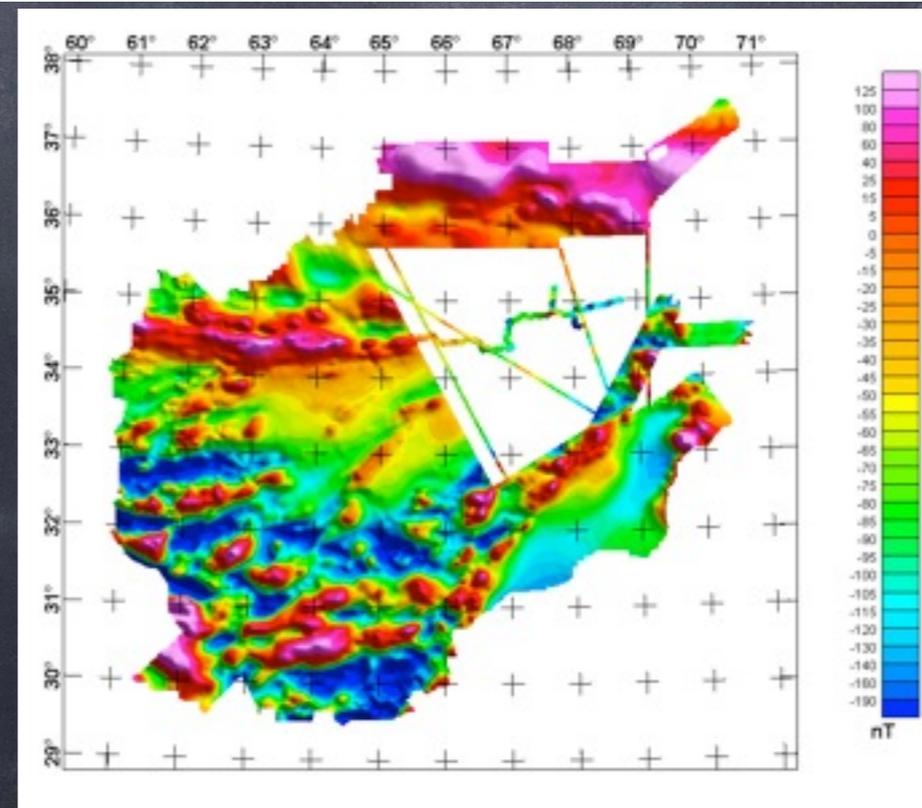
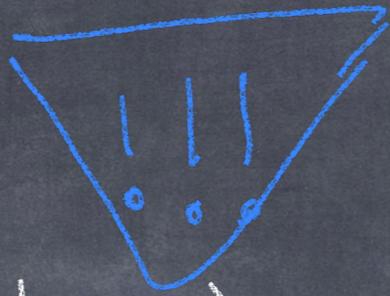


Chapitre 5: La prospection magnétique (Le champs crustal)



IMPORTANT



Rappel sur la philosophie de notre apprentissage
cette année concernant la partie magnétisme.

→ Les documents fournis ne sont pas
exhaustifs. Ils ne représentent en rien
un polycopié du cours qu'il vous faut
assimiler par cœur.

→ Ils servent juste à susciter une
recherche documentaire plus poussée de votre
part.

Soyez Réacti-ves-fs, Participati-ves-fs et
surtout restez curieu-ses-x.

5. La prospection magnétique (le champ crustal)

Le but : Il s'agit de mesurer très précisément le CMT pour localiser et caractériser des structures géologiques ou des objets artificiels dans le sous-sol ou sous la mer.

Localiser → On fait de la cartographie magnétique
imagerie

Caractériser → Interprétation, modélisation de cette cartographie.

5. La prospection magnétique (le champ crustal)

L'idée de base : Le CMT comporte des anomalies localisées, générées par des structures dans le sous-sol.

Anomalie : Écart à la normale.

Donc écart par rapport à un modèle (que l'on se fixe a priori).

Dans la cartographie magnétique (et géophysique en général) il y a toujours un a priori d'échelle qui dépend de l'objectif d'exploration.

