

SIG pour la gestion cartographique des données du projet MEGATOR ?

Auteurs :

M. KOEHL¹, E. TROUVE², G. VASILE², M. GAY³, P. GRUSSENMEYER¹, J.-M. NICOLAS⁴, T. LANDES¹.

¹: Equipe Photogrammétrie et Géomatique, MAP-PAGE UMR 694
INSA de Strasbourg - 24, Boulevard de la Victoire - 67084 Strasbourg Cedex
{ mathieu.koehl | pierre.grussenmeyer | tania.landes }@insa-strasbourg.fr

²: Laboratoire d'Informatique, Système, Traitement de l'Information et de la Connaissance
Université de Savoie - ESIA - BP 806 - 74016 Annecy Cedex
{ emmanuel.trouve / gabriel.vasile }@univ-savoie.fr

³: Laboratoire des Images et des Signaux
INP Grenoble - BP 46 - 38402 Saint-Martin-d'Hères
Michel.Gay@lis.inpg.fr

⁴: Département TSI
Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications - 46, Rue Barrault - 75013 Paris
nicolas@tsi.enst.fr

Mots clefs

Surveillance de glaciers, Photogrammétrie, Modèle Numérique de Terrain (M.N.T.), Interférométrie SAR, Données multi-sources, Données multi-temporelles.

Résumé

La surveillance de glaciers dans les régions tempérées du globe est une activité qui devient de plus en plus importante et nécessaire pour des raisons économiques et de sécurité évidentes. L'activité et l'évolution des glaciers sont également des indicateurs très précieux sur les effets locaux des changements climatiques globaux.

Cet article présente les composantes du projet MEGATOR sur trois ans, regroupant quatre laboratoires, pour le développement de méthodes spécifiques d'extraction d'informations à partir de données de télédétection optique et radar. Les données et sources d'informations traitées par les équipes du projet sont de différents types : photogrammétrie aérienne, images satellites multi-spectrales et interférométrie SAR. Ces données permettent notamment le calcul de M.N.T. haute résolution, la détection de lacs glaciaires et la mesure de vitesses d'évolution surfacique des glaciers. Les résultats ont été obtenus sur deux glaciers français des Alpes et ont été validés par des mesures terrain.

Cet article présente ensuite les possibilités d'exploitation et de gestion des résultats cartographiques dans un SIG. Les questions principalement posées concernent la pertinence d'un SIG pour la gestion des données et les apports de l'outil SIG par rapport aux objectifs du projet, notamment la fusion des données. La mise à disposition et l'accès aux données distribuées pour les différentes équipes constituent également un point fort de la réflexion menée.

Abstract

Monitoring temperate glaciers activity becomes more and more necessary for economical and safety reasons and as an indicator of the local effects of global changes.

This paper presents the beginning of a three-year-project which regroups four laboratories to develop and combine specific methods to extract information from optical and radar remote sensing data. Preliminary results are presented on three different information sources: airborne photography, space-borne multi-spectral images and SAR interferometry, which respectively allow the computation of high resolution DTM, the detection of glacial lakes and

the measurement of glacier surface velocity. Results obtained on two glaciers located in the French Alps are compared and validated with ground measurements.

This paper presents also the possibilities for data use and management of cartographic results with a GIS. The main asked question concerns the use of GIS as a pertinent tool and the real help of GIS according to the objectives of the project like data fusion methods. The access to distributed datasets for different teams is another point that will have a great pound in the choice of the final geo-information management system.

A/ INTRODUCTION - Projet MEGATOR

La première partie de cet article présente les grands objectifs du projet MEGATOR et les premiers résultats obtenus à mi-parcours.

La seconde partie se focalisera plus particulièrement sur une première expérimentation d'intégration des données dans un SIG pour la gestion et l'exploitation, des données cartographiques résultant des différents traitements des données.

Pour suivre l'évolution des glaciers en utilisant des techniques de télédétection spatiale, il est nécessaire de développer des algorithmes spécifiques de traitement d'images permettant l'extraction d'informations particulières parmi un très grand nombre de données acquises par l'intermédiaire de capteurs embarqués dans des avions ou dans des satellites. Les données optiques et les images SAR (Synthetic Aperture Radar) composent des sources d'informations complémentaires permettant, par combinaison d'en dériver des résultats sous forme de Modèles Numériques de Terrain (M.N.T.) ou, en utilisant des scènes acquises à des moments différents, d'en déduire les mouvements des glaciers sous forme de champs de vitesses surfaciques.

Aujourd'hui, la communauté scientifique dispose d'une grande quantité de jeux de données concernant différents glaciers localisés dans les Alpes : il existe des prises de vues de photographies aériennes depuis une vingtaine d'années, les images satellites multi-spectrales ou SAR, quant à elles, sont disponibles depuis un peu plus d'une dizaine d'années maintenant par l'intermédiaire respectivement des satellites SPOT et European Remote Sensing (ERS). Mais ces derniers types de données n'ont été utilisés que rarement en raison de la difficulté de mise en œuvre des traitements qui ne sont pas adaptés dans le contexte particulier du suivi de l'évolution des glaciers (topographie et relief très accentués, déplacements importants sur une très courte période, etc.).

Le projet MEGATOR (Mesure de l'Evolution des Glaciers Alpains par Télédétection Optique et Radar), lancé en 2004 [0], concerne ainsi la collaboration de 4 laboratoires de recherche spécialisés dans le traitement des images optiques et SAR, dans les techniques de fusion et dans la représentation cartographique.

