

Colloque SPOT - ERS1

Paris (mai 93)

- sans presse -

N

**ETUDE DES GLACIERS SUB-POLAIRES DU SPITZBERG A L'AIDE DES  
DONNEES SPOT, ERS1 ET HYPSONOMETRIQUES : RESULTATS ET PERSPECTIVES.**

par

J.-F. PARROT<sup>1-2</sup>, B. LEFAUCONNIER<sup>3</sup>, C. MERING<sup>1-2</sup>, N. LYBERIS<sup>2</sup>, H. TAUD<sup>2</sup>,  
J.-P. RUDANT<sup>2</sup> et J. CHOROWICZ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ORSTOM, 213 rue Lafayette, 75010 PARIS.

<sup>2</sup> Université Paris VI, Dpt de Géotectonique, 4, place Jussieu, 75252 PARIS Cedex 05.

<sup>3</sup> Norsk Polarinstitut, Postboks 558, 1330 OSLO Lufthavn (Norvège).

Fonds Documentaire IRD

Cote: B\* 25336 Ex: 1

**ABSTRACT**

The surface state of sub-polar glaciers have been studied on the basis of combined SPOT and ERS1 data. The 100 km<sup>2</sup> training zone of the Brogger and Loven glaciers is situated in the northwestern Spitsbergen, by 79° N. The SPOT data present extensive shaded zones arising from the combination of low Sun elevation (7 to 15°) and montaneous topography. The SPOT reflectance values have been corrected using the slope orientation and dip parameters from the Digital Elevation Model (DEM) combined with the corresponding Sun elevation and azimuth. The reflectances of the shaded and illuminated zones have been restored to a new image based on the XS1 versus XS3 bidimensional histogram. From the new image a map of the different surface states of the glacier can be produced which is homogeneous in both the shaded and illuminated zones.

The ERS1 data are not influenced by the Sun's position but the incidence angle gives rise to geometric distorsions. We first tried to reduce the speckle by using low-pass filters and filters based on contrast and morphological criterium. We developped a new *reconstruction-morphological filter* which significantly reduce the speckle preserving the structure of the original image. Geometrical corrections have been done using the DEM. The comparison of processed ERS1 image with the DEM shows that the ERS1 values of the glacier surfaces depends mainly on the dip angle of the ground surface allowing one to reconstruct partial DEM of glacier surfaces from ERS1 data.

Fonds Documentaire IRD



010025336

## INTRODUCTION

Cette recherche s'inscrit dans un projet à long terme de cartographie des surfaces glaciaires à l'aide des données satellitaires pour suivre l'évolution des glaciers au cours du temps. Cette évolution est étroitement liée à celle des conditions climatiques.

Des recherches antérieures, menées dans le cadre du PNTS (Programme National de Télédétection Spatiale), sur deux glaciers arctiques (Brøggerbreen et Lovénbreen) ont portées sur la combinaison des données SPOT et d'un Modèle Numérique de Terrain (MNT) en vue de caractériser ces états de surfaces (Parrot et al. 1993). La zone d'étude choisie est située au Spitsberg par 79° de latitude nord (Fig. 1). En utilisant les données fournies par un MNT, il a été possible de rééquilibrer les valeurs radiométriques du satellite SPOT afin de faire disparaître les solutions de continuité provenant de l'ensoleillement (Fig. 2A et B).

