

LA SUISSE RECOUVERTE D'ORTHOPHOTOS AVEC LE PROJET SWISSPHOTO

Thomas Kersten, Nathalie Chuat
Swissphoto Vermessung AG
Dorfstr. 53, CH - 8105 Regensdorf-Watt, Suisse
Tél. : +41 1 871 22 22, Fax +41 1 871 22 00
e-mail: [thomas.kersten, nathalie.chuat]@swissphoto.ch

RESUME

Les orthophotos représentent une base de donnée essentielle et continuellement mise à jour. Elles permettent la réalisation de nombreuses applications dans les systèmes d'information géographique en répondant au besoin important et grandissant en données récentes, précises et rapides à acquérir. Elles se présentent sous forme d'une couche de données 3-D ou sous forme de plans à diverses échelles utiles pour la planification, la surveillance et la gestion de ressources environnementales.

Avec le projet *swissphoto*, swissair Photo+Mensurations SA offre des données spatiales couvrant l'entier de la superficie de la Suisse (42'000 km²) sous forme d'images numériques, de modèles de terrain numérique, et d'orthophotos. Ces produits standards permettent à un large éventail d'utilisateurs de réaliser une multitude d'applications variées. Les vols photogrammétriques ont été effectués au-dessus de la Suisse pendant 27 jours de août à octobre 1995, et pendant 7 jours supplémentaires de juillet à septembre 1996.

1. INTRODUCTION

Le développement des procédés informatiques et graphiques, ainsi que la disponibilité croissante en données numériques de haute qualité ont fait que de nouvelles formes de traitement et de gestion ont vu le jour dans les offices gouvernementaux et dans le secteur économique privé. Ces changements ont provoqué un besoin grandissant en informations topographiques numériques, nécessaires pour constituer une couche de données de base pour le traitement spatial et thématique de données numériques dans les systèmes d'information géographique (SIG). Le besoin de données à jour, précises, rapides à acquérir et d'une couverture d'informations 3D, ainsi que des plans à diverses échelles pour la planification, la surveillance et la gestion de ressources environnementales est actuellement très nettement en hausse. Les bureaux de planification, les nombreux bureaux de géomètre, les services de mensuration, les départements des offices gouvernementaux (Confédération, cantons et communes), les entreprises de communication, de transport, de trafic et d'énergie, ainsi que divers domaines allant de la recherche au tourisme ont besoin de données spatiales et de plans de bonne qualité. Les orthophotos tirées d'images satellites ou aériennes sont la solution idéale pour fournir des données topographiques dans beaucoup d'applications et à de nombreux utilisateurs. La géo-référence des orthophotos garantit, plus tard, leur utilisation avec d'autres groupes de données diverses. Les raisons suivantes montrent la croissance significative des orthophotos sur le marché (Grün et al., 1994):

- La couverture en informations numériques, utilisant des images satellites et aériennes, est facilement accessible.

- La qualité élevée des scanners permet de digitaliser les images analogiques ou autres sans aucun problème.
- La qualité des modèles numériques de terrain (MNT), permettant de générer les orthophotos, varie selon les différentes méthodes modernes d'acquisition, par ex. corrélation d'images numériques, laser-scanning, radar interférométrique, etc...
- Les points de contrôle nécessaires peuvent être obtenus efficacement par GPS avec une précision élevée.
- Des ordinateurs performants, avec une grande capacité de sauvegarde, sont aujourd'hui disponibles à un prix raisonnable.
- De nombreux vendeurs proposent sur le marché des logiciels de calcul d'orthophotos.
- La cartographie numérique utilise de plus en plus d'orthophotos pour restituer des plans.
- La mensuration officielle suisse approuve l'utilisation d'orthophotos pour la restitution de la couverture du sol en dehors des zones urbaines et pour la révision de plans à grande échelle.
- Les orthophotos sont des informations importantes et à jour pour les SIG.
- Avec des logiciels permettant de les visualiser sur PC, les orthophotos vont faire leur entrée sur le marché public.

