

# Analyse semi-automatisée de photos aériennes numérisées pour l'étude de la dynamique de peuplements arborescents

VINCENT BARBEZAT

*Keywords:* Aerial photographs, image analysis, forest inventory, model-based computer-vision, recognition of forest patterns, software. FDK 524.6 : 587 : UDK 519.68

## Introduction

L'étude relatée ici a des implications dans les trois domaines principaux des activités de recherche et de vulgarisation de l'Antenne romande du WSL (AR-WSL):

- l'aménagement forestier (méthodes et outils de planification),
- l'écologie forestière et du paysage,
- la mise en valeur des produits forestiers.

Intéressée dès 1993 aux possibilités d'un traitement automatisé de photos aériennes numérisées (BODMER, 1993), l'AR-WSL fait appel aux compétences en traitement d'image de l'Institut de production microtechnique (IPM) du Département de Microtechnique de l'EPFL (DMT). La collaboration étroite mise sur pied permet de contribuer à répondre aux besoins en matière d'analyse de photos aériennes exprimés par les praticiens des forêts et du paysage, ainsi que par la recherche. L'utilisation des photos aériennes est devenue en effet courante dans le cadre des travaux de planification, de gestion et de leur contrôle. Elles fournissent de précieuses informations et un appréciable soutien aux activités de terrain, dans des domaines aussi variés que l'établissement de cartes de peuplements, la planification des interventions, la détermination des limites forestières, l'évaluation de dégâts aux forêts, l'estimation de taux de boisement, etc.

Au niveau de la recherche sur les écosystèmes, les photos aériennes représentent très souvent des documents indispensables, où est fixée une réalité instantanée, permettant une appréciation objective à différentes échelles d'une situation à un moment donné, ou la perception et la modélisation d'une dynamique spatio-temporelle.

Pour des raisons de coût et de difficulté de leur analyse analogique, la richesse informative des photos aériennes est cependant sous-exploitée. Le développement d'un logiciel qui en permet une analyse semi-automatisée doit contribuer à en favoriser une utilisation plus courante et rationnelle.

## Les photos aériennes en Suisse: un énorme volume de documents sous-utilisés

Les photos traditionnelles noir-blanc de l'Office fédéral de la topographie (OFT) existent depuis plusieurs décennies. La première couverture complète du pays en photos se prêtant à une interprétation stéréoscopique remonte au début des années 1950, et depuis, les prises de vues ont été effectuées à raison d'un sixième de la superficie nationale par année. De par leur périodicité, ces photos permettent pour n'importe quelle portion du territoire une analyse de l'évolution forestière et de la dynamique du paysage dans le temps et dans l'espace.

Aux informations qu'elles fournissent, viennent se greffer toutes celles provenant d'autres types de photos aériennes,

effectuées en fonction de besoins particuliers et dont les premières remontent à 1924. Près de 47 000 photos aériennes infrarouges (IR) à l'échelle 1:9000 et 1:3000 ont été réalisées entre 1984 et 1991 dans le cadre du programme Sanasilva; elles couvrent plus de la moitié de l'aire forestière suisse (WANDELER *et al.*, 1992).

Les services forestiers cantonaux s'intéressent depuis ces dernières années à une couverture totale ou partielle de leurs forêts par des photos aériennes qu'ils font prendre en fonction de leurs besoins. En Suisse romande, le canton du Jura dispose depuis 1998 de photos couleur à l'échelle 1:12 000, y compris orthophotos, et IR (1:12 000 également) de ses forêts. Le canton de Neuchâtel devrait procéder cette année à une couverture totale avec orthophotos. Le canton de Fribourg possède des couvertures partielles. Le canton de Berne évalue quelques photos issues de la prolongation sur son territoire de lignes de vol de 1998 du canton du Jura pour définir plus précisément ses besoins. Le canton de Vaud possède les photos aériennes infrarouges à l'échelle 1:9000 de l'ensemble de ses massifs boisés pour l'année 1986.

Dans le cadre des mesures prises par la Direction fédérale des forêts, suite à l'ouragan Lothar, il est prévu de fournir aux cantons qui en font la demande des prises de vue couleur des zones touchées à l'échelle 1:18 000.

