

8

LEVER DE DÉTAILS ET REPORT

1 INTRODUCTION

Le **lever de détails** est l'ensemble des opérations intervenant dans un lever topographique et consistant à déterminer à partir des points du canevas d'ensemble (voir Tome 2, Ch. 1), polygonal ou de détails, la position des différents objets d'origine naturelle ou artificielle existant sur le terrain. Le **levé**, nom donné au document résultant d'un lever, est destiné, éventuellement après traitement numérique, à l'établissement de plans graphiques ou numériques : c'est la phase de **report**.

2 LEVER DE DÉTAILS

2.1 Principes de base

Lors d'un lever de détails, le topographe est confronté à trois problèmes principaux :

- déterminer les détails à lever ;
- définir le degré de précision ;
- arrêter les mesures à effectuer.

2.1.1 Détails à lever

Le choix des détails dépend essentiellement de deux caractéristiques : leur type et leur taille. Les plans topographiques ont des destinations différentes et des objets nécessaires à certains seront inutiles pour d'autres. Il faut donc effectuer une sélection en fonction du type de plan à élaborer. Par exemple, si le lever d'arbres est obligatoire pour un plan de

propriété, il l'est beaucoup moins pour un plan de récolement. La taille minimale des détails à lever est directement liée à l'échelle du plan. On admet en général que le pouvoir séparateur de l'œil humain est d'un dixième de millimètre. Les détails non représentables ne sont pas levés. Pour les plans numériques, susceptibles de générer des plans graphiques à différentes échelles, il faut se référer au cahier des charges.

2.1.2 Précision du lever

La précision d'un plan est liée à celle du lever et implique directement la précision avec laquelle les détails sont levés. Les plans peuvent être classés suivant le type de lever : expédié ou régulier, ou en catégories, P1 à P7 et A1 à A7 (arrêté du 21 janvier 1980).

L'échelle d'un document est définie par la formule :

$$e = \frac{d_{\text{plan}}}{D_{\text{terrain}}}$$

L'échelle e est donc le rapport d'une dimension mesurée sur le plan par la dimension homologue sur le terrain.

Un lever est dit régulier si la détermination des détails est effectuée avec une erreur qui, réduite à l'échelle du levé, est inférieure ou égale à l'erreur graphique, soit un dixième de millimètre, plus petit écart perceptible à l'œil sur le plan. Dans le cas contraire, le lever est dit expédié. Par exemple, pour un plan au 1/1 000, l'erreur maximale est de 10 cm sur le terrain ($0,1 \text{ mm} \times 1\,000 \approx 10 \text{ cm}$).

L'arrêté du 21 janvier 1980 (art. 9) fixe des tolérances sur les écarts individuels des points suivant sept catégories : de P1 à P7 en planimétrie, de A1 à A7 en altimétrie. Par exemple, ces tolérances sont de 10 cm en P2 et 1 m en P5. Les plans des catégories P1 et P2 doivent être appuyés sur un canevas de précision. Il faut noter qu'un même plan peut contenir des détails de catégories différentes.

Prenons l'exemple d'un plan graphique :

- en planimétrie, le corps des rues est en catégorie P3, l'intérieur des îlots en catégorie P4 ;
- en altimétrie, les points cotés sont en catégorie A1.

Les levers doivent respecter les tolérances définies par le cahier des charges.

Le tableau suivant récapitule les écarts individuels en centimètre autorisés sur chaque point ; les mesures se font par sondage sur le plan puis on les compare aux valeurs issues du terrain¹.

¹ Voir méthodologie complète éditée par le Journal Officiel : arrêté du 21 janvier 1980.

Catégories	1	2	3	4	5	6	7
Planimétrie P1 à P7	5	10	25	50	100	250	> 250
Points cotés A1 à A6	2,5	5	10	25	50	>50	
Courbes de niveau C1 à C5	25	50	75	100	>100		

On remarque sur le tableau précédent l'association d'une catégorie et d'une échelle :

- catégorie 1 : 1/100 ;
- catégorie 2 : 1/200 ;
- catégorie 3 : 1/500 ;
- catégorie 4 : 1/1 000, etc.

Cette association est aujourd'hui obsolète car le plan n'est plus que l'image à n'importe quelle échelle du modèle numérique de terrain stocké sur un support informatique.

Outre ce contrôle d'écarts individuels, un plan doit satisfaire à un contrôle global, statistique sur l'ensemble du plan, à savoir:

$$\sqrt{\frac{\sum ei^2}{N}} < \frac{\sigma(\sqrt{2N-1} + 2,58)}{\sqrt{2N}}$$

Avec ei : écarts individuels (les écarts hors tolérance étant mis à part) ;

σ : écart type calculé à partir des tolérances du tableau précédent ;

N : nombre de points contrôlés.

2.1.3 Mesures à effectuer

Le principe fondamental de la topographie, qui consiste à aller de l'ensemble vers les détails, doit être strictement respecté : les points de détail seront donc rattachés à un canevas, même si celui-ci se compose uniquement de quelques points, d'une simple ligne d'opération ou, à la limite, d'une façade, par exemple. Un lever correctement mené doit assurer un maximum d'homogénéité entre les différents points de détails. Chacun sera donc rattaché, si possible, par un minimum de mesures courtes et indépendantes, par exemple un angle et une distance, une distance sur un alignement, deux angles, etc.). On n'oubliera pas d'effectuer des mesures surabondantes de contrôle.

2.1.4 Croquis de levé

Chaque lever de détails doit s'accompagner d'un croquis de levé aussi précis, soigné et descriptif que possible. Ce croquis est d'une aide précieuse, voire indispensable, lors de l'établissement du plan définitif.

Remarquez qu'une bonne codification peut permettre de ne pas faire de croquis.

2.2 Méthodes et moyens

Les méthodes de lever et les moyens à mettre en œuvre dépendent de plusieurs facteurs, essentiellement :

- la destination du plan : graphique, numérique...
- l'objet du plan : intérieur, propriété, parcellaire, alignement...
- la précision recherchée : pré-étude grossière, lever expédié, régulier, catégories...
- de la nature du terrain : relief, masques, couvert, étendue, distance des points...
- de la disponibilité du matériel dans l'entreprise ;
- du cahier des charges, du prix de revient du marché et des délais impartis.

Par la suite, ces méthodes seront classées en deux catégories :

- les méthodes traditionnelles, qui ne font l'objet que d'une description sommaire car, abondamment traitées par ailleurs, elles sont peu à peu abandonnées ; elles utilisent le matériel classique du géomètre topographe : ruban, fil, roue, niveaux, cercles, goniomètres, goniographes, théodolites, tachéomètres optico-mécaniques, boussoles, jalons, équerres optiques...
- les méthodes modernes basées sur l'emploi des stations totales et du GPS. Le lever altimétrique sera traité à part.

2.3 Méthodes traditionnelles

2.3.1 Levers grossiers

Pour des phases d'avant-projet ou bien pour des préparations de chantier, il est suffisant d'effectuer un lever grossier qui permet de préparer le planning des opérations définitives ou de calculer un coût approximatif de travaux. Les instruments à la disposition du topomètre sont les suivants :

- **la boussole** : elle permet d'orienter un croquis sur le nord magnétique du lieu (très proche du nord géographique) ;
- **le clisimètre** : c'est un appareil de poche simple et peu encombrant qui permet d'obtenir rapidement une pente, une dénivelée ou une distance inclinée avec une précision maximale de l'ordre de 0,5 % sur la pente, 50 cm sur les longueurs. Un exemple d'application est la préparation d'une opération de mesure par GPS pour laquelle il est nécessaire de connaître la position (azimut magnétique et hauteur des objets proches de la station prévue pour une antenne GPS, ceci dans le but de prévoir le nombre de satellites visibles à un instant donné ; voir chap. 7, § 1) ;
- **le podomètre** (mesure par comptage des pas) ou **la roue enregistreuse** (roue associée à un compteur métrique utilisable en parcours facile jusqu'à 10 km avec une précision maximale du décimètre) ;

- **le fil perdu** : il s'agit d'une bobine de fil donnant des longueurs de parcours jusqu'à 5 km avec une précision maximale du décimètre, utilisable en parcours très accidenté.

Ces instruments ne sont pas désuets et sont encore très utilisés pour les mesures en terrain accidenté et les mesures ne nécessitant que des ordres de grandeur.

2.3.2 Lever d'intérieur

Le lever d'intérieur est essentiellement effectué au **ruban** ou mieux, avec un **lasermètre**, par exemple le type DISTO de Leica, dont la mesure par rayon laser est caractérisée par une portée allant jusqu'à 100 m avec une précision de l'ordre du centimètre. Le lasermètre permet de mesurer rapidement et précisément avec un seul opérateur, le deuxième se consacrant au croquis.

La seule règle, en dehors de l'importance de la qualité des croquis, est la mesure des **diagonales** de toute figure déformable (rectangle, polygone, etc.), la figure de base indéformable étant le triangle (voir un exemple de mesurage sur la figure 8.1. : il manque sur ce croquis les mesures des façades intérieures sud et est de cette pièce).

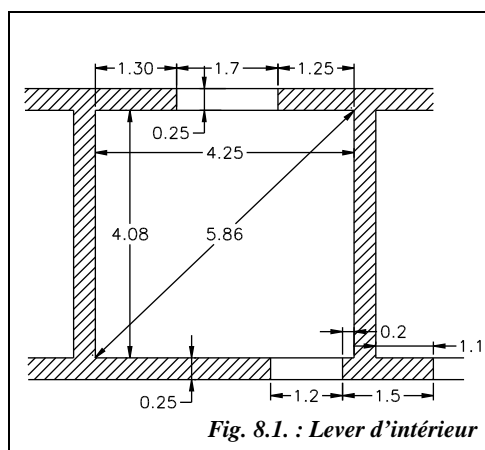


Fig. 8.1. : Lever d'intérieur

2.3.3 Lever de plans

Suivant les types de points à lever, il est possible d'adopter les procédés suivants :

- points isolés, relativement éloignés du canevas : l'opérateur peut employer les techniques du canevas ordinaire avec le minimum de mesures nécessaire : intersection, relèvement, recoupement, insertion (voir Tome 2 Ch. 1) ;
- petites parcelles urbaines ou rurales : multilatération de détail ;
- points nombreux, à peu près alignés : abscisses et ordonnées, obliques latérales et quasi-ordonnées (corps de rue, façades...) ;
- limites de parcelles, de propriétés, bâtiments, etc. : alignements et prolongements ;
- points semés autour des points du canevas : rayonnement (très employé en tachéométrie).

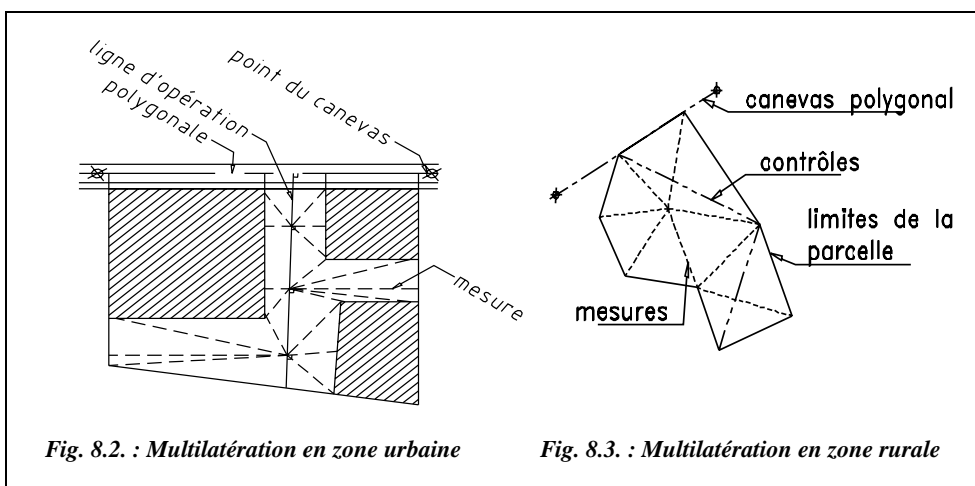
La base de la plupart de ces méthodes est la ligne d'opération. Elle provient souvent d'un canevas polygonal ou d'une charpente planimétrique d'où l'intérêt d'un choix judicieux des points de ce canevas.

2.3.4 Multilatération de détail

Le principe est fondé sur la mesure de distances courtes et surabondantes à partir d'une ou de plusieurs lignes d'opération.

En lever urbain, cette méthode convient à des plans de propriété. Le matériel mis en œuvre est simple : ruban, jalons, équerre optique ou théodolite. La ligne d'opération principale est, dans ce cas, perpendiculaire à un côté du canevas polygonal qui sert également de ligne d'opération (fig. 8.2.). Il faut veiller à mesurer les façades des bâtiments.

À partir du canevas, le report peut être direct par constructions simples ou par coordonnées après traitement numérique.

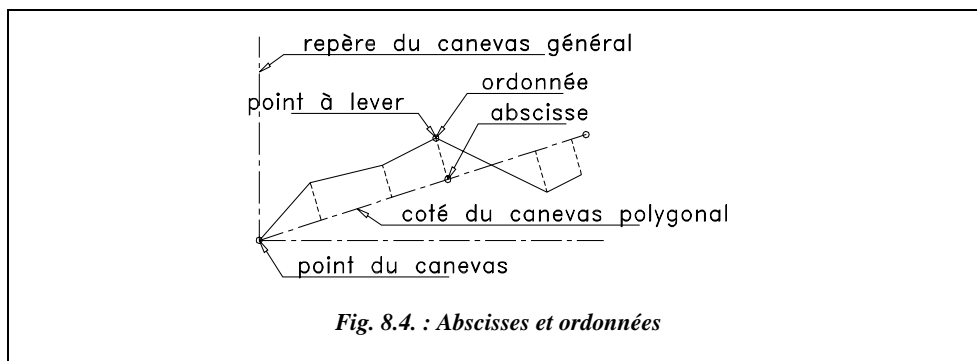


En lever rural, pour des parcelles de petites dimensions, il est possible de décomposer la surface en triangles, si possible équilatéraux. On mesure les côtés de ces triangles, les côtés de la parcelle et quelques distances supplémentaires pour le contrôle.

Là aussi, le report peut s'opérer directement, par intersections d'arcs de cercle ou par coordonnées après traitement numérique dans le repère général ou local du lever.

2.3.5 Abscisses et ordonnées

Lorsque les points de détail à lever sont relativement alignés et le terrain peu accidenté, cette méthode donne des résultats satisfaisants, par exemple, pour le lever de corps de rues. Depuis chaque point, on abaisse, à l'aide d'une équerre optique, des perpendiculaires sur une ligne d'opérations : par exemple un côté du canevas polygonal.



On mesure ensuite les abscisses cumulées, les ordonnées de chaque point et, pour contrôle, les distances entre ces points.

Il faut veiller au bon alignement des pieds des perpendiculaires sur la ligne d'opérations : pour cela, il est recommandé d'utiliser un théodolite.

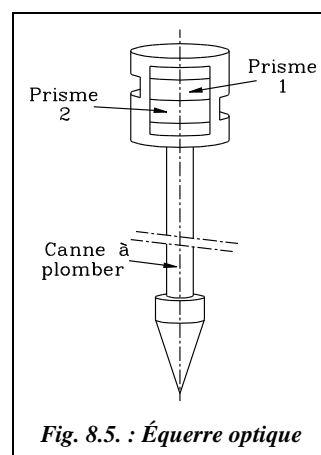
Le report peut se faire directement sur le plan, à partir du canevas ou par coordonnées après traitement numérique. Le calcul consiste alors à effectuer un changement de base pour passer du repère du lever (côté de la polygonale) au repère du canevas général (voir tome 2, chap. 5, § 8.2).

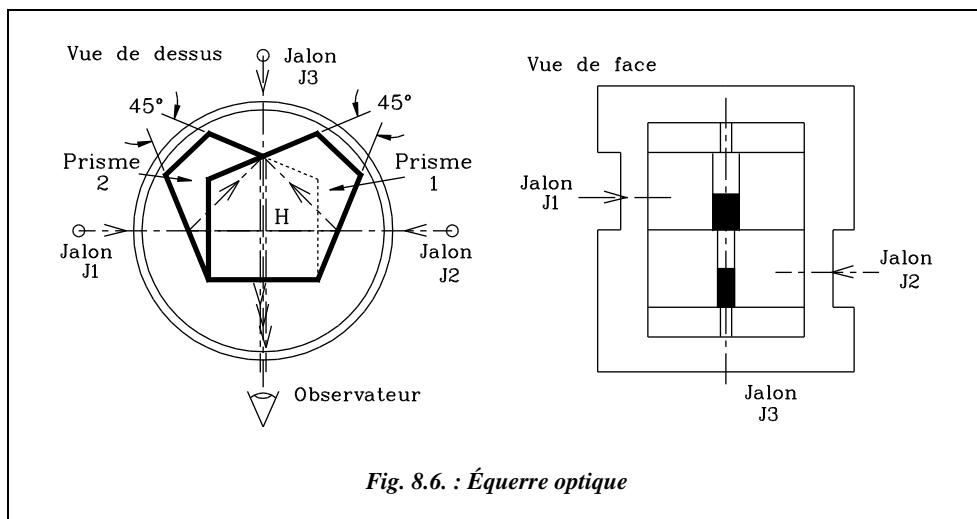
Une variante de cette méthode, le lever par obliques latérales et quasi-ordonnées consiste à abaisser, à vue, les perpendiculaires sur la ligne d'opération. On mesure les abscisses cumulées, les quasi-ordonnées, les façades et les deux cotes de rattachement aux extrémités. Des formules simples permettent ensuite de calculer les abscisses et ordonnées des différents points. Ce procédé, beaucoup plus rapide que le précédent (perpendiculaires à vue) est également adapté aux levés de corps de rue à grande échelle.

