



CHAPITRE 17

**AUTRES OUTILS DE
LA GÉOMATIQUE**

I. PHOTOGRAMMÉTRIE

La photogrammétrie est la technique qui permet l'obtention d'informations quantitatives (coordonnées X,Y,Z du **stéréomodèle**) et qualitatives (interprétation du cliché) à partir de photographies. La restitution décrit la géométrie tridimensionnelle d'un objet photographié depuis 2 points de vue (**couple stéréoscopique** de clichés) pour aboutir à :

- un document graphique : carte ou plan ;
- un Modèle Numérique de Terrain (MNT) ;
- une photo-plan rectifiée : l'**orthophotoplan**.

Il serait bien naïf de penser qu'une seule photo, mise à l'échelle, puisse représenter directement une portion du terrain. La projection en perspective se heurte à de nombreux problèmes que seul un cours complet pourrait expliquer. Les quelques pages qui suivent ne donnent que de maigres informations, suffisantes pour le BTS.

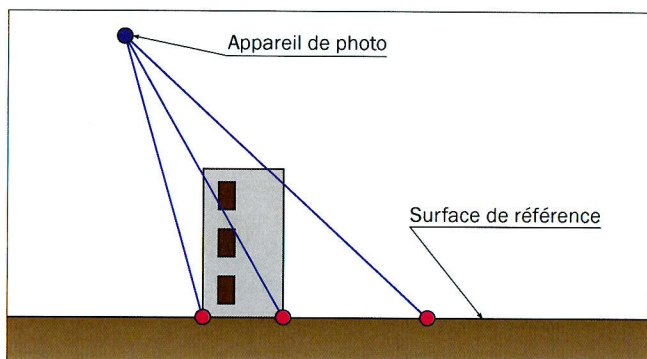


Figure 536. © ECS

Résultat de la photo : la perspective donne une assise du bâtiment qui n'a rien à voir avec la projection plane !

A. Photographie

La qualité et la position dans l'espace de l'appareil de prise de vues, la sensibilité des films et autres supports, vont conditionner la qualité des photos.

1. Matériel de prise de vues

Il convient de distinguer la prise de vue aérienne de la prise de vue terrestre. La première apporte une rapidité d'exécution et une précision suffisante pour la confection de SIG. La seconde est surtout consacrée à la réalisation de plans de façades ou à la mesure de précision sans contact qu'est la métrologie. Les appareils de prise de vues sont alors bien différents.

► Matériel classique

On ne parle pas d'appareil de photo mais de **chambre métrique** ; c'est une chambre photographique de focale variable (de 150 à 300 mm) qui permet, à l'aide de repères, un positionnement très précis du cliché par rapport au centre de projection de l'objectif. Quant à la planéité du film, un système d'aspiration la garantit à 0,03 mm près ! Les films utilisés sont à émulsion panchromatique ou noir et blanc. Le format moyen est de 23 cm² pour des agrandissements raisonnables de 10 fois.

► Matériel dernier cri

L'évolution technique est aux caméras numériques, capteurs **DTC** (dispositif à transfert de charge) en barrette ou matriciels, dont la qualité d'image permet de « réduire considérablement les délais liés aux aléas météorologiques et les contraintes de hauteur de vol ».



Figure 537. Caméra numérique DMC2001 de Zeiss Intergraph © Zeiss



Figure 538. Caméra à film Kodak avec Notebook : précision de 0,11 mm pour un objet de 10 m © Leica

2. Notion d'échelle moyenne

L'échelle, en prise de vues aériennes, dépend de l'altitude moyenne. En considérant que les surfaces du cliché et du sol sont horizontales et donc parallèles, l'échelle est définie par le rapport entre la hauteur de vol H et la distance principale dp , pratiquement confondue avec la focale.

$$\text{Echelle } E = \frac{dp}{H}$$

Cette échelle n'est évidemment pas constante : elle dépend des variations du relief du terrain et de l'inclinaison de l'axe optique dans l'espace : d'où ce nom d'échelle moyenne.

