République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالى و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة الجيلالي بونعامة خميس مليانة

Université Djilali Bounaâma de Khemis Miliana

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département des Sciences de la Matière



Mémoire de fin d'étude

En vue de l'obtention d'un diplôme de **Master** en **Physique** « filière » **Spécialité**: **Physique du Globe**« option »

<u>Thème :</u>

Etude de la macro-anisotropie crustale par simulation magnétotellurique

Devant le jury composé de :

-Mr ABTOUT Abdesalam Présidente

- Mr Bouzid Abderrezak Encadreur

- Mr ABTOUT Abdesalam Examinateur

Présenté par :

Melle Benchabane Hanane Melle Khouli Abir

Année universitaire : 2016 / 2017



Je dédie ce modeste mémoire qui est le résultat de mon travail acharné durant mes études universitaires.

À ma chère mère qui est ma bougie dans l'obscurité pour son soutien, son amour et ses conseils. A mon cher père qui me donne le courage pour réussir, réaliser mes rêves et d'être toujours à la hauteur.

À ma chère sœur 'Fatima' qui ne cesse pas de me conseiller et guider vers le bon.

À mes chères frères ' Abd el Halim, Abd Allah et Abd el Ghani' qui apportent un plus à mon travail.

À toute ma famille pour leur soutien tout le long de mon parcours universitaire.

À mon fiancé 'Hamid' pour sa présence à mes côtés.

À mes chères amies 'Zahra, Fatima, Abir, khadra, Amina, Meriam, somia, samia, Fatiha, Djamila.

Benchabane Hanane



Mon travail c'est grain de mes efforts durant le parcours universitaire.

Je le dédie à ma chère mère qui est un sens d'inspiration pour sa tendresse, son amour et ses prières, à mon chère père qui 'est toujours, à mes côtés pour ses conseils et son amour.

À mes chères sœurs 'Noura, Fouzia, Salima et Kheira' qui me guident pour réaliser mon mémoire.

À mes chères frères 'Mohamed et Sid Ahmed' qui sont toujours près de moi.

À mes chères nièces Meriem, Aya et Rime. À mes chers neveux 'Djawed, Abd Allah et Zoubir.

À mon fiancé 'Mohamed' pour son soutien moral.

A mes chères amies Khadra, Hanane, Meriem, Sara, Amina, Fatima, Samia, Houria, Djamila et Fatiha



REMERCIEMENTS

Nous nous devons de remercier Allah le tout puissant pour toute la volante et le courage qu'Il nous a données.

Nous voudrions présenter nous remerciements à notre encadreur « Bouzid Abderrezak » et témoigner notre gratitude pour sa patiente et son soutien qui nous a été précieux afin de mener notre travail à bon port.

Nous tenons également à remercier l'équipe de CRAAG pour son accueil et son aide.

Nous voudrions remercier nos enseignants de Khemis Miliana de leur travail acharné durant cinq ans.

Et enfin nous remercions toutes les personnes qui nous aident de près ou de loin ou même avec un mot

ملخص:

النمذجة الاكثر شيوعا للبيانات المغناطيسية بواسطة النماذج الموحدة الخواص ثنائية الابعاد او ثلاثية الابعاد في بعض الاحيان غير كافي. في الواقع هيكل الجغرافية الكهربائية من القشرة و الوشاح العلوي في بعض الاحيان متباين الخواص. في هذه الحالة النمذجة من خلال نماذج موحدة الخواص كاذبة في التفسير. العمل المقترح في اطار اطروحة الماستر هو در اسة الردود المغناطيسية على الهياكل متباينة الخواص احادية البعد او ثنائية البعد (من حيث المقاومة الواضحة, مرحلة و اشعة التحريض).

يتم تنفيذ المحاكاة باستخدام خوارزمية من العناصر المحدودة (مانامكي و اخرون 1987). هذا العمل يساعد في نهاية المطاف الى تحديد البيانات المغناطيسية في وجود هياكل القشرة الارضية متباينة الخواص وتقيم الخطأ الذي ادلى به نهج موحد الخواص.

الكلمات المفتاحية: المغناطيسية, القشرة, الغلاف الصخري, متباين الخواص, المحاكات العددية

Résumé :

La modélisation plus courante des données magnétotelluriques par des modèles isotropes 2d ou même 3d est parfois insuffisante. En effet, la structure géoélectrique de la croûte et du manteau supérieur sont parfois anisotropes. Dans ce cas, leur modélisation par des modèles isotropes fausse l'interprétation. Le travail proposé dans le cadre de ce mémoire de master consiste à étudier les réponses magnétotelluriques (en terme de résistivité apparente, phase et tipper) de structures anisotropes de dimension 1d ou 2d. La simulation sera réalisée à l'aide de l'algorithme des éléments finis de Mannamaker et al. (1987). Ce travail permet in fine d'identifier dans les données magnétotelluriques la présence de structures crustales anisotropes et d'évaluer l'erreur d'interprétation faite par une approche isotrope.

Mots clés : Magnétotellurique, croûte, lithosphère, anisotropie, simulation numérique.

Abstract:

The modeling of magnetotelluric are more commun by the model 2d or even 3d. Isotropic model is sometimes insufficient. Indeed, the geoelectric structure of the crust and the upper mantle, are anisotropic. In this cose, their modling by isotropic models distorts the interpretation the work proposed in this memory using to study the magnetotelluric responses (in the proposed in this memory using the anisotropic structures of dimension 1d or 2d. Lasimulation is relised using the element algorithme of Mannamaker and al (1987). This work can identify in the magnetotelluric data the presence of anisotropic crustals structures and to evaluate the error/ mistoke of interpretation mode by an isotropic approach.

Keywords: magnetotelluric, crust, lithosphère, anisotropic, numerical simulation.

Table de matière

Introduction générale	1
Chapitre 1 : la magnétotellurique	3
1.1 La méthode magnétotellurique	3
Application de la MT	3
1.3 Classification de méthodes électromagnétiques	3
1.3.1Les paramètres mesurés	3
1.3.2 Les sources d'excitation	3
1.3.3 La bande fréquentielle utilisée	3
1.3.4 La distance émetteur –récepteur	4
1.3.5 Le domaine des mesures	4
1.4 Sources en magnétotellurique	4
1.5 La magnétosphère	4
1.6 Ionosphère	4
1.6.1 Les régions ionosphériques	4
1.7 Résistivité electrique des roches	5
1.8 La résistivité apparente :	5
1.9 Conductivité electrique des roches	5
1.10 Conductivité électrique de la croûte et du manteau supérieur	6
1.10.1Conductivité croûte/manteau supérieur	6
1.10.2 Bassins sédimentaires	6
1.10.3 Croûte continentale	6
1.10.4 Manteau continental	6
1.11Equation de Maxwell	6
1.12 Dimensionnalité :	7
Chapitre 2 : Anisotropie électrique dans la croûte	9
Introduction	9
2.1 Définition de l'isotrope :	9
2.2 Définition de l'anisotropie :	9
2.3 Propriétés anisotropie :	10
2.4 La formes du tenseur d'impédance MT	. 10

2.5 Tenseur d'impédance bidimensionnel 10
2.6 Le tenseur d'impédance tridimensionnel 11
2.7 Tenseur d'impédance anisotrope unidimensionnel11
2.8 La différence entre l'anisotropie unidimensionnelle et la structure bidimensionnelle11
Chapitre3 : algorithme modélisation 2d par éléments finis
Introduction
3.1 Les zones conductive crustales
3.2 Le contact vertical entre milieu l'isotrope et anisotrope16
Chapitre 4 : Les résultats
4.1 Résultats liés au tenseur d'impédance17
4.2 Résultats liés aux fonctions de transfert magnétique17
4.3 Analyse de la modélisation d'une structure anisotropie17
4.4 Comparaison entre modèle anisotrope et isotrope
4.4.1 Comparaison entre ICC et ACC-I
4.4.2_Comparaison entre ICC et ACC-II
4.4.3 Modèle avec milieu 1 anisotrope et milieu 2 isotrope
Conclusion finale
Annexe
Références bibliographiques 47

Liste des figures

Figure .1-1: L'ionosphère

- (a) Topologie des différentes couches ionosphériques et son évolution au cours de la journée.
- (b) Profil vertical typique de la concentration électronique.

Figure 2.1 : Quelques exemples de microstructures de composites.

Figure 2.2 : les modèles de l'effet de l'anisotropie.

Figure 3.1 : présente 3 modèle a, b et c qui se différent dans la première couche.

Figure. 3.2 : Modèles bidimensionnels du conducteur en croûte (modèle ICC, modèle ACC-I).

Figure 3.3 : Modèles bidimensionnels du conducteur en croûte (modèle ICC, modèle ACC-II).

Figure 3.4 : Le modèle consiste en un défaut (milieu 1 anisotrope et milieu 2 isotrope).

Figure 4.1 : Représente la résistivité apparente, la phase et les vecteur d'induction de modèle 1(a, b et c) pour 20 sites.

Figure 4.2 : Représente la résistivité apparente, la phase et les vecteurs d'induction de model ICC (isotropic crustal conductor) pour 11 sites.

Figure 4.3 : Représente la résistivité apparente, la phase et les vecteurs d'induction de modèle ACC-I (anisotropic crustal conductor) pour 11 sites.

Figure 4.4 : Représente la résistivité apparente, la phase et les vecteurs d'induction de modèle ACC-II (anisotropic crustal conductor) pour 11 sites.

Figure 4.5 : Représente la résistivité apparente, la phase et les vecteurs d'induction de modèle de milieu1 anisotrope et milieu 2 isotrope.

Liste des symboles et Abréviations

- MT : magnétotellurique
- EM : électromagnétisme
- HF : Haute fréquence
- RMT : Radio- magnétotellurique
- AMT : Audio-magnétotellurique
- Z : le composant d'impedance
- ρ : La résistivité apparente
- σ : La conductivité électrique
- δ : Skin depth
- *E* : Champ électrique
- H : Champ magnétique
- θ : Le Strike géoélectrique
- Φ : La phase

VLF: Very Low Frequency

Introduction générale:

Au cours des dernières années, on a assisté à une croissance des rapports d'études magnétotelluriques (MT) où la structure électrique de la croûte et du manteau est interprétée en termes d'anisotropie. On va vérifier si la divergence entre les deux directions orthogonales sur le tenseur d'impédance c'est à dire la fractionnement des composantes xy et yx est due à l'anisotropieou aux hétérogénéités 2D ou 3D n'est pas facile. L'absence d'un champ magnétique vertical peut révéler l'anisotropie (Kurtz et al. 1993; Kellett et al. 1992). Bahr et al. (2000) lorsque l'anisotropie est confinée à un modèle 1-D.On a proposé deux tests qui basent sur l'uniformité spatiale des données pour différencier les couches anisotropes des modèles isotropes 2-D. Si nous supposons des modèles plus généraux, il est encore difficile d'identifier l'anisotropie par exemple des structures anisotropes 2-D avec une direction arbitraire d'anisotropie. Même si l'anisotropie a été identifiée à partir des données ou autres informations complémentaires (géologie, puits, etc.). Il est difficile de trouver le modèle anisotrope, car il n'y a pas d'algorithmes d'inversion MT pour les données anisotropes. Dans certains cas, l'anisotropie des rapports électromagnétiques est élevé que les données de laboratoire, La macro-anisotropie à savoir on a une grande échelle d'anisotropie telle qu'une séquence de Strike conducteurs et résistance, la résolution de cette divergence entre les mesures d'anisotropie et les données de champ MT. Un exemple s'est produit dans le trou de forage KTB, où un coefficient d'anisotropie intrinsèque $(\rho max / \rho min)^{1/2}$ de seulement 1,34-2,84 a été mesuré (Rauen & Lastovickova 1995), tandis que les données magnétotelluriques nécessitaient un coefficient d'anisotropie d'un ordre de grandeur plus élevé (Eisel & Haak 1999). Dans cette région à la frontière occidentale du massif de Bohême, Dans la zone Erbendorf-Vohenstrauß, il y a des preuves de l'environnement tectonique et des données sismiques pour le modèle macro-anisotrope, qui a été interprété comme du graphite et des zones de cisaillement remplies de fluide (Eisel & Haak 1999) il existe de nombreux exemples de rapports d'anisotropie élevés qui ont été interprétés comme macro-anisotropie, par exemple Cull (1985) et Kellett et al.(1992). Cependant, on a également signalé des rapports d'anisotropie élevés interprétés comme une anisotropie intrinsèque, par exemple Rasmussen(1988). Le concept de réseaux embarqués, Bahr (1997) propose une explication de l'écart entre une forte anisotropie à grande échelle et une petite anisotropie à l'échelle de laboratoire au moyen d'un fluide ou des systèmes de microfissures remplis de graphite qui se traduisent par une résistivité en masse dépendant de la direction.En l'absence de preuve d'anisotropie, et étant donné que des erreurs sont présentés dans les données. Les règles habituelles utilisées pour la dimensionnalité peuvent donner erronément une structure 2-D isotrope. Avec une direction de Strike qui dépend à la fois du réel 2-D isotrope (le Strike structurelle sans anisotropie) et la direction de l'anisotropie (Strike d'anisotropie).

Le travail présente dans le cadre de ce mémoire comprend quatre chapitres lesquels :

- Le premier chapitre contient des généralités sur la méthode de la magnétotellurique.
- le deuxième chapitre, nous travaillons sur les notions de base (hypothèses) en décrivant l'anisotropie électrique dans la croute.
- Le troisième chapitre estconsacré à l'algorithme de la modélisation 2d par éléments finis
- Le quatrième chapitre contient les analyses des résultats celles-ci :
 - la modélisation d'une structure anisotropie
 - Comparaison avec modèle isotropie

Enfin, nous terminons ce mémoire par une conclusion générale sur l'ensemble de ces résultats et les perspectives pour continuer ces développements dans le futur.

Chapitre 1 : la magnétotellurique

1.1 La méthode magnétotellurique :

La méthode magnétotellurique (MT) est une technique géophysique qui fournit des informations sur la distribution des conductivités électriques des roches souterraines. La méthode magnétotellurique se base sur la physique de l'électromagnétisme développée au 10ème sidele :

19ème siècle:

- 19^{ème} siècle: Gauss, Ampère, Faraday, ...
- Maxwell (~1865): unification des phénomènes électrique et magnétique

La fondation de la méthode (modèle 1d) a eu lieu durant les années 50 par le russe Tikhonov (1950) et le français Cagniard (1953).

Puis, la MT s'est développée ...

