

## CONTRIBUTIONS DES IMAGES SATELLITES AUX ÉTUDES D'AVANT PROJET

Pierre MAUREL  
Spot Image, Toulouse France

### Résumé

Dans le cadre des études d'environnement réalisées tout au long des études de projets routiers, autoroutiers et même ferroviaires, de nombreuses données cartographiques sont manipulées et croisées avec les fuseaux et variantes de projet. Les avis concernant les impacts doivent être fournis dans de brefs délais. Les méthodes traditionnelles de cartographie et d'estimation d'emprise sont lentes et pénalisent la prise en compte de l'environnement. La conception de variantes de tracé est techniquement beaucoup plus rapide que l'estimation des impacts de celles-ci sur les différents thèmes de l'environnement (eau, agriculture, urbanisme, sols, sites et paysages). L'informatisation des bureaux d'études (CAO-MOSS®...) peut accentuer ce handicap.

Grâce à ses fonctionnalités d'analyse spatiale, le SIG donne les moyens, une fois la base de données constituée, de croiser les données entre elles, de travailler uniquement sur des zones d'emprise spécifiques, d'extraire des informations de synthèse, de les éditer, et ceci dans des délais très courts, tout au long des projets. Les données des satellites SPOT donnent sous forme digitale une information exhaustive et à jour de l'occupation du sol et si nécessaire, du relief. Elles permettent de remettre à jour et de compléter la base de données du SIG. Elles servent également à suivre l'évolution des aménagements existants. Enfin, elles rendent plus attractifs les documents finaux destinés à communiquer, à convaincre les différents interlocuteurs concernés par le projet.

### Abstract

In the context of the environmental surveys performed throughout roadway or highway development projects, a host of cartographic data are manipulated and correlated with project buffer zones and variants. Comments on possible impacts must be provided within a short time limit. Conventional methods of mapping and footprint evaluation are time-consuming and penalizing when taking into account the environment. Designing road variants is technically much more rapid than evaluating how these variants affect the different environment thematic layers (water, agriculture, urban planning, soils, sites and landscapes). Computerized design offices (CAD MOSS®...) may aggravate this handicap.

Thanks to its spatial analysis functionalities, the GIS enhances key features - once the database has been built up - for data correlation, operations exclusively within specific buffer areas, synthesis information retrieval and editing, all in a very short process and over the project lifetime. SPOT satellites data provide exhaustive and up-to-date land use information -and relief data- in a digital form. They supplement the GIS data-base. These data also serve to follow up the evolution of existing land developments. Moreover, they make the final output documents more attractive and understandable for the different actors concerned by the project.



### INTRODUCTION

Les études de projets routiers et autoroutiers (et également ferroviaires) menées par les différents centres techniques impliqués - Centres d'Etudes Techniques de l'Équipement (CETE), Services des grands travaux des Directions

Départementales de l'équipement (DDE), Services techniques des conseils généraux - mènent des études d'environnement durant les différentes phases du projet. Il s'agit d'une démarche cartographique réalisée par des équipes pluridisciplinaires et destinée à rechercher les couloirs de moindre nuisance par comparaison des variantes des tracés.

Les projets sont étudiés de façon très progressive sur des zones initialement très vastes qui se réduisent au fur et à mesure où des sélections sont effectuées sur des critères techniques (géométrie des tracés, trafic, socio-économie et environnement) et d'après les avis des administrations et des élus concernés.

Les étapes successives de définition d'un projet portent ainsi sur les zones suivantes :

- étude de faisabilité à travers l'analyse des grandes contraintes.

- Etude Préliminaire d'Avant Projet Sommaire (EPAPS) : analyse de plusieurs possibilités de passage matérialisées par des fuseaux de 600 m aboutissant au choix d'une solution. Cette étude s'effectue à des échelles comprises entre le 1:250 000 et le 1:25 000.

- étape d'Avant Projet Sommaire (APS) : analyse au 1:10 000 ou 1:5 000 des impacts de plusieurs variantes de 200 m à 300 m de large à l'intérieur du fuseau choisi à l'étape précédente.