2. LES ORTHOPHOTOS NUMERIQUES

Les orthophotos sont le premier produit provenant des techniques modernes en photogrammétrie numérique, elles ont les avantages suivants:

- Précision élevée, grande densité d'informations
- Production rapide, coûts peu élevés, importante efficacité

- Souplesse dans la production et dans les produits dérivés
- Extraction d'informations avec un degré d'automatisation élevé
- Manipulation radiométrique simple (qualité de l'image, mosaïque, édition des couleurs, redressement spectral dynamique, etc.)
- Intégration de vecteurs et d'informations supplémentaires (cadre, noms géographiques, numéros, etc.)

Pour permettre le calcul des orthophotos, les données suivantes doivent être à disposition: images numériques, paramètres d'orientation de chaque image et modèle numérique de terrain.

Pour scanner des clichés analogiques, seuls les scanners photogrammétriques à haute précision, assurant une certaine stabilité géométrique et radiométrique (par ex.: Helava/Leica DSW 200/300, Zeiss/Intergraph PS1, Zeiss SCAI, etc.), peuvent être utilisés. Selon les critères spécifiques, les photos ont en général une résolution de 10 à 50 µm. L'orientation interne complètement automatique (Kersten and Haering, 1995) est effectuée en mesurant les marques de repères des clichés. Les paramètres de l'orientation extérieure sont obtenus pour chaque image par un redressement dans l'espace, ou pour un modèle stéréoscopique ou une image d'un bloc photogrammétrique par une triangulation aérienne effectuée de manière entièrement automatique.

Les modèles numériques de terrain peuvent être obtenus à partir de plusieurs méthodes: (a) mesures topographiques sur le terrain, (b) digitalisation de plans, (c) mesures prises sur un restituteur analogique, (d) corrélation d'images numériques, (e) laser scanning (Lindenberger, 1991) et radar interférométrique de bord.

La région générée par l'orthophoto doit être couverte par un MNT. Pour pouvoir calculer automatiquement une orthophoto numérique, la localisation géométrique de l'image et la valeur de la densité radiométrique du cliché doivent être déterminées pour chaque pixel de l'orthophoto (Figure 1).

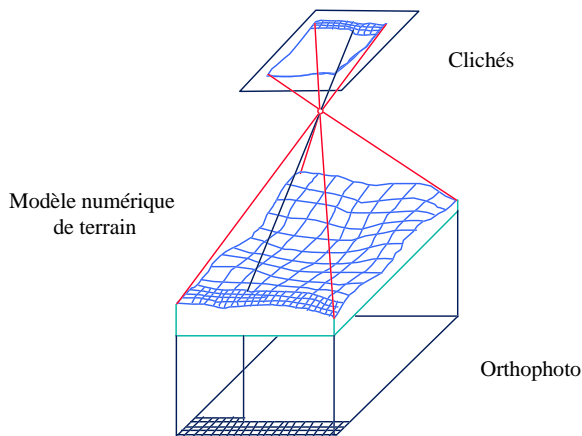


Figure 1: Principe de calcul d'une orthophoto

Dans le procédé de redressement géométrique, la valeur de l'altitude du pixel de l'orthophoto connue par les équations colinéaires, est obtenue par l'interpolation du MNT. Pour le redressement radiométrique, les valeurs noir/blanc, ou respectivement couleurs, sont interpolées dans l'image à l'aide des pixels avoisinants, et sont transmises dans chaque pixel de l'orthophoto. Le temps de calcul d'une orthophoto dépend des performances de l'ordinateur et de la résolution choisie. Avec un ordinateur moderne standard, il faut compter un peu moins d'une heure par photo.

3. PROJECT SWISSPHOTO

Le projet SWISSPHOTO a débuté au printemps 1995, afin de fournir des données géographiques à jour couvrant toute la superficie de la Suisse à l'aide d'images aériennes. De ce fait, des produits standards analogiques, des images numériques, des modèles numériques de terrain, et des orthophotos peuvent être offerts à de nombreux utilisateurs dans divers domaines.

3.1 Vol

L'entier de la superficie de la Suisse a été photographié en trois phases, en utilisant simultanément un film couleur et un film infrarouge.