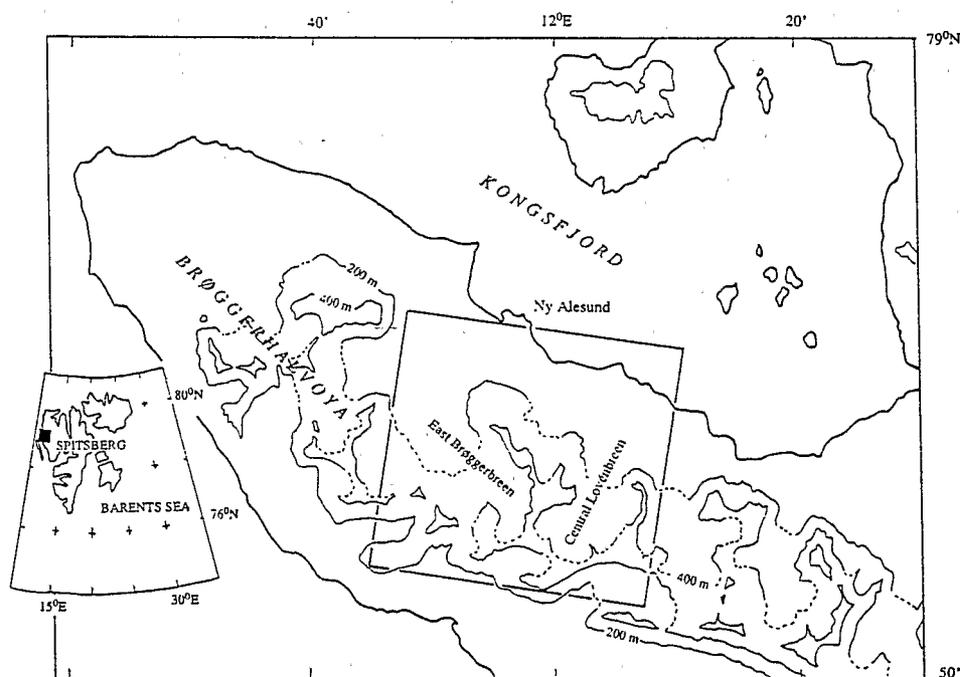
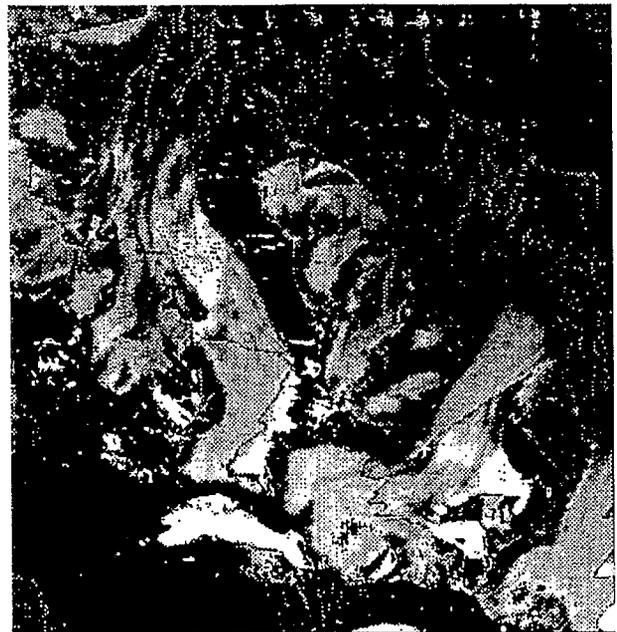


Figure 1 – Situation de la région étudiée.

Dans le spectre du visible et du proche infra-rouge, les données SPOT sont fortement influencées par la faible élévation solaire dans ces latitudes au moment de la prise de vue (7 à 25°). Sur les documents fournis les surfaces non ensoleillées sont prédominantes. Les données radar, indépendantes de l'éclairage solaire, produisent des images dépourvues d'ombre, mais présentent des distorsions géométriques dues au système d'acquisition.



A



B

Figure 2 – A, SPOT XS3. B, Néo-Canal des valeurs SPOT recodées.

La zone test utilisée pour l'étude des données SPOT a aussi été retenue pour tester l'apport des données ERS1 à l'étude des glaciers arctiques. Jusqu'à présent, les données SAR ont surtout été utilisées pour suivre l'évolution des glaces de mer (Lyden et al. 1984, Curlander et al. 1985). Dans ce cas, les distorsions géométriques des images restent faibles en raison de la faiblesse des différences d'altitude. Il en va autrement pour les glaciers arctiques qui sont localisés dans de profondes vallées montagneuses et qui présentent de fortes différences d'altitude.

En premier lieu, les données ERS1 utilisées sont soumises à des traitements spécifiques destinés à réduire le "speckle" et corriger les distorsions géographiques à l'aide du MNT. En second lieu, les données ainsi traitées sont comparées aux images obtenues en combinant les données SPOT et le MNT et elles sont analysées dans un contexte tri-dimensionnel.

#### DONNEES UTILISEES

Pour la région étudiée, nous disposons d'une image SPOT multispectrale ( $k = 152$ ,  $j = 140$ , vue verticale) acquise le 7 septembre 1986 à 14 h 21 avec une élévation solaire de  $13.6^\circ$  et un azimuth de

Le Modèle Numérique de Terrain (MNT) provient de la numérisation des courbes de niveau tous les dix mètres de la carte topographique de la péninsule de Brogger à l'échelle du 1/10 000 (cartes S10V28H60 et S10V28H55 du Norsk Polarinstitut). L'altitude des points situés entre ces courbes a été calculée par interpolation linéaire multi-directionnelle.

