

IDÉES DE BASE POUR LE CHOIX DES INSTRUMENTS

D'UNE ENTREPRISE DE PHOTOGRAMMÉTRIE

Ing. Dott. ROBERT VERLAINE

Secrétaire Général de l'Organisation Européenne d'Études Photogrammetriques
Expérimentales. Belgique.

1. Introduction.

1.1. L'exécution économique de levés de toutes catégories, à toutes les échelles et dans diverses conditions, conduit normalement à recourir à des procédés et des appareils différents.

Le choix des moyens instrumentaux d'une entreprise de photogrammétrie résulte de la prise en considération de facteurs très variés et l'importance relative attribuée à chacun des paramètres se modifie en fonction des circonstances. Selon qu'il s'agit d'un organisme d'Etat ayant mission d'élaborer, à une cadence déterminée, l'infrastructure cartographique de base de tout un pays ou bien d'un service de photogrammétrie intégré dans un établissement d'intérêt public dont l'objectif final consiste à réaliser des voies de communication ou des améliorations du sol ou encore d'une entreprise privée qui, à priori, n'a pas la garantie d'un travail continu et homogène, les problèmes liés à l'équipement se présentent sous des aspects assez différents. Lorsqu'il faut définir les moyens convenant à la constitution d'un service cartographique dans un pays en développement, les contingences pesant sur les conditions de fonctionnement, les éléments de départ, les impératifs des besoins sont de nature à orienter parfois la sélection des moyens et des procédés dans des voies apparemment moins rationnelles.

Il va de soi que la nature de la mission, l'importance et la continuité du programme, la spécialisation de l'entreprise et sa production, le statut de l'organisme et les répercussions de celui-ci sur les aspects budgétaires et les problèmes posés par le personnel (recrutement formation, régime des prestations, ...), les circonstances locales constituent un ensemble d'éléments dont il convient de tenir compte.

De plus, la pondération affectée aux critères techniques comporte une part de subjectivité dans laquelle les connaissances et l'expérience des responsables interviennent.

1.2. Quant à l'assortiment instrumental proposé, il s'est largement étalé au cours de ces dernières années et une évolution profonde se poursuit dans plusieurs directions.

1.2. La classification des appareils est arbitraire et les critères sur lesquels cette répartition repose, suscitent périodiquement des discussions.

De plus, il y a lieu de noter que les données techniques de base du problème, c'est-à-dire les méthodes et les instruments, sont l'objet de recherches et de modifications continues.

Les développements de l'automatisme conduisent à reconsidérer les processus et les méthodes d'exécution des diverses opérations. La nécessité d'augmenter la vitesse de production ou de réduire les délais globaux de sortie des résultats place l'accent sur les questions d'organisation des phases de production.

L'automatisation (surtout lorsqu'elle aura atteint le stade du tracé) pose des problèmes d'investissement et de concentration éventuelle. Les documents devant rester lisibles, fidèles et complets, la formation topographique ne pourra pas être délaissée au niveau de certaines opérations (tracé des courbes, etc...) mais il en résultera néanmoins une reconversion d'une partie du personnel et des exigences nouvelles dans sa

formation.

Une littérature importante traite de ces sujets. Il existe donc une variété considérable de formules utilisables pour équiper une entreprise.

Cette diversité n'est certainement pas un indice d'indigence technique. Elle illustre plutôt l'extension du champ d'application des procédés. C'est un signe de croissance de la photogrammétrie.

Dans le cadre de la présente manifestation, c'est avec plaisir que je m'associe à l'hommage rendu à Monsieur l'Ing. Santoni pour la contribution importante qu'il n'a cessé d'apporter au développement des instruments au cours de sa longue carrière.

Son dernier-né témoigne, une fois de plus, de son souci élevé de la recherche de la précision et concrétise sa foi dans les possibilités et dans l'avenir des instruments de 1er ordre.

1.3. Diversité des problèmes de levé.

1.3.1. Une carte n'est pas une fin en soi et, pour résoudre les problèmes multiples en vue desquels ils sont élaborés, les plans doivent satisfaire à un certain nombre d'exigences.

Les procédés adoptés doivent évidemment tenir compte des conditions rencontrées (terrain, surfaces, etc...) et toute solution d'équipement doit être apte à satisfaire aux tolérances imposées dans des conditions de délai et de prix de revient acceptables.

En fonction des buts auxquels il répond, un levé se caractérise par :

- a) l'échelle du document final
- b) les erreurs planimétriques et altimétriques tolérées
- c) le nombre et la nature des détails à représenter
- d) la forme de présentation des informations.

Il y a lieu de noter que, dans les levés réguliers, l'échelle de publication d'une part, les tolérances planimétriques et altimétriques d'autre part, ne sont pas des paramètres indépendants.

L'altimétrie est généralement représentée par des courbes et des points cotés. L'équidistance dépend de la pente du terrain et de l'échelle.

En planimétrie, la richesse des détails et leur représentation métrique (position et grandeur) sont également liées à l'échelle.

Tandis que les grandes échelles sont caractérisées par une densité considérable de détails, souvent représentés en vraie grandeur, les échelles moyennes et petites s'accroissent d'une généralisation et d'une stylisation plus ou moins grandes.

Les détails y gardent une dimension conventionnelle et leur position relative conserve son importance.

On constate également que les exigences de précision sont inversement proportionnelles aux échelles : les erreurs les plus faibles sont imposées aux grandes échelles.

Ces caractéristiques permettent de classer les levés en 3 grandes catégories :

1. *Levés aux grandes échelles*

Ceux-ci se subdivisent d'ailleurs en :

- a) levés dans lesquels la précision altimétrique et planimétrique sont également recherchées
- b) plans dans lesquels la précision planimétrique est prépondérante.

Dans cette classe, le recours à des méthodes graphiques, numériques ou mixtes résultent de considérations de précision, d'économie ou d'organisation en fonction de buts poursuivis ou des conditions d'utilisation.

En pratique, les procédés d'aérotriangulation jouent actuellement un rôle de plus en plus considérable dans l'élaboration de ces documents.

Certaines solutions instrumentales font appel à des outils de calculs importants et à des moyens de transfert au plan tels que les coordinatographes automatiques.

- c) Cas où l'altimétrie est spécialement envisagée. Les plans comportent des courbes de niveau et des points cotés en nombre plus ou moins élevé selon les cas. La représentation digitale intervient fréquemment dans les levés pour le génie civil en vue de définir le terrain soit par des modèles numériques comportant les coordonnées d'un grand nombre de points régulièrement répartis soit par des profils enregistrés à des distances judicieuses.

Lorsque la planimétrie n'offre qu'un intérêt relatif et que l'altimétrie est réalisée sous forme digitale (avec ou sans courbes), l'emploi d'orthophotographies peut s'avérer intéressant.

2. Cartes aux moyennes échelles (1/10.000 au 1/50.000)

Cette classe comprend les cartes topographiques de base dont les exigences planimétriques et altimétriques sont habituellement définies par des normes régulières.

Dans les pays neufs, les documents aux échelles du 1/50.000 et inférieures s'élaborent couramment par application directe de la photogrammétrie et les procédés d'aérotriangulation y sont d'emploi généralisé.

Des cartes planimétriques à ces échelles appartiennent également à cette catégorie. On distingue :

- a) les cartes topographiques de régions dépourvues de relief. Pour établir la planimétrie, on recourt soit aux procédés de restitution stéréoscopiques, soit au redressement (l'altimétrie éventuelle provient de l'application des procédés classiques de nivellement).
- b) les travaux de révision ou de mise à jour de cartes existantes.

