

LA PHOTOGRAMMETRIE NUMERIQUE : VERS UNE BANALISATION DU METIER DE PHOTOGRAMMETRE ?

Yves EGELS

Centre d'études et d'enseignement en photogrammétrie et en télédétection, Ecole Nationale des Sciences
Géographiques Champs-sur-Marne - 77455 MARNE LA VALLEE Cedex 2 Tél. : 01 64 15 31 28 - Fax : 01 64 15
31 07 - E-mail : egels@ensg.ign.fr

*Cet article a été publié dans le Bulletin de la SFPT n° 149 et il est reproduit
avec l'autorisation de la SFPT et de son auteur.*

Résumé :

L'augmentation des performances des micro-ordinateurs et le développement des jeux vidéo sont des facteurs qui rendent aujourd'hui possible la réalisation d'appareils de restitution photogrammétrique numérique dans des conditions de coût impensables il y a encore quelques années. Le développement d'un prototype opérationnel, surtout utilisé actuellement pour l'enseignement, et l'intérêt qu'il suscite auprès de nombreux utilisateurs potentiels, montre que ce type de matériel provoquera probablement une banalisation de l'outil photogrammétrique, et une croissance importante de la demande d'images numériques et de formation dans le domaine de la photogrammétrie.

Mots clés : restitution numérique, visualisation stéréoscopique sur ordinateur, micro-ordinateur, images numériques, enseignement de la photogrammétrie.

Depuis plusieurs décennies que la photogrammétrie est devenue une méthode utilisée pour la production industrielle de mesures géométriques, pour la cartographie ou à des fins métrologiques, sa croissance a toujours été limitée par l'importance des investissements qu'elle nécessite. Deux conséquences à cela : un emploi restreint à des domaines dans lesquels ces investissements peuvent être rentabilisés par une production en grandes quantités (essentiellement la cartographie), et l'apparition d'un métier de spécialistes.

Le coût prohibitif des équipements de photogrammétrie analogique avait essentiellement pour origine leur étroite spécialisation, qui a conduit à de nombreuses solutions techniques très variées, construites en petites séries. L'apparition des restituteurs analytiques aurait dû logiquement provoquer une baisse des prix; il n'en a pratiquement rien été, le petit nombre de constructeurs implantés sur le marché n'ayant pas favorisé la concurrence, d'autant plus que la « culture de l'analogique » n'a pas été remise en cause dans bien des domaines¹. Et les fournisseurs de systèmes numériques semblent prêts à poursuivre dans la même voie.

Cette situation pourrait-elle changer dans les années à venir ? Verra-t-on une évolution équivalente à l'apparition des logiciels de traitement de textes, qui ont complètement bouleversé l'organisation des secrétariats d'aujourd'hui?

Pour cela, plusieurs événements doivent se conjuguer:

- il faut disposer de façon rapide, simple et à un prix abordable des données de base : images numériques et éléments de géoréférencement.
- les outils de traitement (systèmes de restitution) doivent être implantés sur des ordinateurs polyvalents et bon marché, et ne pas nécessiter de quincaillerie spécifique, tout en étant proposés à des prix abordables.
- les moyens de formation doivent s'adapter à un auditoire d'utilisateurs moins spécialisé, mais beaucoup plus large (ingénieurs, forestiers, géologues, aménageurs, urbanistes...).

Les images numériques :

Dans le domaine de la photographie grand public, l'offre d'appareils photographiques numériques est surabondante. Et surtout, on peut remarquer, comme c'est aussi le cas pour les ordinateurs, que les performances progressent rapidement pour un prix restant grosso modo constant. On trouve actuellement pour quelques milliers de francs des caméras offrant une résolution approchant le million de pixels et une ergonomie satisfaisante.

Pour l'instant, par contre, aucun constructeur de matériel photogrammétrique² ne propose de caméra aérienne numérique industrielle.

1) : Par exemple, pourquoi construire aujourd'hui des caméras aériennes ayant une distorsion quasi nulle, ce qui à performances égales par ailleurs- en rend l'optique beaucoup plus onéreuse et lourde, alors qu'il est très simple de corriger cette distorsion par le calcul lors de la restitution?

2) : Aux Etats-Unis, la société Positive Systems propose un système de photographie aérienne numérique utilisant des appareils numériques Kodak DCS460, munis de matrices de résolution 1024x1536 pixels ou 2048x3072 pixels, mais sans adaptation spécifique au domaine aérien (correction de filé, optique spécialisée etc.).