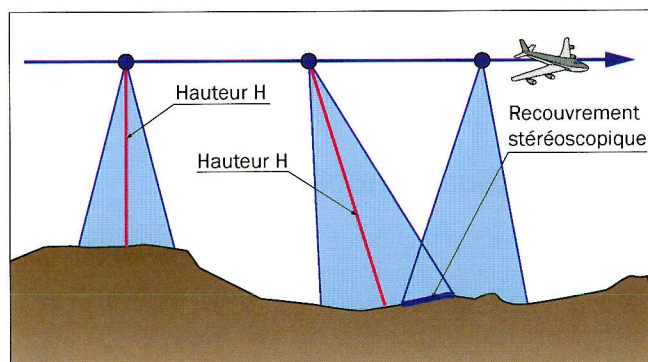


Figure 539. © ECS

► Influence du relief

La Figure 539 montre bien les déformations planimétriques engendrées par les dénivelées entre points photographiés. C'est l'exploitation d'un stéréomodèle qui remédie à cet inconvénient majeur : le recouvrement longitudinal de 60% est indispensable pour la restitution et le recouvrement latéral de 15% est suffisant pour le calage des clichés. Le photographe doit tenir compte des variations d'altitude pour éviter tout « blanc stéréoscopique ».

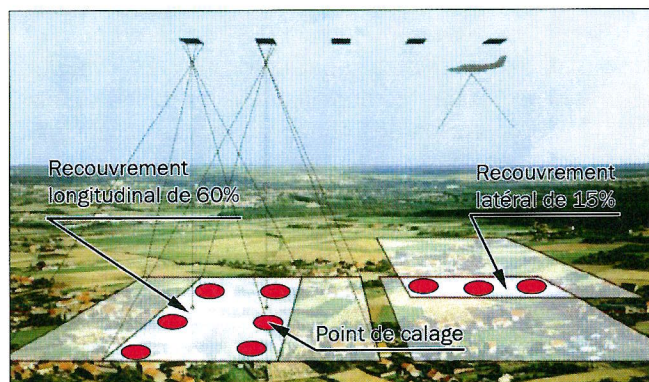


Figure 540. © DR

► Inclinaison de l'axe optique

Les systèmes de maintien horizontal des chambres de prise de vues ont leurs limites. L'inclinaison de l'axe optique provoque une déformation de l'objet photographié qui accentue celle due au relief. On y remédie au moment de la restitution du couple stéréoscopique en recalant les deux chambres de restitutions du restituteur dans les mêmes positions spatiales relatives que celles des chambres de prise de vues lors de la photo.

Ces positions spatiales, l'inclinaison de l'axe optique... ne peuvent être déduites qu'au moyen de points de calage connus en X,Y,Z et communs aux clichés, ou déterminées par GPS et **valise inertielle** associés.

B. Missions de prises de vues aériennes

La prise de vues terrestre ne pose pas de problèmes particuliers du fait qu'elle est statique. On peut aisément situer la chambre de prise de vues en X,Y,Z et en orientation. C'est plus complexe pour la photographie aérienne qui doit tenir compte d'un grand nombre de paramètres : variations d'altitude, recouvrements longitudinal et latéral, vent, points de calage... Il est vrai que le GPS contribue grandement à faciliter les plans de vol et les positions spatiales des chambres de prise de vues.

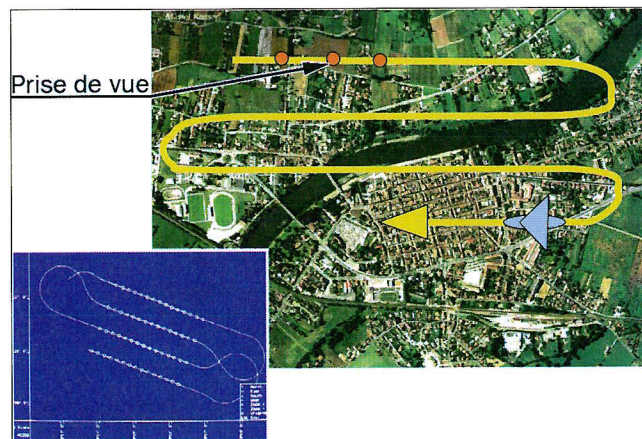


Figure 541. Plan de vol transmis par GPS : la liaison ordinateur-chambre fait déclencher automatiquement les prises de vue © IGN

1. Plan de vol

Le pilote prévoit ou suit sur ordinateur les axes de vol des différentes bandes de terrain à photographier. Le navigateur impose la vitesse et l'altitude de vol constants, maintient ou contrôle le parallélisme des passages successifs

et le cap de l'avion en fonction du vent. Le photographe tient compte de la dérive due au vent en pratiquant une correction de déversement... Le déclenchement automatique des prises de vue au moyen d'un ordinateur couplé aux systèmes GPS et inertiel simplifie la manœuvre (Figure 541).

