

Zeitschrift:	Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik : VPK = Mensuration, photogrammétrie, génie rural
Herausgeber:	Schweizerischer Verein für Vermessung und Kulturtechnik (SVVK) = Société suisse des mensurations et améliorations foncières (SSMAF)
Band:	100 (2002)
Heft:	10
Artikel:	Utilisation combinée des techniques GPS et radar
Autor:	Hagin, C. / Lathion, P.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-235940

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 25.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Utilisation combinée des techniques GPS et radar

Au début des années 90, les récepteurs GPS étaient des instruments de mesure révolutionnaires dans nos professions, destinés presque exclusivement à des applications géodésiques en post-traitement. Au fil de l'évolution technologique, de nouveaux constructeurs sont apparus, qui ont diversifié et accru les fonctions et les possibilités des récepteurs. Les applications GPS en temps-réel ont rapidement pris le pas sur le post-traitement, et de plus en plus de récepteurs bon marché ouvrent de nouvelles perspectives dans le vaste domaine de la navigation et du guidage de personnes ou de mobiles.

Aujourd'hui, le GPS est devenu une technique courante du géométrien, qui est aussi utilisé de plus en plus en combinaison avec d'autres capteurs. Ce travail d'intégration permet de géoréférencer à l'aide du GPS les données fournies par les capteurs, et par conséquent de réaliser des cartographies thématiques. Cette méthodologie est utilisée par exemple pour des applications bathymétriques, par couplage d'un système GPS et d'un écho-sondeur, ou pour des assainissements de décharge en combinant un capteur de gaz au GPS. Cet article présente plus en détail l'intégration d'un radar au GPS destinée à la surveillance aérienne du manteau neigeux.

Zu Beginn der 90er Jahre waren GPS-Empfänger in unserem Beruf revolutionäre Messinstrumente, die fast ausschliesslich für die Nachbehandlung von geodätischen Anwendungen bestimmt waren. Im Laufe der technologischen Entwicklung sind neue Konstrukteure aufgetaucht, die die Funktionen und Möglichkeiten der Empfänger diversifiziert und verbessert haben. Die GPS-Anwendungen in Echt-Zeit haben rasch die Oberhand über die Nachbehandlungen gewonnen, und kostengünstige Empfänger eröffnen mehr und neue Perspektiven im weiten Bereich der Navigation und der Führung von Personen oder mobilen Apparaten.

Heute ist GPS eine alltägliche Technik der Geomatikfachleute geworden, die auch immer mehr in Kombination mit anderen Empfängern verwendet wird. Diese Integration erlaubt, die von den Empfängern gelieferten Daten mittels GPS auf den Raum zu beziehen und folglich thematische Kartierungen zu verwirklichen. Diese Methodik wird beispielsweise für bathymetrische Anwendungen gebraucht durch Kupplung eines GPS-Systems mit einer Echo-Sonde oder für Deponiesanierungen durch Kombination einer Gassonde mit GPS. In diesem Artikel wird näher auf die Integration eines Radars und GPS für die Luftüberwachung einer Schneedecke eingegangen.

All'inizio degli anni '90 i ricettori GPS erano degli strumenti di misurazione del tutto rivoluzionari nelle nostre professioni, destinati quasi esclusivamente ad applicazioni geodetiche di post-trattamento. Nel corso dell'evoluzione tecnologica sono apparsi nuovi costruttori che hanno diversificato e aumentato le funzioni e le potenzialità di tali ricettori. Le applicazioni GPS in tempo reale hanno rapidamente superato il post-trattamento e sono sempre più numerosi i ricettori a buon mercato che aprono nuove prospettive nel vasto campo della navigazione e della guida delle persone o dei veicoli. Oggi il GPS è diventato una tecnica comune per il geomatiko che è sempre più impiegata in abbinamento ad altri ricettori. Questo lavoro d'integrazione permette di fare con il GPS una georeferenza dei dati forniti dai ricettori e, di conseguenza, di realizzare delle cartografie tematiche. Questa metodologia è, per esempio, utilizzata nelle applicazioni batimetriche, accoppiando un sistema GPS a una eco-sonda, oppure nel risanamento di scarica, abbinando un ricettore a gas al GPS. In questo articolo si presenta in dettaglio l'integrazione di un radar al GPS per la sorveglianza aerea del manto nevoso.