Les solutions proposées font état de l'utilisation soit de redresseurs (avec ou sans correction de relief), soit d'instruments dits d'ordres inférieurs. Elles appellent des précisions sur la nature et le nombre de détails à mettre à jour ou à compléter. Elles soulèvent des problèmes d'ordre économique (échelles des prises). A noter que les photocartes ne constituent pas des cartes au sens courant du terme (peu ou pas de dessin, ni sélection, ni conventionalisation, ni écritures...).

Elles peuvent être surchargées.

Elles sont utilisées comme documents de substitution aux cartes graphiques soit sous leur forme originale soit transformées photomécaniquement. On les emploie aussi comme fonds intermédiaires.

3. Cartes aux petites échelles (1/100.000 et au-delà)

Dans cette catégorie, on peut distinguer les levés réguliers au 1/100.000 et au 1/200.000 et les levés expédiés à ces échelles. Ces derniers constituent généralement des documents assez complets quant à la nature et à la quantité de détails planimétriques représentés mais les tolérances relatives à la précision planimétrique et altimétrique ainsi qu'à la fidélité de représentation altimétrique sont ou peuvent être réduites.

Aux petites échelles, il faut généralement réaliser les cartes économiquement, dans des délais relativement courts après la prise de vues, et à partir d'appuis de valeur, de répartition et de densité variables. L'échelle photographique de prise est habituellement plus grande que celle du document final. L'édition d'une feuille demande le traitement d'un grand nombre de couples. Le détail planimétrique est souvent peu dense mais parfois de dimensions réduites.

L'application de procédés variés de triangulation est importante à ces échelles.

L'utilisation d'indications auxiliaires est fréquente dans la compensation des cheminement ainsi que dans les méthodes de restitution directe des clichés.

2. Le problème étant ainsi posé, on se bornera à en parcourir trois points importants qui peuvent s'énoncer comme suit :

- 1) satisfaire aux exigences
 - 2) produire économiquement
 - 3) tenir compte de circonstances particulières.
- 2.1. Satisfaire aux exigences.

Il faut que le matériel choisi puisse répondre à cette première obligation sans limiter trop étroitement les conditions de fonctionnement des instruments et les modes opératoires. Il devra permettre l'aménagement des méthodes utilisées pour tenir compte des progrès des procédés et s'adapter aux circonstances.

Tout levé photogrammétrique comporte, en principe, les phases essentielles ci-après :

La prise de vues, la détermination des appuis et le précomplément éventuel, la restitution, le contrôle, le dessin et l'édition.

Les statistiques montrent que la restitution intervient dans le coût total des opérations de levé pour un pourcentage inférieur à celui occasionné par les travaux de terrain. On a d'ailleurs cherché à réduire ces derniers, surtout les retours au terrain, en agissant sur les conditions photographiques et en utilisant de plus en plus, outre les moyens électroniques, de mesure des distances, les procédés d'aérotriangulation ou les indications d'appareils auxiliaires (A.P.R. ...).

2.1. De même que l'économie du processus utilisé est celle de l'ensemble des opérations, la précision finale résulte de celle des différentes phases des travaux.

Abstraction faite des erreurs sur les appuis et de la qualité du dessin, la précision du levé est, en définitive, fonction de la valeur de la prise de vues et de la restitution.

La régularité et la qualité de la couverture photographique jouent un rôle considérable dans toutes les opérations ultérieures: elles conditionnent la précision et l'économie de l'ensemble. En aérotriangulation, la régularité des vols et la qualité des clichés réduisent les influences accidentelles dans les mesurer, maintiennent le fonctionnement des appareils dans des conditions normales et limitent la complexité des compensations. Il en résulte une précision et une rentabilité accrues.

En aérocheminement, comme en restitution, il est clair qu'il y a toujours intérêt à exécuter les prises de vues à la plus petite échelle compatible avec les exigences car la surface du couple — c'est-à-dire le nombre de bandes et de couples à voler, préparer, trianguler et restituer — croît proportionnellement au carré de l'altitude de prise.

D'autre part, on sait que l'obtention d'une haute précision en altimétrie pose des problèmes plus délicats qu'en planimétrie, car cette dernière s'accommode de rapports plus grands entre échelles de prise et d'édition du plan surtout s'il s'agit d'une restitution graphique et l'exécution des photos de qualité à altitude réduite s'avère malaisée.

En pratique, l'échelle de prise constitue un compromis dicté par l'économie d'une part et les spécifications de précision d'autre part.

Dans le cas normal et pour un terrain dépourvu de relief, la précision altimétrique s'exprime par la relation

$$dh = \frac{H}{B} \frac{H}{f} dp_x$$

dans laquelle dp_x est une erreur totale de parallaxe résultant d'erreurs d'origines multiples affectant les valeurs des coordonnées des points homologues dans les clichés correspondants. Quoiqu'il ne s'agisse pas des plus importantes, certaines d'entre elles proviennent de l'instrument restituteur (erreurs de projection, etc...).

Cette expression montre l'influence du schéma géométrique de prise adopté sur la précision.

On a vu que l'altitude de prise, c'est-à-dire l'échelle, est limitée par des considéra-

tions économiques.

En pratique courante, on utilise, dans certains cas, des combinaisons de prise et de restitution permettant de tirer parti des grands angles et des grands formats.

Mais le recours aux grands rapports de base, plus favorables en altimétrie qu'en planimétrie (voir les tests expérimentaux), connaît des limites surtout aux grandes échelles. Il est établi que lorsque ce rapport dépasse une certaine valeur, le profit réel ne suit plus la progression espérée théoriquement. Si l'accroissement de l'angle intervient directement dans la précision altimétrique, il semble que cette action bénéfique soit réduite par suite de la difficulté de pointé stéréoscopique et de son influence sur la valeur de dpx. En pratique, l'amélioration due à ce paramètre n'est donc ni illimitée, ni inconditionnelle.

Il en résulte qu'en vue de la précision indispensable aux grandes et moyennes échelles, il faut se placer dans des conditions opératoires assurant des dpx aussi réduites que possible.

La qualité de la géométrie des clichés et des faisceaux perspectifs qu'ils définissent y contribue de façon importante, mais encore insuffisante, comme l'attestent les analyses des résultats expérimentaux. D'autre part, l'amélioration de la qualité des images résultant de l'accroissement de la résolution des optiques actuelles réduit les dimensions des plus petits détails identifiables et mesurables et par là augmente la sensibilité et la précision des observations.

Mais, en définitive, il faut faire appel à des instruments conçus et réalisés pour valoriser complètement ces améliorations et permettre des mesures de grande précision.

Ce choix s'indique davantage encore si les photos ne réunissent pas toutes les qualités souhaitées ou si les circonstances (délais, difficultés météorologiques, etc...) contraignent les utilisateurs à employer des clichés pris à des altitudes qui ne concordent pas entièrement avec les exigences de l'échelle finale demandée.

On notera encore qu'il est souvent préjudiciable au rendement de faire travailler les appareils à la limite de leurs possibilités et que, pour une précision bien définie, toute concession sur la qualité de l'instrument se soldera par une réduction inéluctable d'échelle de prise c'est-à-dire d'économie.

En d'autres termes, en se référant à la restitution proprement dite et en considérant schématiquement que l'erreur totale commise sur un détail restitué comprend des termes relatifs aux erreurs provenant de l'identification des détails, du pointé, de la construction du modèle, de sa mise à l'échelle et de son orientation par rapport au système de référence de la transmission au coordinatographe ou à l'enregistreur, on voit clairement que l'obtention de la précision requise aux grandes échelles ou en aérotriangulation réclame des instruments (analogique, analytique ou stéréocomparateur) précis, reposant sur des conceptions géométriques correctes, d'exécution soignée et aux réglages aisés et stables, dotés de rapports d'agrandissement suffisants, disposant d'un système d'observation de haute qualité, assurant, avec des correcteurs appropriés éventuels, une reproduction aussi parfaite que possible, des faisceaux perspectifs, permettant de limiter les déformations systématiques et accidentelles des modèles, assurant, dans de larges rapports, une transmission précise, à la table à dessiner, etc...

