



INVERSION 3D DES MESURES DE RÉSONANCE MAGNÉTIQUE PAR MÉTHODE DE MONTE CARLO

CHEVALIER A., LEGCHENKO A.

LTHE bâtiment CERMO, Domaine Universitaire, 70 rue de la physique 38400 Saint Martin d'Hères, France, antoine.chevalier@ujf-grenoble.fr

RÉSUMÉ

Au moyen de multiples boucles de courant émettant un champ magnétique oscillant, la Tomographie par résonance magnétique est une méthode dont le signal mesuré est directement relié à la distribution de l'eau dans le sol. La traduction de ce signal en une distribution de teneur en eau n'est cependant pas unique. Pour contourner ce problème, il est possible de collecter un grand nombre de distribution de teneur en eau, expliquant le signal de manière équivalente, grâce aux méthodes de Monte Carlo. L'image obtenue devient ainsi probabiliste et permet d'éviter d'interpréter à tort une unique solution. A cette fin, l'algorithme de Recuit Simulé est adapté pour l'inversion 3D de données synthétiques avant d'être utilisée sur des données acquises sur le glacier de Tête-Rousse en 2009.

Mot clés : Inversion, Monte Carlo, Tomographie par résonance magnétique 3D.

ABSTRACT

3D MONTE CARLO INVERSION OF SURFACE MAGNETIC RESONANCE MEASUREMENTS

By emitting an oscillating magnetic field, multiple loops can measure a signal related to the subsurface distribution of water. This method is called Magnetic Resonance Tomography. Turning this signal into a distribution of water content could provide a bad image because there is no unique water content distribution corresponding to one signal. To work around this problem, it is possible to collect a large number of water content distributions consistent with the signal through Monte Carlo methods. The resulting image becomes probabilistic and avoids unwanted image interpretations. To this end, the simulated annealing algorithm is presented as a viable solution for 3D inversion. Its behaviour is tested on synthetic data before being used for the inversion of data acquired on the French alp glacier Tête Rousse in 2009.

Key words: Inversion, Monte Carlo, 3D Magnetic Resonance Imagery.

1. INTRODUCTION

La résonance magnétique des protons (RMP) est la seule méthode géophysique dont l'intensité de signal mesurée est directement reliée à la distribution spatiale de la teneur en eau contenue dans le sol. Ce signal reste toutefois complexe et dépend d'autres paramètres tels que la porosité de l'aquifère, les hétérogénéités magnétiques et la température. Le problème inverse en RMP est mal-posé en ce sens qu'il admet une quasi-infinité de solution pour un même signal inversé. Le bruit, qui constitue à ce jour

une difficulté majeure dans la mesure, s'ajoute à cela pour complexifier encore l'espace des solutions possibles. Les techniques d'inversion linéaire basées sur l'utilisation de contrainte de lissage donnent une solution mathématiquement correcte mais peuvent conduire à de mauvaises interprétations si trop de confiance leur est accordée. L'échantillonnage statistique de l'espace des solutions, basé sur les méthodes de Monte Carlo, permet une analyse plus fine du problème inverse, et a déjà été tenté avec succès dans le cas 1D par GUILLEN et LEGCHENKO, 2002. Une extension de cet algorithme en 3D est présentée ici, afin d'adresser un premier état des lieux des incertitudes et des performances de la RMP 3D au travers de cas synthétiques et réels.

2. MATÉRIELS ET MÉTHODES

Les méthodes de Monte Carlo par Chaîne de Markov (MCMC) sont utilisées comme outil géophysique pour l'exploration de l'espace des paramètres. Pour un résumé didactique et substantiel, voir SAMBRIDGE et MOSEGAARD, 2002. L'objectif de cette approche est de générer aléatoirement une importante collection de modèles (ici, une distribution de teneur en eau) ajustés avec un jeu de donnée à la barre d'erreur près. L'ajustement est estimé par une fonction de vraisemblance, variante probabiliste d'un critère MSE. Les solutions collectées permettent de calculer une réponse au sens des probabilités à un problème donné. L'algorithme est basé sur la technique de recuit simulé qui nécessite la programmation d'un "schéma de modification" basé sur la compréhension de l'équivalence. Pour plus de précisions sur la méthode voir MOSEGAARD et TARANTOLA, 1995 et spécifiquement GUILLEN et LEGCHENKO, 2002 sur le cas de la RMP 1D.