En attendant ce genre de réalisation, l'IGN (laboratoire d'optique, électronique et microinformatique) s'est lancé depuis plusieurs années dans le développement d'un tel outil qui, s'il n'a pas encore aujourd'hui une résolution comparable à celle de la photographie argentique (les matrices CCD utilisées comportent soit 2048x3072 pixels en couleur, soit 4096x4096 pixels en panchromatique), est néanmoins tout à fait utilisable dans des domaines particuliers où la très grande dynamique et la linéarité de la réponse photométrique sont un atout précieux (photographie aérienne des zones urbaines par exemple).

Dans la majorité des cas, on devra donc se contenter quelque temps encore de la numérisation des clichés argentiques, et c'est plus sur les moyens de diffusion que devront se porter les efforts.

En attendant, la souplesse de la photogrammétrie numérique permet d'envisager de nombreuses solutions ponctuelles adaptées à des problèmes particuliers. En effet, la notion de caméra métrique, si elle conserve tout son intérêt pour assurer une productivité optimale, n'est pas indispensable: les appareils photographiques du commerce (numériques ou non) peuvent être mis en œuvre et donner d'excellents résultats, d'autant plus que le choix dont on dispose permet de les adapter au mieux aux besoins: ainsi, on a pu réaliser la cartographie à grande échelle d'une faille tibétaine avec des photos aériennes 24mmx36mm prises par un avion radiocommandé spécialement construit à l'Ecole Supérieure des Géomètres Topographes, où les relevés de la nécropole d'Alexandrie grâce à un photothéodolite numérique spécialement développé à partir d'un appareil photographique numérique du marché.

Les moyens de restitution :

En marge des systèmes de restitution professionnels disponibles sur le marché, on a vu apparaître un certain nombre de systèmes simplifiés à base de PC, que ce soit sur images argentiques (en mesurant les points homologues sur une tablette à numériser) ou plus récemment sur des images numériques (scannées ou directes).

Il faut distinguer trois modes de fonctionnement pour ces systèmes :

- par pointé des points homologues indépendamment sur chaque image; c'est le plus simple sur le plan informatique, mais le plus contraignant pour le photogrammètre: seuls des points bien identifiables peuvent être mesurés, le tracé continu est impossible.
- par affichage stéréoscopique sur écran d'images fixes, et pointé 3D par un ballonnet mobile; pour éviter l'apparition de parallaxe transversale, les images doivent être rééchantillonnées suivant les épipolaires, et, si les images sont plus grandes que l'écran³, le tracé ne

pourra pas être continu, car il faudra régulièrement recentrer l'image.

* par affichage stéréoscopique sur écran d'images mobiles, devant un ballonnet fixe; c'est le principe de tous les appareils analogiques et analytiques, et celui qui s'avère le plus productif. C'est aussi le plus gourmand sur le plan informatique. Par contre, le rééchantillonnage épipolaire est inutile, ce qui permet l'observation stéréoscopique même pendant la phase d'orientation relative, facilitant ainsi grandement l'annulation de la parallaxe transversale.

Un restituteur sur PC :

Ayant ressenti depuis plusieurs années le besoin d'un système de ce type pour l'enseignement de la photogrammétrie à des étudiants non spécialistes (architectes conservateurs), je me suis attelé à une telle réalisation sur PC, en constatant que les développements des jeux vidéo allaient tout à fait dans le même sens, et faisaient évoluer le matériel et les logiciels dans la bonne direction.

Les contraintes que je m'étais fixées sont les suivantes: fonctionner sur des images aériennes numérisées à 15 μ en pleine résolution, utiliser du matériel informatique standard (PC équipé de Pentium 150 MHz, 16 MO de RAM, sans carte vidéo spécifique) et avoir des performances raisonnables en temps réel, de façon à permettre l'implémentation d'aides à la restitution. Cette réalisation a mené à un système de restitution que j'ai baptisé en l'honneur des anciens « Poivilliers E »⁴. De façon à permettre l'utilisation du code du programme comme outil de formation à la photogrammétrie analytique, le langage de programmation choisi est le Turbo-Pascal sous Dos.