2. Aérotriangulation et stéréopréparation

L'**aérotriangulation** est l'ensemble des méthodes de calcul inhérentes à la constitution d'un réseau de points connus en X,Y,Z au moyen de techniques basées sur la géométrie d'un bloc composé au moins de trois clichés se chevauchant. La précision de fermeture est de l'ordre de 20 m à 100 km, suffisante pour ce type de travaux.

La **stéréopréparation** consiste en la mise en place sur le terrain de points de calage connus en X,Y,Z, qui seront reconnus sur les photos : cibles blanches d'environ 30 cm × 30 cm ou objets facilement identifiables tels que coins de bâtiment, cheminées... Ces points communs à plusieurs clichés serviront à l'orientation relative des chambres de restitution ou à la formation du modèle mathématique pour les restituteurs analytiques. Tachéométrie électronique et surtout GNSS sont sollicités pour cette opération topographique simple.



Le géomètre intervient au sol en stéréopréparation !

C. Exploitation des clichés

Les instruments d'exploitation des couples stéréoscopiques sont le stéréoscope, le restituteur analogique, le restituteur analytique, l'ordinateur associé à des lunettes.

1. Stéréoscope

C'est un instrument rudimentaire plutôt utilisé pour l'interprétation des clichés. Une barre de parallaxe permet en outre de déterminer des altitudes à quelques mètres près.

L'exagération du relief provoqué par la distance entre les prises de vue facilite l'observation.

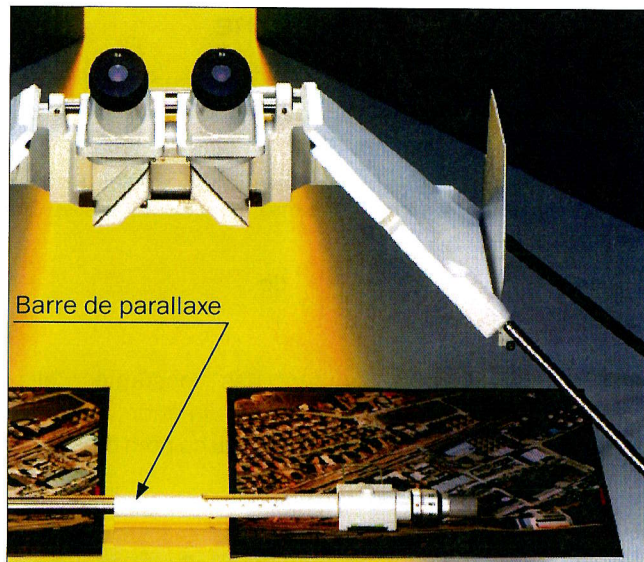


Figure 542. Stéréoscope ST © Leica

2. Restituteur analogique

La restitution est la technique qui consiste à reconstituer les faisceaux des rayons perspectifs des clichés pour mesurer leurs intersections et définir ainsi la géométrie tridimensionnelle du modèle stéréoscopique.

La méthode analogique restitue l'objet à partir d'un modèle spatial reconstitué d'après les points de calage, ce qui oblige à replacer les clichés dans une position relative identique à celle de la prise de vue, à un coefficient d'échelle près. L'opérateur parcourt le modèle reconstitué au moyen d'un ballonnet (repère circulaire) en agissant simultanément sur les manivelles des X,Y et la pédale des Z. Ces appareils sont aujourd'hui dépassés par les restituteurs analytiques.

3. Restituteur analytique

C'est l'informatique qui a présidé au développement des restituteurs analytiques : la méthode se fonde sur un modèle mathématique saisi par un digitaliseur. C'est un système d'acquisition de données plus ou moins sophistiqué : la comparaison des données des deux clichés au moyen de logiciels de calcul performants aboutit à la confection du modèle numérique, d'une manière plus aisée et plus automatique que pour les restituteurs analogiques.

