

GEOREFERENCEMENT DE DONNEES
ISSUES D'UN RADAR METEOROLOGIQUE-
APPLICATION AU RADAR TERRESTRE BANDE X DU LABORATOIRE
DE TELEDETECTION ENVIRONNEMENTALE DE L'EPFL

Société d'accueil : LTE (EPFL)

PFE présenté par : **Xavier MUTH**

Directeur du PFE : Alexis BERNE

Correcteurs : Tania LANDES

Pierre GRUSSENMEYER



1. Contexte de l'étude

Parmi les outils utilisés pour l'étude et la prévision des précipitations, les radars terrestres constituent un outil indispensable. Parallèlement aux techniques satellitaires qui servent essentiellement à l'élaboration de modèles météorologiques, les radars terrestres conventionnels tels que ceux utilisés par Météo-France ou MétéoSuisse permettent d'aider la prévision à courts termes et de quantifier les accumulations de pluie. Le radar polarimétrique bande X (MXPol) que possède le LTE est déployé dans un cadre plus expérimental. Les données acquises par cet instrument ont pour but d'aider à la compréhension des phénomènes de précipitation (liquide et solide) en milieu alpin.

Durant l'hiver 2009-2010, à l'occasion d'un partenariat avec le SLF¹, et plus généralement dans le cadre de « Swiss Experiment² », le radar a été déployé à Davos dans le canton des Grisons dans l'Est de la Suisse. Le contexte montagneux et hivernal de cette campagne de mesures est intéressant à divers points de vue pour les spécialistes. Cette campagne de mesures fournira de précieuses informations permettant de compléter les études en cours menées par le SLF (Étude du transport de la neige et des phénomènes avalancheux). De même, les membres du LTE profiteront de ces données pour leurs recherches dans la compréhension des phénomènes de précipitation (ex : quantification, variabilité spatio-temporelle ou identification des hydrométéores). Actuellement, les précipitations neigeuses ne sont encore pas aussi bien comprises que la pluie, la quantification de ce type de précipitations reste difficile. Les radars opérationnels ne sont pas en mesure de répondre à ce type de problématiques vu leur contexte géographique et vu leurs spécificités techniques. Les radars polarimétriques bande X tel que le MXPol ont une portée réduite mais permettent, de par leurs caractéristiques techniques, une acquisition et une analyse plus fine que les radars opérationnels.

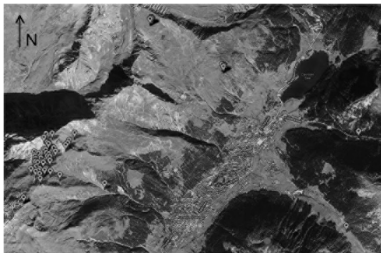


Fig 1: Le radar MXPol déployé au Jakobshorn (Alt. 2132 m). La position du radar est matérialisée par le point rouge sur la figure de gauche (source : www.swiss-experiment.ch).

¹ Institut für Schnee und Lawinenforschung, Organisme fédéral suisse pour l'étude de la neige et des avalanches

² Projet ayant pour but la centralisation de l'ensemble des données collectées par les instituts suisses dans le cadre de recherches en environnement (www.swiss-experiment.ch)

2. Objectifs de l'étude

Le radar MXPoL est monté sur une remorque, ce qui permet de le déployer rapidement dans des contextes très divers. La technique de mesure d'angles employée est très comparable au théodolite. Les axes caractéristiques (axe principal, axe des tourillons) ont des fonctions similaires pour le MXPoL. Ce type de système implique donc un questionnement quant à l'optimisation du géoréférencement des données acquises. En effet, différents problèmes peuvent altérer la qualité de la position aussi bien relative qu'absolue des données enregistrées. La qualité du positionnement relatif des données peut être dégradée par divers défauts instrumentaux comme cela peut être le cas pour un théodolite. De plus, l'instabilité du terrain (gel / dégel) peut engendrer des variations de l'inclinaison de la remorque et donc de l'antenne.

Cette étude a pour objectif premier la mise en place d'une méthode permettant le géoréférencement des données (détermination du gisement moyen de l'antenne G0) quel que soit le contexte du déploiement. Il s'avère que, par cette étude, la problématique est devenue plus complexe que de prime abord. Ainsi, les objectifs s'étendant au contrôle et la modélisation des défauts instrumentaux qui entachent le positionnement des données.

A priori, il est important de fixer des tolérances sur les mesures angulaires et de distances. Cela a été fait par une approche qualitative en tenant compte de l'usage qui va être fait des données géoréférencées. La tolérance sur les déterminations angulaires a été fixée à ± 0.05 deg. En distance, la tolérance est limitée par la résolution, pouvant varier de ± 7.5 à ± 75 m suivant la configuration d'acquisition choisie.