- dossier d'enquête préalable à la Déclaration d'Utilité Publique (DUP). Il s'agit d'une étude d'impact présentant de manière synthétique l'état initial et ses sensibilités, les impacts des variantes et de la solution retenue et les engagements du maître d'œuvre à réduire ou compenser ces impacts.

- Etude d'Avant Projet (EAP) : analyse détaillée du projet autoroutier. A l'intérieur de la bande choisie lors de l'APS, recherche d'une bande plus étroite de 60 m en moyenne pour la plate-forme autoroutière à construire en section courante.

Ces études ont une forte composante cartographique. Les premières études (faisabilité, EPAPS, APS, DUP) sont réalisées traditionnellement à la main d'où un certain nombre d'inconvénients : la qualité du résultat dépend fortement de l'équipe chargée du projet, la correction et la mise à jour oblige à une reprise importante des documents sans automatismes possibles, l'extension de la zone d'étude est difficilement envisageable.

De plus en plus d'organismes techniques font appel à de nouveaux outils pour améliorer la réalisation des études en terme de qualité, de délais, de reproductibilité, de modification, de remise à jour... Il s'agit :

- des Systèmes d'Information Géographiques (SIG) qui permettent de centraliser et de manipuler toutes les données sous forme numérique et dans un même référentiel cartographique ;
- des données satellitaires à haute résolution qui sont utiles lors des études préliminaires (EPAPS) pour la recherche de "fuseaux".

Parmi ces organismes pionniers, nous pouvons citer la société INTER-G SEEE qui a travaillé sur le contournement de la ville de Maubeuge (France), les CETE d'Aix et de Lyon, la DDE de la Haute-Garonne qui s'est équipé d'un SIG complet sur le grand Toulouse.

## 1. MOYENS ET MÉTHODES

L'utilisation de ces outils suppose de suivre une démarche générale qui peut se résumer en 4 étapes :

- constitution d'une base de données géoréférencée (avec éventuellement, remise à jour de certaines données) ;
- analyses spatiales pour mettre en évidence et quantifier les contraintes ;
- élaboration de documents d'aide à la décision sur des critères techniques ;
- élaboration de documents à des fins de sensibilisation, de communication.

Les images satellites seront exploitées de manière plus ou moins approfondie en fonction de la disponibilité et de la qualité des autres données (ainsi, dans les pays en voie de développement, le rôle des images sera plus prépondérant que dans les pays développés où les informations de base et techniques sont souvent nombreuses) et en fonction des outils et des compétences disponibles pour les exploiter. Les traitements peuvent aller de la traditionnelle photo-interprétation analogique à des traitements numériques sophistiqués à l'aide de logiciels de traitement d'images généralistes ou spécialisés dans le domaine du 3D.

Jusqu'à présent, l'interprétation des images nécessitait pour les organismes chargés des projets routiers de s'attacher les services de sociétés spécialisées. Les progrès dans l'accessibilité aux images (spatiocartes déjà géocodées, nouveaux logiciels d'interprétation de plus en plus simples et intuitifs) permettent à ces organismes de prendre une part plus importante dans l'exploitation des données de télédétection.

### 1.1. Constitution de la base de données

La réalisation de l'Etude Préliminaire d'Avant Projet Sommaire (EPAPS) suppose de réunir sur la zone d'étude et dans des conditions de délais et de coûts déterminées, un maximum de données sur le relief, l'hydrographie, la géologie, les sols, l'occupation des sols, les sites protégés,... ceci afin de pouvoir identifier les principales contraintes du projet et de permettre au projeteur d'analyser et de comparer plusieurs variantes.

Il s'agit d'une étape particulièrement longue et coûteuse au démarrage du projet. On considère en général que la base de données peut représenter jusqu'à 80 % du coût total

du SIG. Les besoins de mise à jour continue renforcent cette tendance.