Lors de la phase 1, les zones urbaines et la partie nord du pays ont été survolées pendant les mois de juin à août 1995. La phase 2 s'est déroulée de août à octobre 1995 et, le sud et les vallées septentrionales ont été à leur tour survolés (Figure 2). Quelques régions spécifiques (respectivement quelques lignes de vol) ont dûes être survolées à nouveau lors d'une troisième phase, car de la brume ou des nuages apparaissaient sur les photos de 1995. La phase 3 a eu lieu de juillet à septembre 1996.

L'échelle des clichés varie de 1: 24 000 (pour les régions non montagneuses et les vallées) à 1: 38 000 (dans les Alpes). La totalité des prises de vues représentent plus de 8000 images par type de film (cf. les caractéristiques techniques du vol dans la Tableau 1).

Région:	L'entier de la Suisse
Superficie couverte:	~42000 km ²
Altitude du terrain:	~400 - 4800 m
Altitude de la chambre:	~4400 - 9800 m
Chambre aérienne:	Wild RC30/20
Echelle des clichés:	~1: 24000 - 1: 38000
Recouvrement long./lat.:	90-70% / 40-30%
Nombre de lignes de vol:	154
Nombre d'images:	~8000
Dates des vols:	06 - 10/1995, 07-09/96
Films:	couleur + diapo infrarouge
Scanner:	Leica DSW200
Résolution:	25 µm

Tableau 1: Caractéristiques du vol

Afin de réduire les coûts de la signalisation des points de contrôle et la détermination des coordonnées en 3D, les coordonnées de la chambre photographique ont été enregistrées à l'aide d'un DGPS (différentiel GPS). Pendant tous les vols, un récepteur GPS Leica placé dans l'avion et relié à trois stations de référence au sol a été utilisé. Avant le premier vol, 104 points supplémentaires provenant du programme préliminaire LV'95 et choisis selon leur distribution ont été signalés au sol.

3.2 Les stations de travail en photogrammétrie numérique

Pour produire les données *swissphoto*, swissair Photo+Mensurations S.A. travaille sur les équipements de photogrammétrie numérique de Leica/Helava:

- 2 station photogrammétriques numériques DPW770
- 1 station photogrammétrique numérique DPW670
- 2 station scanning numérique DSW200.

Ces stations photogrammétriques sont reliées actuellement à quatre ordinateurs Sparc Station 20/71 et un Sparc Ultra 2 de SUN microsystems.

Parallèlement, trois PC sont utilisés pour la production d'orthophotos.

3.2 Production des données

Afin de satisfaire le besoin en données topographiques en temps réel et en cartes futuristes, des méthodes modernes et efficaces provenant des données spatiales doivent être exploitées.

En employant de telles techniques et les méthodes de la photogrammétrie numérique, les données 3D et les plans peuvent être dérivés d'images aériennes à jour en mode automatique.

Quelques procédés (tels que l'import de l'image, l'orientation intérieure, la triangulation, le calcul du MNT, le calcul d'orthophotos, etc.) sont exécutés entièrement automatiquement ou partiellement automatisé et traité en série. Afin d'optimiser l'organisation du projet, la production *swissphoto* est divisée en plusieurs étapes, comprenant chacune un procédé spécifique:

- Scanning
- Archivage des données
- Triangulation aérienne numérique
- Génération automatique du modèle de terrain numérique
- Génération automatique d'orthophotos
- Mosaïque
- Gestion des données
- Export et transfert des données

L'entier de la production devrait être achevé dans les deux années à venir, afin d'offrir aux utilisateurs des données récentes et à jour. En 1999 ou 2000, une nouvelle campagne de vol est prévue et de nouvelles photos de toute la Suisse seront à nouveau prises.