3. Solutions apportées

L'étude traite en parallèle plusieurs techniques : la radioastronomie de position, l'utilisation des échos de sol et l'utilisation d'une cible rétrodiffusante. Elles aboutissent toutes à des résultats cohérents, mais n'ont pas pu être approfondies au même point. L'accent a été mis sur la technique solaire. L'influence des conditions atmosphériques³ n'est pas négligeable pour chacune de ces méthodes. La réfraction a pu être estimée dans les trois cas.

Méthode 1 : par radioastronomie de position

Cette méthode n'est rien d'autre qu'une adaptation des méthodes traditionnelles de positionnement utilisées par les topographes, avant l'apparition du système de positionnement GPS. Du fait que le soleil émette aussi dans les micro-ondes, il est possible, lors du passage de l'antenne à sa proximité, de détecter un maximum de puissance correspondant à sa position. Sur la base d'éphémérides du soleil, calculées à partir de la position astronomique du centre de rotation de l'antenne, et en connaissant approximativement l'orientation (G0) de l'antenne, un suivi du soleil peut être effectué tout au long d'une journée. Des fenêtres de balayages sont successivement déterminées autour de la position théorique du soleil pour chaque instant de mesure. Les mesures sont faites en alternance, dans les deux positions de l'antenne.

Pour chaque fenêtre de balayage, un ajustement par les moindres carrés du modèle proposé par *Huuskonen et Holleman* [2007] est appliqué selon la méthode dite de « Gauss-Helmert ». Ainsi, pour chaque fenêtre, une orientation « locale » relative aux positions de la mesure sur les cercles horizontal et vertical, est déterminée. La figure 2 illustre l'évolution des écarts d'orientation G0 et E10 selon l'angle vertical ou horizontal dans les deux positions de l'antenne.

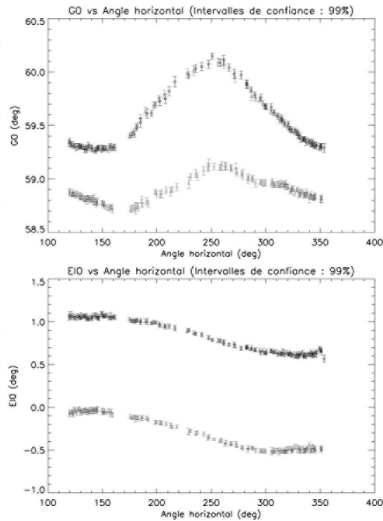


Fig 2: Résultats d'un suivi complet du soleil (position 1 en noir et position 2 en rouge.)

³ Humidité, température et pression

Grâce à l'observation dans les deux positions de l'antenne, l'identification des défauts peut être conduite. Certains défauts sont de signe opposé suivant la position de l'antenne et peuvent être supprimés par la moyenne. Dans le cas du MXPOL, le constat est de taille, la différence entre les deux positions est non négligeable. L'erreur de verticalité de l'axe principal n'est pas l'unique défaut en présence. La figure 2 (E10 versus angle hz) permet de constater l'existence de deux défauts supplémentaires : l'erreur d'index du cercle vertical et l'erreur (sur l'angle vertical) d'orientation de l'axe électrique par rapport à l'axe de visée. Pour la mesure de l'angle horizontal (G0 versus angle hz), l'interprétation est moins évidente, car le défaut de collimation horizontal qui peut être identifié est fonction de l'angle vertical.

Pour finir, les défauts sont exprimés de manière analytique, et ce même modèle est ajusté par les moindres carrés sur les quatre séries de mesures précédemment présentées (E10 en pos 1, E10 en pos 2, G0 en pos 1 et G0 en pos2).

Méthode 2 : en utilisant la topographie avoisinante

Du fait de la position du radar dans ce contexte montagneux de Davos, il est possible d'acquérir aisément un grand nombre d'échos de sol correspondant à une surface relativement importante. En effet, la visibilité du radar rend possible l'acquisition d'échos provenant des versants opposés sur une large portion angulaire (env. 180 deg). Ici, l'idée est d'estimer l'orientation G0 de l'antenne ainsi que les défauts identifiés grâce à la technique solaire, de telle manière à minimiser les écarts altimétriques entre le MNS⁴ produit par Swisstopo et le MNS produit avec les données acquises par le MXPOL. L'acquisition se compose d'une série de balayages horizontaux pour des élévations variant de -1 à 9 deg, répartis de manière à obtenir une distribution planimétrique la plus homogène possible des échos.

Le traitement de cette grande quantité de données acquises se déroule en plusieurs étapes :

1. Filtrage des échos de sol.
2. Transformation du système polaire propre au radar vers les coordonnées cartésiennes locales.
3. Transformation selon l'orientation G0 de l'antenne, des défauts instrumentaux et de la position du radar vers le cadre suisse de référence CH1903 et son système de projection MN03.
4. Création d'une grille identique (taille et position des pixels) à celle de Swisstopo.
5. Minimisation des écarts avec le MNS de Swisstopo pour estimer les paramètres d'orientation (G0 et les défauts instrumentaux).