On rencontre des restituteurs ultra perfectionnés (Figure 543, page 259) et des systèmes de restitution qui exploitent simplement des photos quadrillées par simple digitalisation (Figure 544, page 259).



Figure 543. Restituteur SD © Leica

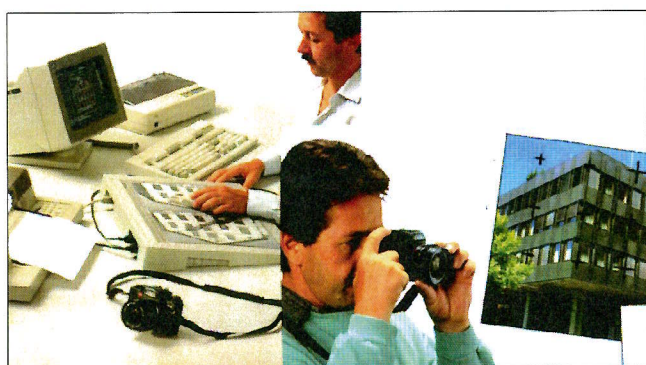


Figure 544. Le photographe tire deux photos d'une façade. L'opérateur digitalise les deux clichés et en déduit le modèle numérique de terrain. © Leica

4. Vidéogrammétrie

Il s'agit en quelque sorte d'une restitution numérique : deux photos scannées sont fusionnées sur l'écran d'un ordinateur et observées au moyen d'un dispositif optique qui donne la sensation du relief. Le curseur de la souris joue le rôle du « ballonnet » et un logiciel calcule les coordonnées des points avec une précision de 50 microns environ. C'est un excellent outil pour la confection des SIG.

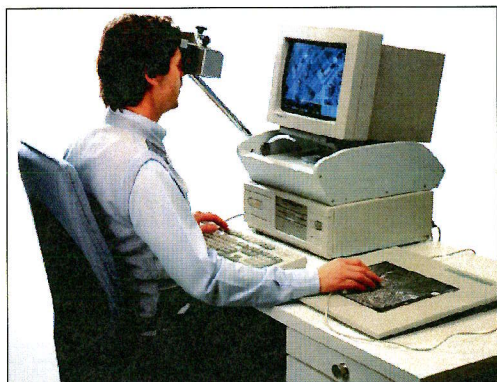


Figure 545. © Leica

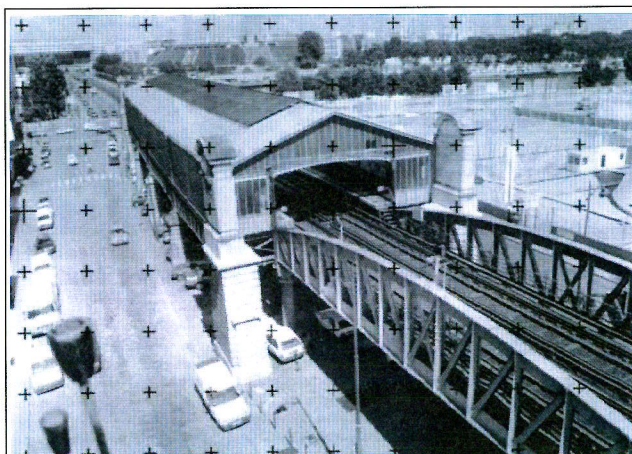


Figure 546. Relevé photogrammétrique et modélisation 3D d'une station de métro © Malenfer

5. Orthophotographie

Aujourd'hui, l'orthophotographie est devenue une technique banalisée compte tenu des évolutions récentes et rapides dans le domaine de la photogrammétrie. L'orthophotographie est en quelque sorte une photographie redressée et « rééchantillonnée » pour qu'on puisse la superposer à un plan, que l'on peut agrémenter d'informations graphiques telles que toponymie, courbes de niveau, quadrillage... C'est une image numérique artificielle fabriquée de toute pièce par un ordinateur : mais **l'orthophotoplan** n'est ni une photo ni un plan !

Elle est sans conteste un moyen économique de disposer rapidement d'une information géographique générale du territoire suivie d'une mise à jour correcte.



L'orthophotographie est souvent la couche de base des SIG !