3. INVERSION DE DONNÉES SIMULÉES

L'efficacité de l'algorithme est testée avec différents modèles à hautes teneurs en eau, dans la mesure où les cibles 3D (majoritairement karstiques et thermo-karstiques) sont attendues comme ayant d'importantes teneurs en eau. Le signal issu de ces modèles est calculé avec un bruit de 10%, crédible pour la mesure en RMP et considérant une conductivité du sol quasiment nulle, situation optimale en termes de pouvoir de résolution pour la méthode. Le dispositif d'acquisition est constitué de 9 boucles de 80x80m coïncidentes et choisi pour son ratio investissement humain sur aire investiguée. Les résultats sont représentés sous la forme d'une "moyenne" de tous les modèles échantillonnés (cf. Fig. 1).

Les résultats de modélisation montrent en moyenne la capacité de la RMP à localiser une cible 3D simple. Si le maximum de teneur en eau d'environ 45% coïncide avec le modèle, il existe néanmoins des incertitudes concernant les délimitations de la cible, notamment latéralement où une incertitude de 40m sur la forme de la cible peut être observée et mise en relation avec l'espacement inter-boucle de mesure. Si la cible est généralement bien résolue en profondeur, l'extension Nord-Sud de l'anomalie tend à s'élever vers le Nord, où l'espace investigué est en limite de résolution. Limite double car liée à une couverture de mesure moindre et à l'inclinaison du champ géomagnétique, jouant un rôle important sur la sensibilité. Ces anisotropies tendent à générer des artefacts corrélés aux courbes de sensibilité de la méthode.

4. CAS D'ÉTUDE SUR LE GLACIER DE TÊTE ROUSSE

Tête Rousse est un glacier ayant contenu une cavité de près de 55000 m³ d'eau libre, aujourd'hui vidangée. La détection de cette cavité a été réalisée grâce à des mesures de radar géologique et aux mesures de RMP (LEGCHENKO et al. 2011). L'hypothèse (à priori) intégrée à l'inversion par MCMC est qu'il n'existe que de l'eau libre dans le glacier. La moyenne calculée sur ces modèles devient une simple probabilité de présence répondant à la question "Quelle chance y'a-t-il de trouver de l'eau libre en une position ?" (cf. Fig.2). La carte qui en découle constitue la réponse la plus précise que l'on puisse apporter à la détection d'une telle cavité.

5. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

La méthode de recuit simulé constitue une première approche pour explorer l'espace des solutions pour la tomographie par résonance magnétique. La méthode révèle des capacités de détection corrélées avec la sensibilité de la méthode. Les distributions de teneur en eau inversées sont par ailleurs influencées par ces variations de sensibilité au point de générer des artefacts. La correction de ces derniers et l'extension de l'application aux temps de relaxation constituera un objectif futur dans le développement.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- GUILLEN A., LEGCHENKO A., 2002 - Inversion of surface nuclear magnetic resonance data by an adapted Monte Carlo method applied to water resource characterization. *Journal of Applied Geophysics*, 50(1-2), 193-205.
- LEGCHENKO A., DESCLOITRES M., VINCENT C., GUYARD H., GARAMBOIS S., EZERSKY M., 2011 - Three-dimensional magnetic resonance imaging for groundwater. *New Journal of Physics*, 13(2), 025022.
- MOSEGAARD K., TARANTOLA A., 1995 - Monte Carlo sampling of solutions to inverse problems. *Journal of Geophysical Research*, 100(7), 431-447.
- SAMBRIDGE M., MOSEGAARD K., 2002 - Monte Carlo methods in geophysical inverse problems. *Reviews of Geophysics*, 40(3), 1009.