Le principal objectif du projet MEGATOR est de définir, puis de mettre en place une méthode générale permettant d'extraire les données utilisables dans le cadre de la surveillance des glaciers à partir d'une énorme quantité d'images et de données disponibles pour en construire des modèles d'évolution et pour mesurer les risques encourus par les régions avoisinantes.

Les trois axes de recherche principaux sont ainsi :

- La construction de M.N.T. et la constitution d'ortho-images à partir d'images optiques de haute résolution, de même que la détection des changements et le calcul de modèles de différences tels que des modèles de variation de volumes, de retrait de glaciers, d'apparition et de disparition de lacs, etc.

- Le calcul d'interférogrammes différentiels, par soustraction de la topographie obtenue par les traitements précédents, pour l'obtention de champs de déplacements sur de très courtes périodes (quelques jours uniquement).
- La fusion des mesures et résultats précédents avec des éléments identifiés parmi les données optiques ou SAR permettant leur suivi et la constitution de cartes de risques.

Comme sites tests pour l'acquisition de données optiques et SAR, deux glaciers localisés dans les Alpes françaises près du Mont-Blanc, ont été retenus. Il s'agit des glaciers d'"Argentière" et de la "Mer de Glace". Leur localisation est précisée parmi les autres glaciers des Alpes dans la Figure 2. Des mesures terrain, effectuées régulièrement dans les zones tests précédentes viennent compléter les jeux de données initiaux, soit en augmentant leur précision, soit en permettant des comparaisons ou la validation des résultats expérimentaux.

Les résultats sont décrits dans [1] et sont repris dans la première partie de ce qui suit.

B/ GLACIERS - Evolution et risques

Pour comprendre les enjeux liés à l'étude et à l'évolution des glaciers, on pourra se référer aux excellents sites Internet sur les glaciers [2] et [3] indiqués dans la bibliographie. On y trouvera des explications très intéressantes sur un type de risques naturels moins connus que les séismes, éruptions volcaniques, crues, avalanches : les risques d'origine glaciaire. Ceux-ci sont présentés comme appartenant à trois catégories différentes présentant chacune des variantes : il s'agit des "vidanges de lacs glaciaires" suite à la rupture d'un barrage naturel, des "ruptures de poches d'eau" située dans le glacier, et des "chutes de glace" consistant en un détachement d'un volume de glace du reste du glacier. Ces chutes de glace sont elles-mêmes requalifiées en fonction du volume de glace détaché, du plus petit au plus important : en "chutes de séracs", "ruptures de langues glaciaires" ou "chutes de glaciers". Les conséquences sont elles, par contre, souvent bien visibles et connues du grand public puisqu'il peut s'agir d'avalanches de neige. Il semble important de noter qu'outre les trois types de risques, il existe des phénomènes induits par le recul des glaciers. En effet, les terrains alors libérés sont très souvent formés de matériaux instables, facilement mobilisables lors d'épisodes météorologiques marqués (fortes pluies, fonte nivale brutale...) et peuvent provoquer des laves torrentielles.

L'historique du suivi des glaciers remonte à plus d'une centaine d'années avec un grand nombre de documents, d'archives sur les principaux phénomènes observés et leurs conséquences parfois tragiques. Une vingtaine de glaciers des Alpes sont ainsi répertoriés et suivis. La Figure 1, présente la localisation des différents glaciers suivis dans le massif du Mont-Blanc. Les massifs de la Vanoise, des Ecrins et des Alpes du Sud sont documentés de la même manière.

On notera enfin le parallèle tiré entre les glaciers et le climat qui font état d'un lien entre le réchauffement du climat et l'augmentation de la fréquence d'occurrence des catastrophes glaciaires. La conclusion reste énigmatique : lorsque la température augmente, les glaciers reculent et la quantité d'eau présente dans le système "glacier" augmente également, constituant un facteur aggravant. Mais, malgré une augmentation attendue de la fréquence d'occurrence de certains types de risque, la vulnérabilité face à ces risques aura tendance à diminuer. Les conséquences de la combinaison de ces évolutions contraires ne sont pas encore connues...

1.1. Les photographies aériennes.

Les photographies aériennes sont utilisées depuis plusieurs décennies comme principale source d'information sur les glaciers. En ce qui concerne les Alpes françaises, les glaciers les plus importants de trois massifs ont été couverts par des campagnes de photographies aériennes tous les 3 ans à partir de 1975. Parmi cette base de données photographiques, quelques unes ont été sélectionnées pour être particulièrement traitées dans le projet qui nous concerne. Il s'agit de photographies documentant les sites de la "Mer de Glace" et d'"Argentière". La première étape du travail consiste en l'orientation des séries de photographies. Celle-ci a nécessité la détermination de points de référence en utilisant des mesures géodésiques effectuées au GPS (précision $\pm 10\text{cm}$). Les photographies elles-mêmes ont les caractéristiques suivantes : négatifs de $23 \times 23 \text{ cm}^2$, scannés à $15 \mu\text{m}$, générant des images de $15360 \times 15360 \text{ pixel}^2$. Le recouvrement des images est de l'ordre de 80%.