De ce constat découlent différentes stratégies de la part des organismes techniques :

- une stratégie opportuniste où les investissements vers ces nouvelles techniques sont menés à l'occasion d'un projet d'envergure. Souvent, la base de données constituée va couvrir uniquement la zone du projet.
- une stratégie anticipatrice avec des objectifs à moyen et long terme basée sur un investissement important dès le départ et où la base de données va porter sur l'ensemble de la zone d'intervention de l'organisme. C'est le cas par exemple du service des grands travaux de la DDE 31 qui a opté dès le départ pour la constitution d'une base de données sur le Grand Toulouse.

Les sources d'information classiques (cartes existantes, cartes thématiques, données résultant de la consultation des organismes compétents dans les différents sujets thématiques traités, ou photographies aériennes disponibles) ne sont pas toujours suffisantes. Malgré la richesse d'information disponible dans les pays industrialisés, beaucoup de lacunes apparaissent : ancienneté relative des données, manque de vision globale, synthétique et homogène du site initial d'étude parfois très vaste. Enfin, un manque d'information thématique notamment en ce qui concerne l'occupation du sol actualisée de l'espace concerné.

La télédétection satellitaire à haute résolution a été vite reconnue comme un vecteur de progrès dans la réalisation des études d'impacts et ceci pour plusieurs raisons :

- la finesse géométrique (10 m pour les données noir et blanc des satellites SPOT ce qui autorise la production de documents jusqu'à 1:25 000),
- la disponibilité de produits numériques au départ,
- la superficie des images (de 60 x 60 km à 117 x 117 km pour SPOT, 180 x 180 km pour Landsat),
- la répétitivité des prises de vue,
- la richesse en informations thématiques pour les images en couleur (dites multispectrales),
- les capacités d'observations stéréoscopiques de SPOT.

Des progrès significatifs relativement récents ont encore renforcé les atouts des images :

- le développement de logiciels capables de calculer automatiquement à partir de couples stéréoscopiques d'images SPOT les Modèles Numériques de Terrain (MNT) correspondants ainsi que les produits dérivés (cartes des pentes, des expositions, des ensoleillements, des lignes de crêtes et de talwegs, des limites et des superficies des bassins versants, blocs diagrammes en 3 dimensions).

- les spatiocartes qui présentent les caractéristiques des cartes traditionnelles (découpage cartographique standard, géoréférencement dans un système de projection donné, repères cartographiques -amorces, croisillons-, habillage standard) mais le fond de la carte est constitué de pixels (document maillé) au lieu d'éléments au trait (document vecteur). Ces produits sont disponibles sur papier (de l'échelle 1:25 000 à l'échelle 1:250 000) et sur support numérique (le CD Rom devient le média privilégié). Les spatiocartes SPOTView® issues des images SPOT sont stockées sur CD Rom dans le format GIS-Geospot reconnu par la majorité des logiciels SIG du marché. L'utilisateur final n'a donc plus à se soucier du géoréférencement des images et de leur intégration dans un SIG.

## 1.1.1. Données cartographiques de référence

Il s'agit à la fois de la planimétrie et de l'altimétrie.

Les cartes existantes au 1:50 000 ou 1:100 000 permettent de localiser les réseaux routier et hydrographique, les agglomérations urbaines, un premier niveau d'information sur l'occupation du sol, la toponymie.

La gestion par un SIG suppose de disposer de cette information sous forme numérique. Plusieurs cas de figure peuvent se présenter selon la zone étudiée et le budget disponible. Ainsi, en France, l'acquisition de la BD carto de l'Institut Géographique National (IGN) permet de disposer d'une base de données de qualité directement exploitable sous un SIG.

Sinon, une autre solution consiste à numériser les informations nécessaires sur les cartes topographiques existantes. Il s'agit très souvent d'un exercice long, très coûteux en source d'erreurs liées soit aux documents de départ, soit au processus de numérisation lui-même.

Ces informations planimétriques servent avant toute chose de référentiel cartographique pour l'ensemble de la base de données du SIG (éventuellement complétées par les images satellites). Elles sont utilisées en fonds de plan de la majorité des documents visuels destinés à communiquer autour du projet. Le projeteur en déduit également le nombre de franchissements (ponts, carrefours, tunnels), de jonctions et de désenclavements à prévoir pour chacun des fuseaux. Il peut également estimer le niveau de contrainte pour établir des échanges.