Les tests expérimentaux réalisés dans le cadre des Commissions A, B et C de l'OEEPE confirment ces vues.

En aérotriangulation, quel que soit le procédé d'observation et de compensation appliqué, il est indispensable de réaliser de bonnes observations pour atteindre la précision voulue.

De plus, le rendement des méthodes est souvent tributaire des erreurs tant systématiques qu'accidentelles affectant les mesures, c'est-à-dire de la précision de l'instrument utilisé.

Il va de soi que le recours systématique à ces procédés doit s'appuyer sur des instruments de précision qu'ils soient analogiques ou comparateurs.

Il n'est pas aisé de recueillir des données statistiques valables et comparables sur la précision obtenue dans les procédés analogiques et analytiques. Quoique la simplicité des instruments, la souplesse et la régularité des corrections confèrent théoriquement un avantage aux procédés analytiques, il semble qu'en moyenne, dans la pratique, les résultats diffèrent peu. Cette constatation paraît indiquer que les erreurs primordiales sont encore peu ou mal connues et que les moyens de les corriger ou de s'en affranchir a coup sûr font encore défaut.

Il en est de même dans l'emploi du processus dit d'aéropolygonation.

Dans une étude récente, Mr. Ackerman a montré, à partir d'un modèle simplifié, que dans la compensation d'un bloc aérotriangulé, la précision des coordonnées planimétriques dépendait de la qualité du modèle (c'est-à-dire de l'échelle de prise) et qu'elle était indépendante du nombre de couples.

Dès lors, si l'expérience confirme ces vues théoriques, la nécessité de produire des observations précises garde tout son intérêt et l'organisation des opérations et du matériel en vue d'éviter les temps morts prend une importance économique accrue.

On a vu qu'aux grandes échelles, les rapports réalisables entre l'échelle de prise et celle du levé imposent l'emploi de matériel de haute qualité pour atteindre la précision recherchée.

L'économie des procédés conduit aux mêmes exigences comme on le verra dans la suite.

Aux petites échelles, par contre, le problème se pose différemment. La limitation de l'échelle de prise ne provient plus d'imperatifs de précision mais de dimension des détails dans l'image. Elle résulte de la nécessité de distinguer et d'identifier avec certitude les détails à représenter alors que ceux-ci n'ont pas toujours des dimensions considérables. Il en découle que la couverture réalisée en vue de ces échelles contient, en quelque sorte à l'état potentiel, un excédent de précision que le souci d'économie d'ensemble des opérations conduit à libérer dans les instruments.

Dans ce cas, la solution instrumentale est dominée par des aspects économiques.

Le choix des moyens s'oriente normalement vers des instruments moins coûteux, plus simples et surtout plus efficaces (rapidité, commodité, etc...).

Ces appareils doivent pouvoir exploiter rapidement toute l'information contenue dans les clichés en respectant les tolérances des cartes régulières. Ils sont appelés à s'accommoder aisément d'appuis dont la répartition est classiquement fixée en aérocheminement (mais de valeur parfois inégale) et à tenir compte d'indications auxiliaires ou d'informations tirées d'autres sources. Dans le cas où la restitution est fondée sur un recours à l'anamorphose des faisceaux, il est désirable que des décentrement soient aisés, etc... Le coût de ces instruments doit être modéré compte tenu du nombre plus ou moins important d'appareils de ce type indispensables pour absorber, en chaîne continue et de façon équilibrée, la production de coordonnées d'appui assurée par les moyens d'aérotriangulation ou les instruments auxiliaires adoptés.

En outre, il convient que ces appareils se prêtent facilement à diverses combinaisons ou méthodes de dessin avec une précision suffisante. Des instruments reposant sur des principes géométriques approximatifs ou trop particularisés peuvent n'avoir qu'un emploi limité.

Il y a lieu de noter que par suite de l'amélioration des optiques d'une part et de l'introduction du supergrandangulaire d'autre part, les données se sont quelque peu modifiées au cours de ces dernières années. L'échelle des photographies, plus grande que celle du levé, a tendance à diminuer.

Alors que les photos se réalisaient généralement aux environs du 1/40.000 à

1/50.000 avec objectif grandangulaire, il y a quelques années, à présent, les prises de vues sont souvent exécutées entre le 1/60.000 et le 1/80.000 mais avec objectif super-grandangulaire.

Ces réductions d'échelles des clichés, accompagnées d'une augmentation de l'angle de prise, améliorent sensiblement les rapports existant entre les échelles des photos et celles du document final. Elles réduisent le nombre de couples à traiter. Elles peuvent apparaître, dans une certaine mesure, comme une cause de recul du champ d'application de certains types d'appareils au profit d'une autre gamme d'instruments. Il y a lieu de remarquer aussi dans un certain nombre d'endroits où la photographie est malaisée et coûteuse, on dispose parfois de couvertures encore inexploitées et répondant aux anciennes conditions.

Dans ces circonstances, un examen détaillé permettra de prendre, dans chaque cas particulier, les décisions les plus favorables.

Enfin, il faut également noter que, quoique la précision — qui garde un caractère essentiel — et l'universalité aient été les critères les plus souvent évoqués dans toutes les discussions relatives aux appareils, elle ne constitue pas les seules caractéristiques à considérer dans le choix instrumental.

A cet égard, le commentaires publiés à l'occasion d'une proposition de normalisation des contrôles des appareils ont établi qu'il y avait lieu de tenir compte, dans l'appréciation de la valeur et des qualités d'un appareil, de bien d'autres éléments que de l'erreur quadratique moyenne obtenue soit dans les projections, soit dans les modèles grilles réalisés dans diverses conditions.

2.2. Détails à représenter.

La carte ou le plan doivent satisfaire à des tolérances en précision mais également en fidélité.

Plusieurs détails planimétriques ont des dimensions trop réduites ou apparaissent trop mal pour être lus et identifiés avec certitude dans les clichés quelle qu'en soit l'échelle. D'autre part, l'économie des opérations conduit à éviter les séjours ou retours au terrain. Dans certains cas, cet accès est d'ailleurs impossible ou trop coûteux.

Les grandes échelles ne se demandent généralement que dans des sites plus ou moins connus et relativement limités. Ces types de documents imposent des exigences sévères de précision. Ils comportent une grande richesse de détails qu'il convient souvent de représenter à l'échelle en vraie grandeur et en position correcte.

Les grandes échelles photographiques, la qualité et la souplesse des systèmes d'observation, d'agrandissement et de transmission des appareils restituteurs dont l'emploi s'impose pour respecter les exigences en précision, permettent de déceler et de mettre en place avec une précision acceptable les détails naturels ou les points signalisés avec un pourcentage modéré de pertes.

Les levés aux moyennes échelles impliquent un certain degré de généralisation et de stylisation des détails à faire figurer dans la carte.

D'autre part, l'efficacité économique réclame que les échelles de prise soient aussi petites que possible et que la plupart des objets puisse être identifiés et reportés à la minute, en position relative correcte, au cours de la restitution.

Actuellement la qualité des optiques permet d'adopter, pour réaliser une précision altimétrique déterminée, des échelles de prise plus petites ou voisines de celles du document final à condition d'utiliser des appareils de précision.