En 1995, l'acquisition des images sur la "Mer de Glace" a été réalisée avec une taille originale d'un pixel de 36 cm au pied du glacier (altitude de 1000 m) et de 18 cm à son sommet (altitude de 2800 m). L'altitude de vol était de 4650 m.

La Figure 3 représente un assemblage de la série de photographies recouvrant la "Mer de Glace" en 1995.

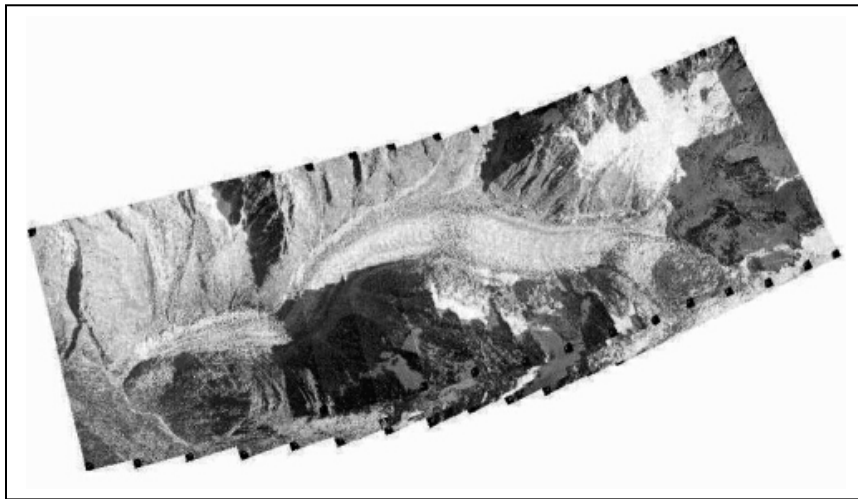


Fig.3 : Série de photographies de la "Mer de Glace", 1995.

La constitution du M.N.T. haute résolution comportait plusieurs étapes :

1/ L'orientation des images, en utilisant des méthodes d'aéro-triangulation nécessitant le calcul d'environ 2700 points d'aéro-triangulation pour des erreurs moyennes quadratiques obtenues, après calcul, de l'ordre de 20 cm en planimétrie et 30 cm en altimétrie.

2/ Le M.N.T. a ensuite été produit en utilisant les logiciels de photogrammétrie de la gamme KLT, permettant la reconnaissance de points homologues par l'utilisation de techniques de corrélation dans deux ou plus d'images.

3/ Des lignes caractéristiques de rupture et de structure ont pu être rajoutées après avoir été restituées manuellement dans les couples stéréoscopiques.

4/ Les M.N.T. ainsi produits prennent alors la forme de TIN (triangulation à partir de tous les points résultant des traitements) ou de grilles de pixel (images), pour lesquelles chaque valeur de niveaux de gris correspond à une valeur d'altitude (Figure 4).

Quelques difficultés ont été rencontrées lors de la production de ce M.N.T. puisqu'environ 20% des points ont été mesurés entièrement manuellement dans le cas de pentes de terrain trop importantes ou dans des zones où les contrastes sur les images n'étaient pas suffisants.

Les crevasses posaient également des problèmes spécifiques et nécessitaient la mesure de points sur le sommet et au fond de celles-ci. Pour la majorité des points (80%), leur détermination a été effectuée automatiquement par le logiciel.

Le M.N.T. final a une résolution variant de 2 à 5 m. en fonction des pentes.

Ce M.N.T. servira de base altimétrique pour les différents traitements suivants. Dans le cadre du SIG, il constituera le socle de référence altimétrique pour la visualisation en 3D, pour le plaquage des textures sous forme d'orthophotos (Figure 10), mais permettra également le calcul de différences de volumes dans des zones particulières des glaciers ou la comparaison de la répartition des masses glaciaires.

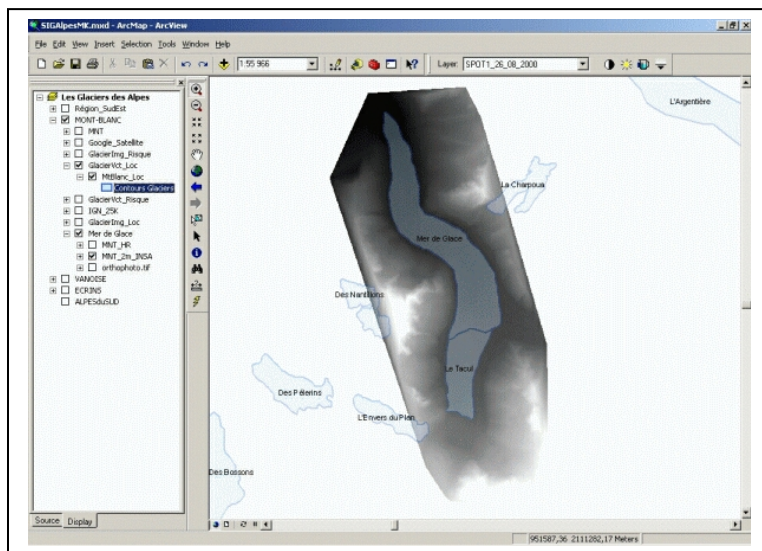


Fig.4 : Le M.N.T. haute résolution résultant

Pixel de 2m. - Dégradé de niveaux de gris en fonction de l'altitude. Superposition avec localisation des glaciers.

