



NATIONS UNIES

CONSEIL ECONOMIQUE ET SOCIAL

COMMISSION ECONOMIQUE POUR L' AFRIQUE

Première réunion du Comité de l'information
pour le développement

28 juin - 2 juillet 1999
Addis-Abeba (Ethiopie)



Distr.: GENERALE

E/ECA/DISD/CODL1/36
21 juin 1999

Original: FRANÇAIS

**PHOTOGRAMMETRIE NUMERIQUE EN LIAISON AVEC
DES SIG, UN ATOUT POUR LA MISE A DISPOSITION
ACCELEREE D'INFORMATIONS TOPOGRAPHIQUES**

Comité de l'information pour le développement

Addis-Ababa, 28 juin – 2 juillet 1999

**Photogrammétrie numérique en liaison avec des SIG,
un atout pour
la mise à disposition accélérée d'informations topographiques**

O. Kölbl

Ecole polytechnique fédérale, Lausanne

Photogrammétrie numérique en liaison avec des SIG, un atout pour la mise à disposition accélérée d'informations topographiques

O. Kölbl

1. Introduction

Des informations actuelles sur notre environnement représentent toujours une nécessité irremplaçable pour les travaux de planification les plus divers. Les frais pour la préparation de ces informations ont été cependant abaissés de manière substantielle par les techniques de photogrammétrie numérique. Il y a quelques années encore, pour des travaux d'inventaires en Afrique (par exemple le levé de l'état forestier), il était nécessaire de recourir à des mosaïques de photographies aériennes si la résolution des images satellitaires était insuffisant. Aujourd'hui, on peut obtenir des orthophotos numériques plus ou moins pour le même prix et l'on peut résoudre les problèmes d'inventaires au moyen de systèmes d'information géographique. De plus, cette technique permet en même temps de mettre à disposition un modèle numérique du terrain. Il est entendu que les exigences techniques pour de telles tâches ont passablement augmenté, mais le niveau de formation des topographes s'est aussi sensiblement amélioré; néanmoins, l'application de la photogrammétrie numérique est encore assez contraignante. Par contre, le coût des instruments ne devrait plus représenter un obstacle significatif.

L'échange d'informations a été largement facilité par les moyens électroniques. Dans le passé, les frais de reproduction des mosaïques étaient relativement élevés et nécessitaient des caméras de reproduction relativement chères. Aujourd'hui, il suffit d'échanger des CD-ROMs et dans un proche avenir on pourra se servir des réseaux de télécommunication. L'échange de données est aujourd'hui surtout limité par des barrières administratives.

Nous essayons, dans cet article, de mettre en évidence les techniques de photogrammétrie numérique. En outre, nous mettons en évidence la nécessité de l'interrelation entre saisie et analyse des données ainsi que les possibilités techniques d'échange de données. Finalement, nous évoquons ces possibilités techniques sur la base de quelques exemples pratiques. Les travaux abordés se réfèrent surtout à des projets techniques et à des projets d'inventaires régionaux pour la planification desquels des documents à grandes échelles (jusqu'à 1:1'000) sont nécessaires. Ces réflexions ne devraient nullement réduire les exigences envers les cartographies nationales, par exemple aux échelles 1:50'000 ou 1:100'000, qui sont encore très peu touchées par ces nouvelles techniques. Les cartes topographiques à échelles moyennes demandent un traitement cartographique intense. La photogrammétrie numérique ne peut appuyer ces efforts que par l'acquisition des données mais touche peu le processus cartographique proprement dit et la généralisation.

2. L'importance des photographies aériennes

De nombreuses tâches cartographiques et d'inventaires exigent des prises de vues aériennes à grandes échelles avec des pouvoirs de résolution de 20 à 50 cm. C'est surtout important si les travaux sont liés à des interventions sur le terrain; dans ce cas, la possibilité de reconnaître des détails sur les photographies aériennes est largement supérieure à la possibilité de

reconnaître des détails sur des images de satellite, mis à part évidemment certaines images de haute résolution destinées à l'espionnage. D'autre part, il se trouve que les frais pour des prises de vues aériennes sont en règle générale nettement inférieurs à ceux des images satellitaires. Mentionnons ici que l'IGN-France considère que pour la carte topographique 1:25'000 les photographies aériennes coûtent la moitié du prix des images satellitaires.