- Années 1960: premiers développements de l'instrumentation, introduction de la notion de tenseur d'impédance MT ou MT tensorielle (Cantwell, 1960): cas 2d
- Années 1970: inversion 1d, modélisation directe 2d, processing
- Années 1980: modélisation 2d et 3d, processing robust
- Années 1990: MT marine, ...
- Années 2000: MT 3-D, Radio-MT (RMT): HF

1.2 Application de la MT

- Études de la croûte et manteau supérieur (MT braodband et Long Period, profondeur jusqu'à ~300-400 km).
- Prédiction des séismes: recherche de précurseurs et de signaux ESS (étude des séries temporelles dans les bandes VLF/ELF/ULF).
- Exploration pétrolière et gazière (au sol et en off-shore).
- ✤ Géothermie.
- Exploration des diamants (pipe de kimberlites).
- Exploration minière.
- Recherche de l'eau.
- Environnement et Génie civil (RMT).

1.3 Classification de méthodes électromagnétiques :

Les méthodes de prospection électromagnétique sont amplement nombreuses et variées. Elles peuvent être classées selon

1.3.1Les paramètres mesurés :

Mesure du champ magnétique résultant, composantes en phase ou en quadratureetc...

1.3.2 Les sources d'excitation :

Les sources artificielles ou contrôlées telles que stations radio, boucles de courantetc... La bande fréquentielle utilisée

- Les méthodes dites basses fréquences (régies par les équations dediffusion du Champ EM) permettent d'appréhender laconductivitédes terrains.

- Les méthodes dites hautes fréquences(régies par les équations depropagationdu Champ EM) permettent d'appréhender lapermittivité (ex : Georadar).

1.3.4 La distance émettrice –récepteur

1.3.4.1 Méthodes en champ lointain:Ce sont des méthodes ou la distance émetteurrécepteur est suffisamment plus grande que la longueur d'onde des ondesélectromagnétiques dans le sol. Cela implique que les ondes EM primaires sontplanes (front d'ondes parallèles entre eux).Les méthodes VLF, RMT, Audio MT font partie de cette catégorie de méthodes.

1.3.4.2 Méthodes en champ proche: Elles se caractérisent par une distance émettricerécepteur habituellement de faible longueur d'onde de la source et par un champprimaire changeant très vite. (Ex : méthode Slingram).

1.3.5 Le domaine des mesures

On distingue les méthodes fréquentielles et les méthodes temporelles

1.3.5.1 Les méthodes fréquentielles: Les mesures se font en domaine fréquentiel et à une fréquence donnée.

1.3.5.2 Les méthodes temporelles :Ellesconsistent à utiliser en émission une impulsion du type Heaviside, step ou autre et à faire les mesures dans le domaine temporel.

1.4 Sources en magnétotellurique

En magnétotellurique, il y a deux sources :

- Basses fréquences (f < 1Hz) : la magnétotellurique et l'ionosphère
- Hautes fréquences (f > 1Hz) : activité électrique de l'atmosphère

1.5 La magnétosphère

- Source située dans la magnétosphère et l'ionosphère.
- L'ionosphère est constituée essentiellement de gaz d'oxygène (O2) et d'azote (N2) dont les densités diminuent avec l'altitude
- Ces gaz sont ionisés par les radiations UV du soleil.
- > Z < 100 km: la pression force les ions à se recombiner.
- > Z > 250 km: la pression devient trop faible \rightarrow la densité des particules chargées diminue.

1.6 Ionosphère

L'ionosphère est la région de l'espace où la densité des particules ionisées est la plus élevée. Elle occupe une enveloppe sphérique qui s'étend de $60 \ km$ à environ $1000 \ km$ au-dessus de la surface de la Terre. Au-dessous de l'ionosphère, l'ionisation est négligeable. Au-dessus de l'ionosphère, c'est la magnétosphère où la densité des particules ionisées et neutres est très faible.

C'est à Appleton qui a obtenu le prix de Nobel en 1947 que l'on doit aujourd'hui la classification de l'ionosphère en différentes strates : les couches $D, E \ et \ F$, voir la figure 1.1.

1.6.1 Les régions ionosphériques

L'ionosphère est traditionnellement séparée en plusieurs couches ou strates selon l'altitude. La nomenclature de ces couches ou régions est due à Appleton (1947). Elle montre les deux couches principales E et F la nuit (côté gauche) qui se scinde en 4 couches D, E, F1 et F2 sous l'action du rayonnement solaire (côté droit).

La région D

Cette région est la partie la plus basse de l'ionosphère. Elle s'étend environ de 60 km à 90 km d'altitude, pression 2 Pa, température 197 K ($-76^{\circ}C$).

➢ La région E

La région E (ou la région Kennelly-Heaviside) se situe entre 90 km et 150 km, juste au-dessus de la région D, pression 0,01 Pa, température 223 K ($-50^{\circ}C$), densité électronique 10^{11} électrons par mètre cube. La couche E se développe peu de temps après le lever du soleil et disparait quelques heures après le coucher.

La région F

Elle s'étend de $150 \ km$ à $600 \ km$ d'altitude. Dans cette région la densité des particules ionisées est la plus importante. Durant la journée, la région F se divise en deux régions, appelées F1 et F2, dont l'interface est situé autour de 200 km.

• *Couche F* :altitude de 120 à 800 km, pression 1×10-4 Pa, température 1 000 °C ; la couche F se décompose pendant la journée en deux sous-couches F1 et F2.



Figure .1-1: L'ionosphère. (a) Topologie des différentes couches ionosphériques et son évolution au cours de la journée. (b) Profil vertical typique de la concentration électronique (Appelton 1947).

1.7 Résistivité electrique des roches

(a)

La résistivité électrique ρ des roches et des sédiments est une propriétéintrinsèque, elle est définie comme étant la mesure de la difficulté qu'a un courant électrique à passer au travers d'un conducteur.

Par comparaison avec les autres paramètres physiques (densité, vitesses desondes sismiques etc...), à l'exception du paramètre viscosité, la résistivitéélectrique est pratiquement le paramètre qui varie sur plusieurs ordres degrandeurs d'où l'avantage d'utiliser sa distribution pour définir les structures du sous-sol. Ses variations s'étendent entre 10^{-5} ohm. m pour des minéraux métalliques à 10^7 ohm. m pour le gabbro et de 10 à 10^3 ohm. m pour les dépôts sédimentaires non consolidés (à température ambiante).

1.8 La résistivité apparente : est le rapport entre le potentiel que l'on obtient sur le terrain avec un dispositif donné et une intensité de courant donnée et celui que l'on obtiendrait avec le même dispositif et le même courant si l'on était sur un sous-sol homogène et isotrope de résistivité 1 *ohm.m*

1.9 Conductivité electrique des roches

L'inverse de la résistivité est la conductivité électrique $\sigma\left(\sigma = \frac{1}{\rho}\right)$ mesurée Siemens/m. La conductivité décrit l'aptitude d'une substance à conduire un courant électrique, c'est-à-dire à laisser passer les charges électriques se déplacer librementsous l'effet d'un champ électrique $E[\nu/m]$ Sous l'actionde ce dernier, le déplacement des charges électriques libres sur des distancesmacroscopiques d'un conducteur est défini par la conductivité $\delta[s/m]$ (inverse à la résistivité ρ).

Ce déplacement des charges libres se définit par la densité de courant électrique \vec{J}_c .

1.10 Conductivité électrique de la croûte et du manteau supérieur

1.10.1Conductivité croûte/manteau supérieur

- Partie superficielle: accessible par plusieurs méthodes géophysiques (de résistivité) + forage (diagraphie)
- Partie profonde: exclusivement MT + rares forages expérimentaux (par ex. allemand KTB) + mesures en laboratoire (sur les xénolites).

1.10.2 Bassins sédimentaires

Dans les bassins sédimentaires:

- La conductivité électrique est contrôlée par la porosité (vide crée par les pores et fissures) et les fluides et/minéraux contenues dans les pores (loi d'Archie).
- La porosité égale à quelques %, diminue exponentiellement avec la profondeur (diagenèse ou effet de compaction et cimentation) pour atteindre moins de 1% à environ 6 km.
- La diagenèse est relayée par le métamorphisme: augmentation de la température (gradient géothermique) et la pression lithostatique induisent une recristallisation et le développement des grains des minéraux (quartz). Ceci contribue à la diminution de la conductivité.

1.10.3 Croûte continentale

Dans la croûte continentale:

- La loi d'Archie constitue une approche de 1er ordre pour décrire la conductivité dans la croûte. Dans des forages expérimentaux profonds, des fractures imbibées d'eau salée ont été observées à des profondeurs de 11 km (!).
- Ainsi, la croûte supérieure est très résistante particulièrement sous les cratons où elle atteint > 10 000 Ω . *m*, voire > 100 000 Ω . *m*.
- La croûte moyenne est très conductrice (~ 10Ω . *m*).
- La croûte inférieure est modérément conductrice (quelques $100 \Omega.m$).
- Le Moho *électrique* est détectable que dans certaines régions (fenêtres)

1.10.4 Manteau continental

- Le manteau lithosphérique (100 à 250 km d'épaisseur) a une résistivité modérée de quelques centaines d' Ω .m.
- Le manteau asthénosphérique est conducteur (de l'ordre de 10Ω .m).

1.11Equation de Maxwell

On rappelle les 4 équations de Maxwell en domaine spectral. Dans le cas général et en absence de source électromagnétique

 $\nabla \times \vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} = \vec{c} \qquad (1.1)$ $\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \qquad (1.2)$ $\nabla \cdot \vec{B} = 0 \qquad (1.3)$ $\nabla \cdot \vec{D} = 0 \qquad (1.4)$

Où \vec{H} et \vec{B} sont les vecteurs de champ magnétique et d'induction magnétique ; \vec{E} et \vec{D} sont les vecteurs du champ électrique et déplacement électrique ; q est la densité de charge électrique. \vec{j} Est la densité électrique de courant de conduction et \vec{c} est la densité totale de courant. Les champs \vec{E} et \vec{B} sont liés par des relations dites 'constatives'

$$\vec{B} = \mu \vec{H}$$
(1.5)
$$\vec{D} = \varepsilon \vec{E}$$
(1.6)

Où μ et ε sont les constantes de permittivité diélectrique et de perméabilité magnétique.

Les fonctions de transfert magnétotelluriques lient entre les fluctuations mesurées simultanément des champs électriques et magnétiques horizontales à certaines fréquences. De la relation entre les composantes électriques et magnétiques dans le domaine fréquentiel, nous pouvons définir le tenseur d'impédance complexe, (Eq.1-7):

$$\begin{pmatrix} E_i(\omega) \\ E_j(\omega) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} z_{ii}(\omega) & z_{ij}(\omega) \\ z_{ji}(\omega) & z_{jj}(\omega) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} H_i(\omega) \\ H_j(\omega) \end{pmatrix}$$
(1-7)

Où i et j sont deux directions perpendiculaires et ω est la pulsation. Les éléments d'impédance peuvent être adaptés pour obtenir la résistivité apparente, ρ_a (Eq.1-8) et la phase, φ (Eq. 1.9)

$$\rho_{a,ij}(\omega) = \frac{1}{\omega\mu} \left| z_{ij}(\omega) \right|^2 (1.8)$$

$$\varphi_{ij}(\omega) = \tan^{-1} \left(\frac{z_{ij}^{l}(\omega)}{z_{ij}^{R}(\omega)} \right) \quad (1.9)$$

Les exposants R et I note la partie imaginaire et réelle de l'élément d'impédance, respectivement.

Profondeur d'investigation: skin depth

La profondeur d'investigation peut être estimée en utilisant le paramètre skin depth (δ). Ce paramètre est définie comme « la fréquence dépend de la profondeur » où l'amplitude du champ électromagnétique à la surface de la Terre est atténuée par un facteur de e dans un milieu homogène.

$$\delta = 503\sqrt{\rho T} \tag{1.10}$$

1.12 Dimensionnalité :

Cas 1D :

Dans le cas d'un milieu 1D, les composantes Zxx et Zyy du tenseur magnétotellurique sont nulles et Zxy = -Zyx.

$$\begin{pmatrix} E_x(\omega) \\ E_y(\omega) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & z \\ -z & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} H_x(\omega) \\ H_y(\omega) \end{pmatrix}.$$
(1.11)

***** Cas 2D :

Dans le cas bidimensionnel (2D) et si les axes choisis sur leterrain coïncident avec les directions des structures Zxx = Zyy = 0.

$$\begin{pmatrix} E_x(\omega) \\ E_y(\omega) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & z_{xy} \\ z_{yx} & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} H_x(\omega) \\ H_y(\omega) \end{pmatrix}$$
(1.12)

* Cas 3D

Dans le cas le plusgénéral, un milieu tridimensionnel (3D), toutes les composantes de Z sont non nulles.

$$\begin{pmatrix} E_{x}(\omega) \\ E_{y}(\omega) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} z_{xx} & z_{xy} \\ z_{yx} & z_{yy} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} H_{x}(\omega) \\ H_{y}(\omega) \end{pmatrix}.$$
(1.13)

Chapitre 2 : Anisotropie électrique dans la croûte

Introduction

L'anisotropie et l'isotropie sont des propriétés des corps macroscopiques. Système est isotrope si aucune de ses propriétés ne possède de dépendance directionnelle et sont toujours représentées par des tenseurs spécifiques conductivités, constante diélectrique, module d'élasticité.

Ilest suffisant qu'une seul propriété soit directionnelle pour que le corps. Cesse d'être isotrope. L'espace est en générale considéré comme isotropie

2.1 Définition de l'isotrope :

Un milieu est dit isotrope si ses propriétés physiques sont identiques dans toutes les directions. Un système sera qualifié d'isotrope si ses propriétés (macroscopiques) sont invariantes par rapport à une direction particulière et donc, si aucune d'entre elles ne possède de dépendance directionnelle.



Figure 2.1 : Quelques exemples de microstructures de composites : (a) ayant un comportement isotrope ou quasi- isotrope, (b) ayant un comportement fortement anisotrope

2.2 Définition de l'anisotropie :

L'anisotropie (contraire d'isotropie) est la propriété d'être dépendant de la direction. Quelque chose d'anisotrope pourra présenter différentes caractéristiques selon son orientation.



Figure 2.2 Sur cette transformation (non élastique !), la nature l'effet de l'anisotropie sont bien visibles: à gauche la roche native est visiblement feuilletée ; à droite, après une traction ou compression uni axiale, la déformée prend une allure surprenante selon l'orientation des feuillets (Marc François).

2.3 Propriétés anisotropie :

En physique, l'étude des phénomènes naturels conduit partout à étudier des propriétés physiques anisotropes. En physique des matériaux notamment, on étudie en particulier l'anisotropie :

Propriétés de conduction électrique : Le graphite, par exemple, est beaucoup plus conducteur dans le plan des feuillets que dans la direction perpendiculaire ;

L'anisotropie n'est pas pour autant l'apanage de la physique des matériaux.