1.2. Les images satellites multi-spectrales.

Si les conditions météorologiques le permettent (le plus souvent pendant l'été), l'acquisition d'images satellites multi-spectrales sont très intéressantes pour la détection d'éléments importants comme les lacs, les limites des glaciers, etc. Avec une résolution de 10 m. pour les images panchromatiques et de 20 m. pour les images multi-spectrales, les images SPOT utilisées dans ce projet couvrent une zone assez vaste permettant la classification des couvertures du sol grâce à leur signature spectrale. La classification est basée sur l'algorithme SAM (Spectral Angle Mapper) décrit dans [4]. Les résultats obtenus par l'interprétation des images SPOT montrent qu'il s'agit là d'une méthode efficace pour la détection et le suivi de lacs glaciaires fournissant des informations intéressantes dans le cadre de système de gestion et de prévention des risques naturels.

Des images présentant des classifications et des détails importants pour l'étude peuvent ainsi être intégrées dans le SIG.

2. Les données SAR.

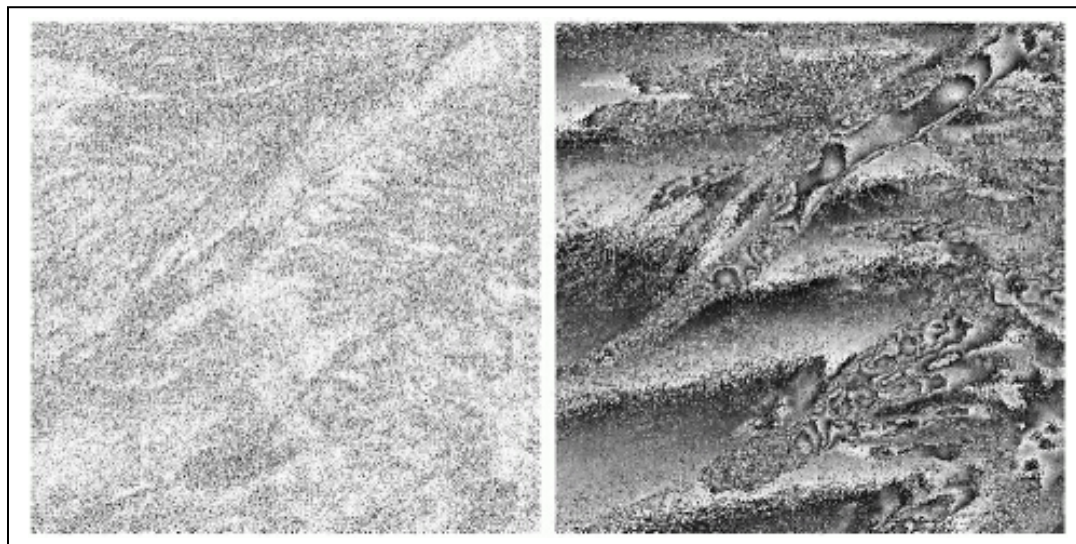
Les images satellites SAR sont de plus en plus utilisées pour l'observation des glaciers et ceci plus particulièrement parce qu'elles ont deux avantages : les capteurs radar actifs permettent la prise d'images indépendamment des conditions météorologiques, et ils mesurent à la fois des amplitudes et des phases du signal retourné. La résolution des images est aujourd'hui de l'ordre des 20 m (cas des images ERS) et ne permet pas d'en tirer aisément des informations d'amplitudes sur des éléments bien précis, mais la prochaine génération de satellites SAR devrait produire des résolutions métriques sur des données entièrement polarisées. Les

problèmes évoqués précédemment devraient alors trouver des solutions plus facilement utilisables.

La détermination de la phase permet de réaliser des interférogrammes qui sont utilisés pour mesurer le déplacement d'un glacier entre deux passes d'acquisition. Dans ce projet, nous étudions la faisabilité d'interférométrie SAR pour extraire des champs de vitesse surfacique des glaciers. Des images ERS 1 et ERS 2 ont ainsi été utilisées, présentant des intervalles de temps différents, des acquisitions à des saisons différentes, des orientations de passes d'acquisition différentes (sens ascendant ou descendant). Des traitements particuliers sont utilisés pour la génération des interférogrammes à l'aide des logiciels DIAPASON [5] ou RAT [6]. Les articles pris comme références de celui-ci contiennent tous les éclairages sur ces différentes techniques.

On notera que le traitement des données SAR dans le domaine temporel ainsi utilisé possède l'avantage d'être plus flexible notamment pour ce qui concerne l'ajustement de certains paramètres : on peut, par exemple, tenir compte de l'altitude locale ce qui sera essentiel dans le cadre du traitement d'images futures à haute résolution.

La chaîne des traitements appliquée aux images pour l'obtention des interférogrammes n'est pas reprise ici. Les résultats sont cohérents et utilisables pour la suite du projet. La Figure 5 présente certains résultats sous forme d'interférogrammes. L'interprétation des résultats n'est pas essentielle dans le cadre de cet article.



a) b)
Fig. 5 : 10-11 Mars 1996 Interférogrammes sur le glacier d'Argentière : a) cohérence, b) phase.

Là encore, un nouveau type de données cartographiques seront à intégrer dans le SIG et la combinaison des différents résultats permettra de les comparer, de les valider, etc.