Les données ERS1 correspondent à une scène acquise le 23 septembre 1991 et dont les caractéristiques sont les suivantes : bande C, phase ascendante, angle d'incidence : 23.16° centrée sur 79.16° N et 12.02° E.

#### TRAITEMENT DES DONNEES SPOT

Une méthodologie faisant appel aux données recueillies sur le terrain et au MNT a été mise au point pour reconnaître les états de surface des deux glaciers arctiques étudiés. Elle repose d'une part sur la recherche de la limite ombre-lumière à l'aide de simulation sur l'extension des ombres portées à partir du MNT et sur le recodage des valeurs des zones à l'ombre et des zones à la lumière, en fonction de l'histogramme bidimensionnel XS1/XS3 (Parrot et al. 1993).

Sur le néo-canal ainsi obtenu (Fig. 2B), les surfaces glaciaires ne présentent pas de discontinuité entre les régions situées à l'ombre et celles situées à la lumière.

#### TRAITEMENTS DES DONNEES RADAR

##### (a) prétraitement

Le prétraitement des données SAR a consisté tout d'abord à comprimer les éléments de 16 bits à 8 bits. Cette manipulation facilite le traitement des données et leur visualisation par les interfaces graphiques standart. L'ensemble de la fenêtre d'intérêt est analysée pour calculer la valeur moyenne  $m$  et l'écart-type  $\sigma$ . Les valeurs comprises entre 0 et  $m+3\sigma$  sont ensuite réétalées entre 0 et 255, toute valeur supérieure à 255 étant ramenée à 255 (Fig. 3A). La saturation est faible et ne représente par exemple sur la zone test étudiée que 87 pixels sur 156 000.

### (b) réduction du "speckle"

Le bruit observé sur les documents analogiques issus des images ERS1 est caractéristique des capteurs radars à ouverture synthétique. La texture des images a un aspect moucheté. Si cet aspect n'est pas un obstacle à la photointerprétation des structures présentes sur l'image, il en constitue un pour l'utilisation du traitement numérique, qu'il s'agisse de segmentation ou de détection de contours.

On fait classiquement appel aux filtres passe-bas pour lisser les niveaux de gris, par exemple les filtres "moyenne" et "moyenne pondérée". Une image ainsi lissée peut éventuellement être segmentée, mais elle se prête mal à une détection de contours.

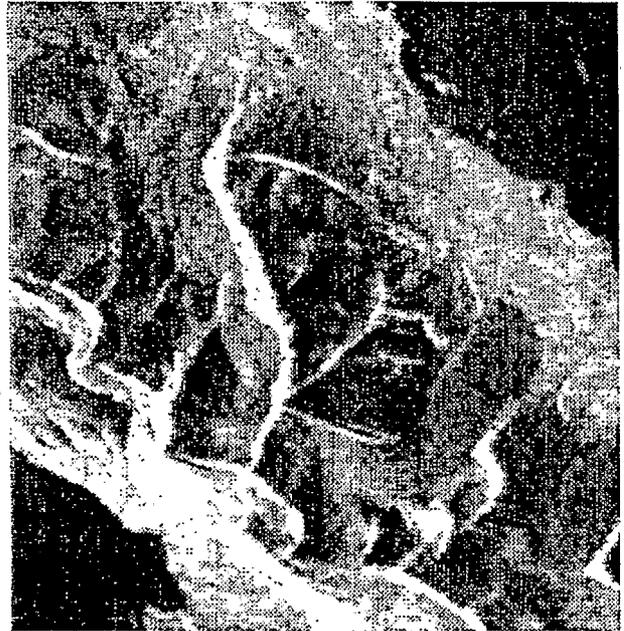
Dans une première approche, le filtre de Lee (Lee 1983) qui teste dans une fenêtre de taille  $7 \times 7$  la valeur du pixel central par rapport à la moyenne de la fenêtre dans un intervalle de deux écart-types, a été modifié et adapté de la manière suivante : chacun des codes, de 0 à 255, fournit une image binaire, tout pixel isolé sur chacune des 256 images étant remplacé par la valeur moyenne des 8 pixels qui l'entourent dans une fenêtre  $3 \times 3$  (Fig. 3B). Les contours sont nets mais les plages présentent un aspect flou, peu propice à l'observation.