3.2.1 Scanning et archivage des données

Les images *swissphoto* sont scannées à l'aide d'une station de travail DSW200 de Helava/Leica en mode RGB (Rouge, vert et bleu). Avec la configuration

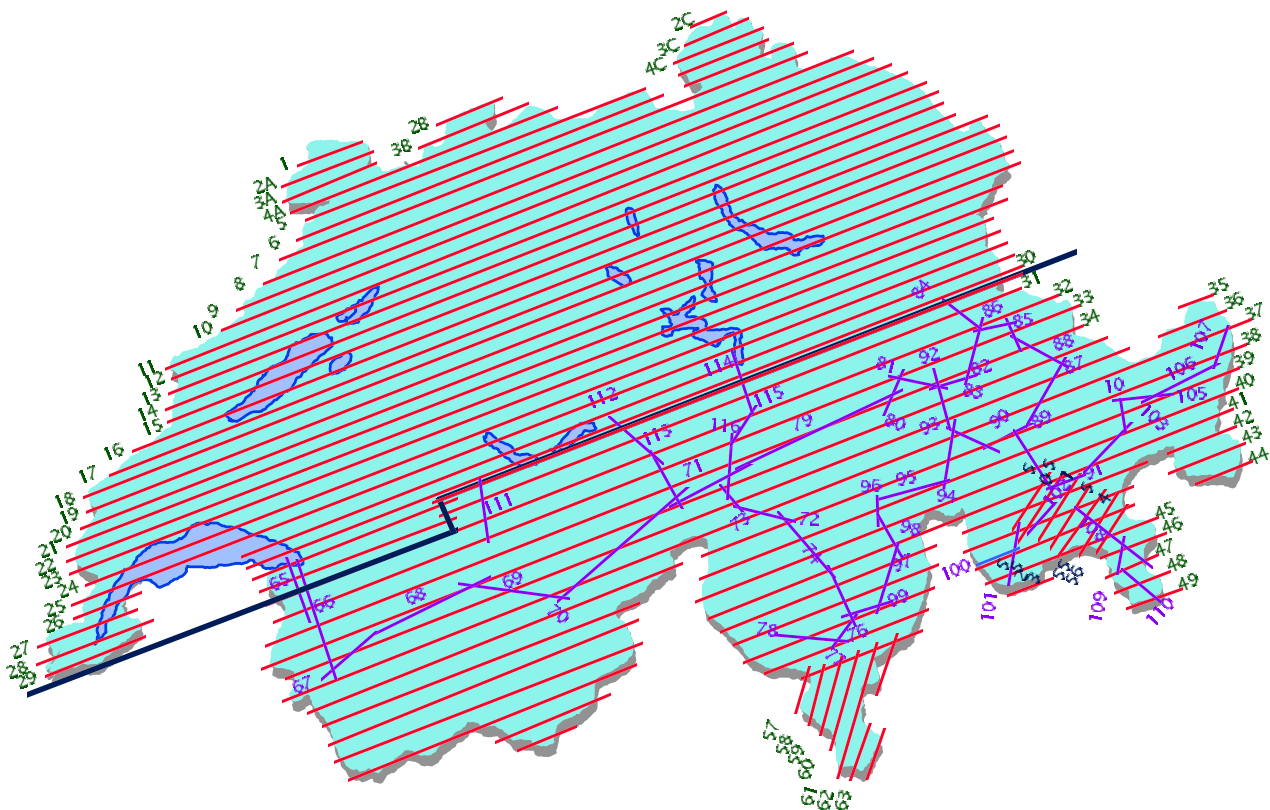


Figure 2: Lignes de vol du projet *swissphoto* 1995

actuelle du hardware (SUN Sparc 20), une photo couleur est scannée en environ 30 minutes. Afin de réduire le temps nécessaire pour le calcul de la triangulation et le calcul du MNT, les images couleurs numériques sont converties en images noir/blanc. Cela permet aussi d'obtenir un gain de place sur les disques. La résolution des images est de 25 μm (1016 dpi), ce qui correspond approximativement à une grandeur terrain de 0,7m. La taille de chaque image couleur (respectivement noir/blanc) est de 240 Mbytes (80 Mbytes). Les disques (170 Gbytes) sont utilisés temporairement après le scanning pour stocker les données et pour les différentes étapes de la production. Les images numériques sont archivées lignes par lignes sur des cassettes Exabyte (video8).