La méthode de lever par abscisses et ordonnées est décrite ci-dessous.

1 - L'équerre optique (fig. 8.5.) est un petit instrument qui permet de construire rapidement des perpendiculaires par l'alignement de jalons. Elle est associée à un fil à plomb ou mieux, à une canne à plomber sur laquelle elle est vissée. La canne à plomber est le dispositif le plus stable : elle doit être tenue entre pouce et index en partie supérieure, le plus près possible de l'équerre de manière à assurer sa verticalité.

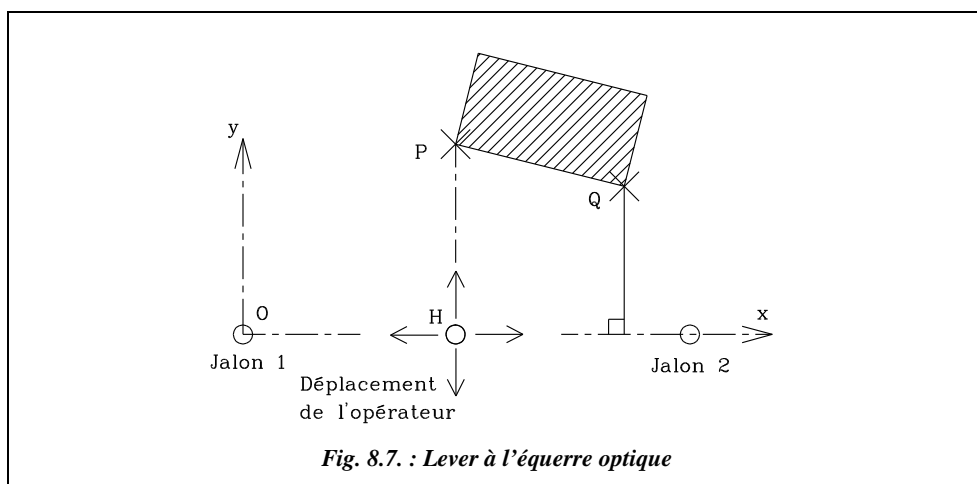
Un bon manipulateur peut obtenir une précision centimétrique, sachant que plus les jalons sont éloignés et plus le positionnement est précis.





2 - Le fonctionnement de l'équerre optique est le suivant : deux prismes à 45° renvoient vers l'opérateur l'image de deux jalons placés l'un, J1, à 90° à gauche de l'équerre et l'autre, J2, à 90° à droite. Par une fenêtre située entre les deux prismes (ou au-dessus et au-dessous des prismes), l'opérateur peut voir un troisième jalon J3. Lorsque les trois jalons sont alignés dans l'œil de l'opérateur cela signifie que la droite J1-J2 est perpendiculaire à la droite H-J3, H étant à la verticale du centre de l'équerre (fig. 8.6.).

3 - Les mesures suivantes sont effectuées : pour ce type de lever, l'opérateur matérialise, par exemple avec deux jalons, une ligne de base qui sert d'axe (x) et pour chaque détail levé, il construit le pied de la perpendiculaire à l'axe (x) en alignant dans l'équerre l'image de l'objet à lever avec les deux jalons matérialisant l'axe (x) (fig. 8.7.).



Pour un détail au sol, un aide peut y tenir un troisième jalon.

L'opérateur mesure l'abscisse cumulée OH et l'ordonnée HP du point levé qui est donc repéré en coordonnées locales. Il mesure aussi la longueur de la façade PQ (mesure surabondante de contrôle).

2.3.6 Lever par rayonnement

Cette technique s'apparente au lever de détails effectué avec les stations totales : on utilise un théodolite ou un niveau équipé d'un cercle horizontal pour lever la **position angulaire** de chaque point. La **distance horizontale** du point de station au point levé est mesurée au ruban, ou, moins précisément, par stadimétrie sur une mire.

Il est également possible d'obtenir l'altitude du point visé par nivellement direct (niveau) ou indirect (théodolite). Chaque point est alors connu :

- en planimétrie par ses coordonnées polaires par rapport au point de station et à la référence angulaire choisie ;
- en altimétrie par rapport à un point de référence connu en altitude.

Le lever s'effectue par **rayonnement** autour du point de station de l'appareil. L'orientation du zéro du cercle horizontal de l'appareil peut être réalisée de manière approximative, avec une boussole pour se rapprocher du nord magnétique et donc du nord Lambert. Il est également possible de s'orienter de manière plus précise si l'on dispose de deux points connus en coordonnées générales ou locales.

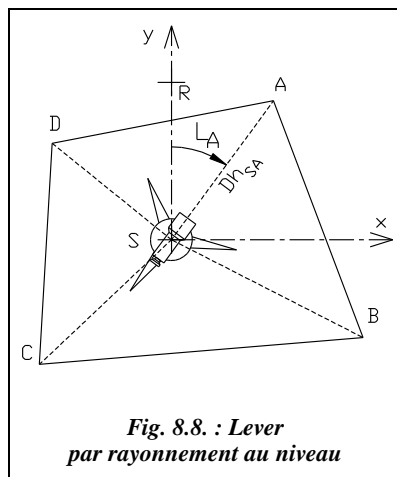
Application

Il s'agit de lever par rayonnement à l'aide d'un niveau de chantier une parcelle pour évaluer sa surface horizontale. Cette parcelle doit être approximativement horizontale pour que l'on puisse utiliser un niveau en une seule station.

Un repère local est fixé (fig. 8.8.) avec une station en S, le zéro du cercle étant pointé sur un point de référence R (repère local S, x, y).

La référence R a une altitude : $H_R = 132,23$ m ; les coordonnées du point de station sont : $X_S = 100$ m ; $Y_S = 100$ m.

Le tableau des mesures est le suivant :



Point	Dp (m)	Li (gon)	mi (mm)
R		0,0	1612
A	43,52	40,5	0612
B	54,28	130,0	0421
C	45,83	252,0	2764
D	38,70	343,5	3196

Dp : distance suivant la pente (au ruban) ;

Li : lectures angulaires (lectures à 0,5 gon près sur le cercle du niveau) ;

mi : lecture du fil niveleur sur mire.

Réponse

Les équations suivantes permettent d'établir le tableau des résultats.

La dénivelée entre R et un point i est : $\Delta H = m_R - mi$.

La distance horizontale de S à i est : $Dh = \sqrt{Dp^2 - \Delta H^2}$.

L'angle horizontal au sommet S entre deux points i et j est : $H_{zij} = Li - Lj$.

La surface horizontale d'un triangle est : $S_{ij} = \frac{Dhi \cdot Dhj}{2} \sin H_{zij}$.

Point	ΔH (m)	Altitude (m)	Dh (m)	Angle H_{zij} au sommet (gon)	Surface triangle S_{ij} (m ²)	Coté opposé (m)
A	1 000	133,23	43,51			
B	1 191	133,42	54,27	89,5	1 164,622	63,74
C	-1 152	131,08	45,82	122,0	1 169,821	82,03
D	-1 584	130,65	38,68	91,5	878,272	55,89
A	1 000	133,23	43,51	97,0	840,549	56,84
Sommes :				$\Sigma =$	4 053,264	258,50

Il est intéressant d'évaluer l'incertitude sur cette surface :

La surface de chaque triangle se calcule comme suit $S_{ij} = 0,5 \cdot Dhi \cdot Dhj \cdot \sin(Lj - Li)$.
On néglige l'incertitude sur la surface provenant des lectures de dénivelées : une erreur de 10 cm sur la dénivelée donne un écart de moins de 5 mm sur la distance horizontale.

L'erreur sur les distances Dhi est de l'ordre de ± 10 mm (ruban de classe II).

L'erreur sur une lecture angulaire Li est de $\pm 0,5$ gon soit $(\pm 0,5 \cdot \sqrt{2} \approx \pm 0,7 \text{ gon} \approx \pm 0,011 \text{ rad})$ puisque chaque angle ($H_{zij} = Lj - Li$) nécessite deux lectures angulaires.

L'erreur sur chaque surface est donc :

$$(\sigma_{Sij})^2 = (0,5 \cdot (D_{hi} + D_{hj}) \cdot \sigma_{D_{hi}} \cdot \sin H_{z_{ij}})^2 + (0,5 \cdot D_{hi} \cdot D_{hj} \cdot \cos H_{z_{ij}} \cdot \sigma_{H_{ij}})^2.$$

Donc, pour la surface totale : $\sigma_s = \sqrt{\sum \sigma_{Sij}^2} = \pm 5 \text{ m}^2$ donc $S = 4\,053 \pm 5 \text{ m}^2$.

Donc la précision de cette manipulation est acceptable (surface donnée à 0,1 % près) malgré le manque de précision angulaire de l'appareil utilisé (le niveau de chantier).

Remarque

- Si l'opérateur dispose d'un théodolite, le principe est identique, la précision étant meilleure puisque les lectures angulaires sont effectuées au moins au cgon. De plus, il est possible de mesurer des dénivelées en terrain en forte pente par nivellement indirect.
- Si le report ultérieur est manuel, le lever par rayonnement est idéal puisqu'il fournit les coordonnées polaires faciles à reporter sur papier au moyen d'un rapporteur et d'une règle ou d'un coordinatographe polaire.
- Si le report est informatique, il vaut mieux lever les détails en coordonnées cartésiennes, en repère local ou général.

2.4 Méthodes actuelles

2.4.1 Levers avec station totale

La station totale (ou « mitrailleuse à points ») est l'instrument idéal pour le lever précis d'un grand nombre de points. La station est équipée d'un **distancemètre**, permet de mesurer et d'enregistrer distances et angles en une seule manipulation.

Ces données peuvent être enregistrées sur un **support informatique** en vue d'un traitement par ordinateur. Ci-contre, le module REC permet le transfert des données à un ordinateur par l'intermédiaire de l'interface GIF12. Il existe aussi un carnet de terrain le GRE, et un ordinateur de terrain, le GPC1, qui propose un certain nombre de programmes prédéfinis. À l'avenir, les liaisons entre différents appareils devraient être assurées directement par une carte d'extension externe amovible de type PCCARD.



*T1000 + DI1000
& module REC*

En entrant des **codes** pour les points de détail levés, certains tracés peuvent être automatisés au moment de la phase **d'habillage du levé** sur ordinateur. Par exemple, un même code (numéro) sera associé à tous les points levés en crête de talus et un autre code à ceux levés en pied de talus. Le logiciel traitant les données doit être programmé pour reconnaître ces codes et dessiner lui-même les talus. Tous les logiciels de topographie proposent des fonctions d'habillage automatique.

2.4.1.1 *Mise en station*

La mise en station de l'appareil puis l'entrée des informations suivantes, en mémoire du calculateur de la station, s'effectuent comme suit (les notations données sont employées par Leica) :

1 - Coordonnées du point de station notées *E* (est), *N* (nord) et *H* (altitude). Si ces coordonnées sont inconnues (levé local non rattaché), on peut les fixer arbitrairement à des valeurs entières de manière à éviter les coordonnées négatives. Par exemple : 1 000, 5 000 (pour bien distinguer les abscisses des ordonnées), 100 si les visées ne dépassent pas 1 000 m de portée. On peut aussi entrer le numéro de la station.

2 - Hauteur de station (notée *hi*) et hauteur de voyant (notée *hv*).

3 - Calcul et entrée des ppm (parties par million ou mm / km) qui permettent de :

- corriger les mesures de distances en fonction des conditions de température et de pression : celles-ci sont à mesurer sur le lieu de station et sur le lieu de visée si celui-ci est très éloigné de la station (voir chap. 4, § 6.2) ;
- réduire une distance à l'ellipsoïde : par exemple, l'altitude moyenne des visées étant $H = 130,50$ m, la réduction à l'ellipsoïde $R_{moyen} = 6\,372$ km fait intervenir un coefficient $-\frac{H}{R} = -20$ ppm (voir chap. 4, § 7.4) ;
- effectuer les corrections dues à la projection : par exemple, on relève sur une carte le coefficient de correction ($C_L = +9$ cm/km, soit directement $+90$ ppm). Le cumul avec la réduction à l'ellipsoïde donne $+70$ ppm.

4 - Choix des données à enregistrer (par exemple : numéro, *E*, *N*, *H*, code) : le format standard d'enregistrement du T1000 de Leica est : le numéro de point, la lecture angulaire horizontale *H_z*, la lecture angulaire verticale *V*, la distance inclinée *Di*, automatiquement corrigée de l'erreur de niveau apparent (voir chap. 4, § 6.2.5 et chap. 6, § 5.3), les ppm. C'est le format d'enregistrement habituel puisqu'il permet de disposer des données brutes de terrain (n° , *H_z*, *V* et *Di*) nécessaires aux calculs des compensations éventuelles, ces données étant ensuite transformées par les logiciels de calcul en coordonnées (*x*, *y*, *z*) pour le dessin sur ordinateur.

5 - Entrer l'éventuelle **constante d'addition** due au miroir utilisé (voir chap. 4, § 6.3.2).

6 - L'orientation de la station peut être faite de trois manières :

- par un repère local pour un lever non rattaché : l'opérateur vise un point de référence et cale l'angle horizontal de l'appareil à 0 sur ce point (ou bien on effectue la lecture angulaire sur ce point) ;
- par un repère général pour un lever rattaché : l'opérateur vise un point connu et affiche sur ce point le gisement de la direction station-point de manière à travailler directement dans le repère général ;

- au moyen d'une station libre, très pratique puisqu'il est possible de stationner un point quelconque choisi à l'endroit le plus propice pour observer un maximum de points par station (voir § 2.4.4 de ce chapitre et tome 2, chap. 1, § 9.4).

2.4.1.2 *Déroulement du lever*

Lors du déroulement du lever, le porte-miroir y dirige les opérations.

Le porte-miroir choisit les points à lever et l'ordre dans lequel il les stationne : cela est fonction de la codification des points et doit être pensé sur le terrain en vue d'un gain de temps lors de la phase de report. Pour des raisons de visibilité, il peut être ponctuellement nécessaire de modifier la hauteur de voyant. Une pratique courante est d'utiliser toujours la même hauteur de voyant qui devient la hauteur par défaut (par exemple 1,60 m) et d'utiliser, en cas de problèmes de visibilité, des hauteurs standard (1,2 m et 2 m) : cela peut permettre de lever certains doutes ou de remédier à des oublis...

Il peut faire un croquis au fur et à mesure du lever. Dans un souci de gain de temps, il est préférable qu'une troisième personne effectue ce croquis. À défaut, le porte-miroir peut préparer un croquis du terrain pendant les temps de déplacement de station et de mise en station ; l'opérateur reportera alors sur ce croquis les numéros des points levés.

L'opérateur installé derrière la station totale vise à chaque point le centre du miroir et déclenche la mesure. Sur une station Leica, la touche ALL permet de déclencher à la fois la mesure de distance et l'enregistrement des données. Il entre éventuellement un code correspondant au type de point visé, code qui permet lors de la phase de report d'automatiser certaines tâches du dessin. Il peut également faire un croquis du lever et y reporter les numéros des points levés.

2.4.1.3 *Exemple de codification du lever*



Le logiciel ADTOPO est un applicatif d'AutoCAD qui permet de récupérer directement les données du carnet de terrain GRE ou du module REC de Leica (au moyen de TOPOJIS, par exemple) pour les afficher à l'écran dans AutoCAD (version complète supportant la programmation en Lisp). La codification suivante peut être complétée par l'utilisateur (voir aussi § 3.3.3).

Extrait d'un fichier de codification (fichier texte modifiable par l'utilisateur) :

1,0,1,stations,station,1000	Le code 1 est associé aux stations
10,0,5,route,10	Le code 10 marque le début d'une route
20,0,5,crtal,20	Le code 20 marque le début d'une crête de talus
21,0,5,Ptal,21	Le code 21 marque le début d'un pied de talus
51,0,1,mobilier,pototel,1000	Le code 51 place le bloc POTOTEL dans le dessin
52,0,1,mobilier,egout,1000 etc.	Le code 52 place le bloc ÉGOUT dans le dessin

Sur le terrain, l'opérateur entre le code 1 lorsqu'il vise une station : ainsi elle sera dessinée dans AutoCAD par le bloc STATION à l'échelle 1 000 et placée dans la couche nommée STATION ; le code 53 lorsqu'il vise un pylône EDF, le code 20 pour le premier et pour le dernier point d'une crête de talus, etc. Ceci limite les éléments à dessiner sur le croquis puisque chacun des éléments codifiés est reconnu par le logiciel qui les dessinera automatiquement (voir l'exemple sur l'extrait de fichier du paragraphe 2.4.1.4 suivant).