2.4 La formes du tenseur d'impédance MT

Le tenseur d'impédance MT relie le composant horizontal orthogonal des champs électrique et magnétique à travers un tenseur complexe 2×2 A savoir

$$= Z.H$$

(Dépendance de la fréquence supposée). Le tenseur d'impédance prend trois formes bien connues en fonction de la dimensionnalité du sous-sol

(1)

2.5 Tenseur d'impédance bidimensionnel

Ε

En' 2-D, c'est-à-dire avec une résistivité constante le long d'un axe (habituellement x) dans le sens de Strike géoélectrique des structure 2-D, le tenseur devient

$$Z_{2-D} = \begin{bmatrix} 0 & Z_{xy} \\ Z_{yx} & 0 \end{bmatrix} \dots (3)$$

Quatre paramètres (deux impédances complexes) par fréquence. Le system de coordonnées observé n'est souvent pas aligné sur Strike, donc un cinquième indépendant de la fréquence, à savoir l'obliquité entre le système de référence d'observation et le Strike géoélectrique θ .

Doit être définie, là où

$$Z_{2-D}(\theta) = R.Z_{2-D}(0).R^{T} = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \sin(\theta) \\ -\sin(\theta) & \cos(\theta) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & Z_{xy}(0) \\ Z_{yx}(0) & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) \end{bmatrix}$$
$$= \begin{bmatrix} \sin(\theta)\cos(\theta) \begin{bmatrix} Z_{yx}(0) + Z_{xy}(0) \end{bmatrix} & \cos^{2}(\theta)Z_{xy}(0) - \sin^{2}(\theta)Z_{yx}(0) \\ \cos^{2}(\theta)Z_{yx}(0) - \sin^{2}(\theta)Z_{xy}(0) & -\cos(\theta)\sin(\theta) \begin{bmatrix} Z_{yx}(0) + Z_{xy}(0) \end{bmatrix} \end{bmatrix} \dots (4)$$

Notons que $Z_{yy}(\theta) = -Z_{xx}(\theta)$

$$Z_{2-D}(\theta) = \begin{bmatrix} Z_{xx}(\theta) & Z_{xy}(0) \\ Z_{yx}(0) & -Z_{xx}(\theta) \end{bmatrix} \dots (5)$$

2.6 Le tenseur d'impédance tridimensionnel :

En 3-D le tenseur d'impédance est

$$Z_{3-D}(\theta) = \begin{bmatrix} Z_{xx} & Z_{xy} \\ Z_{yx} & Z_{yy} \end{bmatrix} \dots (6)$$

Et il y a huit paramètres (quatre impédance complexes) par fréquence.

2.7 Tenseur d'impédance anisotrope unidimensionnel :

Bien moins connu et apprécie, même au sein de la communauté MT, est une quatrième forme du tenseur d'impédance et c'est celle que tenseur prend sur un terre anisotrope 1-D générale dans laquelle il existe de multiples couches anisotropes avec des directions d'anisotropie différentes.

Cette formule est donné par :

$$Z_{1-Da} = \begin{bmatrix} Z_{xx} & Z_{xy} \\ Z_{yx} & -Z_{xx} \end{bmatrix} \dots (7)$$

Et comprend six paramètres (trois impédances complexes) par fréquence, ou les termes diagonaux sont égaux mais de signe opposé.

Dans la forme général de Z_{1-Da} (équation 7), de six paramètres ne doit pas être confondu avec la forme tournée de Z_{2-D} (équation 3) donnée par Z_{2-D} (équation 5), de cinq paramètres, même si les deux apparaissent semblables. Il est toujours possible, dans le cas 2-D, de trouver un angle de rotation réel θ qui tourné $Z_{2-D}(\theta)$ de sorte tell qu'il puisse être anti-diagonalisé. Ceci n'est pas possible dans le cas général des milieux anisotropes en couches.

2.8La différence entre l'anisotropie unidimensionnelle et la structure bidimensionnelle :

Étant donné que les formes de l'anisotropie 1-D et les tenseurs d'impédance 2-D sont similaires, comment se différencier entre les deux et reconnaître L'existence de l'anisotropie 1-D sur la structure 2-D?

Il existe essentiellement trois façons:

1. La fonction de transfert du champ magnétique vertical est nulle sur une Terre anisotrope 1-D, mais elle est non nulle sur une Terre 2-D.

- 2. Les fonctions de transfert de champ magnétique horizontal sont anisotrope 1-D mais sont complexes et différents de celui de l'unité sur une Terre 2-D.
- Il existe une différence de phase constante sur une grande région pour une Terre anisotrope 1-D, alors qu'une Terre 2-D à des maxima en différence de phase aux discontinuités latérales enconductivité.

Chapitre3 : algorithme modélisation 2d par éléments finis

Introduction:

Dans ce chapitre on utilise logicielle Geotools pour dessiner les modèles de l'anisotropie électrique dans la croute. Une sophistication croissante dans l'application de Magnetotellurics (MT) a contribué à en faire un outil précieux pour de nombreux types d'exploration. Geotools tente de combiner les fonctionnalités d'interprétation MT les plus utiles et souhaitées en un système logiciel intégré. Le système est un produit de troisième génération et l'aboutissement de nombreuses années d'expérience combinée en MT. Il a été conçu avec un certain nombre d'objectifs à l'esprit: • Fournir une approche globale de l'analyse MT permettant à l'interprète d'intégrer la modélisation, l'acquisition et le traitement de données, la modélisation et la présentation.

• Présenter une plate-forme de recherche qui s'occupe de nombreux détails fastidieux de la gestion et de l'affichage des données, ce qui permettent aux chercheurs de se concentrer sur des problèmes plus importants.

• Soutenir de nombreuses philosophies différentes de l'interprétation MT en incluant un ensemble d'outils général et flexible.

• Mettre en œuvre efficacement les outils afin qu'un géophysicien puisse rapidement déterminer le caractère des données pour effectuer une interprétation préliminaire rapide et précise.

• Fournir des outils suffisamment puissants pour extraire autant d'informations que possible des données avec traitement, modélisation et présentation détaillés.

3.1 Les zones conductive crustales :

• 1^{ére} model qui englobe (le model a, b et c)et contient 20 site représente la couche anisotrope recouverte de deux couches: la seule différence entre les model a, b et c est dans la première couche dans le model a (10 *Ohm.m*), dans le model b (1000*hm.m*) et dans le dernier c (1000*Ohm.m*).







(c)

Figure 3.1 : présente 3 modèles a, b et c qui différent dans la première couche.

• La figure (3.2) présente les modèles en couches ICC (isotropic crustal conductor) et ACC-I (anisotropic crustal conductor). Ils simulent les sédiments conducteurs et les résidus résistants lithosphère sous la couche conductrice. Dans la croute terrestre, a une profondeur de 20 à 35km, le modèle ICC contient le conducteur isotrope sous la forme du 2-D prisme homogène d'une résistivité de 100hm. m et largeur de 44 km. Dans le modèle ACC-I nous avons le même prisme composée de dykes verticales alternées de résistivité de 5 *et* 1000 *Ohm. m*. Le prisme peut être considère comme une couche anisotrope (macro anisotrope) avec le tenseur de diagonale

$$\rho_{ACC-I} = \begin{bmatrix} \rho_{xx} & 0 & 0 \\ 0 & \rho_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & \rho_{zz} \end{bmatrix}$$



Figure. (3.2). Modèles bidimensionnels du conducteur en croûte. Le modèle ICC contient un isotrope Conducteur de croûte, modèle ACC-I contient un conducteur de croûte anisotrope avec alternance Couches verticales de résistivité supérieure et inférieure.

 Une équivalence similaire est observée à la fig.3.3 Nous avons ici le même modèle ICC avec le conducteur croisé isotrope sous forme de prisme 2-D de résistivité de 10 Ohm·m et la modèle ACC-II avec le prisme composé d'alterne a ce couches horizontales de résistivité de 5 *et* 1000 *Ohm.m*. Le prisme peut être considéré comme un conducteur anisotrope (macro anisotrope) avec le tenseur de résistivité diagonale



Figure (3.3). Modèles bidimensionnels du conducteur en croûte. Le modèle ICC contient un isotrope Conducteur de croûte, le modèle ACC-II contient un conducteur en croûte anisotrope avec alternance Couches horizontales de résistivité supérieure et inférieure.

3.2 Le contact vertical entre milieu l'isotrope et anisotrope

Le modèle (figure 3-4) consiste en un milieu anisotrope latéral avec des résistivités principales de 5et 1000 ohm.m en contact avec un milieu isotrope et recouvert par deux couches résistive de 10 et 1000ohm.m.

En profondeur, le modèle s'étend jusqu'à l'infini, et une résistivité du milieu isotrope $\rho_2 = 1000$ ohm. m (égal a ρ max)



Figure : (3.4) Le modèle 1 consiste en une faute(milieu 1 anisotrope avec une résistivité principales $\rho_{min} = 5$ ohm. m/ $\rho_{max} = 1000$ ohm. m, et milieu 2 isotrope) recouvre deux couches résistante de 10 et 10000 hm. m.

Chapitre 4 : Les résultats

4.1 Résultats liés au tenseur d'impédance

Les paramètres calculés de MT sont les suivants:

- les résistivités apparentes principales ρ_{xy}, ρ_{yx};
- les phases principales φ_{xy} , φ_{yx} ;

Notons que le caractère 1-D d'un sondage MT est vérifié quand les courbes de résistivité apparente en fonction de la fréquence sont confondues et ce, quel que soit l'orientation.

L'interprétation 1-D ne pose aucun problème.

Si les structures géologiques font apparaître des failles, des changements latéraux de faciès etc. ; cela se traduit dans la plupart des cas, par des variations latérales de résistivité et donc par une structure à deux ou à trois dimensions. On définit alors les résistivités apparentes et les phases principales, c'est-à-dire les réponses MT selon l'axe de la structure (polarisation E) et selon le profil transversal (polarisation H).

4.2 Résultats liés aux fonctions de transfert magnétique

C'est :

• le tipper (vecteur d'induction);

4.3 Analyse de la modélisation d'une structure anisotropie :

Si milieu est rigoureusement homogène, Les valeurs de résistivités apparentes ρ_{xy} , ρ_{yx} sont identique en fonction de la fréquence suivant les deux directions de mesure, puisque ce cas Zxy = -Zyx (haut fréquence). Cette réponse MT peut être associe à des modèles trois terrain : résistant- conducteur- résistant.

Pour le modèle1(a) les valeurs de la résistivité apparent ρ_{xy} , ρ_{yx} sont constant et identique de100*hm*. *m*vers le champ de (10 Hz à 1000Hz), nous remarquons que la résistivité apparent est croissant de (10⁻¹ à 10Hz). ρ_{yx} augmente tandis que ρ_{xy} décline sur la fréquence de (10⁻² à 10⁻¹HZ) alors que sur le champ de (10⁻³ à 10⁻²HZ) les cas inversent.

Pour le modèle 1(b) les valeurs de la résistivité apparent ρ_{xy} , ρ_{yx} sont constant et identique de 1000hm. m vers le champ de (10 Hz à 1000Hz), nous remarquons que la résistivité apparent est croissant de (10⁻¹Hz à10Hz). ρ_{yx} augmente tandis que ρ_{xy} décline sur la fréquence de (10⁻² à 10⁻¹HZ) alors que sur le champ de (10⁻³ à 10⁻²HZ) les cas inversent.

Pour le modèle 1(c) les valeurs de la résistivité apparente ρ_{xy} , ρ_{yx} sont constantes et identique de10000*hm.m*vers le champ de (1 *Hz* à 1000*Hz*) tandis que ρ_{xy} , ρ_{yx} sont décroissante de (10⁻¹*Hz* à1*Hz*). ρ_{yx} est stable au niveau de 1000 *ohm.m* alors que ρ_{xy} décline à 100 *ohm.m* de (10⁻² à 10⁻¹*HZ*). ρ_{xy} et ρ_{yx} sont décroissante de (10⁻³ à 10⁻²*HZ*).

Les phasesassocie sont représenté à la figure (4.1) elles sont entre (-180° et 90°) et l'amplitude entre φ_{xy} et φ_{yx} sont 180°.

Les flèches d'induction sont nulles dans les hautes fréquences et augmente dans les bassesfréquences, l'amplitude est positive (entre 0et 0.5 km) dans le site 1 jusqu'à 9, nulle dans le site10, et négative (entre 0 et -0.5 km) dans le site 11 jusqu'à 20.

Les sites des Modèles:

Modèle1 :

• Modèle 1(a) :

Site 2 :





Site 10 :



REAL (P	arkinson)		2da	3_010
0.75				
0.5				
-0.5				
-0.75				
2		-1 L	.0G Freque	ncy (Hz)

Site 20 :





Modèle 1(b) :

Site 2	
--------	--



1-	REAL	. (Parki	nson)		2d:	a4_002
0.75-						
0.5-	-				4	
	-			+ 1		•
-0.25-	-					
-0.75-	-	2	1	 	2	-3
				LO	G Frequ	ency (Hz)

Site 10 :



REAL (I	Parkinson)	2da4_010
-		
0.75		
0.5		
0.25 H		
White		
-6.25		
-0.5		
-0.75		
-1-1-1	1 0	

Site 20 :



REA	L (Parkinson)		2da4_020
0.75			
0.5 0.25			
DU 0		++++	
-0.5			
	2 1 0	-1 -2 LOG	G Frequency (Hz)













REAL	(Parkins	son)		2da	2_010
-0.25-					
	2 1	c	 LO	G Freque	ncv (Hz)

Site 20 :



Figure (4.1) : représente la résistivité apparente, la phase et les vecteur d'induction de modèle 1(a, b et c) pour 20 sites

Modèle 2(ICC) :

Pour les sites(1, 2, 3, 9, 10 et 11) les valeurs de la résistivité apparent ρ_{xy} , ρ_{yx} sont constant et identique de 100*hm.m* vers le champ de (10 *Hz* à 1000*Hz*), nous remarquons que la résistivité apparent est croissant de (10⁻² à 10*Hz*) et de (10⁻³ à 10⁻²*HZ*) ρ_{xy} , ρ_{yx} sont décroissant.

Pour les sites (4 et 8) les valeurs de la résistivité apparent ρ_{xy} , ρ_{yx} sont constant et identique de 100hm.m vers le champ de (10 Hz à 1000 Hz), nous remarquons que la résistivité

apparent est croissant de $(10^{-1} a 10Hz)$. ρ_{yx} augmente tandis que ρ_{xy} décline sur la fréquence de $(10^{-2} a 10^{-1}HZ)$. ρ_{xy} , ρ_{yx} sont décroissant de $(10^{-3} a 10^{-2}HZ)$.

Pour les sites (5, 6 et 7) de $(10^{-1} à 1000 Hz)$ les valeurs de la résistivité apparente ρ_{xy} , ρ_{yx} reste le même avec les autres sites. ρ_{yx} augmente tandis que ρ_{xy} décline sur la fréquence de $(10^{-2} à 10^{-1} HZ)$ alors que sur le champ de $(10^{-3} à 10^{-2} HZ)$ les cas inversent.

Les phases associe sont représenté à la figure (4.2) elles sont entre (-180° et 90°) et l'amplitude entre φ_{xy} et φ_{yx} sont 180°.