Toutes les photos aériennes exécutées par la Direction fédérale des Mensurations cadastrales, l'Office fédéral de la Topographie, l'Institut «Kommunikationstechnik» de l'EPFZ et les sociétés privées «Swissphoto Vermessung AG» et «ASCOP AG» sont répertoriées depuis 1981 dans le catalogue «Vols photogrammétriques et vues par satellites» que la Direction fédérale des mensurations cadastrales publie annuellement. C'est en le parcourant que l'on prend conscience de ce formidable volume de documents disponibles, même s'il ne comprend pas les vols effectués sur mandat particulier par d'autres sociétés, telle Grunder AG, qui a par exemple réalisé en 1998, à la demande de la direction de la future exposition nationale, des photos couleur au 1:18 000 sur une bonne partie du nord-ouest de la Suisse.

L'ensemble représente un patrimoine exceptionnel, une source d'informations tout à fait unique.

Aujourd'hui encore, seules l'analyse de photos aériennes par un opérateur et l'observation *in situ* peuvent livrer les informations nécessaires à la recherche sur les écosystèmes et leur dynamique, à l'aménagement et à la gestion des forêts et du paysage. Avec l'essor de l'informatique, il devient courant de numériser ces données et de les gérer par un système d'information géographique (SIG). Elles nécessitent néanmoins toujours un travail au stéréoscope ou à l'écran, lent, pénible pour la vue, fastidieux et coûteux.

L'Antenne romande du WSL et l'IPM proposent de remédier à cette situation par le développement d'un logiciel permettant d'automatiser la plus grande partie du travail de l'opérateur dans un certain nombre de cas courants de photo-interprétation pour les besoins d'analyse et de gestion de paysages

à composantes boisées. L'idée du projet s'inspire de cette triple constatation:

- d'innombrables photos aériennes noir-blanc, infrarouges et couleur couvrent la Suisse depuis des décennies sans qu'elles soient exploitées à leur juste valeur, car
- le coût de traitement analogique est trop élevé pour que l'on en fasse un large usage et
- il n'existe pas d'outil informatique de traitement d'images issues de la digitalisation des photos aériennes qui permette l'analyse du couvert arborescent.

La raison de ce manque d'outil peut être expliquée, en partie en tout cas, par l'avènement dans les années quatre-vingt des images numérisées provenant de satellites d'observation de la Terre, qui ont largement mobilisé la recherche internationale. Le développement des méthodes et des applications informatisées permettant leur analyse a connu un essor fulgurant en l'espace de seulement deux décennies, à tel point que celles-ci sont assez bien maîtrisées aujourd'hui pour les images d'une résolution de 10 m et plus. De fait, la recherche sur l'analyse automatisée des photos aériennes, noir-blanc en particulier, a été mise de côté au profit de l'analyse multi-spectrale d'images (BODMER, op. cit.). Or, au niveau forestier, dans les conditions géographiques de la Suisse, petit pays au relief très tourmenté, les limites de l'interprétation des images satellites «traditionnelles» sont vite atteintes. En effet, au-dessous de la valeur d'un pixel, une extrapolation n'a pas de sens. Ces valeurs oscillent pour les images satellites les plus couramment utilisées (Spot, Landsat TM) entre 20 et 30 m sur le terrain (multispectral). De telles valeurs de pixels expriment en elles-mêmes les limites d'une interprétation forestière fine. En outre, les premières images satellites de ce type remontent à 1984 (Landsat 5) et 1986 (Spot), le laps de temps qu'elles recouvrent est trop court pour y découvrir une véritable dynamique au niveau des peuplements forestiers.

L'avènement sur le marché d'images commerciales à très haute résolution spatiale (de l'ordre du mètre) est maintenant chose faite avec la firme Space Imaging qui vend les images du satellite Ikonos avec une résolution d'un mètre en panchromatique et de quatre mètres en multispectral. Ces images devraient être assez proches de photos aériennes numérisées à la même résolution. Leur profondeur de 11 bits et leur réelle qualité laissent cependant encore quelques questions ouvertes.