Quant aux cartes aux petites échelles, c'est, on l'a vu, la nécessité de déceler et d'identifier les détails qui devient le facteur déterminant dans la fixation de l'échelle. Ces cartes sont fortement conventionnalisées et généralisées. En planimétrie, la densité des détails à représenter est souvent faible. Les dimensions relativement réduites de certains faits importants peuvent aisément entraîner des omissions ou des erreurs

d'identification.

De plus, dans certaines régions, les conditions météorologiques restreignent les possibilités photographiques et il en résulte des couvertures dont la régularité et la qualité sont parfois de qualité médiocre.

Les instruments utilisés pour la restitution doivent être adaptés à ces circonstances. Dans une certaine mesure, leur précision peut être moindre, mais ils doivent être dotés de caractéristiques leur conférant des possibilités d'observation, de lecture et d'identifications aisées des détails et un rendement économique élevé: un système d'observation de qualité, à grand champ, des marques bien dimensionnées, des commandes aisées et rapides, la possibilité de se prêter à diverses solutions de dessin, etc...

Le rapport de la Commission E de l'OEEPE donne d'intéressantes indications à ce sujet.

2.3. Présentation de l'information.

L'information topographique ou cartographique extraite des clichés-par redressement ou restitution graphique, numérique ou analytique, peut, selon les circonstances et les buts poursuivis, être avantageusement livrée, soit directement soit à travers des intermédiaires, sous des formes diverses qu'il est d'ailleurs aisé de fournir isolées ou combinées.

L'utilisation de photoplans et des mosaïques contrôlées n'est pas récente. Leurs avantages et inconvénients sont bien connus.

La réalisation des orthophotographies, en généralisant les conditions d'application et en introduisant l'automatisme, et l'emploi des calculateurs ont contribué à approfondir la discussion sur l'intérêt respectif des différentes formes de publication des résultats de la restitution, sur leurs caractéristiques, leur degré d'adaptation aux besoins des usagers, l'économie de leur production, etc...

Il est clair qu'il y a intérêt à établir, à travers le moins d'intermédiaires possible, l'information sous la forme la plus opportune pour les besoins de l'utilisateur.

La réalisation de solutions adéquates soulève des problèmes techniques et économiques tant au plan de l'utilisation qu'à celui de la production.

On sait, par exemple, que le dessin surtout en plusieurs teintes entraîne des délais et des coûts supplémentaires. La substitution d'une photographie à un fond planimétrique graphique constitue un moyen d'éviter un certain nombre de ces opérations. Toutefois, le document qui en résulte présente un détail abondant et non conventionnel. Sa lecture appelle des précautions, surtout lorsque l'échelle est réduite.

On peut également s'efforcer de limiter l'influence de ces opérations de sélection sur le délai et le coût d'ensemble de la production réalisant, directement à l'appareil restituteur une partie, plus au moins grande, du tracé sous sa forme définitive, par exemple, en utilisant la gravure, (courbes) ou en y organisant le dessin de détail en couleurs séparées soit par la multiplication des bases de tracé, soit par l'emploi de teintes se prêtant à la sélection photographique de détails, etc...

La restitution graphique produit une minute qui est à la base de l'élaboration de la carte topographique conventionnelle classique. L'altimétrie de ce document peut être digitalisée et stockée en bandes par l'intermédiaire d'un digital graphic recorder et d'un programme de calculateur électronique (fonction «inverse» du coordinatographe automatique). Le produit obtenu, appelé aussi carte numérique représente, sous une forme numérique discrète, l'information qui peut être obtenue de la carte précitée. Cette solution rend l'usage de cette information directement utilisable par les calculateurs électroniques.

Une documentation similaire peut être obtenue directement, sans passer par le tracé des courbes, en enregistrant directement sur bandes ou sur cartes les cotes restituées d'un certain nombre de points distribués régulièrement et selon les formes du

terrain. Les coordonnées ainsi levées définissent un modèle numérique des lieux.

Il est encore possible d'extraire, du restituteur ou du stéréocomparateur, en clair ou en code, les coordonnées planimétriques d'un certain nombre de points. Après exécution des calculs prévus, celles-ci peuvent être reportées au plan et éventuellement raccordées entre elles, selon des lois diverses, par un coordinographe automatique.

Cette documentation peu être complétée, en fonction des circonstances, par un photoplan ou un orthophotoplan, avec ou sans surcharges.

Il est évident que toutes ces versions d'un même terrain n'offrent pas les mêmes caractéristiques, même si pour l'obtention de plusieurs d'entre elles, les conditions géométriques initiales et d'observation restent semblables et que seuls sont modifiés «les éléments de sortie». Elles ne se prêtent pas, à un égal degré, à une utilisation générale ultérieure, ni à un emploi aussi efficace dans tous les cas. Les conditions de réalisation sont variables selon les procédés utilisés (recouvrement, échelle, rapport d'agrandissement, raccord...).

Leur traitement appelle des moyens différents. L'automatisme conduit à reposer la carte elle-même.

La carte de base classique s'adresse à des usagers multiples poursuivant des buts très variés. Elle comporte une grande quantité de détails planimétriques et altimétriques exprimés sous des formes conventionnelles. Elles présente un certain caractère de permanence et de généralité dans son usage. Son emploi ne requiert ni outillage spécialisé ou coûteux, ni interprétation particulière.

Il n'en est pas de même pour une information numérique caractérisant, à un instant déterminé, un état de lieux destinés à subir des modifications profondes ou rapides. L'usage de cette information est fréquemment particularisé et organisé selon un programme d'ordinateur.

Mais, dans tous les cas, l'information doit être correcte, complète et exploitable aisément.

Quant aux orthophotoplans, leur «doctrine» d'utilisation s'élabore. Leur champ d'application, leur contenu et ses formes d'expression, leurs transformations photomécaniques sous des aspects divers font l'objet de discussions approfondies. La Commission D de l'OEEPE en a fait un point de son programme.

Plusieurs types de matériel destiné à les produire se trouvent sur le marché.

La réalisation de ces diverses formes de l'information cartographique pose un certain nombre de problèmes instrumentaux liés aux exigences en précision et en présence de détails d'une part, aux méthodes de production, à leur souplesse, à leur vitesse et à leur prix de revient d'autre part.

Il y a lieu de ne pas perdre de vue en effet que l'élaboration de certaines de ces formes de documentation requiert normalement mais, dans une mesure variable, la disposition de moyens automatisés.

3. Produire économiquement.

L'aspect économique joue un rôle capital en photogrammétrie, à telle enseigne que, fréquemment, la pratique fait peu de cas de procédés théoriquement favorables parce que leur application réclame des recouvrements longitudinaux ou transversaux considérables et le passage d'un nombre de couples joué prohibitif en vue de la détermination de parallaxes ou de coordonnées. Le coût d'un levé doit rester proportionné au but poursuivi.

L'économie générale des procédés photogrammétriques prescrit de voler à une altitude aussi élevée que possible, compte tenu des exigences auxquelles il faut satisfaire.

Il en découle, comme on l'a vu au chapitre précédent, qu'aux grandes et moyennes échelles, il convient d'utiliser des instruments de précision.

Employer des appareils moins précis correspond, pour conserver les mêmes tolé-

rances, à réduire l'altitude de prise c'est-à-dire perdre du rendement et augmenter les frais de production de l'ensemble.

On sait que la restitution n'intervient que pour un pourcentage modéré dans la totalité des frais encourus. Une réserve s'impose donc quand on examine l'incidence du coût des instruments de restitution sur l'économie générale des travaux de levé. Toutefois au plan du choix à opérer entre différentes formules instrumentales, ce facteur reste intéressant à étudier.