Les flèches d'induction sont nulles dans les hautes fréquences et augmente dans les basses fréquences, l'amplitude est positive (entre 0et 0.5 km) dans le site 1 jusqu'à 5, nulle dans le site6, et négative (entre 0 et -0.5 km) dans le site 7 jusqu'à 11.

Site 1:





Site	6	:



Site 11 :



LOG Frequency (Hz)



Figure (4.2) : représente la résistivité apparente, la phase et les vecteurs d'induction de model ICC (isotropic crustal conductor) pour 11 sites.

Modèle 3(ACC-I) :

Pour les sites (1, 2, 3, 9, 10 et 11) les valeurs de la résistivité apparent ρ_{xy} , ρ_{yx} sont constant et identique de 100*hm.m* vers le champ de (10 *Hz* à 1000*Hz*), nous remarquons que la résistivité apparent est croissant de (10⁻² à 10*Hz*) et de (10⁻³ à 10⁻²*HZ*) ρ_{xy} , ρ_{yx} sont décroissant.

Pour les sites (4 et 8) les valeurs de la résistivité apparent ρ_{xy} , ρ_{yx} sont constant et identique de 100*hm*.*m* vers le champ de (10 *Hz* à 1000*Hz*), nous remarquons que la résistivité apparent est croissant de (10⁻¹ à 10*Hz*). ρ_{yx} augmente tandis que ρ_{xy} décline sur la fréquence de (10⁻² à 10⁻¹*HZ*). ρ_{xy} , ρ_{yx} sont décroissant de (10⁻³ à 10⁻²*HZ*).

Pour les sites (5, 6 et 7) de $(10^{-1} à 1000 Hz)$ les valeurs de la résistivité apparente ρ_{xy} , ρ_{yx} reste le même avec les autres sites. ρ_{yx} augmente tandis que ρ_{yx} décline sur la fréquence de $(10^{-2} à 10^{-1} HZ)$ alors que sur le champ de $(10^{-3} à 10^{-2} HZ)$ les cas inversent.

Les phases associe sont représenté à la figure (4.3) elles sont entre (-180° et 90°) et l'amplitude entre φ_{xy} et φ_{yx} sont 180°.

Les flèches d'induction sont nulles dans les hautes fréquences et augmente dans les basses fréquences, l'amplitude est positive (entre 0et 0.5 km) dans le site 1 jusqu'à 5, nulle dans le site6, et négative (entre 0 et -0.5 km) dans le site 7 jusqu'à 11.

Site 1 :



RE/	AL (Parkins	on)		anis	s1_001
0.25 			+ .	• † • .	•
-0.25	2		LC	-2 DG Freque	ancy (Hz)





REAL (Parkinson)					anis	1_006
0.5						
UDE						
AMPLIT			£			
-0.25						
-0.5	2			LO	G Freque	ency (Hz)

Site 10 :



Figure (4.3) : représente la résistivité apparente, la phase et les vecteurs d'induction de modèle ACC-I (anisotropic crustal conductor) pour 11 sites.

Modèle 4(ACC-II) :

Pour les sites (1, 2, 3, 9, 10 et 11) les valeurs de la résistivité apparent ρ_{xy} , ρ_{yx} sont constant et identique de 10 *Ohm.m* vers le champ de (10 *Hz* à 1000*Hz*), nous remarquons que la résistivité apparent est croissant de (10^{-2} à 10Hz) et de (10^{-3} à $10^{-2}HZ$) ρ_{xy} , ρ_{yx} sont décroissant.

Pour les sites (4 et 8) les valeurs de la résistivité apparent ρ_{xy} , ρ_{yx} sont constant et identique de 10*0hm. m* vers le champ de (10 *Hz* à 1000*Hz*), nous remarquons que la résistivité apparent est croissant de (10⁻¹ à 10*Hz*). ρ_{yx} augmente tandis que ρ_{xy} décline sur la fréquence de (10⁻² à 10⁻¹*HZ*). ρ_{xy} , ρ_{yx} sont décroissant de (10⁻³ à 10⁻²*HZ*).

Pour les sites (5, 6 et 7) de $(10^{-1} à 1000 Hz)$ les valeurs de la résistivité apparente ρ_{xy} , ρ_{yx} reste le même avec les autres sites. ρ_{yx} augmente tandis que ρ_{xy} décline sur la fréquence de $(10^{-2} à 10^{-1} HZ)$ alors que sur le champ de $(10^{-3} à 10^{-2} HZ)$ les cas inversent.

Les phases associe sont représenté à la figure (4.4) elles sont entre (-180° et 90°) et l'amplitude entre φ_{xy} et φ_{yx} sont 180°.

Les flèches d'induction sont nulles dans les hautes fréquences et augmente dans les basses fréquences, l'amplitude est positive (entre 0et 0.5 km) dans le site 1 jusqu'à 5, nulle dans le site6, et négative (entre 0 et -0.5 km) dans le site 7 jusqu'à 11.





REAL (I	Parkinson)		anis3_001
0.75			
0.5			
0.25 Hore to the second			+ +
Idwe .25			
-0.5			
-0.75			
2	1	LO	G Frequency (Hz)





REAL (Parkinson)	anis3_006
E	
0.75	
0.5-	
0.25- 出	
W	
-0.5	
-0.75-	
	m
2 1 0	-1 -2 -3 LOG Frequency (Hz)







+ +

LOG Frequency (Hz)

BUT OF THE PARTITUDE

-0.5

Modèle 5 :

Pour les sites (1, 2, 3, 4, 5 et 6) les valeurs de la résistivité apparent ρ_{xy} , ρ_{yx} sont constant et identique de 100*hm*.*m* vers le champ de (10 Hz à 1000 Hz), nous remarquons que la résistivité apparent est croissant de (10⁻¹ à 10Hz). ρ_{yx} augmente tandis que ρ_{xy} décline sur la fréquence de (10⁻² à 10⁻¹HZ) alors que sur le champ de (10⁻³ à 10⁻²HZ) les cas inversent.

Pour les sites (7, 8, 9, 10 et 11) de $(10^{-1} à 1000Hz)$ les valeurs de la résistivité apparente ρ_{xy} , ρ_{yx} reste le même avec les autres sites.Nous remarquons que la résistivité apparent est croissant de $(10^{-2} à 10^{-1}Hz)$ et de $(10^{-3} à 10^{-2}HZ) \rho_{xy}$, ρ_{yx} sont décroissant.

Les phases associe sont représenté à la figure (4.5) elles sont entre (-180° et 90°) et l'amplitude entre φ_{xy} et φ_{yx} sont 180°.

Les flèches d'induction sont nulles dans les hautes fréquences et augmente dans les basses fréquences, l'amplitude est positive (entre 0et 0.5 km) dans le site 1 jusqu'à 5, nulle dans le site6, et négative (entre 0 et -0.5 km) dans le site 7 jusqu'à 11.

Site 2 :







REAL (Parkinson)	anis7_006
0.25- 	
-0.5	LOG Frequency (Hz)

Site 11 :



Figure (4.5) : représente les sites (2, 6 et 11) de la résistivité apparente, la phase et les vecteurs d'induction de modèle de milieu1 anisotrope et milieu 2 isotrope.

4.4 Comparaison entre modèle anisotrope et isotrope:

Nous remarquons que isotrope et anisotrope sont presque les mêmes dans la résistivité apparente identique, croissant et décroissante. La phase est toujours entre -180° et 90° et l'amplitude entre φ_{xy} et φ_{yx} sont à 180° . Ce qui concerne les vecteurs d'indiction sont nulles aux hautes fréquences et augmente dans les basses fréquences l'amplitude est positive (entre 0 et 0.5 km) dans le site 1 jusqu'à 5, nulle dans le site 6, et négative (entre 0 et -0.5 km) dans le site 7 jusqu'à 11.

4.4.1 Comparaison entreICC et ACC-I :

Dans le site 6, nous remarquons que ICC et ACC-I sont presque les mêmes dans la résistivité apparente, croissant et décroissante. La phase est entre -180° et 90° et l'amplitude entre φ_{xy} et φ_{yx} sont à 180°. Ce qui concerne les vecteurs d'indiction sont nulles dans ce site





4.4.2 Comparaison entreICC et ACC-II :

Dans le site 6, nous remarquons que ICC et ACC-II sont presque les mêmes dans la résistivité apparente, croissant et décroissante. La phase est entre -180° et 90° et l'amplitude entre φ_{xy} et φ_{yx} sont à 180°. Ce qui concerne les vecteurs d'indiction sont nulles dans ce site





4.4.3 Modèle avec milieu 1 anisotrope et milieu 2 isotrope :

Pour le site 3 les valeurs de la résistivité apparent ρ_{xy} , ρ_{yx} sont constant et identique de 100*hm*. *m*vers le champ de (10 Hz à 1000Hz), nous remarquons que la résistivité apparent

est croissant de $(10^{-1} à 10Hz)$. ρ_{yx} augmente tandis que ρ_{xy} décline sur la fréquence de $(10^{-2} à 10^{-1}HZ)$ alors que sur le champ de $(10^{-3} à 10^{-2}HZ)$ les cas inversent.

Pour le site 9 de $(10^{-1} à 1000 Hz)$ les valeurs de la résistivité apparente ρ_{xy} , ρ_{yx} reste le même avec le site 3. Nous remarquons que la résistivité apparent est croissant de $(10^{-2} à 10^{-1} Hz)$ et de $(10^{-3} à 10^{-2} HZ) \rho_{xy}$, ρ_{yx} sont décroissant.

La phase est entre -180° et 90° et l'amplitude entre φ_{xy} et φ_{yx} sont à 180°.

Les flèches d'induction sont nulles dans les hautes fréquences et augmente dans les basses fréquences, l'amplitude est positive (entre 0 et 0.5 km) dans le site 3 et négative (entre 0 et - 0.5 km) dans le site 9.







REAL (Parkinson)	anis7_003	REAL (Parkinson)	anis7_009
0.25 		0.25 	
2 1 0 1	LOG Frequency (Hz)	2 1 0 1	LOG Frequency (Hz)

Conclusion finale

- (1) La direction de Strike d'une modèle 2-D affecte par une anisotropie dépend de la fréquence et varie également le long du profil. Si anisotropie est détectée à partir des données ou d'autre données supplémentaires informationnels, puis une direction de Strike préféré, qui coïncide avec la Strike d'anisotropie dans une certaine gamme de variation, peut être choisie
- (2) Si le rapport d'anisotropie est supérieur à cinq, l'inversion 2-D récupère le modèle originale avec une anisotropie à condition que les données soient tournées dans la direction de la Strike d'anisotropie au tout autre angle dans la plage de variation. L'anisotropie apparait comme une séquence typique de dykes conducteurs et résistives (macro-anisotropie) à partir de le quelle dont le rapport d'anisotropie intrinsèque peut être calculé. Nous proposons que cette procédure de 2-D inversion pour les modèles isotropes puisse être utilisée approche systématiquement pour récupérer l'anisotropie
- (3) En l'absence de preuve d'anisotropie, lorsqu'on préféré Strike est choisie et le modèle d'inversion 2-D contient une séquence de zones résistives conducteurs verticales, un soupçon d'une anisotropie doit être envisagé pour une enquête plus approfondie.
- (4) Les flèches d'induction sont gravement affectées par les anisotropes structures. Leur direction dépend de la Strike d'anisotropie, les contrastes de résistivité et la fréquence. Leur direction en général ne coïncide pas avec la direction perpendiculaire au 2-D Strike ou à la Strike d'anisotropie. Par conséquent, ils sont inappropriés à utiliser pour déterminer la direction de Strike en 2-D ou le Strike anisotropie.
- (5) Il n'est pas facile de faire la différence entre l'anisotrope et l'isotrope
- (6) Les phases sont toujours entre -180° et 90° et l'amplitude entre φ_{xy} et φ_{yx} sont à 180°.
- (7) Les vecteurs d'induction sont nuls dans les hautes fréquences augment dans les basses et l'inexistence des flèches d'induction au milieu

Annexe

Modèle 1(a) :