Cet événement, car il s'agit bien de cela au niveau de l'imagerie satellitaire civile, permet de penser que les photos aériennes traditionnelles seront petit à petit, sinon supplantées, en tout cas complétées par ce type de prises de vues numériques à très haute résolution. L'intérêt à développer rapidement un outil qui fonctionne aussi pour l'analyse de ce genre d'images en est d'autant renforcé.

## Etat des connaissances

C'est principalement sur la base de l'analyse traditionnelle de photos aériennes pour les besoins de la foresterie que s'est développée une nouvelle branche de recherche durant les deux dernières décennies du XX<sup>ème</sup> siècle: l'interprétation automatisée d'images digitales à haute résolution spatiale pour la foresterie (BRANDTBERG, 1999).

Parmi les premiers travaux réalisés dans ce domaine, un accent particulier a très vite été mis sur le comptage d'arbres isolés à partir de photos aériennes infrarouges et panchromatiques prises à basse altitude. Parmi les premiers, BLAZQUEZ (1989) a montré d'une part la difficulté à identifier formellement un arbre à partir de l'intensité lumineuse de sa couronne au soleil (intensité locale maximale) et d'autre part le

problème du manque de calibrage des couleurs sur l'ensemble de l'image, en particulier pour les films infrarouges. Egalement sur la base de l'identification des intensités locales maximales, DRALL et RUDEMO (1996) ont tenté d'estimer le nombre de tiges de peuplements équiennes issus de plantations et soumis à différentes variantes d'éclaircie. Les résultats étaient satisfaisants pour les peuplements éclaircis, du fait des distances suffisantes entre les couronnes, par contre, les peuplements denses posaient problème.

De façon plus large et générale puisque touchant aux photos aériennes et aux images satellitaires, radar et scanner à laser, un excellent aperçu des connaissances au niveau international dans le domaine de l'analyse d'images à haute résolution spatiale est fourni par HILL et LECKIE (1999).

L'état présent de la recherche peut être résumé de la façon suivante:

- L'essentiel de la recherche internationale travaille sur des images satellitaires, radar et scanner à laser.
- La recherche sur l'analyse automatisée de photos aériennes s'est principalement concentrée à ce jour sur des images spécialement récoltées pour ses propres besoins. Les échelles sont généralement grandes (> 1:5000) et les clichés sont pris à basse altitude. Les valeurs de pixel au sol sont souvent inférieures à 40 cm. Les films sont pour la plupart de types couleur ou IR, rarement panchromatique. Les approches sont spécifiques à l'un ou l'autre type et ne sont jamais généralisées pour tous les types.
- Les objectifs fixés sont toujours très ambitieux. Ils visent un dénombrement des arbres et une reconnaissance des espèces afin de fournir des données précises d'inventaire.

Les utilisateurs potentiels saluent les efforts des scientifiques pour la mise au point de méthodes d'analyse automatisée d'images à (très) haute résolution spatiale. Ils regrettent cependant le manque de résultats directement utilisables au niveau de la gestion. Dans ce sens, les techniques d'analyse semi-automatisée doivent être impérativement adaptées aux conditions de travail des photo-interprètes ou des individus qui font appel ici et là aux photos aériennes dans le cadre de leur travail. LECKIE *et al.* (1999) relèvent les besoins les plus fondamentaux:

- travail sur des échelles courantes de photos (1:10 000 à 1:20 000),
- utilisation de petits ordinateurs avec des logiciels ad hoc bon marché plutôt que des systèmes informatiques coûteux,
- techniques faciles à appliquer avec un minimum de réglages et de tâtonnements de la part de l'opérateur.

## Clapa: prototype de logiciel développé par l'AR-WSL et l'IPM-EPFL

La situation privilégiée de l'AR-WSL en tant qu'institution-hôte au sein de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne lui a permis de mettre sur pied en 1993 une collaboration avec les spécialistes du traitement d'images du Département de génie rural (DGR). L'avant-projet «Clapa: Classification automatisée des photos aériennes» (BODMER, op. cit.) était lancé avec les buts suivants:

- Tester les méthodes fournies par le traitement numérique d'images dans le cas concret de la détermination de taux de boisement à partir de photos aériennes préalablement numérisées.
- Esquisser une méthodologie de cartographie automatisée de surfaces forestières irrégulièrement boisées (p. ex. les pâturages boisés).