3.2.2 Triangulation aérienne

Le système automatique de triangulation aérienne de Helava (appelé HATS) fonctionne sur un ordinateur très rapide (SUN Sparc Ultra 2). La triangulation aérienne de la Suisse est divisée en 43 blocs photogramétriques contenant 150 à 350 images. Le calcul de la triangulation est partiellement automatisé.

L'import des images et leurs réductions (pyramide d'images) se déroulent entièrement automatiquement en série. Cela prend approximativement 30 secondes par image. Ensuite, l'orientation intérieure de toutes les images du bloc (procédé complètement automatique) prend 5 seconds par image. Les mesures utilisant HATS sont divisées en plusieurs étapes: Automatic Point Measurement (APM) [mesure automatique des points d'ajustage], Interactive Point Measurement (IPM) [mesure interactive des points d'ajustage], Blunder Detection [détection d'erreurs grossières] et Simultaneous Solve [résolution simultanée] (calcul matricielle). Le résultat des points mesurés automatiquement avec succès varie de 60% à 90% selon les caractéristiques du terrain. Etant donné leur redondance élevée, les points d'ajustage qui n'ont pas été mesurés automatiquement et qui nécessitent des mesures interactives sont éliminés. Des points de contrôle au sol et des points supplémentaires de calage sont mesurés avec IPM. Après la détection d'erreurs grossières et la résolution simultanée dans HATS, toutes les erreurs évidentes, dans le bloc, sont éliminées.

Toutes les observations (coordonnées des clichés, coordonnées des points contrôles et coordonnées GPS des centres des photos) sont alors introduites dans la compensation des faisceaux calculée par le programme BLUH de l'Université de Hannover avec une calibration automatique.

Dans les neuf premiers blocs triangulés, la racine des moindres carrés en planimétrie est de 0,5m et inférieure à un mètre en altimétrie. La valeur de la racine des moindres carrés des coordonnées GPS des centres des photos sont d'environ 0,5m en X_0 et en Y_0 , et inférieure à 0,2m en altitude.

Pour éviter de mesurer des points de contrôle supplémentaires, il est nécessaire d'améliorer le calcul de la triangulation avec les mesures GPS des points signalisés au sol, avec les coordonnées GPS des centres des photos et avec des points de contrôle altimétriques supplémentaires pris dans le premier et dernier modèle stéréoscopique de chaque lignes du bloc photogramétrique.

Actuellement, il est possible de mesurer jusqu'à 60 images par jour (8h), en utilisant une version de HATS modifiée et personnalisée. Le nombre d'images triangulées par jour, dépend considérablement des caractéristiques du terrain.

3.2.3 Modèle numérique de terrain

Les modèles numériques de terrain sont calculés par corrélation automatique d'images. Sur une station de travail DPW770, la corrélation d'un modèle stéréoscopique (utilisant un quadrillage de 10m) dure approximativement une heure. Les erreurs grossières, variant entre vingt et plusieurs centaines de mètres, sont très rapidement corrigées et éliminées à l'aide des différents outils provenant du software Socet Set. Les MNT de chaque modèle stéréoscopique sont fusionnés, afin qu'ils couvrent le périmètre de la région désirée. Puis, ils sont édités pour parvenir à une précision altimétrique de ± 2 à 5m. L'étape „édition“ dure au minimum 3 heures par modèle stéréoscopique.

Les MNT sont ensuite utilisés pour calculer les orthophotos. La précision et la justesse du MNT calculé dépend de la résolution des images numériques, des caractéristiques du terrain (accidenté, en pente, ondulé ou plat), de la nature du terrain (zone urbaine, forêt, lac, etc...) et de la précision des données d'orientation de la chambre photogrammétrique.