Il est entendu que des limitations administratives peuvent produire des barrières importantes qui, malheureusement, freinent la mise en place de techniques efficaces. Il faut cependant espérer que ces barrières disparaîtront au fur et à mesure qu'on prendra conscience de la nécessité de faciliter les travaux de planification. Mentionnons encore que les prises de vues aériennes ne sont pas toujours liées à l'usage d'avions professionnels mais que pour de nombreux projets on peut se contenter de chambres aériennes de format moyen (9 x 12 cm par exemple pour la Linhof) qui ne nécessitent pas d'avions spécialement aménagés.

3. Etat de l'art en photogrammétrie numérique

La photogrammétrie numérique ne nécessite plus des instruments photogrammétriques spécifiques comme pour la restitution des photographies analogiques. Les opérations de base sont exécutées sur des ordinateurs usuels. Les hautes performances des ordinateurs courants sous Windows ou Windows NT permettent d'obtenir des prestations importantes et on n'a plus besoin de processeurs spéciaux. Les opérations de base pour la restitution photogrammétrique étaient jusqu'ici l'observation stéréoscopique et le guidage de la marque-repère. Ce processus est actuellement largement remplacé par les techniques de transfert automatique de points basées sur le traitement numérique d'image. Dans ce cas, il faut être conscient que le transfert des points est une opération clé de la triangulation aérienne, de même que pour l'élaboration du modèle numérique de terrain (MNT). Si les éléments d'orientation d'une photo et le MNT sont disponibles, on peut produire les orthophotos automatiquement à partir des photographies aériennes numérisées. Par la suite, elles peuvent être compilées à une formation d'images plus importante par le mosaïquage.

3.1 Numérisation des images

Toutes les opérations de photogrammétrie numérique exigent la numérisation des photographies aériennes. Pour la numérisation, des scanners spécifiques ont été développés par l'industrie. Ces développements spéciaux ont été nécessaires afin de conserver la haute précision géométrique des photographies aériennes. Rappelons dans ce contexte qu'on cherche à obtenir des précisions allant jusqu'à 2-3 μm en photogrammétrie de haute précision. Cette précision ne peut être atteinte que par des scanners à plat. Pour la numérisation proprement dite, on utilise en règle générale des capteurs CCD (Couple Charge Detectors). De cette manière, on obtient un haut rendement et on peut obtenir une numérisation d'une photographie aérienne en 3-5 minutes. Un certain désavantage de ces capteurs est leur domaine dynamique limité, ce qui affecte surtout la numérisation des négatifs à grandes échelles qui présentent en règle générale un fort contraste. Le prix d'un scanner est aujourd'hui d'environ 200'000 US\$ et les fabricants les plus importants sont Helava, resp. LH-Systems, et Zeiss, resp. ZH-Image (union entre Zeiss-photogrammétrie et Intergraph-photogrammétrie). Diverses firmes en Europe et aux Etats-Unis se sont spécialisées dans la numérisation d'images et offrent leurs services à des prix relativement bas, en règle générale 20-60 US\$ selon la dimension de pixel et le type d'image, noir et blanc ou couleurs. Pour des exigences de précision moindres, on peut aussi utiliser des scanners de bureau. C'est possible si on se limite à la production d'orthophotos avec faible

agrandissement, par exemple un facteur 2 à 3 entre photo aérienne et orthophoto; d'autre part, il faut pouvoir se passer de triangulation aérienne.