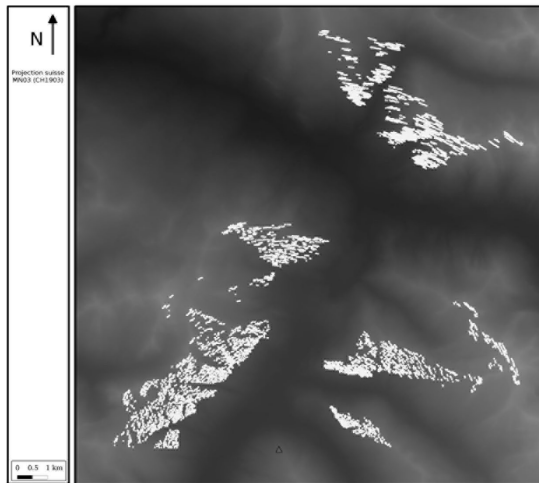


Fig 3: Projection des échos de sol filtrés. Superposition avec le MNA25 produit par Swisstopo.

La position du radar est indiquée par le triangle rouge.

⁴ Modèle Numérique de Surface

Méthode 3 : à l'aide d'un réflecteur

Couramment utilisés pour l'étalonnage en puissance des radars, les réflecteurs sphériques ou tétraédriques peuvent aussi être utilisés pour contrôler leurs orientations. Ainsi, un réflecteur tétraédrique a été déployé en cinq positions différentes sur le versant faisant face au radar MXPOL du LTE à Davos. Tenant compte d'une position théorique donnée par GPS différentiel, une fenêtre de balayage autour de la cible a été déterminée. Ensuite, un balayage avec et sans réflecteur a pu être effectué.

Un traitement a posteriori permet de déterminer les coordonnées polaires radar (angle vertical, angle horizontal, distance) de la cible. Confrontés aux résultats théoriques, les écarts d'orientation peuvent être calculés.

Cette méthode permet difficilement de pouvoir identifier d'éventuels défauts instrumentaux car il serait nécessaire d'effectuer une campagne de mesure conséquente. D'autant plus que le contexte montagneux de Davos complique les déplacements sur le terrain. En outre, il est difficile d'estimer avec rigueur la précision associée à ces déterminations, même si ces résultats confirment ceux obtenus par technique solaire.



Fig 4: Campagne de mesures à Davos (printemps 2010).

4. Bilan

À l'issue de la mise en œuvre des différentes techniques exposées au § 3., un tableau récapitulatif des avantages et inconvénients de chacune d'entre elles, peut être dressé.

Technique	Avantages	Inconvénients
Radioastronomie de position	<ul style="list-style-type: none">• Suffisamment précis pour analyser et modéliser d'éventuels défauts instrumentaux• Facilement adaptable dans d'autres contextes géographiques• Très ergonomique, peut être insérée dans une procédure de balayage opérationnelle (contrôle routinier)	<ul style="list-style-type: none">• Pas d'étalonnage en distance
Échos de sol	<ul style="list-style-type: none">• Identification des échos de sol résiduels enregistrés en mode opérationnel• Suivi de l'évolution des défauts tout au long d'un déploiement• Technique complète (contrôle des défauts instrumentaux et étalonnage en distance)	<ul style="list-style-type: none">• Facilement applicable uniquement en région montagneuse• Identification difficile de la nature des éventuels défauts instrumentaux en présence
Réflecteur	<ul style="list-style-type: none">• Étalonnage en distance	<ul style="list-style-type: none">• Campagnes de mesures longues et compliquées jusqu'à l'identification d'éventuels défauts instrumentaux

Malgré le fait que l'étude n'ait pas permis d'approfondir au mieux les deux autres techniques, la méthode solaire ressort déjà comme étant la plus performante et la mieux adaptée pour une utilisation routinière. Néanmoins, elle comporte l'inconvénient de ne pas permettre le contrôle de la distance mesurée par le radar. La combinaison de la radioastronomie de position avec un contrôle de distance effectué avec un réflecteur semble judicieuse.

5. Conclusion

Cette étude a permis de mettre en évidence l'importance d'un contrôle des défauts instrumentaux tels qu'il serait mis en œuvre pour un théodolite. Ainsi, le parallèle fait avec ce dernier, a été essentiel pour une meilleure compréhension du comportement anormal de l'orientation de l'axe électrique de l'antenne radar. Les résultats obtenus avec la technique solaire notamment, permettent de satisfaire pleinement les attentes des utilisateurs des données radar produites par le MXPOL du LTE. La modélisation des défauts effectuée grâce à cette même technique permet de déterminer la position des échos avec une précision conforme aux tolérances fixées au début de l'étude.