Chr. Hagin, P. Lathion

Contexte et objectifs

Depuis quelques années, nous couplons déjà les systèmes GPS à différents instruments tels que capteurs de gaz pour la cartographie des émanations de méthane sur les décharges, ou encore les écho-sondeurs pour la représentation des hauteurs de sédiments et d'eau dans les barrages, lacs ou rivières. Depuis bientôt une année, nous nous intéressons à la combinaison d'un radar (Ground Penetrating Radar, GPR) et d'un système GPS-RTK, embarqués dans un hélicoptère, pour la surveillance du manteau neigeux. Cette technique permet d'obtenir simultanément les altitudes des différentes interfaces rencontrées par les ondes radar (neige/glace, terrain) avec une précision décimétrique, sans avoir besoin d'un modèle de terrain à priori. Il est aussi possible de déterminer les caractéristiques physiques de la neige telles que densité et teneur en eau.

Les objectifs prioritaires étudiés dans cette phase de développement sont les suivants:

La surveillance aérienne du manteau neigeux

Mesures et suivi de l'évolution de la hauteur de neige dans les zones d'avalanches ou difficiles d'accès, afin d'anticiper au mieux les dangers potentiels ou l'évacuation de zones habitées.

Détermination de la densité et de la teneur en eau de la neige

Détermination de la teneur en eau du manteau neigeux et estimation du volume d'eau disponible sur un bassin versant.

Recherche de personnes sous les avalanches

L'image radar obtenue en temps réel permet de distinguer, en fonction de la densité des matériaux, des objets ou personnes intercalées entre le sol et la neige.

La technique radar

Le principe est l'interprétation des échos radar pour en extraire les informations re-



Fig. 1: Hélicoptère avec Radar et GPS.

latives à la hauteur et à la structure de la neige, afin de pouvoir cartographier ces mesures à l'aide du GPS couplé au radar. Les différentes hauteurs (terrain, neige, hélicoptère) sont déduites du temps de cheminement aller-retour des ondes électromagnétiques dans les différents milieux traversés, sachant que les vitesses de propagation de ces ondes diffèrent suivant les milieux. La vitesse de propagation de l'onde est liée directement à la constante diélectrique ϵ_r du milieu et peut être interprétée selon la formule suivante:

$$\epsilon_r = (c/v)^2$$

avec c = célérité et

v = vitesse de l'onde dans le milieu.

Selon la précision désirée, un nouveau calibrage est nécessaire à chaque fois que les caractéristiques physiques de la neige changent de manière significative. Nous sommes actuellement en cours de développement d'une solution permettant d'obtenir simultanément la densité et la hauteur de neige par interprétation des temps de propagation et de mesures d'amplitude du signal radar (fig. 1-2).

Détermination des hauteurs de neige par technique radar et GPS combinée, embarquée dans un hélicoptère

Ce paragraphe explique la méthodologie développée pour cette application, ainsi que les différents tests réalisés pour esti-

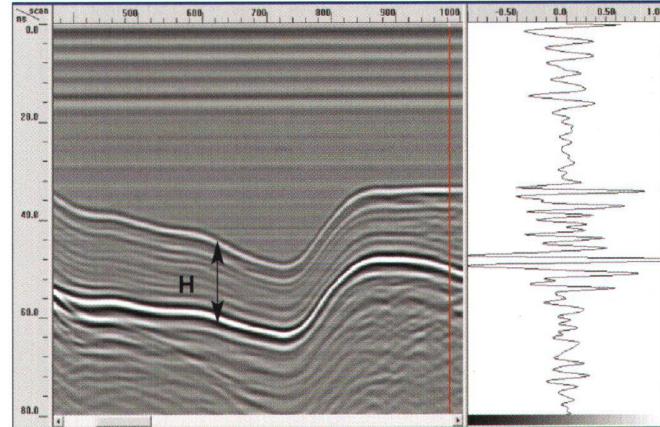


Fig. 2: Scan radar en temps réel (interface neige-sol).