2.4.1.4 Exemple de lever codé

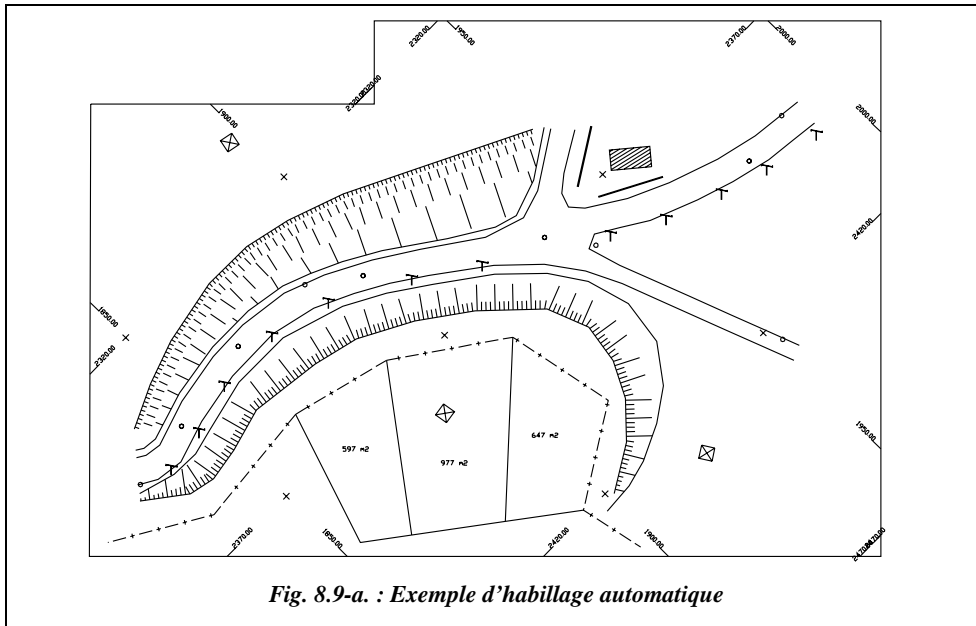
Le plan de la figure 8.9-a est le résultat d'un levé codé habillé automatiquement par le logiciel ADTOPO grâce à la codification entrée sur le terrain par l'opérateur : les codes sont décrits au paragraphe précédent ; on reconnaît en particulier les codes 20 et 53. Le fichier de points est traité par ADTOPO qui assure la mise en place des points, l'habillage automatique et semi-automatique pour les talus, par exemple.

Extrait du fichier de points (n°, x, y, z, code) :

101 5150.000 3101.573 552.490 10	108 5097.676 3081.284 554.310
102 5140.588 3094.043 552.750	109 5098.112 3085.712 554.570
103 5132.246 3088.866 553.010	110 5099.421 3090.984 554.830 20
104 5121.517 3083.680 553.270	111 5100.547 3095.417 555.090 52
105 5112.288 3080.143 553.530 10	180 5108.650 3086.411 555.230 54
106 5107.729 3010.876 554.140 51	181 5117.612 3087.237 555.230 0
107 5002.815 3029.117 557.400 20	182 5108.237 3090.892 555.230 0

Le fichier de points s'interprète ainsi :

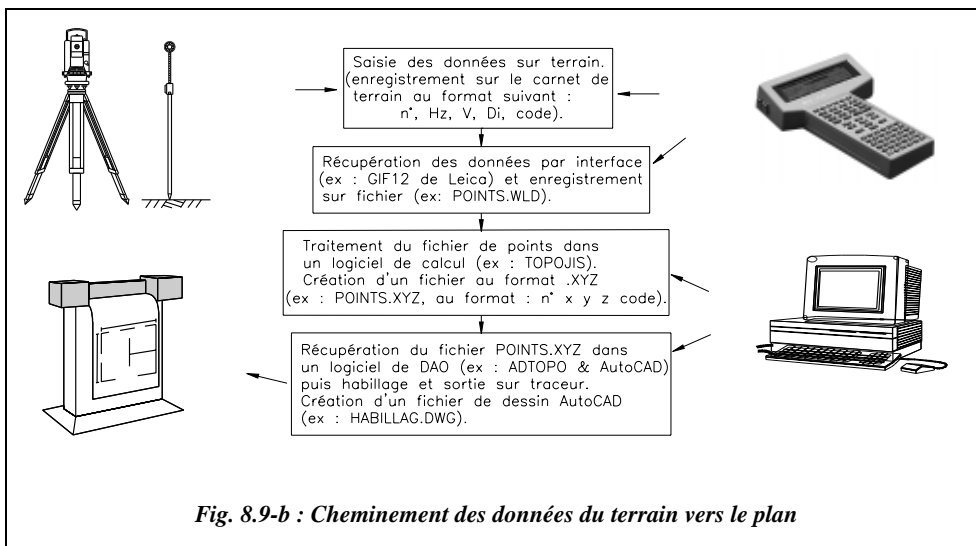
- entre les points 101 et 105, le logiciel trace une polyligne joignant les points listés dans l'ordre du fichier. Cette polyligne est dessinée dans le calque destiné aux routes, ce calque étant créé par le logiciel lors de la phase d'habillage automatique ;
- entre les points 107 et 110, le logiciel trace une polyligne qu'il place dans le calque réservé aux crêtes de talus ;
- sur le point 106, le logiciel insère un bloc représentant un poteau téléphonique ;
- sur le point 111, le logiciel insère un bloc représentant une plaque d'égout.



L'habillage du plan de la figure 8.9-a. est effectué automatiquement à partir de la codification (voir § 2.4.1.3). La procédure de dessin automatique est détaillée au paragraphe 3.3.3

2.4.1.5 Cheminement des données

L'organigramme du cheminement des données du terrain vers le plan est le suivant :



2.4.2

Levers par GPS

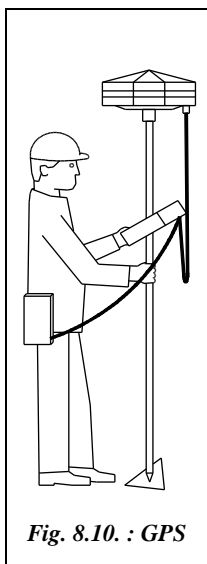


Fig. 8.10. : GPS

Le système GPS (voir chap. 7, § 1) permet aussi le lever de points de détails en mode cinématique (ou Stop and Go).

La précision centimétrique est souvent suffisante pour des levés de détail. Un récepteur fixe étant placé sur un point connu, le récepteur mobile (fig. 8.10.) est initialisé près du récepteur fixe pendant cinq minutes, puis se déplace de point en point. L'opérateur stationne le récepteur mobile pendant dix secondes (ou deux époques de mesure) puis passe au point suivant.

Son avantage par rapport aux stations est de ne pas nécessiter de pointé du miroir : nul besoin d'intervisibilité entre point de base et mobile, aucune limite de distance, possibilité de travailler seul, de s'affranchir du relief et possibilité de trajectographie.

L'inconvénient est qu'il ne doit pas y avoir de rupture du faisceau issu des satellites. Par suite, le passage sous un pont ou sous un arbre oblige à reprendre la phase d'initialisation près du récepteur fixe.

Pour remédier à cet inconvénient, une nouvelle méthode (OTF ou *On The Fly*) permet l'initialisation du récepteur mobile en mouvement après une éventuelle rupture du faisceau. Les points levés sont d'abord calculés en coordonnées géocentriques (système WGS84) puis transformés en coordonnées E, N, h sur l'ellipsoïde de Clarke. Les calculs sont actuellement très souvent effectués en post-traitement par le logiciel fourni avec le matériel.

2.4.3

Lever de façades par biangulation

Ce type de lever peut aussi être effectué par photogrammétrie terrestre (voir chap. 7 § 5.4)

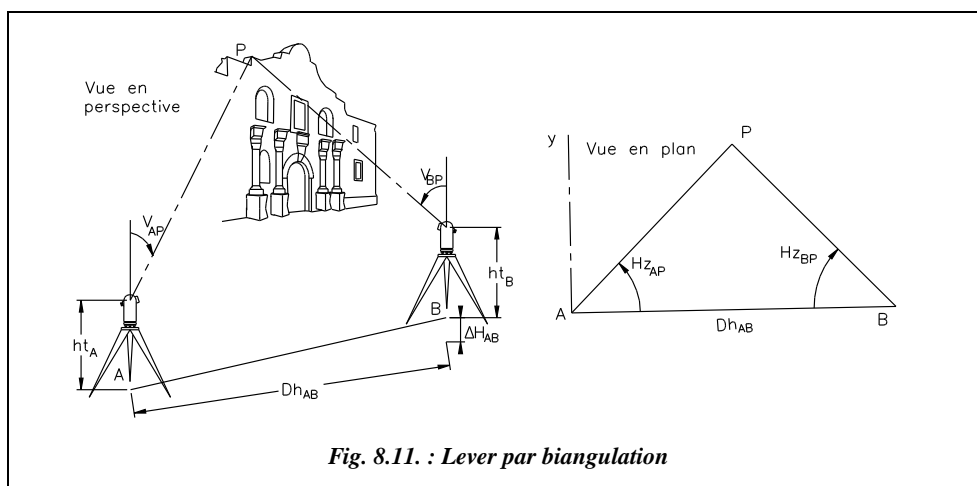
Une autre technique est d'utiliser un théodolite muni d'un distancemètre à rayon laser ; ce dernier permet d'obtenir la distance à un point visé sans réflecteur, puisque la puissance du laser permet de récupérer un rayon réfléchi et d'en déduire la distance à l'objet visé.

Un théodolite mécanique classique calcule la position de chaque point caractéristique de la façade à lever par intersection à partir de deux stations.

Une base A-B (fig. 8.11.) est implantée face à l'élément à lever. La base doit être la plus longue possible et telle que chaque triangle d'observation soit le plus équilatéral possible. Chaque point caractéristique est visé depuis les deux stations ; sa position dans l'espace est calculée comme suit :

- **en planimétrie** par intersection (formules de Delambre, voir tome 2, chap. 4, § 1) ou en utilisant la formule des cotangentes (voir l'exemple ci-après) ;
- **en altimétrie** par nivellement indirect : on calcule deux fois l'altitude de chaque point, ce qui permet un contrôle de précision.

L'ensemble de la manipulation est une succession de calculs de point inaccessible (voir chap. 3, § 7.4).



Exemple

L'opérateur se fixe un repère local sur la base A-B (fig. 8.11.) ; la distance AB et la dénivellée AB sont mesurées précisément $Dh_{AB} = 139,869$ m et $\Delta H_{A \rightarrow B} = +0,432$ m.

Si un repère de nivellement est proche, il peut aussi niveler les deux points A et B pour obtenir leur altitude. A (100 m ; 100 m ; 100 m), B (139,869 m ; 100 m ; 100,432 m) donc $G_{AB} = 100$ gon.

- Si l'opérateur utilise les **formules de Delambre pour l'intersection** : en station en A, l'opérateur affiche 100 gon sur le point B et en station en B, il affiche 300 gon sur A. De cette manière, on travaille dans le repère local A,x,y et l'on obtient directement à chaque station les gisements des visées dans ce repère local ($L_{A \rightarrow P} = G_{AP}$ et $L_{B \rightarrow P} = G_{BP}$). Si l'on travaille en repère général, il suffit d'afficher le gisement réel de la visée sur le point visé, ce gisement étant calculé à partir des coordonnées de A et B (voir le chapitre 4 du tome 2, § 1 pour les formules donnant X_p et Y_p). L'altitude H_p est donnée par les formules ci-après.
- S'il utilise la formule suivante, dite **formule des cotangentes**, il suffit à chaque station de positionner le zéro du limbe sur l'autre point de la base ou, mieux, de faire les lectures sur P et sur A ou B puis d'en faire la différence. On obtient alors

les angles $H_{z_{AP}}$ et $H_{z_{BP}}$. Les coordonnées planimétriques du point P sont alors données par les formules suivantes :

$$X_P = \frac{X_A \cdot \cotan H_{z_{BP}} + X_B \cdot \cotan H_{z_{AP}} - Y_B + Y_A}{\cotan H_{z_{BP}} + \cotan H_{z_{AP}}}$$

$$Y_P = \frac{Y_A \cdot \cotan H_{z_{BP}} + Y_B \cdot \cotan H_{z_{AP}} - X_A + X_B}{\cotan H_{z_{BP}} + \cotan H_{z_{AP}}}$$

Attention ! les formules donnant X_P et Y_P ne sont valables que dans la configuration de la figure 8.11., c'est-à-dire lorsque P se trouve à gauche du segment AB en regardant de A vers B. Si P se trouve à droite de AB, les termes $(-Y_B + Y_A)$ et $(-X_A + X_B)$ des numérateurs deviennent respectivement $(+Y_B - Y_A)$ et $(+X_A - X_B)$.

Pour l'altitude du point P, dans tous les cas, on mesure à chaque station la hauteur des tourillons ht_A et ht_B , et on lit les angles zénithaux V_{AP} et V_{BP} . D'où l'altitude de P qui est calculée par la moyenne de deux visées de nivellement indirect (voir chap. 6) :

$$H_P = \frac{1}{2} \left[H_A + ht_A + H_B + ht_B + \frac{\sqrt{(X_P - X_A)^2 + (Y_P - Y_A)^2}}{\tan V_{AP}} + \frac{\sqrt{(X_P - X_B)^2 + (Y_P - Y_B)^2}}{\tan V_{BP}} \right]$$

Dans la pratique, il est préférable de calculer deux fois l'altitude de P pour évaluer l'écart entre les deux déterminations qui renseigne sur la précision de la manipulation et faire ensuite la moyenne des deux valeurs.

Application numérique : les coordonnées des points A et B sont données plus haut.

$ht_A = 1,62$ m ; $H_{z_{AP}} = 50,4530$ gon ; $V_{AP} = 84,7388$ gon ; $X_P = 120,100$ m ;
 $H_P = 108,613$ m.

$ht_B = 1,69$ m ; $H_{z_{BP}} = 50,9808$ gon ; $V_{BP} = 85,7124$ gon ; $Y_P = 120,388$ m ;
 $H_P = 108,605$ m.

En utilisant une station totale permettant de mémoriser sur support informatique les lectures H_{AP} , H_{BP} , V_{AP} et V_{BP} , il est possible de mettre au point un traitement informatique (sur tableur ou programme) qui calcule ces coordonnées automatiquement puisque c'est un calcul long et répétitif.



Excel 7



QBASIC

Le tableau PTINAC.XLS du cédérom permet d'effectuer ces calculs.

Le programme PTINAC.BAS du cédérom permet de calculer un nombre pratiquement illimité de points inaccessibles. Une résolution graphique sur AutoCAD est présentée au chapitre 3, paragraphe 7.4

2.4.4 Lever en station libre

La station libre est une mise en station de l'appareil effectuant le lever sur un point quelconque qui n'est pas obligatoirement matérialisé au sol. Cette méthode permet de s'affranchir des obstacles existants en choisissant une station d'où l'ensemble (ou la plus grande partie possible) de la zone à lever est visible.

Il faut toutefois déterminer les coordonnées du point de station dans le repère dans lequel on désire obtenir le lever. Les solutions suivantes sont envisageables :

- si **quatre points anciens** connus sont visibles depuis la station, cette dernière est calculée par **relèvement** en mesurant les angles sur les points d'appui (voir tome 2, chap. 1, § 6). La détermination est précise et faite avec contrôle ;
- si **trois points anciens** connus sont visibles depuis la station, elle est calculée par **multilatération** ou par **insertion** en mesurant les distances et/ou les angles sur les points d'appui (voir tome 2, chap. 1, § 9). La détermination est également précise et faite avec contrôle ;
- si seulement **deux points d'appuis** sont connus, il faut mesurer les distances de la station à chaque point ainsi que l'angle sous lequel ils sont vus depuis la station : cela revient à un calcul **d'insertion** avec un nombre minimal de données (voir tome 2, chap. 1, § 9.4) ;
- si un système **GPS** est utilisé (voir chap. 7), il suffit **d'un seul point ancien** connu : on stationne une antenne sur le point d'appui et on dispose une autre antenne sur l'appareil qui effectue le lever. La mesure précise des coordonnées de la station (qui peut demander jusqu'à une heure) s'effectue ainsi en temps masqué pendant que le lever de détails est effectué.

2.4.5 Lever altimétrique

On distingue deux finalités au lever altimétrique décrites ci-après :

2.4.5.1 Le lever de points isolés

Ces points sont seulement destinés à être cotés en altitude sur le plan de manière à donner un minimum d'informations d'altimétrie. Ils seront levés par des procédés classiques, soit par nivellement direct au niveau, soit par nivellement indirect au théodolite.

Les points inaccessibles font partie de ces points isolés (voir l'exemple de détermination d'un point inaccessible au chapitre 3, paragraphe 7.4).