Le coût des travaux est fonction de deux facteurs fondamentaux, à savoir: le prix de l'heure productive et le temps consacré aux diverses opérations (quantité de travail).

3.1. Dans le montant de l'heure productive, deux éléments principaux interviennent: l'amortissement du matériel et la main-d'oeuvre.

Le taux d'amortissement dépend d'abord du prix d'achat de l'appareil ou du système instrumental utilisé. Il existe différents modes de fixation du taux d'amortissement.

Des appareils de coût très élevé se justifient surtout à l'échelle d'un organisme isolé s'ils réalisent une haute précision avec une grande souplesse d'emploi ou encore une vitesse de production considérable et une économie de main-d'oeuvre qualifiée et à haut salaire. C'est dans ce sens que se développent les ensembles automatisés. Les appareils universels de 1er ordre répondent également aux critères évoqués.

Le prix d'achat de l'instrument doit comprendre le montant des accessoires nécessaires pour profiter de la pleine capacité et des caractéristiques de l'instrument de mesure ou le rendre apte à exécuter les travaux demandés. Parmi ces accessoires figurent par exemple les dispositifs correcteurs, les organes à tracer des profils, les réducteurs ou transformateurs de clichés, etc...

Dans les systèmes automatisés, il faut comprendre l'ensemble des composants du groupe instrumental.

C'est ainsi que lorsqu'on établit analytiquement un plan contenant les coordonnées de points signalisés, il faut tenir compte de l'instrument de mesure mais aussi de l'incidence du calculateur, du coordinatographe automatique...

D'autres éléments interviennent aussi dans l'appréciation de l'incidence du matériel sur le coût horaire. On doit y inclure les frais de réparation ou les contrats d'entretien qui, outre les dépenses qu'ils entraînent, peuvent imposer le chômage de l'instrument.

L'amortissement est calculé soit sur la base d'un nombre d'heures de service estimé, soit sur une période déterminée au-delà de laquelle l'instrument vieillit, perd de son efficacité ou est inapte à bénéficier des progrès réalisés. Si le nombre d'heures d'utilisation est faible, la charge d'amortissement croît. En tout état de cause, il est souhaitable d'éviter des temps morts prolongés, soit de l'appareil soit d'un des composants du système de production (ces chômages sont d'ailleurs contre indiqués pour conserver certains organes — tels les relais — en bon état de marche).

Semblable situation peut se produire lorsqu'il n'a pas été tenu compte, lors de la sélection du matériel, du caractère de permanence ou de continuité des travaux, de la variété ou du volume de production, de l'inaptitude d'un appareil à exécuter économiquement certaines opérations ou à tirer parti des améliorations des procédés et des instruments.

Il en va de même lorsqu'un ensemble instrumental — fonctionnant généralement de manière assez rigide — a été mal équilibré.

En aérotriangulation, par exemple, un stéréocomparateur peut assurer le passage d'un nombre considérable de couples en un an. Il convient donc de lui associer un nombre suffisant d'instruments de restitution graphique adéquats pour permettre l'absorption régulière de coordonnées produites. Si le rythme de restitution ne peut pas suivre la cadence de l'aérotriangulation ou si celle-ci est interrompue par suite

de l'insuffisance de travail, il paraît plus économique de faire appel à des instruments de triangulation moins spécialisés et aptes à utiliser ces temps morts pour d'autres travaux. (Il est également possible de réaliser des restitutions numériques lorsque le problème se pose).

D'une manière générale il semble peu rentable d'investir des sommes considérables dans des moyens très spécialisés capables d'une production très élevée mais d'utilisation limitée si on n'a pas la certitude de pouvoir les alimenter régulièrement ou lorsqu'on ne dispose pas du personnel spécialisé et qualifié qu'ils réclament pour assurer leur entretien et leur fonctionnement corrects.

Il est d'ailleurs parfois tout aussi intéressant, quand il faut satisfaire à un certain nombre de tolérances ou de normes régulières, d'acquérir des instruments très simplifiés ou à solutions géométriques approximatives dont les conditions d'utilisation sont restreintes, les buts limités et dont le prix peu élevé se révèle, à l'analyse ou à l'expérience, une fausse économie.

3.2. Le deuxième facteur important est le prix de la main-d'oeuvre.

Il faut tout d'abord remarquer que la productivité dépend du caractère et des aptitudes de la main-d'oeuvre et de son encadrement mais également de la méthode adoptée, de l'organisation du travail et de l'équipement choisi, c'est-à-dire des moyens dont le personnel dispose pour augmenter son rendement et de leur adaptation.

Le coût de la main-d'oeuvre résulte de deux paramètres: le qualification ou la spécialisation du personnel et son expérience d'une part et la quantité de personnel indispensable pour assurer un fonctionnement correct des moyens d'autre part.

Dans quelle mesure faut-il, par exemple, utiliser deux opérateurs à l'instrument de restitution?

Il est assez difficile de répondre à cette question de façon absolue car la décision dépend fondamentalement de trois grandes facteurs: l'amortissement, le coût de la main-d'oeuvre et le gain de production.

Il est clair que le coût d'un dessinateur est réduit en regard du coût de l'instrument et de l'opérateur restituteurs.

Toutefois, plus les taux d'amortissement des instruments sont considérables, plus il paraît logique de prendre les mesures susceptibles de limiter les temps morts dans l'utilisation rentable de l'appareil et de réduire les délais d'exécution d'un travail déterminé.

D'autre part, si le coût de la main-d'oeuvre est très élevé, l'influence du facteur humain devient considérable surtout s'il s'agit d'un appareil d'ordre inférieur et peu coûteux.

Il est évident qu'aux petites échelles, par exemple, les instruments doivent pouvoir fonctionner rapidement et correctement avec un seul opérateur.

Aux grandes échelles le coût instrumental est élevé et le tracé souvent discontinu. Un dessinateur paraît souhaitable. Il intervient dans les mises à l'échelle, la tenue de calques et autres documents etc.

Aux moyennes échelles, lorsque la planimétrie est assez dense, le dessinateur freine souvent le restituteur lorsqu'ils travaillent en équipe. Dans ce cas, il y a lieu d'adopter une méthode de travail telle que, par exemple, le restituteur puisse travailler seul pour une partie des opérations et qu'un dessinateur soit apte à desservir plusieurs instruments. Il en résulte souvent un fractionnement des travaux et le rejet de certaines opérations de mise au net en dehors de l'instrument.

L'organisation doit coordonner l'exécution. L'économie d'ensemble est la résultante de celle de chacune des phases opératoires.

L'accroissement d'efficacité des procédés analytiques de triangulation implique la réduction des temps morts, la séparation des phases au niveau où le contrôle est aisé

et les corrections introductibles dans le processus, la réalisation de grandes vitesses opératoires, etc...

La recherche de la réduction des temps et de la limitation de l'immobilisation des instruments par l'automatisation entraîne l'exécution de certaines opérations à l'extérieur de l'instrument de mesure proprement dit. Le tracé automatique des courbes nécessite, dans certains cas, leur tracé définitif et leur correction par un dessinateur compétent en dehors de l'appareil.

Il en résulte que l'incidence de l'organisation et du contrôle devient considérable mais qu'elle ne doit pas faire perdre de vue les conditions d'amélioration des procédés eux-mêmes.

Le compromis le plus favorable dépend, dans chaque cas, de la nature du travail, des conditions d'exécution, du procédé employé et du rapport existant entre les coûts et la qualification de la main-d'oeuvre et le taux d'amortissement d'une part le délai d'exécution d'autre part. Dans certaines circonstances, ce facteur peut être déterminant.