- Evaluer les possibilités de fournir au praticien forestier un nouvel outil performant afin de lui faciliter son travail d'aménagement.

Des tests ont été réalisés dans une zone de pâturages boisés des Franches-Montagnes (région des Breuleux, canton du Jura), à partir de photos aériennes infrarouges à l'échelle 1:9000 et noir-blanc de l'OFT au 1:33 000. La surface choisie était représentative de ce paysage sylvo-pastoral que l'on retrouve sur l'ensemble de la Chaîne jurassienne. La répartition spatiale des arbres isolés, en groupes ou en peuplements plus ou moins denses, présentait en outre l'avantage de pouvoir être comparée, la question du relief mis à part, à celle de nombreux peuplements de l'étage subalpin, avec leur limite altitudinale forestière et leur zone de combat (BODMER et BARBEZAT, 1994).

Les résultats et les conclusions suivants de cet avant-projet ont pu être dégagés:

#### Résolution des photos / Détection des arbres

Les photos aériennes noir-blanc de l'OFT sont d'une résolution satisfaisante et présentent suffisamment de contraste pour permettre une différenciation par classification spectrale entre forêt et non-forêt. La reconnaissance d'arbres isolés est possible numériquement, mais l'ombre portée prise en compte est gênante pour déterminer le taux de boisement. L'erreur commise, dépendant de l'angle d'incidence des rayons solaires, peut alors dépasser 200%.

#### Texture de l'image

Une analyse des caractéristiques de texture des images n'a pu être réalisée faute de temps, elle représente cependant une voie très intéressante pour le futur.

#### Reconnaissance d'objets

Afin d'engager une recherche sur la segmentation d'image, il est nécessaire d'utiliser un système qui permette d'implanter des filtres et des routines définies par l'utilisateur. De plus, une reconnaissance d'objets est nécessaire. Ces conditions réduisent énormément le choix du logiciel adéquat; elles demandent même certainement le développement d'un logiciel ad hoc.

#### SIG

Un couplage avec un système d'information géographique est en tous les cas important.

A l'occasion d'un colloque sur la reconnaissance d'objets organisé par le Département de microtechnique de l'EPFL, des contacts ont été noués avec son Institut de production microtechnique, à l'époque «Institut de microtechnique», et ont permis de mettre en évidence des intérêts communs à résoudre la problématique esquissée par l'avant-projet Clapa. L'IPM travaille sur l'extraction d'éléments d'images en se référant à une modélisation schématique. Cette approche constitue une démarche séduisante, puisqu'elle permet de simplifier de façon appropriée les modèles pour n'en garder que l'essentiel en fonction des objectifs.

Un travail de semestre (KREISS, 1995), un travail de diplôme (KREISS, 1996), puis divers aménagements particuliers et améliorations du logiciel ont posé les bases d'un outil d'observation quantifiée d'un état ou d'une évo-

lution à partir de photos aériennes (BARBEZAT *et al.*, 1999). Le logiciel développé a été baptisé du nom de Clapa, en souvenir de l'avant-projet susmentionné.

Destiné lors de sa conception au traitement des photos aériennes noir-blanc de l'OFT (les plus nombreuses et complètes dans le temps et l'espace), le logiciel Clapa sert à reconnaître, situer et mesurer la surface de zones de forêt dense, de groupes d'arbres et d'arbres isolés. Il traite également les photos aériennes infrarouges et couleur dès le moment où celles-ci sont transformées en tons de gris et que leur contraste est suffisant.