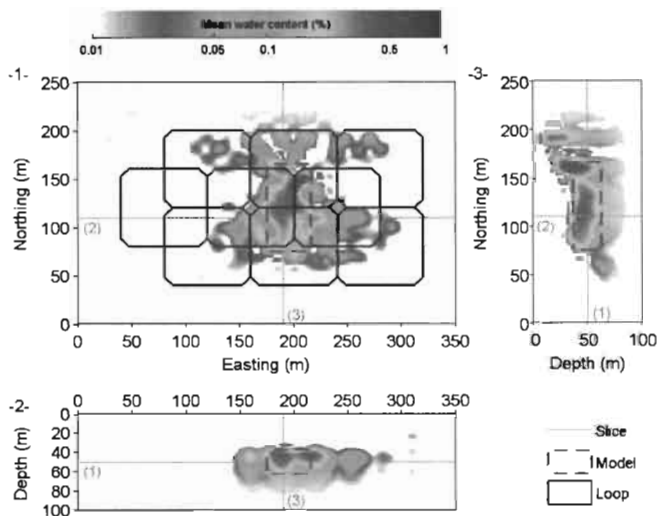


Fig. 1 - Résultat moyen d'une inversion d'un modèle de 50% de teneur en eau

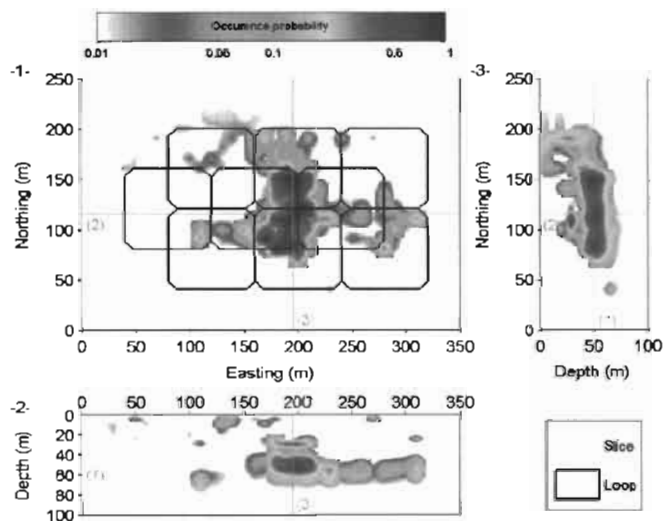
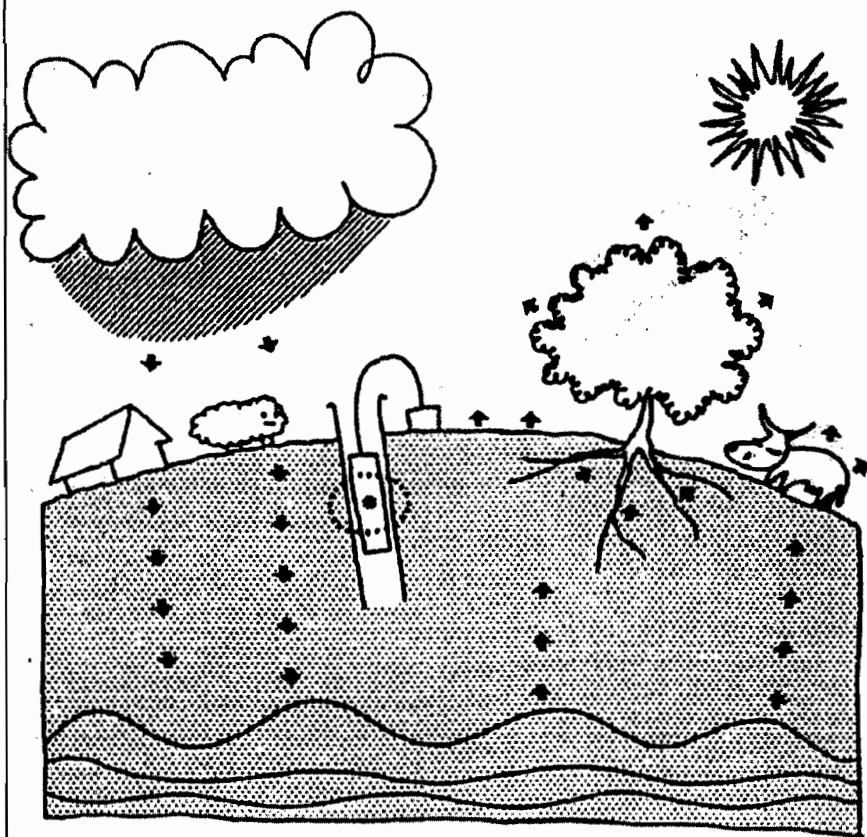


