

# LA TOPOMETRIE EN GÉOMORPHOLOGIE DYNAMIQUE

## THE USE OF TOPOMETRY IN DYNAMIC GEOMORPHOLOGY

*Olivier MAQUAIRE\* et Franck LEVOY\**

### RESUME

La recherche appliquée en géomorphologie dynamique nécessite l'utilisation de la topométrie qui est devenue, au sein du C.R.E.G.E.P.E., un outil indispensable pour la quantification des processus. Basée sur l'emploi d'appareils de mesures "optiques" (niveaux, théodolites, tachéomètres, ...), cette technique implique une très bonne connaissance de ses principes, de ses méthodes, des nombreuses erreurs qui affectent les résultats et des vérifications indispensables, dont les aspects les plus essentiels sont présentés.

Deux études sur le littoral bas-normand montrent concrètement l'adaptation des moyens nécessaires à mettre en oeuvre en fonction de la précision recherchée, et les différents modes de traitements informatiques et infographiques des données qui ont été développés, en collaboration, au laboratoire.

Mots-clés : Topométrie, Géomorphologie dynamique, Surveillance, Mouvements de terrain, Dynamique sédimentaire, Littoral, Normandie.

### ABSTRACT

Applied research in dynamic geomorphology led the C.R.E.G.E.P.E. laboratory to use to a large extent topometry. This technique appears to be an indispensable instrument in the quantification of processes. It is very much used in many fields connected with the problems of development. It is based on the use of optical measuring instruments (i.e. levels, theodolites, tachometers, ...), but it also requires a deep knowledge of its principles, of its methods, of the many errors which can affect the results and of their necessary checking.

Two fields of research along the coast of Normandy clearly show the topometric approach which was followed and adapted to the specific necessities of each case, as well as the various types of computer data processing and their graphic transcription which were set up at the C.R.E.G.E.P.E. laboratory together with some computer experts.

Keywords : Topometry, Dynamic Geomorphology, Monitoring of landslides, Sedimentary Dynamics, Coastline, Normandy.

---

\*Centre de Recherches en Géographie Physique de l'Environnement  
(C.R.E.G.E.P.E.)

Bull. C. REGEPE n° 6 1987

Depuis quelques années, le Centre de Recherches en Géographie Physique de l'Environnement a orienté une partie de ses activités vers la recherche appliquée en Géomorphologie dynamique, ce qui a nécessité le développement de techniques d'analyses quantitatives.

Ces recherches s'insèrent dans les études d'aménagement destinées à protéger les constructions, les installations et l'habitat, etc ... qui, le long des côtes, sont menacées par des reculs par glissements de terrain, érosion littorale et inondations.

Une des premières démarches consiste à suivre de près l'évolution morphologique. On peut opérer à partir de la comparaison de documents cartographiques établis à différentes périodes, à condition d'avoir déterminé avec précision la position de points de repère, ou directement sur le terrain, et cette opération se fait par topométrie. La topométrie est ainsi mise au service du géomorphologue, pour lequel elle est devenue une technique familière et à destinations multiples.

D'autres techniques et des méthodes spécifiques peuvent également être adaptées à la géomorphologie dynamique. Les matériels utilisés, les types de levés, la précision désirée et en corollaire les limites des méthodes sont autant de problèmes à connaître et à confronter avec l'objectif des travaux de recherche envisagés. Le traitement des données est ensuite entrepris sous des formes graphiques et cartographiques.

Deux exemples concrets vont illustrer cette démarche méthodologique devenue à notre avis fondamentale.

- Le premier exemple fondé sur la connaissance de l'instabilité des versants littoraux du Pays d'Auge tend à affiner l'approche cinématique des mouvements à l'aide de la topométrie, en relation avec l'influence des paramètres dynamiques et les caractéristiques mécaniques des matériaux du sous-sol.
- Le second exemple basé sur la recherche d'un système de protection contre la mer en milieu littoral sableux vise - à approfondir la connaissance des débits solides - bilans et remaniements sédimentaires sur la plage de Portbail (côte occidentale du Cotentin).

## I - LA TOPOMETRIE : UN MOYEN DE CONNAISSANCE DE L'ESPACE.

### 1) Les utilisateurs, leurs objectifs.

La topométrie est en premier lieu une technique de mesure du relief terrestre. Elle permet entre autres de représenter cartographiquement la topographie d'un site. La cartographie devient alors un moyen de traduction graphique et imagé du milieu naturel ; mais également un moyen de reconnaissance des délimitations artificielles de l'espace.

A l'origine cette discipline concerne la propriété et la reconnaissance des frontières. En effet, c'est en Chaldée, puis chez les Egyptiens que furent retrouvés les premiers cadastres délimitant la propriété foncière, systématiquement détruite par les crues de l'Euphrate et du Nil. Un pas nouveau a été fait avec les Grecs qui ont développé la géométrie, science à laquelle la topométrie emprunte de nombreuses bases. Mais il a fallu attendre des progrès techniques notamment en optique pour que l'instrumentation se perfectionne.

En France, les premiers travaux topographiques à grande échelle datent du milieu du 18ème siècle ; le premier plan topographique d'un grand pays fut l'oeuvre des ingénieurs de CASSINI de THURY avec la carte du même nom à l'échelle du 84 400e réalisée entre 1750 et 1815. Les ingénieurs géographes, durant la même période, réalisèrent des cartes de la frange littorale de presque toute la France occidentale. A l'échelle du 14 400e ou du 28 000e, ces cartes d'intérêt militaire, représentaient toutes les routes et les reliefs contrairement à la carte de CASSINI qui était un document géométrique où s'affirmait la primauté des mesures géodésiques, le relief n'étant qu'ébauché.

Ensuite, furent entrepris dès le début du 19ème siècle, sous Napoléon, le plan du cadastre général de la France, puis la carte dite d'Etat Major ; après maintes révisions, ils constituent des documents toujours essentiels à l'analyse géographique aujourd'hui. Mais, outre à l'Institut Géographique National et au Service du Cadastre, la topométrie est devenue un outil de mesure très couramment utilisé, dont les cabinets de géomètres sont les principaux utilisateurs.

Aujourd'hui, de nombreux domaines nécessitent une approche topographique. En effet, les travaux d'aménagements urbains, de voiries ou plus généralement de génie civil, demandent une

connaissance précise des sites d'implantation des futurs ouvrages. Bien souvent, les contraintes naturelles du relief doivent être avantageusement exploitées afin d'éviter des surcoûts. L'exemple de l'élaboration d'un tracé autoroutier en remblai - déblai est caractéristique. Afin d'éviter des manipulations trop volumineuses de matériaux, il est nécessaire de déterminer avec exactitude la topographie du site, dans l'optique d'un calcul précis des volumes et de leur répartition optimale. Dans la prospection géophysique et en particulier en gravimétrie, la connaissance de l'altitude, de la latitude et de la longitude revêt un caractère fondamental pour déceler avec précision des anomalies gravimétriques révélatrices de cavités souterraines. Le calcul de l'anomalie de Bouguer tient compte d'une latitude et d'une longitude au mètre près et d'un positionnement en altitude à cinq centimètres près !

La topométrie fait également partie intégrante des méthodes d'auscultation et de surveillance des grands ouvrages (barrages, viaducs, ... B. Dauborg, 1984) et des versants présentant des caractères d'instabilité comme sur le site de Saint Etienne de Tinée (J.A. Follaci, 1984) ou dans les Alpes Valaisannes (A. Miserez, 1984).

D'autres domaines de recherche utilisent la topométrie ; l'archéologie a besoin de localiser avec précision dans l'espace ses découvertes pour ensuite procéder à une reconstitution des sites pouvant être détruits, replacer des objets les uns par rapport aux autres, ou définir une chronologie relative. La pédologie et l'étude des témoins de l'ère quaternaire sont fréquemment confrontées aux calages altimétriques de séquences afin de pouvoir comparer éventuellement des mêmes entités morphologiques dans des sites différents ou alimenter les discussions concernant les niveaux marins.

Cet éventail, non exhaustif, d'utilisation de la topométrie permet de situer cette discipline comme un outil essentiel dans de nombreuses sciences liées à l'aménagement.

## 2) Les travaux topométriques réalisés au Laboratoire de Géographie Physique de Caen.

L'abandon d'une géomorphologie uniquement descriptive, au profit d'une morphologie dynamique, des travaux de recherche à des échelles de plus en plus grandes, ont conduit à utiliser la topométrie avec deux objectifs différents :

- . la réalisation d'un levé topographique ayant pour finalité de concevoir le plus souvent un fond hypsométrique à grande ou moyenne échelle, ou de réaliser des coupes topographiques comme des profils de falaises, de plages ou de vallées, ou encore de localiser précisément des lieux de mesures comme des têtes de piézomètres, des mires limnimétriques, etc ... ;
- . la surveillance avec réalisation de suivis topométriques, c'est-à-dire une succession de levés effectués à échéances régulières dans le temps, permettant une comparaison des observations et donc une approche cinématique des phénomènes.

Au laboratoire de Géographie physique de Caen, dans quelques travaux déjà anciens, mais surtout aujourd'hui dans toutes les recherches, la topométrie est largement utilisée.

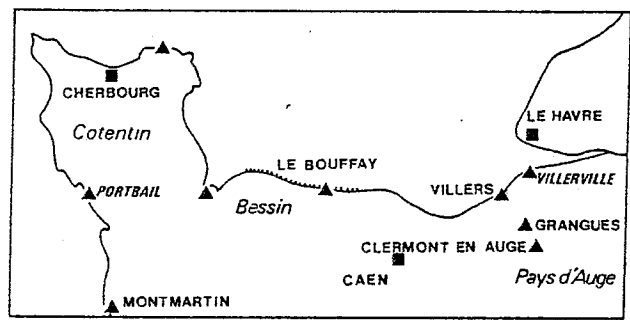


Fig. 1 - Croquis de localisation.

Des levés ont été effectués dans le Pays d'Auge afin de replacer les formations superficielles quaternaires par rapport à la topographie actuelle du versant (Grangues, Clermont en Auge. E. Helluin, communication orale). Les premiers suivis topométriques eurent lieu avec la construction de l'Autoroute A13. La surveillance d'un vallon pressenti pour le passage de la voie, fut nécessaire à cause de la présence de mouvements sur l'un des versants. Un petit réseau constitué de quelques repères fut installé et suivi à l'aide d'un théodolite par triangulation (C. Guérard, 1971). De même, à Villers sur Mer, l'avancée de coulées boueuses a été suivie selon les mêmes principes dans le but de mettre en relation l'importance des déplacements avec la pluviométrie (E. Helluin, 1971).