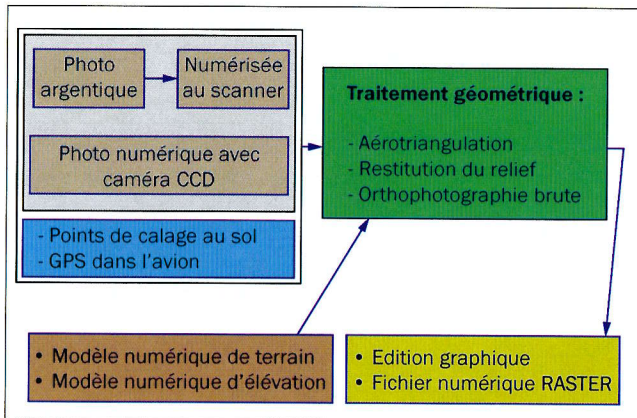


Figure 547. Traitement de l'image © ECS

D. Post-complètement

Des parties cachées ou des objets oubliés obligent le géomètre à retourner sur le terrain pour « compléter » les parties manquantes, rectifier les parties erronées ou faussées par les débords des toitures.

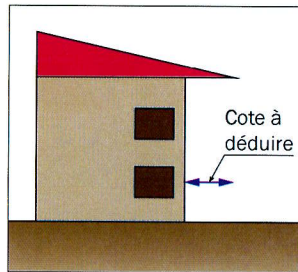


Figure 548. © ECS

Ces opérations de « **complètement** » sont courantes en zones boisées ou urbaines et alourdissent singulièrement le coût de la photo.

II. SYSTÈMES D'INFORMATIONS GÉOGRAPHIQUES

Les SIG sont une composante essentielle de la géomatique, science qui traite de l'information géographique. Ils ont pour but de traiter les informations **spatialisables**, c'est-à-dire les données géographiques, numérisées en mode cellulaire (matrices de pixels ou raster) ou en mode vectoriel (coordonnées rectangulaires).

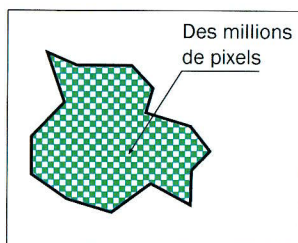


Figure 549. © ECS

En mode cellulaire, la numérisation est liée à la représentation de l'image par des pixels. L'espace est décrit point par point sous forme de maillage, qu'on appelle aussi

données raster. Chaque pixel est connu en X,Y dans un système de référence.

La scannérisation fournit un fichier de pixels très rapidement mais nécessite une mémorisation énorme (quelques millions d'octets pour une page A4).

Images satellites et numériques fournissent un fichier raster, après traitement radiométrique et géométrique.

Remarque : des logiciels performants vectorisent les plans scannés afin qu'ils puissent être retravaillés en coordonnées X,Y.

En mode vectoriel, l'espace décrit est celui qui est défini par des points, des lignes, des polygones, des courbes, des volumes ; chaque vecteur est défini par les coordonnées X,Y,Z de ses extrémités.

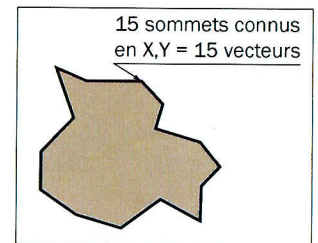


Figure 550. © ECS

Ces éléments proviennent des calculs numériques, des digitaliseurs, des carnets de terrain, des restituteurs...

La saisie vectorielle est plus longue mais prend moins de place en mémoire ! Son résultat ne donne lieu à aucune interprétation !

Tout système SIG comporte essentiellement des données géographiques, des données alphanumériques, des moyens informatiques (matériels et logiciels).

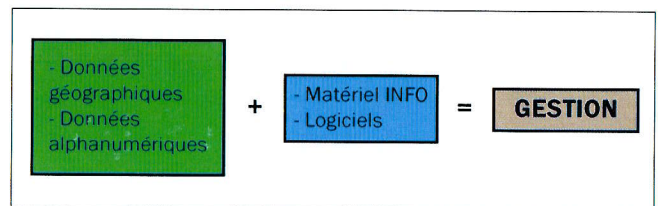


Figure 551. © ECS



Les SIG permettent de gérer des données géographiques.