La réalisation pratique amène à résoudre plusieurs problèmes matériels ou logiciels:

La visualisation stéréoscopique: les solutions possibles sont au nombre de quatre (au moins):

- affichage dans deux fenêtres séparées, et observation avec un stéréoscope placé devant l'écran. Simple à programmer, lumineux, mais monoposte, et assez fatigant car l'opérateur est immobile devant les oculaires.
- affichage superposé des images, avec codage coloré (anaglyphes), plus complexe à programmer, assez peu confortable (les yeux ne sont pas également sensibles au rouge et au vert), multiutilisateur (peut même être rétroprojeté, ce qui est utile dans l'enseignement), très bon marché, nécessitant un traitement radiométrique séparé des deux images du couple dans le cas d'images couleur.
- * affichage alterné des images, avec usage de lunettes actives à cristaux liquides; c'est le système

3 Une photographie aérienne noir et blanc numérisée au pas de 15 μ comportera environ 235 millions de pixels.

4 Série d'appareils de restitution analogiques Français, très utilisés autrefois à l'IGN, et dont la série s'était arrêtée à D.

le plus intéressant, car assez bon marché (ces lunettes sont vendues en accessoires avec certains jeux vidéo pour environ 1000F), relativement confortable à condition de disposer d'un écran avec une fréquence de rafraîchissement suffisante (85 Hz minimum, 120 Hz étant optimal), et pouvant être observé par 2 ou 3 personnes simultanément. Pour faire alterner les deux images en synchronisme avec l'affichage, cette solution (ainsi que la suivante) nécessite quelques « astuces » informatiques qui sont pour l'instant en dehors des normes (mais qui sont en cours d'intégration dans Direct X, couche graphique de Windows95 destinée aux jeux).

- Enfin, une solution luxueuse, mais pour l'instant beaucoup trop chère, le filtre actif devant l'écran et des lunettes passives.

Ces différentes solutions ont toutes été utilisées dans des systèmes commerciaux; à titre d'exemple, on trouvera la première dans le DVP de LHS, la seconde dans Photomod de CHS, la troisième dans les Imageration d'Intergraph et la quatrième dans les stations Helava de LHS.

Le Poivilliers E a retenu les deux solutions centrales (la dernière pouvant être réalisée sans développement particulier, mais cela n'a pas été testé, faute de matériel spécifique disponible).

Les images mobiles: le fonctionnement en images mobiles devant un ballonnet fixe est, on l'a vu, le plus satisfaisant pour l'utilisateur. Mais ce fonctionnement nécessite de pouvoir transférer en mémoire vidéo la totalité de la surface de l'écran en moins d'une trame (entre 8 et 12 millisecondes suivant la fréquence d'affichage choisie), ce qui suppose un temps d'accès mémoire de 30 ns environ par pixel en résolution 640x480. La plupart des cartes mères actuelles permettent des temps d'accès à la mémoire de 60 ns⁵, ce qui rend obligatoire un accès parallèle à plusieurs pixels simultanément. L'utilisation éventuelle d'images couleur⁶ augmente le nombre d'octets par pixel (de 2 à 4 suivant la représentation de la couleur employée) et ne peut donc se faire qu'au détriment de la résolution ou de la fréquence de balayage, toutes choses égales par ailleurs.

De plus, la taille des images est en général bien supérieure à la mémoire vive disponible sur les machines courantes. Il faut donc mettre en place un mécanisme de pagination des images à partir du disque dur, sans interrompre la visualisation stéréoscopique⁷. C'était là, la principale difficulté logicielle à résoudre, et l'inconnue initiale de la faisabilité du projet.

La commande en trois dimensions: tous les photogramètres connaissent les deux manivelles et la pédale traditionnelles des appareils analogiques. Rien de très standard n'existe dans le commerce pour réaliser la même fonction sur un PC. La solution retenue sur le Poivilliers E est d'utiliser une souris pour la planimétrie, et une seconde souris pour les déplacements en altitude (et pour l'annulation des parallaxes pendant la mise en place du couple). On peut la brancher sur le port série de l'ordinateur, et il suffit alors d'écrire un driver adéquat.

Les fonctionnalités du système :

Ce sont celles de tout appareil de restitution photogrammétrique, auxquelles on peut ajouter certaines facilités permises par l'imagerie numérique. Les données nécessaires à la restitution comprennent bien entendu le certificat de calibration de la caméra, la liste des points d'appui, et deux images, aériennes ou terrestres, dans des fichiers TIFF ou BMP, issues d'un scannage ou d'une caméra numérique. Après l'orientation interne (sauf pour les caméras numériques), et une compensation par faisceaux de la mise en place⁸ la restitution peut commencer.

L'imagerie numérique permet de profiter de plusieurs avantages :

- injection stéréoscopique de la restitution dans l'image (ou d'une base de données préexistante pour la mise à jour),

5 : Même si les nouvelles SDRAM sont cadencées à 10 ns, la vitesse d'accès réelle est limitée par la carte mère.