5. La prospection magnétique (le champ crustal)

a priori d'échelle:

↳ La distinction entre champ normal et champ anormalique est **SUBJECTIVE**

Echelle géologique → ex: anomalies du plancher océanique

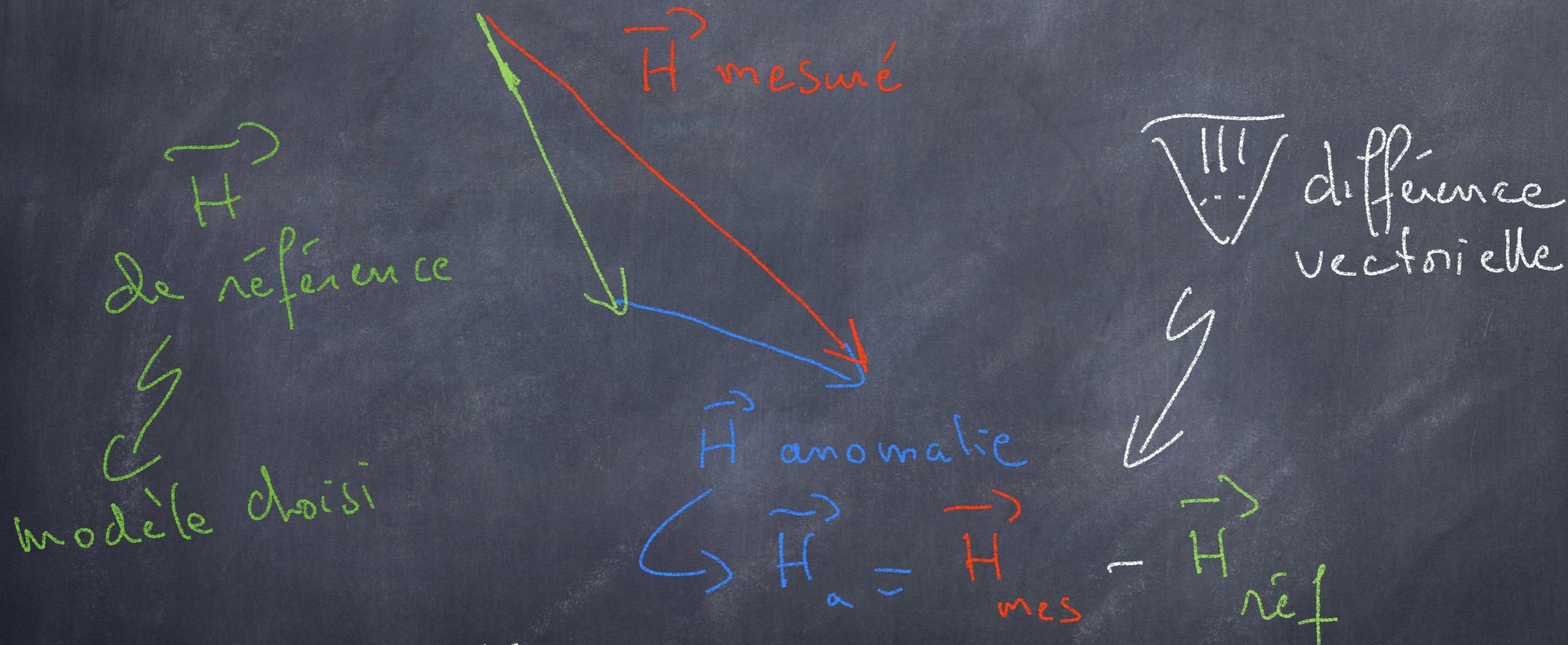
régionale → ex filon de minerai etc...

de l'hectare → ex Four antique sur un site archéologique.

etc...

5. La prospection magnétique (le champ crustal)

Attention aux vecteurs :



Un ou deux éléments du champ ne suffisent pas à définir complètement l'anomalie.