Les spatiocartes tirées des images satellitaires peuvent venir compléter très utilement la cartographie de base voire y suppléer partiellement quand celle-ci est obsolète, incomplète ou pas diffusée. Les spatiocartes en N&B ressemblent sensiblement à des photographies aériennes à moyenne échelle. Les non-spécialistes arrivent ainsi à se repérer facilement sur ces documents. La précision planimétrique des spatiocartes SPOT est de l'ordre de la taille du pixel (10 m en N&B, 20 en couleur). Des déformations géométriques peuvent survenir lorsque les images ont été acquises en visée oblique sur des zones à relief. Ces déformations peuvent être supprimées en procédant à une ortho-rectification des spatiocartes à l'aide d'un MNT (issu de SPOT ou de documents cartographiques classiques).

De la même manière, l'altimétrie est accessible soit directement en acquérant des MNT existants (cas de la BD Z de l'IGN), soit par calcul automatique du MNT à partir d'un couple stéréoscopique d'images SPOT, soit par numérisation des courbes de niveau et calcul du MNT par des logiciels spécifiques. La plupart des SIG performants disposent de modules dédiés au calcul et à l'exploitation des MNT. Dans le cas de SPOT, les MNT produits ont une maille initiale de 20 m qui peut ensuite être dégradée. La précision altimétrique est de l'ordre de 10 m.

L'altimétrie est utilisée à plusieurs niveaux lors des études préliminaires :

- pour calculer la carte des contraintes liées à la pente (par exemple, élimination des zones à plus de 3% de pente);
- pour calculer les versants instables en tenant également compte du sol, du sous-sol et de l'exposition ;
- pour calculer les zones d'intervisibilité et donc mesurer l'impact paysager d'un projet ;
- pour calculer les volumes de déblais/remblais ;
- pour générer des vues en perspectives destinées à sensibiliser et à convaincre.

## 1.1.2. Limites administratives

Les limites administratives sont systématiquement intégrées dans les bases de données pour ce type d'application pour faciliter le repérage, pour cartographier des données agrégées par entités administratives (cas du RGP de l'INSEE par exemple), pour donner des informations quantifiées et objectives aux élus et aux citoyens qui jouent un rôle important dans les négociations intermédiaires et dans la décision finale sur le choix d'un projet.

## 1.1.3. Données techniques

Les données techniques prises en compte varient beaucoup d'un pays à l'autre selon leur disponibilité et les contraintes qui sont traditionnellement étudiées. On peut citer dans le cas de la France :

- le Plan d'Occupation du Sol (POS) simplifié quand les communes en sont pourvus. Mais certains postes nécessitent d'être remis à jour (ex : zone en cours d'urbanisation, zone d'urbanisation future) ou d'être affinés (cas de zones agricoles où il n'est pas fait de distinction entre cultures annuelles, vignes et vergers, et prairies). Dans ce cas-là, les images satellites actualisées se révèlent très utiles pour compléter ou affiner le POS.
- les sites archéologiques, les monuments historiques ;
- les points de captage des eaux souterraines ;
- les zones protégées (cas des ZNIEFF, des milieux naturels protégés).

## 1.1.4. L'occupation du sol

Il s'agit d'un critère majeur qui est pris en compte de nombreuses fois lors de l'étude des contraintes (consommation d'espace, stabilité des bassins versants, morphopédologie, impact paysager, nuisance sonore).

Les images satellites sont particulièrement bien adaptées pour produire des cartes d'occupation du sol. L'expérience acquise sur ce type d'application montre que les meilleurs résultats sont obtenus en combinant des approches par photo-interprétation assistée par ordinateur (PIAO) notamment pour les éléments linéaires ou avec une texture hétérogène (zones urbaines) et des approches par traitements numériques pour les thèmes surfaciques avec des teintes relativement homogènes (parcelles culturales, massifs forestiers, plans d'eau). Il est recommandé d'affiner certains thèmes (cas des vignes et des vergers) en travaillant sur des documents plus fins (photographies aériennes, éventuellement données techniques).