Quant à la qualification, à la spécialisation du personnel et à sa productivité, l'expérience montre qu'en général des opérateurs qualifiés et expérimentés méritent de plus hauts salaires mais que leur productivité est plus élevée, qu'ils s'adaptent rapidement aux différents types de levés et d'instruments, qu'ils surmontent plus aisément et plus sûrement les difficultés de travail et que l'encadrement peut être ou plus réduit ou employé à d'autres tâches.

Lorsqu'une entreprise importante dispose d'un personnel qualifié et spécialisé en suffisance, il est possible de répartir les travaux en fonction des aptitudes et des talents particuliers des opérateurs et d'augmenter aussi leur productivité.

En tout état de cause et quel que soit leur ordre, les instruments utilisés doivent réunir les conditions favorables d'exploitation et disposer des accessoires éventuels favorisant la productivité du restituteur.

Quand on emploie un personnel qualifié, il convient évidemment de favoriser l'accroissement de sa productivité par exemple en le libérant dans une certaine mesure des tâches fatigantes réclamant peu d'intelligence ou d'expérience et en procédant à l'automatisation de certaines opérations.

Dans un procédé numérique, s'il s'agit de noter les coordonnées d'un certain nombre de points, il est préférable, tant du point de vue du rendement que de celui de la sécurité, de procéder à l'enregistrement automatique de celles-ci directement grâce à un accessoire présentant une garantie et une vitesse suffisante et sous une forme directement utilisable au stade suivant (calcul...).

Les qualités de sécurité du système peuvent aussi en justifier l'emploi lorsque la main-d'oeuvre est peu qualifiée et que le processus opératoire a été décomposé en opérations simples, enregistrables sur des formulaires-programmes, contrôlables à tous les stades, etc...

Il ne faut toutefois pas perdre de vue que l'automatisme implique une certaine rigidité et que cette absence de souplesse rend les interventions extérieures malaisées et coûteuses en temps et en argent. Les temps morts freinent la sortie des résultats finaux. La vérification et l'entretien postulent la disposition, en permanence ou dans un délai réduit de spécialistes qualifiés et expérimentés. La qualification du personnel de contrôle est élevée.

3.3. Le temps d'exécution constitue un autre élément important du coût des travaux.

Dans certaines formes d'organisation, les délais de production peuvent jouer un rôle déterminant et conditionner le processus d'exécution et l'équipement. C'est parfois le cas dans des organismes intéressés au Génie Civil.

En principe, la restitution comprend deux parties: la constitution et la mise en

place du modèle d'une part et son exploitation d'autre part. C'est au cours de cette phase que les détails planimétriques et altimétriques sont reportés au plan ou traduits en coordonnées. Il faut évidemment limiter le temps total d'exécution et la durée des orientations apparaît comme un temps mort.

L'importance relative des deux stades varie selon les échelles. Aux grandes et moyennes échelles, le temps consacré à la mise en place est de l'ordre de 10 à 11% (dans les régions à forte densité d'occupation, ce pourcentage peut tomber à moins de la moitié). Dans ces types de levés, il conviendra d'adopter une méthode et une organisation de travail capable d'alléger la durée du tracé et l'immobilisation de l'appareil en veillant cependant à ce que ces dispositions n'affectent ni les exigences, ni le coût de l'heure de travail de façon prohibitive.

Cette durée relative des deux parties de la restitution indique aussi qu'en méthode numérique, lorsqu'il s'agit d'extraire les coordonnées de 250 à 300 points dans un couple, la différence de temps d'occupation entre un stéréocomparateur et un appareil analogique se réduit.

En ce qui concerne les appareils, on conçoit aisément qu'ils doivent réunir les caractéristiques permettant d'éviter les temps morts de tracé et même d'orientation (cas des raccords, de retouches dues à des dérangements ou instabilités, parcours rapides des modèles, etc...).

À cet égard, on peut constater que l'inversion des bases permet la liaison directe des modèles successifs, mais constitue aussi un auxiliaire intéressant en restitution en conservant l'orientation des minutes et en assurant un contrôle rapide des appuis lors des changements de couples.

Le tracé devra être aisément contrôlable, les centrages de cravon faciles, etc... Il est bon de souligner que, dans ce domaine, les détails de construction ont toute leur importance (p. ex. coordinatographes).

S'il s'agit d'extraire des coordonnées tant en aérotriangulation qu'en restitution, il est souhaitable de disposer de moyens de lecture et d'enregistrement sûrs et rapides, n'immobilisant l'instrument de mesure que le temps strictement minimum.

La recherche de l'efficacité a abouti, dans le stéréocomparateur, à n'effectuer à l'instrument de mesure que les opérations de pointé et d'enregistrement et à reporter l'exécution des autres stades sur d'autres moyens automatiques et rapides tels que les calculateurs électroniques et les coordinatographes automatiques (s'il s'agit d'un monocomparateur le pointé peut être automatisé mais intervient alors une phase importante de transfert et de préparation).

Evidemment cette spécialisation des opérations modifie les conditions d'exécution le pointé stéréoscopique de clichés non orientés est, par exemple, plus fatigant que dans un modèle constitué.

Cependant, en aérotriangulation, pour des clichés de qualité normale, l'expérience a montré que, dans des conditions comparables, le temps d'immobilisation instrumentale est de l'ordre de 40 à 50% plus long en analogique qu'en analytique. L'examen des temps requis par les différentes phases semble bien expliquer ce résultat statistique.

Il en résulte que, pour un même volume de clichés traités, c'est-à-dire pour une cadence déterminée de production, les investissements en appareil et personnel opérateur sont dans le même rapport.

Toutefois, d'après M. Bonneval et l'expérience française, le prix de revient total et le délai global d'obtention des coordonnées seraient du même ordre dans les deux procédés (influence des temps morts en analytique, qualification du personnel...).

Aux petites échelles, par contre, surtout lorsqu'il s'agit de couvertures réalisées en grandangulaire aux échelles du 1/50.000 environ, la surface couverte par couple est relativement réduite et peu chargée. Dès lors, le temps affecté aux opérations d'orien-

tation devient proportionnellement plus important.

D'autre part, la couverture dispose, comme on l'a vu, d'un potentiel de précision excédentaire et les contrôles utilisés sont généralement déterminés par template, aéro-triangulation voire même à partir de données auxiliaires.

Il en découle que les appareils de restitution doivent être manoeuvrables par un seul opérateur, disposer de toutes les commandes facilitant une orientation rapide des modèles, permettre les agrandissements et réductions souhaitables pour exécuter des tracés commodes et sûrs à des échelles parfois relativement voisines de celles du levé (gravure éventuelle à l'instrument), être dotés de pantographes stables, d'une optique de bonne qualité (champ, pupilles, définition, marques,...) etc....

Il s'agit encore de faite usage d'instruments en nombre suffisant pour absorber les coordonnées triangulées, c'est-à-dire peu coûteux tant à l'achat qu'à l'emploi.

La pratique des supergrandangulaires introduit des conditions supplémentaires quant aux distances principales et aux angles.

Du point de vue économique, diverses méthodes de travail (interprétation, dessin...) sont applicables aux restitutions aux petites échelles.

Dans le rapport de la Commission E de l'OEEPE (publication officielle n. 2), on trouvera un chapitre consacré à différents procédés utilisables.

3.4. Enfin, peut-être est-il intéressant de toucher un mot d'un problème se posant avec une certaine acuité dans différents organismes cartographiques. Il s'agit de la mise à jour des cartes existantes.