La cartographie topographique fut l'objectif essentiel des travaux suivants :

- . pour la cartographie de glissement du Bouffay et la mise en évidence du déplacement de la falaise (O. Maquaire, 1983) ;
- . pour la définition d'un zonage basée sur l'hypsométrie afin de cerner les risques potentiels de submersions marines des communes

- de Portbail et Montmartin sur Mer (F. Levoy, 1985) ;
- pour les études hydrologiques et hydrauliques des marais de l'isthme du Cotentin (B. Poisson, 1985) et des marais littoraux du Nord Cotentin (D. Delahaye, 1986).

Tous les travaux de recherches basés sur une analyse quantitative des processus dynamiques utilisent la topométrie. Devant la multitude des levés et suivis à réaliser, il est devenu impératif de mettre au point une démarche, reprenant naturellement les grands principes de la topométrie, adaptée à la géomorphologie dynamique. Dans cette optique le C.R.E.G.E.P.E. a développé, en collaboration, des moyens et des méthodes appropriés aux divers terrains d'étude, mais également des traitements informatiques et infographiques spécifiques permettant d'aborder les problèmes cinématiques et dynamiques avec rigueur.

## II - MOYENS ET METHODES EN TOPOMETRIE.

Ce qui suit n'est pas un cours de topométrie, mais le résultat d'une expérience destinée à donner une idée concrète de la précision que l'on peut attendre d'un dispositif de mesure "à sa portée" et le mieux adapté à sa problématique. Cette prise de conscience n'est possible qu'avec une bonne connaissance des procédés et des méthodes de levés et de calculs dont nous présentons rapidement les aspects essentiels, basés sur l'emploi d'appareils de mesures "optiques" (niveaux, théodolites, tachéomètres, ...). Ils se distinguent entre eux par leurs performances (précision, simplicité d'emploi, adaptation à certaines mesures, ...). Le choix de l'appareil adéquat n'est pas toujours aisé et nécessite une bonne connaissance de ses limites, afin de l'utiliser au mieux à une problématique donnée.

### 1) Détermination d'un point dans

#### l'espace.

Un point est déterminé dans l'espace par ses positions planimétriques et altimétriques.

. Dans le plan, cette détermination sera faite de préférence en coordonnées rectangulaires qui sont plus simples à utiliser que les coordonnées polaires. Elles simplifient le report graphique et permettent d'effectuer des calculs de distances entre deux points (voir plus loin). Ces coordonnées seront relatives si l'exécutant dirige les axes de son repère dans aucune direction particulière, elles seront ab-

solues si le repère de projection est rattaché à un système connu (ex. : Lambert I). La géodésie fournit un canevas de points avec des précisions de l'ordre de 5 cm. Ces points calculés sont matérialisés sur le territoire par l'I.G.N. qui édite des répertoires donnant le lieu et les coordonnées des points géodésiques et des points de triangulation complémentaire (Fig. 2). L'axe des ordonnées du repère sera dirigé vers le Nord géographique.

|                                   |            |                      |            |               |      |
|-----------------------------------|------------|----------------------|------------|---------------|------|
| Feuille au 50.000 <sup>e</sup>    |            | COURSEUILLES-SUR-MER |            | N° XV-11      |      |
| Département :                     |            | CALVADOS             |            |               |      |
| Nom du point :                    |            | LONGUES-SUR-MER      | Ordre :    | 5 (1840, 191) |      |
|                                   |            | " Pontensilles "     | Date :     | N T 1970      |      |
| LONG :                            | LAT :      |                      |            | Zone          |      |
| X :                               | 380.566,32 | Y :                  | 185.397,56 | ALT :         | 72,0 |
| X :                               |            | Y :                  |            | ALT :         | L.L  |
| 202 / CLOCHER : Base de la croix. |            |                      |            |               |      |




Fig. 2 - Coordonnées d'un point de triangulation complémentaire (extrait du répertoire de l'I.G.N.)

. En altimétrie, la détermination de la seule dénivellée d'un point par rapport à un autre s'effectue sans rattachement à un système connu si ces points ne sont pas trop éloignés l'un de l'autre.

La détermination des altitudes des points nécessite un rattachement à un réseau de nivellement fiable ce qui n'est pas sans poser des problèmes. En effet, trois réseaux terrestres se sont succédés entre 1857 et 1969 en France.

- Le plus ancien, le réseau Bourdaloue, fut établi entre 1857 et 1864. Son zéro de référence fut fixé en 1860 ; il correspond au niveau moyen de la Méditerranée à Marseille, c'est-à-dire 0,40 m sur l'échelle à marées du Fort Saint Jean.
- Le réseau Lallemand devrait constituer le complément du réseau Bourdaloue tout en le vérifiant. Il fut établi de 1884 à 1892. Le niveau moyen de la Méditerranée fut alors redéterminé à l'aide d'observations marégraphiques réalisées à Marseille du 1er février 1885 au 1er janvier 1897. Le zéro ainsi déduit du nivellement général de la France (0 N.G.F.) se trouve alors à 71 mm au-dessous du zéro Bourdaloue.
- De 1962 à 1969, l'I.G.N. entreprit d'instaurer un nouveau réseau appelé "Système IGN 69". Ce réseau part du même point que le précédent. Il reprend autant que possible les mêmes itinéraires. Mais les altitudes nouvelles s'écarr-

tent des altitudes du réseau Lallemand de quantités croissantes du Sud au Nord de la France (Fig. 3).

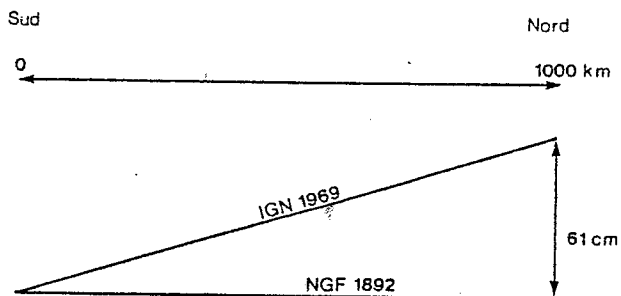
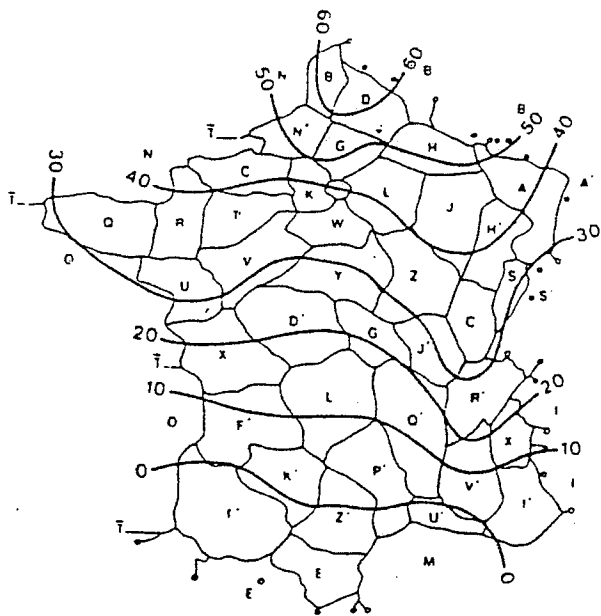


Fig. 3 - Comparaison entre les altitudes I.G.N. 69 et les altitudes N.G.F. (différences en centimètres).

Ces différences ne sont pas négligeables puisque l'écart dépasse 60 cm dans la région de Dunkerque. La cause de cette différence reste encore incertaine, mais la plus plausible fut émise par P. Charlot en 1979 ; elle serait due à la dilatation des branches du trépied sous le soleil. De plus, les temps de mise en station sont plus courts qu'en 1890 ne laissant pas le temps à la bulle de se stabiliser. Les conditions de réalisation du nivellement IGN 69 seraient donc moins bonnes que celles du réseau Lallemand (J. LeRhun, 1982).

Sur la frange littorale, un zéro différent est également en vigueur : le zéro de réduction des sondes. Il correspond à un niveau théorique situé au voisinage des plus basses mers astronomiques. De ce fait, il varie d'un lieu à l'autre et ne peut être déterminé localement qu'après de longues séries d'observations, ce qui ne fut pas toujours le cas au 19ème siècle. Le zéro retenu est très souvent différent du niveau théorique des plus basses mers. Cependant, il est toujours utilisé par les cartes marines.

Compte-tenu de son imprécision vis-à-vis des niveaux marégraphiques, il est absolument nécessaire de préciser en milieu littoral, d'une part la cote marine, mais en outre la cote IGN 69. Cette dernière permet de rattacher le domaine marin au domaine terrestre basé sur un réseau de nivellement plus rigoureux.

En effet, les repères du réseau sont fixés solidement sur des ouvrages d'art ou des habitations. L'I.G.N. édite les répertoires des emplacements et des altitudes des repères du nivellement général de la France et des informations diverses sur les repères locaux incorporés au réseau N.G.F. (cf. Biblio.) dont nous donnons un exemple ci-dessous.


|                                                |               |                                                                                                                                     |
|------------------------------------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 <sup>er</sup> Ordre                          | Section : CN  | Trouville-sur-Mer<br><br>p.k. 8,15<br>Honfleur |
| X : 440,1                                      | Matrice : 203 |                                                                                                                                     |
| Y : 191,2                                      | ALT : 45,842  |                                                                                                                                     |
| Type du repère : C                             |               |                                                                                                                                     |
| Feuille au 50.000 <sup>e</sup> le HAVRE - S.O. |               |                                                                                                                                     |
| N° XVII-11                                     |               |                                                                                                                                     |
| Département : CALVADOS                         |               |                                                                                                                                     |
| Commune : Villerville                          |               |                                                                                                                                     |
| N. 213.                                        |               |                                                                                                                                     |
| MAISON Duchêne Pierre, à Villerville.          |               |                                                                                                                                     |
| ALT :                                          |               |                                                                                                                                     |

Fig. 4 - Coordonnées d'un repère de nivellement (extrait du répertoire de l'I.G.N.).

Trois méthodes sont disponibles pour déterminer la position d'un point dans l'espace à l'aide d'appareils tels que les théodolites et les distancemètres :

- . la triangulation : le point est repéré à l'aide de mesures d'angles au théodolite, à partir de 2 stations (ou plus) ;
- . la trilatération : le point est repéré à l'aide de mesures de distances au distancemètre, à partir de 3 stations (ou plus) ;
- . la triangulatération : à partir d'une station (ou plus), la distance et les 2 angles

permettent de positionner le point dans l'espace. C'est d'ailleurs cette dernière méthode qui donne les meilleurs résultats. Une étude précise des erreurs maximales commises sur la position d'un point dans une configuration particulière indiquée figure 5, le démontre (J. Ashkenazi, 1973). Elle indique que cette technique est particulièrement intéressante pour les distances d'observations de 100 à 1 000 m.