Une autre détermination de points inaccessibles est possible : les points A, B et P (fig.8.12.) sont alignés (B est aligné au théodolite sur AP lors de la première station en A). Le déroulement des calculs est le suivant :

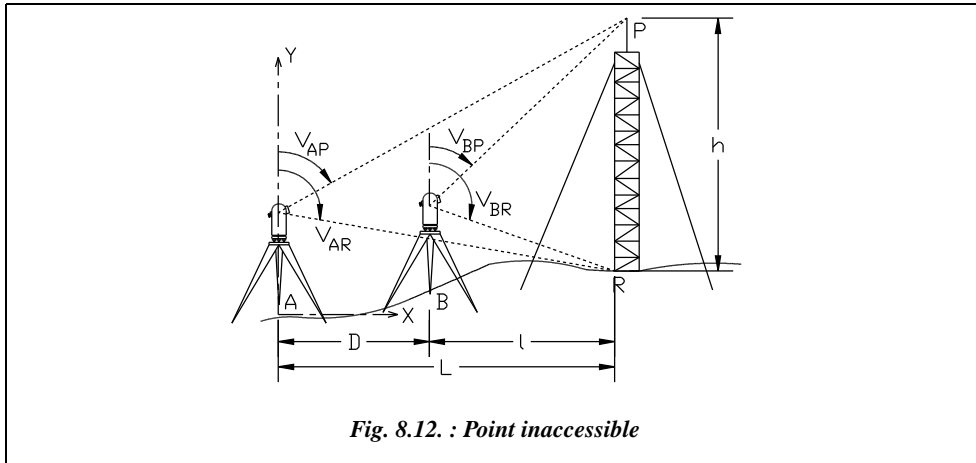
1 - On cherche à déterminer la hauteur h de l'antenne.

Résolution : $h = L [\tan(100 - V_{AP}) + \tan(V_{AR} - 100)] = l \cdot [\tan(100 - V_{BP}) + \tan(V_{BR} - 100)]$

On remarque que : $\tan(100 - \alpha) = \cotan \alpha$ et que : $\tan(\alpha - 100) = -\cotan \alpha$

Comme $D = L - l$, on en déduit que :

$$h = \frac{D[\cotan V_{AP} - \cotan V_{AR}] [\cotan V_{BP} - \cotan V_{BR}]}{\cotan V_{BP} - \cotan V_{BR} - \cotan V_{AP} + \cotan V_{AR}}$$



Application

$D = 59,415$ m, $V_{AP} = 74,3270$ gon, $V_{AR} = 99,8538$ gon, $V_{BP} = 58,5119$ gon, $V_{BR} = 104,3114$ gon. On trouve : **$h = 51,544$ m** sans contrôle.

2 - On cherche à déterminer l'altitude de P.

L'altitude de A est connue et celle de B est déduite de celle de A ; on calcule alors une simple intersection entre les visées issues de A vers P et de B vers P dans le repère (A, x, y) de la figure 8.12. (formules de Delambre, voir tome 2, chap. 4, § 1.2).

Application

$H_A = 141,034$ m, $H_B = 145,522$ m. On trouve $H_P = 192,857$ m sans contrôle.

Ces méthodes sont intéressantes en cas de manque de place afin de définir le triangle de la méthode classique.

2.4.5.2 Lever en vue de la définition d'un modèle numérique de terrain

La finalité est d'obtenir un semis de points connus en X, Y et Z de manière, par exemple, à pouvoir tracer des courbes de niveau (voir chap. 10, § 1). Le lever est généralement effectué sur une station avec enregistrement automatique pour sa facilité d'emploi et sa productivité.

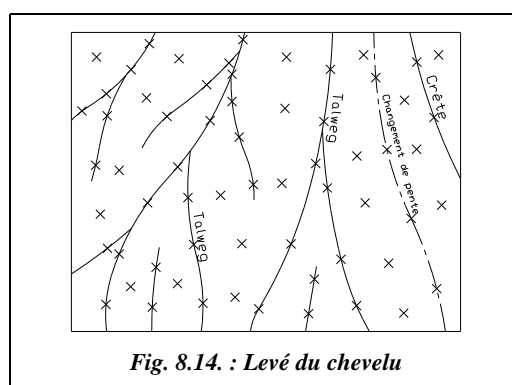
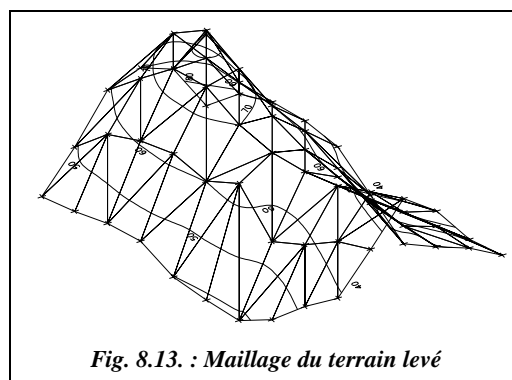
Il faut alors organiser le lever en fonction de ce traitement ultérieur (généralement informatisé), sachant que les logiciels de topographie interpolent un maillage du terrain à partir du semis de points levés. Par exemple, figure 8.13. un maillage triangulaire effectué par ADTOPO sur un semis de points entré en x,y,z dans le logiciel.

Les courbes de niveau ont été interpolées automatiquement par le logiciel.

Si l'on souhaite obtenir un modèle numérique d'un terrain sur une zone accidentée, on lève les lignes caractéristiques de ce terrain : lignes de changement de pente, lignes de crête et de talweg. Ce levé régulier est complété par un semis de points de complément (fig. 8.14. : levé du chevelu et voir le chapitre 10, paragraphe 1 sur les courbes de niveau).

Sur un terrain régulier, on se contente d'un quadrillage sommaire au pas, ou établi plus précisément avec des jalons

Si l'on désire un modèle numérique destiné au tracé d'un profil en long et de profils en travers, on lève des points régulièrement espacés autour de l'axe du futur projet ainsi que des points sur les perpendiculaires à l'axe .



3 REPORT

Le but de tout lever topographique est l'établissement d'un **plan graphique** même si, actuellement, l'étape intermédiaire du **plan numérique** se généralise.

« Un **plan graphique** est la représentation obtenue en reportant les divers éléments descriptifs du terrain sur un support approprié, quel que soit le mode d'établissement. C'est une représentation du terrain par « dessin du trait », ce qui impose une sélection des détails représentés et une convention dans leur représentation » (définition donnée par *Le cahier des charges techniques générales* : CCTG 50).

« Un **plan numérique** est un fichier comprenant l'enregistrement sur support informatique des coordonnées des points et des éléments descriptifs du terrain quel que soit le

mode d'établissement. Ce fichier doit permettre l'établissement de plans graphiques à différentes échelles, leur précision restant au mieux celle de la saisie des données » (définition donnée par *Le cahier des charges techniques générales* : CCTG 50).

Les plans topographiques ont des finalités très diverses ; c'est souvent leur destination qui imposera la précision du lever et le choix des détails.

3.1 Cartes et plans

Il est possible de classer les cartes et les plans suivant leur échelle et leur destination.

Traditionnellement, le terme de plan, en topométrie, est réservé aux échelles qui permettent de conserver les formes et dimensions réelles des objets en évitant au maximum les signes conventionnels. Les échelles varient du 1/100 (ou du 1/50 pour certains plans d'intérieur) au 1/5 000.

On parle ensuite de plans directeurs, du 1/10 000 au 1/25 000 et de cartes à partir aussi du 1/10 000. Dans le cadre de cet ouvrage, seuls les « plans » seront abordés. Les plans directeurs proviennent souvent de la généralisation de plans à plus grande échelle.

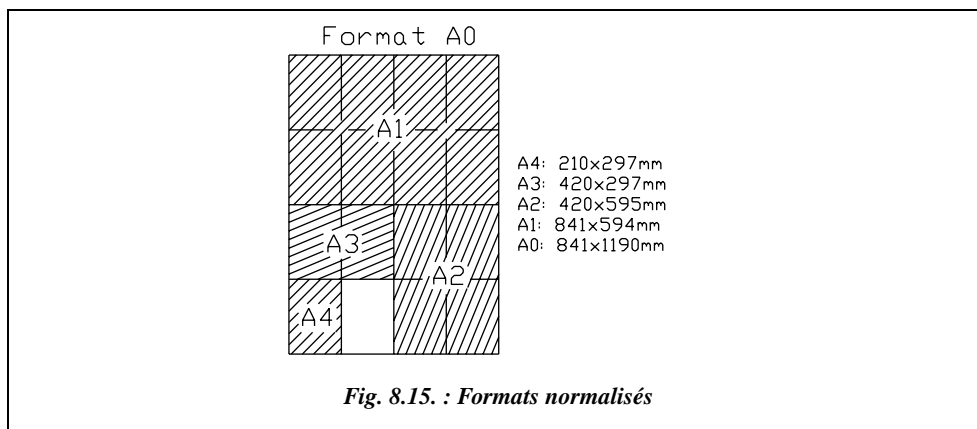
Suivant leur destination, on peut trouver trois types principaux de plans :

- les plans uniquement descriptifs ou d'état des lieux. Ils reproduisent fidèlement une étendue plus ou moins importante de terrain ou d'ouvrages existants. On peut y classer les divers plans parcellaires (le cadastre, par exemple), les plans d'intérieur, de propriété, de masse, etc. ;
- les plans d'études ou de projet, basés sur les précédents et les complétant par une étude d'aménagement des lieux. Ils sont très nombreux et concernent un large éventail d'activités : construction, aménagements urbains et ruraux, voirie, réseaux, transports, etc. ;
- les plans de récolement. Ils constatent le nouvel état des lieux après la fin des aménagements divers : alignements, implantations de voies ou de bâtiments, profils en long et travers, réseaux, etc. Ces derniers sont très utiles voire indispensables dans une optique de qualité.

Tous ces plans répondent à des besoins bien précis et il ne faut jamais oublier, lors de leur établissement, les prescriptions des cahiers des charges. Ils comportent, en général, deux types d'information : planimétriques et altimétriques. Les méthodes traditionnelles de réalisation des plans ne seront que sommairement abordées.

3.1.1 Formats normalisés

Les formats normalisés sont représentés sur la figure 8.15. : le format de base est le A0. Il est défini de manière à délimiter une surface de un mètre carré. Ses dimensions exactes sont de 841 mm par 1190 mm.



On obtient le format A1 en divisant la plus grande dimension par deux soit, aux arrondis près, 841 mm par 594 mm, et ainsi de suite jusqu'au format A4.

3.1.2 Présentation

3.1.2.1 Indications devant figurer sur les plans à grande échelle

Selon l'arrêté de 1980, doivent figurer sur ces plans :

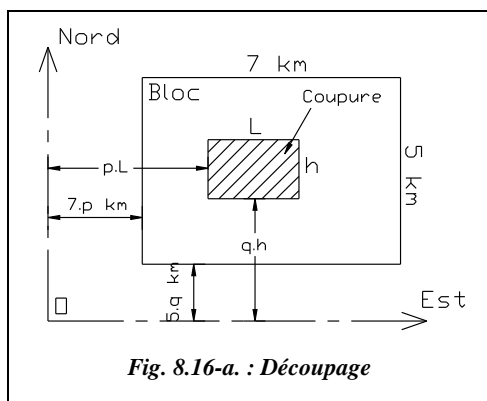
- l'échelle ;
- le type de plan (topographique, parcellaire, etc.) ;
- la nature du plan (graphique, numérique, numérisé, orthophotoplan, etc.) ;
- le mode (photogrammétrie ou lever terrestre) et la date d'établissement ;
- la date éventuelle de mise à jour (ou de la prise de vue) ;
- les dates de rattachement à la NTF et au NGF ;
- la désignation du maître d'ouvrage (commanditaire) et du maître d'œuvre (exécutant) ;
- le label attribué par le service du cadastre.

L'Ordre des Géomètres préconise de faire figurer également les indications suivantes :

- les noms de la ville ou de la commune, du département, du quartier ou lieu-dit ;
- l'adresse de la parcelle, le nom du propriétaire et celui des propriétaires voisins ;
- les cotes périmétriques, la surface et l'orientation ;
- la désignation cadastrale, les servitudes, les indications particulières ;
- le cachet du géomètre avec la mention suivante : reproduction interdite.

3.1.2.2

Plans à grande échelle (du 1/200 au 1/5 000) établis pour les services publics (arrêté de 1976)



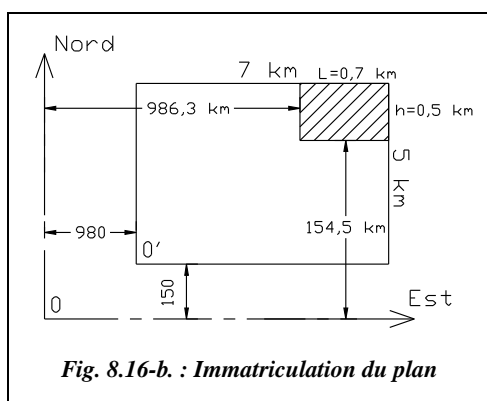
1 - Découpage

Le plan est inscrit dans un bloc ayant une surface de $7 \times 5 \text{ km}^2$.

L'origine du bloc est distante des axes Lambert de multiples entiers p et q des dimensions 5 et 7 km ($5q$ km et $7p$ km).

La coupure est la subdivision du bloc qui s'inscrit dans un format A1 avec, sur le papier, $L = 0,70 \text{ m}$ et $h = 0,50 \text{ m}$. La surface couverte dépend de l'échelle : sur le terrain $L = 0,7 / e$ et $h = 0,5 / e$.

Un bloc au 1/5 000 contient quatre coupures ; un bloc au 1/200 en contient 2 500.



2 - Immatriculation et désignation

Le matricule d'un bloc ou d'une coupure comporte :

- le numéro de zone Lambert ;
- les nombres entiers p et q ;
- le code de l'échelle (0,2 pour le 1/200 ; 0,5 pour le 1/500 ; 1 pour le 1/1000 ; 2 pour le 1/2 000 ; 5 pour le 1/5000).

Par exemple, sur la figure 8.16-b., le point origine O' du bloc est de coordonnées

(980 km ; 150 km). Donc, **pour le bloc**, $p = 140$ et $q = 30$.

La désignation finale du bloc fait apparaître un nom local suivi du numéro de zone Lambert et des nombres p et q . Dans notre exemple : **Grasse 3-140-30**

L'échelle est le 1/1 000, donc : $L = 0,7 / (1 / 1\,000) = 700 \text{ m} = 0,7 \text{ km}$;

$$h = 0,5 / (1 / 1\,000) = 500 \text{ m} = 0,5 \text{ km}.$$

Il y a donc 10×10 coupures dans ce bloc au 1/1 000. Pour la coupure située en haut à droite, on a :

$$p = 980 / 0,7 + 9 = 986,3 / 0,7 = 1\,409 ;$$

$$q = 150 / 0,5 + 9 = 154,5 / 0,5 = 309.$$

La désignation de la coupure dépend ensuite de l'échelle utilisée, puisque le nombre de coupures varie en fonction de l'échelle. Les découpages suivants sont effectués :

Échelle 1/5 000

A	B
C	D

Échelle 1/2 000

1	2	3	4	5
6	7	8	9	10
11	12	13	14	15
16	17	18	19	20
21	22	23	24	25

Pour l'échelle 1/1 000, on divise une coupure du 1/2 000 en quatre coupures A, B, C et D, à la manière du découpage au 1/5 000.

Par exemple, la coupure 16 au 1/2 000 est divisée en quatre coupures 16 A, 16 B, 16 C et 16 D.

Pour l'échelle 1/500, on divise à nouveau une coupure du 1/1 000 en quatre coupures A, B, C et D. Par exemple, la coupure 16 A est divisée en 16 A A, 16 A B, 16 A C et 16 A D.

Pour l'échelle 1/200, on divise une coupure du 1/1 000 en 25 coupures numérotées de 1 à 25 (comme pour le 1/2 000), ce qui donne pour la coupure 16 A : 16 A 1, 16 A 2, 16 A 3,..., 16 A 25.

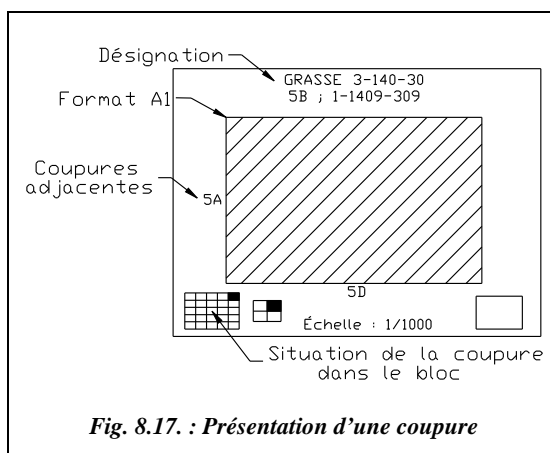


Fig. 8.17. : Présentation d'une coupure

Dans notre exemple, la coupure en haut et à droite est désignée par 5 B.

La désignation complète (fig. 8.17.) est **5 B ; 1 - 1409 - 309** (1 est ici le code de l'échelle).

3.2 Report traditionnel

Le report traditionnel est l'ensemble des opérations entièrement manuelles qui interviennent dans l'établissement d'un plan, par opposition aux méthodes plus modernes qui utilisent systématiquement l'assistance informatique, jusqu'à la réalisation entièrement automatique des plans.

La précision recherchée (dixième de millimètre) impose des contraintes spécifiques pour l'établissement des plans topométriques réguliers. En effet, contrairement aux plans d'autres domaines d'activité, la mécanique ou le génie civil par exemple, les dimensions, en général, ne sont pas écrites mais mesurées sur le plan. On conçoit alors aisément l'importance de facteurs tels que la stabilité dimensionnelle des supports, la qualité des

instruments de dessin ou l'habileté du dessinateur. Pour ces raisons, en particulier, l'établissement de ces plans se décompose traditionnellement en trois phases bien distinctes :

- le report et le dessin de la minute ;
- l'établissement du calque de la minute ;
- la reproduction de ce calque.