3.2 Triangulation aérienne numérique

Lors de l'élaboration d'une formation de bloc plus importante ou l'élaboration de mosaïques, il faut absolument prévoir une triangulation aérienne. Si les images ne sont pas correctement orientées pour la mosaïque, on observe rapidement des décalages importants dans les zones de transition, décalages qui ne peuvent pas être corrigés ultérieurement. L'industrie offre aujourd'hui des programmes de triangulation aérienne automatique qui opèrent effectivement de façon largement automatisée. Citons comme exemples les logiciels HATS de LH-Systems et Phodis AT de Zeiss ainsi que le programme Match-AT développé par Inpho GmbH et qui est intégré dans le système Intergraph. Tous ces programmes utilisent les mêmes étapes de travail. Dans une première phase, il faut mesurer un petit nombre de points d'ajustage et veiller à introduire des valeurs approximatives pour les éléments d'orientation ou définir le recouvrement afin que les éléments d'orientation puissent être déterminés automatiquement. Par la suite, le programme calcule des points de liaison entre les photos individuelles selon des schémas prédéfinis. Le transfert des points se fait souvent en s'appuyant sur des opérateurs d'intérêt pour obtenir des points de transfert qui puissent aussi être contrôlés par un opérateur et qui donnent une grande possibilité de réussite. Par la suite, les mesures sont introduites dans un programme de compensation qui détecte les points de transfert erronés. L'opérateur doit ensuite se faire un aperçu sur les images proprement incorporées dans la formation de bloc et pour déterminer où des lacunes doivent être comblées par des mesures supplémentaires. Cette phase est certainement la plus délicate et les moyens permettant d'assister l'opérateur à ce stade sont encore en développement. Ainsi, l'opérateur peut par la suite mesurer des points d'ajustage supplémentaires. Dans cette phase il est largement aidé par l'instrument qui se positionne automatiquement à proximité des points. Il est entendu que des points de transfert supplémentaires sont éventuellement à mesurer.

Dans ce cas, des zones forestières étendues et des régions à faible contraste sont problématiques. Le rendement de la triangulation aérienne automatique s'élève aujourd'hui à 60-100 images par journée d'environ 8 heures. C'est un gain important si l'on pense que sur un restituteur analytique on a un rendement de peut-être 10-20 images pendant le même temps. Les frais pour la triangulation aérienne s'élèvent aujourd'hui à 30-70 US\$ par image. En comparaison avec les travaux sur restituteur analytique, le coût est ainsi réduit d'un facteur 2 à 3.

Nous avons déjà mentionné les firmes les plus importantes offrant des logiciels de triangulation aérienne. Il est entendu que d'autres firmes se sont aussi spécialisées dans ce domaine mais souvent le confort pour les mesures ou l'efficacité du transfert de points laissent encore à désirer.

Un grand effort est toujours nécessaire pour la détermination des points d'ajustage si cette opération se fait sur le terrain. Une alternative est représentée par l'utilisation du GPS aéroporté, ce qui permet de déterminer la position du centre de projection au moment de la prise de vue avec une précision de ± 10 cm, ce qui suffit pratiquement pour toutes les restitutions topographiques à l'exception des travaux de haute précision. L'usage du GPS cinématique peut cependant conduire à une augmentation d'environ 20-40% des frais de triangulation aérienne. Pour certains travaux d'inventaires, il peut aussi être suffisant de tirer les points d'ajustage d'une carte topographique existante afin d'obtenir une haute précision

relative tout en acceptant une précision absolue limitée.