	<u> </u>	_							-		-		-	-002					_		8.000 m	_	_	_					_	1					_		
		-	-	-			-	+						-	4-		-	-	-		-	-	4	+	-	-	-	-	-	4		-	-	-	-	-	
l s								1	_						1								-								1						
-							-						•	- 1	-					. *		=						• •		÷						• • .	
1-MH		-	-		. ?		- HAL	2		-		° .		-	HM-P					* .	1	- H	2-	+	-		e .		-	I-WH		-	-		• • •		-
00				•			0				•			- 1	0)0				•°			0				• °				0				•			
HH I							RHC	1						-1	RHK							H.	1.000							HH I							
POG.			_				10	0	_						100		_	_	_		_	9	0-		_	-	_		-	Š.	-	-		-	-	-	
														- 1																							
		-	-	-				1		-				-	-1-				-			- 2	-1-	+	-	-				-1-		-	-	-	-	-	
	L	ļ						L															1		_						L						
	• Rho	XY O	RhoYX		LO	G Frequency	(Hz)	• F	RhoXY O	RhoYX		LO	G Frequen	cy (Hz)		RhoX	YORN	aYX		LOG	Frequency (Hz)	• Rh	οXY	O RhoYX		LO	G Frequ	ency (Hz	1.1	• Rhc	XY O	RhoYX		Ĺ	OG Frequ	aency (Hz)
	Appa	irent Re	esistivity			2da3_	006	Ap	oparent Re	sistivity	į		2da1	3_007	1	Appare	nt Resis	stivity			2da3_0	28	App	arent 8	Resistivit	0		2da	3_009		Appar	ent Re	sistivity			2d	a3_010
4		-						4							4		-	-	_		_	-11-	4	-	-					4-	-		1 1				
1.8														- 1																							
3		-	-	-	-			3		-				-	3								1	+	-	-				1						1	
(W-9					0	° .	ŝ	1				0	0.0		(W-9					0	° •	÷.	1				0	0		(W-W)					0	0	
HO					1		He								(OHB	1			. • 1		121	(HO)						1		HO)				. •	1		1
Q.	••	+ • •	+ + + + +		-		- Lê	1-++						-	9			* * *	-	-	-	물	100	++		•		-		OH 1	••			-	-	-	
00							8							- 1	8							8								00							
120		-					-12	0							-01							12	1							10							
-1								-1-	_					_	-19	_	_	_		_			-1-	_	_	-				-1-	_	-	-	-	-	-	
1.8														- 1	1.3					_																	
	. Rho	XY D	RheVX		10	G Frequency	(Hz)		Photy DI	BhoYX		10	G Frequet	cy (Hz)		Rhox	Y O RN	ave	1	LOG	Frequency (F	42)	• Rb	oXY	O RhoYX		LO	G Freque	ency (Hz)		• Rho	XY DI	RheYX		L	G Frequ	ency (Hz)
-	Appa	arent R	esistivity			2da3	011	As	pparent Re	sistivity	0		2da	3 012		Appare	nt Resi	stivity			2da3_0	13	App	arent	Resistivit	v		2da	3 014		Appar	ent Res	istivity			2ds	3 015
	1							.E			1				1											1					-						
							1	1															1	T						1							
3	1	-	+	-	-			+		-	-	-		_	8		-	_	_		-		-	-		-	-			1		-		-			
(W-	1					000	9	1					• • •		(W-						° .	Ŵ	1		1	1		• •		(W-					0	• • •	
HHC					1 1		HE	2				÷ .			WHO				•	in the		1H	1			0				WHO T				٥.	÷.,		
PO	1		+	100	-		- P	-				-			OH				20		_	- P		+-						HOU				10			
XG RI	1	T					0,8	1							20 R							Q B		1						20 B			1				
120	-	-	-	-	-		13	0							1207							13	0	+	-	-				20	-	-		-	-		
	1							1							1								1							1							
								1																						-19							
	L	1	1	ł	ł.	1	_	1		1	<u>}</u>	<u>.</u>								1	Erec.		L	-	-	leer.		0.0			-		-			-	
1	• Rho	OXY O	RhoYX		LC	~ rrequency	(12)	• •	nnoxY D	NYodhn		LO	-bC	ny (Hz)	-	And	1 0.88	NYA		LOG	equetcy (140	• Rh	YX0	U RhoYX		LO	o rieque	may (Hz)		Rho	AT DE	moYX		LO	a Preque	ency (Hz)
	Abba	eent Re	esistivity	-	1	2da3_	10	Ē	Processed in FOG	- search (y			208			Appare	nit Kesi	stivity	_	r r	2da3_0	10	APP	arent	nesistivit	7		Zda	1019		Abbau	ent Ke	orstrilty	-		2da	a3_020
4		+		-	-			1							4				-			1	4	+		-				4							
1								-			_												-														
					0	• • •	19						• • •									10						• • •		9					0	• • .	
V-WH	-	-	-					2		-		¢ -		-	N-MH			-			1	- 14	2	+	-		2.			V-VH	-	-	-		?		
0)0				•		10.00	8				•				0)0				° .			0				· *				0				ື			
E C		1					HH C								HH S							臣	1.0.0							HH							
g.	-	-	-	-	-		- 19	-	_	-	-	-			3.		-	_	_		_	ğ	0	+	_	-		-		30	-	-	-			-	
-5		-		-	-		1	-1-1			-				1				_				-1-	+						-17							
1	L				-		_	L				-								ļ		_	1	-						1	L						
1	• Rho	o YX	RhoYX		LC	3G Frequency	(Hz)	• 1	RhoXY 0	RhoYX		LC	CG Freque	ncy (Hz)		RhoX	YOR	hoYX		LOG	Frequency	Hz)	• Rh	NXO	C RhoYX		LO	G Freque	ency (Hz)		Rho	XY OI	RhoYX		LC	XG Frequ	ency (Hz)
-	Phase	5				2643	,001	Phi	854				26	a3_002		Phase	_		_		2da3_0	03	Phase					2	da3_004		Phase					2	da3_005
								-																													
	Γ							1							380																						
18		-							_			-			135-1			-		_		-	-	+		-		_			_						
								8							135-								-	-						-							
601 8 8 8 8 8								*							1050) 105-00-00-00-00-00-00-00-00-00-00-00-00-0							(0)	-					••••									
aue (260)			•••				015 (DE0)		••••		•••				IGLE (DEG)	•••	•••	•		•••		eas (Seo)		•	••••	•••		•••		due (seco	•••		•••			•••	•
avec autor (260) 2 - 2 - 8 - 8 - 8	••		••,	•••		••••	438 MOLE (260)		••••	•••			•••		SE MIGLE (DEG)	•••	•••	•••				wole walds (Deb)		••	• •			•••		And Andre (1900)	••	••••	•••			• • •	
PANSE ANDLE (260)	••	••••	••,	•••		• • •	Phate Jacot (260)	8	••••	•••	•••	•	•••		PHASE ANGLE (DEG)	•••	•••	•••			•••	Private Avalue (260)	*	••	••••	• • • •				Private Antona (pace)	•••	•••	•••	•••		•••	•
8 5 ° 5 8 8	••	••••	•••	•••	•		Phase Jacoce (060)		••••	•••	•••	•			RHASE ANOLE (DEG)	•••	•••	•••	•••		•••	PHASE AND R (2001	* * *	••	••••					Provide Anticula (1990)	•••	•••		•••		•••	
2 8 2 4 2 4 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5	••	••••	•	• • •		· · · ·	Phate Arout (180)	8	• • • •	•					PHASE MIGLE (DEG) 8 5	•••	•••	•••	•••			A PHASE AND A DECI	* * • •	•••	••••	•••				Private Antona (1960)	•••		••			••••	•
8 8 8 9 9 8 8 8	••	••••		•••			HARE MOLE (DEO)	8 8 6 4	• • • •		•••				S S S PHASE MIGLE (DEG) S S	•••	•••					A A PHASE AND A DECO		•••	•					a a a a a a a a a a	•••			•••		•••	•
8 8 8 9 9 9 9 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8	• Phase		Pacifi	•••		LOS Progen	Hard Free Processing	8 8 8 8 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9	• • • •	Precis	•••		LOG Pres	ercy Htt	S S PHASE ANGLE (DEG) S S	PhsXy	••••	1 1 1 1 1 1 1		•••	Frequency ()	A L PHASE AND E DE L	• Pip	••	• Prerx	•••		LOS Fre		severa tatori severa tatori severa tatori	• • •	•••		•••			• • • • • • • • • • • • • • • • • • •
S B B C C C C C C C C C C C C C C C C C	Phase		Precisi	• • •		LOS Progen		• P	****	Prices	•••			ercy Hz; b3_007	6 C C C C C C C C C C C C C C C C C C C	• • • • • • • • • • • • • • • • • • •	••••			LOS	Frequency () 2de3_1	BOG 24	• Piso	φ φ	• • •	•••		LOS Prec 2		Private ratio	Photy Phase			•••		L00 Fm	• • • • • • • • • • • • • • • • • • •
	Protect	•••	Preti	•••	· · ·	LOS Property 2043	(000 TOW 20%	e e Ph 00		Prict			LOG Fras. 2d	erer H1)	B S S BHASE ANOLE (DEG) S SS SS	+ PhsXY Phase	• • • •	• • •	•••	 	Frequency () 2ds3_d	1 000 ctrans some times to come	• Pito	φ. 	Preix	•••		LOS Per		Pervera Inco	Photo Phase		9407	• • •		100 Fe	
0 18 8 4 ° 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10	Phote		Paciti	•••		LOS Proper	(cold TODAL Steward	8 8 8 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9		Prenc	•••		•••• •••• 100 Feau 2d	eecy H13	10 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 0	P Phase	• • •		•••		Frequency ()	900 ctrl 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0		γ	• • •			LOSPie		Reverse rates, and a second se	Phore Phore		9402	•••		001%	
8 8 9 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	Phase					LOS Propert	(000 JD0W JRrew (1000 JD0W JRrew (1000 JD0W JRrew (1000 JD0W JRrew)	н н н н н н н н н н н н н н н н н н н					LOG Pera 2d	ercy PD)	B S S S S S S S S S S S S S S S S S S S	P Phsxy Phase	• • •	XVi		•••	Frequency () 2ds3_d	300 ct		α α	• • •			LOPPec		S S S	Photo P			• • •		000 fm	• • • • • • • • • • • • • • • • • • •
60) E E E E E E E E E E E E E E E E E E E	Photo		Paciti			LOS Frager	4 Million 1000	· · ·	**************************************	Prenti			LDSPma	eecy H13	0001 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	PhaXY PhaXY	• • • •	× •	•••	109	Frequency () 2da3_1	60 24 1 Prive Andre Prive Andr	• Pape	α α	• • •			LOFPer	sero(%)	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	Precent			•••			summ(/bi)
	Proof	•••	Pretit	•••		005 Progen	1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 100	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	1000	Prent			LOS Presenta	ercy HD	would green.	P Phsxy Phase	• • •		•••	103	Frequency () 2ds3_d	No.6 Perio	• Pio	φ φ	• Press	· ·		LOOPPec		andra and a second refer of the second refer o	• • • • • • • • • • • • • • • • • • •		9407	••••		001 fm	
Holt Anoliz (1950) 8 8 8 8 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9	Phase		Preti			005 Progen	900 (111)	· · ·	1000				(00 Present	eeep H23	more units (1969) B B B B B B B B B B B B B B B B B B B	Phase	• • •	***		100	Frequency ()	Vectoria (201) 000 (200) (201) 000 (200) 000 (201) 000 (· ·	Peot			LOSPer	sercy(#2)	The short area in the short ar	Photo: Phase					000 Fm	5 55000 (Pd)
	transferred by the second		Protection of the second secon			103 Progen	1000 - 10000 - 1000 - 1000 - 1000 - 1000 - 1000 - 1000 - 1000 - 1000 - 1	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	1400 · · · ·		• • • •		(00 Pmm) 2d	erey Htt:	Preserved (160)	P PhaXY Phase	• • •	×vx	•••	LOS	Frequency () ()	Physics Andre (2016) 2017 2017 2017 2017 2017 2017 2017 2017	Paper Pase		Preol			LOS Piece	2007/12/2009	must aktor (ceol	Photo Photo Photo Photo Photo	•••	1	•••		1.00 fm	
	Proof			• • •		001 Frogeneric	9000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	107 • 1	Prove the second	• • • •		100 Pmaa 20	erry P(3)	Hende Andle (DEG) Hende A State (DEG) Hende A	P PhaXY Phase	• • • •	XYI	•••	LOS	Frequency () ()	PHASE AND E (CS) CS	• Pipe	0 0 0 0 0	Pretty			L08 Pec		Private Andra, Ottorio	Photo:	•••	940X				
1 14-124 AUCL (2010) 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	Photo P	•••				.01 Fragers	(000 Those Street) (000 Figure 2004) (000 Figure 2004) (000 Figure 2004)	в в в в в в в в в в в в в в	10/1 1	Per/			LOS Presa	ercy HD:	Private India Decision Private MilloLE (DEG) 28 - 52 - 56 - 54 - 56 - 56 - 56 - 55 - 55 - 55	P Phase	****	XY8	•••	LOS		HAVE AND & DECIDENT OF A DECID	• Prop		Provide the second s			LOP Prec	2000(P2)	Private Austra (Steel	Phaze					100 fm	auero(49)
	• mass		Prest			103 Pagana	PRE 1007 TOUR THE PRE 1000						1,00 Pmaa 23	errey PED	Mente revolut street.	P Phaxy Phase	••••	XY8	•••	LOS		Hereicher aussiehen in 1980 de la Francis meise folgen	Prose		Prot			LOP Percent	9.000(12)23	antez Alocz (zeol. 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	Phace Phace			•••		100 / m	
B PHORE MOLE (1950) B B B B C B B B B B B B C B B C B B C B C B C B C C B C	read		Preti-			243	PHCI 000 0004			Provide and a second se			LOOFME	erey Http://	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	Phase Phase	• • • •	SY4	•••	109	Frequency () 2645_1	(0)	Prost P		• Peot			L09 Perc 2		Private Andra, grand and a final and a	Phase		9405(• • •		100 fm	
	Phase Phase Phase Phase Phase Phase		People			(03 Protection 10 Protection 1	PR01 000 0000 0001 0001 0001 0001 0001 0			Provide and a second se			100 Pm 20	ercy Ptp)	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	P Phaxe	• • • •	XY	•••		Frequency () 2dst_d	11 CT 3 C Horizontal Color	Pros		Prot			LOP Prec		Annual category and a second sec	Phate Phate Phate		9405(100 fee	
	Phose		PPetti			103 Frances	Hote word tipe/		1007 • • • • • • • • • • • • • • • • • •				20 Processor	ercy Pti)	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	Phase Phase Phase	• • •		•••		Pregency () 2ds3_t	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	Pipipi Pipipipi Pipipi Pipipipi Pipipipipi Pipipipipipipipipipipipipipipipipipi		Press			LOP Prec	aero (162)	Photo Andre (1964)	Phate Phate Phate			•••		100 fee	
	Phase		PRetX			103 Prosent	1000 TOT M		1007 • 1				100 Press	ercy PES 53_012	0 B B B P PARE ANOLE (100) B B B B B B B B B B B B B B B B B B	Phaxe Phaxe	• • • •	WX		100	2da3_f	1 In the second se	Pipper Pipee Pipeee Pipeeee Pipeeeeeeeeeeeeeeeeeeeeeeeeeeeeeeeee		Peci			L00 Files	2007(F2)2	Photo Andre (crest	Phase Phase Phase					100 Fm 100 Fm 100 Fm 2	50000 (10)
	Process P		Processor 2010			0.01 Postal 243 243 263 263	1014 101 1014 1014 1014 1014 1014 1014						LOO Proposed	ercy PES 65_007 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10	S G B CHARGE AND CLE (DOC) C C C C C C C C C C C C C C C C C C	PhaXY Phase	• Ph			000			Prost		Puss			LOB Please	2007(F2)2	Prior Aloca (2004)	Phase Phase Phase		and a second sec	•••		100 Fm 2 100 Fm 2	sam(/0)
201 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	Profile P		Predx			100 Tenant 249	1000 Hold Hold Hold Hold Hold Hold Hold Hold						LOSTNERS	erery H2D	CON 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8	P PhaXY Phase	• • • •	XVe			Frequency () 2483_4	200 E E E E E E E E E E E E E E E E E E	Picolaria Picolaria		Provi Provi Provi Provi Provi			L09 Pec	2000/102/00	Deco.	Photo Phase Phase		1000	•••		100 fee 200	amerce (dis)
	Proceeding		Press			103 Prosent	1000 (Processor and a second se			100 Press	erery FID 165_007	00.2.70 % % % % % % % % % % % % % % % % % % %	Phase Phase Phase	• • •	XVe			248.3,1	407 E CO 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4	Page		Press P			22		and the second s	Photo Phase			•••		100 fee 200	
	Phase P		Prect:			1007exemination 1007exeminatio	PRIC 0000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 10						100 Presented 10	eery H0 10		Phase Phase	Phr				7regeno; () () 2493 ()	West and a Cotol Image of the state of the	• Pipole • P					200 Percent			Photo:			•••		1.00 fee	servite s
	• max		Precision of the second	· · ·		001 Present	000 100 100 100 100 100 100 100 100 100						100 Presson 200 Pr	erty PES 153_007	Prince and a first	P PhaXY Phase Phase Phase	• • • •		•••		Pregency () 2 da3_d	Press and a form of the second s	• Pipel •		Proci			1,009 Perc 2 1,009 Perc 2	2000 (P2 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20	Prives witch finds	Phate					(00 free	amercy (Hz)
	• Photo		Predx			0.01 Pages	100 TUPUS WITH ALL ALL ALL ALL ALL ALL ALL ALL ALL AL						100 Preyonal 200	errey PED 55_007 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10		P Phase	Phi				243_0	100 TOTAL STATE OF THE STATE OF	Prost P		Prov.			2 2 100 Piece		Priver Alla (1990)	Phase Phase					000 free	amercy (31)
	• Photo Phot		Predix Predix			0.02 Property 0.02 Property 0.	Hold Times House Cool (1994)						(00 Pressore) 200 100 Pressore 200 200 200 200 200 200 200 200 200 20	erery 1920		PlaxY Phase	Phr				24s3_1		Projection P		Prov(L00Pmc 2	add 3_009	Photo muci (second)	Photo: Phase					100 fee	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	• mon					0.01 Preserved and a second se	Molt and 200						LOOPHIN	erecy H00 is3_007		P PhaXY Phaze Phaze Phaze		SV4			Frequency () 2483_1	More marc cost: 0						1.00 Perc 2		Amore and the second	Phate					100 /s-2	50000000000000000000000000000000000000
	• Pages		Perti	• • •		0.01 Topara 240 Topara	1000 TONH 2004						LOO Press	erry Pits 15_007 miny@ity 153_012 miny 153_012 miny 15	Procession and a first and a first and a first	PhaxY	Ph		•••		243.0	100 (100 - 1	Procession					L00 Perc		Private frame and the second s	Photo					L00 /re	
	Process		Prest	• • •		100 Team	1000 TOTAL						LOO Present	erey Pit) 15_007 15_	Processors and along a series and along a series and along a series and a series a s	P Photo: Phase Phase Phase Phase Phase Phase	• Ph	XY4	•••				Processor					LOBPercenter 2	2000 (1922)		Proof					000 Feet	and a start of the
	• mase		Preti-			100 Team	000 000 000 000 000 000 000 000 000 00						200 merec 200 me	eecy Proj la 3_007	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	PhaxY Phase Phaxe Phase	• • • •		· · · ·		245,6				Precision			1.00 Photos	anter Protocol	H H	Phase Phase					000 Fee	urrecy (%)
	rescription					243 243 243 243 243 243 243 243 243 243	(1971) (1971)						100 Press 20 100 Press 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20	erer PED 153_007 103_012 10	Processors and a for a final second and a for a final second and a formation and a final second a fin	Phaxe P	• Pro		•••		7requests () 2483_1 2483_4 2483_4 2483_4 2483_4				Prot			L.00 Prec	2000 (1922)	mate wate reco	Photo: Photo: Photo: Photo: Photo: Photo: Photo: Photo: Photo:					100 fm	
In the second se	• Proceeding of the second sec		Percet:			0.01 warm	0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000						LOO Frayers	erey Hito b3_007	Physics and	Photo: P	• • • •				2683_0		Prost P					LOBPere 20	20000 (M2 Mail 100 Ma		Phase Phase Phase Phase Phase Phase					1.00 fer 2	amery(40)
	• Photo Phot					1001marce	000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000						201700	eercy PED bis3_007	EN LA	PROV	• Pro		• • •		243.0 007 manny 243.1 007 manny 243.0 007 manny 243.0 007 manny							L09 Pierce 2 L09 Pierce 2 L00 Pierce 2 L00 Pierce 2 L00 Pierce 2	2007(12)20		Phase Phase Phase Phase					100 Firm	survey (40)
State store store and state store st	Pase Pas Pase Pase Pase Pase Pase Pase Pase		Proti			001 Present	100 kit 100 kit 100 kit 100 kit Prote work (20) 100 kit						LOD Press	erry PES 183_007		Place				eo1	243,0							L00 Piece 20 100 Piece 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20		out foot	Phase					100 / m	amiry (b)
	Place P					103 Pranta	1004 (1004) (100						LOD Press	erey P(0) is3_077	Not more and then a supervised and the supervised a	Phase Phase Phase	• • •											1.00 Pirec		west water (201) must water (201) must water (201)	Phase					00 /em 2 00 /em 2 100 /em 2 100 /em 2	areo (Hz)
	resolution r					0.01 Prosterior 100 P	Posts must (20) Posts Posts Po						100 Present	eery P(t) b3_007		PhaXY P	• • • •				2463_0							LOB Pre-			Preder Preder Phase					LOOPHING	ammer 400
	• Pace					203 Freedom 1	Proceeding (10) (10) (10) (10) (10) (10) (10) (10)	P P P P P P P P P P P P P P P P P P P					2010	erecy (Hz)		Phase	• Pr		· · ·		2433_0	Part and 200 [00]						1.00 Pire	20000/1920	Prest work (200)	• Pace						
	• Prace		Image: state			203 Parata	Protection (100 - 100 -						1.00 Press	ercy P(5) 143_007	Print Land Lifes	Phaxe					00/Framesor 268.2							L00 Piece			Phase Phase Phase Phase					000 Percent	uerry(Pit) ab3_0100 ab3_0100 ab3_0100 ab3_00000 ab3_
	Prace P					001 Presented in a constraint of a constraint	Proteinance (60) Protei							erey Proj la5_007	Proceeding and a constraint of the second and a constraint of	Plaxy Phase Plaxe					243,0							109 Pm 2	add 3,009		Processor Proces					000 fee	