Il convient donc d'utiliser d'autres types de traitements. Nombre d'auteurs ont déjà appliqué des "opérateurs de rang" tel le filtre *médian* pour tenter d'éliminer le "speckle". Ces filtres ne sont pas des convolutions; ils consistent à associer à chaque point  $x$  un voisinage  $B$  translaté selon un voisinage  $B_0$  constant et à remplacer ce point  $x$  par la médiane de la distribution de la fonction à l'intérieur de  $B$ . L'image obtenue est moins bruitée que l'image originale, mais les structures linéaires, notamment les plus claires, sont mal conservées (Fig. 3C).

Nous avons donc utilisé des méthodes sur la base de critères de contraste et morphologique. Le critère de contraste permet de détecter puis d'éliminer éventuellement les pixels correspondant à des extrémas locaux. Beucher (1987) a défini une catégorie de filtres appelés *h-extrema* qui détectent des extrémas locaux ayant un contraste constant  $h$  avec leur voisinage. Ont été définis un filtre *h-maxima* qui permet d'éliminer les maxima locaux et un filtre *h-minima* qui élimine les minima locaux qui contrastent avec le voisinage. L'utilisation de ce type de filtres a l'inconvénient d'obliger l'opérateur à régler le paramètre  $h$ .



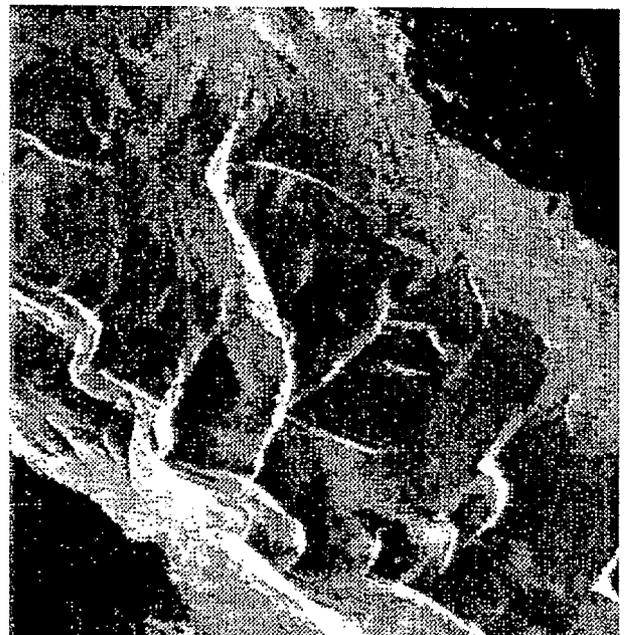
A



B



C



D

Figure 3 – A, Données ERS1. B, Filtre de Lee. C, Filtre médian. D, Filtre automédian.

Sur la base des critères morphologiques, nous avons calculé un filtre *centre auto-dual* (Serra 1986), plus précisément le filtre *automédian* défini par Lay (1983). Bien qu'améliorant l'aspect visuel, ce filtre produit une texture moirée. Une version géodésique de ce filtre est proposée. Les ouvertures et

fermetures morphologiques sont remplacées, dans la définition du filtre *automédian*, par des ouvertures et fermetures par *reconstruction*. Ce filtre préserve les structures claires et améliore l'aspect de l'image (Fig. 3D). Ceci est dû à la propriété des filtres par *reconstruction* qui préservent les petites aires claires ou sombres connectées aux plus grandes, là où leurs équivalents morphologiques les éliminaient. Ce critère de connexité s'avère pertinent pour filtrer les images ERS1.

(c) corrections géométriques

En vue d'obtenir un recalage géométrique des données SAR, une technique de recherche automatique des points d'amers est en cours de développement. Elle consiste tout d'abord à rechercher à partir du MNT tous les points dont la pente est dirigée vers la source du radar et dont la surface est perpendiculaire au rayon incident. L'image des contours ainsi obtenus est comparée à celle que forment sur l'image radar les valeurs les plus élevées. La définition automatique du seuil sur l'histogramme des valeurs du radar reste encore un problème à résoudre. A ce stade, une analyse de contours (Parrot et Taud, 1993) doit permettre de rechercher automatiquement les points d'amers sur lesquels s'appuie le recalage.