A. Banques de données

Les données sont le fondement même d'un SIG. Le rôle essentiel du géomètre est de fournir les données géographiques et de les mettre à jour. Les données géogra-

phiques, qui intègrent une représentation graphique de l'information et les données alphanumériques (numériques et ou textuelles, qui constituent les attributs) s'associent pour aboutir aux données localisées gérées par le SIG. On parle de BDL (banque de données localisées), de BDU (banque de données urbaines)...

<p>Données géographiques</p>	<p>Obtenues par :</p> <ul style="list-style-type: none"> - lever topographique ; - restitution photographométrique ; - scannérisation ; - digitalisation ; - vectorisation ; - photos aériennes ; - orthophotoplans ; - images satellites... 	<p>Sources d'information :</p> <ul style="list-style-type: none"> - plans cadastraux numérisés ; - levés des géomètres ; - bases de données de l'IGN ; - plans des concessionnaires (EDF, GDF, SNCF, télécom, eaux...)...
<p>Données alphanumériques</p>	<ul style="list-style-type: none"> - noms des lieux-dits ; - noms des voies ; - noms des propriétaires ; - surfaces, volumes ; - périmètres et longueurs de voies ; - nivellements ; - servitudes et hypothèques... ; - prospectes et marges de recul ; - règles d'urbanisme ; - descriptions techniques ; - réseaux... 	

Tableau 66



La banque de données associée à une parcelle est infinie.

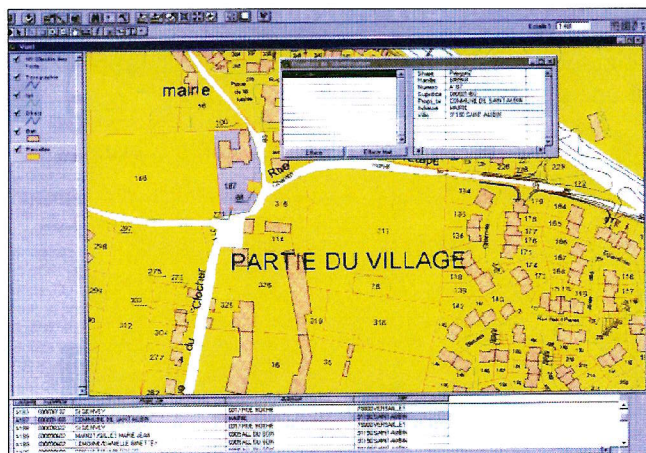


Figure 552. Requête : renseignements d'urbanisme sur une parcelle cadastrale © Arcview

Le maire de Vertin certifie que l'immeuble sis à Vertin :

- lieu-dit : 12 rue Barbe
- cadastre : AB171
- contenance : 1195 m²

est situé en zone UCa ;

est situé : périmètre de protection architecturale ;

est situé en zone DPU.

etc.

B. Systèmes de gestion

Le SIG possède diverses fonctions pour **saisir, éditer, visualiser et mettre à jour** les informations graphiques. Il possède aussi des fonctions pour **fournir et analyser** des informations non graphiques.

Le SIG est aussi et surtout un véritable outil de gestion : non seulement il doit être capable de rattacher tous les objets à une localisation géographique, mais il doit aussi assurer la fonction d'aide à la décision dont voici quelques exemples :

- optimisation d'itinéraires (circulation automobile, ramassage scolaire) ;
- délimitation d'impacts (aménagement et urbanisme) ;
- identification de biens et des personnes concernées ;
- interventions en cas d'urgence (accidents, incendies, fuites de réseaux).

Deux traitements sont affectés pour atteindre ces objectifs : le traitement surfacique et le traitement de connectivités.

1. Traitement surfacique

Il concerne la recherche d'un point dans un polygone, d'une ligne dans un polygone, d'un ensemble d'éléments reconnus dans un polygone... La « topologie », discipline mathématique qui étudie les positions relatives des objets géométriques, indépendamment de leurs formes et de leurs grandeurs, est parfaitement adaptée à ce traitement. La topologie fait appel à la notion d'arcs, de nœuds et de surfaces.