REAL (P	Parkinson)		2da	3_001	Ì.	REAL (Parkinso	on)	2da3_0	02	REAL (Parkinson)	2da3_00	33	REAL (Parkinson)	2da3_004		REAL (Parkinson)	2	da3_00
			1												1			
0.75					0.75				0.7	5		1	175		0.75			
15			-		0.5		_			5		-12	0.5					-
0.25					0.25				03				125		0.25		_	
B.					30			,†11+	BOU			20P			B.			
Indu					uPLIT 0				- Inde	0		LI LI			In I			
\$25					\$25				- 8	8		- 5	125		\$2			-
4.6			-		-8.5		_	_		4		-	05		-44			-
0.75	_		_		-0.75		_	_	- 03				12		-075		_	
-1-min - Ja	in fairs fairs	LOG	Freque	ncy (Hz)		and burn her	1.1.1	LOG Frequency ()	Hz)	1-	LOG Frequency (h	2	-1	LOG Frequency (Hz			LOG Fre	quency (H
REAL (P	arkinson)		2də	3_006		REAL (Parkinso	on)	2da3_0	07	REAL (Parkinson)	2da3_0	08	REAL (Parkinson)	2da3_009	1	REAL (Parkinson)	2	da3_01
1									٦.						1			
0.75		-	-		0.75				0	10		- 2	175		0.75			-
0.5	_		-		0.5				-1-	1.5			0.5		0.0			-
0.25			_		0.25			_		20			126		0.25			_
					DOE .				DDE		1. 177	101			B00			
					JUM				MPL			L I I			MPLU			
8.16					20:25				-3	25-		18	125		3.25			
45		-	-		-0.5				-	10		-1-	45		-0.5			-
276	_	-	_		-0.75		_	-	-0	16			125		-0.75			_
					-1			_										
1	r - 1	LOG	Freque	ncy (Hz)		in prove	the second s	LOG Frequency	Hz)	1 1 1	LOG Frequency (F	Hz)		LOG Frequency (Hz			LOG Fre	quency (Ha
REAL (P	'arkinson)		2da	3_011		REAL (Parkinso	n)	2da3_0	12	REAL (Parkinson)	2da3_01	3	REAL (Parkinson)	2da3_014		REAL (Parkinson)	2	2da3_01
					0.75				0.7			10	0%		1 07			
0.5				-	0.5-				•	5			0.6			-	_	-
25	_	-	-	_	0.25-		_	_	0.2	s			28		0.2	s		-
					TUDE				DDE	-		1 m			Mag 1		-	
					nam			20	NPU			UBN		,,	nawn		,,	1
29					30.25				- 273			13	25		22			
5				-	-0.5-				-	8			0.5-		-	5		-
35	_		-	-	-0.75				-0.7	4		- 0	175		-0.7			-
1					-1-					, I						, 1		
		LOGP	reque	ncy (Hz)				LOG Frequency (I	(z)	1	LOG Frequency (H	2)	1 1 1	LOG Frequency (Hz		2 1 0	LOG Fre	quency (H
REAL (P	arkinson)		2da	3_016	1.	REAL (Parkinso	in)	2da3_0	17	REAL (Parkinson)	2da3_01	18	REAL (Parkinson)	2da3_019	2	REAL (Parkinson)	2	2da3_02
					0.75													
									1			T			1 ^{00/1}			
0.5					0.5-				1	5			0.5		0.5			-
25		+ +	-		0.25-				0	16		-	28		0.25			-
0					DUC .			-Ini-	- E			Ē			E S			
		1	1		NMP			111	1dWF		1.1	I ONT			IdWW.		1	1
												T,						
05					-45-				1	15			45		-8.5			
125-		+ +	-	-	-0.75-				-0	10			075		-0.75		++-	-
					-1-	ŧ			1				1	- <u> </u>	J .,	· •		-
		LOGE	teque	nov (Hz)				LOG Frequency (Hz)	and the second	10G Fragmency /h			LOG Frequency (Hz	41.1	A CONTRACTOR OF A CONTRACTOR O	LOG Fre	maney (H

Modèle 1(b) :

A	pare	nt Re	esistivit	ty	_		2da4_(001	A	pparent	Resi	stivity			24	la4_002		Appa	rent Re	sistivity	-	-	2d	a4_003		Appa	rent Re	isistivit)	(2d	a4_004	1	Appar	rent Re	sistivit	r	_	2	ia4_0
	•••						° .	LOG RHO (OHM-III)		,		.•*	5 °	• • •	• • • •		LOG RHO (OHILHI)	***					• • • •		LOG RHO (CHMM)					•••	••••	*	4 3 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	**					••••	+
	boXY pare	O nt Re	RhoYX esistivit	av line		LOG	frequency 2da4_((H2) 006		RhoXY	O Ra	oYX		LC	iG Frequ 2d	a4_007		• Rhol	Y D ent Rei	RhoYX		E	DG Frequ 2da	sency (Hz) 04_008	-1-	• Rho)	y O	RhoYX			DG Frequ 2d	ency (Hz) a4_009	,	RhoX Appa	ty O rent Re	RhoYX	, ,) GG Free 20	uency ta4_
and round round round round	•••							LOG RHO (CHILM)	America Americ	•••	•		6 e 9		• • •		LOG RHO (CHIMM)	••			, ð a	000	° ° ° °		LOG RHO (CHMM)		• • •				• • •		LOG RHO (CHMM)	**			. 6 0		• • •	
	noXY ppare	O nt Re	RheYX	a		LOG	Frequency 2da4_1	011		8hoXY pparent	O Rh Resi	orx		LC	G Frequ	ency (Hz) (a4_012	-1.	RhoX Appar	r 0 I	theYX sistivity	- 	LC	G Freque	a4_013	-1-	• RhoX Appar	y o	RhoYX Sistivity			3 DG Frequ 2d	3 ency (Hz) a4_014		RhoX Appar	Y O Y O	RhoYX		10	IG Freq 20	sency la4_
a second a s	•					•	•	LOG RHO (OHM-M)	Same Frank Parts						• • • •	*	LOG RHO (OHM:N)	••			6 ^{6 6}	• • •	• • • •		LOG RHO (OHMU)	•••	• • •			4 ° °	• • •		LOG RHO (CHM-N)	**				••••	• • •	-
	boxy pare	0 nt Re	RheYX esistivit	by		LOG	Frequency 2da4_((Hz) 016		RhoXY pparent	⊖ Re Resi	oYX stirity		LC	G Freq. 2d	iency (Hz) la4_017		RhoX Appai	Y OI	RhoYX			5 XG Frequ 2d	a4_018	-1-	RhoX Appai	Y O	RhoYX)G Frequ 2d	3 ency (Hz) a4_019	-1-	RhoX Appar	Y D	RheYX	 /	10	iG Freq 21	ienc) la4
	••							LOG RHO (CHILM)	Same and and and	••••	•	, • °		• • •	• • •	-	W-WHO/OHH SOT	++					• • •		LOG RHO (OHM-M)						000		LOG RHO (OHILM)	**	• • •				• • •	-
	.,		-	-					and fame																-1				6			5	-1	L						4