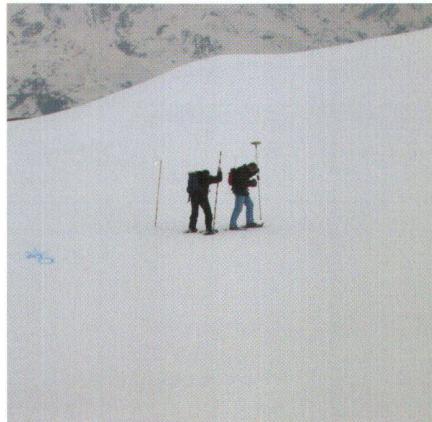
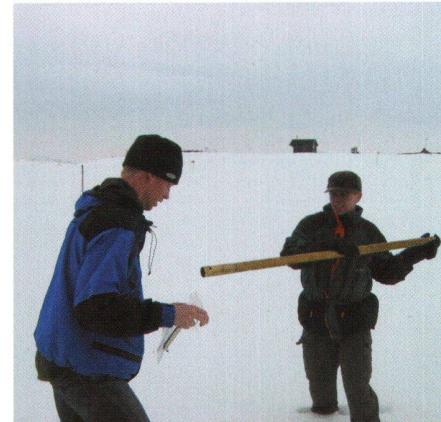


Fig. 3 et 4: Mesures de contrôle par GPS-RTK et sonde, ainsi que par carottage.



mer la précision des hauteurs livrées par le radar.

Description des mesures

La zone de mesures se situe au dessus d'Evolène (VS), dans le secteur de la zone de décrochement de l'avalanche de février 1998 (entre le col de Torrent et la Pointe du Prélet, altitude 2700 mètres). Plusieurs lignes de vol de 100 mètres, espacées de 20 à 40 mètres, ont été survolées. Sur ces mêmes lignes, des sondages manuels ont été réalisés (mesures de profondeur de neige) tous les 5 à 10 mètres, et géoréférencés par la méthode GPS-RTK (~2–5 cm). D'autre part, des échantillons ont été récoltés par carottage (fig. 3-4).

Navigation et positionnement par GPS

Le système GPS-RTK embarqué nous permet de naviguer de manière précise sur

les lignes de vol prédéfinies (zones de danger potentielles), et ainsi d'indiquer avec précision au pilote les points et lignes qu'il faut survoler. Cette méthode permettra aussi lors de mesures répétitives d'effec-



Fig. 5: Lignes de vol avec les points mesurés précédemment au sol et indication en temps réel de la position de l'Hélicoptère (radar monté à la verticale de l'antenne GPS).

Photogrammétrie/Télédétection

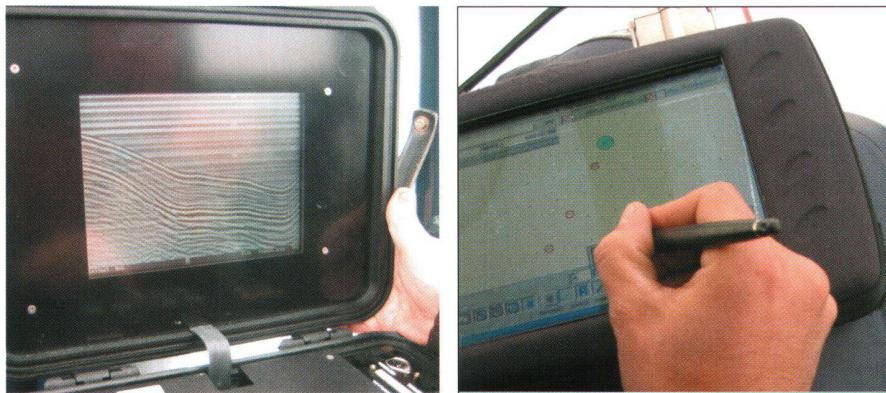


Fig. 6 et 7: Image radar en temps réelle et la navigation par GPS-RTK.

tuer des mesures exactement aux mêmes endroits, ce qui s'avère important pour juger de l'évolution du manteau neigeux.