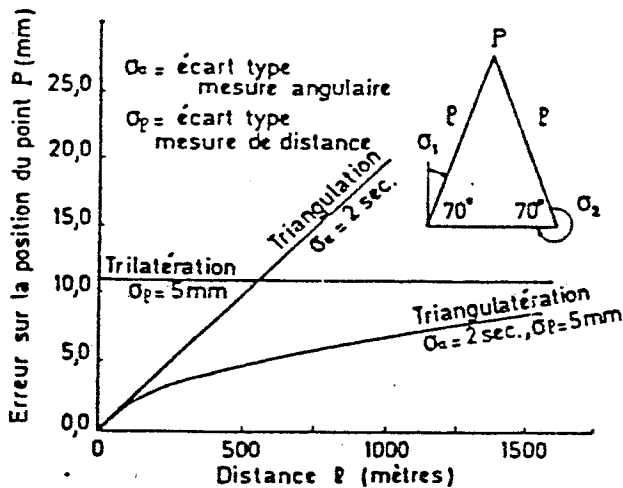


Fig. 5 - Erreur sur la position d'un point en topométrie (d'après V. Ashkenazi, cité par Larocque, 1977).

## 2) Principes généraux de mesures en topométrie.

Dans la plupart des cas, sur le terrain, les opérations de planimétrie et d'altimétrie sont conduites en même temps par la mesure de longueurs (distance entre 2 points), de dénivellés et d'angles (horizontaux et verticaux).

• Une largeur peut être mesurée, directement par comparaison d'une largeur étalon que l'on reporte autant de fois qu'il est nécessaire (mètre, décamètre, ...), graphiquement entre 2 points préalablement déterminés, par le calcul entre 2 points connus en coordonnées rectangulaires (Fig. 6a), indirectement par des méthodes stadimétriques ou électro-optiques.

Ces mesures indirectes offrent l'avantage d'être beaucoup plus rapides que les mesures

directes. Le procédé stadimétrique (R. D'Hollander 1970) (Fig. 6b) qui se traduit dans le réticule de la lunette par la présence de deux "fils" stadimétriques (Fig. 6c) permet l'obtention rapide de la distance, entre le point d'observation et le point visé, par la simple différence de deux lectures sur une mire (Fig. 6c).

La méthode électro optique dont le principe de mesure est basé sur l'émission par le "distancemètre" d'un rayon infra-rouge réfléchi par une mirette composée de prismes possédant la propriété de renvoyer le rayon lumineux parallèlement à lui-même. Le microprocesseur de l'appareil calcule le temps de parcours du rayon, la vitesse des temps de propagation des rayons lumineux étant connue, la déduction de la distance parcourue est immédiate et s'affiche par exemple sous forme digitale.

Ces distances qui sont le plus souvent mesurées selon la pente du terrain, doivent être réduites à l'horizontale (Fig. 6d). Ces distances obliques serviront également à obtenir le dénivellé entre les 2 points (voir plus loin).

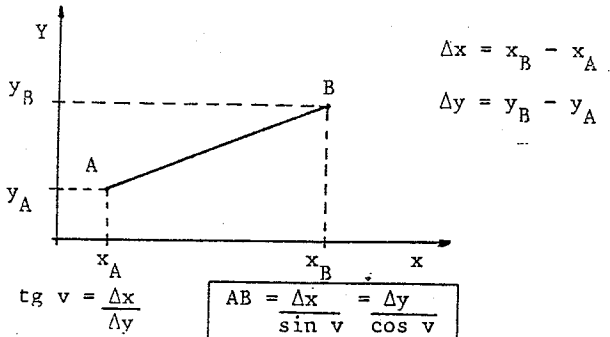
• La dénivelée entre 2 points est mesurée ou calculée par une opération appelée le nivellement. On distingue le nivellement direct, indirect et barométrique.

En nivellement direct (Fig. 6e), on place entre 2 points, tous instruments "optiques" comportant une nivelle en forme de tore dont la bulle permet de matérialiser l'horizontale (direction perpendiculaire au fil à plomb). La lecture des hauteurs sur chaque mire est faite sur le fil médian (BB') du réticule (Fig. 6c) (H. Solenthaler, 1981). Le nivellement direct convient très bien pour des points proches avec une faible dénivelée.

En nivellement indirect, la dénivelée est déduite à partir de la distance oblique (mesurée par stadimétrie ou par distancemètre) et de l'angle de site (Fig. 6f). Il faut tenir compte, dans le calcul de la dénivelée, de la hauteur de l'instrument, et de celle du prisme (cas de mesure au distancemètre) ou de celle de la hauteur médiane lue sur la mire (cas de mesure par stadimétrie).

Il est important de noter que le nivellement direct donne des résultats de qualité très supérieure à ceux obtenus en nivellement indirect (R. D'Hollander, 1970).

Les angles sont relevés dans un théodolite ou dans un tachéomètre sur des cercles gradués



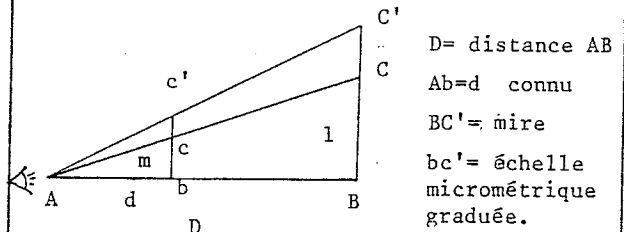
$\text{tg } v = \frac{\Delta x}{\Delta y}$

$AB = \frac{\Delta x}{\sin v} = \frac{\Delta y}{\cos v}$

ou par l'application du théorème de Pythagore

$AB = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$

Fig. 6a : Détermination de la distance entre deux points connus en coordonnées rectangulaires.



Considérons un rayon visuel interceptant sur l'échelle la longueur  $bc = m$  et sur la mire  $BC = L$ . La similitude des deux triangles semblables  $Abc$  et  $ABC$  donne

$\frac{m}{L} = \frac{d}{D} \Rightarrow D = d \frac{L}{m}$

$d$  est connu,  $m$  et  $L$  sont lus directement, on en déduit  $D$ . Deux sortes de stadimètres:  
 -  $m$  est constant,  $L$  est variable et lu.  
 -  $L$  est constant,  $m$  variable est lu sur l'échelle micrométrique.

Fig. 6b : Principe de la stadimétrie.

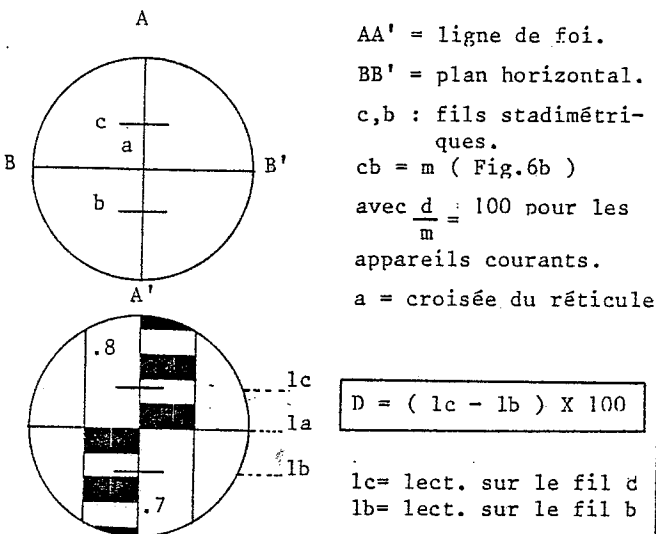


Fig. 6c : Le réticule et image de la mire parlante.

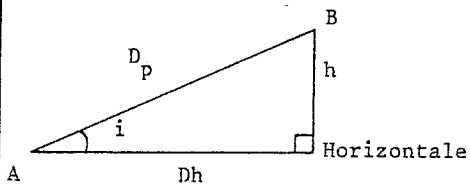


Fig. 6d : Réduction de la distance à l'horizontale.

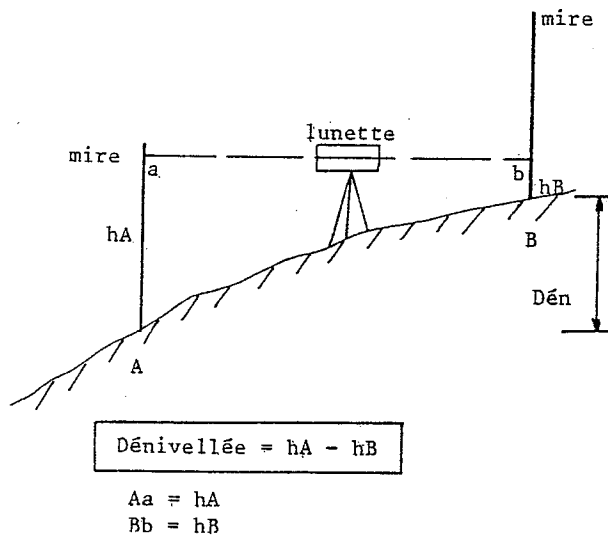


Fig. 6e : Le nivellement direct.

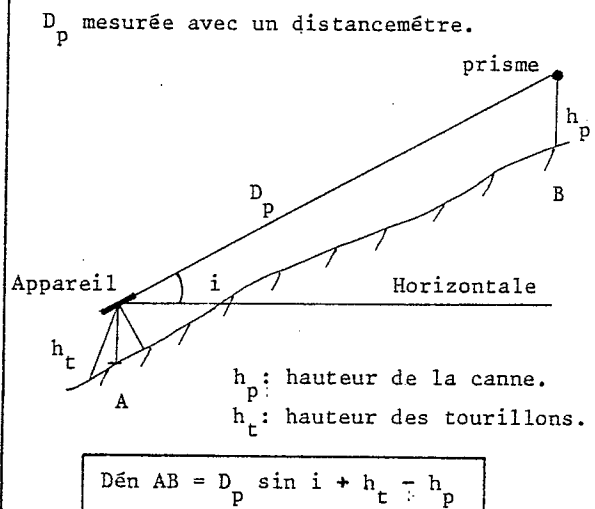


Fig. 6f : Le nivellement indirect.

(ou limbes).

Dans les théodolites, le cercle vertical est gradué en général de 0 à 400 grades. Le zéro étant au zénith, on mesure des "distances zénithales" ; on peut donc en déduire le site.