Chacun de ces documents a un rôle bien précis et, en principe, est établi sur un support différent.

3.2.1 Report de la minute

Le report de la minute est le document fondamental et unique sur lequel seront reportés les résultats du lever. La minute doit pouvoir être conservée longtemps, sans trop d'altérations. C'est pourquoi elle est établie sur un support peu sensible aux variations dimensionnelles : papier à dessin très fort ou, éventuellement, papier armé d'une mince feuille métallique. On commence par tracer un **quadrillage**, soit par constructions géométriques, soit à l'aide d'instrument spécifiques : plaque à quadriller, coordinatographe rectangulaire... Ce quadrillage, généralement à mailles carrées de 10 cm de côté, piqué ou dessiné au crayon très dur, possède deux fonctions principales :

- permettre le report précis des points calculés en coordonnées ;
- contrôler les variations dimensionnelles des supports pour les corriger et, au besoin, redessiner la minute.

Les points sont ensuite reportés, suivant leur procédé de lever ou par coordonnées calculées, à l'aide de règles à échelles, équerres, rapporteurs de coordonnées, rapporteurs tachéométriques, coordinatographes rectangulaires ou polaires. Les détails sont dessinés au trait, sans enrichissement particulier. On écrit ensuite les cotes altimétriques suivies, éventuellement, des lignes de niveau.

3.2.2 Établissement du calque

La minute est ensuite calquée sur un support qui en permettra la reproduction économique et aisée en plusieurs exemplaires. C'est généralement du papier calque assez fort (120 g/m²), choisi dans des formats normalisés. Le dessin est complété par les habillages conventionnels (hachures, grisés...), les écritures, textes et indications diverses, coordonnées du quadrillage, titre et cartouche, nord géographique... L'instruction du 28 janvier 1980 précise dans son chapitre 5, les indications minimales devant figurer en clair sur les plans à grande échelle (article V. A.).

Le calque peut comporter aussi le tracé du projet si le plan lui est destiné.

3.2.3 Reproduction

Le calque, difficilement pliable, cassant et souvent de grandes dimensions, se prête mal à de fréquentes manipulations sur le terrain ou les chantiers. C'est pourquoi on le reproduit sur un support plus adapté, en général du papier ordinaire. Les procédés actuellement employés sont la photocopie et l'héliographie (tirages diazo). La qualité du papier et les manipulations de reproduction peuvent altérer de façon sensible la précision initiale de la minute et même du calque. Là encore, le quadrillage décimétrique sera d'une grande utilité.

3.3 Techniques informatisées de report

Depuis quelques années, l'informatique (traitement automatique de l'information) bouleverse les habitudes et méthodes des topographes au niveau du lever et du calcul, mais aussi lors de l'établissement des plans graphiques. Toutefois, tout résultat, numérique ou graphique, est contrôlé et une bonne connaissance des possibilités et méthodes de traitement des logiciels utilisés est nécessaire.

L'élément de base de tout plan graphique informatisé est le plan numérique, fichier informatique contenant l'enregistrement des coordonnées des points et des éléments descriptifs du terrain. Les données de base peuvent provenir de levés sur le terrain ou de levés photogrammétriques (voir chap. 7, § 5). Il convient de le distinguer du plan numérisé obtenu par numérisation (ou digitalisation) d'un plan graphique existant, et pour lequel l'erreur de saisie s'ajoutera à l'erreur graphique initiale.

Le plan numérique est composé d'un ou de plusieurs fichiers et peut contenir différentes informations suivant le traitement auquel il est destiné. Dans tous les cas, il contient au moins un fichier de points donnant le numéro ou matricule des points et leurs coordonnées.

3.3.1 Fichier de points simple

C'est un fichier ASCII du type numéro, X , Y et Z . L'altitude Z peut être éventuellement absente. La partie altimétrie est alors ignorée. Ce type de fichier peut provenir de sources différentes, à savoir :

- d'une saisie au clavier après calcul manuel, par exemple ;
- directement du tachéomètre électronique si celui-ci est programmé pour travailler en coordonnées ;
- de tableurs (par exemple Excel) après exportation ;
- de programmes utilisateurs (par exemple le programme Basic de calcul de polygone par cheminement encadré) ;
- de logiciels professionnels de calcul (tel TOPOJIS), etc.

L'automatisme du report s'arrête à la mise en place des points et à la transcription des altitudes, souvent avec un ajustement automatique de la taille des textes en fonction de l'échelle de sortie. Le plan est ensuite complété manuellement à l'aide du croquis de terrain. Bien que la partie automatique du report soit très réduite, ce premier pas constitue une aide non négligeable : le report est très rapide puisque quelques minutes suffisent pour une centaine de points, et les traceurs actuels, même de bas de gamme, atteignent aisément la précision du dixième de millimètre.



Exemple de fichier de points simple et du report correspondant (fig. 8.18.)

Le report des points est effectué à l'aide d'AutoCAD et de l'additif ADTOPO.

Le fichier de points est réduit à son minimum :

N°	X	Y	Z
601	5022.282	3157.048	555.124
602	5021.464	3148.079	555.453
603	5019.009	3139.899	555.975
604	5015.190	3133.384	556.128
605	5010.038	3124.416	556.700
606	5006.764	3114.054	556.126
607	5004.310	3102.904	555.400
608	5002.946	3092.026	554.596
609	5013.008	3086.876	554.021
610	5020.100	3102.904	553.105
611	5030.980	3107.267	552.868
612	5033.162	3150.503	552.200
613	5042.406	3141.807	551.253
614	5045.952	3132.021	551.359
615	5044.316	3119.235	551.854
616	5042.134	3106.994	552.675
617	5042.406	3095.026	553.792
618	5044.043	3148.352	554.561
619	5052.741	3126.567	555.085
620	5048.377	3109.176	555.685

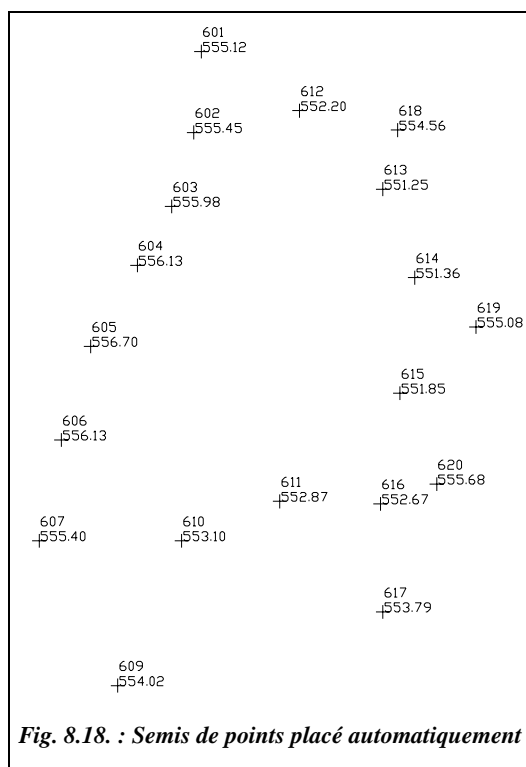


Fig. 8.18. : Semis de points placé automatiquement

Les séparateurs d'informations sont des espaces, ce qui permet une exportation facile depuis EXCEL par exemple.

Des données supplémentaires peuvent s'ajouter à ces informations de base, par exemple un nombre caractérisant la précision relative des points entre eux. Ainsi, TOPOJIS permet d'affecter un poids aux points afin de distinguer les points d'appui de ceux du canevas polygonal ou des détails. Ces poids ne sont généralement pas pris en compte par les logiciels de dessin.

Exemple de fichier de points TOPOJIS avec poids et codes

Les délimiteurs sont des virgules ; les attributs figurent en toutes lettres : X, Y et Z pour les coordonnées, PH et PV pour les poids, C et CS pour les codes :

```
1 : X=10000,Y=5000,Z=0,PH=7,PV=7,CS=1
101 : X=10031.124509,Y=5080.2533289,Z=-0.3010161,PH=7,PV=5
102 : X=10030.946261,Y=5078.6953554,Z=-0.3169759,PH=7,PV=5,C=3
103 : X=10029.531365,Y=5080.2111913,Z=-0.4586886,PH=7,PV=5
104 : X=10026.722515,Y=5064.5626167,Z=-0.302603,PH=7,PV=5
105 : X=10026.009472,Y=5061.8016109,Z=-0.1977051,CS=3,PH=7,PV=5
```

La ligne 1 est l'enregistrement du point n° 1 qui est une station (CS = 1 est le code d'une station). Ses coordonnées X, Y et Z sont indiquées. PH et PV sont les poids de cette mesure. La ligne suivante est l'enregistrement du point 101 par ses trois coordonnées.

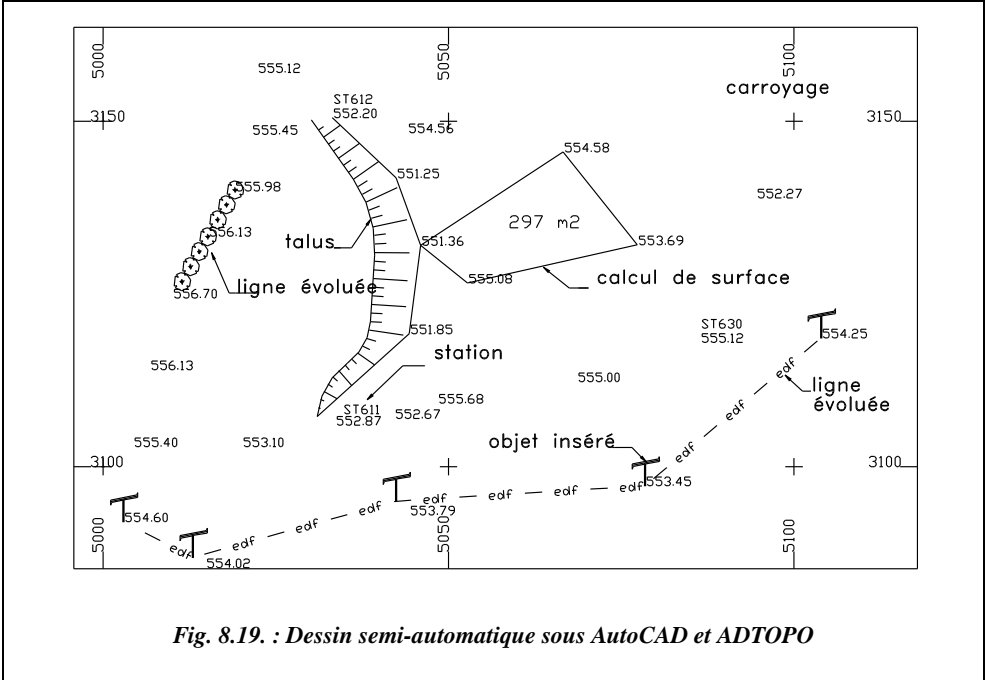
3.3.2 Tracé semi-automatique

Les éditeurs graphiques (logiciels de DAO) mettent à disposition, grâce à des additifs du type ADTOPO, des commandes dédiées spécialement au dessin des détails sur le plan et à sa finition. Ils permettent un gain sensible de productivité et un habillage soigné en se chargeant de certaines tâches répétitives ou fastidieuses comme le tracé des talus, des courbes de niveau, du quadrillage, l'insertion de cartouches préétablis, etc. : c'est le tracé semi-automatique. Citons à titre d'exemples quelques-unes des fonctions de ADTOPO (sous AUTOCAD R14) :

- le tracé de lignes et polylignes en désignant les points par leur numéro, ou en pointant simplement ce numéro ou l'altitude, ou en continu (ex. : de 610 à 620) ;
- le placement de points par les constructions géométriques classiques du topographe (lancement, intersection, etc.) ;
- le tracé des talus étroits ou larges ;
- le calcul de surfaces avec mise à jour automatique ;
- le tracé du quadrillage (carroyage par abus de langage) paramétrable ;
- les lignes évoluées (limites normalisées, séries de symboles ou de dessins, ligne d'alignement d'arbres) ;
- l'insertion de symboles et de dessins avec mise à l'échelle automatique ;
- l'implantation de points de projet avec création automatique de tableau et exportation du tableau vers un fichier ou une imprimante ;
- la modélisation du terrain ;
- le tracé de courbes de niveau, de profils en long et travers ;
- les plates-formes avec calculs de cubatures, etc.

L'exemple suivant montre quelques possibilités décrites ci-dessus.

La figure 8.19. est l'ébauche d'un dessin semi-automatique réalisée avec ADTOPO.



On remarque le calcul automatique de surfaces, l'insertion de symboles (poteaux), les lignes complexes automatiques (rangées d'arbres et ligne EDF), le tracé du talus (paramétrable).

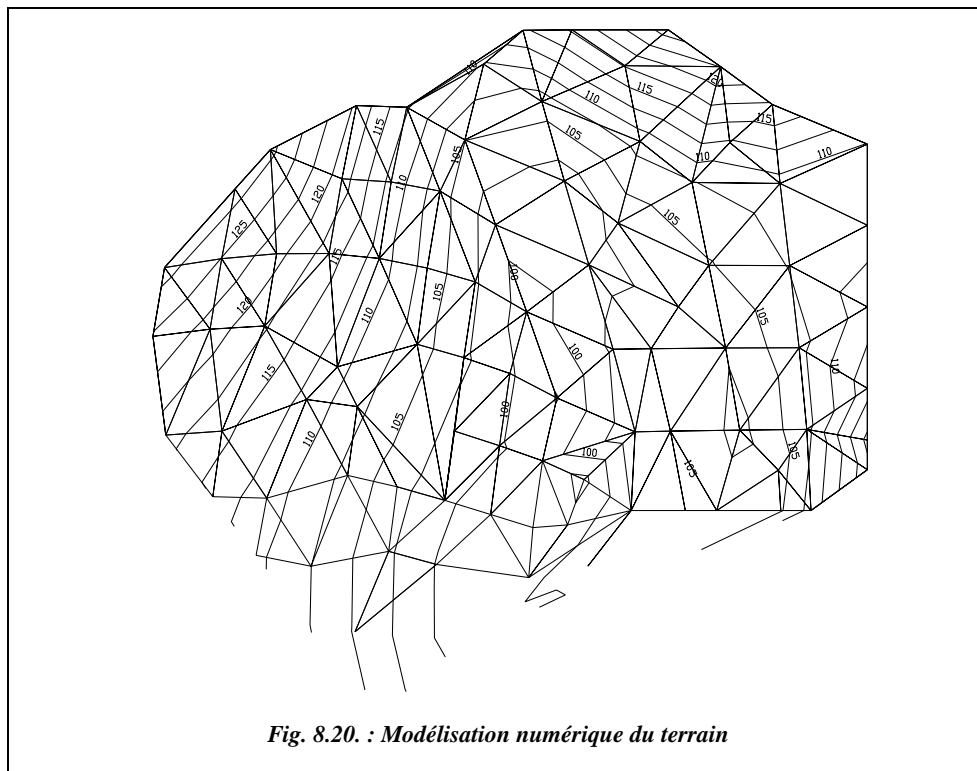
Une bibliothèque de symboles topographiques est fournie sur le cédérom ainsi que le menu à icônes qui permet son utilisation depuis AutoCAD LT : c'est le fichier TOPO.MNU dont l'utilisation est décrite en annexe et dans le fichier LISEZMOI.DOC.

Il est également possible de tracer le tableau des stations et de l'implantation de certains points ; ADTOPO dessine directement les tableaux suivants :

Station	X	Y	Z
ST611	5030.98	3107.27	552.87
ST612	5033.16	3150.50	552.20
ST630	5086.39	3117.99	555.12

Station : 630	Référence : 611	
Numéro	Gisement	Distance
Référence	287.83	56.44
633	335.46	22.23
615	14.05	42.10
614	33.43	42.81
636	72.52	33.94

Les possibilités du dessin semi-automatique sont très nombreuses et rendent de grands services au dessinateur, tout en préservant ses choix et méthodes et de la pertinence du levé. La figure 8.20. est un exemple de modélisation 3D de terrain.



Sur cet extrait de plan, la modélisation du terrain est obtenue par des triangles en trois dimensions (3D) joignant les points cotés. C'est un type de modélisation classique et simple mais relativement limité ; il ne donne pas, en particulier, les lignes caractéristiques du terrain. On peut toutefois les rajouter facilement, à condition que le lever le permette. Le tracé des lignes de niveau est automatique. Il suffit d'indiquer au logiciel l'équidistance des courbes et le nombre de courbes intermédiaires (non cotées). Les lignes sont composées de segments reliés entre eux qu'il est possible de modifier, par exemple par lissage.

La modélisation permet aussi la création de profils en long, en travers, l'implantation de plates-formes ainsi que le calcul des cubatures de terrain correspondantes. Dans l'exemple qui suit, on a tracé sur le terrain modélisé l'axe en plan d'un projet de route. ADTOPO a raccordé deux alignements sécants par deux clothoïdes et un arc de cercle dont l'opérateur fixe les paramètres. ADTOPO a ensuite dessiné le profil en long du terrain naturel et préparé le tableau pour le profil du projet (fig. 8.21. et 8.22.). Un

exemple de profil de projet figure au paragraphe 6.3 du chapitre 9 consacré aux implantations.

À travers ces quelques exemples, on peut évaluer l'aide apportée au dessinateur par le tracé semi-automatique.