Pour faciliter la navigation et le positionnement des mesures radar, les antennes GPS et radar sont situées sur un même

axe. Les mesures radar sont donc géoréférencées directement sans post-traitement par le positionnement GPS (fig. 5).

Mesures Radar

L'image digitale du radar, le positionnement et la navigation GPS-RTK sont réalisés simultanément et en temps réel dans l'hélicoptère. La précision «on-line» sur la hauteur de neige dépend évidemment des paramètres introduits au cours des mesures (densité de la neige par exemple). En règle générale, nous donnons une valeur globale durant le vol, l'important étant de vérifier la qualité de l'image radar durant les mesures. En effet, il est plus aisés pour l'interprétation d'utiliser des

	A	B	C	D	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	T	U	V
1	Point	Eastng	Northing	Level	Time Snow (ns)	Time ground (ns)	Time S - G (ns)	Calibration	Depth radar (m)	Depth manually (m)	Height radar (m)	Height snow interface (m)	Height ground interface (m)	Height radar above snow (m)	Velocity (m/ns)	Dielectric constant	Density
3 fichier radar 23 - Anniviers gauche 1 - stp and go																	
4	1001	607974.74	108322.42	2777.82	8.80	17.85	9.05	2.12	2.12	2.12	2775.82	2770.30	2768.18	5.52	0.2343	1.6401	0.332
5	1002	607970.47	108314.26	2779.43	14.45	20.55	6.10		1.43	1.40	2777.43	2771.06	2769.63	6.37			
6	1003	607964.72	108307.30	2780.99	14.45	25.10	10.65		2.49	2.30	2778.99	2772.62	2770.12	6.37			
7	1004	607960.82	108301.08	2781.66	4.11	10.85	6.74		1.58	1.60	2779.66	2774.84	2773.26	4.82			
8	1005	607956.29	108289.68	2790.43	17.15	23.05	5.90		1.38	1.40	2788.43	2781.65	2780.27	6.77			
9	1006	607943.19	108276.21	2798.64	14.10	20.05	5.95		1.39	1.30	2796.64	2790.33	2788.93	6.32			
10																	
11 fichier radar 24 - Anniviers droite 1 - stp and go																	
12	2001	607945.24	108347.31	2771.02	4.67	12.15	7.48		1.75	1.65	2769.02	2764.12	2762.37	4.90			
13	2002	607939.70	108341.33	2775.25	9.95	16.50	6.55		1.53	1.55	2773.25	2767.56	2766.02	5.69			
14	2003	607937.00	108336.31	2777.45	12.90	21.95	9.05		2.12	2.00	2775.45	2769.31	2767.19	6.14			
15	2004	607933.83	108329.85	2780.57	15.25	21.65	6.40		1.50	1.60	2778.57	2772.08	2770.58	6.49			
16	2005	607927.08	108322.38	2784.96	11.55	18.20	6.65		1.56	1.40	2782.96	2777.02	2775.47	5.93			
17	2006	607919.11	108310.62	2792.64	14.15	20.55	6.40		1.50	1.50	2790.64	2784.32	2782.82	6.32			
18	2007	607913.42	108302.98	2796.45	13.30	19.80	6.50		1.52	1.40	2794.45	2788.26	2786.74	6.20			
19	2008	607905.80	108292.54	2801.40	9.00	14.50	5.50		1.29	1.25	2799.40	2793.85	2792.56	5.55			
20																	
21 fichier radar 26 - Anniviers droite 2 - stp and go																	
22	4001	607942.66	108346.69	2774.00	8.35	15.25	6.90		1.62	1.60	2772.00	2766.54	2764.93	5.45			
23	4002	607938.00	108339.56	2777.15	12.35	20.80	8.45		1.98	1.80	2775.15	2769.09	2767.12	6.05			
24	4003	607935.59	108333.40	2779.40	16.80	25.80	9.00		2.11	2.00	2777.40	2770.68	2768.57	6.72			
25	4004	607926.42	108322.97	2787.42	19.70	26.80	7.10		1.66	1.65	2785.42	2776.26	2776.60	7.16			
26																	
27 fichier radar 28 - Hérens - stp and go																	
28	6001	607741.28	107965.83	2973.09	9.50	11.25	1.75		0.33	0.30	2971.09	2965.47	2965.13	5.63			
29	6002	607733.19	107976.57	2971.15	15.40	18.75	3.35		0.64	0.55	2969.15	2962.64	2962.00	6.51			
30	6003	607723.75	107990.13	2970.98	18.20	25.95	7.75		1.48	1.40	2968.98	2962.05	2960.57	6.93			
31	6004	607711.70	108006.73	2970.92	21.00	24.20	3.20		0.61	0.50	2966.92	2961.57	2960.96	7.35			
32	6005	607700.53	108015.94	2971.53	24.20	27.15	2.95		0.56	0.55	2969.53	2961.70	2961.14	7.83			
33	6006	607691.12	108026.26	2971.33	14.25	23.15	8.90	1.70	1.70	1.70	2969.33	2963.00	2961.30	6.34	0.1910	2.4667	0.675
34	6007	607686.19	108044.00	2976.57	10.60	15.40	4.80		0.92	0.90	2974.57	2968.78	2967.86	5.79			
35																	
36 fichier radar 29 - Hérens - continu																	
37	7001	607738.03	108006.05	2975.35	21.95	24.75	2.80		0.53	0.55	2973.35	2965.86	2965.32	7.49			
38	7002	607709.67	107999.53	2970.28	27.15	29.80	2.85		0.51	0.45	2968.28	2960.01	2959.50	8.27			
39	7003	607702.67	108009.57	2970.78	22.90	26.90	4.00		0.76	0.50	2968.78	2961.15	2960.38	7.64			
40	7004	607689.85	108026.05	2973.36	18.15	27.55	9.40		1.80	1.60	2971.38	2964.46	2962.66	6.92			
41	7005	607686.19	108030.74	2974.53	19.35	24.20	4.85		0.93	0.90	2972.53	2965.43	2964.50	7.10			
42	7006	607681.06	108036.63	2977.54	19.75	24.20	4.45		0.85	0.75	2975.54	2968.37	2967.52	7.16			