Dans les tachéomètres, le cercle vertical est gradué par quadrant de 0 à 100 grades, la graduation 0 correspondant à l'horizontale, on lit donc des angles de site.

Après pointé avec la lunette (point a du réticule, Fig. 6c) sur le point inconnu, les angles sont lus successivement dans un "microscope angulaire" ou dans deux distincts (un pour les angles horizontaux et un pour les angles verticaux).

Les angles sont relevés en plusieurs étapes, après lecture de la valeur entière de l'angle, on lit sa partie décimale à l'aide d'un vernier ou d'un micromètre.

Dans certains appareils, les angles peuvent être lus jusqu'au décimilligrade ( $10^{-4}$  grades).

### 3) Détermination de l'incertitude de mesure.

En topométrie, comme dans beaucoup d'autres domaines, il est indispensable de livrer "ses résultats" accompagnés de leur intervalle d'incertitude. Sans celui-ci, la pertinence du travail peut être contestée.

Dans toutes mesures, il est possible de commettre des fautes et des erreurs. Pour les évaluer, ou même les éviter, il est impératif de bien connaître leurs causes. Elles sont dûes à l'appareillage ou à l'exécutant et il faut s'imposer des vérifications directes ou indirectes.

Les fautes sont les étourderies, maladresses ou les oublis. Par exemple, une faute de lecture faite sur une graduation (confusion de chiffres) est facilement mise en évidence sur le terrain lors du levé. Une vérification directe consiste en une répétition d'une mesure, soit dans les mêmes conditions de mesure, soit dans des conditions différentes. La vérification indirecte est fournie par la comparaison d'une série d'opérations à un résultat connu d'avance. Par exemple, en tachéométrie (procédé stadimétrique), la moyenne des 2 pointés sur les fils inférieur et supérieur correspond à la valeur du pointé sur le fil médian.

Les erreurs sont les petites inexactitudes dans les mesures, dues aux imperfections des instruments et de nos sens. Bien qu'elles

soient minimales lorsqu'elles sont prises isolément, ces erreurs peuvent s'accumuler dangereusement dans certaines déterminations comportant plusieurs opérations de mesures successives.

On distingue les erreurs systématiques, accidentelles, vraies, ou apparentes.

- Les erreurs systématiques proviennent d'un défaut ou d'un manque de justesse d'un instrument. Elles obéissent à une loi et leurs calculs sont donc possibles. Elles peuvent être constantes mais également variables. C'est par exemple, l'erreur d'excentricité de l'axe principal d'un théodolite par rapport au centre d'un limbe gradué. Dans ce cas, il faut procéder à un double retournement pour mesurer cette erreur (P. Merlin, 1964).

- Les erreurs accidentelles proviennent de nombreuses petites causes connues ou inconnues qui peuvent faire différer les résultats successifs obtenus. Citons :

- a) les erreurs de paralaxe lors de la visée,
- b) les erreurs d'interpolation sur une graduation.

Lorsqu'on mesure une longueur par méthode stadimétrique, il y a lieu d'interpoler la position du trait stadimétrique entre deux graduations distantes d'un centimètre (Fig. 6c). L'erreur d'interpolation commise peut être caractérisée par un écart-type de l'ordre de 0,5 mm. Cette interpolation a une incidence importante sur la longueur déduite puisqu'on a vu que la différence des 2 lectures était multipliée par 100. La précision est au mieux égale à 5 cm ( $0,5 \text{ mm} \times 100$ ).

- c) Les écarts de fermeture dans un tour d'horizon.

Un tour d'horizon doit se refermer sur le point de départ, lorsque d'une station plusieurs angles horizontaux sont mesurés ; il faut effectuer les différentes lectures et se refermer sur le premier point visé. L'écart entre les 2 lectures doit être admissible. La fermeture d'un tour d'horizon confirme que l'instrument et en particulier son limbe, n'ont pas bougé au cours d'observations. Lorsque le tour d'horizon ne ferme pas, cela peut provenir d'un choc subi par l'appareil, d'un tassement d'un pied du trépied dans le sol ou d'une torsion sous l'influence du soleil.

- Les erreurs sont vraies dans le cas où l'on connaît la valeur exacte de la quantité X. Si



X est la somme des 3 angles d'un triangle observé sur le terrain, on sait que cette somme est égale à 200 grades dans le cas de triangle de petites dimensions (autres que géodésiques). Dans la pratique, on a l'habitude de considérer les **erreurs de fermeture** qu'il faut répartir sur les différents sommets du triangle.

- Les erreurs sont dites "**apparentes**" lorsque l'on ne connaît pas la valeur exacte de la grandeur X à mesurer, même si l'on exécute un grand nombre de mesures, on ne connaîtra pas la valeur exacte, il faut donc appliquer à ces longues séries de mesures des traitements statistiques appropriés pour rejeter les fausses valeurs et livrer un résultat se rapprochant au mieux de la valeur exacte (R. D'Hollander, 1970).

La répétition des observations est indispensable ; toutefois dans les levés topométriques (autres que géodésiques), il est indispensable de répéter un grand nombre de fois la même mesure (plusieurs dizaines de fois). On se contentera d'obtenir quelques **observations très proches**. Néanmoins, il faut avoir à l'esprit que l'obtention de mesures, en petit nombre, **concordantes** n'impliquent pas nécessairement de bons résultats.

#### 4) Choix et limites d'utilisation d'un instrument.

Le choix d'un instrument est guidé par ces performances techniques mais aussi par sa simplicité d'utilisation pour lequel un minimum de réglages est nécessaire à sa mise en station et à la lecture des observations. Il faut bien avoir à l'esprit que plus l'appareil est performant, plus il est difficile d'emploi et nécessite une plus grande attention et un temps plus long à sa mise en station et à la lecture des observations. Toutefois, il existe des instruments performants très simples et rapides d'emploi à l'exemple de certains niveaux automatiques de précision qui présentent un horizon quasi absolu de la ligne de visée même lorsque l'appareil est imparfaitement horizontal car le rattrapage s'effectue par un système pendulaire.

Avant tout travail sur le terrain, il est impératif de définir au plus juste "**sa précision recherchée et l'incertitude tolérable**". Il faut savoir sous quelles formes les résultats seront exploités. La meilleure précision possible est attendue dans le cas d'une comparaison des coordonnées d'un même point. Dans le cas où

l'exploitation des mesures est effectuée sous forme **graphique**, il faut savoir que le report graphique est entaché d'une "erreur graphique" dont la valeur moyenne est de 1/10ème de mm ; il est donc inutile d'employer des instruments trop précis dont l'erreur moyenne serait très inférieure à l'erreur graphique. La précision de la mesure sera perdue au report.

Les instruments ne peuvent être employés au delà d'une certaine portée maximum qui constitue leur limite d'emploi. Cette limite est atteinte lorsque l'erreur de mesure réduite à l'échelle n'est plus négligeable devant l'erreur graphique et devient au plus égale à cette erreur. En corollaire, pour un même instrument, sa limite d'emploi varie avec l'échelle du report.

En conclusion, pour une mesure donnée et pour une utilisation donnée, il faut choisir l'instrument le plus **approprié** donnant une précision **suffisante** mais non **superflue** et permettant une cadence observation élevée.

#### 5) Méthodologie d'un levé.

Le choix de l'instrument de mesure étant fait, il faut maintenant **adapter** une stratégie ou un programme de levé tenant compte des observations précédentes. Le levé sera conduit de manière à éviter d'appuyer un grand nombre d'opérations l'une sur l'autre qui risqueraient d'augmenter l'erreur finale d'un résultat.

Dans le cas de levé classique, autre que ceux réalisés pour une surveillance, le **cheminement** qui consiste en une détermination successive d'un point à un autre (Fig. 7) sera dit **rayonnant** si d'une même station d'autres points sont déterminés, il devra être **obligatoirement** refermé sur un point connu qui peut être celui du départ ou d'autres (Fig. 8).

Un levé commencera par l'implantation d'une **polygone de base** permettant la vérification de la fermeture altimétrique et de la somme des angles horizontaux devant être égale à 400 grades.

Les points de cette polygone, après **compensation**, serviront au départ de mailles plus petites et indépendantes pour qu'une erreur commise dans une maille ne se répercute pas dans une autre. Ce qui peut permettre l'utilisation de matériels moins performants au fur et à mesure du resserrement des mailles et ainsi de gagner du temps.

Les différentes lectures seront effectuées

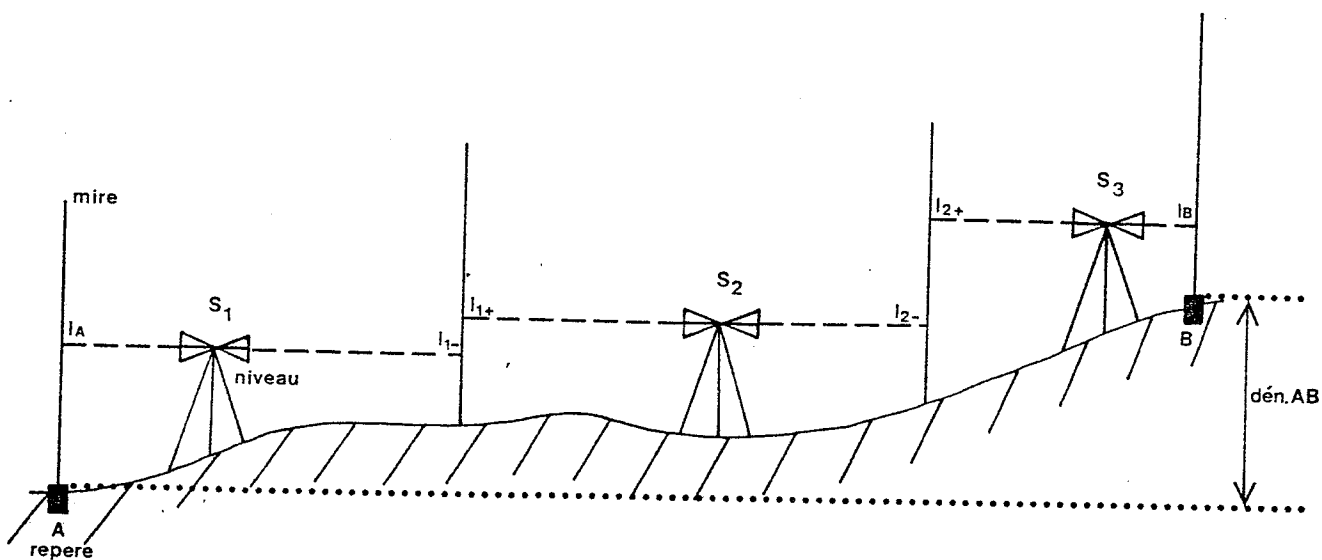


Fig. 7 - Le cheminement en nivellement direct entre deux points A et B.