« L'anomalie de l'intensité n'est pas égale à l'intensité de l'anomalie »

Tous les calculs en magnétisme se font avec l'hypothèse d'un dipôle magnétique:

$$B_r = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2m}{r^3} \cos \theta$$

$$B_\theta = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{m}{r^3} \sin \theta$$

$$B_{\text{total}} = \sqrt{B_r^2 + B_\theta^2}$$

5. La prospection magnétique (le champ crustal)

Attention à l'aimantation induite : toujours présente

Quantifiée par :

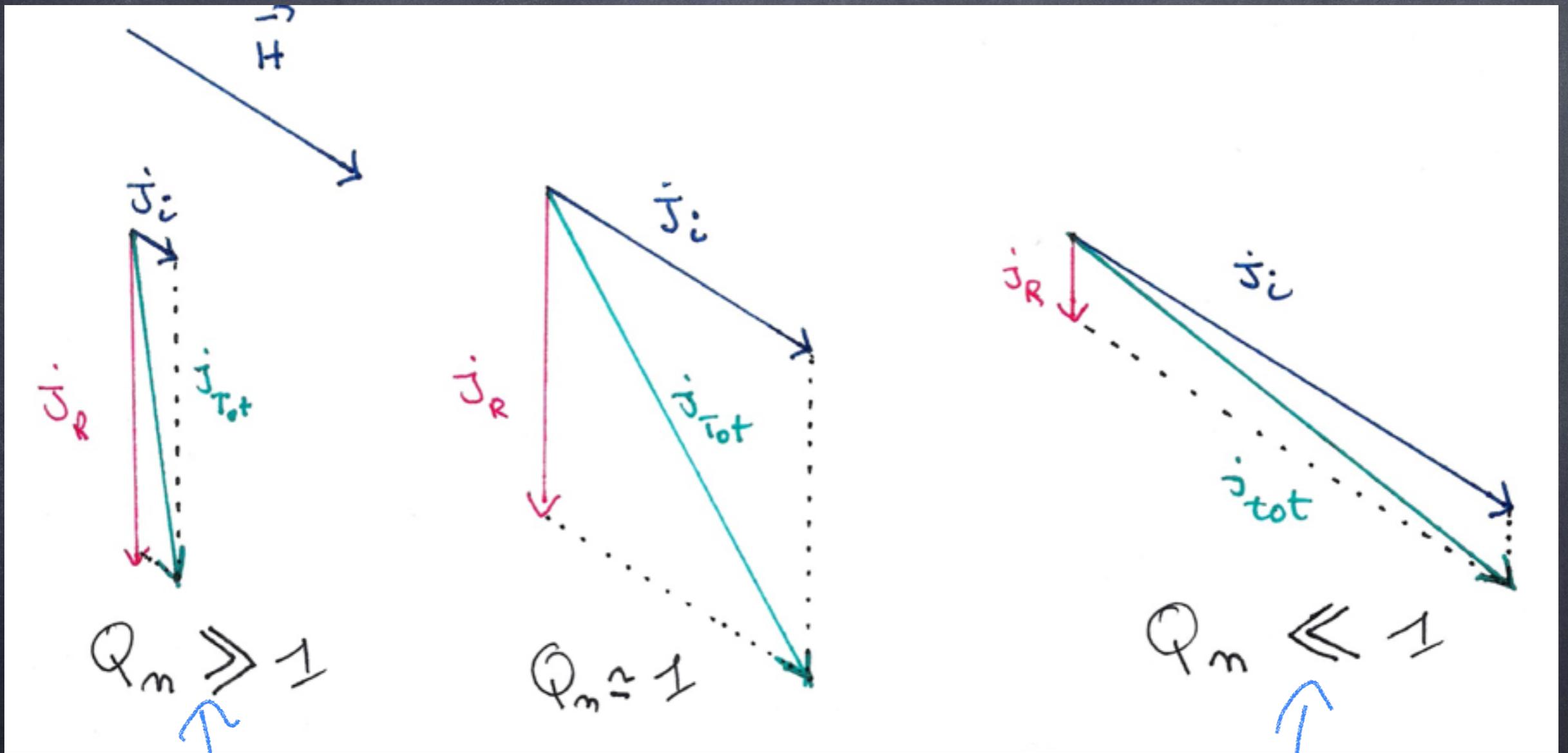
Le rapport de Königsberger :