Les particularités du prototype Clapa sont rappelées ici brièvement:

- Exploitation d'images noir-blanc, infrarouges et couleur.
- Evaluation de la surface boisée en référence à la portion d'image considérée en distinguant arbres isolés, groupes d'arbres et forêt dense avec une précision meilleure que 3%, grâce à la prise en compte d'un modèle numérique d'altitude (MNA).
- Possibilité de définir préalablement par un polygone de forme quelconque la zone de traitement dans l'image, ce qui permet par exemple d'analyser des secteurs au taux de boisement relativement homogène ou en fonction du registre foncier ou des unités de gestion.
- Simplicité d'usage grâce à une interface utilisateur conviviale, rapidité et faible coût d'utilisation: le logiciel, développé sur MacIntosh, tourne actuellement sur PC. Sa vitesse de travail dépend des caractéristiques des moyens informatiques utilisés. Pour donner un ordre de grandeur du temps de calcul de Clapa, une image de 5X106 pixels (80 ha) peut-être traitée en moins de 30 secondes par un PC de type Pentium II – 333 Mhz.
- Mesure de la hauteur des arbres isolés et détermination de leur emplacement dans le système de coordonnées nationales suisses.
- Etablissement d'un tableau récapitulatif des données extraites afin de faciliter un échange avec une base de données et un SIG.

## Poursuite de la recherche et perspectives

Les performances actuelles du logiciel, illustrées ici à l'exemple d'une portion d'image après traitement (*Figure 1*), sont très encourageantes et indiquent que la voie suivie est bonne. Un travail important reste cependant encore à fournir; l'AR-WSL et l'IPM se donnent deux ans pour le mener à bien.

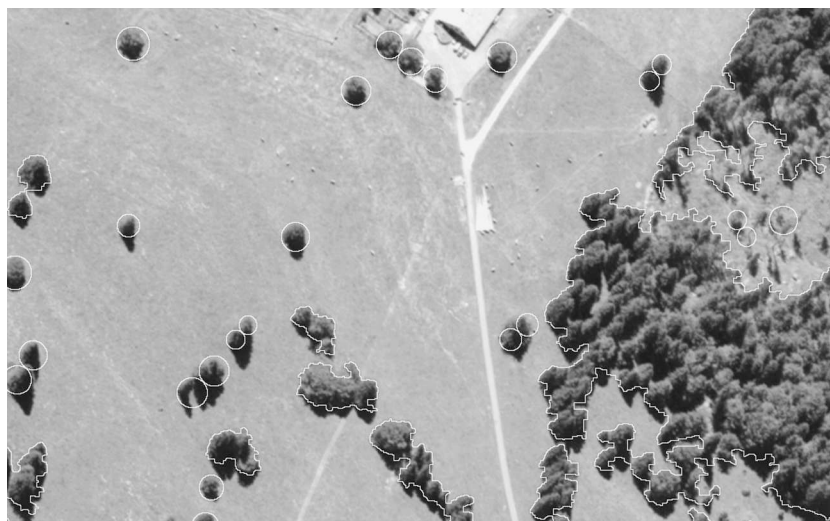


Figure 1: Portion d'image après traitement du logiciel Clapa. Les arbres isolés et en groupes et les lisières sont distinctement marqués (Photo Swissair, reproduction autorisée par le Service cantonal neuchâtelois des forêts).

Dans le but d'améliorer la fiabilité du logiciel, mais aussi son acuité d'analyse et partant, l'universalité de ses applications, la recherche s'oriente maintenant vers trois grands axes:

- Le logiciel, pour avoir la plus large portée possible, doit pouvoir traiter indifféremment des images comportant essences résineuses et feuillues. Il est aujourd'hui paramétré pour une reconnaissance de l'épicéa. Il s'agit d'affiner le processus et, soit d'intégrer des paramètres en rapport avec les autres essences les plus courantes, soit de définir des critères plus robustes de reconnaissance d'arbres, indépendamment de l'espèce. Il est en tous les cas nécessaire d'examiner dans quelle mesure et avec quel degré de probabilité, à partir d'une analyse portant sur les tons de gris d'une image, Clapa peut différencier les résineux des feuillus, voire certaines essences entre elles.
- Clapa est actuellement particulièrement performant dans les zones forestières ouvertes. Au niveau de la forêt dense, il reconnaît ses contours. Tout en renforçant encore la fiabilité de ces fonctionnalités, il est souhaitable en parallèle de développer une fourniture de renseignements sur l'intérieur de la forêt dense. Une identification paramétrable (réglage au niveau de la surface minimale à détecter) des clairières et trouées ainsi qu'une extraction de données sur la structure des forêts à partir des particularités texturales de la portion de l'image considérée sont prévues. Clapa doit constituer un pourvoyeur d'informations pour l'aménagement des forêts et du paysage au sens le plus large possible.
- Le développement des fonctionnalités du logiciel passent par des interactions avec un système d'information géographique. Au niveau de l'utilisation du MNA pour la correction des calculs de surfaces et de hauteurs des arbres isolés, il s'agira d'étudier le meilleur emplacement pour le module ad hoc: au niveau de Clapa ou du SIG. Le SIG doit aussi fournir à Clapa les données géographiques nécessaires (cadastres, plans, cartes) à son travail sur des zones ciblées et d'autres types de données stockées dans des bases et livrant des critères permettant une simplification du travail du logiciel (relevés phyto-sociologiques, données d'inventaires, du niveau local au niveau national). A l'inverse, afin d'en faciliter l'usage, les résultats du traitement d'image par Clapa doivent impérativement venir s'intégrer dans le SIG sous forme de nouvelles couches, directement à disposition du gestionnaire ou du scientifique.

**Tableau 1: Résultats escomptés pour les différents types de traitement du logiciel.**

Forêt dense/fermée	Position et longueur des lisières «abruptes»
	Position et surface des trouées: <ul style="list-style-type: none"> <li>• surface minimale détectée: limite du logiciel</li> <li>• surface minimale paramétrée: limite choisie</li> </ul>
	Informations sur la structure des peuplements: <ul style="list-style-type: none"> <li>• zonage de la forêt irrégulière</li> <li>• zonage de la forêt équienne par grands types en fonction des stades de développement</li> </ul>
Forêt ouverte de type pâturage boisé	Position, projection orthogonale de la couronne, hauteur de l'arbre isolé
	Contour et surface de groupes d'arbres
	Définition de zones de densité homogène (ZDH) sur la base du calcul automatique du taux de boisement
Autres types de formations boisées	Position, longueur et largeur de cordons boisés
Essences	Différenciation résineux-feuillus
Dynamique	Evolution des caractéristiques susmentionnées à partir de photos échelonnées dans le temps

Cette relation bidirectionnelle ne va pas sans poser certains problèmes importants d'échelles, de cohérence et de fiabilité des données qu'il s'agira de résoudre au mieux.

Le *tableau 1* résume les résultats escomptés pour les différents types de traitement du logiciel.

La diversité du paysage à composantes boisées est telle, qu'un logiciel de traitement d'image aura toujours des problèmes à l'analyser parfaitement de manière automatique et sûre. Un contrôle du travail par un opérateur restera très vraisemblablement nécessaire encore longtemps. Clapa n'y échappe pas et des outils de correction à l'écran des résultats erronés sont indispensables. Ils doivent permettre en particulier l'élimination du marquage d'arbres isolés ou en groupe faussement reconnus, et inversement le marquage d'éléments boisés qui auraient été ignorés. Cette fonctionnalité sera par ailleurs utile pour juger virtuellement de l'effet d'une plantation ou d'un martelage sur le taux de boisement d'une surface particulière.

Durant son développement, le logiciel sera en permanence calibré grâce aux informations issues de données de terrain existantes, intégrées dans un SIG ou acquises par des relevés particuliers. Dans ces deux cas, la précision des données sera contrôlée ou connue. Les relevés de terrain se concentreront sur les aspects généralement encore peu intégrés aux SIG fonctionnant dans la pratique, en particulier les informations sur les arbres isolés et en groupe en dehors de la forêt dense. Les informations relatives à cette dernière, principalement les cartes de peuplement, seront récupérées directement du SIG forestier, où le travail de numérisation des données a déjà eu lieu. Après la détermination de leur exactitude, elles seront comparées aux résultats d'analyse du logiciel.

Ces résultats seront alors soumis à des critères d'appréciation liés au degré de précision du travail du logiciel. Les besoins d'application exprimés par des experts de la pratique et de la recherche de tous horizons en définiront l'échelle.