3.3 Dérivation d'un modèle numérique de terrain

Outre les éléments d'orientation des photographies aériennes, on a besoin d'un MNT pour le calcul des orthophotos. Comme pour le transfert des points lors de la triangulation aérienne, on peut aussi largement automatiser la dérivation d'un MNT. De nombreux programmes de calcul sont proposés par l'industrie spécialisée, ils diffèrent essentiellement en ce qui concerne le confort de l'opérateur et le contrôle de qualité. Lors du calcul automatique d'un MNT, il est possible qu'apparaissent des erreurs allant jusqu'à plusieurs mètres, ce qui est rarement tolérable. Si l'on tient à un MNT précis (par exemple 0,2-0,3 % de l'altitude de vol) il est absolument nécessaire d'effectuer des contrôles de précision importants. Dans le cas le plus simple, on peut contrôler tous les points de la grille du MNT déterminés et les corriger. L'effort est cependant très important et dans ces conditions il serait préférable de renoncer à la détermination automatique du MNT. Une plus grande efficacité est atteinte par des algorithmes permettant un lissage selon la fiabilité des points, des procédures d'interpolation et l'incorporation de lignes de rupture mesurées manuellement. Il faut partir de l'idée que le post-traitement d'un MNT représente une partie importante du temps total de travail, néanmoins ce temps peut être réduit jusqu'à un facteur 4 par rapport aux travaux sur restituteur analytique. Les frais pour la dérivation d'un MNT dépendent largement des spécifications de précision et devraient s'élever à environ 500 US\$ par km² pour une précision de ± 20 -30 cm, mais il faut compter avec de grandes variations.

Une alternative importante aux mesures sur photographies aériennes est aujourd'hui l'utilisation d'altimètres laser. Avec l'altimètre laser, on détermine la distance entre l'avion et le sol. Afin de ne limiter ces mesures que sur le profil en long des prises de vues, on dévie le rayon laser avec un miroir à balayage ou on travaille avec une batterie des altimètres laser. Aussi ici on obtient de manière primaire la hauteur des objets visibles, c'est-à-dire aussi la distance vers des arbres et des maisons et il faut prendre des précautions pour la correction et l'édition. Il est cependant usuel de travailler avec des faisceaux relativement étroits, ce qui permet aussi de réaliser des mesures dans les forêts. En Allemagne, par exemple, on a décidé d'utiliser l'altimètre laser en priorité pour la carte de base, avec une spécification demandant une précision altimétrique de ± 30 cm. Cela s'impose pour des raisons financières mais aussi en raison de la période relativement longue pour ce type de prises de vues par rapport à la réalisation de photographies aériennes. Les frais d'une telle opération sont actuellement d'environ 300-600 US\$ par km².

3.4 Calcul des orthophotos

Le calcul des orthophotos est largement automatisé, de même que la combinaison de plusieurs orthophotos en une mosaïque. Une grande différence s'observe cependant dans la possibilité d'adaptation des tons de gris - resp. des tons de couleurs - entre les photos. Une autre caractéristique importante est la possibilité d'incorporer des lignes de rupture dans le MNT afin d'éviter des artefacts pour des objets comme des ponts ou des digues. En ce qui concerne l'adaptation des tons de gris, il faut aussi prendre en considération que les photographies aériennes sont souvent plus sombres vers les bords, ce qui est en principe relativement facile à corriger, mais on trouve cependant rarement des programmes efficaces. D'autre part, on observe un changement de luminosité en direction du soleil, qui provoque pratiquement une inclinaison des valeurs de luminosité. Finalement, mentionnons qu'il faut prendre en considération le 'hot spot' et le point de réflexion du soleil. Dans le point de

réflexion du soleil on observe une réflexion de miroir et par conséquent un fort éclaircissement de la région. Par contre, les hot spots et les points sans ombre qui apparaissent aussi très clairs. Hot spot et point de réflexion du miroir sont difficiles à corriger. En règle générale, on évite de traiter ces zones critiques sur une photographie aérienne et on recourt aux images avoisinantes. Il est entendu que toutes ces opérations doivent être réalisées manuellement et sont relativement coûteuses. Par conséquent, il y a une grande variabilité pour l'élaboration des orthophotos.