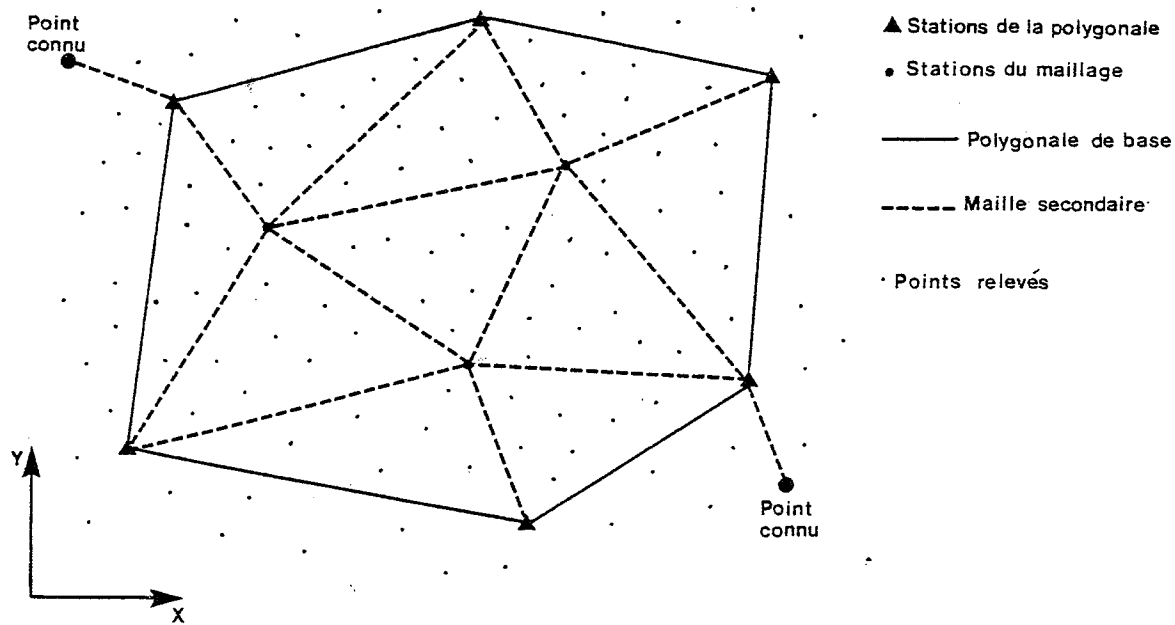


Fig. 8 - Le cheminement rayonnant : Polygonale de base et mailles secondaires.

au moins 2 fois et reportées sur un carnet approprié, avec le plus de soin et de netteté, le double retournement et la fermeture d'un tour d'horizon devant être faits **systématiquement**.

### 6) Conclusion.

Si la détermination d'un point s'effectue avec des instruments de précision, il est illusoire de croire que l'utilisation de ces instruments donne à chaque fois de bons résultats. Au contraire, l'assurance donnée par l'emploi de ces appareils de précision inhibe le plus souvent l'utilisateur peu averti qui a tendance à donner trop de **validité** à ces résultats. La connaissance de toutes les erreurs possibles est **impérative**. Si leur détermination paraît ennuyeuse et fait perdre du temps, si elle est jugée par certains utilisateurs comme injustifiée, les différentes vérifications présentées sont **indispensables**, car elles permettent de connaître l'incertitude qui entache le résultat et par conséquent, alimente sa critique.

Enfin, si la détermination des points est recherchée sans grande précision, il est préférable de se tourner vers des instruments plus rudimentaires, telles les équerres optiques, les boussoles "méridien" et les clisimètres qui sont très faciles à utiliser et permettent d'effectuer rapidement un grand nombre d'observations.

## III - APPLICATION DE LA TOPOMETRIE A

### DEUX EXEMPLES BAS-NORMANDS.

A travers deux thèmes de recherches sur la côte bas-normande, nous montrerons d'une façon plus concrète la démarche topométrique adoptée et donc adaptée à chacune des problématiques et les différents modes de traitement informatique et infographique des données.

Dans le premier cas, il s'agit de suivre l'évolution de **repères** fixés sur le versant en mouvement de Villerville (Fig. 1), de **déceler** et de **quantifier** au plus juste les déplacements et la direction des mouvements. Il va de soi que la méthodologie a été adoptée pour obtenir la meilleure précision (au cm près) compatible avec un temps de levé raisonnable. La méthodologie présentée ici succinctement est détaillée dans un article de O. Maquaire et S. Montaigu (à paraître).

Dans le second cas, il s'agit de suivre l'évolution des profils d'une plage sableuse à Portbail (Fig. 1) et de quantifier les volumes

de sable érodés ou accumulés. Le levé est principalement adapté à une analyse **graphique**.

Pour ces deux études, les appareils de mesure et les méthodes de détermination des points sont différents ; ils ont conduit à la réalisation de programmes informatiques pour l'analyse et le traitement des données spécifiques pour chaque site.

Dans la deuxième partie, nous nous sommes efforcés de montrer combien le respect de toutes les procédures et vérifications était primordial pour apporter aux résultats la qualité souhaitée au départ. Dans le domaine de la "**surveillance**", l'application de la méthodologie choisie doit être appliquée toujours avec la même rigueur tout au long des différents levés pour permettre de les comparer avec succès.

L'installation des repères et du canevas de points fixes, les développements mathématiques et les calculs associés sont largement inspirés des méthodes de traitement utilisées par l'E.D.F. pour la surveillance des barrages et de l'Équipement pour la surveillance des terrains instables et des remblais. Ils ont été cependant simplifiés et transposés à nos dispositifs de surveillance. On trouvera par ailleurs (V. Ashkenazi, 1973) quelques développements théoriques complémentaires fort utiles.

### 1) Les repères.

La surveillance se poursuivant sur plusieurs années, il a été indispensable de matérialiser et d'ancrer les repères de la façon la plus résistante pour éviter leur dégradation par les conditions climatiques ou leur arrachement aisé par des promeneurs.

Notre choix s'est porté soit sur un type de jalons de béton préfabriqués dans un tube PVC servant de coffrage et scellés dans le sol par du béton (Fig. 9a), soit sur une pointrolle en acier enfoncée en force dans une fissure du platier rocheux (Fig. 9b), soit sur des repères d'arpantage pour matérialiser le point sur les chaussées (Fig. 9c). Tous ces repères ont toujours un point de centrage sur lequel ou au-dessus duquel l'appareil de mesure est stationné. A Villerville, certains repères de type A sont équipés à leur tête d'une embase de nivelle.

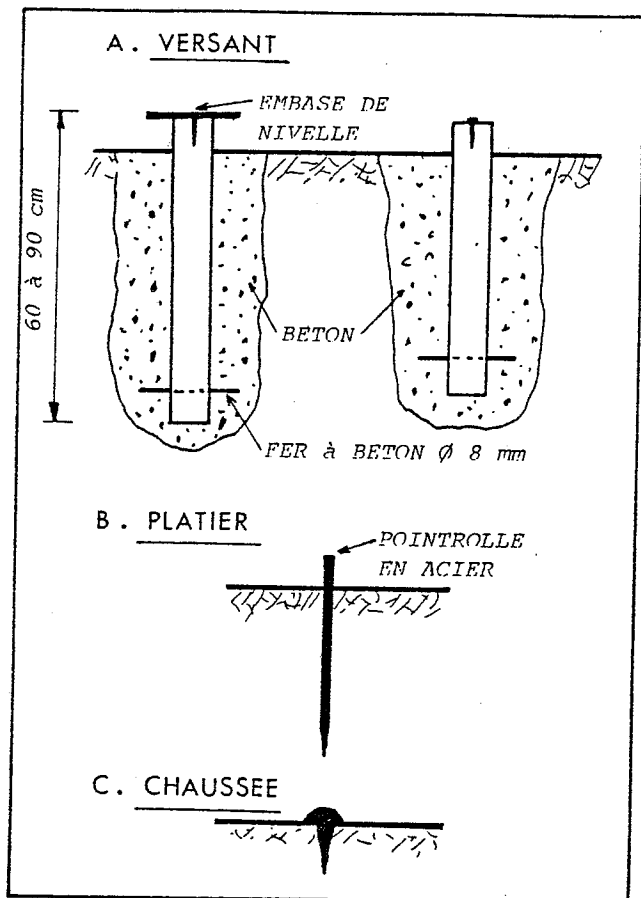


Fig. 9 - Les différents types de repères installés.

2) Suivi des déplacements sur le versant littoral de Villerville.

A l'est de Trouville (Fig. 10), le versant de Villerville a subi des désordres importants depuis janvier 1982 (J.C. Flageolet, E. Heluin, 1984) et il fait l'objet d'une surveillance accrue depuis janvier 1985. Cette surveillance s'exerce principalement dans le domaine de la cinématique des déplacements en surface (topométrie) et en profondeur (inclinométrie), dans le domaine de la climatologie (pluviométrie, températures au sol et dans le sol), dans le domaine de la piézométrie (battement des nappes), ..., dans le but de trouver les causes du déclenchement et de la poursuite des désordres.

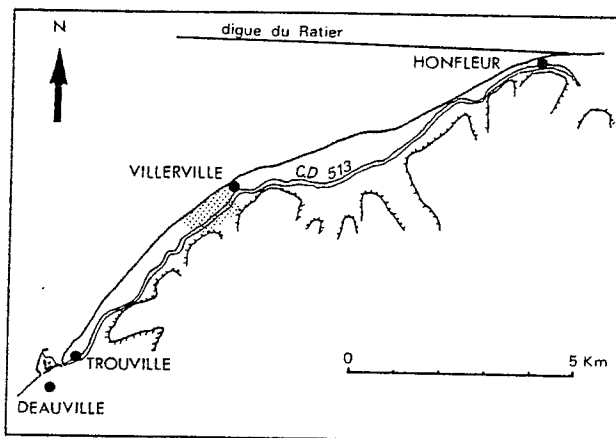


Fig. 10 - Croquis de localisation de Villerville.