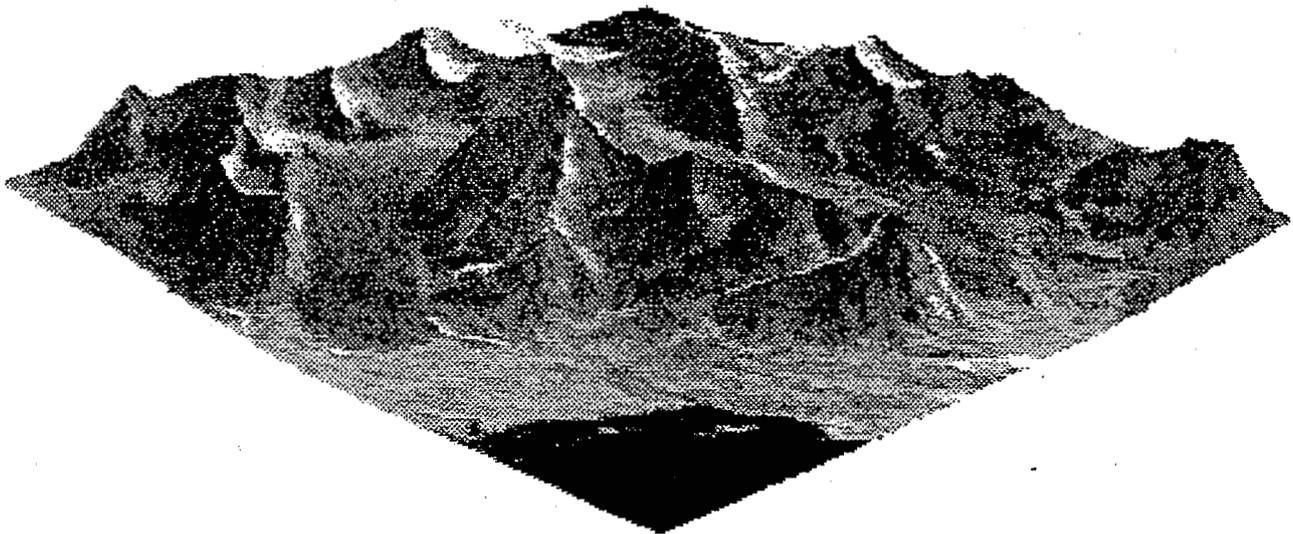


Figure 4 – Bloc diagramme de la région étudiée. ERS1 filtré (Fig. 3D) sur MNT.

(d) comparaison SPOT ERS1

Le bloc diagramme de la figure 8 illustre les résultats obtenus par le traitement des données ERS1 et permet de les comparer avec ceux que fournissent les données SPOT. Après recodage de la dynamique

selon la méthodologie développée, les données SPOT fournissent des informations sur l'état de surface des glaciers. Les données ERS1 privilégient la structure des surfaces glaciaires, mais on peut noter que les variations radiométriques traduisent plus des différences d'angle de pente que des différences de rugosité. Un transect longitudinal effectué sur le glacier Lovénbreen illustre cette observation (Fig. 5). Les valeurs de l'angle de pente sont comparées à celles des données ERS1. Elles dessinent un profil similaire, notamment pour toute la partie haute du glacier dont la surface correspond essentiellement à des glaces bleues (zone comprise entre les points A et B de la figure 5). Le coefficient de corrélation de cette zone est égal à 0,5.