Finalement, mentionnons que des orthophotos exactes sont difficiles à réaliser car des objets comme les arbres ou les bâtiments montrent toujours des déplacements radiaux. Il est entendu que divers programmes permettent aujourd'hui de réaliser des orthophotos intégrales; ces opérations sont cependant très coûteuses, la modélisation manuelle de tous les bâtiments entraînant des frais importants. D'autre part, de nombreux bâtiments ne peuvent pas être modélisés proprement en raison d'objets particuliers comme des cheminées ou de petites tours, difficiles à saisir. Dans ce cas-là, il est beaucoup plus efficace d'utiliser des focales plus longues, comme 30 cm, où ces erreurs sont en règle générale tolérables.

4. Diffusion des données topographiques

4.1 Impression des orthophotos

Toutes les personnes travaillant en cartographie savent que les travaux de cartographie proprement dits, c'est-à-dire la généralisation et la mise au net des cartes ainsi que leur impression, sont des activités beaucoup plus lourdes que la saisie des données par photogrammétrie et leur restitution. Pour une publication, l'impression offset d'une simple page A4 en quadrichromie peut déjà coûter facilement 1000 US\$. Le prix augmente encore considérablement pour les formats utilisés en cartographie. Ainsi, l'impression des données y inclus les orthophotos peut se monter à des sommes importantes. Les moyens d'impression électroniques représentent aujourd'hui une alternative si l'on a besoin de tirages très limités, comme c'est le cas pour les orthophotos à grandes échelles. On opte très souvent pour l'impression des orthophotos à la demande, ce qui permet de combiner les données selon les besoins spécifiques (orthophotos, données vectorielles, thématiques, etc.). Même s'il faut compter 10-50 US\$ pour une impression en couleurs d'une orthophotos au format A0, on est loin des frais occasionnés par un tirage offset.

La qualité de ces impressions laisse encore à désirer en comparaison d'une impression offset. Pour une impression offset en quadrichromie, on procède par tramage des documents demi-teintes. Comme l'impression ne connaît que le système binaire blanc ou noir, on crée une matrice de points de taille variable selon les tons de gris de l'original. Cette matrice peut avoir une finesse jusqu'à 60 points/cm pour des livres de qualité ou même plus pour des livres d'art. Pour les journaux, on se contente d'environ 25-30 points/cm.

L'impression par moyens électroniques en est encore en règle générale à un degré plus primitif, comme on doit se contenter d'une matrice de points de taille fixe de 300 ou 600 points/pouce. Cependant, l'impression d'un point de taille fixe ne suffit pas a priori pour reproduire une image demi-teintes. Pour ce faire, il faut créer des matrices de 5 x 5 ou 6 x 6 points et dans ces matrices on varie maintenant la valeur des tons de gris en imprimant un seul point, 2 points jusqu'aux 25 points en opérant avec un linéament de 5 x 5 points. Cela signifie qu'on peut ainsi imprimer 25 tons de gris différents. Rappelons dans ce contexte que lors de la numérisation d'une image demi-teintes on travaille en règle générale avec 256 tons de gris. En utilisant 300 points/pouce, on obtient ainsi une qualité comparable à l'impression

de journaux à 20 points/pouce. Les imprimantes les plus connues, comme les HP DesignJet 650 ou 750, travaillent avec cette finesse et donnent néanmoins des images de qualité satisfaisante bien qu'on soit loin du standard d'impression offset de haute qualité.

Une autre difficulté de cette technique est que l'encre n'est généralement pas aussi résistante à la lumière que l'encre utilisée en imprimerie. Il s'agit là évidemment de problèmes passagers, car de nouveaux produits donnent déjà des résultats beaucoup plus satisfaisants. En tous les cas, l'impression électronique a atteint un stade qui peut satisfaire pratiquement toutes les demandes de visualisation des données. Cependant, cette technique se prête mal à la conservation des données et à leur stockage primaire, au contraire des cartes topographiques.

