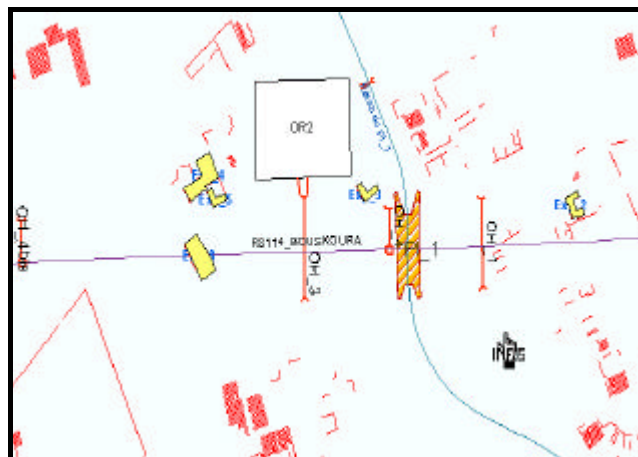


Figure 3: Exemple de requête spatiale (expropriation)

D'autres modules de localisation dynamique sont également personnalisés, comme les modules de placement dynamique d'ouvrages et d'événements. Ces modules permettent à l'utilisateur de placer automatiquement des ouvrages ou événements déjà stockés dans des tables d'attributs. Ainsi, on évitera la saisie longue et fastidieuse des coordonnées de chaque événement. Les modules suivants ont été développés:

Module de placement dynamique d'objets ponctuels ou linéaires par PK

Un thème dynamique est une source d'entités constituées par les enregistrements d'une table d'événements. Un thème de ce type est créé par un code, après validation, ce thème sera automatiquement ajouté à la vue.

Module de création de thèmes graphiques dynamiques à partir des fichiers textes

Pour toute information référencée par des coordonnées cartésiennes (x, y), stockée dans la base de données sous forme d'un fichier texte ou d'une table, ce module offre la possibilité de créer un thème graphique relatif à cette information. Le thème créé sera automatiquement ajouté à la vue et nommé par l'utilisateur dans la boîte de dialogue prévue pour cette tâche.

3.2.1.2 Description des modules d'analyse d'événement

Pour répondre aux besoins d'analyse autoroutière, nous avons développé deux modules d'analyse.

Le premier est le module d'analyse ponctuel-linéaire, qui consiste à superposer une table d'événements de type ponctuel à une table de type linéaire. C'est le cas, par exemple, de la superposition d'une table d'ouvrage d'art à une table sur les caractéristiques du sol, en vue de déterminer les ouvrages qui nécessitent un entretien particulier.

Le second module est celui de l'analyse linéaire-linéaire. On peut citer comme exemple, le cas de la superposition de la table de béton bitumeux à la table du grave bitume pour déduire des rapports sur l'avancement des travaux.

3.2.2 Description des fonctions de l'interface « Editeur autoroutier »

L'éditeur autoroutier assure plusieurs fonctions d'édérations autoroutier parmi lesquelles on cite:

- Placement des PK en longueur: place automatiquement des PK sur une portion de la route sélectionnée, ce sont des distances cumulées à partir du nœud de départ de la route. Le sens croissant des PK est pris comme sens de numérisation de la route. Notons que, l'utilisateur doit spécifier dans les options de l'éditeur, le PK origine ainsi que le facteur échelle.
- Initialisation des PK: cet outil permet à l'utilisateur de spécifier, pour une nouvelle route configurée, le PK de départ, le PK d'arrivée, les autres PK seront automatiquement interpolés par le module.
- Interpolations des zones sans PK: par interpolation ou extrapolation on peut calculer toutes les zones non dotées de PK et ce à partir des sections où des PK sont définies.
- Supprimer tous les PK: à l'aide de cette commande, on peut supprimer tous les PK de la route activée. Cette commande est utile pour modifier un projet existant.
- Renverser l'ordre des PK: cet outil permet de changer l'ordre des PK et parcourir la route dans le sens des PK croissants ou dans le sens contraire.

3.2.3 Description des fonctions de l'interface « Digitalisation d'événements »

La mise en place d'un projet autoroutier requiert certains outils pour la numérisation ou la mise à jour de certains événements. Cette interface met à la disposition de l'utilisateur une série de commandes de ce type, on note principalement:

- placement d'événements ponctuels: pour une route activée, une feuille d'attributs de l'événement est affichée, l'identifiant de la route et les valeurs du PK au point choisi sont validés par le programme, l'utilisateur est invité à saisir les champs correspondant aux autres attributs de l'entité et valider ensuite le placement de l'événement. Cet outil peut aussi servir pour la mise à jour des modifications apportées aux ouvrages exécutés.
- placement d'ouvrages linéaires: pour les ouvrages linéaires, l'utilisateur doit cliquer sur le PK départ de l'événement, longer ensuite la route jusqu'au PK d'arrivée où il clique de nouveau. La feuille d'attributs de l'événement est alors affichée pour permettre la saisie d'autres attributs de l'événement linéaire en question.