Chaque point élémentaire de l'image (encore appelé pixel) est ainsi affecté à un des postes de la légende de l'occupation du sol. La surface d'un pixel étant connue (100 m<sup>2</sup> dans le cas d'un pixel SPOT en N&B), le simple cumul du nombre de pixels par type d'occupation du sol donne accès automatiquement aux consommations d'espaces. Cette opération peut être effectuée à l'intérieur de n'importe quelle zone dont on connaît les limites (fuseaux, communes...).

Des outils fréquemment utilisés en télédétection permettent de quantifier la précision géométrique et thématique de la carte d'occupation du sol. Il s'agit de tableaux croisés (encore appelés matrices de confusion) où on compare sur un échantillon représentatif de parcelles leur occupation réelle sur le terrain et celle tirée de l'interprétation des images. Les résultats statistiques qui en découlent permettent de donner un intervalle de confiance et donc un



# Utilisation de l'imagerie numérique (3ème CITOP) - Utilisat

domaine de validité à toutes les analyses qui se basent sur cette carte d'occupation du sol.

## 1.1.5. La géologie et l'hydrogéologie

Ces critères sont essentiels à prendre en compte lors de l'étude d'un projet routier. Certains pays disposent déjà de bases de données numériques (cas du BRGM en France) ou tout au moins de documents cartographiques.

Par contre, dans les pays où les régions où ces documents ne sont pas disponibles, l'imagerie satellitaire constitue un outil largement utilisé par les géologues et les hydrogéologues. Elle donne des informations sur la géologie de sub-surface (géotechnique et ressources en matériaux). Elle permet de dresser soit une carte des principales unités géologiques, soit si l'ensemble géologique est relativement homogène, une carte texturale des principales unités de surface. Ces deux documents seront complétés par le report des principaux accidents structuraux ou en zone homogène par le report des linéaments susceptibles de correspondre à des failles du substratum.

## **1.2. Analyse des contraintes**

Une fois la base de donnée constituée et mise à jour, le projeteur peut alors faire appel à toute la puissance d'affichage et d'analyse spatiale du SIG pour étudier les contraintes. Les images satellites et les produits dérivés sont alors mis très souvent à contribution.

### 1.2.1. Contraintes techniques

La longueur de chaque variante est calculée automatiquement dès que le projeteur a dessiné à l'écran le tracé en plan horizontal de chaque variante en s'appuyant sur les données de la base affichées en arrière plan (modèle général du terrain observable sur le MNT, réseaux existants, occupation du sol) et sur son expérience. A ce stade, le MNT SPOT fournit une représentation des mouvements de terrain qui, bien que lissée par rapport à la réalité, est suffisante pour la définition en plan des principales variantes d'un projet à grande échelle. C'est typiquement le cas pour la plupart des projets dans les pays en voie de développement.

Pour l'élaboration du profil en long, l'opérateur fait appel au modèle du terrain rapporté au tracé de la variante étudiée (profil en long terrain) et à la nature du terrain présent. Cette étude permet une première évaluation de la variante par l'appréciation des contraintes géométriques longitudinales et par l'estimation sommaire des volumes de terrassement en jeu. Le modèle du MNT SPOT est suffisant pour apprécier la géométrie longitudinale à mettre en place et les contraintes qui en découlent. L'estimation des volumes de terrassement reste sommaire mais elle donne des ordres de grandeur pour comparer plusieurs grandes variantes du tracé.

L'affichage simultané à l'écran de l'emplacement des nouvelles variantes avec le réseau routier et les zones urbaines existantes (issus ou non de l'interprétation des images) permet de prévoir la longueur des voies de désenclavement.

Le croisement numérique entre les cartes des pentes et d'exposition tirées du MNT et la carte du sous-sol permet de localiser les versants instables à l'intérieur de l'emprise de chaque variante.

Le croisement entre les variantes et les réseaux hydrographique et routier donne le nombre et la nature des

ouvrages d'art à mettre en place pour chaque variante.