4.2 Echange d'images numériques

Pour l'instant, les produits de la photogrammétrie numérique sont le plus souvent échangés à l'aide de CD-ROMs, plus connus actuellement comme supports musicaux. Cette large diffusion des CD-ROMs assure aussi un haut standard pour des applications techniques, et ceci à un prix relativement faible. Ainsi, les orthophotos peuvent être gravées sur CD-ROM avec des moyens relativement bon marché et diffusées ensuite au grand public. Rappelons que très souvent les actes des congrès sont déjà fournis aux participants sous cette forme. Bien sûr, il reste toujours le problème du format des données. Il y a seulement une année, dans le cadre d'un test scientifique réalisé entre différentes institutions universitaires européennes, on a utilisé le format RAW pour l'échange d'images. Dans ce cas, on transmet l'image ligne par ligne sans information particulière sur la fin de la ligne ou le nombre de lignes effectives.

Evidemment, il est beaucoup plus efficace de donner le nombre de lignes et de colonnes. D'autre part, il convient d'indiquer s'il s'agit d'une image noir et blanc ou en couleurs. Le format TIFF (Tagged Image File Format) est aujourd'hui un standard qui remplit ces conditions et va beaucoup plus loin dans les possibilités. En effet, le traitement d'image ne devrait pas se limiter seulement à une matrice de, disons, 10'000 x 10'000 pixels. Une telle information est difficile à gérer et très lente dans sa manipulation. Si l'on veut afficher des sections d'image, il convient de recourir à des sous-images appelées 'tuiles' (anglais : tiles); lors du stockage, l'adresse de ces tuiles est répertoriée et il suffit d'appeler le contenu de ces tuiles en se référant à la section d'image appropriée. Si en plus on veut recourir à des aperçus, il convient également de les stocker et de les traiter de manière semblable. Par conséquent, le format TIFF permet aussi le stockage des aperçus et on utilise très souvent toute la pyramide des aperçus, c'est-à-dire des réductions de facteur 2, 4, 8, etc. Ces deux mesures, l'information des tuiles et le stockage d'aperçus, permettent déjà un traitement beaucoup plus efficace de l'image. Afin de réduire la place de stockage, on a aussi intérêt à compresser l'information. Différentes techniques sont utilisées, dont la plus connue est la compression JPEG (Joint Photographic Experts Group). Par ces formats, on fait une transformation cosinus en diagonale sur sous-matrices de 8 x 8 pixels et on supprime toutes les amplitudes qui dépassent un certain seuil. De cette manière, on arrive à une compression allant jusqu'à un facteur 4 pour une image noir et blanc et jusqu'à un facteur 10 pour une image couleurs. Actuellement, d'autres techniques sont en développement, dont la compression par templets, qui permettent un facteur de réduction encore beaucoup plus importants, allant semble-t-il jusqu'à 1:100.

Un dernier élément important si l'on veut traiter des orthophotos numériques est de les référencer géométriquement afin d'assurer que l'image soit proprement affichée dans un

système d'information et coïncide avec l'information géométrique du système. Afin d'atteindre cet objectif, on stocke les coordonnées de l'angle de la matrice d'image ainsi que la matrice de transformation et on parle dans ce contexte de géoréférence. D'autres particularités sont encore en préparation, en particulier dans le cadre de la photogrammétrie, mais il est certainement encore trop tôt d'en parler.

Retenons cependant que le format TIFF est aujourd'hui généralement accepté comme moyen d'échange standard, mais très souvent seul le TIFF untiled sans compression passe sans difficultés. D'autres particularités comme tiled overviews et références géométriques sont en train de se généraliser mais ne sont pas encore partout acceptées.

4.3 Logiciels pour la visualisation des images numériques et leur traitement cartographique.

En simplifiant, on peut définir 4 catégories de logiciels de traitement d'image :

1. Logiciels de visualisation (Photoshop, Acrobat)
2. Logiciels pour superposition avec des données vectorielles, tels MapInfo, MicroStation, AutoCad, ArcView, etc.
3. Logiciels pour combinaison avec des données binaires (IRAS/B et IRAS/C d'Intergraph combinés avec MicroStation)
4. Logiciels d'interaction entre vecteurs et pixels pour modifier l'aspect d'image en fonction de la carte thématique)

4.3.1 Logiciels de visualisation

Les logiciels comme Photoshop ou Acrobat permettent une simple visualisation des orthophotos numériques et l'élaboration de simples esquisses cartographiques superposées utiles pour être incluses dans des rapports. Cependant, ce type de logiciels ne permettent pas à proprement parler de gérer une carte et ne permettent pas la combinaison de l'orthophoto avec une base de données déjà existante.