$$Q_m = \frac{\vec{J}_{\text{Remanente}}}{\vec{J}_{\text{Induite}}}$$

\vec{J} = Aimantation

5. La prospection magnétique (le champ crustal)

Attention à l'aimantation induite : toujours présente

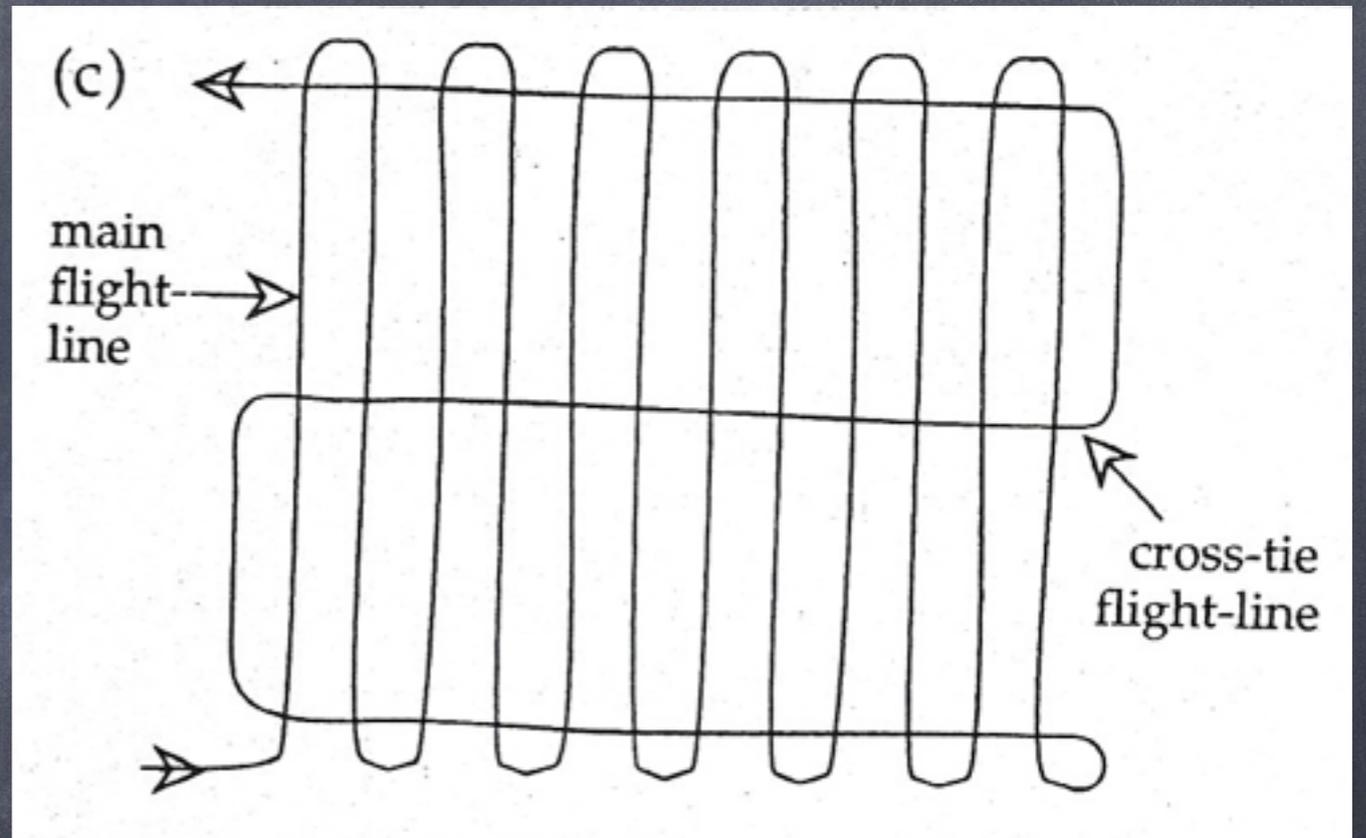
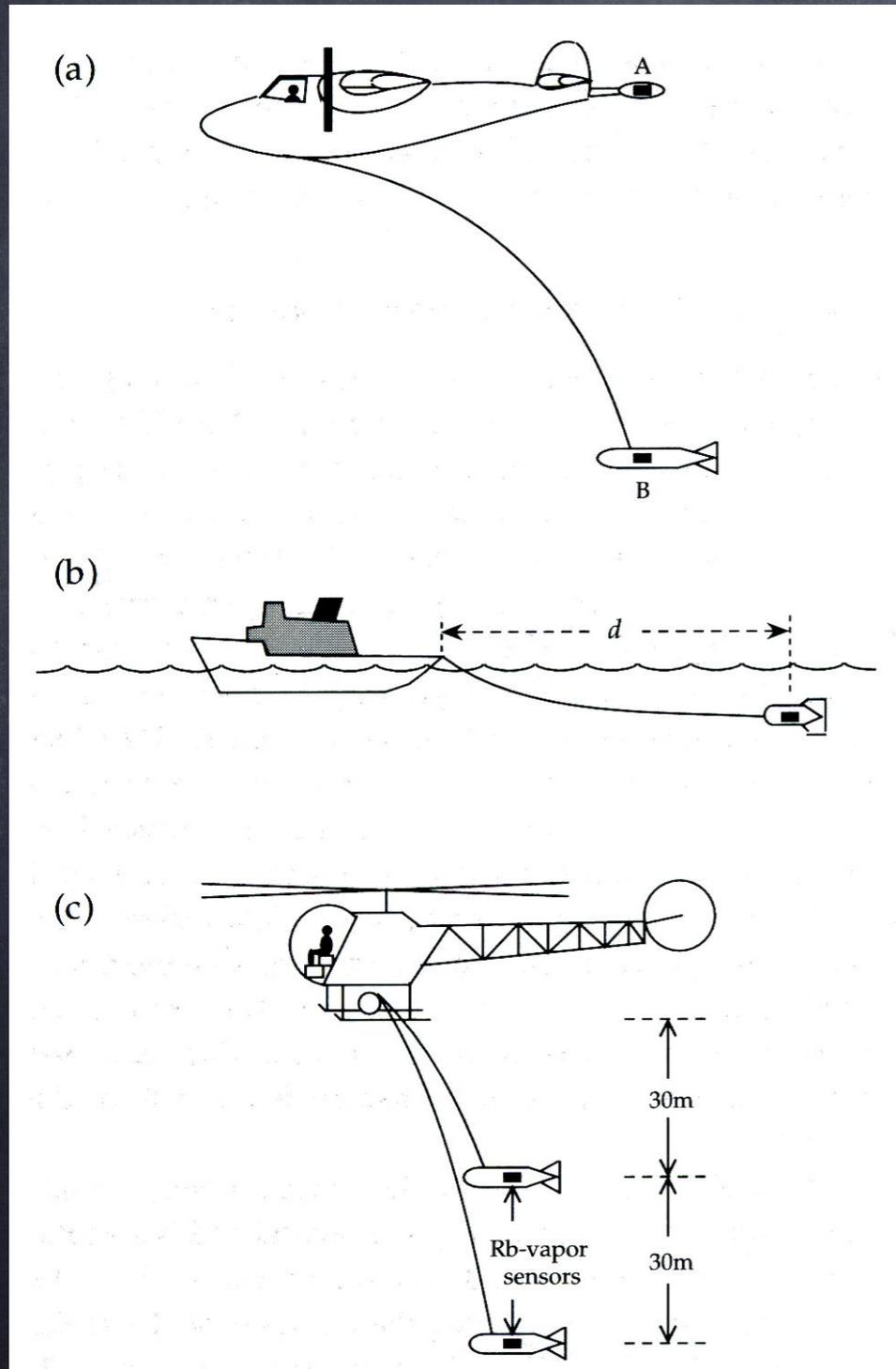