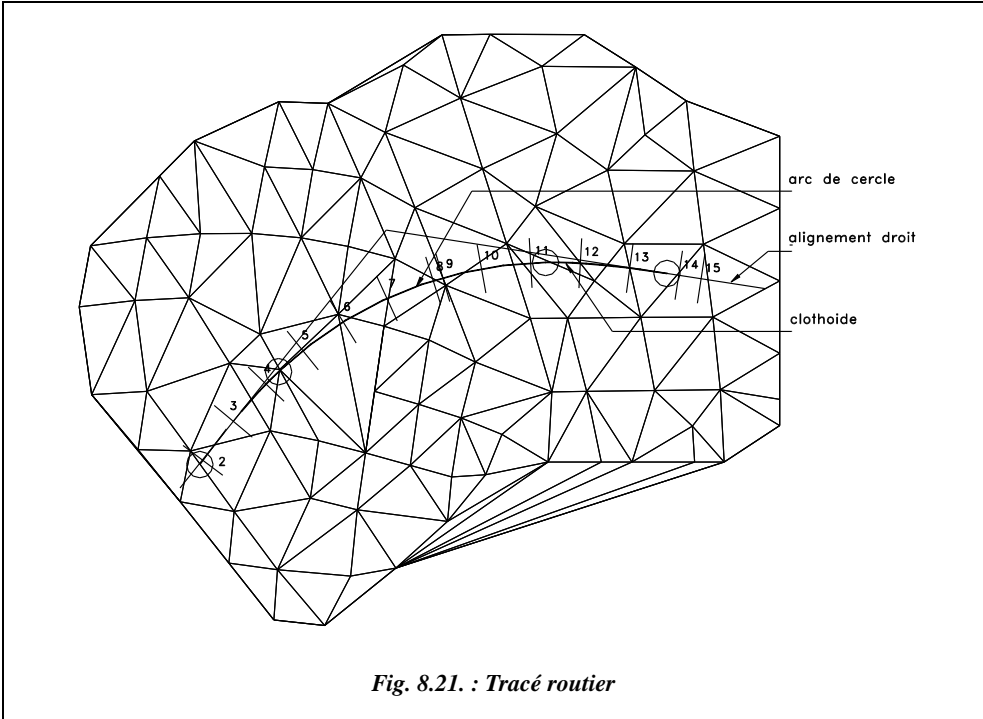


Fig. 8.21. : Tracé routier

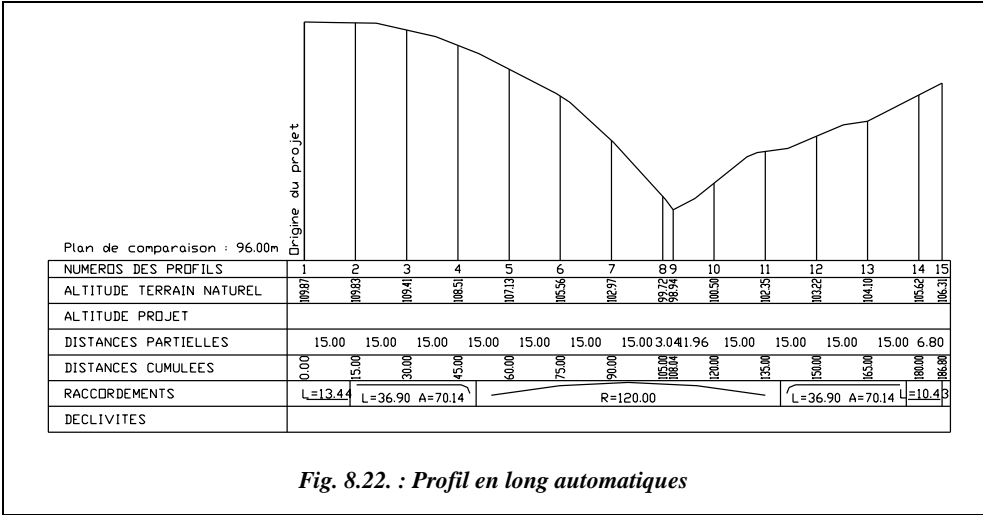


Fig. 8.22. : Profil en long automatiques

Il s'agit de l'axe en plan de projet routier et du profil en long du terrain correspondant. Là aussi, le profil et le tableau sont bruts et facilement modifiables. L'opérateur peut en particulier rajouter des profils en travers aux endroits caractéristiques (ruptures de pente, changement de profils...).

3.3.3 Le fichier de points codé

Bien que procurant un gain de productivité appréciable par rapport au dessin manuel, le tracé de plans semi-automatique peut se révéler long et fastidieux pour la représentation de certains détails, en particulier les objets répétitifs tels que pylônes, arbres, bouches d'égout ou les lignes joignant de nombreux points : routes, trottoirs, crêtes et pieds de talus... Les progrès considérables, tant en capacité, fiabilité, miniaturisation, prix de revient des dispositifs informatiques de stockage des données ont permis de franchir un nouveau pas dans l'automatisation des opérations nécessaires à l'élaboration d'un plan graphique : le codage des données. Le principe en est très simple : lorsqu'un détail caractéristique et fréquent est levé sur le terrain, le dessinateur lui attribue un code, enregistré à la suite des autres informations, qui permet au logiciel de dessin de reconnaître ce détail et de le reporter automatiquement sur le plan, à l'échelle voulue, sans intervention du dessinateur. Il faut que tous les éléments de la chaîne parlent le même langage : station totale, logiciel de transfert, logiciel de calcul et logiciel de dessin.

Le codage d'un fichier de points peut s'effectuer soit lors du lever, soit après les calculs, juste avant le traitement des coordonnées des points par le logiciel de dessin. On peut aussi mélanger les deux techniques en complétant un codage de terrain, directement sur le fichier, au bureau.

3.3.3.1 Le codage direct des points

Une méthode de codage consiste à compléter les données topométriques d'un point par un code, généralement numérique, permettant d'identifier le détail attaché à ce point. Les codes sont définis par un fichier de codification lu par le logiciel de dessin. Reprenons l'exemple du paragraphe 2.4.1.3, extrait d'un fichier de codification utilisé par ADTOPO :

- le premier nombre de chaque ligne est le code. Il sera enregistré sur le terrain ou au bureau ;
- le second nombre (compris ici entre 0 et 7) définit le groupe de codification : il permet au logiciel de savoir à quel type de détail il se rapporte et, éventuellement, le nombre de points suivants définissant le détail.

```
1,1,stations,station,1000
2,0,route,3
4,0,route,5
10,5,route,10
20,5,crtal,20
22,7,essai1,essai.lsp
21,5,Ptal,21
40,0,route1,41
42,0,route2,43
44,0,route3,45
51,1,mobilier,pototel,1000
52,1,mobilier,égout,1000
53,2,edf,pylône
54,3,ouvrages,immeuble
55,4,ouvrages,mur20
77,5,mobilier,78,79
```

Par exemple :

- le groupe 1 définit des éléments ponctuels ; un seul point suffit (station, poteau téléphonique, etc. ;
- le groupe 2 décrit des éléments homothétiques ; deux points suffisent à déterminer la taille et l'orientation du détail (pylône EDF à base carrée...) ;
- le groupe 3 décrit des éléments rectangulaires ; il faut trois points pour les définir complètement (immeuble, plaques EDF, etc.). Seul le premier des trois points sera codé, ADTOPO prenant automatiquement les deux suivants pour compléter son information ;
- les groupes 0 et 5 définissent des éléments linéaires levés de manière discontinue ou continue (routes, pieds de talus, etc.).

On trouve ensuite le nom du calque AutoCAD dans lequel est placé le détail. Ces calques sont créés automatiquement grâce à un fichier de configuration, avec la couleur souhaitée. Pour les détails qui s'y prêtent, ADTOPO peut insérer un dessin de bibliothèque (bloc AutoCAD) ; par exemple, pototel,1000, le nombre 1000 représente le dénominateur de l'échelle de création du bloc et sert à l'ajustement automatique à l'échelle du plan.

Enfin, les lignes des codes d'éléments linéaires sont terminées par un code de fin, le nombre de points à joindre étant très variable (par exemple : 2,0,route,3). La possibilité de lever les éléments linéaires en continu ou discontinu permet de s'adapter aux habitudes des techniciens ou au terrain. Un lever continu ne nécessite qu'un codage du premier point de la ligne, les points suivants étant joints automatiquement, jusqu'à la rencontre d'un autre code. En revanche, il n'est pas possible de lever simultanément d'autres détails comme un lampadaire ou un avaloir. Le lever discontinu le permet mais impose de coder chaque point de l'élément linéaire (bord de route par exemple) et d'indiquer la fin de l'élément par un autre code (par exemple : 4,0,route,5).

Le fichier codé du paragraphe 2.4.1.4 et le tracé entièrement automatique correspondant permettent de comprendre le mécanisme du codage des points. Les éléments compris entre deux codes 10 ou 20 sont levés en continu. Le code 51 ne nécessite qu'une donnée (poteau : élément ponctuel). Le code 54 est suivi de deux points non codés : ces trois points définissent une construction rectangulaire. Le codage des stations (code 1) permet de leur attribuer un préfixe (par exemple : ST) et d'en dresser le tableau (§ 3.3.2).

Le codage des points permet donc un gain de temps important lors du report. En revanche, il demande une attention particulière sur le terrain et peut conduire à modifier les habitudes du lever. Le croquis de terrain reste toutefois aussi indispensable, pour le contrôle, les mesures surabondantes et certains détails uniques qui ne méritent peut-être pas de codage. Le discernement du technicien doit permettre d'optimiser ces nouvelles techniques.

3.3.3.2 Le codage des éléments

Une autre méthode, adoptée par TOPOJIS par exemple, consiste à compléter le fichier de points (éventuellement déjà partiellement codé) par des lignes supplémentaires appelées rallonges et décrivant des éléments composés de plusieurs points ou des motifs (des talus par exemple), des symboles, des hachures, des textes, etc.

« LOT.1&L0 : *105*106^201*101*102+202*103*104/105 où le raccord se situe entre les points 106 et 101, avec 210 pour sommet, l'arc de cercle entre 102 et 103 avec 202 comme centre » est un exemple d'une rallonge de type linéaire, décrivant le contour complexe d'une parcelle avec raccord et arc de cercle.

3.3.4 Les plans numériques

Dans les plans numériques, la description physique des détails est contenue dans un ou plusieurs fichiers autres que le fichier de points. L'intégrité de ce dernier est ainsi conservée et le codage peut être plus complet afin de permettre l'établissement entièrement automatique du plan, en planimétrie, altimétrie, avec tous les textes nécessaires et divers enrichissements. Cette technique permet aussi différents habillages à partir d'un même fichier de coordonnées. On en arrive presque aux bases de données spatiales évoquées par la suite (voir § 4).

3.4 Le matériel du report informatique

3.4.1 La chaîne informatique

Elle est décrite au paragraphe 2.4.1.4 et se compose des éléments suivants :

- une station totale, tachéomètre électronique équipé d'un dispositif d'enregistrement informatique des données ;
- un micro-ordinateur de bureau ou portable destiné au traitement numérique et graphique des données. Il doit, bien entendu, communiquer avec la station, soit directement, soit par l'intermédiaire d'une interface matérielle ;
- une imprimante laser ou à jet d'encre de format A3 (pour les petits plans, croquis, textes, listings...) ;
- un traceur au format A0 ou plus ;
- éventuellement une table à numériser (digitaliseur) pour la numérisation d'anciens plans graphiques.

3.4.2 Le poste de travail

Devant la montée en puissance des logiciels d'application actuels et leur besoin croissant en moyens, l'équipement de base suivant semble adapté aux besoins des travaux courants de topométrie :

- une unité centrale ayant un microprocesseur Pentium ou équivalent ;
- 32 ou 64 méga-octets de mémoire vive (prévoir les augmentations) ;
- un ou deux disques durs d'une capacité de 4 giga-octets avec un contrôleur rapide et un dispositif de sauvegarde pour les fichiers sensibles ;
- une carte graphique accélératrice avec 4 ou 8 méga-octets de mémoire vidéo ;
- un moniteur vidéo de 17 ou 21 pouces, haute résolution ;
- un port parallèle bidirectionnel (imprimante) ;
- deux ou trois ports série rapides (souris, traceur, numériseur) ;
- un lecteur de disquettes et un lecteur de cédérom ou DVD ROM ;
- éventuellement un modem rapide (28 800 bauds ou plus) pour l'échange de fichiers ou le téléchargement.

3.4.3 Le traceur de plans

C'est l'élément final de la chaîne, celui qui va transformer le plan numérique utilisable uniquement sur ordinateur en le dessinant à l'échelle voulue sur un support classique : papier, calque... Contrairement à la méthode traditionnelle de report, le plan est dessiné en une seule fois, la minute devenant inutile puisque le fichier de points dont il provient est inaltérable.

Actuellement, plusieurs traceurs utilisant des technologies très différentes sont disponibles : les traceurs classiques à plumes, les traceurs à jet d'encre de plus en plus nombreux et remplacent peu à peu les classiques, les traceurs laser, proches des précédents, les traceurs électrostatiques et les traceurs thermiques.

3.4.3.1 Les traceurs à plumes ou électromécaniques

Ils se présentent sous deux formes différentes :

- les traceurs à plat : leur plume est fixée sur un équipement mobile le long d'un bras qui se déplace également, dans une direction perpendiculaire. Le support de traçage est donc immobile et ne subit pas de contraintes. En revanche, l'encombrement de la table est très important dans les grands formats ;
- les traceurs à rouleau : le papier est entraîné dans une direction, sous la plume qui se déplace dans la direction perpendiculaire. L'entraînement du papier, à des vitesses de plus en plus élevées pour des raisons de productivité, peut créer des problèmes de déformation du papier et impose des marges importantes. L'encombrement de ces traceurs est beaucoup moins important que celui des précédents. Ils acceptent souvent le papier feuille à feuille, mais aussi en rouleau, ce qui permet un tracé automatique en continu avec éventuellement le découpage automatique des feuilles. La résolution mécanique de ces traceurs, environ 0,03 mm, permet une précision de tracé compatible avec les exigences du plan topographique, à condition de maîtriser les problèmes de déformation du support. La qualité du tracé dépend beaucoup du type de support, de la plume et des réglages de la table (vitesse de la plume, pression).

- Les supports : la plupart des tables actuelles acceptent la papier normal ou glacé, le vélin, le papier calque et le film polyester clair ou mat. Ces papiers doivent théoriquement être spécialement élaborés pour résister aux contraintes mécaniques imposées par les tables.
- Les outils de traçage : leur choix est effectué en fonction du support et de la qualité recherchée. Sur le papier, il est possible d'utiliser :
 - des feutres à pointe feutre, bille ou plastique dure. Ils ne permettent pas une épaisseur de trait inférieure à 0,3 mm et la régularité de leur tracé est sujette à caution : ils sont réservés aux épreuves en couleurs ;
 - des pointes billes à encre liquide. Elles offrent une meilleure qualité que les feutres, en particulier pour la régularité du trait et la vitesse de traçage, jusqu'à 120 cm/s. En revanche, ces billes offrent un diamètre unique d'environ 0,25 mm ;
 - les stylos à pointe tubulaires. Directement dérivés de ceux utilisés par les dessinateurs, ils donnent les meilleurs résultats. Il en existe de deux sortes : jetables ou rechargeables. Plus économiques, ces derniers posent des problèmes d'entretien (bouchage) et offrent moins de choix d'encres et de diamètres. Ils permettent de tracer des traits de 0,1 à 1 mm d'épaisseur.

Sur le calque, seuls les stylos à pointe tubulaire donnent des résultats acceptables. Certains sont spécialement conçus pour ce type de support, les stylos pour papier s'usant trop rapidement sur le calque.

Le film polyester courant présente une surface d'écriture particulièrement abrasive et dure qui interdit l'usage des instruments précédents. Ils nécessitent des stylos à pointe tubulaire au carbure de tungstène ou céramique et des encres spéciales qui arrivent à sécher sur ce support imperméable. Les résultats, excellents lorsque le dessinateur arrive à contrôler parfaitement tous les paramètres du tracé, font du couple film-stylo tubulaire le plus approprié au tracé final de plans topographiques.

Les traceurs électromécaniques occupent encore une grande part du marché. Mais, la lenteur relative du tracé, la difficulté du remplissage de surfaces ou de l'application de tramages (ils travaillent en mode vectoriel et tracent donc les entités lignes et arcs en continu) les écartent peu à peu des bureaux d'études et des cabinets, au profit des nouvelles générations de traceurs à jet d'encre et laser.

3.4.3.2 Les traceurs à jet d'encre

Le principe du tracé diffère totalement des précédents : comme pour les traceurs au lasers et autres transferts thermiques, le dessin est reproduit en mode *raster* ou mode point : les lignes et arcs divers sont transformés en une série de points minuscules et accolés. Des routines de lissage permettent de réduire sensiblement le phénomène d'escalier typique du tracé de courbes ou de lignes inclinées en mode *raster*.