4.3.2 Logiciels pour superposition avec des données vectorielles

Nous avons déjà cité les systèmes d'information géographique tels que MapInfo, ArcView et ArcInfo. Les logiciels de DAO, tels MicroStation ou AutoCad, permettent également des superpositions avec des données pixels. Au Laboratoire de photogrammétrie de l'EPFL, nous avons choisi Intergraph avec MicroStation et IRAS/C respectivement Image Analyst pour la combinaison des images avec des données vecteurs. En principe, même MicroStation seul suffit avec la possibilité d'affichage au travers d'un fichier de référence. Le moyen de traitement reste dans ce cas assez limité mais suffisamment efficace pour bon nombre d'applications.

4.3.3 Logiciels pour la combinaison de données binaires et vectorielles avec des orthophotos

Pour des travaux plus poussés, il est souvent utile de numériser les documents graphiques existants comme cartes pixels, c'est-à-dire qu'on a une image binaire par couche de couleur, qui peut être combinée avec des données vectorielles et des orthophotos. Sur Intergraph, il est nécessaire de travailler avec IRAS/B et IRAS/C ou Image Analyst et MicroStation. Il est entendu que le travail avec MicroStation offre la possibilité de travailler avec un système d'information (MGE – Modular Geographic Environment) pour disposer de toutes les

possibilités d'un tel système.

4.3.4 Interaction entre données vecteurs et cartes pixels

Il faut être conscient qu'une orthophoto est très aisée à lire et on a la possibilité d'accentuer l'image ou de l'affaiblir à l'écran en fonction des besoins. Lors de l'impression, les moyens d'expression cartographique sont considérablement limités et il n'est pas facile d'obtenir une belle orthophoto couleurs combinée avec des informations vectorielles faciles à identifier. C'est surtout la superposition avec des symboles de surfaces pour indiquer par exemple un type de végétation, une zone environnementale affectée, etc. qui cause des problèmes, et des hachures ou d'autres symboles ne donnent généralement pas de résultats satisfaisants. Il s'avère ainsi beaucoup plus judicieux de partir d'une orthophoto noir et blanc et de colorer les tons de gris en fonction de l'information thématique. Une telle approche est possible au moyen de Grid Analyst d'Intergraph, mais ArcInfo offre aussi un tel logiciel. Cette technique a fait ses preuves dans plusieurs cas de cartographie cadastrale et de cartographie forestière.

4.4 Cartographie au travers du Web; Intranet, Internet

Les réseaux de communication et les moyens d'échange d'information et de visualisation devraient aussi changer fondamentalement notre concept de la cartographie. Cependant, il s'agit là d'un concept nouveau qui, pour l'instant, fait l'objet d'une recherche très dynamique mais dont l'utilisation pratique est encore assez limitée.

Intranet est un réseau local au niveau d'une entreprise, en opposition à Internet. Intranet permet l'échange de données à travers différents utilisateurs et institutions indépendantes. La plupart des systèmes d'information permettent de communiquer à l'intérieur d'un réseau et les différents clients pourraient utiliser l'information stockée sur un serveur central. Le débit atteint par ces réseaux est largement suffisant pour l'échange de données pictorielles comme les orthophotos numériques.