Afin de limiter la récolte de données *in situ*, coûteuse en temps et en argent, les tests du logiciel doivent pouvoir venir s'appuyer sur une réalité de terrain déjà relevée dans un autre cadre. Des relevés particuliers de terrain restent cependant indispensables; des méthodes de positionnement par GPS (Global Positioning System), éventuellement couplées si nécessaire à d'autres plus traditionnelles, permettront de relever et géoréférencer principalement des éléments de paysage ponctuels, linéaires ou surfaciques mal connus car peu ou pas inventoriés.

Pour pouvoir réaliser les développements et le calibrage nécessaires au logiciel Clapa dans les meilleures conditions et délais, il est indispensable de travailler sur un nombre restreint de sites pilotes, très représentatifs des cas de figure que l'on désire résoudre.

Les pâturages boisés se prêtent parfaitement bien à cette tâche, car sous cette appellation sont regroupés et intimement imbriqués quasiment tous les cas de figure forestiers, des arbres isolés ou en groupe à différents types de forêt dense, en passant par toutes sortes de haies et cordons boisés.

## Conclusions

La finalité du projet Clapa est la mise au point d'un produit, permettant le traitement automatisé de photos aériennes sur lesquelles figurent des formations forestières. Ce produit doit être utile pour l'analyse, le suivi et la gestion des ressources naturelles renouvelables de notre pays.

Le travail réalisé jusqu'ici conjointement entre l'AR-WSL et l'IPM pour le développement du logiciel Clapa a permis de mettre au point un prototype de logiciel extrêmement prometteur. La poursuite des travaux sur la base de l'énorme potentiel d'utilisation et des très nombreux besoins auxquels il répond est nécessaire. Les grandes lignes ont été tracées, il s'agit maintenant d'engager une recherche qui peut aller plus en profondeur et dans le détail. Elle n'est possible qu'à travers cette synergie rassemblant développement en vision microtechnique et connaissances forestières, environnementales et paysagères.

## Résumé

A l'heure des inventaires du paysage, du troisième inventaire forestier national (IFN), des placettes d'observation permanente en forêt, des inventaires cantonaux, de la planification forestière régionale, d'une redéfinition des surfaces agricoles utiles, d'un nouvel inventaire des vergers à haute tige, mais également de la protection des tourbières et des zones alluviales, le développement d'un logiciel d'analyse automatisée de photos aériennes est du plus grand intérêt, aussi bien pour la Confédération et les cantons que pour les propriétaires de forêts, la recherche et l'industrie (bureaux privés d'ingénieurs, fabricants de logiciel).

L'Antenne romande du WSL et l'Institut de production microtechnique de l'Ecole polytechnique de Lausanne (EPFL) se proposent de répondre à ces attentes par le développement d'un logiciel de traitement d'image convivial, objectif, rapide, dont la précision de travail est adaptée aux besoins des gestionnaires des forêts et du paysage. Pour les scientifiques, ce logiciel doit fournir des données de base nécessaires à diverses modélisations de processus au sein des écosystèmes.

## Zusammenfassung

### Halbautomatische Auswertung von digitalisierten Luftbildern zum Studium der Dynamik von Waldbeständen

Nationale Landschaftsinventuren und kantonale Forstinventuren, Dauerbeobachtungsflächen im Wald und regionale Forstplanung, das dritte Landesforstinventar (LFI) und die Neudefinierung von landwirtschaftlich nutzbaren Flächen, eine neue Inventur hochstämmiger Obstplantagen, aber auch Torfmoor- und Auenschutz sind derzeit an der Tagesordnung. Deshalb ist die Entwicklung einer Software zur automatischen Auswertung von Luftbildern von grösstem Interesse für Bund und Kantone sowie auch für Waldeigentümer, Forschungs- und Wirtschaftsunternehmen (private Ingenieurbüros, Software-Hersteller).