4. CONCLUSION

Au cours de cette étude, nous nous sommes servis de plusieurs outils informatiques pour développer un prototype SIG autoroutier qui répond aux besoins des utilisateurs de projets autoroutiers. En particulier, nous avons exploité le modèle GeoDatabase d'ARC/INFO 8.1. Ce prototype SIG est composé de plusieurs modules qui répondent aux exigences de gestion du suivi d'exécution des travaux d'une autoroute. Il reste ouvert au développement d'autres applications, et il est doté de fonctionnalités dynamiques très évoluées.

Ce prototype comprend aussi des modules personnalisés d'analyse spatiale tels que le placement dynamique d'événements ponctuels ou linéaires, l'analyse de superposition d'événements linéaires et ponctuels, le rendu graphique des valeurs de PK et PC le long d'un axe de route et l'expression du suivi d'exécution sous forme de présentations graphiques, de tables ou de rapports.

Ce prototype SIG, grâce aux nombreuses interfaces qu'il implémente constitue une première solution SIG pour la phase exploitation des travaux routiers et autoroutiers. Il a été expérimenté avec succès pour le suivi d'un tronçon d'autoroute dans la région de Casablanca.

REMERCIEMENTS

Les auteurs voudraient remercier la Division des Travaux de Contournement de Casablanca pour sa contribution dans la réalisation de cette étude.

BIBLIOGRAPHICAL REFERENCES

- ADM, C.C.T.P. Lot B, 2001. Construction de l'autoroute du contournement de Casablanca, section RS114-BOUSKOURA
- Aronoff, S., 1989. *Geographic Information Systems: A Management Perspective*. WDL Publications: Ottawa.
- Azon S. J., 2003. Mise en place d'une base de données autoroutière et conception d'un prototype SIG pour le suivi d'exécution des travaux autoroutiers. Mémoire de troisième cycle pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat en topographie, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, Maroc.
- Cavarero J.L. & Lecat R. 2000. Conception Orientée Objet: évidence ou fatalité, Edition ellipses.
- ESRI, 1999. ArcObjects Developer Guide
- ESRI, 2001. Introduction to programming ArcObjects with VBA, courses lecture
- Frantz G., 2000. Visual Basic6: le guide du programmeur, édition O.E.M. p.1272
- Fruitet J., 1997. Base de données. <http://www.univ-mlv.fr>
- Laurini R. & Milleret F., 1993. Les bases de données en géomatique, Edition Hermès
- MacDonald, 2001. Building a geodatabase, ESRI
- Pantazis D. & Donnay J.P., 1996. Conception de SIG, méthode et formalisme. Editions Hermès.
- SETRA-LCPC, 1994. Conception et dimensionnement des structures de chaussée, Guide technique, SETRA
- Shaner J. & Wrightsell J., 2000. Editing in Arcmap, ESRI, 229p
- Thériault M., 1995. Systèmes d'Information Géographiques, Concepts fondamentaux. Notes et documents de cours N°12, Université de Laval. (QUEBEC) .
- Zeiler M., 2001. Exploring ArcObjects, ESRI PRESS.
- Zeiller M., 1999. Modeling our world, ESRI PRESS.

BIOGRAPHICAL NOTES

El Hassane Semlali

Qualification and career

1979: Diploma of engineer in surveying from IAV Hassan II, Rabat, Morocco

1986: Master of Science from Ohio State University, Columbus, USA

1999: Doctorate of Sciences from the University of Liege, Belgium.

1986-1995: Assistant professor at the department of geodesy and surveying, Institut Agronomique et Veterinaire Hassan II, Rabat, Morocco.

1999 to know: Professor and researcher at the same department

Principal areas of interest are: GIS, geodesy and surveying.

Publications: data base design, error propagation in GIS, parcel redistribution methodology, GIS in land consolidation, cadastral systems, GPS.