Fig. 2 - Probabilité de présence d'eau libre dans le glacier de Tête Rousse

MILIEUX POREUX ET TRANSFERTS HYDRIQUES

BULLETIN DU GROUPE FRANCOPHONE HUMIDIMÉTRIE
ET TRANSFERTS EN MILIEUX POREUX



**MILIEUX POREUX
ET TRANSFERTS HYDRIQUES**

BULLETIN DU G.F.H.N.

GROUPE FRANCOPHONE HUMIDIMÉTRIE

ET TRANSFERTS EN MILIEUX POREUX

ÉDITION

INRA Orléans
Maud SEGER, Isabelle COUSIN
UR SOLS
2163 avenue de la Pomme de Pin
CS 40001 Ardon
45075 Orléans Cedex 2
France
tél. : +33 2 38 41 80 20
maud.seger@orleans.inra.fr

PUBLICATION

CEMAGREF
Carole ISBERIE
UMR G-EAU
3275, route de Cézanne
CS 40061
13182 Aix en Provence cedex 5
France
tél. : +33 4 42 66 69 67
carole.isberie@cemagref.fr

SECRETARIAT

AgroSup Dijon
Marjorie UBERTOSI
Dép. Agronomie, Agroéquipement,
Élevage et Environnement
26, Bd Dr Petitjean
BP 87999
21079 DIJON cedex, France
tél. : +33 3 80 77 23 46
m.ubertosi@agrosupdijon.fr

| SOMMAIRE | |
|--|------------|
| JOURNÉES SCIENTIFIQUES GFHN - GEOFCAN - ORLÉANS 29 NOVEMBRE - 1er DÉCEMBRE 2011 | |
| MILIEUX POREUX ET GÉOPHYSIQUE | |
| COMPOSITION DU CONSEIL D'ADMINISTRATION DU GFHN | 5 |
| COMITÉ D'ORGANISATION ET COMITÉ SCIENTIFIQUE | 6 |
| JOURNÉES SCIENTIFIQUES DU GFHN ET COLLOQUE GEOFCAN | 25 |
| ÉDITORIAL | 29 |
| RÉSUMÉS DES COMMUNICATIONS | 31 |
| BULLETIN D'ADHÉSION | 294 |

| CONTENTS | |
|--|------------|
| SCIENTIFIC MEETING GFHN-GEOFCAN-ORLÉANS 29 NOVEMBER - 1 DECEMBER 2011 | |
| POROUS MEDIA AND GEOPHYSICS | |
| GFHN MANAGEMENT COMMITTEE | 5 |
| MEETING GFHN-GEOFCAN 2011: ORGANISATION | 6 |
| GFHN AND GEOFCAN MEETINGS | 25 |
| EDITORIAL | 29 |
| ABSTRACTS OF COMMUNICATIONS | 31 |
| GFHN REGISTRATION FORM | 294 |