3. Les mesures terrain au GPS.

Pour pouvoir comparer et valider des résultats obtenus après traitements des images par des processus complexes, comme nous venons de le voir, il est impératif d'effectuer des mesures de contrôle, directement sur le terrain. Ces mesures, pour être précises sont effectuées au GPS sur des points "stratégiques" du glacier. La mise en œuvre n'est pas simple, puisqu'il s'agit de positionner les antennes sur les points à relever, ce qui nécessite de périlleuses ascensions sur les glaciers. Une série de points a ainsi été déterminée à deux périodes différentes pour permettre d'évaluer précisément, mais très localement le déplacement surfacique du glacier. De nouvelles données ponctuelles et temporelles, cette fois, sont à intégrer au SIG.

4. D'autres données.

Au fur et à mesure de l'évolution du projet, d'autres types de données sont susceptibles d'être intégrées dans le système. Ne serait-ce que pour le géoréférencement ou pour l'intégration de données connues et déjà structurées, détenues par d'autres organismes ou services gestionnaires de données cartographiques.

Le recoupement du maximum de données permettra de tirer les enseignements des plus intéressants dans le cadre de ce projet.

D/ Un SIG : pour la gestion cartographique des données ?

1. La définition du SIG.

Dans le contexte de ce projet, le SIG à mettre en place est avant tout destiné aux utilisateurs pour leur permettre de gérer les données cartographiques résultant des différents travaux sur la problématique de recherche. Ces utilisateurs ne sont pas tous des spécialistes de la gestion des données, ni de la cartographie et de tous ses pré-requis. Néanmoins, certaines notions, comme les systèmes de projection, leur sont familières même si elles ne le sont que du point de vue de l'utilisation. C'est à l'équipe de Strasbourg qu'incombe l'apport de l'expertise dans le domaine de la géodésie, de la cartographie, de la gestion des données cartographiques.

Les principales fonctionnalités que doit permettre de gérer le système cartographique à mettre en place sont donc :

- la gestion de métadonnées,
- la gestion des systèmes de projection cartographiques,
- les possibilités de géoréférencement des données,
- la décomposition en multiples couches d'informations,
- la gestion d'images de grandes dimensions (plusieurs Go), la combinaison de données vecteur et d'images,
- l'association de données thématiques descriptives,
- la relation avec des bases de données documentaires existantes,
- la possibilité de traitements de données raster,
- la mise à disposition des données distribuées dans les différentes équipes,
- la gestion de gros lots de données (des millions de points pour un M.N.T., par exemple),
- la représentation différenciée des différentes informations,
- la production de cartes thématiques lisibles, etc.

Nous retrouvons ici, l'ensemble des possibilités et des fonctionnalités d'un SIG. La possibilité de programmation d'algorithmes particuliers pour le traitement des images, les possibilités de croisements spécifiques des données, la gestion de données multi-temporelles, etc. sont d'autres perspectives intéressantes. Mais, pour être viable, dans le contexte du projet de recherche, ce SIG doit être un instrument de gestion facile d'accès. Une structuration concertée des données, préalable à la mise en place sera fondamentale pour que tous les utilisateurs potentiels se reconnaissent dans le système et travaillent de manière quasi-transparente avec ces outils.

2. Métadonnées.

Pour que chaque utilisateur puisse travailler avec des données ou des résultats produits par un autre spécialiste, il faut que ces informations soient correctement documentées. Il en est notamment :

- des unités dans lesquelles sont exprimées les valeurs : ceci a un rapport direct avec les systèmes de coordonnées associés,
- de la zone géographique concernée : ceci correspond aux extensions géographiques des éléments graphiques,
- de la source des données : on notera ici le rapport direct avec les différents niveaux de traitements effectués à partir de données brutes jusqu'aux données résultantes et mises à disposition des autres chercheurs, mais également des modes d'acquisition, des dates d'acquisition, etc., c'est-à-dire plus généralement la généalogie des informations,
- de l'auteur des données, des traitements,
- des facteurs de qualité associés à ces données : précision, exhaustivité, cohérence, etc.
- des limites d'utilisation, etc.

Dans un premier temps, chaque équipe qui génère des résultats à partir de données initiales associe un fichier descriptif sur les différents traitements et nouvelles données obtenues. Ce fichier descriptif suit une norme interne définie par l'équipe du projet. Il sera sûrement intéressant de la revoir en fonction des différentes nouvelles possibilités engendrées par l'utilisation du SIG (on pense, par exemple, à la recherche de données par la consultation directe des métadonnées). Les possibilités offertes par *ArcCatalog* (Figure 6) sont très larges et devraient permettre de résoudre un certain nombre de problèmes. Le SIG ou son catalogue de données pourra être considéré, dans ce cas, comme une armoire à données pour les chercheurs permettant un accès facile éventuellement par la sélection de caractéristiques associées (dont géographiques, descriptives ou concernant les traitements effectués, etc.). La Figure 7, tirée de la documentation d'*ArcGIS* illustre bien ce concept.

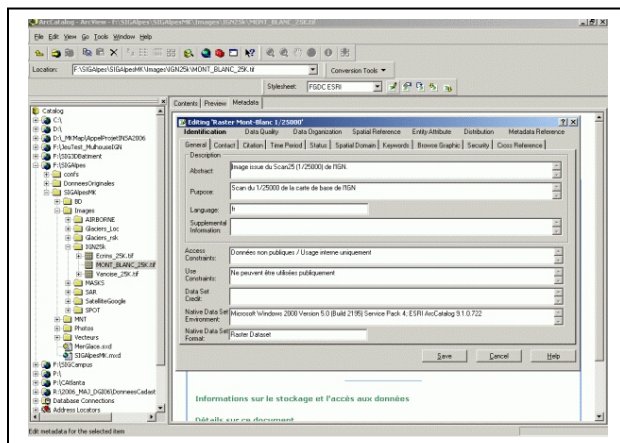


Fig. 6 : Piste de constitution d'un catalogue de métadonnées sous *ArcCatalog*.