2.1. Mise en place des repères (Fig. 11).

Sur une zone d'environ 1 km de long et 600 m de large, 80 repères ont été mis en place. 22 d'entre eux constituent le canevas de points fixes (polygone de base), disposés en dehors de la zone actuellement en mouvement ou susceptible de l'être dans un avenir proche; la stabilité de ces points fixes est contrôlée par la topométrie et par relevé à la nivelle de précision à vis micrométrique (B. Pincent, 1978). On remarque sur la figure 11 qu'une large zone n'a pas de repère en raison de son inaccessibilité (coulées boueuses, végétation intense, ...).

2.2. Les levés.

Une triangulation effectuée avec un théodolite Wild T2 équipé d'un distancemètre DI 4 S, a été adoptée en raison de la performance de la méthode et des instruments. Les distances sont données au millimètre près et les angles peuvent être lus au décimilligrade.

Le stationnement au dessus du point de centrage du repère est effectué avec minutie à l'aide d'un plomb optique avec contrôle au fil à plomb. L'utilisation d'embase pour centrage forcé aurait amélioré la précision par l'élimination de l'erreur de centrage et aurait permis un stationnement plus rapide. Elle n'a pu être retenue pour des raisons d'économie. Le prisme est fixé à l'extrémité d'une canne télescopique qui permet de nous affranchir des obstacles bas (inf. à 2.10 m). La mise en station est facilitée.

tée par un niveau à bulle et maintenue par un trépied à pince (Fig. 12).

Un grand nombre de stations (40) a été nécessaire en raison de la topographie accidentée du versant et de la couverture forestière rendant impossible la mise en place d'un système de visée basé sur l'emploi de 2 à 4 stations en pied du versant sur le platier à l'exemple de la surveillance d'un remblai d'essai sur versant instable à Salledes (P. Pouget et al., 1984).

Pour l'ensemble du dispositif, le temps de mesure est de l'ordre de 3 à 4 jours selon les conditions météorologiques, et la présence de 3 à 4 personnes est nécessaire. 200 visées sont effectuées (Fig. 13). Il faut également rappeler que les stations E1 à E4 sont installées sur le platier rocheux et qu'il faut donc attendre la marée basse pour accéder à ces stations contraignantes.

La précision obtenue, dont on développe succinctement plus loin les divers éléments, s'est révélée tout à fait satisfaisante en planimétrie. Par contre, en altimétrie, elle est de 5 à 10 fois moins bonne que celle obtenue par un bon nivellement, méthode très rapide et très simple qui peut être retenue si la pente du terrain n'est pas trop forte. La précision obtenue sur les cotes verticales est 2 fois moins bonne qu'en planimétrie.

### 2.3. Traitement des données.

Pour chaque visée, 4 mesures de lecture sont effectuées au moins 2 fois ou plus pour les visées longues (distance oblique, angle horizontal, angle vertical, hauteur du prisme) et pour chaque station, la hauteur de l'appareil (hauteur des tourillons) est mesurée.

Ce qui nous fait un fichier d'environ 800 données à traiter. La détermination par triangulation des coordonnées d'un point n'est possible que grâce à l'aide d'une série de programmes informatiques spécifiques. Ils ont été développés en collaboration avec S. Montaignu en 1985, lors d'un stage de fin d'études de l'Ecole Nationale des Sciences Géographiques (I.G.N. Paris).

En planimétrie par triangulation, à partir de 2 stations de coordonnées connues, il est possible de définir 6 points à chacun desquels peut être associé un quadruplet de grandeurs  $G_A^M, D_A^M, G_B^M, D_B^M$  (Fig. 14), représentant les gisements et distances relatifs aux stations A et B. Certaines de ces grandeurs  $G_A,$

$G_B, D_A, D_B,$  sont mesurées, d'autres calculées d'après la géométrie de la figure.

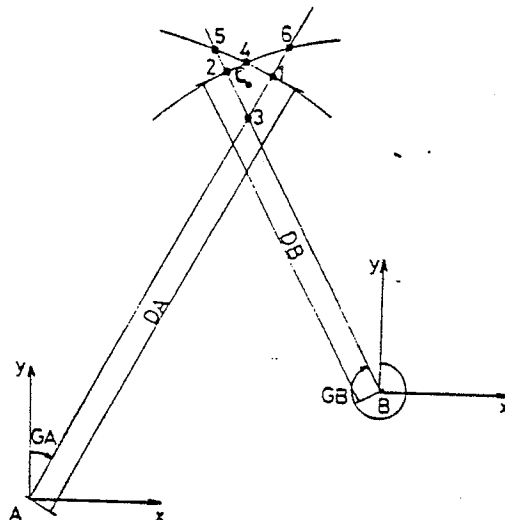


Fig. 14 - Schéma de positionnement d'un point par triangulation.

La position la plus probable du repère visé et celle du point C dit "point compensé", telles que les coordonnées de C,  $G_A^C, G_B^C, D_A^C, D_B^C$ , par rapport aux stations A et B, soient "les plus proches possibles" des coordonnées mesurées par les appareils. La méthode de calcul par les moindres carrés adaptée à ce type de calcul a été adoptée (J.J. Levallois, 1962).

La précision obtenue est de l'ordre de 2 cm et elle est variable pour chaque point selon qu'il est déterminé à partir d'une station, de 2 stations ou plus (Fig. 13).

Les étapes du traitement sont présentées dans l'organigramme Fig. 15.

L'édition des solutions définitives de chaque point est livrée avec les résidus d'angles et de distance pour chaque visée.

La comparaison des fichiers de solutions définitives donne la valeur des déplacements sur table traçante.

Le nivellement indirect donnant des résultats nettement moins bons qu'en nivellement direct, les altitudes obtenues par le premier type de levé, sont contrôlées une fois par un nivellement direct effectué au niveau d'ingénieur automatique NA 1 Wild.

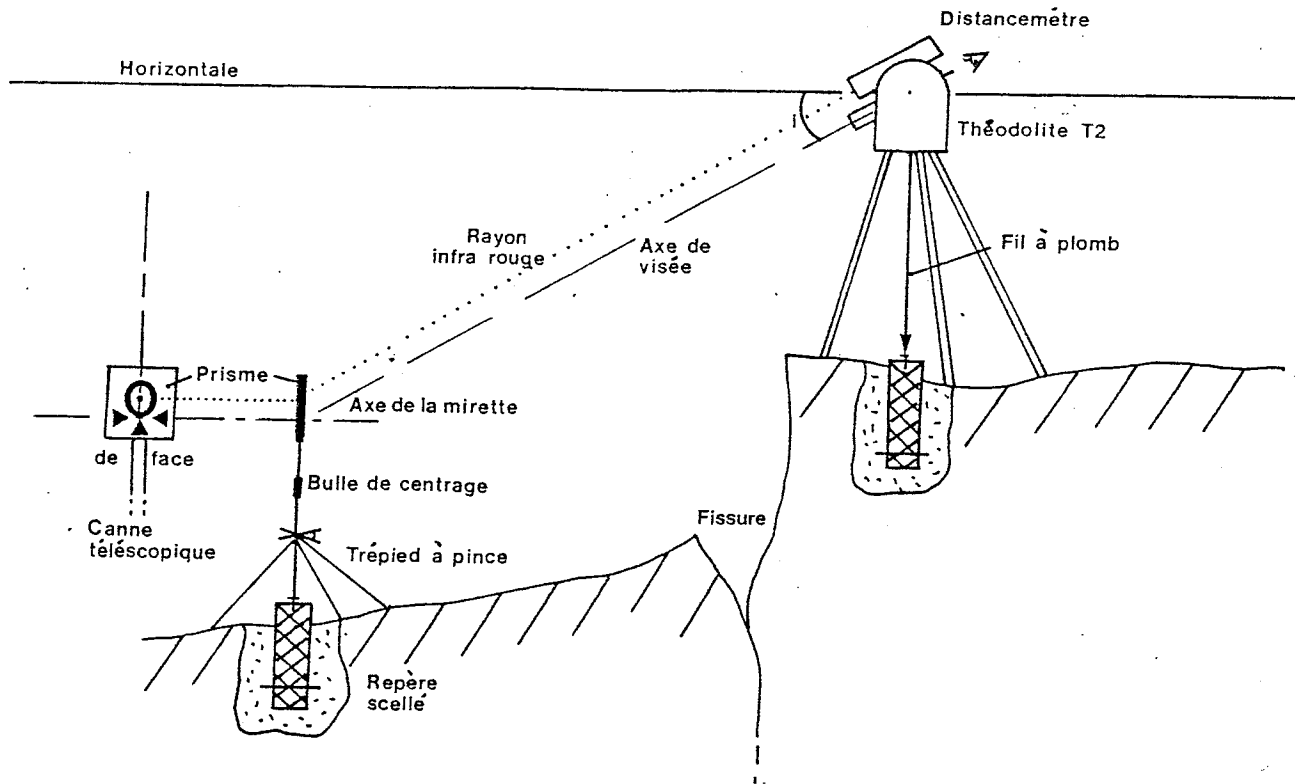


Fig. 12 - Stationnement des appareils sur les repères.