Dans certaines circonstances où les délais sont primordiaux, il est fréquemment estimé plus rentable d'établir de nouvelles cartes à partir d'anciens fonds judicieusement révisés que d'élaborer directement des nouveaux levés pour autant que la qualité des documents existants le permette.

La situation se différencie évidemment en fonction des conditions rencontrées.

Dans un pays neuf, des cartes aux petites et moyennes échelles à peine établies, sont parfois rapidement dépassées par suite de l'exécution des travaux en vue desquels elles ont été élaborées.

Dans les pays à forte densité d'occupation et d'industrialisation, le développement régional modifie les structures à un rythme rapide et les besoins économiques réclament des échelles de plus en plus grandes (cas du 1/10.000 et du 1/50.000).

Dans d'autres cas, soit à l'échelon national, soit sur le plan international, les exigences se modifient quant aux échelles, etc...

La satisfaction des besoins, dans des délais acceptables, conduit à procéder de deux façons: ou bien exécuter directement des cartes nouvelles (1/50.000 et inférieures, 1/25.000 et 1/10.000) ou bien réaliser les séries réclamées à partir de fonds existants révisés et éventuellement complétés (d'un même coup, plusieurs séries sont mises à jour).

Alors que les conditions d'exécution du dessin et de la reproduction photomécanique se conçoivent différemment, tous les procédés employés dans ce deuxième cas ont une phase commune, à savoir la revision des fonds de base.

D'autre part, sur le plan technique, la littérature relative aux instruments fait fréquemment état de ce que les appareils dits de 3e ordre s'indiquent pour la mise à jour.

On peut se demander dans quelle mesure cette assimilation est valable?

D'autres écoles préconisent l'emploi de procédés de redressement photographique ou graphique — avec assemblage ou non — cette tendance s'est affirmée davantage encore à la suite du développement d'appareils redresseurs analytiques et d'orthophotoscopes.

Notons, en passant, que d'après les résultats publiés, quoique rapides (mais fa-

tigantes), les chambres claires ne paraissent pas donner satisfaction aux exigences admises dans la plupart des cartes régulières aux moyennes échelles.

Il y a lieu de remarquer que le problème de la revision se pose généralement dans des conditions particulières. Les modifications les plus importantes affectent généralement la planimétrie. Au cours d'une période donnée, certains faits sont plus particulièrement sujets à changements que d'autres (leur nature varie selon les régions et les circonstances).

On constate également que l'évolution de certains détails modifie la situation en surface tandis que d'autres ne l'altèrent que linéairement, etc...

Si le relief est artificiellement transformé, il s'agit parfois soit de modifications traduites conventionnellement (déblais, remblais,...) soit d'évolutions réclamant une remise en place altimétrique limitée.

Dans la plupart des cas, on peut disposer, au départ, des manuscrits conventionnalisés et séparés, reproduits mécaniquement sur les couches voulues, aux échelles les plus opportunes.

Le problème posé est dominé par des facteurs de temps et d'économie.

Au plan photogrammétrique, il s'agit d'abord de définir les conditions de prises de vues (échelles, angles, émulsions,...) susceptibles d'assurer une identification aisée et sûre de détails déterminés et en nombre plus ou moins limité.

(Certains faits ne sont pas toujours perceptibles sur les clichés — voir le rapport de la Commission E de l'OEEPE).

Comme il est question de détails de situation dans la plupart des cas, la précision planimétrique relative à atteindre peut s'accomoder de rapports d'échelle assez considérables.

Toutefois, cette condition limitant le nombre de couples à traiter ne s'accorde pas entièrement avec la nécessité de lire et identifier facilement les détails à modifier. On peut procéder soit en adoptant deux couvertures photographiques réalisées éventuellement à des saisons distinctes avec des émulsion différentes, etc... soit en choisissant une échelle de compromis.

Pour diverses raisons, cette dernière solution semble retenir l'attention de plusieurs usagers.

Dès lors, sur le plan instrumental, il est clair que certaines analogies se présentent avec les conditions rencontrées dans la cartographie stéréoscopique aux petites échelles.

Les redresseurs graphiques, photographiques et les orthophoscopes généralisent l'application des techniques fondées sur les principes du redressement.

On a vu que diverses formes de présentation de l'information n'étaient pas dépourvues d'intérêt. Leur utilisation en tant qu'intermédiaires dans la mise à jour est également étudiée en vue d'éviter certaines opérations de dessin. (Dans le cas, la question se pose de savoir dans quelle mesure l'exploitation stéréoscopique des détails est rentable).

Le choix d'une solution est largement tributaire des conditions particulières rencontrées notamment dans les exigences, l'universalité, la maintenance, les amortissements, la qualification du personnel, etc...

A noter encore que les comparaisons de temps opératoires réalisées entre les redresseurs analytiques et appareils stéréoscopiques du type Multiplex, concluent que délais exigés sont du même ordre. Cette constatation n'a rien de surprenant lorsqu'on analyse les modes opératoires et les phases d'exécution dans les deux cas. Il n'est pas possible d'entrer dans le détail de ces questions mais la Commission D de l'OEEPE en a tenu compte dans l'élaboration de son programme d'activité.

4. Tenir compte des circonstances particulières.

Les conclusions auxquelles on aboutit en se basant sur les considérations énoncées

ci-dessus n'ont pas un caractère absolu. Elles peuvent être amendées par les circonstances. On peut se trouver en présence de plusieurs solutions équivalentes entre lesquelles il y aura lieu de faire un choix et il peut encore être opportun de modifier les résultats obtenus en fonction des conditions particulières.

On se bornera à illustrer brièvement la portée de cette remarque en se référant à trois facteurs pris parmi d'autres, à savoir :

1°) Les caractéristiques de l'entreprise et en particulier ses dimensions en liaison avec l'importance ou la spécialisation de sa production.

2°) La main-d'oeuvre: sa qualification (formation et expérience), son encadrement, son abondance,...

3°) Les conditions matérielles de travail: climat, entretien...

4.1. Considérons le cas d'un organisme cartographique dans une région tempérée et développée. Service public chargé de réaliser et de tenir à jour une infrastructure cartographique comprenant la carte topographique de base régulière et les séries dérivées ou spéciales de tout un pays, il dispose des moyens matériels suffisants à l'exécution de tous les travaux selon un programme établi.

Les instruments sont adaptés à la production compte tenu des deux grands composants du choix, à savoir le respect des tolérances et l'efficacité économique. Étudiés et expérimentés dans tous les détails, les procédés sont codifiés et industrialisés en vue de l'obtention du rendement. Des améliorations sont apportées au système de production au fur et à mesure des progrès réalisés dans les instruments et les méthodes.

L'ensemble fonctionne comme une chaîne de fabrication homogène et rationnelle dotée d'un potentiel important en personnel qualifié et en matériel.

Des outils de calcul considérables connaissent leur plein emploi dans le cadre de l'ensemble des activités. Il en est de même des autres moyens ou du personnel spécialisé. Les appareils de photogrammétrie de précision et les procédés adoptés pour la carte de base disposent cependant d'une large généralité d'emploi (rapports d'agrandissements, correcteurs, etc...) leur permettant de répondre aisément à divers travaux hors série éventuels.

L'organisme est doté d'un personnel spécialisé et expérimenté normalement encadré techniquement et scientifiquement.

Des études sont menées sur le plan des instruments et des méthodes en vue de développer l'efficacité des moyens. L'appel à l'automatisation tend à augmenter la productivité du personnel qualifié.

Les contingences de l'automatisme: absence de souplesse, difficultés d'interventions accidentelles dans des opérations programmées (résultats de fonctions décentralisées), maintenances systématiques, nécessité de personnel qualifié et spécialisé ne se traduisent pas par des difficultés considérables.