Colonnes A, B, C, D: numéro du points, coordonnées et altitude de vol (antenne GPS)

H, I, J: temps de parcours de l'onde aller et retour jusqu'à : la neige, au sol et dans la neige

K: valeur de neige mesurée à ce point avec une sonde (valeur vraie)

L, M: hauteur provenant du radar et des mesures à la sonde pour chaque point considéré

N, O, P, Q: altitudes du radar, de la neige, du terrain, et hauteur du radar au-dessus du sol

T, U: vitesse de propagation de l'onde dans la neige et de la constante diélectrique

V: densité de la neige calculée

Tab. 1.

zone	# de mesures	Moyenne	Écart-type	Densité
1 (ubac)	17	5.9 cm	8.2 cm	0.332
2 (adret)	13	8.0 cm	8.1 cm	0.675

Tab. 2.

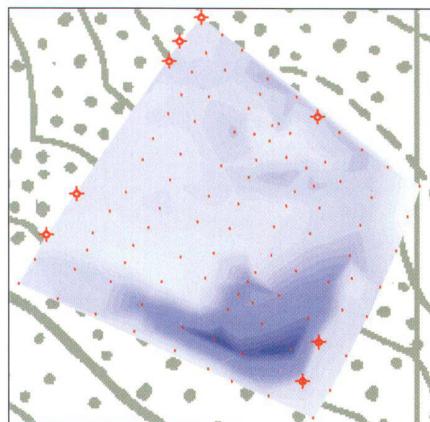


Fig. 8.

images qui distinguent bien les différentes couches traversées par les ondes radar (fig. 6–7).