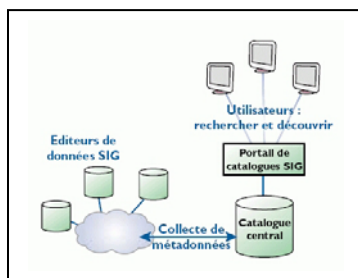


Fig. 7 : Le SIG en réseau (source ESRI)

3. Systèmes de référence, géoréférencement.

Les sources de données étant très différentes, provenant de systèmes d'acquisition différents, les résultats seront également exprimés dans des systèmes de coordonnées différents : MNT, géoréférencement d'orthophotos en coordonnées Lambert II ou Lambert II étendue, scènes SPOT, SAR en coordonnées géographiques, données locales en coordonnées Lambert 93, points de contrôle en coordonnées géographiques sur l'ellipsoïde WGS84, etc. Les mécanismes de projection à la volée du SIG apporteront une aide précieuse aux utilisateurs de même que les mécanismes de conversion de systèmes de coordonnées. Les outils de géoréférencement sont également très utiles pour la préparation des données avant leur intégration dans le système commun.

4. Représentations, effets visuels.

L'essence même d'un SIG est sa possibilité de structuration des données et notamment sous forme de couches d'informations. La puissance du SIG réside ensuite dans ses possibilités de représentation des informations en fonction de nombreux critères paramétrables. Dans le cadre du projet MEGATOR, la complexité des données, leur comparaison, puis la fusion de ceux-ci demande des possibilités de représentation très poussées. Des outils de transparence de couches, des outils de gommage s'avèrent très efficaces avant la mise en place de nouveaux traitements. Ils sont déjà très utiles dans l'évaluation des résultats et la validation des méthodes de traitements notamment quand il s'agit de comparer des résultats provenant de différents traitements. La Figure 8 illustre notamment la concordance et cohérence des résultats obtenus après des traitements différents.

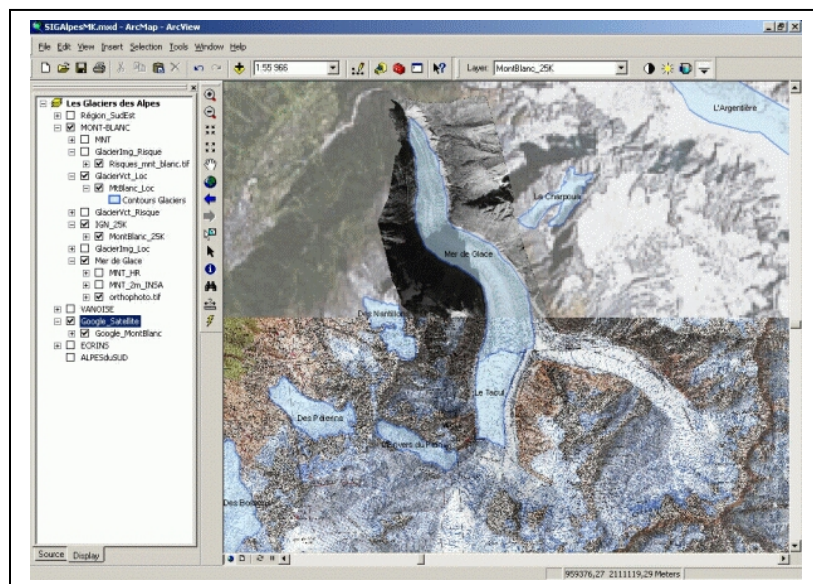


Fig. 8 : Superposition de résultats issus de différents traitements.

5. Aspects vecteur / raster.

5.1. Vecteur.

Dans un SIG, la structuration des données sous forme vecteur permet l'utilisation d'entités principalement ponctuelles, linéaires, surfaciques. Dans le cadre de notre projet, l'identification et la localisation de zones à risques naturels, le positionnement de balises, de

points de références, de contours de lacs ou de contours de glaciers, de zones de chutes glaciaires, etc. est réalisée avec ce type d'entités. On peut alors leur associer des données descriptives dans les champs des bases de données (Figure 9). Les sélections par localisation et par attributs permettent ensuite d'effectuer des traitements sur les zones spécifiques.