Evidemment, l'objectif est d'aller beaucoup plus loin et de permettre à diverses institutions de collaborer au travers de différents systèmes. Un des moyens pour interroger des données au travers de différents systèmes est Geomedia d'Intergraph. Ce système permet d'interroger plusieurs bases de données et d'en combiner les informations, et permet aussi un traitement local très limité, c'est-à-dire qu'on peut simplement ajouter des données vectorielles. AutoDesk offre la même facilité avec MapGuide, avec la possibilité d'obtenir une intelligence locale. Un système dynamique encore en développement semble promis à ouvrir de nouvelles perspectives dans ce domaine.

5. Quelques applications

La photogrammétrie numérique telle qu'elle a été décrite est relativement récente et fortement liée au développement des moyens informatiques. L'orthophoto en soi s'utilisait déjà bien avant avec des techniques traditionnelles et un grand nombre de pays européens sont couverts par des orthophotos à échelles moyennes (1:5'000 – 1:10'000) : une grande partie de l'Allemagne avec la Grundkarte 1:5'000, la Belgique avec les orthophotos 1:10'000, la Suède, etc. Après la chute du rideau de fer est apparu un grand besoin d'une cartographie rapide. Dans un certain nombre de pays, cette cartographie a été réalisée par orthophotos (Allemagne de l'est, Pologne, etc.). Ces moyens s'utilisent aussi de plus en plus dans les pays africains et du Moyen-Orient. Ce n'est pas seulement sous contrat que les orthophotos numériques sont produites, les services topographiques de ces pays appliquant de plus en

plus cette nouvelle technique. L'ESA – Egyptian Surveying Authority – par exemple, utilise depuis 5 ans la photogrammétrie numérique pour élaborer des plans et des orthophotos à grandes échelles. Ce travail est effectué sur des instruments de la Maison Helava : avec une station de travail et un scanner on arrive à produire deux orthophotos par jour de travail de 12 heures, c'est-à-dire avec 2 équipes de travail. Chaque orthophoto nécessite le redressement de 6 photos et l'élaboration des modèles numériques de terrain correspondants. Récemment, le Royal Jordanian Geographic Center s'est aussi équipé avec des moyens de photogrammétrie numérique pour élaborer des orthophotos et des cartes à grandes échelles.

L'auteur de cet article a eu l'occasion de participer à un inventaire des monuments historiques au sud du Maroc. Il a commencé à utiliser la photogrammétrie numérique pour réaliser des orthophotos des casbahs et des ksour, monuments caractéristiques de la région, avant de constater que l'Office de l'agriculture utilisait déjà régulièrement des orthophotos numériques, même de meilleure qualité, élaborées par des bureaux de photogrammétrie locaux.

6. Conclusions

La photogrammétrie numérique ouvre ainsi de nouvelles voies à la cartographie, à l'aménagement du territoire et à une meilleure gestion de l'environnement. Dans le passé, cette technique n'était applicable qu'à travers les photo-mosaïques, technique bon marché mais peu précise et ne se prêtant pas à une informatisation. Les orthophotos numériques permettent de créer rapidement une base topographique précise et fiable, tout à fait accessible à l'informatisation et à l'intégration dans des systèmes d'information. On applique ainsi à des photographies aériennes, et à des échelles beaucoup plus grandes, des techniques qui ont été développées à l'époque pour les images de satellites. Il ne faut pas oublier que la cartographie à petites échelles demande une généralisation et une interprétation importantes; par contre, les grandes échelles (1:5'000 ou plus) exigent une interprétation sensiblement plus modeste et l'orthophotogrammétrie représente la base optimale pour beaucoup d'analyses et de saisies et l'acquisition des données de base primaires. Son faible coût devrait permettre de l'appliquer largement à la cartographie à grandes échelles et à une meilleure gestion de notre environnement.

Adresse de l'auteur

Prof. Dr O. Kölbl
EPFL – Photogrammétrie
GR-Ecublens
CH – 1015 Lausanne / Switzerland

Tel. 41-21-693.27.75
Fax 41-21-693.57.20
Otto.Koelbl@epfl.ch
<http://dgrwww.epfl.ch/PHOT/index.fr.html>