En outre, du fait de leurs moyens et de leur expérience, les instituts assument traditionnellement, vis à vis de la collectivité, une responsabilité scientifique à laquelle ils ne peuvent se dérober.

S'il s'agit, dans les mêmes régions, de constituer un service chargé de levés planimétriques aux grandes échelles, l'organisation et les procédés opératoires pourront varier en fonction du but poursuivi et des exigences qui en découlent (par exemple selon le type de cadastre: juridique, fiscal ou économique). Qu'elles soient graphiques ou numériques, des tolérances sévères réclament, comme on l'a vu, des instruments analogiques ou des stéréocomparateurs de précision.

L'introduction d'un certain niveau d'automatisation vise, comme dans le cas précédent, à amplifier les possibilités de production de la main-d'oeuvre et à accroître la vitesse de fourniture des informations.

Un exemple caractéristique de cette tendance peut être trouvé dans l'élaboration de

plans comprenant les coordonnées planimétriques de points signalisés.

A l'instrument analogique de précision, les modèles sont constitués et mis en place à une échelle et avec une orientation approximatives.

Les coordonnées sont perforées automatiquement sur cartes ou sur bandes.

S'il s'agit d'un stéréocomparateur, les coordonnées plaques sont mesurées et enregistrées automatiquement. Les coordonnées mesurées sont traitées dans un calculateur soit en triangulation soit par modèles séparés et les résultats définitifs publiés à leur tour sous forme de listes en clair ou en code. Le report au plan, avec jonction éventuelle des points, est réalisé automatiquement par coordinatographe électronique.

Semblable organisation spécialisée met l'accent sur la réduction des délais de livraison des résultats. Les dimensions du service peuvent être réduites sans altérer son efficacité. Le recours aux calculateurs et l'exécution des prises de vues peuvent être réalisés par différentes voies (contrats, etc...) en fonction des circonstances et des autres activités de l'entreprise considérée.

Le problème se présente différemment quand il faut équiper un bureau privé de photogrammétrie de dimensions limitées.

Cette entreprise n'a ni la garantie d'avoir en permanence un programme de travail suffisant ni la certitude d'exécuter systématiquement les mêmes travaux ou de répondre aux mêmes exigences.

D'un point de vue économique, il en résulte que ses moyens, moins puissants, en personnel et en matériel doivent disposer d'une souplesse et d'une universalité considérables. Il est évident que si l'importance de l'entreprise croît, il en est de même de son potentiel. Celui-ci gagne généralement en importance, en diversification et en spécialisation. Les moyens forment un ensemble souple exécutant économiquement tous les travaux qui lui sont demandés.

C'est le cas des grandes entreprises privées de photogrammétrie.

4.2. Quand il faut procéder à la sélection du matériel en vue de la création d'un service cartographique en région en développement, les contingences se multiplient et exercent une certaine contrainte sur le choix.

Il y a lieu de remarquer, qu'en général, les besoins sont grands, diversifiés et urgents.

D'autre part, les budgets assignés à la cartographie ne sont pas souvent à la mesure des demandes considérables formulées dans les programmes. La main-d'oeuvre, souvent abondante en nombre, manque parfois de formation et d'expérience et les cadres sont peu nombreux. Cet état de choses entraîne l'adoption de procédés opératoires sûrs, simples et normalisés et mliite en faveur d'une coordination ou d'une centralisation d'exécution de divers travaux.

Les conditions climatiques peuvent être sévères et réclamer un équipement particulier des bâtiments pour l'obtention et la conservation des clichés, l'utilisation et la préservation des instruments...

L'emploi des procédés d'aérottriangulation est fondamental. En ce qui concerne l'entretien et les réparations, on rencontre des problèmes complexes et coûteux. Le recours local à des moyens de forte capacité ou très spécialisés est généralement onéreux.

La météorologie, à régime saisonnier ou non, complique fréquemment la réalisation de couvertures de bonne qualité et l'obtention de photos au moment où des travaux urgents se présentent. Il en résulte que le service est fréquemment amené à utiliser des prises qui ne réunissent pas les conditions souhaitables en vue des exigences ou des buts assignés.

Dès lors, la satisfaction des exigences imposées entraîne parfois l'adaptation d'appareils caractérisés par la précision et une plus grande commodité et sûreté d'identification et de pointé même s'ils sont plus lents.

Il est clair que des solutions instrumentales parfaitement justifiées dans d'autres circonstances peuvent ne présenter qu'une rentabilité discutable dans les conditions envisagées ci-dessus et que, en général, l'adoption d'instruments sûrs et commodes s'indique pour favoriser le plein emploi des moyens, éviter les chômages ou l'utilisation médiocre des appareils.

5. Les vues énoncées dans ce qui précède n'ont nullement la prétention d'avoir épuisé le sujet proposé. Dans le contexte de cette première partie d'exposés, compte tenu du thème général, il était d'autant plus délicat d'entrer dans des détails plus amples et plus précis que d'autres conférenciers très qualifiés se proposent de traiter des points importants touchant aux instruments.

Une littérature abondante donne d'ailleurs toutes les indications souhaitables sur les caractéristiques et les performances des appareils et sur leurs résultats pratiques et expérimentaux.

Les publications de l'OEEPE sont riches en références chiffrées.

Il est cependant une dernière remarque qui paraît opportune lorsqu'il est question du choix d'un matériel; c'est qu'un appareil, si parfait soit-il, doit être utilisé à bon escient pour atteindre les résultats espérés.

En d'autres termes, le problème des instruments ne peut être dissocié de celui des procédés surtout en aérotriangulation.

Certains type d'appareils ont atteint un très haut degré de perfection, les tests sur grilles en sont la preuve. Mais toute réalisation mécano-optique ou autre est sujette à des erreurs qui doivent être éliminées au cours de la mesure ou réduites par calcul.

Il est vrai que les résultats expérimentaux montrent, qu'en restitution, les erreurs instrumentales ne paraissent pas poser de problème déterminant et que d'autres causes (la géométrie et la qualité de l'image par exemple) influencent considérablement les valeurs obtenues.

En aérotriangulation, comme on le sait, les interactions des erreurs, d'origine et de caractères très divers, sont complexes et leurs effets, même s'il s'agit d'un instrument aussi simple qu'un stéréocomparateur, ne sont pas éliminables par des méthodes aussi commodes que celles utilisées au théodolite en topographie classique.

Les erreurs résiduelles montrent que le problème de l'élimination satisfaisante des erreurs est capital.

Les procédés de compensation de blocs réalisent une solution pratique valable et d'un intérêt indiscutable. Ils sont vraisemblablement encore perfectibles.

Toutefois, il s'agit d'une compensation au sens propre de terme et on peut se demander si cette méthode, efficace sans doute, ne revient pas à masquer, en quelque sorte, une certaine impuissance à tenir compte des lois réelles de transmission d'erreur.

Les tests exécutés par la Commission B de l'OEEPE aboutissent cependant à la conclusion que les erreurs résiduelles sont encore considérables si on les compare aux résidus obtenus dans les mêmes modèles restitués isolément (voir publication officielle n. 1).

La question peut se poser, une fois de plus, de savoir dans quelle mesure les procédés opératoires pourraient tirer une partie plus grande des possibilités des instruments et des matériels d'une part et des données incluses dans les clichés d'autre part.

A cet égard, quoique les résultats connus ne paraissent pas significatifs et que leur intérêt soit limité, les chambres à réseau semblent apporter un élément nouveau.

Il semble bien que la recherche expérimentale a encore un champ d'études considérable sur le plan des problèmes fondamentaux, de l'étude des erreurs et des moyens de les éliminer ou de les réduire.