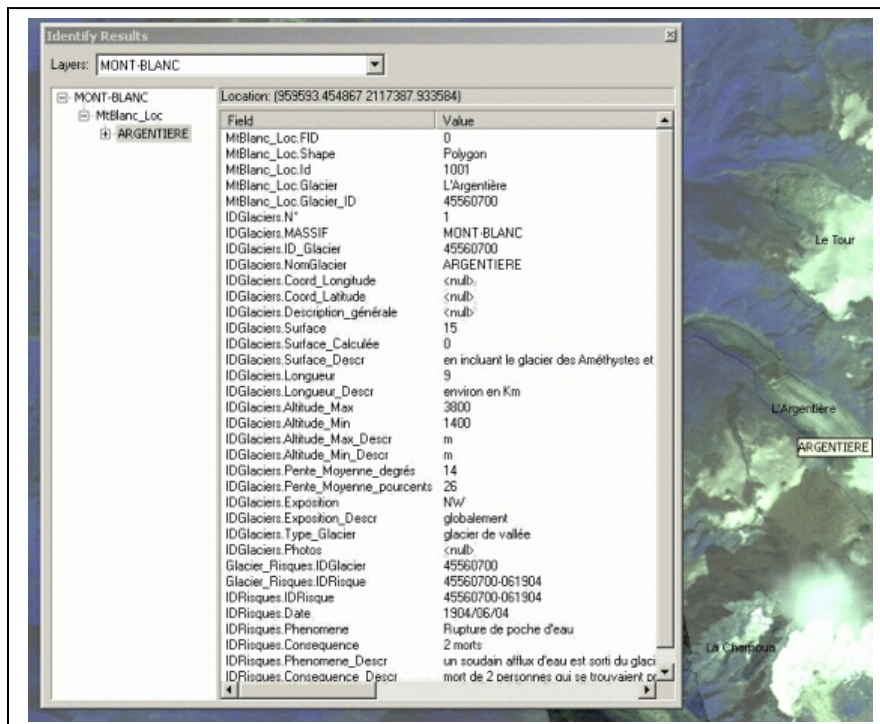


Fig. 9 : Données vecteur et descriptives associées.

5.2. Raster.

En ce qui concerne les données de type image, elles représentent plutôt des données issues de traitements. Les classifications sont intéressantes et permettent de superposer des données vecteur avec des résultats obtenues à partir d'images. Les modes de sélection décrits dans le paragraphe précédent ne sont plus applicables ici. En revanche, il existe une palette importante d'outils de traitement de données raster (*SpatialAnalyst*). Cette palette d'outils n'a pas encore été mise en œuvre dans le cadre du projet, mais les outils disponibles sont suffisamment paramétrables pour rivaliser avec les outils de logiciels spécifiques. Les outils d'automatisation (*Geotraitements / ModelBuilder*) apportent ici également des avantages dans la possibilité de traitement de grosses masses de données et notamment permettent de reprendre des traitements identiques avec des sources de données acquises à des périodes différentes. Le potentiel de ces outils n'a pas encore été évalué, mais ils constituent des atouts importants plaidant en faveur de la mise en application du système. Il s'agira d'éprouver la collaboration de plusieurs spécialistes de disciplines différentes et de tester les réelles possibilités de traitement d'images et surtout les possibilités d'intégration de méthodes de fusion de données qui ont déjà été expérimentées, par ailleurs, sur d'autres systèmes.

6. Diffusion des données

Le dernier point qui est important dans la gestion du projet est la diffusion des données. Cette diffusion se fait d'abord en interne entre les différents laboratoires associés au projet, une deuxième phase se consacrera sûrement à la diffusion externe des données ou au moins des résultats. Les possibilités d'une diffusion à travers Internet sont déjà effectives. Chaque

membre du projet peut se connecter à un serveur protégé d'où il peut récupérer les données et les résultats des autres équipes. Les métadonnées initialement constituées permettent dans ce cadre de connaître la nature des différentes données mises à disposition de la collectivité dans cette base de données. Le SIG, à travers ses outils de catalogage et de métadonnées comprend dès l'origine, et de façon optimisée et normalisée tout un ensemble de fonctionnalités équivalentes, voire plus puissantes. Les outils *ArcIMS* sont également conçus pour la conception (*ArcIMS / Author*), la gestion des services web (*ArcIMS / Administrator*) et la conception de sites web (*ArcIMS / Designer*) dans le but de la diffusion des données sous forme de services web (wms, wfs, service de métadonnées, etc.).

Ces services couplés à des serveurs de dépôt de données cartographiques permettent de résoudre tous les problèmes liés à la présence d'équipes multiples réparties sur des sites différents :

- de rechercher les lots de données intéressants (métadonnées),
- de les évaluer (wms),
- de les intégrer dans un projet local (wfs),
- d'accéder à des bases de données documentaires associées via des hyperliens (ce qui constitue l'un des points-clefs du travail multi-sites),
- de télécharger les données vecteur et descriptives associées (wfs),
- d'accéder à des données d'origine, brutes, non traitées, déjà traitées, etc. en les déposant sur un ou des serveurs spécifiques directement reliés par l'intermédiaire des données associées.

Toutes les applications futures liées à la diffusion des données ne sont pas encore définies, mais le potentiel de l'outil SIG paraît énorme.

E/ Conclusions et perspectives

Dans cet article, il ne s'agissait pas de décrire toutes les fonctionnalités d'un SIG, mais force est de constater qu'à ce stade d'avancement du projet MEGATOR, les attentes liées à la gestion des données cartographiques qui le constitue correspondent exactement aux prérogatives d'un SIG complet, tant du point de vue du type de données, que des traitements et des possibilités de représentation et de diffusion de celles-ci.

Nous n'avons pas abordé ici les aspects 3D, également offerts dans la large palette des extensions SIG (*3D Analyst & ArcScene*) et déjà utilisés pour la réalisation de scènes 3D animées, notamment sur le site expérimental de la "Mer de Glace" (Figure 10).