	Appar	ent Re	sistivity		20	a2_001	-	Apparent	t Resistiv	rity		2da2_	002	App	arent Resi	stivity		2da2_(003	Appa	rent Resi	stivity			2da2_00	4	Appar	rent Re	sistrity				
																				1						1							
																				-							1						
	1																			1							1						
(1-11)							(11-11)				Î	0	19-10				000		01-10				8 9 °	°.		01-11				2.0	• •	8	
00					0		0)01				1.	0	0.0				8	0	0.0	-			1.			00						0	
80				- 8	•		00 1				322	°.	00 84				- 35	0	800					4	° .	48.00						0	
												31.3	1					100	7					1.	-	11					1		
																											-						
					_															1							1						
	• Rhox	Y DI	RhoYX		LOG Frea	ancy (Hz)	-	RhoXY	O RhoYX	< -	1 is	CG Frequency	(Hz)	+ Rhc	XY DR	aYX	LO	G Frequency	(Hz)	· Rholl	Y OR	wYX	- å	LOG Fr	guency (H		· RhoX	Y OI	theYX	1	LOG	Frequet	ncy (Hz)
	- ranks		100774													VIN.							_										
	Appa	rent Re	esistivity	<u> </u>	2	da2_006		Apparent	t Resistiv	nty	-	2da2_	007	Appa	arent Resis	tivity		2da2_0	08	Appar	ent Resi	stivity			2da2_00		Appare	ent Res	istivity			2da2	_010
														1																			- 1
W-W		1		8.00	•		(W-W)			8		0	(W-W)			9	• • •	32	(01-10)				800	•		(11-11)							
0.0	1				0		10 (01				1.	٥	¢ ¢						0.0					.8.		HO O				1		0	
00 B	1						800				÷.,	•	8				<u></u>	•	890	6			10		°	20 BF				8		9	. 1
-							20						1					13.00	712							12.2							
																																	- 1
	1													1						1													
	. Pho	N O	Photo	1	LOG Free	Liency (Hz)	1-	- Photy	ORLYS		1	G Francisco	(Hrs)	. Pho	IV OR	www.	100	Frequency (Hzi	1	V D.84		a dest	LOG Fre	aware da					j	1001	Inventor	
-	Appar	ent Re	sistivity		20	a2 011	-	Apparent	Resistivit	h TY	0	2da2 0	12	Appa	rent Resis	tivity	200	2da2 0	13	Appar	ent Resi	stivity		LUGINE	da2 014		Appar	ent Res	istivity		100	2da2	2_015
	_	1					1							-					1	1				1		1							
							-			-										3							-						
			+ + + +	0 8 0 0	0			****	****	909			- 8	2	+ • • •	0000		_		3		****	200	0	-	ŝ				2.0	00		
CHM-							CHIR				1.1	0	OHM-				i		OH4							OHM				2	ľ		
RHO				8			1 10				1		RHO	1			2	.0	RHO				9		>	3 RHO				1	8	0	
100	-	-	-		-		8 z.	-					10	2	+			-	18	2	\vdash		-	-	+	101 2		-				. 1	
							1				1			1										1									
	1													1												11	1						
	L		-	ļ			1	-		-				, L	-		ļ			, L	ļ		-	-	-	1	L.,		ļ	-			
	• RhoX	Y O	RhoYX		LOG Freq	iency (Hz)		RhoXY	O RhoYX		LO	G Frequency (Hz)	• Rho)	(Y O Rho	YX	LOG	Frequency (Hz)	 RhoX 	Y ORh	oYX		LOG Fre	quency (Hz		 RhoX[*] 	Y DF	thoYX		LOG	Frequen	icy (Hz)
1	Appare	ent Res	sistivity		2d	92_016	4	Apparent	Resistivit	ty		2da2_0	17	Appa	arent Resis	tivity		2da2_0	18	Appar	rent Resi	stivity		-	2da2_01	2	Appar	rent Re	sistivity		_	2da2	2_020
1																																	
													_							1				0	_								_
HILMO				8 4	•		î i			· ·	1		UN-PH			8	1		HILM				Ť.	۰		HILLIN				, i	1		
00				1	2		100				1	2	0.04	1			5	9	9	1			28	0		0.0					2	•	
OG R							8				120	•	8				- 22	•	8					2	Ň.,	890					- 54		
1.0					1.1		1						1-	1				200	٦,	1				10	* •	1111							
								8																									
							1							1						1													
		0	RhoYX	4	LOG Frequ	ency (Hz)		BhoXY	O RhoYX	-	LO	G Frequency (Hz)	· Rhoi	XY ORb	YX	LOG	3 Frequency (H2)	• RhoX	Y OR	wYX	1	LOG Fr	quency (Ha	31.1	• RhoX	Y 01	thoYX	- A	LOG	Freques	ncy (Hz)
1	 maoA1 						_					24-2.6	02					2462.0	03	Dhare				1	da2_004	1	Phase					2da2	2_005
	Phase	8			20	1a2_001		Phase				2092_0	02	Phas	e			2082_0	100	1.110.04													
1	Phase	e			•	1a2_001	1	Phase			•••	2082_0	Ĩ	Phas	e		•••	2082_0		-			. • •	•							•••		
1	Phase	B		· · ·	••••	1a2_001		Phase			•••			Phas			•••	•••					• • •	•						•	•••		
	Phase	••••			••••	ta2_001		••••	••••	•	•••	••••		Phas			•••	•••				••••	• •	•			•••			•••	•••	• • •	
	Phase	•••	•••		••••	ia2_001	EG)	• • • •			•••	••••		Phas	ж ••••		•••	•••	(0)	•	••••	••••	•••			201 2	•••		•••	•		•••	
GLE (DEG)	Phase	•••	•••		••••	•	GLE (DEG)	••••		•	•••	2082_0	GLE (DEG)	Phas	••••			•••	GLE (DEG)		••••	•	•••	•		QLE (DEG)	•••			•••		•	
SE AVGLE (DEG)	Phase		•••		••••	•	se avidLe (DEG)	Phase · · · ·			•••		SE ANGLE (DEG)	Phas	••••	••••	•••	•••	SE ANGLE (DEG)		••••	•••	•••			SE ANGLE (DEG)	•••			•••		•••	
PHASE ANGLE (DEG)	Phase	••••	•••			•	PHASE ANGLE (DEG)	••••	••••		•••		PHASE ANGLE (DEG)	Phas	••••		•••		PHASE ANGLE (DEG)	++			•••			PHASE ANGLE (DEG)					•		
PHASE AWGLE (DEG)	Phase	•	•••			ia2_001	PHASE ANGLE (DEG)	••••			·		PHASE AWSLE (DEG)	Phas	e				PHASE ANGLE (DEG)					•		PHASE ANGLE (DEG)						••••	0
PHASE ANGLE (DEG)	Phase	••••	•••			ia2_001	PHASE ANGLE (DEG)	•••••			•••		PHASE AWSLE (DEG)	Phas	e ••••		···.		PHASE ANGLE (DEG)			••••	•••	•	•	PHASE AVOLE (DEG)	•••						0
PHASE AWSLE (DEG)	Phase	• • •	•••		20 •••••	ia2_001	PHASE ANGLE (DEG)	•••••		•	•••		PHASE ANGLE (DEG)	Phas	e ••••	····			PHASE ANGLE (DEG)			••••	•	••••	•	PHASE ANOLE (DEG)	•••				•••	•••	
PHASE AVOLE (DEG)	Phase Phase Phase Phase Phase	9 • • • •	PhsYX	·····	LOG Freq	ia2_001	PHASE ANGLE (DEG)	Phase	Phsyx	•	· · ·	2042 C	E FILL FILL S	Phas		· · ·			E PHASE AVGLE (DEG)	• PhsX	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	••••	•	· · ·	auency (Hz	PHASE ANGLE (DEG)	PhsXY	•••	hsYX	•••	•••	• • •	cy (Hz)
HASE MIGLE (DEG)	Phase Phase Phase	9 • • •	PhsYX		20	ia2_001	PHASE ANGLE (DEG)	Phase	Phs YX	•	 	20420	20 IE HARSE (DEC)	Phas Phas Phas Phas	 	· · ·	LOG	··· ··· ···	90 E PHASE ANGLE (DEG)	• PhsX	r IPh	•••••	•	LOG Fre	quercy (Hz	PHASE ANOLE (DEG)	Phase	•••	hsYX	•••	••••	••• ••• Frequence 2da2	cy (Hz)
PHASE AVOLE (DEG)	Phase	9 • • •	PinYX	·····	LOG Freg	ia2_001	PHASE ANGLE (DEG)	Phase	PhsyX	· · · ·	 	20420	(500) STANTE (Stant) Republic	Phas	Ne Phr	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·		s Frequency (2da2_0	800 RF	• Phsk	r Pb	• • •	•••	LOG Fre	apency (Hz	PHASE ANGLE (DEG)	PesXy Phase		hsyX	···		Frequence 2da2	cy (Hz)
PHAGE ANGLE (DEG)	Phase	е • • • • • • • • • •	Phi/X	·····	22	ia2_001	AHASE ANGLE (DEG)	Phase	Phsyx	· · ·		20820	DO DE TRANSTE (DEC)	Phase Ph	e V V V E Phr	×× · ·	···	Prequency (90 G PHASE ANGLE (DEG)	PhtX Phtx	× • • • • • • • • • • • • • • • • • • •	syx	•••	LOG Fre	juency (Hz bda2_009	PHASE ANGLE (DEG)	PhsXY Phase		hsYX	•••		Frequence 2da2	ey (Hz)
60 UPHYSE HIVE DEGI	Phase	9 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	PhaYX		LOG Freq	ia2_001	G PHASE ANGLE (DEG)	Phase	PhaYX	•		20320 G Frequency 20321	SZ (SEC) (SE	Phase Ph	KY Phr	чх ••••••	···	s Frequency (2da2_0	a) 80 RT FMASE AVALE (DEG)	Phase	Ý Ph	••••	· • •	LOG Fre	auency (Hz bda2_005	D PHASE ANOLE (DEG)	Phase	· · · ·	hsyx	••••	LOG	Frequence 2da2	ey (Hz)
E (DEG)	Phase P	е • • • • •	PhilyX		22	ia2_001	LE (DEG)	Phase	Phytx	•		3 Frequency	E (DEG) 20 R PHASE ANCLE (DEG)	Phase Ph	e Vite Vite Phr ie	YX		Sfrequency (E (DEG) (7 PHASE ANGLE (DEG)	• Pht/	р у Ш Ра е	syx	· • •	LOG Fre	guency (Hz	E (DEG) PHASE ANGLE (DEG)	Phaxer	r ∎ P	heYX	•••	· · ·	Frequence 2da2	ey (Hz)
ANGLE (DEG)	Phase	9 7 9	Phayx		22	ia2_001	EANGLE (DEG)	Phase	Phi YX	· · ·		2da2_c	ANGLE (DEG) 127 PHASE ANGLE (DEG)	Phase	ký Photos	YX		S Frequency (And Le (DEc) 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	• Phs/	Y BPh	чч чч чч	•••	LOG Fre	quency (Hz	- MIGLE (DEG)	Phase		hsyx	•••	LOG	Prequence 2da2	ey (H2)
HAASE ANGLE (DEG)	Phase	P 	Phayx		22	ea2_001	PHASE ANGLE (DEG)	Phase	Philyx	· · ·		2da2_c	Hase andre (Dec)	Phase	e v v m n n n n n n n n n n n n n	YX		Prequency (VASE ANGLE (DEG)	Philip	Y Ph	ו••	•••		juercy (Hz	HARE ANGLE (DEG)	Phaxe		heYX	· •	···		ey (Hz)
PHASE AVICLE (DEG)	Phase P	9 7 9 9	Phi YX		22	182_001	PHASE ANGLE (DEG)	Phase	Pho1X	· · · ·		2042_0	PHASE ANGLE (DEG)	Phase	₩	чх.		s frequency (PHASE ANCLE (DEG) 8 (7 PHASE ANCLE (DEG)	Phase	r • Ph	· · ·	•••	LOG Fre	quency (Hz	PHASE MIGLE (DEG)	Phaxe	• • •	heYX	· · ·	LOG	Prequent	ey (Hz)
A PHASE AVICLE (DEG)	Phase	9 7 9 9	Phi YX		22	ela2_001	PHASE ANGLE (DEG)	Phase	PhaYX			20320	PHASE ANGLE (DEG)	Phase	е 	YX.		s Frequency (PHASE ANGLE (DEG) 00 (7 PHASE ANGLE (DEG)	• • • • • • • • • • • • • • • • • • •	r • Ph	×7X		LOG Fre	apency (Hz and a state of the s	PHASE ANGLE (DEG)	Phase	• • • •	heYX	· · ·	LOG	····	cy (Hz)
A PHASE ANGLE (DEG)	Phase	9 7 7 9	PPn/VX	····	22 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	ea2_001	PHASE ANGLE (DEG)	Phase	 PistX. 			20020	Phase Andre (Dec)	Phase	¢	YX.		s Frequency (PHASE ANGLE (DEG) 0 7 PHASE ANGLE (DEG)	• Phase	× ■ Ph + + + + + + + + + + + + + + + + + + +	····		LOG Fre	20ency (Hz	FHASE ANGLE (DEG)	Phase		hayx	•••	LOS	Prequence 2da2	cy (Hz)
A PHASE ANGLE (DEG)	Phase	9 3 7 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9	Pin/YX		22 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	eeroy (tb)	PHASE ANGLE (DEG)	Phase	 Pini YX Pini YX Pini YX Pini YX 			2002020	3 Phase Antoire (DEG) 200 37 Phase Antoire (DEG) 200 200 200	Phase		YX.		Frequency (R 00 00 0 PHASE ANGLE (DEG) 0 0 0	Phase P	Y Ph			LOG Fre	apency (Hz a	FHASE MIGLE (DEG)	Phase		hsYX	•••	LOG	Frequence 2da2	ey (Hz)
A PHASE AVICLE (DEG)	Phase	9 7 7 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9	PhyX		22 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	ela2_001	PHASE ANOLE (DEG)	Phase	PhaYX PhaYX PhaYX PhaYX			200.20	121 33 HALSE ANGLE DEG) 700 34 HALSE ANGLE (DEG)	Phase		YX		Pregency (2da2_0	90 L L L L L L L L L L L L L L L L L L L	Phase P	Y Ph	XYe			apency (Hz and a second	PHASE MUGLE (DEG)	PhsXv Phase	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	hsYX	•••	LOG	Frequence Prequest	oy (Hz) 2_010
A PHASE ANCLE (DEG)	Phase		PheYX		22 22 22 22 22 22 22 22 22 22 22 22 22	ea2_001	PHASE ANGLE (DEG)	Phase Phase Phase Phase	PhilyX PhilyX PhilyX PhilyX PhilyX			2002_0	111 91 91 111 1111 1111 1111 1111 1111	Phase		чүх.		i frequency (y	901 E HASE ANGLE (DEG) 001 E HASE ANGLE (DEG)	Phase	Y Ph	XYX			2000 y 100 y	FHASE ANGLE (DEG)	PhsXv Phase	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	hsYX		LOG	Frequence Frequence	ey (He) 2_010
AHASE ANCLE (DEG)	Phase		PhilyX PhilyX		22 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 2	isa_001	PHASE ANGLE (DEG)	Phase Phase Phase Phase Phase Phase Phase	PhaYX PhaYX PhaYX			20020	11 31 33 Horse Andre Greek	Phase	e 	YX		2da2_0	日本 1	Phase P	Y Ph	× v	•••	LOG Fre	avency (Hz da2_006	PHASE ANOLE (DEG)	Phaxy Phase		hoYX	· •	LOG	Frequence 2da2	ey (Hz) 2_010
A PHASE ANCAE (DEG)	Phase	9 7 7 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9	PhyX PhyX		22 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	ea2_001	PHASE ANGLE (DEG)	Phase	PhyXX			200	21 31 35 Horse Andre Greek	Phase		YX.		2020	日本 1	Phase P	Y Pa	XYV		LOG Fre	aversy (RE aversy (RE) aversy (R	HARE ANGLE (DEG)	Phaxy Phase		hoYX	· • •	LOG	Frequence 2da2	6y (Hz) 2_010
DEG PHASE ANGLE (DEG) PHASE ANGLE (DEG)	Phase Phase Phase Phase Phase Phase Phase	9 7 7 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9	PinYX		22 22 22 22 22 22 22 22 22 22 22 22 22	ia2_001	DEGIO	Phase	Phy VX Phy V Phy V Phy VX Phy V Phy V Phy V			2012	0.60 HHY2E (1000 H	Phase		YX		Prequety (2da2_0	050) [2] [2] [3] [4] [4] [5] [6] [6] [6] [6] [6] [6] [6] [6] [6] [6	Phase Phase	y B Pa	××××		LOG Fre	percy (Hz Color	DEG)	Phase	· • • •	haYX	· • •		Frequence 2da2	cy (Hz)
GIE (DEG) ANALE ANGLE (DEG) ANALE (DEG)	Phase P	9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9	PhilyX		22 22 22 22 22 22 22 22 22 22 22 22 22	ea2_001	PHASE ANGLE (DEG)	Phase Phase Phase Phase	PhaYX P			2002	GLE DEGO 121 33 0 000 000 000 000 000 000 000 000 0	Phase				202_0	(all (refo)) (clic) c	Phase	Y Ph	×14		LOG Fre	apersoy (HE data 2,000	INCLE (DEG) HHISE MIGLE (DEG) HHISE MIGLE (DEG)	Phase	· • •	haYX	···	L09		oy (Hz) 2_010 0
SE ANGLE (DEG) BHASE ANGLE (DEG) BHASE ANGLE (DEG)	Phase P	9 9 7 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9	Phi/X		22	ia2_001	ISE ANGLE (DEG)	Phase	Pistx Pistx			2012	25 MIGLE (DEG) 511 (3 5 MIGLE (DEG) 70 (3 4 MI	Phase		YX.		2002_0	12 12 12 12 12 12 12 12 12 12 12 12 12 1	Phase	Y Ph	×100	•••		apency (Hz Cost	SE MIGLE (DEG) PHASE MIGLE (DEG) PHASE MIGLE (DEG)	PhaXV Phase Phase		hsYX			Frequence 2da2 Frequence 2da2	ey (Hz) 2010
PHAGE ANGLE (DEG) PHAGE ANGLE (DEG) PHAGE ANGLE (DEG)	Phase	9 9 7 7 9 9 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	PhyX		22	12_001	PHASE AVGLE (DEG) PHASE AVGLE (DEG) PHASE AVGLE (DEG)	Phase	PhyXX P			201	PHASE ANGLE (DEG) PHASE ANGLE (DEG) 200 [2] 7 (2) [2] 7 (2) (2) (2) (2) (2) (2) (2) (2) (2) (2)	Phase Ph				202.0 Frequency (202.0 Frequency (202.0 	Fluxe Physics	Phase	Y Ph	• • • • • • • • • • • • • • • • • • •			apency (Hz 2006	PHASE ANGLE (DEG)	PhsXV Phase Phase		hsYX	···		Frequent 2da2	ey (Hz) 2010
PHASE ANDLE (DEG) PHASE ANDLE (DEG) PHASE ANDLE (DEG)	Phase	9 Y Y 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	Prevyx		22 22	ea2_001	PHASE AVOLE (DEG) PHASE AVOLE (DEG)	Phase Phase Phase Phase	Phi 12			2010	PHASE ANGLE (DEG) 21/1 (3) (3) (3) (4) (4) (4) (4) (4) (4) (4) (4) (4) (4	Phase		VX.		i Frequescy (or 100 million of 100 m	H-H-SE MIGE 0660 80 년 년 80 87 87 87 87 87 87 87 87 87 87 87 87 87	Phase	Y PP	XY		LOG Pre LOG Pre LOG Pre	gency (H2Ca)	PHASE ANGLE (DEG)	PlaXV Phase					Frequence 2da2	ey (He) 2010
5 PHASE ANIGLE (DEG) 5 PHASE ANIGLE (DEG) 6 PHASE ANIGLE (DEG) 7	Phase		Pm/X		22 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	exercy (Hz)	PHASE ANGLE (DEG) PHASE ANGLE (DEG)	Phase P	Phi/X Phi/X Phi/X			2014	PHASE ANGLE (DEG) 21(1) (3) (4) (4) (4) (4) (4) (4) (4) (4) (4) (4	Phase Phase				2442_0	90 £ 100 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1	Phase	Y Ph	••••••••••••••••••••••••••••••••••••••		LOG Pre LOG Pre LOG Pre LOG Pre .	apency /HE/C	PHASE ANOLE (DEG)	PlaxView Provide Control of Cont		hsYX	····		Frequence 2da2	ey (Heo 2,010
PHASE ANGLE (DEG) ANGLE ANGLE (DEG) ANGLE (DEG)	Phase		PmvX PmvX		22 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	12_001	PHASE ANGLE (DEG) PHASE ANGLE (DEG) PHASE ANGLE (DEG)	Phase	• Piavx			2012	5-2 30 30 50 50 50 50 50 50 50 50 50 50 50 50 50	Phase Phase	¢			5 Progency (2 de2_0	HAVE MARE (664) [2] [3] [3] [3] [3] [3] [3] [3] [3] [3] [3	Phase	Y P	×vv		· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	2000 000 000 000 000 000 000 000 000 00	PHASE MODE (DEG)	Phase				· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	Frequences	ey (HE) 2_010 ey (HE) 2_015
PHASE MIGLE (DEG) PHASE MIGLE (DEG) PHASE MIGLE (DEG)	Phase		PPinYX		22 22 22 22 22 22 22 22 22 22 22 22 22	sa_001	PHASE AVGLE (DEG)	Phase P	Pasyz			2010-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0	22 2 22 2 2 2 2 2 2	Phase Ph				S Pregency (0 8 1	Phase Past Phase Ph	Y P2	xyye		LOG Fre LOG Fre	apency (HE Kalanga)	PHASE ANGLE (DEG)	Phase		heyx	•••		Frequences	cy (Hz)
PHAGE MIGLE (DEG)	Phase P		Philip Ph		22 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	erecy (tb)	Physics Model (1966) Physics Model (1960) Physics	Phase	PisYX			2004	24 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30	Phase				Prequety (2482,0	3 (2 House and a construction of the second	Phase Phase Phase Phase Phase Phase Phase Phase	Y Ph				aparency (Hz da 2,000	PHASE AVOILE (DEG)	Phase		hsYX	····		Frequence 2da2 Frequence 2da2 	ey (He) 2_010
BHAGE ANGLE (DEG) BHAGE ANGLE (DEG) BHAGE ANGLE (DEG)	Phase		Phyx Phyx Phyx Phyx Phyx Phyx		22 103 Prec 2 103 Prec 103 Prec	ea2_001	Phase and/le roles Phase	Phase Phase Phase Phase Phase Phase Phase Phase	PiaYX PiaYX PiaYX			2004	Comparison of the second	Phase Phase Phase Phase Phase Phase Phase				5 Presetty 10 5 Pres	03 04 04 04 04 04 03 04 04 04 04 04 04	Prost P	Y PR	XY4			apency (He and a construction of the apency	PHASE ANGLE (DEG) PHASE ANGLE (DEG) PHASE ANGLE (DEG)	Plazv Phase Plazv Phase Plazv Phase Plazv Phase Plazv					Frequence 2da2	ey (Heo 2_010
Physics Miglie (1969 Andre (1960 Andre (1960 Andre (1969 Andre (1960 Andre (19	Phase P	9 Y Y 9 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	Philip Ph		22 22	Ind_001	PHASE ANDLE (DEG) PHASE ANDLE (DEG) PHASE ANDLE (DEG) PHASE ANDLE (DEG)	Place P	Pie/X Pie/X			2042_1	Comparison of the second	Phase				5 Freesey 2 2002 0 5 Freesey 2 5 Free	31 32 PMASE MODE (056) 301 7 PMASE MODE (056) 101 101 PMASE MODE (056) 901 7 PMASE MODE (056)	• Phase	Y PR	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·		. .	atemp (Hz	PHASE MICLE (DEG)	Phase			···		Frequence 2da2	ey (Hz)
PHASE ANGLE (DEG) PHASE ANGLE (DEG) PHASE ANGLE (DEG)	Phase Phase		PPaYX PPaYX PPaYX PPaYX PPaYX PPaYX		22 22 22 22 22 22 22 22 22 22 22 22 22	Ind_001	60 PHASE MALE (DEG) PHASE MALE (DEG) PHASE MALE (DEG) PHASE MALE (DEG)	Phase	Pravyx Pravyx Pravyx Pravyx Pravyx Pravyx			2014	22 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30	Phase					BI (3) House Ansie (66) Ist (3) House Ansie (66) Section (15) Sect	Phase Phase Phase		· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·			apency //E	DI PHASE MICHE (DEG)	Phase Phase Phase			···	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	Frequence 2da2	ey (HE) 2_010 5_015 5_015 5_020
E OEGO E PHASE MIGLE (DEGO	Phase Phase Phase Phase Phase Phase		Phyx Phyx Phyx		22 22	Ind_001	LE DOGIO	Phase	Pis/X Pis/X Pis/X Pis/X			2004	202 100 100 100 100 100 100 100 100 100	Phase Ph				Firegency Progency Progency Progency Progency Progency Progency Progency Progency Progency	ELEGE 0 2 2 2 100 2 2 100 2 2 100 2 2 100 2 2 100 2 2 100 2 2 100 2 2 100 2 2 100 2 2 100	Prost P	Y PP				apency (Hz College)	E (DEG) PHASE ANGLE (DEG) PHASE ANGLE (DEG) PHASE ANGLE (DEG)	PisSY Phase P		haYX	····		Frequence 2da2	ey (Hes) 2,010
MULEIOCO E PHOSE PHOSE PHOSE MULEIOCO E PHOSE MULEIOCO E PHOSE MULEIOCO E	Phase	9 7 7 7 9 9 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	Pravx		22 22 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 2	execy (%)	ANALE LUESI PHASE ANALE LUESI PHASE LUESI PHASE ANALE LUESI PHASE ANALE LUESI PHASE ANALE LUESI PHASE ANALE LUESI	Phase	Pravtx			2042_0	4/04 (46) 11 (3) 4/04 (46) 12 (3) 5 (4) 14 (40) 12 (4) 12 (4) 14 (40) 12 (4) 14 (40) 12 (40) 12 (4) 14 (40) 12 (40) 12 (4) 14 (40) 12 (40) 12 (4) 14 (40) 12 (40) 12 (4) 14 (40) 12 (40) 12 (4) 14 (40) 12 (40) 12 (4) 14 (40) 12 (40)	Phase Ph					Mist 069 81 67 940 100 80 67 940 100 80 67 940 100 80 67 940 100 80 67 940 100 80 67 940 100 80 67 940 100 80 67 940 100 80 80 67 940 100 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 8	Prase P	Y P	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·			apency //tka apency //tka ap	AUGLE (DEG) PHASE ANGLE (DEG) PHASE ANGLE (DEG)						Prequess 2da22 2da2 2da2 2da2 2da2 2da2	cy (HE) 2_010 2_010 2_015 2_015 2_020
ARE MORE (DEG) BHARE MORE (DEG) BHARE MORE (DEG) BHARE MORE (DEG) BHARE MORE (DEG)	Phase		PrivX		22 100 Preg 100 Preg 2 100 Preg 2 100 Preg 2 100 Preg	ena_001	HALS AND LOFON HALS LAND DE PHASE ROTON PHASE ROTON PHASE RANGE DEGO PHASE AND LOFON PHASE RANGE DEGO PHASE RANGE DEGO	Phake P	PRAYX PRAYX PRAYX PRAYX PRAYX PRAYX			2014	12 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	Phase Ph					Must weak (266 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	Practice	Y PP			LOG Pre- LOG Pre-	apency (Hz Construction of the second of the	HASE MIGLE (260) HASE MIGLE (260)	PlaxV Phase				· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	Frequence 2da2	or (He) 2010 0100 2010 0100 2010 0100 0000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 00
PHAGE MIQLE (DEG) PHAGE MIGLE (DEG) PHAGE PHAGE PHAGE (DEG) PHAGE PHAGE PHAGE PHAGE (DEG) PHAGE	Phase		ProvX		22 22 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 2	eac_601	Muse Andra (Deo) Phase Andra (Deo) Phase Andra (Deo) Phase Andra (Deo)	Place	Pis/X Pis/X Pis/X Pis/X Pis/X			2014	20 20	Phase Phase Phase Phase Phase Phase Phase				Prequesty (2de2,0	Huse wate trees 0 0 0 0 must wrate trees 0 0 0 0 must wrate trees 0 0 0 must wrate trees 0 0 0 must wrate trees	Phase P				Log Pre L	apensy (RE 2014	PHASE MIGLE (DEG)	Piaxe Piaxe Piaxe Piaxe					Frequence 2da2	ey (Hd)
PHAGE MIGE (PEG) PHAGE P	Phase		ProvX		22 22 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 2	execy (%)	Phote Amble cross	Phase	Pasyz			2042_0		Phase				frigancy frigency	Private fielde Private	Phase P		XYa XYa XYa XYa XYa XYa XYa XYa			avery PEC	HAUE MIGLE (DEG)	Phase				· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	Frequences	ey (He) 2_010
Phote mide (DE0) Phote	Phase P		PReYX		22 22 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 2	Ba2_001	Phote Andle (DE6) Phote Andle (DE6) Phote Andle (DE6) Phote Andle (DE6)	Phase	PharXX			2014	Marce avec reco	Phase				2002_0	PHAGE ANGE (EGG) [2] [3] [3] [4] [4] [4] [4] [4] [4] [4] [4] [4] [4		Y PPOT POT POT POT POT POT POT POT POT POT				aparency (HE data 2009	PHASE MICLE (DEG)	Phase					Frequences	ey (Hz) 2_010