Enfin, les résultats issus de l'analyse de la proximité des zones urbaines (voir ci-dessous) servent au calcul de la longueur des protections phoniques nécessaires.

### 1.2.2. Géométrie des variantes

Pour chaque variantes du projet, le SIG va donner rapidement plusieurs types d'informations sur sa géométrie :

- Le croisement par analyse spatiale de la position des variantes avec la carte des pentes dérivées du MNT (éventuellement produit à partir d'images SPOT) permet de calculer le nombre et les longueurs de tronçons à forte rampe (le seuil retenu est souvent de 3%).

- La sinuosité de chaque variante en dénombrant les courbes et en les caractérisant par classes d'angles.

- La proximité des échanges en superposant le réseau routier et les zones urbaines existantes et les variantes envisagées.

### 1.2.3. Consommation d'espace et contraintes géotechniques

Le SIG permet de générer automatiquement une zone tampon (la largeur est spécifiée par le projeteur) autour de chacune des variantes.

Une fois ces zones tampons établies, le SIG permet de croiser automatiquement différentes couches d'informations avec ces zones tampons. Ceci donne pour chaque tracé les tableaux statistiques de consommations d'espace par type d'occupation du sol, de classe du POS, d'unité géologique, de classe de pente, d'exposition, d'ensoleillement, le nombre et la position des sites classés et des zones de captage, les superficies situées dans des ZNIEFF. Une représentation cartographique peut être associée à tout moment à ces données statistiques.

### 1.2.4. Analyse de la proximité des zones urbaines

Cette information sur l'urbanisation existante fournit une base à un diagnostic concernant les risques de nuisances phoniques générés par chaque variante. La méthodologie mise en œuvre s'appuie en grande partie sur les informations tirées des images satellitaires.

La première étape consiste à isoler les zones urbaines en les extrayant du POS enrichi et mis à jour par les images. Ce nouveau plan d'information est constitué d'un ensemble de zones connexes qui renferment des unités urbaines voisines. Afin d'affiner l'estimation de la nuisance phonique par rapport à un simple calcul des distances entre chaque variante et le barycentre de chaque zone urbaine (ce qui est peu représentatif en terme de nuisance surtout si la zone urbaine est très étendue), on se sert des images SPOT N&B pour redécouper en objets homogènes plus petits ces zones urbaines. On calcule alors la distance entre chacun de ces objets urbains et chacune des variantes. Le résultat peut être montré pour chaque tracé sous forme de cartes où chaque objet urbain est colorié en fonction de la distance au tracé (par exemple, proches du tracé en rouge et éloignés en bleu). Une représentation sous forme d'histogramme permet de quantifier les résultats et de les comparer entre eux.

### 1.2.5. Impact paysager

L'analyse des zones vues par les tracés permet de déterminer l'impact de ceux-ci sur le paysage. Chaque variante est une ligne constituée d'un certain nombre de

points (environ 50). A partir du MNT, le SIG arrive à localiser les zones qui sont visibles de chacun de ces points. On représente ensuite sous forme cartographique la fréquence de visibilité (rouge : grande fréquence, vert : petite fréquence). Ce calcul, croisé avec le précédent, permet de déterminer les zones urbaines proches du tracé et en visibilité importante de celui-ci, c'est à dire les zones qui comporteront de hauts risques de nuisances sonores. L'image satellitaire apparaît dans les zones d'où le tracé n'est pas vu. Ceci permet de resituer le contexte géographique. Dans des approches fines, les calculs d'intervisibilité tiennent également compte de la hauteur des éléments environnants (forêts, bâtiments, vergers...). La carte d'occupation du sol dérivée de l'interprétation des images sert alors à modifier le MNT si celui-ci a été calculé à partir des courbes de niveau des cartes topographiques.

## 1.3. Résultats

### 1.3.1. Documents techniques d'aide à la décision

Grâce à ces outils, le projeteur peut disposer rapidement des cartes et des statistiques associées pour réaliser son analyse multi-critères entre les différentes variantes.