3.2.4 Orthophoto et mosaïque

Le calcul d'orthophotos est généralement fait avec les photos couleurs. En plus des images, il est nécessaire d'avoir leur „fichier de support“ (support file) contenant les données d'orientation, le MNT, une distance de référence terrain (un pixel = 75cm terrain), et de sélectionner le périmètre de l'endroit désiré. Le calcul des orthophotos est réalisé image par image avec un procédé en série sur le DPW770 ou sur un PC utilisant le software Sysimage de ISM. Le procédé en série dure 30 à 60 minutes par image. La mosaïque des orthophotos est exécutée sur les PC. Les orthophotos sont archivées selon un quadrillage de 3kmx3km (4000 pixels x 4000 pixels), de la sorte la Suisse est découpée en 4945 carrés de 3kmx3km faisant chacun 45 Mbytes (24 bit). Le redressement radiométrique et les améliorations esthétiques de ces fichiers sont réalisés avec le programme Photo-Shop.

3.2.5 Gestion des données

Actuellement, toutes les images est tous les fichiers ASCII sont archivés, à l'aide de 3 lecteurs-cassettes,

sur les cassettes exabyte (video8). Les données calculées au cours des différentes étapes du projet sont temporairement stockées sur les disques disponibles des stations de travail SUN (capacité maximale des disques 170 Gbytes) et sur les PC (capacité maximale de 30 Gbytes). Les données peuvent être enregistrées selon le désir des clients sur plusieurs autres sortes de supports: CD-ROM, cassette exabyte, disque optique et cassette DAT (4mm). Les orthophotos peuvent également être délivrées sous forme de copie papier imprimée sur un plotter Hewlett Packard HP750C et/ou sur un plotter IRIS.

4. QUELQUES CHAMPS D'APPLICATIONS DES ORTHOPHOTOS

Les orthophotos peuvent être utilisées pour de nombreuses applications. La plupart du temps les orthophotos sont utilisées en tant que couche de référence afin de visualiser différentes couches de données vecteurs ou pour digitaliser de nouveaux vecteurs.

Ci-dessous, quelques cas d'utilisation d'orthophotos sont énumérés (Baltsavias, 1993):

- Contrôle de la qualité des données grâce à la superposition de données vecteurs
- Acquisition de données vecteurs par digitalisation
- Acquisition de données 3-D par monoplottage en utilisant les orthophotos et un MNT
- Révision de plans
- Génération de plans orthophoto
- Génération de vues de synthèses en 3-D
- Vérification des changements par comparaison d'orthophotos multi-temporelles
- Contrôle de la qualité des MNT en utilisant stéréoscopiquement des orthophotos
- Développement d'une base de donnée à l'aide d'une orthophoto fournissant des informations terrestres de base
- Fusion d'informations avec les données d'une autre image

Les exemples suivant illustrent l'utilisation d'orthophotos dans divers domaines:

- (1) Mensuration
 - Révision numérique des données vecteur des plans du 1: 10000 au 1: 5000
 - Vérification visuelle des plans cadastraux et révision des objets terrain.
- (2) Remaniement parcellaire
- (3) Gestion des ressources en eau
 - Systèmes d'information de l'eau pour la gestion et le contrôle de la protection des eaux potables avec un SIG intégré, en utilisant des orthophotos pour classifier les couches terrestres (Grenzdörffer et al., 1995)
 - Systèmes d'information sur les sources
 - Etablissement d'un système de drainage
 - Plans hydrologiques, etc.