Traitements et calcul

Le calcul des hauteurs de neige sont déduites des images radar et dépendent de la vitesse de propagation de l'onde dans le milieu. Cette vitesse varie suivant la densité de la neige. Pour obtenir cette densité, il existe en fait plusieurs méthodes:

- mesure de masse volumique par carottage et prise d'échantillons;
- mesure de hauteurs de neige avec sonde et mise en correspondance avec une

image radar prise à l'endroit du sondage;

- interprétation des mesures d'amplitude du signal radar (par comparaison à l'amplitude fournie par le radar pour la glace). Cette solution est en cours de développement.

Il est actuellement encore difficile d'obtenir des résultats définitifs de hauteurs de neige en temps réel depuis un hélicoptère. En revanche, il est relativement aisément d'obtenir ces hauteurs en temps réel lorsque le radar se trouve en contact direct avec la neige (mesures sur pistes avec ou sans dameuses, par exemple).

Résultats

L'extrait du fichier-résultats (tab. 1) montre le principe du calcul pour arriver à la détermination de la hauteur/altitude de la neige et/ou du terrain. Dans cet exemple, deux zones géographiquement distinctes ont été survolées, sur lesquelles deux valeurs de calibration ont été utilisées (2.12 m et 1.7 m).

D'une manière générale, l'on remarque que la profondeur mesurée avec la sonde est inférieure aux mesures par radar. Cela s'explique par le fait que les couches inférieures de neige sont relativement dures et qu'il est difficile d'atteindre avec la sonde le terrain naturel. Le tableau 2 montre une statistique sur la précision des mesures effectuées.

La densité de la neige varie drastiquement suivant l'exposition de la pente. Par exemple, sur le site de mesures, la densité de la neige variait de 332 kg/m³ (pente nord) à plus de 600 kg/m³ (pente sud). En négligeant cette variation et en utilisant une valeur constante de 300 kg/m³ sur tout le site de mesures, nous aurions constaté des erreurs sur les hauteurs de neige de l'ordre de 20% pour une densité de 600 kg/m³. Afin d'obtenir des ré-

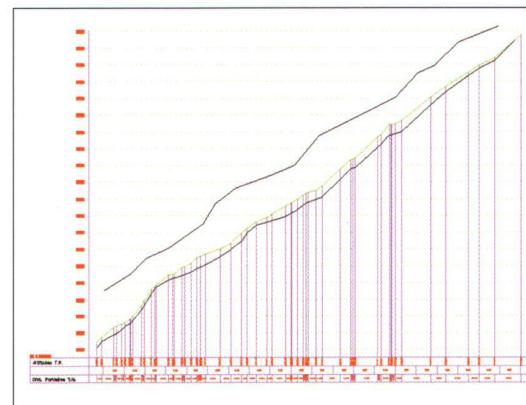


Fig. 10.

sultats précis, il est donc important d'effectuer un calibrage lors de modifications significatives de la physiologie du manteau neigeux.

Représentation des mesures

Il est ensuite aisément de représenter les hauteurs et altitudes obtenues à l'aide de modèles numériques de terrain ou de neige, de profils incluant la hauteur du terrain et de la neige, ou encore sous forme de cartes thématiques (fig. 8–10).

Domaines d'applications

Concernant les deux autres applications citées ci-dessus, nous pouvons actuellement donner les informations suivantes:

- pour les estimations de teneur en eau, des expériences et mesures pratiques réalisées en Suisse et dans les pays nordiques nous montrent que l'on peut prévoir avec une probabilité de 90–95%, la quantité d'eau contenue dans la neige sur le bassin versant d'un lac ou d'un barrage.
- pour la recherche de personne sous les avalanches, la complexité des images radar rend leur interprétation «on-line» très difficile. De nombreux tests et développements doivent encore être réalisés afin de pouvoir lire ces scans de manière fiable en temps réel pour une telle application.