Modèle ICC :





Modèle ACC-I :





Modèle ACC-II:



REAL (Parkinson)	anis3_009	REAL (Parkinson)	anis3_010	REAL (Parkinson)	anis3_011
0.75		0.76		0.76	
0.25		0.25- 0.000 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	····	0.25- 0.000 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	
45		-0.75		-0.75	
-1	LOG Frequency (Hz)	, L	LOG Frequency (Hz)	<u>1</u>	LOG Frequency (Hz

Modèle 5 :



Références bibliographiques

[1]Bouzid Abderrezak, cours MT

[2] Alan G. Jones, Distortion decomposition of the magnetotelluric impedance tensors from a

one-dimensional anisotropic Earth, Dublin Institute for Advanced Studies, 5 Merrion Square,

Dublin 2, Ireland. E-mail: alan@cp.dias.ie

[3] Wiebke Heise and Jaume Pous, Effects of anisotropy on the two-dimensionalinversion procedure, Departament de Geodina`mica i Geofi´sica, Universitat de Barcelona, Martı´ i Franque`s s /n, 08028 Barcelona, Spain. E-mail: <u>wiebke@geo.ub.es</u>

[4] Mark N. BERDICHEVSKY and Pavel Yu.PUSHKAREV, Are the crustal and mantle conductive zones isotropic or anisotropic? Geological Department, Moscow State UniversityLeninskie Gory 1, 1992 Moscow, Russia e-mail: <u>mark.berd@mtu-net.ru</u>

[5]Chou ting-kuei, mémoire sur Magnetotelluric prospecting in the matagami mining camp, département des génies civil, géologique et des mines école polytechnique de montréal, © Ting-Kuei Chou, 2010.

[6] Federica Daghia- Lionel Gendre, Modélisation du comportement des composites : L'elasticité anisotrope, Universite Paris-Saclay, Edité le 04/05/2011

[7]MAGATIE FAR! KANI NIANG, Interpretation de données Géophysique sur la structure profonde du bassin sédimentaire Sénégalals et sur la zone de socle au Sénégal oriental, *Mention Sciences (Géologie - Géophysique), le 30 Juin* 1995

[8] Yassine Abdelfettah, Inversion conjointe des données magnétotelluriques et

Gravimétriques: Application _à l'imagerie géophysique Crustale et mantellique, HAL Id: tel-00424413, <u>https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00424413</u>, Submitted on 15 Oct 2009

[9] HAJAR BELGHAZAL, Modélisation des aquifères thermaux avec des méthodes géophysiques intégrées, Sucuola di Dottorato di Ingegneria Civile Architettura Ecole Doctorale D'Ingénierie Civile et Architecture, Marzo/Mars 2012.