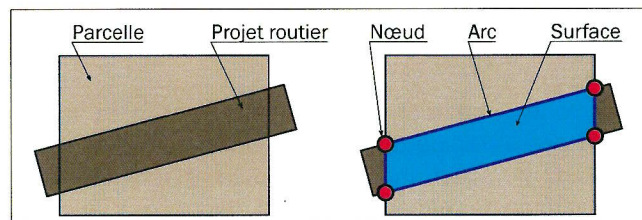


Figure 553. © ECS

La topologie fournit en un temps record les coordonnées nouvelles, les surfaces nouvelles issues des emprises d'un projet de route sur toutes les parcelles concernées.

2. Traitement de connectivités

Il consiste en un passage à travers des systèmes linéaires (réseaux, voies) pour analyser des écoulements, des itinéraires et y connecter des attributs appropriés ; rues adjacentes, regards, bouches d'égout, vannes.

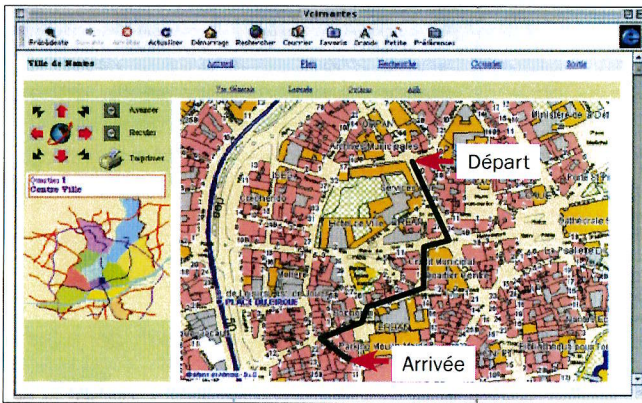


Figure 554. Requête : itinéraire le plus court pour une intervention de pompiers © Ville de Nantes

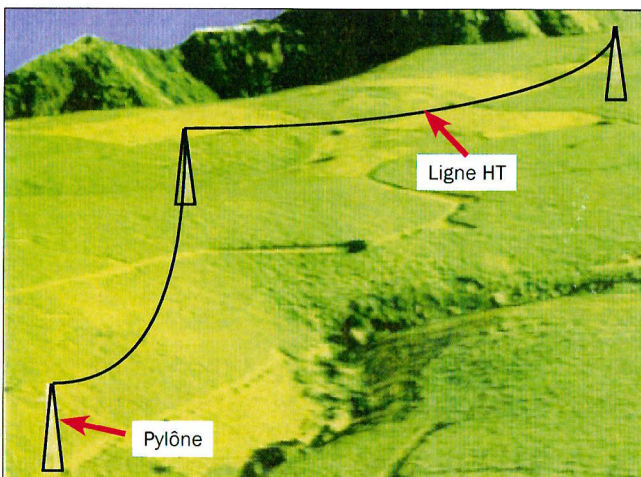


Figure 555. Aide à la décision : intégration d'une ligne à haute tension dans un site particulier. Le modèle est une vue paysagère issue d'une photographie © Revue « Géomètre »

C. Mise à jour

Le bon fonctionnement d'un SIG passe par une mise à jour efficace et rapide des banques de données géographiques. C'est aussi une aubaine pour le géomètre qui est sollicité en permanence pour cet objectif crucial.

Les nouveaux matériels exploitables sur le terrain (tablettes graphiques et éditeurs SIG) utilisent les réseaux sans fils pour assurer une liaison permanente avec les bases de données centralisées.

Ces systèmes assurent les interventions de maintenance directes sur le terrain d'employés itinérants (réparation de réseaux) sans qu'ils soient obligés de passer par le bureau et, une fois l'intervention réalisée, la mise à jour de la banque de données.



Figure 556. © Compaq

D. SDIG

Les systèmes SIG sont trop coûteux pour la plupart des petites communes. Elles se tournent donc vers les SDIG, Systèmes Documentaires d'Informations Géographiques.

De tels systèmes n'ont pas la capacité de simulation des SIG et ne bénéficient pas de la CAO (Conception Assistée par Ordinateur). Mais la DAO (Dessin Assisté par Ordinateur) leur permet d'assurer des liens graphiques sur une base de données.



Internet peut diminuer les coûts d'installation d'un SDIG