6 : La version actuelle du Poivilliers E fonctionne avec les images Noir et Blanc sur 8 ou 12 bits. Mais l'image affichée à l'écran est codée sur 6 bits, ce qui correspond à la largeur de bande du convertisseur digital-analogique de la très grande majorité des cartes graphiques. Les 2 bits restants sont utilisés l'un pour le codage de la couleur rouge ou verte en anaglyphe, le second pour l'injection stéréoscopique de la restitution.

L'amélioration constante des performances matérielles permettrait d'ores et déjà l'emploi d'images couleur.

7 : Les lunettes utilisées deviennent très inconfortables dès qu'elles ne sont plus commandées pendant quelques centièmes de seconde.

8 : Les algorithmes utilisés sont adaptés à la photogrammétrie terrestre, qui peut donc être mise en œuvre sans difficultés liées au système d'axes, que ce soit pour la mise en place comme pour l'injection de la restitution.

- aide à la mise en place par corrélation bidimensionnelle, permettant l'annulation des parallaxes en X et en Y,

- aide à la restitution par corrélation automatique:

un corrélateur numérique maintient en temps réel l'index de mesure au contact du terrain, en recherchant le maximum de corrélation sur une verticale donnée,

- adaptation locale de contraste, surtout utile avec les caméras numériques à grande dynamique : le système accepte les images en 12 bits, ce qui permet par exemple la restitution du sol dans les ombres portées des immeubles.

D'autres développements sont possibles, à condition (avec les machines actuelles) de ne pas être trop consommatrices de temps de calcul, pour préserver le fonctionnement temps réel de l'application.

Les applications :

Le Poivilliers E est déjà utilisé depuis plusieurs années pour l'enseignement de la photogrammétrie à l'ENSG et dans d'autres écoles, ce qui était son but initial. Mais on peut songer à des applications plus vastes.

L'ergonomie actuelle n'a pas été conçue pour une utilisation cartographique à plein temps, qui nécessiterait par exemple des fonctions propres aux SIG, comme les accrochages, les fermetures de surfaces, etc. La liaison avec un SIG est d'ailleurs à l'étude.

Cependant, dans le domaine purement géographique, il pourrait devenir un moyen efficace et rentable pour la mise à jour des bases de données numériques, aussi bien chez le producteur (le faible coût facilitant une décentralisation des moyens) que chez l'utilisateur final qui souhaite un enrichissement de sa base.

De plus, de nombreux domaines jusqu'alors peu ouverts à la photogrammétrie pourraient devenir utilisateurs, et un certain nombre d'essais sont en cours dans ce sens, que ce soit vers les archéologues, vers les architectes, les spécialistes du génie civil, les mécaniciens, mais aussi les forestiers ou les géologues. Utilisant eux même la photogrammétrie en liaison avec leur propre problématique, ils pourront en tirer le meilleur en

fonction de leurs objectifs. Mais il faudra mettre en place un dispositif de formation adéquat

Références :

Les algorithmes photogrammétriques mis en œuvre sont pour l'essentiel repris du logiciel du Traster analytique de Matra : ils sont décrits dans Y. EGELS et D. KIRSNER « Le logiciel Traster de l'Institut Géographique National », Bulletin de la SFPT, N° 84 (1981-4) pp.29-40

Un exemple de levé réalisé par photographie aérienne petit format embarquée dans un avion modèle réduit peut être trouvé dans P-H MOREL « Etude photogrammétrique de lacune sismique de la Fête Céleste », Mémoire de fin d'études, Ecole Supérieure des Géomètres Topographes, Le Mans, 1995

Le photothéodolite numérique utilisé à Alexandrie est décrit dans :

X.GUILLOTIN « Mise au point d'une méthode rapide de lever de fouilles archéologiques » Mémoire de fin d'études, Ecole Supérieure des Géomètres Topographes, Le Mans, 1997

L'essentiel de la documentation informatique est tirée de M.TISCHER « La bible du PC », Editions Micro-Application, PARIS

Mais dans ce domaine, la documentation à jour se trouve sur Internet. Les sites utilisés pour le développement du Poivilliers E sont :

INTEL « INTEL architecture software developer's manual vol 1-3 » ref 243190 à 243192 <http://www.intel.com>

Video Electronics Standards Association « VESA BIOS EXTENSION standard version 2.0, November 18, 1994 », <http://www.vesa.org>

Aldus developers desk « TIFF revision 6.0 June 3, 1992 », <http://www.adobe.com>.