Les visualiseurs légers tels *ArcReader* ou *ArcExplorer* sont également des outils potentiellement à mettre en œuvre à l'intérieur de l'équipe de projet notamment pour la visualisation et la confrontation des différents résultats.

Les possibilités de développement d'outils personnalisés appliqués notamment à la fusion des données forment actuellement le grand point d'interrogation des spécialistes de la branche cartographique.

Mais, ne l'oublions pas, toutes les technologies mises en œuvre, les algorithmes de calcul et d'automatisation des chaînes de traitements, les outils de gestion des données, dont les SIG, sont et deviennent des outils indispensables au service, dans notre cas, de la détection et de la prévention des risques naturels liés aux glaciers.

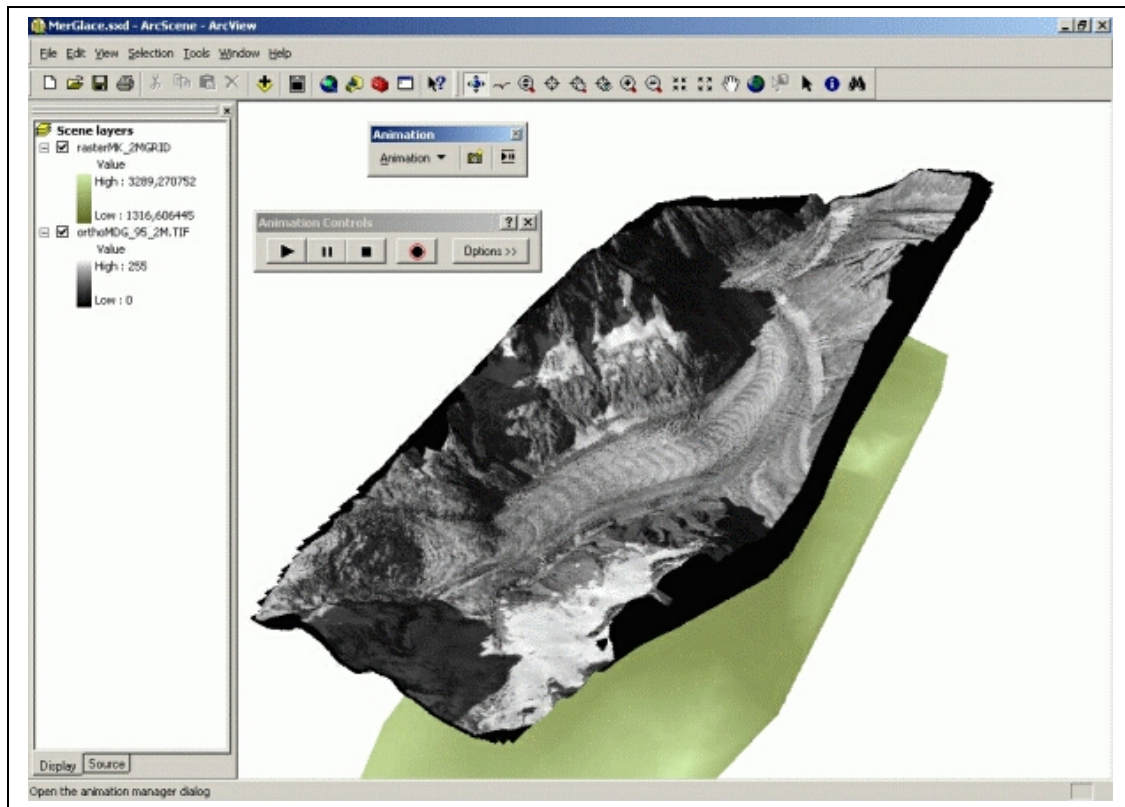


Fig. 10 : Conception d'une animation sur la "Mer de Glace" dans ArcScene.

Bibliographie

- [0] Philippe Bolon, Jean-Marie Nicolas, Michel Gay, Pierre Grussenmeyer, Gabriel Vasile and Emmanuel Trouvé. *Optical and SAR monitoring of glacier evolution : high resolution data issues*. DLR-CNES Workshop, Oberpfaffenhofen, Nov. 2004
- [1] E. Trouvé, G. Vasile, M. Gay, P. Grussenmeyer, J.-M. Nicolas, T. Landes, M. Koehl, J. Chanussot and A. Julea. *Combining Optical and SAR data to monitor temperate glaciers*. In IEEE IGARSS 05, Seoul, Korea, July 2005.
- [2] <http://www.grenoble.cemagref.fr/grenoble/etgr/etna.html>
- [3] <http://glacierisk.grenoble.cemagref.fr/>
- [4] J. Chanussot, M. Gay, and P. Bertolino. *Validated spectral angle mapper algorithm for glacial lake detection : comparative study between spot and terrestrial measurements*. In IEEE IGARSS 05, Seoul, Korea, July 2005.
- [5] D. Massonnet and F. Adragna. *Description of the DIAPASON software developed by CNES, current and future applications*. In FRINGE'96 Workshop, Zurich, Switzerland, CDROM, 1996.
- [6] Andreas Reigber, Stephane Guillaso, Olaf Hellwich, Marc Jager and Maxim Neumann. *Polinsar data processing with RAT (Radar Tools)*. In PolInSAR'05, Frascati, Italy, CDROM, 2005.
- [7] Qu'est ce que ArcGIS ? Documentation ESRI ArcGIS 9.1