Une fois la base de données constituée, la souplesse d'utilisation et la puissance de ces outils permet au projeteur de travailler plus rapidement, de tester plus de variantes et surtout, de pouvoir modifier à tout moment certains critères si cela s'avère nécessaire.

### 1.3.2. Documents de sensibilisation et de communication

Les capacités de production de documents cartographiques du SIG et la qualité esthétique des images satellites constituent un atout indéniable lors des phases de négociation avec les élus locaux et les associations qui se mobilisent autour du projet.

Les blocs diagrammes où les variantes et les contraintes sont représentées en perspectives sur fonds d'images satellites sont des documents extrêmement parlants.

## 2. ANALYSE ECONOMIQUE

Il est toujours extrêmement délicat de faire une analyse coût/bénéfice de ces nouvelles technologies par rapport à des approches traditionnelles. D'une part, les cas de figure vont être multiples selon le pays concerné, les règles d'analyse en vigueur, d'autre part, les effets indirects à moyen et long terme sont très importants. Ainsi, la base de données représente un investissement très lourd au départ mais elle permettra de réaliser les études suivantes à des coûts et dans des délais extrêmement performants.

Nous pouvons toutefois nous appuyer sur l'expérience acquise lors du projet réalisé pour le compte de la DDE 31 pour faire une estimation du coût de ce type de projet.

La base de données inclue :

- les spatio-cartes SPOTView orthorectifiées avec 3 dates de prise de vue (1 en N&B et 2 en couleur) ;
- le repérage et la validation sur le terrain pour calibrer l'interprétation de l'occupation du sol sur les images satellites (1% de taux d'échantillonnage) ;
- des photographies aériennes N&B pour affiner localement l'interprétation de l'occupation du sol ;

- la BD carto de l'IGN ;
- le POS ;
- les ZNIEFF ;
- les points de captage des eaux ;
- les monuments historiques et les sites classés.

Une estimation effectuée en 1993 a montré que la constitution de cette base de données revenait approximativement à 85 FF HT au km<sup>2</sup>.

Les prestations associées concernent la mise en place d'une configuration informatique sur micro-ordinateur PC haut de gamme avec un logiciel SIG, les périphériques d'entrée/sortie adéquats, l'installation de la base de données sur ces équipements, la formation et l'assistance technique au personnel. Selon les options retenues, le coût de ces prestations varie entre 120 000 FF HT et 200 000 FF HT.

## 3. CONCLUSION

Nous venons de voir que les images satellites et les produits dérivés pouvaient être utilisés de manière intensive au cours des études préliminaires de projet routier et cette tendance se renforce car les professionnels font appel de plus en plus à des approches numériques grâce à l'emploi des SIG.

Les images satellites seront d'autant plus utilisées que les données utilisées de manière traditionnelle seront inexistantes ou inutilisables pour des raisons techniques ou de droit d'accès.

L'intégration des différents outils utilisés dans ce type de projets (logiciels CAO/DAO, SIG, images satellite) est constamment améliorée ce qui va simplifier d'autant la tâche des équipes techniques.

L'amélioration des performances sur SPOT 5 en terme de capacités stéréoscopiques (stéréo avant-arrière) et de résolution (résolution au sol à 5 mètres) laisse présager des résultats encore plus adaptés à ces préoccupations.

Le principal frein à une utilisation massive de l'imagerie satellitaire reste la méconnaissance des possibilités de cet outil pour ce type d'application. Il est donc important que les différents organismes concernés continuent leurs efforts de sensibilisation et de démonstration.

Afin de faciliter ces actions de sensibilisation, SPOT IMAGE, à travers le programme SPOT AVAL financé par le CNES (Centre National d'Etudes Spatiales), a fait réaliser un outil de démonstration intitulé "Kit-SIG SPOT et Aménagement Urbain". Cet outil consiste en une base de donnée géographique au format du logiciel ARCView (®ESRI) accompagné d'un guide utilisateur en français et en anglais. Il est disponible sur simple demande et il donne une vision interactive et très parlante de l'intérêt des SIG et de l'imagerie satellitaire à travers un cas concret sur la région toulousaine.