Ils constituent actuellement les plus fortes ventes de traceurs et remplacent progressivement les traceurs à plumes. Les raisons en sont multiples : rapidité du tracé indépendante de la complexité du dessin (en 4 à 6 mn pour un tracé au format A0), régularité et finesse

des traits, possibilités de traits de toute épaisseur, remplissages et tramages aisés, prix en baisse constante, impression sur tous les supports déjà cités. La dernière tendance est la couleur ; on peut avoir jusqu'à 16 millions de couleurs par combinaison des couleurs de base. La qualité du tracé dépend beaucoup de la résolution du traceur qui s'exprime en dpi : *dots per inch* ou nombre de points par pouce. Les meilleurs traceurs actuels arrivent à 600 ou 700 dpi. en monochrome et 300 à 400 en couleurs. Les encres ont aussi fait des progrès considérables et l'autonomie des traceurs récents ne pose plus de problèmes. Ils peuvent travailler en continu avec découpage automatique ou manuel du papier. Les prix de très bons traceurs à jet d'encre varient de 20 et 50 kF.

3.4.3.3 Les traceurs laser ou LED¹

Ils fonctionnent en mode raster, sur le même principe que les imprimantes laser : un rayon laser ou des LED. viennent altérer la charge électrique d'un tambour rotatif, ce qui permet la fixation de toner (poudre d'encre), ensuite transférée sur le papier et fixée par chauffage. La résolution peut atteindre 600 dpi. La qualité est irréprochable. Sensiblement plus chers que les traceurs à jet d'encre, les lasers voient cependant leur prix baisser régulièrement, et grâce à leur qualité et leur rapidité (un A0 en moins d'une minute, pour les plus récents), ils constituent un bon investissement pour des travaux lourds. Là aussi, la couleur devient abordable, comme pour les imprimantes.

Ces récentes technologies font disparaître les traceurs électrostatiques et à transfert thermique, et l'on peut penser que seules subsisteront, dans un très proche avenir, les technologies à jet d'encre et laser ou LED. Il faut signaler aussi l'apparition de traceurs copieurs scanners à technologie LED et entièrement numérique, qui regroupent ces trois applications en une seule machine modulaire.

4 LES BASES DE DONNÉES GÉOGRAPHIQUES

Les besoins sans cesse croissants d'informations de toutes sortes, leur gestion, dans des buts d'analyse, de simulation, d'aménagement, etc. et les progrès spectaculaires du stockage et de la gestion informatiques des données ont entraîné, ces dernières années, un essor considérable des bases de données informatiques.

Une base de données peut être définie comme un ensemble d'informations structurées ou banque de données, regroupées sous forme de fichiers informatiques (ou tables) liés entre eux et se rapportant à un même sujet général qui peut être très vaste, associé obligatoirement à un système logiciel en permettant la gestion : créations, ajouts, modifications, liens, interrogations... Ce système est le SGBD (Système de Gestion de Base de Données).

¹ LED : diodes électro-luminescentes.

Les différentes informations sont rigoureusement classées par types bien distincts afin d'éviter les redondances et de permettre une exploitation optimale de la base. Prenons un exemple, simplifié à l'extrême : la planification des vols d'une compagnie aérienne.

- La base de données doit comprendre des fichiers relatifs :
 - aux avions ;
 - au personnel navigant ;
 - au personnel à terre ;
 - aux aéroports, etc.

Ces fichiers doivent être liés entre eux par un ou plusieurs liens fonctionnels, par exemple :

- avions - aéroport (révisions, approvisionnement...) ;
- avions - personnel navigant (qualification, préférences...) ;
- personnel navigant - aéroport (proximité de résidence, langues étrangères...) ;
- personnel à terre - aéroport (disponibilité, qualification...), etc.

Grâce à ces liens et à des procédures d'interrogation, appelées requêtes, il est possible de programmer un vol de tel aéroport à tel autre, avec tel avion, tel équipage, etc. De cet exemple très simplifié on peut retenir qu'une base de données est composée de divers fichiers liés entre eux et manipulés par un système de gestion.

Dans le domaine de la topographie, les bases de données se présentent comme des plans numériques regroupant toutes les données qu'il est possible de trouver sur des cartes ou des plans. Il en existe d'innombrables, allant de la superficie d'un quartier à la France entière. La plupart ont été constituées pour des collectivités locales et leur manque d'homogénéité interdit un usage général.

En revanche, depuis quelques années, l'IGN construit deux bases de données géographiques : la BD cartographique et la BD topographique qui couvriront le territoire entier dans quelques années.

4.1 La base de données topographique

La base cartographique a surtout pour vocation la cartographie française du 1/50 000 au 1/500 000. Elle n'entre donc pas dans notre domaine d'étude. La base topographique s'intéresse aux plus grandes échelles, son champ d'application s'étendant du 1/5 000 au 1/25 000. Elle permet d'établir la carte de base française au 1/25 000, des plans réguliers au 1/10 000 et des plans d'étude au 1/5 000. Mais surtout, elle peut constituer la base topographique de SIG évoqués par la suite (§ 4.2).

La BD topographique est adaptée aux applications s'étendant de la commune au département. C'est un ensemble de données géographiques numériques, homogènes en tout point du territoire français. Sa précision est métrique (plan régulier au 1/10 000). Issues essentiellement de traitements photogrammétriques, ses données sont en trois dimen-

sions. Son contenu est structuré en dix thèmes : voies de communication, hydrographie, lignes et limites diverses (murs, haies, talus...), bâtiments, végétation, orographie (lignes caractéristiques du relief), altimétrie, limites administratives et toponymie. Elle est disponible en deux versions numériques :

- la **BD TOPO dessin** : les données sont regroupées en thèmes fournis dans différents fichiers DXF directement exploitables par les éditeurs graphiques les plus courants, AutoCAD par exemple. On y perd les possibilités d'interrogation, mais la BD topo dessin peut très facilement s'intégrer à un SIG. Les points sont connus en trois dimensions, ce qui permet, entre autres, la représentation du relief du sol et du sursol.
- la **BD TOPO objet** : version complète au format EDIGéO¹, elle permet toutes les requêtes topologiques. Elle doit être associée à un puissant gestionnaire de bases de données.

4.2 Les bases de données spatiales - SIG (Système d'Information Géographique)

Une base de données spatiales est un ensemble de banques de données graphiques, numériques et alphanumériques, liées entre elles par leur position dans l'espace et partageant le même système de coordonnées : il s'agit d'informations géoréférencées. C'est un ensemble complexe qui, pour l'exploiter, nécessite un puissant éditeur graphique (affichage des plans numériques) capable également de gérer des bases de données alphanumériques. Les applications sont innombrables et couvrent tous les domaines d'activité, de la description des circuits électroniques à celle d'une région en passant par un bâtiment ou une raffinerie de pétrole. En topographie, les applications principales sont les SIG en général et les banques de données urbaines (BDU) en particulier.

Une base de données spatiales contient donc des dessins, bases de données graphiques, définissant toutes les entités géométriques telles que lignes, arc, cercles... Des données complémentaires non graphiques peuvent être attachées directement à ces entités : nom, matériau, date de construction... ; elles constituent une base de données interne à la base graphique. On peut également trouver des bases externes, alphanumériques, liées à des entités du dessin : nombre d'habitants d'une maison, trafic sur une route, quantité d'eau sur un bassin versant... La grande majorité des éditeurs graphiques sont capables d'afficher les dessins, de lire les données complémentaires internes et de dialoguer avec les bases externes. Le problème majeur des SIG vient de l'énorme quantité de données à gérer. Par exemple, un SIG de département ou de région contient déjà toutes les cartes ou plans du territoire, au 1/10 000 ou au 1/25 000, et on conçoit qu'un micro-ordinateur, même puissant, soit capable de traiter ensemble ces données graphiques, sans parler de toutes celles qui leur sont rattachées. Par la suite, une solution à ce problème est étudiée.

¹ EDIGéO : norme AFNOR publiée en août 1992 sous le numéro Z13-150.

4.2.1 Les systèmes d'information géographique

Un SIG (Système d'information géographique) est une **base de données spatiale** dont le cœur est constitué par une base topographique couvrant une certaine étendue de territoire. Sa réalisation fait appel aux mêmes techniques topographiques que la cartographie, complétées par une recherche d'informations propres au type du SIG.

La réussite d'un SIG est étroitement liée à sa possibilité de mise à jour et à la précision de son cahier des charges. Il faut également considérer l'importance du respect de la norme EDIGÉO qui permet aux différents SIG indépendants de communiquer entre eux.

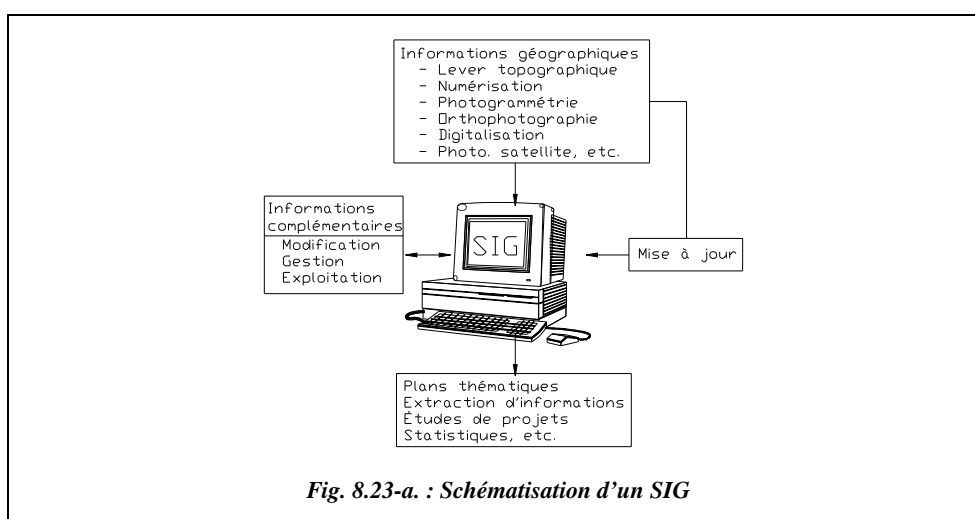


Fig. 8.23-a. : Schématisation d'un SIG

L'ordinateur est au centre du SIG (fig. 8.23-a.) : on parle alors de GEOMATIQUE (association de Géographie & Informatique). Cependant, le sigle SIG est le plus usité.

Le but n'est pas ici de se livrer à une étude exhaustive de ces systèmes complexes et variés, mais d'en donner un aperçu à l'aide d'exemples. Suivant les buts recherchés, les données complémentaires aux données de terrain peuvent être très variées.

- Le SIG de Marseille (revue *Géomètre*, 1994) : il gère le domaine de la commune, soit 24 000 ha, 1 600 km de voies, 760 km de réseaux souterrains, 960 planches cadastrales (100 000 parcelles, 300 000 locaux). Il contient les données de l'équipement urbain, de la Direction générale des impôts, de l'INSEE (recensement, activités, données socio-économiques). Depuis quelque temps, des données concernant l'environnement ont été intégrées ; elles permettent l'étude de la maîtrise du bruit, de la gestion des déchets, du cadastre vert, de la qualité des eaux de baignade, de la qualité de l'air, de la planification des risques majeurs... Cette base de données, mise en place il y a plus de vingt ans, s'enrichit chaque jour de données supplémentaires qui autorisent la gestion de la ville et la résolution de problèmes très variés.

- Le SIG du centre de recherches d'une grande entreprise (revue *Géomètre*, 1993) : il a été mis en place pour assurer la gestion matérielle des bâtiments du centre et celle du personnel. Plus d'un millier de personnes travaillent quotidiennement dans les 67 000 m² des locaux répartis en 24 bâtiments sur 6 ha. Le système contient des données graphiques saisies sur le site par relevés ou à partir de plans d'exécution (topographie du site et des réseaux, tous les niveaux des bâtiments avec les différents locaux - plus de 1 500 - les circulations horizontales et verticales, etc.) et des données alphanumériques sur les locaux classés en fonction d'un certain nombre de critères. Ce SIG permet une grande variété d'applications comme la gestion des bâtiments et de leurs équipements, la gestion des réseaux, des espaces verts, la création de cartes thématiques... Les résultats des interrogations de la base sont restitués sous les formes classiques de dessins, écrans d'édition, impressions d'états, fichiers texte... Dans ce SIG également, l'ensemble des objets traités sont liés spatialement dans un système de coordonnées local.

Ces deux exemples montrent la grande variété d'utilisation des bases de données spatiales et de leur forme la plus répandue : les SIG. Pour mériter cette appellation et se démarquer d'un simple système de gestion cartographique, un SIG doit inclure un certain nombre de fonctions, généralement connues en France sous le terme 5 A :

- Acquisition : modules de saisie des données, soit existantes, soit nouvelles ;
- Archivage : gestion de ces données ;
- Analyse : transformation, manipulation, superposition... ;
- Affichage : mise en forme et production de documents ;
- Abstraction : études prospectives, projection.

Ces fonctions permettent diverses utilisations dont certaines sont citées par F. Hanigan (revue *Arc-News*), c'est-à-dire édition de cartes et graphiques, inventaire de biens et d'installations, allocation et évaluation de ressources, optimisation de flux, surveillance et contrôles, implantations...

Le paragraphe suivant montre le fonctionnement d'un tel système.

4.2.2 Gestion de bases de données spatiales avec AutoCAD MAP



AutoCAD MAP répond parfaitement à la notion de base de données spatiales. Ses principales applications sont la gestion de cartes et de SIG. Conçu autour d'un puissant éditeur graphique (AutoCAD), il inclut des fonctionnalités de gestion de données alphanumériques contenues dans les dessins eux-mêmes ou extérieures. La possibilité de traiter une grande quantité d'informations diverses vient du fait qu'AutoCAD MAP connaît ces informations et peut les gérer sans avoir besoin de charger la totalité des bases de données correspondantes, graphiques (dessins) ou alphanumériques. Ainsi, ces bases ne sont pas transférées en mémoire vive de l'ordinateur, ce qui limiterait considérablement la quantité d'informations accessibles à tout moment, seuls les éléments choisis étant mani-

pulés. L'accès s'opère au moyen de requêtes (ou interrogations) écrites dans un ou plusieurs langages compréhensibles par le gestionnaire de bases de données.

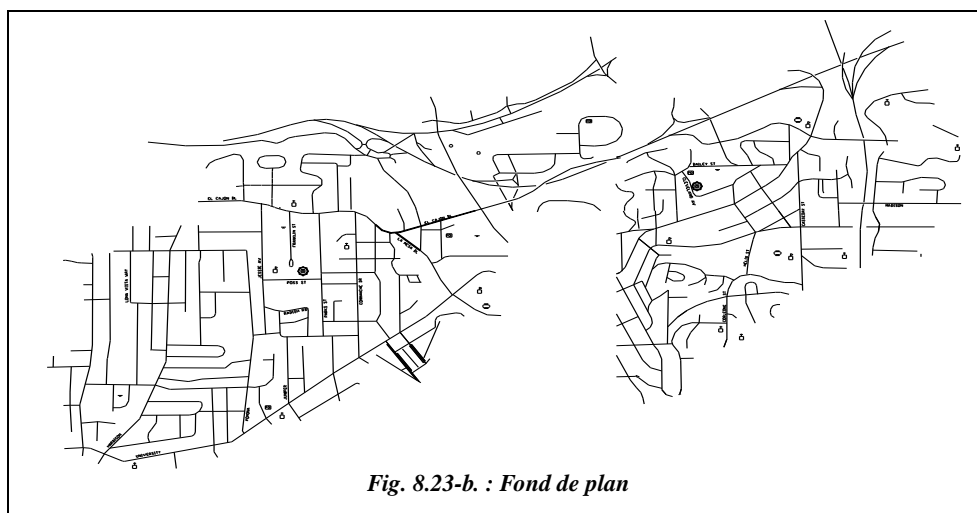
Avec AutoCAD MAP, les requêtes font appel à quatre types de critères :

- emplacement : sélectionne des entités en fonction de leur emplacement. Par exemple : afficher toutes les entités figurant dans un cercle de 100 mètres de rayon, centré sur un point de coordonnées précises ;
- propriétés : sélectionne des entités en fonction de propriétés graphiques ou complémentaires. Par exemple : éditer une liste de tous les objets rouges de telle couche AutoCAD et de longueur définie ;
- données d'objet : sélectionne des entités en fonction de données qui leur sont attachées et contenues dans le fichier graphique ;
- SQL : (langage d'interrogation structuré) sélectionne des entités en fonction de données contenues dans des bases externes SQL liées aux entités graphiques. Par exemple : afficher les noms des propriétaires des maisons de plus de 200 m² de surface habitable.

Les dessins contenant les entités graphiques peuvent être organisés spatialement de deux manières différentes :

- horizontalement : les différents dessins sont juxtaposés comme un assemblage de cartes couvrant une région ;
- verticalement : les différents dessins sont empilés les uns sur les autres, comme les niveaux d'une habitation. Il est possible de combiner ces deux types d'organisation.

Suivons une séance d'interrogation d'une base de données spatiales. La base de données prise en exemple (très simplifiée) est livrée avec ADE. Elle comporte quatre dessins couvrant une ville et des bases de données annexes (fond de plan, fig. 8.23-b.).