La méthodologie expliquée dans cet article pour des mesures au travers de la neige peut être extrapolée à d'autres milieux (avec ou sans hélicoptère). La fréquence

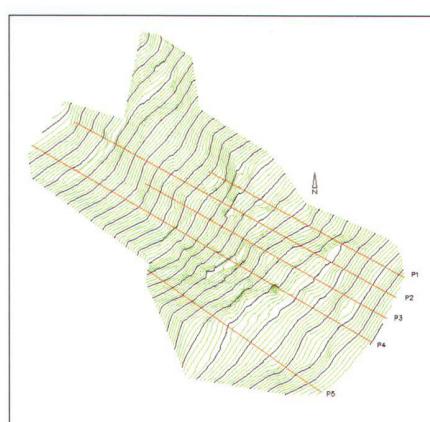


Fig. 9.

utilisée par le radar est le paramètre qui détermine la profondeur d'investigation dans ce milieu, ainsi que la résolution. Des hautes fréquences (1 GHz par exemple) donnent des images radar très détaillées, mais ne pénètrent que quelques mètres dans le sol. Par contre, les basses fréquences (20 MHz par exemple) permettent de sonder très profondément, avec une résolution très grossière.

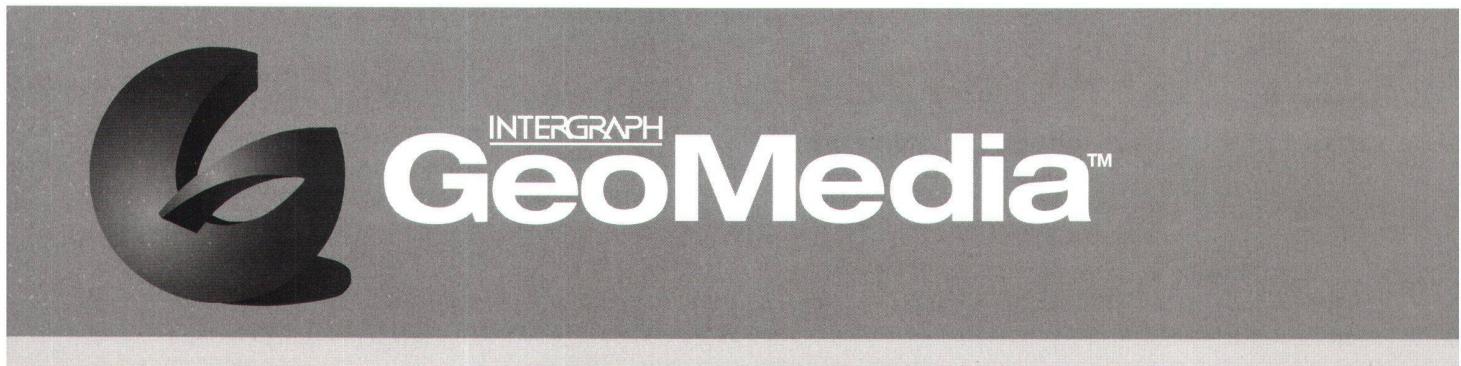
Finalement, un système embarqué (airborne system en anglais) n'est pas tou-

jours approprié. En effet, les échos radar peuvent soit être trop faible, soit se trouver en interférence avec certains systèmes électroniques de l'avion ou de l'hélicoptère. Il est dans ces cas judicieux d'utiliser des antennes spécialement conçues pour ce type d'applications airborne. Les applications possibles pour cette technique sont par conséquent multiples. On citera quelques exemples non exhaustifs:

- la glaciologie: évolution des glaciers
- la géologie/hydrogéologie: recherche de nappes, structure de la roche

- l'archéologie: recherche de site, caverne
- le génie forestier: MNT en forêt, hauteur de la couverture végétale
- le génie civil: recherches de canalisations, de fissures dans des ouvrages d'art.

Christian Hagin, ing. dipl. EPF/SIA
Patrick Lathion, ing. dipl. EPFL
Geosat SA
Ch. de la Métralie 26
CH-3960 Sierre
info@geosat.ch



Ihr GIS-Partner für

- Web-Lösungen
- Gemeinde-Lösungen
- Amtliche Vermessung
- Leitungskataster
- Strassenmanagement

INTERGRAPH
Mapping and GIS Solutions

Strategische Entwicklungspartner
Deutsche Schweiz Französische Schweiz