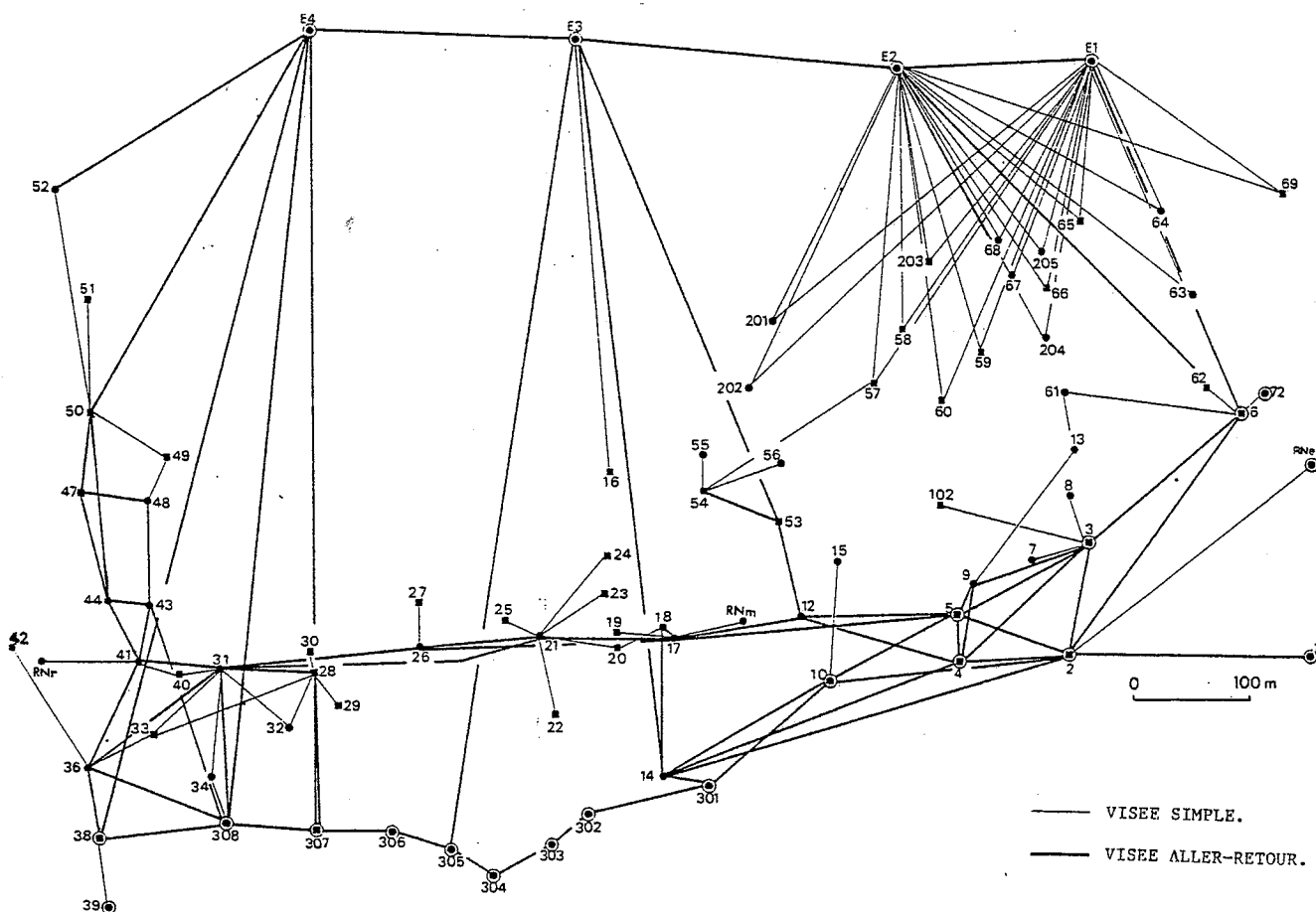


Fig. 13 - Schéma de visées effectuées lors d'un levé topométrique à Villerville.

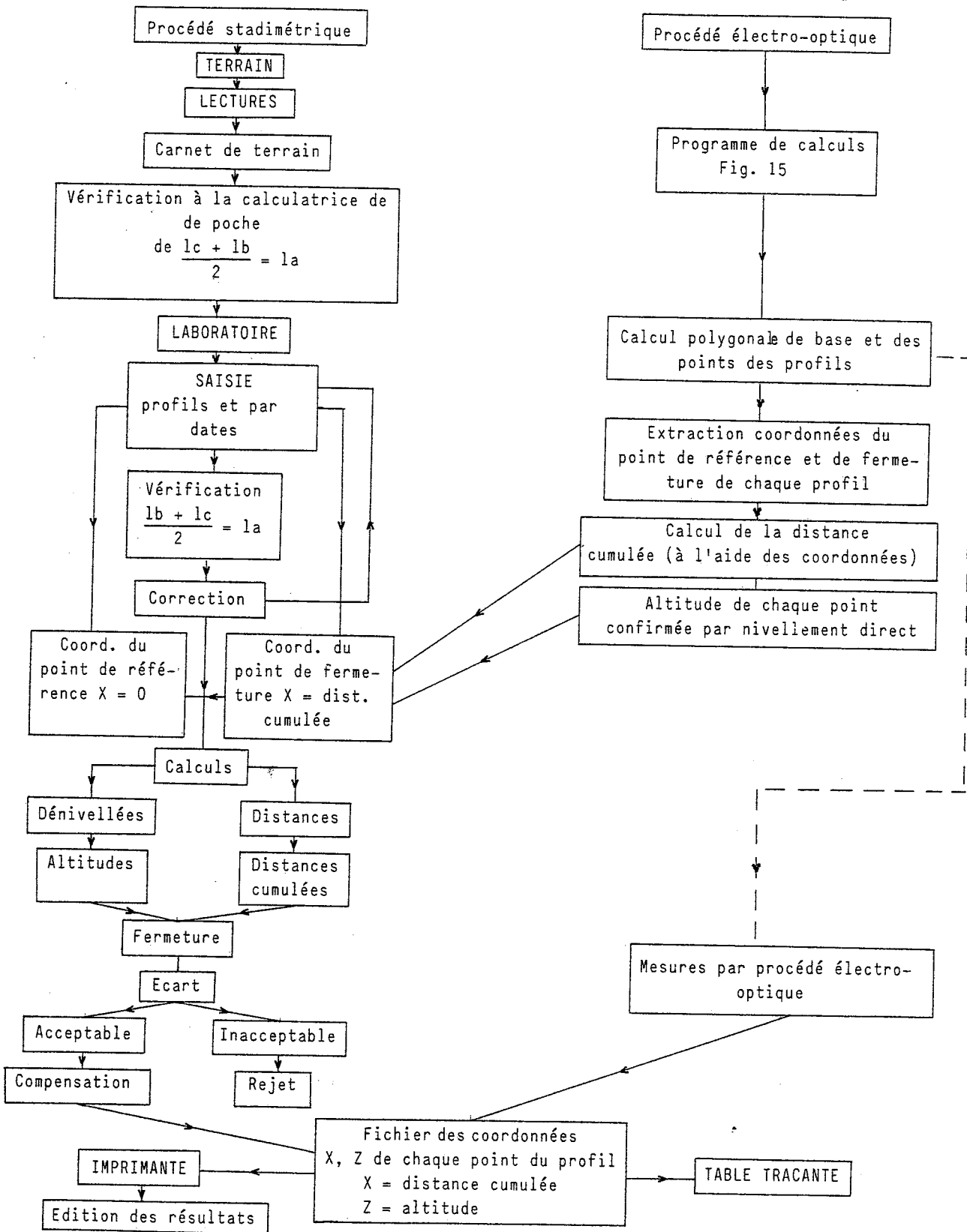


Fig. 17 a - Organigramme du programme PROFIL de PLAGÉ : saisie des données et calculs.

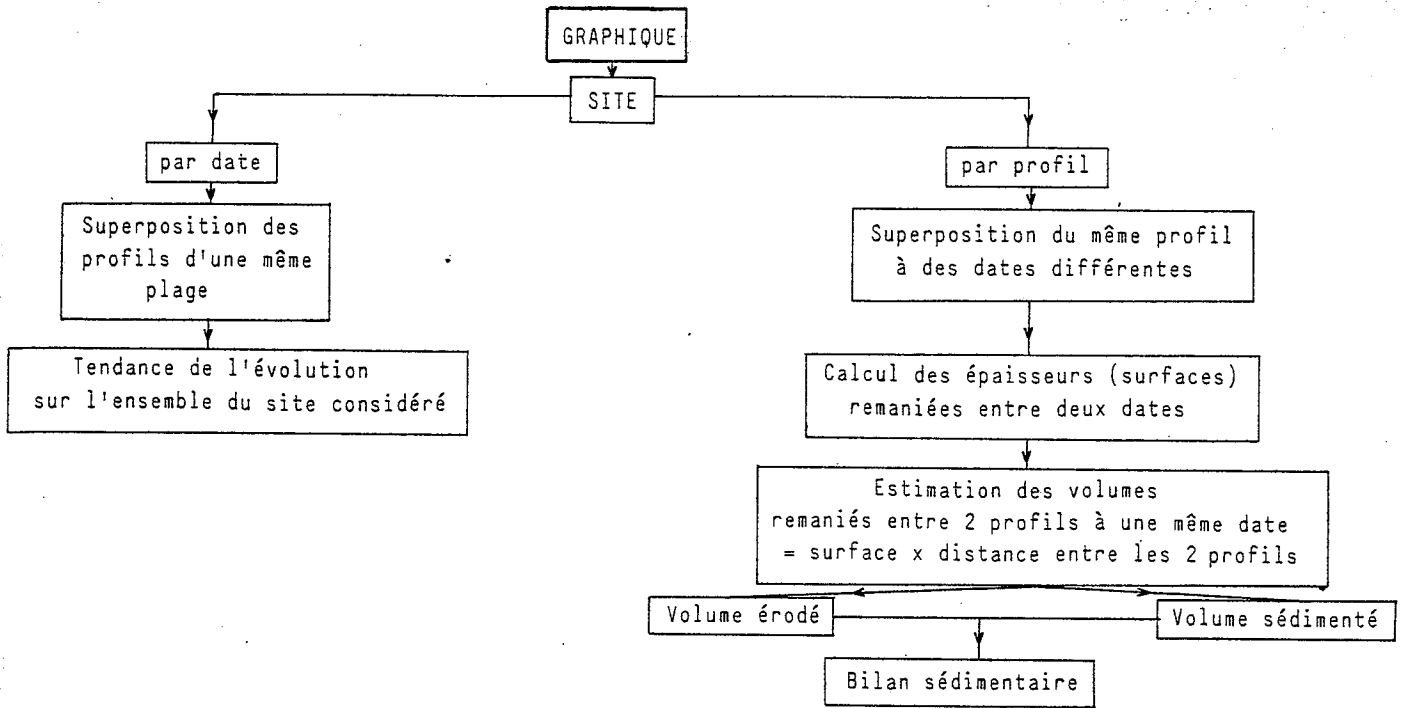


Fig. 17 b - Organigramme du programme PROFIL de PLAGES : graphisme et calculs d'aires.