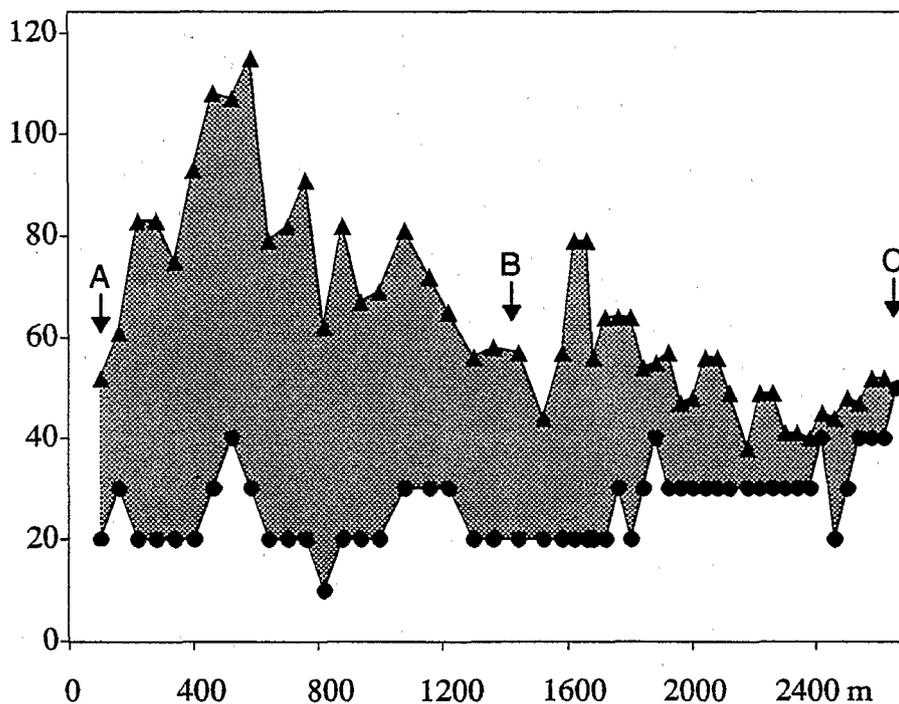


Figure 5 – Valeurs ERS1 (triangles) et angle des pentes ( $\times 10$ ) (points), le long du centre du glacier du Lovénbreen depuis le bassin versant jusqu'au front.

Les pentes étant toutes orientées vers le N-NE, l'histogramme cumulé des valeurs radiométriques de ERS1 depuis le bas de la pente jusqu'au bassin versant dessine un profil similaire à celui que fournit le MNT (Fig. 6A). La similitude est encore plus nette si l'on ne prend en compte que la zone des glaces bleues et l'on exclue la zone des glaces recouvertes d'eau et/ou de poussières (zone comprise entre les points B et C de la figure 5) qui caractérise la surface du glacier en bas de pente (Fig.6B).