Die Antenne romande der WSL, zusammen mit dem Institut für Produktion in Mikrotechnik der Eidg. Technischen Hochschule Lausanne (EPFL), wollen diesen Erfordernissen entsprechen durch die Entwicklung einer benutzerfreundlichen, objektiven und zeitsparenden Software zur Bildverarbeitung, deren Präzision auf die Bewirtschaftung von Wald und Landschaft abgestimmt ist. Den Wissenschaftlern soll diese Software grundlegende Daten liefern zum Modellieren von Abläufen innerhalb der Ökosysteme.

## Summary

### Semi-Automatised Analysis of Digitised Aerial Photographs for the Study of Arborescent Population Dynamics

At the present time, landscape inventories, the third National Forest Inventory (NFI), permanent research plots in the forests, cantonal inventories, regional forest planning, the redefinition of useful farm land, a new inventory of standard tree orchards but also the protection of peat bog and alluvial areas are daily business. Therefore, the development of a software for automated aerial photograph analysis is of greatest interest to the Swiss Confederation and its cantons as well as to forest owners, research institutes and certain industries (private engineering enterprises, software producers).

In answer to these expectations, the Antenne Romande WSL, together with the Institute of Production in Microengineering of the Swiss Federal Institute of Technology Lausanne (EPFL), proposes to develop a software for user-friendly, neutral and rapid image-processing, the working precision of which will suit forest and landscape managers. Moreover, the software will provide scientists with basic data for the modelling of various ecosystem processes.

## Bibliographie

- BARBEZAT, V.; JACOT, J., 1999: The Clapa Project: Automated Classification of Forest with Aerial Photographs. In: HILL, D.A.; LECKIE, D.G. (Eds.): International forum: automated interpretation of high spatial resolution digital imagery for forestry. Proceedings of a symposium held at Victoria, British Columbia, February 10-12, 1998. Canadian Forest Service, Pacific Forestry Centre, Victoria, B.C.: 345-356.
- BLAZQUEZ, C.H., 1989: Computer-based image analysis and tree counting with aerial color infrared photography. *Journal of Imaging Technology* 15 (4): 163-168.
- BODMER, H.C., 1993: Classification automatisée de photos aériennes. Avant-projet AR-FNP, 44 pp.
- BODMER, H.C.; BARBEZAT, V., 1994: Ein UFO in den Alpen oder die Waldgrenze, das unbekannt forstliche Objekt. *Bündnerwald*, 1/94. p. 33-34.
- BRANDTBERG, T., 1999: Automatic individual tree-based analysis of high spatial resolution remotely sensed data. Diss. Swedish University of Agricultural Sciences. Uppsala, Sweden.
- DRALL, K.; RUDEMO, M., 1996: Stem number estimation by kernel smoothing of aerial photos. *Can. J. For. Res.* 26: 1228-1236.
- HILL, D.A.; LECKIE, D.G. (Eds.), 1999: International forum: automated interpretation of high spatial resolution digital imagery for forestry. Proceedings of a symposium held at Victoria, British Columbia, February 10-12, 1998. Canadian Forest Service, Pacific Forestry Centre, Victoria, B.C., 402 pp.
- KREISS, P., 1995: Détermination des limites des régions boisées. Projet de 8<sup>ème</sup> semestre, Département de microtechnique, Institut de microtechnique, EPFL.
- KREISS, P., 1996: Détermination des limites des régions boisées. Travail pratique de diplôme. Département de microtechnique, Institut de microtechnique, EPFL.
- LECKIE, D.G.; GILLIS, M.D.; GOUGEON, F.; LODIN, M.; WAKELIN, J.; YUAN, X., 1999: Computer-assisted photointerpretation aids to forest inventory mapping: some possible approaches. In: HILL, D.A.; LECKIE, D.G. (Eds.): International forum: automated interpretation of high spatial resolution digital imagery for forestry. Proceedings of a symposium held at Victoria, British Columbia, February 10-12, 1998. Canadian Forest Service, Pacific Forestry Centre, Victoria, B.C.: 335-343.
- WANDELER, H. et al., 1992: Sanasilva Abschlussbericht. *Eidgenöss. Forsch. anst. Wald Schnee Landschaft*, Ber. 334: 58 pp.

Auteur:

VINCENT BARBEZAT, WSL Antenne romande, c/o EPFL, 1015 Lausanne.