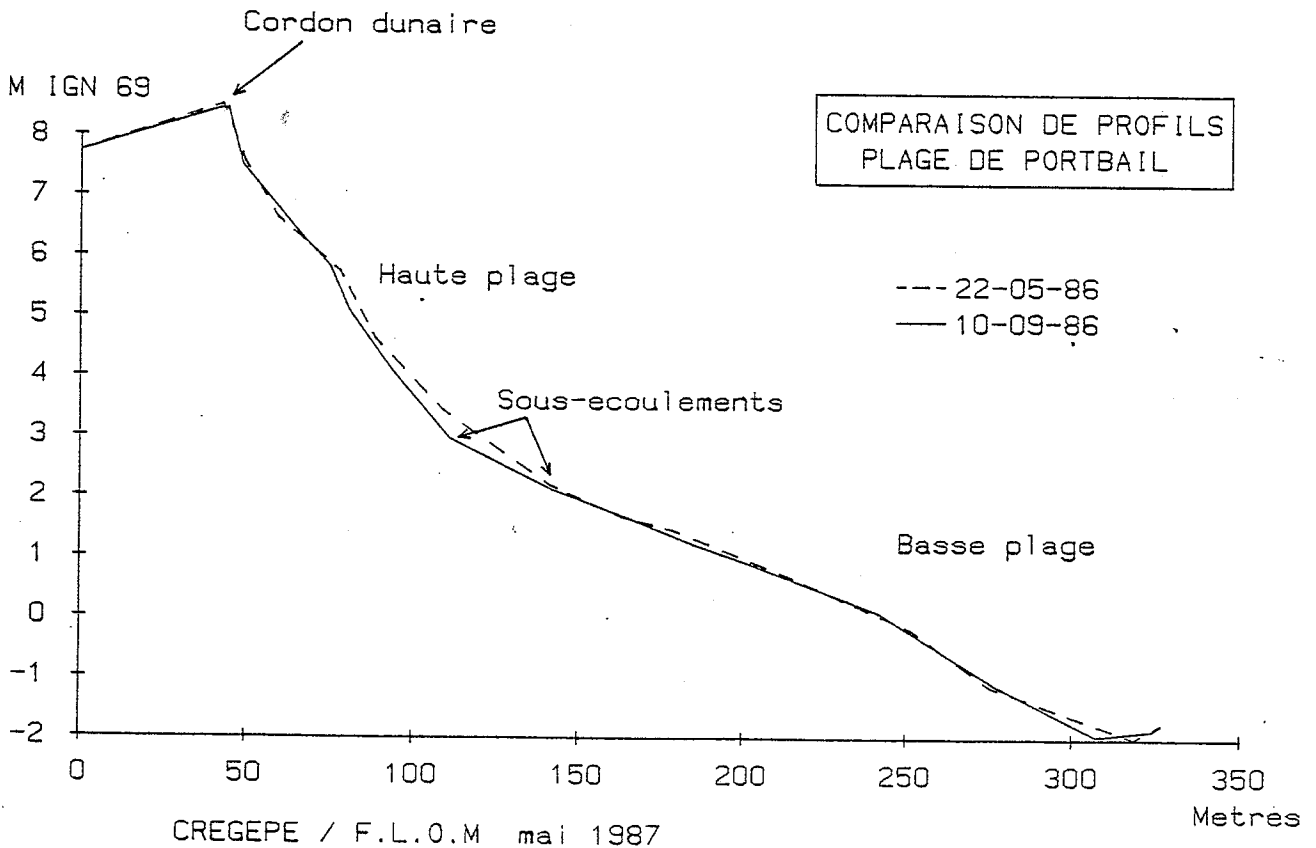


Fig. 18 - Exemple de sortie graphique de deux profils de plage.



les différents sommets du profil. La saisie, la compensation et le listage des solutions définitives sont réalisés grâce à un logiciel spécifique développé par Pascal Allain (Université de Caen)(Organigramme du Logiciel - Fig. 17a & b). Une sortie sur table traçante permet de visualiser les séquences chronologiques successives de profils de plage et de déterminer par ordinateur interposé les épaisseurs puis volumes remaniés durant une période de temps et un espace donné (Fig. 18).

Compte tenu des incertitudes liées aux levés topographiques et à l'estimation des épaisseurs remaniées, les résultats obtenus doivent être considérés comme des ordres de grandeur à 5 cm près nécessitant par conséquent une critique.

Ces résultats sont de deux types :

- le bilan ou solde sédimentaire qui est égal à la somme des volumes sableux apportés (engraissement) ou soustraits (érosion) pour une période et un espace préalablement définis. Il est nécessairement positif ou négatif.
- le remaniement ou mobilité sédimentaire qui est égal à la somme en valeur absolue des volumes sédimentés et érodés.

#### 4) Conclusion.

Les expériences réalisées tant à Villerville qu'à Portbail montrent la nécessité d'une grande attention lors des lectures des observations et de leurs reports sur le carnet. Dans le domaine de la surveillance, le protocole choisi au départ doit être mis en oeuvre avec la même rigueur pour obtenir des résultats cohérents et de bonnes qualités. Les nombreux calculs et les compensations sont facilement et rapidement effectués grâce à des traitements informatiques et infographiques adaptés aux différents types de levés.

#### IV - CONCLUSION.

En géomorphologie dynamique, la topométrie apparaît comme une méthode indispensable pour une quantification des processus. Elle va permettre le développement de modèles déterministes aboutissant à des simulations à caractères fondamentaux ou appliquée à l'aménagement.

L'utilisation de cette technique nécessite cependant une bonne connaissance de ses principes, de ses méthodes mais surtout des nombreux

ses erreurs possibles qu'il est impératif de cerner et de calculer.

Nos nombreuses expériences sur le littoral bas-normand ont montré qu'il est nécessaire d'adapter les méthodes aux sites d'étude et à la précision recherchée. La mise en oeuvre reste une opération coûteuse en temps demandant une grande rigueur lors des levés et des traitements.

Avant tout travail sur le terrain, un protocole de levé doit être défini pour utiliser l'appareil adéquat et obtenir une précision non superflue mais en rapport étroit avec celle recherchée. Les importants traitements statistiques ou graphiques ne sont possibles qu'avec l'utilisation de logiciels informatiques et infographiques, élaborés en collaboration, qui permettent d'effectuer et de traiter rapidement une campagne de mesures. Le CREGEPE qui s'est équipé dans le domaine du traitement des données, espère dans un avenir proche, acheter ses propres instruments performants (théodolite et distancemètre) qui lui permettront d'être totalement indépendant (et non tributaire d'une location) permettant une intervention rapide sur le terrain pour mesurer l'importance d'un événement survenu (mouvements de terrain, érosion, submersion, ...).

#### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Ashkenazi (V.), 1973 : The measurements of spatial deformation by geodetic methods. Symp. of Brit. Geotech. Eng. Society on Field Inst. in Geotech. Eng.
- Charlot (P.), Hottier (P.), 1979 : Les réseaux de nivellement modernes exécutés avec le niveau non automatique sont entachés d'une erreur systématique à pente positive vers le nord. Cause et preuves de l'existence de l'erreur. Il n'y a pas de montée des eaux de l'équateur au pôle. Paris, I.G.N., 34 + 8 p. multigr.
- Daubord (B.), 1984 : Vingt ans d'auscultation d'un versant de Tarentaise. Journées d'études "Auscultation des ouvrages en Terre et des terrains". 11 & 12 déc. E.N.P.C. Paris, 12p.

Delahaye (D.), 1986 : Les marais littoraux du nord-est du Cotentin. Dynamique sédimentaire et hydrologie. Etude de deux cas. Mémoire de maîtrise. Université de Caen. 137 p. Editions du CREGEPE.

De Moor (G.), 1979 : Premiers effets du rehaussement artificiel d'une plage sableuse le long de la côte belge. CNEXO, Actes du Colloque N° 9, p. 97 à 114.

D'Hollander (R.), 1970 : Topographie générale Tome 1 : Généralités mesures des angles et des distances. 363 p. Tome 2 : Les procédés topographiques en planimétrie et en nivellement. 360 p. Collection scientifique de l'Institut Géographique National. Ed. Eyrolles Paris.

Follaci (J.P.), 1984 : Surveillance des déplacements du versant de la Clapière à Saint Etienne de Tinnée. Journées d'études "Auscultation des ouvrages en terre et des terrains". 11 & 12 déc. E.N.P.C. Paris, 9 p.

Guérard (C.), 1971 : Morphologie et solifluxion, Vallon des Bottentuits. Mémoire de maîtrise. Université de Caen. 84 p.

I.G.N. : Répertoire des emplacements et altitudes des repères du nivellement général de la France par feuille au 1/50 000è. Publié par l'I.G.N. Paris.

I.G.N. : Répertoire des coordonnées et altitudes des points géodésiques et des points de triangulation complémentaires par feuille au 1/50 000è. Nouvelle triangulation de la France. Ellipsoïde de Clarke 1880, Projection Lambert. Publié par l'I.G.N. Paris.

Larocque (G.), 1977 : Pit slope manual chapter 8 -, monitoring, CANMET (Canada Center for mineral and Energy Technology, Formely Mines Branch, Energy, Mines and Resources Canada), CANMET REPORT, 77 - 15, 188 p., Aug. 1977

Le Rhun (J.), 1982 : Etude physique de la Baie du Mont Saint Michel. Thèse 3ème cycle. Paris I. 313 p.

Levoy (F.), 1985 : Les risques naturels en milieux littoraux sableux. Côte ouest du Cotentin. Mémoire de maîtrise. Université de Caen. CREGEPE. 292 p.

Levoy (F.), 1986 : Dynamique sédimentaire et aménagement contre l'érosion du littoral de Portbail. Université de Caen, CREGEPE - Mairie de Portbail, 2 vol.

Maquaire (O.), 1983 : Instabilité et recul du littoral entre Port en Bessin et le chaos de Longues sur Mer : le glissement du Bouffay (5 août 1981), Calvados. Mémoire de maîtrise. Université de Caen. 154 p.

Maquaire (O.), Gigot (P.), Ballais (J.L.), 1984 : Etude du glissement du Bouffay (5 août 1981) : réflexions en vue de la prévision et la prévention. Colloque Mouvements de Terrain. Doc. BRGM N° 83. p. 29 - 40.

Merlin (P.), 1964 : La topographie. PUF Q.S.J. 128 p.

Miserez (A.), 1984 : Evaluation de l'ampleur des mouvements du sol d'un flanc de vallée dans les Alpes valaisanes (Suisse). Journées d'études "Auscultation des ouvrages en terre et des terrains". 11 & 12 déc. E.N.-P.C. Paris. 11 p.

Pelletier (M.), 1982 : Les ingénieurs géographes sur les côtes de Bretagne 1771-1785. 107ème Congrès National des sociétés savantes. Brest. p. 39 - 47.

Pincet (B.), 1977 : Surveillance des glissements de terrain. Revue française de Géotechnique N° 1, pp. 92 - 104.

Pincet (B.), Blondeau (F.), 1978 : Détection et suivi des glissements de terrain. 3ème Congrès de Géologie de l'Ingénieur. Madrid. Comptes-rendus Vol. 1. pp. 252-266.

Poisson (B.), 1985 : Etude des problèmes d'hydrologie et d'hydrodynamique le marais intercommunal des Mottes. Mémoire de maîtrise. Université de Caen.

Solenthaler (H.), 1981 : Le nivellement à la portée de tous. Manuel dépliant. 18 p. Ed. Wild.

Vialard (A.), 1970 : Précis de calculs topométriques. 3ème Ed. Ordre des Géomètres Experts. Paris 126 p.