Membership:

Membership of the « Ordre National des Ingénieurs Géomètres Topographes »

Membership of the « Association Nationale des Ingénieurs Topographes »

CONTACTS

El Hassane Semlali, Professor and researcher

Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Filière de formation en Topographie,

IAV, Filière de formation en Topographie, B.P. 6202,

10101 Rabat

MOROCCO

Tel. + 212 37 68 01 80

Fax + 212 37 77 81 35

Email: e.semlali@iav.ac.ma, ehsemlali@yahoo.fr

Web site: www.iav.ac.ma

Sèdéhou J. Azon, diploma of engineer in surveying, 2003

Tel. +212 63 59 72 91

Email: ji10@caramail.com

Elarbi Elarchi, engineer

Division des travaux de contournement de Casablanca

Tel. + 212 22 51 05 21/22

Appendix 1

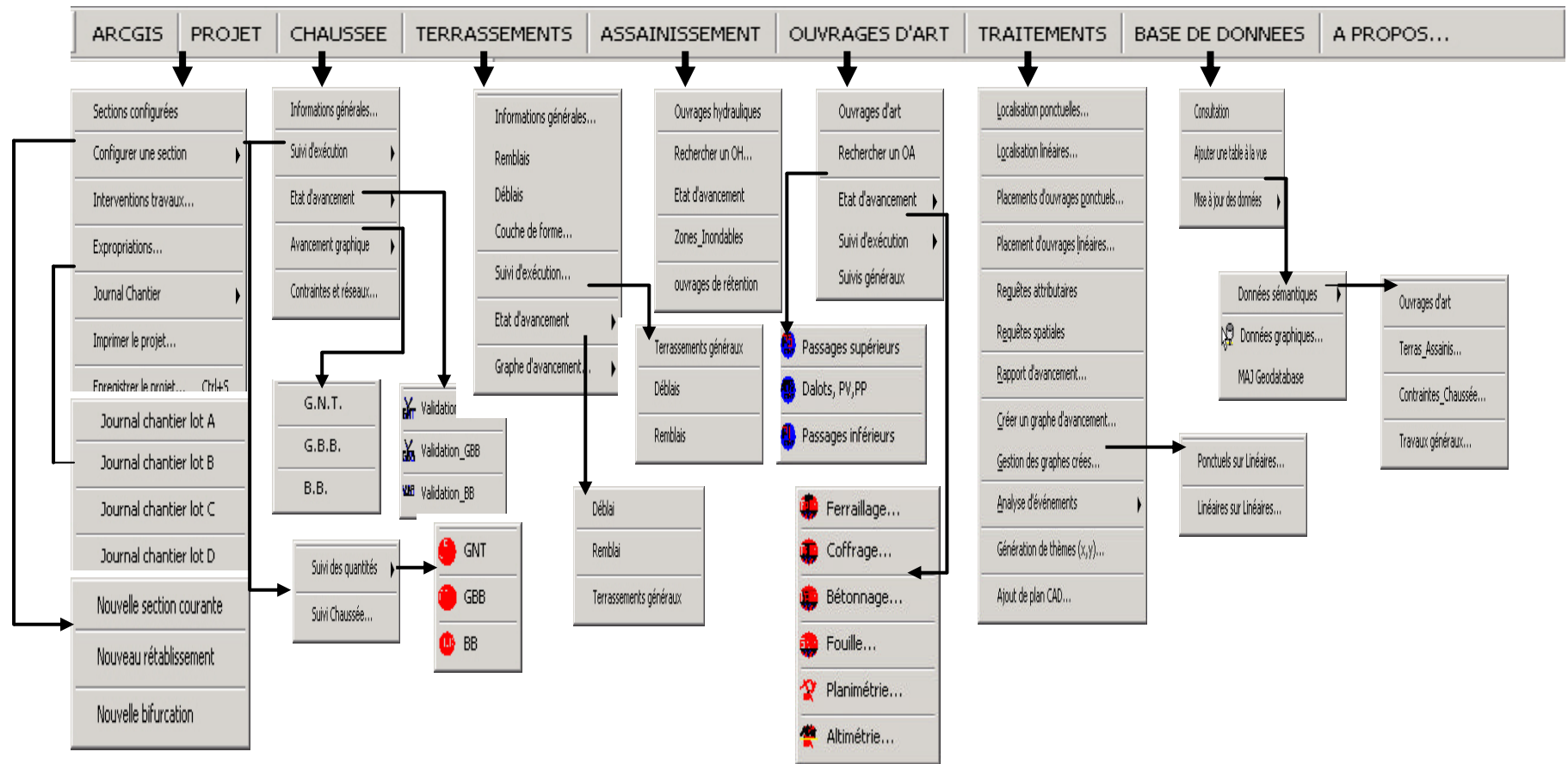


Figure 2: Menu de base du prototype SIG(Azon,2003)