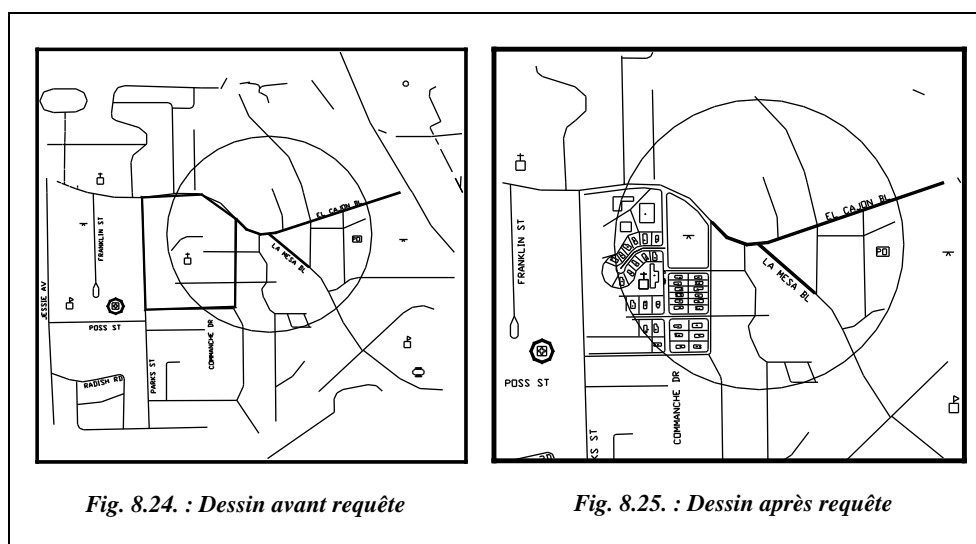
La première opération à effectuer est de sélectionner les dessins sur lesquels on souhaite travailler. Les interrogations sont lancées à partir d'une session de travail servant de dessin de travail et éventuellement de fond de plan pouvant contenir un minimum d'entités permettant le repérage facile des dessins associés. Une session peut aussi comporter d'autres éléments enregistrés comme des paramètres utilisateur, des liaisons à des bases de données externes, des systèmes de coordonnées...

Le fond de plan de cette cession (fig. 8.23-b.) couvre la totalité du terrain décrit par les quatre dessins associés. Il est composé uniquement des voies de communication de la cité et de quelques éléments remarquables. Les résultats des requêtes viendront se dessiner sur ce fond de plan.

Formons une requête complexe, c'est-à-dire composée de plusieurs conditions, par exemple trois :

- deux requêtes de type emplacement combinées avec l'opérateur booléen « AND » : un cercle de 750 m de rayon et un polygone entourant plusieurs pâtés d'habitations ;
- une condition sur une propriété AutoCAD : le calque (ou couche) SIDEWALK ; on enlève ici du jeu de sélection toutes les entités figurant sur ce calque.

La portion de dessin avant requête, après requête et la boîte de dialogue de création de la requête sont représentés par les figures 8.24., 8.25. et 8.26. Le fichier requête fait suite à ces figures.



Dans la boîte de dialogue de création de la requête, on peut voir en haut les trois conditions, deux emplacements et une propriété et leur mode de travail : Intersection

(AND) et Enlever (NOT). On trouve au-dessous les quatre types de critères de sélection des entités : emplacement, propriétés, données et SQL.

On remarque enfin les différentes façons d'exécuter la requête :

- *aperçu* n'affiche qu'une vue des entités, sans les importer dans le dessin en cours ;
- *dessiner* copie les entités sélectionnées dans le dessin courant, sans modifier le fichier source ; il est alors possible d'éditer ces entités et, par exemple, tracer le dessin ;
- *rapport* crée un fichier texte.

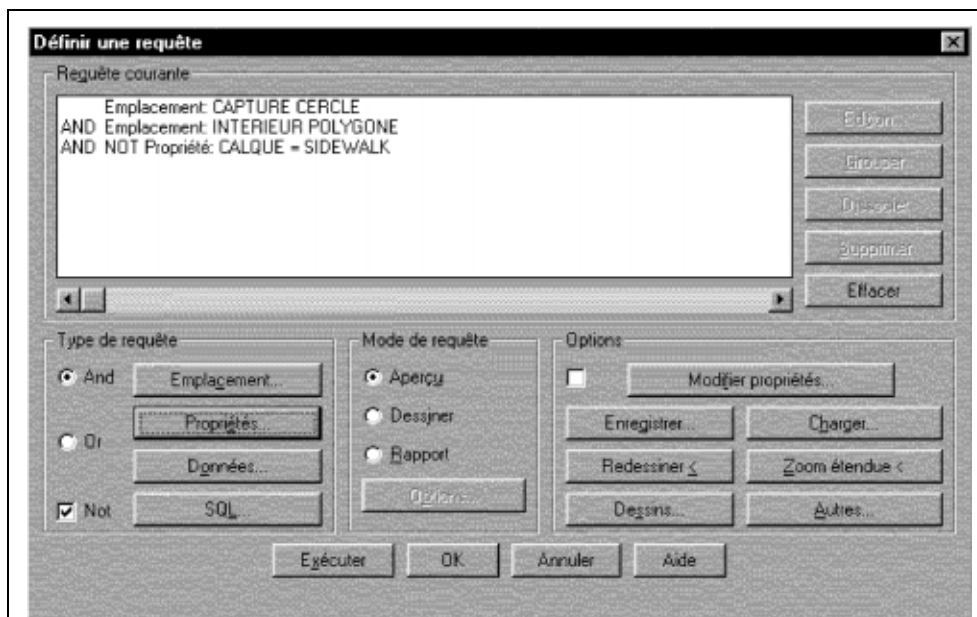


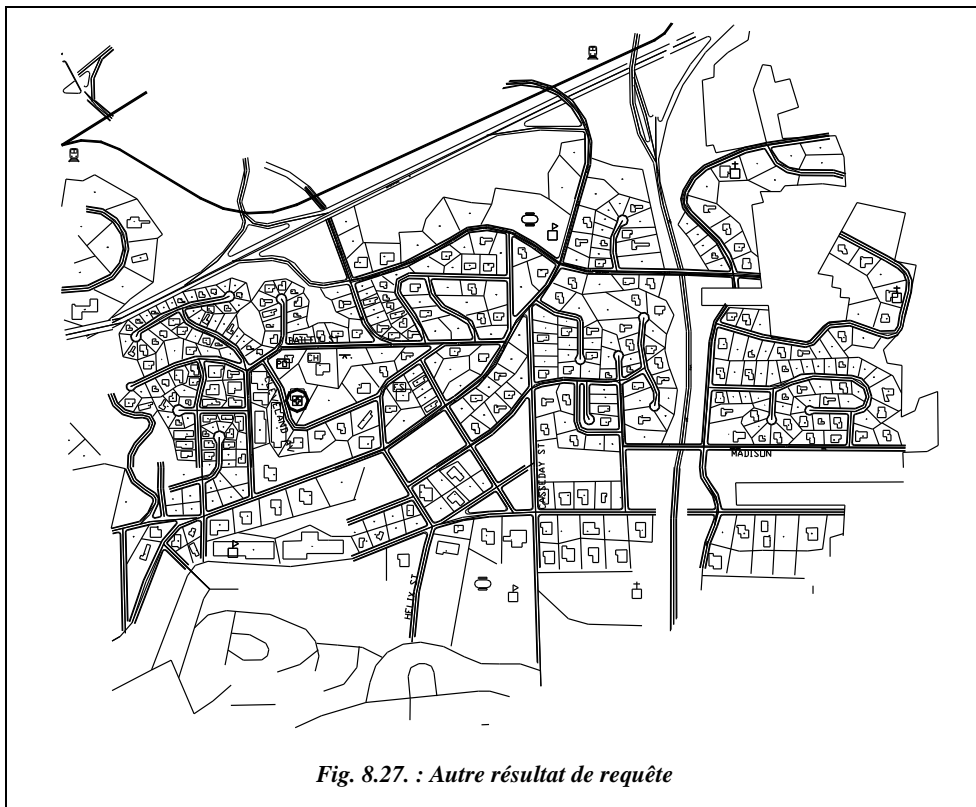
Fig. 8.26. : Création de la requête à l'aide d'AutoCAD MAP

Voici ci-dessous le fichier requête correspondant créé par AutoCAD. Il est écrit en langage AutoLISP et il définit les fichiers dessin sur lesquels porte la requête et les conditions de cette requête.

```
(setq ade_cmddia_before_gry (getvar "cmddia"))
(setvar "cmddia" 0)
(mapcar 'ade_dwgdeactivate (ade_dslist))
(setq ade_tmpprefval (ade_prefgetval "ActivateDwgsOnAttach"))
(ade_prefsetval "ActivateDwgsOnAttach" T)
(setq dwg_id(ade_dsattach "TUT12 :\\DEMOMAP1.DWG"))
(setq dwg_id(ade_dsattach "TUT12 :\\DEMOMAP2.DWG"))
(setq dwg_id(ade_dsattach "TUT12 :\\DEMOMAP3.DWG"))
```

```
(setq dwg_id(ade_dsattach "TUT12 :\\DEMOMAP4.DWG"))
(ade_prefsetval "ActivateDwgsOnAttach" ade_tmpprefval)
(ade_qryclear)
(ade_qrysettype "preview")
(ade_qrydefine '("(" " " " " "Location" ("circle" "crossing"
(1695966.643349 1704135.829656 0.000000) 750.000000))""))
(ade_qrydefine '("AND" " " " " "Location" ("polygon" "inside"
(1695023.510375 1703558.008957 0.000000)(1695010.935266
1704399.617367 0.000000)(1695199.561867 1704437.301329
0.000000)(1695451.063981 1704449.862661
0.000000)(1695664.840800 1704311.688130
0.000000)(1695689.990986 1704211.197579
0.000000)(1695689.990986 1703583.131604 0.000000))""))
(ade_qrydefine '("AND" " " "NOT" "Property" ("layer" "="
"SIDEWALK")""))
(ade_qrysetaltprop nil)
(ade_qryexecute)
(setvar "cmddia" ade_cmddia_before_qry)
```

La figure 8.27. fournit un autre exemple de résultat de requête.



L'extrait de dessin (fig. 8.27.) est obtenu après une requête extrêmement simple : en mode dessiner, sélection de « toutes » les entités, uniquement sur un des quatre dessins. Dans ce cas, il y a plus de 3 100 entités.

Des bases de données externes peuvent aussi être interrogées par AutoCAD MAP qui peut communiquer avec Dbase 3 ou 4, Paradox, Oracle, ODBC. C'est le langage d'interrogation standard SQL qui définit les requêtes. Il doit exister des liens entre les entités des dessins et les tables de la base. Ils sont facilement créés par AutoCAD MAP. La figure 8.28. présente un exemple de consultation, dans un dessin, d'une base de données liée.

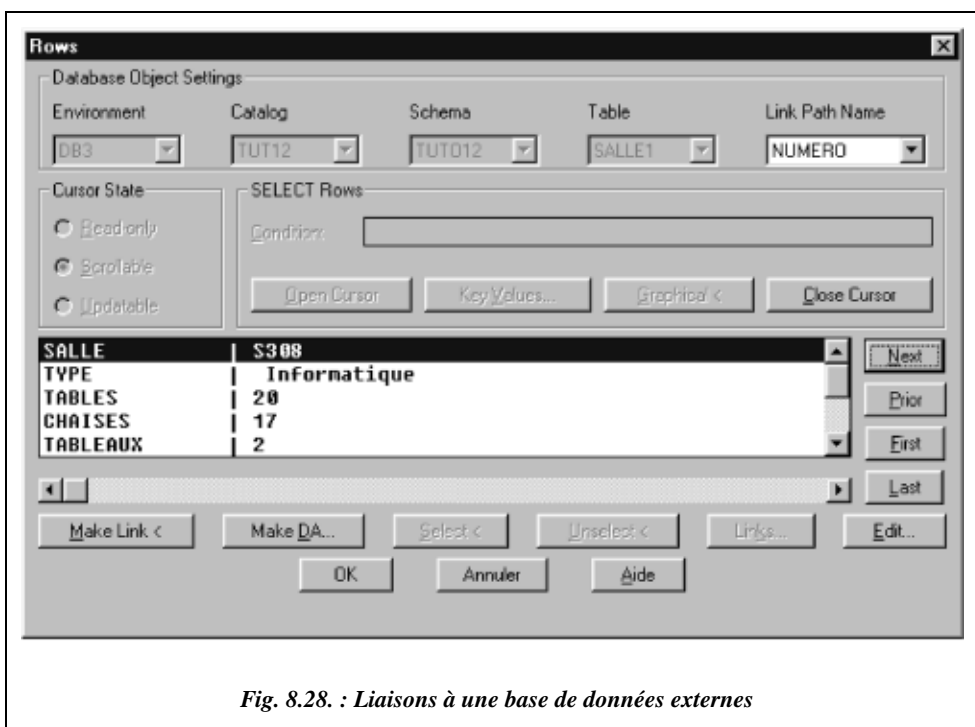
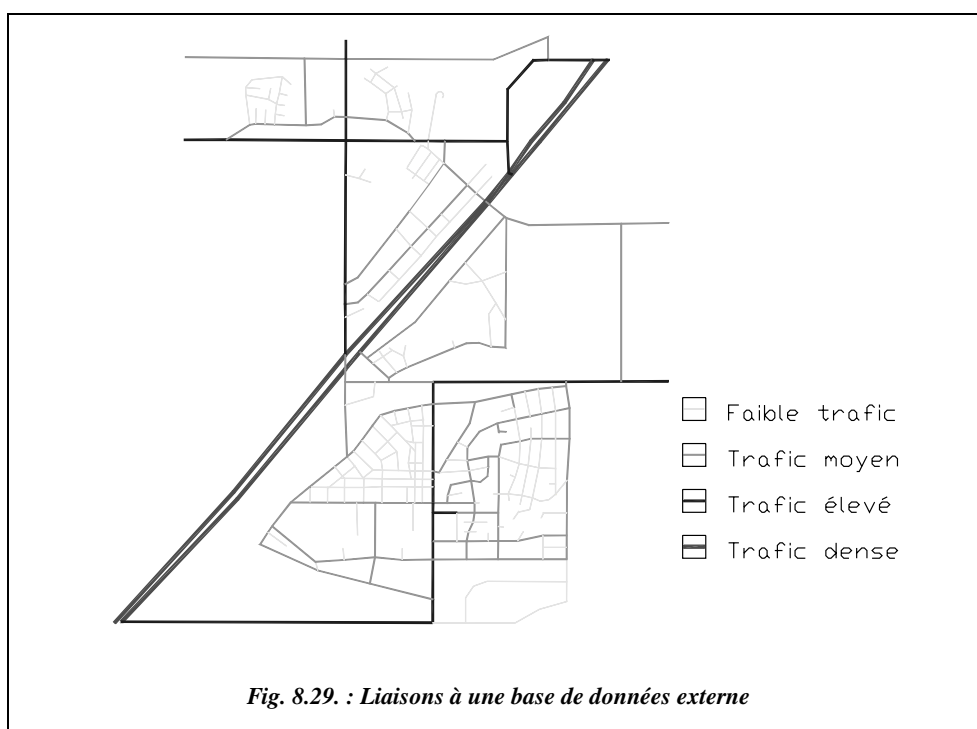


Fig. 8.28. : Liaisons à une base de données externes

La table SALLE1 de type Dbase 3 est liée par le lien NUMERO à des entités graphiques du dessin. L'opérateur peut consulter et éditer les différents champs des enregistrements de la table en les sélectionnant graphiquement ou par des conditions.

AutoCAD MAP permet aussi la réalisation de cartes thématiques avec la création automatique des légendes. On peut modifier les propriétés des entités extraites, ajouter des textes, des remplissages, des hachures... Leur classement en séries peut s'effectuer de manière continue ou discrète. L'exemple qui suit (fig. 8.29.) représente les différentes rues d'une ville. Chaque rue possède des données d'objet, en particulier la densité du trafic. La requête distingue quatre séries différenciées par la couleur et l'épaisseur des

lignes alors que, sur le plan initial, elles ont toutes les mêmes caractéristiques. C'est lors de l'exécution de la requête que les nouvelles propriétés sont affectées aux entités. Le dessin original n'est pas modifié, sauf si on le souhaite. Les requêtes thématiques constituent un puissant outil d'analyse et de création de documents, et d'ailleurs une des premières applications des SIG. Les collectivités locales et territoriales en font un usage abondant dans les domaines les plus divers : environnement, politique...



Il existe d'autres outils d'analyse des données cartographiques et alphanumériques, en particulier les topologies. Une topologie définit des relations entre des objets adjacents (points, lignes, polygones). Les trois types les plus courants sont les topologies en nœuds, en réseaux (objets lignes raccordés par des nœuds) et en polygones (objets surfaciques). On peut combiner les trois par superposition, analyser des interactions sur des zones tampon (zones de largeur définie étendant les nœuds, réseaux ou polygones)... Les topologies en réseaux servent à des analyses de flux, routes, assainissement, électricité... On peut, par exemple, déterminer le chemin le plus court ou le plus rapide de la caserne de pompiers à un lieu d'incendie en fonction de l'heure, de la circulation, des sens interdits... Les topologies en polygones sont adaptées aux études portant sur des étendues découpées : parcelles cadastrales, circonscriptions électorales, POS (Plan d'Occupation des Sols).

Ce rapide tour d'horizon des bases de données spatiales et des SIG en particulier peut fournir un aperçu de la puissance de ces nouveaux outils. Le géomètre topographe a un rôle important à tenir dans la conception, la mise en place, l'utilisation et l'entretien des systèmes d'informations géographiques.