- (4) Agriculture
 - Détermination des zones agricoles et fruitières, étude sur l'inclinaison des pentes (von Däniken und Blatter, 1994), etc.
- (5) Planification
 - Inventaire de la nature
 - Vues de synthèses 3-D pour la planification régionale
- (6) Approvisionnement et évacuation
 - Les orthophotos servent de base de référence dans un système informatique superposé avec différents réseaux d'alimentation (par ex.: électricité, gaz, eaux claires, eaux usées, système de chauffage à longue distance, télé-réseau, etc.).
- (7) Environnement
 - Nature des sols
 - Cadastre des nuisances sonores
 - Cadastre des émissions polluantes
 - Cadastre des régions à risques (pollution, etc.)
 - Cadastre des zones instables, etc...
- (8) Infrastructure
 - Orthophotos temporelles pour illustrer des développements dans divers domaines, (par ex.: en agriculture, forêts, zones urbaines, zones de détente et de loisirs, etc.)
- (9) Géomarketing
 - Les orthophotos combinées avec des données statistiques (par ex: densité et structure de la population, pouvoir d'achat, etc.) peuvent être utiles pour optimiser la localisation des zones industrielles et commerciales, des entreprises de services publics, de tourisme, etc.
- (10) Navigation
 - Les orthophotos servent de base de données, pour construire les systèmes de navigation pour les véhicules, afin d'acquérir des données vecteurs pour les routes et des informations sur le trafic (par ex: projet pilote de déplacement de Bosch)
- (11) Simulation
 - Systèmes de simulation pour hélicoptères et avions
 - Systèmes de simulation pour des ordinateurs d'animation et jeux vidéo
- (12) Tourisme
 - Les orthophotos sous une nouvelle gamme de carte d'excursion de plans de ville, de guide touristiques, etc.
- (13) Transport
 - Cadastre routier et des chemins de fer, contrôle du trafic, statistiques des accidents

5. CONCLUSION

Les méthodes et les procédés automatiques, courants dans l'acquisition de données photogrammétriques, garantissent la disponibilité rapide de données topographiques 3D ayant une grande souplesse. Afin de

produire des données numériques utilisant les nouvelles techniques numériques, swissair Photo+Mensurations SA a survolé l'entier de la Suisse en 1995 et 1996. Ceci représente plus de 8000 clichés. Avec les données *swissphoto*, les exigences de nombreux d'utilisateurs en Suisse en images numériques récentes, en MNT et en orthophotos peuvent être satisfaites. Après trois ou quatre ans de travail, un nouveau vol du pays sera réalisé afin d'obtenir de nouvelles données à jour. Etant donné leurs aptitudes et leur grande souplesse, les orthophotos seront de plus en plus utilisées dans le futur. Les plans faits sur mesure, pour lesquels le périmètre, l'échelle, la forme du résultat et la présentation des informations, définis par l'utilisateur, deviendront des produits standards sur le marché. Par conséquent, les orthophotos sont un support répondant à une grande demande, elles devraient de remplacer dans le futur les plans et les cartes conventionnelles. La présence massive d'orthophotos feront que les SIG hybrides deviendront de plus en plus courant, au détriment des systèmes d'information de vecteurs d'orientation.

6. REFERENCES

BALTSAVIAS, E., 1993. Integration of ortho-images in GIS. *Photogrammetric Week '93*, Eds. Fritsch/Hobbie, pp. 261-272.

von DÄNIKEN, P., BLATTER, U., 1994. Orthophotos als Ergänzung zur amtlichen Vermessung im Kanton Solothurn. *Vermessung, Photogrammétrie, Kulturtechnik*, No. 12, pp. 547-550.

GRENZDÖRFFER, G., WANNENWETSCH, R., BILL, R., 1995. Digitales Orthophoto im GIS: neue Wege der Luftbildinterpretation. *Vermessung, Photogrammétrie, Kulturtechnik*, No. 3, pp. 129-133.

GRUEN, A., BALTSAVIAS, E., MEISTER, M., 1994. Digitale Orthobilder und Terrain-Visualisierung. *VGI - Österreichische Zeitschrift für Vermessung & Geoinformation*, No. 3, pp. 220-234.

KERSTEN, Th., 1996. Digitale Orthophotos - Die Grundlage für viele GIS-Anwendungen. *SO-GI/GISWISS Conference*, April 16-17, Morges, Switzerland.

KERSTEN, Th., HAERING, S., 1995. Automatic Interior Orientation for Digital Aerial Images. *Internal Report, Inst. of Geodesy & Photogr., ETH Zurich*.

KERSTEN, Th., O'SULLIVAN, W., 1996. Experiences with the Helava Automated Triangulation System. *Int. Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vienna, Austria, July 9-19, Vol. XXXI, Part B3.

LINDENBERGER, J., 1991. Laser-Profilmessungen zur topographischen Geländeaufnahme. *PhD. thesis*, University of Stuttgart.