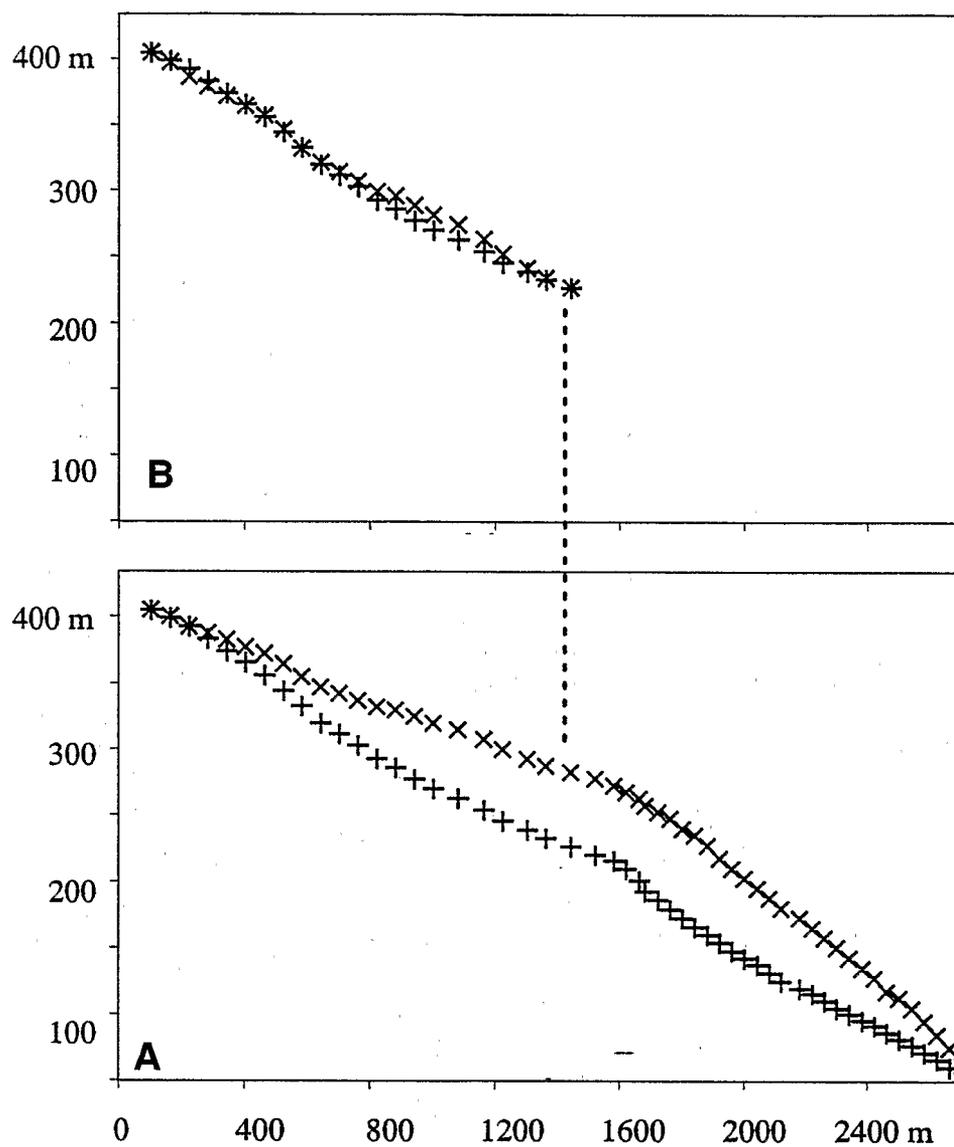


Figure 6 – Calcul du profil du glacier Lovénbreen : à partir des angles de pente (+) et de données ERS1 (\*).

A, sur la totalité du profil. B, sur la zone des glaces bleues.

## CONCLUSION

Dans le cas des images traitées, on constate que sur la surface des glaciers étudiés, il existe une corrélation entre les valeurs radar recalculées et les valeurs des angles de pente provenant du MNT. Cette corrélation indique, dans le cas précis des surfaces glaciaires, l'influence prédominante des variations de pente sur la réponse radar.

Cette remarque ouvre des perspectives dans le domaine de la réconstitution de MNT locaux concernant les surfaces glaciaires à partir des données ERS1 (Fig. 6) et facilite d'autre part l'interprétation visuelle des données à l'échelle de la scène.

L'ensemble des traitements et des résultats présentés dans cette note constitue l'une des phases préliminaires du projet "Investigations of glacier surges : measurements and modelling of ice dynamics in Svalbard, European Arctic" qui a reçu un financement de la Commission des Communautés Européennes et associe des chercheurs du Scott Polar Institute (Cambridge, Grande-Bretagne), du Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement (St Martin d'Heres, France), du Norwegian Polar Research Institute (Oslo, Norvège) et du Laboratoire de Géologie Géomorphologie Structurale et Télédétection, UPMC (Paris, France). A l'aide de documents multi-sources parmi lesquels les données satellitaires occupent une grande place, ce projet est destiné à assurer le suivi de l'évolution des glaciers arctiques dans le cadre plus général de l'évolution climatique.

#### REFERENCES

- Beusher S., Blosserville J.M., Bilodeau M., Lenoir F. et Espie S. (1987). Titan : système de mesure du trafic par analyse d'images. Rapport commun INRETS/CMM, note interne, N46/87.
- Curlander J.C., Holt B. and Hussey K.J. (1985). Determination of sea-ice motion using digital SAR imagery. *IEEE Trans. Oceanic Eng.*, v. OE-10, 358-367.
- Lay B. (1983). Analyse automatique des images angiofluorographiques du cours de la rétinopathie diabétique. Th. Doct. Ecole des Mines, Paris.
- Lee J.S. (1983). A simple smoothing algorithm for the synthetic aperture radar images. *IEEE Trans. Syst. man Cybern.*, SMC-13, 85-89.
- Lyden J.D., Burns B.A. and Maffett A.L. (1984). Characterization of sea-ice types using synthetic aperture radar. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, v. GE-22, n° 5, 431-439.
- Parrot J.-F., Lyberis N., Lefauconnier B. and Manby G. (1993). SPOT multispectral data and digital terrain model for the analysis of ice-snow fields on arctic glaciers. *Int. J. Remote Sensing*, 14, 3, 425-440.
- Parrot J.-F. and Taud H. (1993). Detection and classification of circular structures on SPOT images. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, 30, 5, 996-1005.
- Serra J. (1986). Image analysis and mathematical morphology. Vol. 2, Theoretical Advances. Academic press, London, 411 p.