Basaltes océaniques

Croûte continentale

5. La prospection magnétique (le champ crustal)

Mise en oeuvre de la cartographie magnétique.



Méthode de cheminement en prospection aérienne

5. La prospection magnétique (le champ crustal)

Adaptation de la maille \rightarrow une loi au carré!!!

Maille $1\text{m} \times 1\text{m}$ \rightarrow si on passe à $0.5 \times 0.5\text{m}$
ce n'est pas par 2 mais par 4 qu'il faut multiplier
le temps de mesure. \rightarrow Compromis vitesse - précision.



5. La prospection magnétique (le champ crustal)

Traitement des mesures : on parle aussi de "réduction" des mesures

Les corrections dépendent de l'échelle de la zone prospectée :

Prospection archéomagnétique : qq 100^{-} de m.

⇒ géologique : Km, 10^{-} de Km, 100^{-} de Km

5. La prospection magnétique (le champ crustal)

Correction de la variation temporelle:

Variation diurne + éventuellement orage magnétique

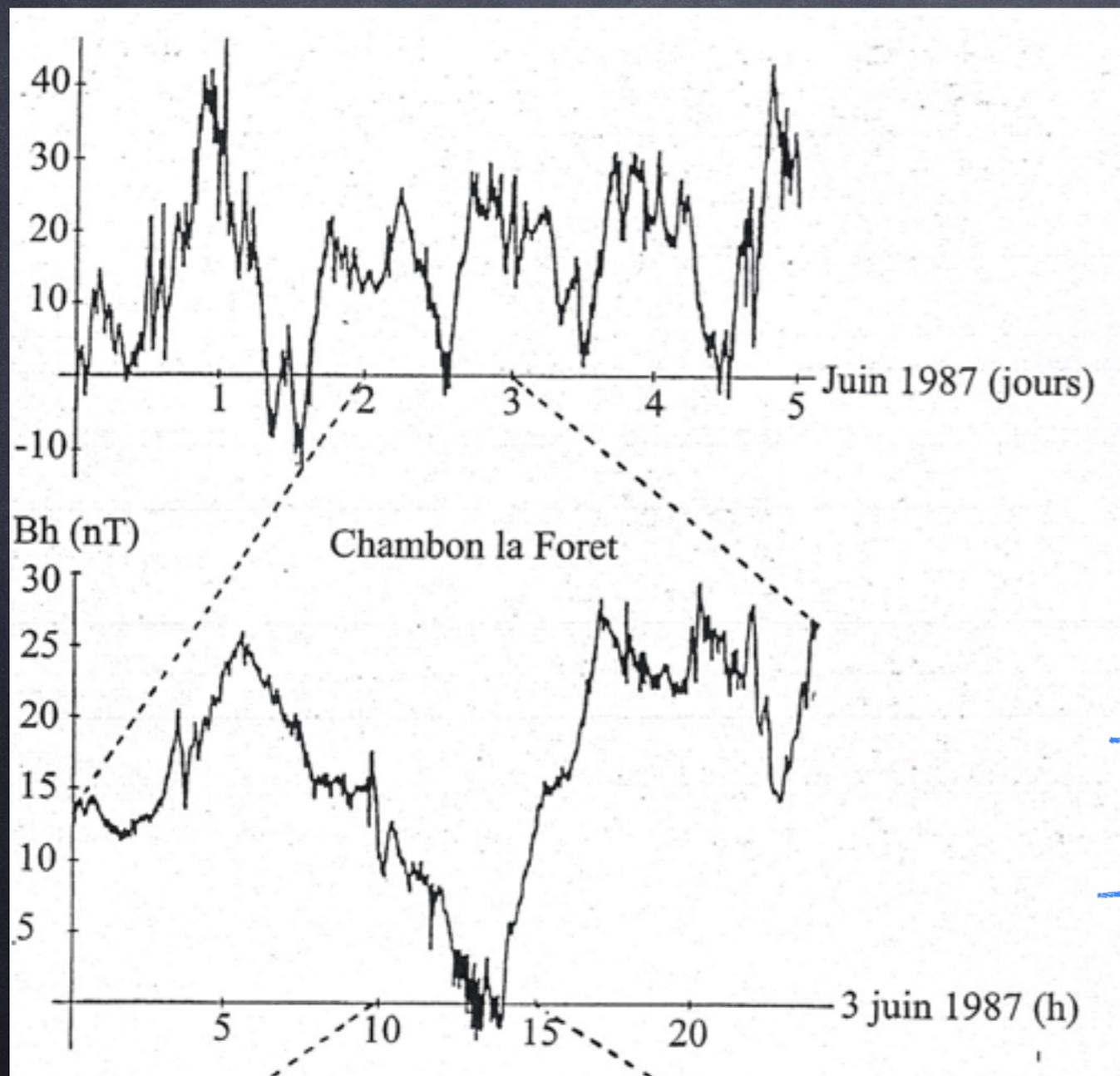
!!! chaque année il y a en bien un qui me parle de la variation séculaire!!!

SVP: Réfléchissez

Correction obtenue grâce à des mesures réalisées sur 2 magnétomètres en même temps.

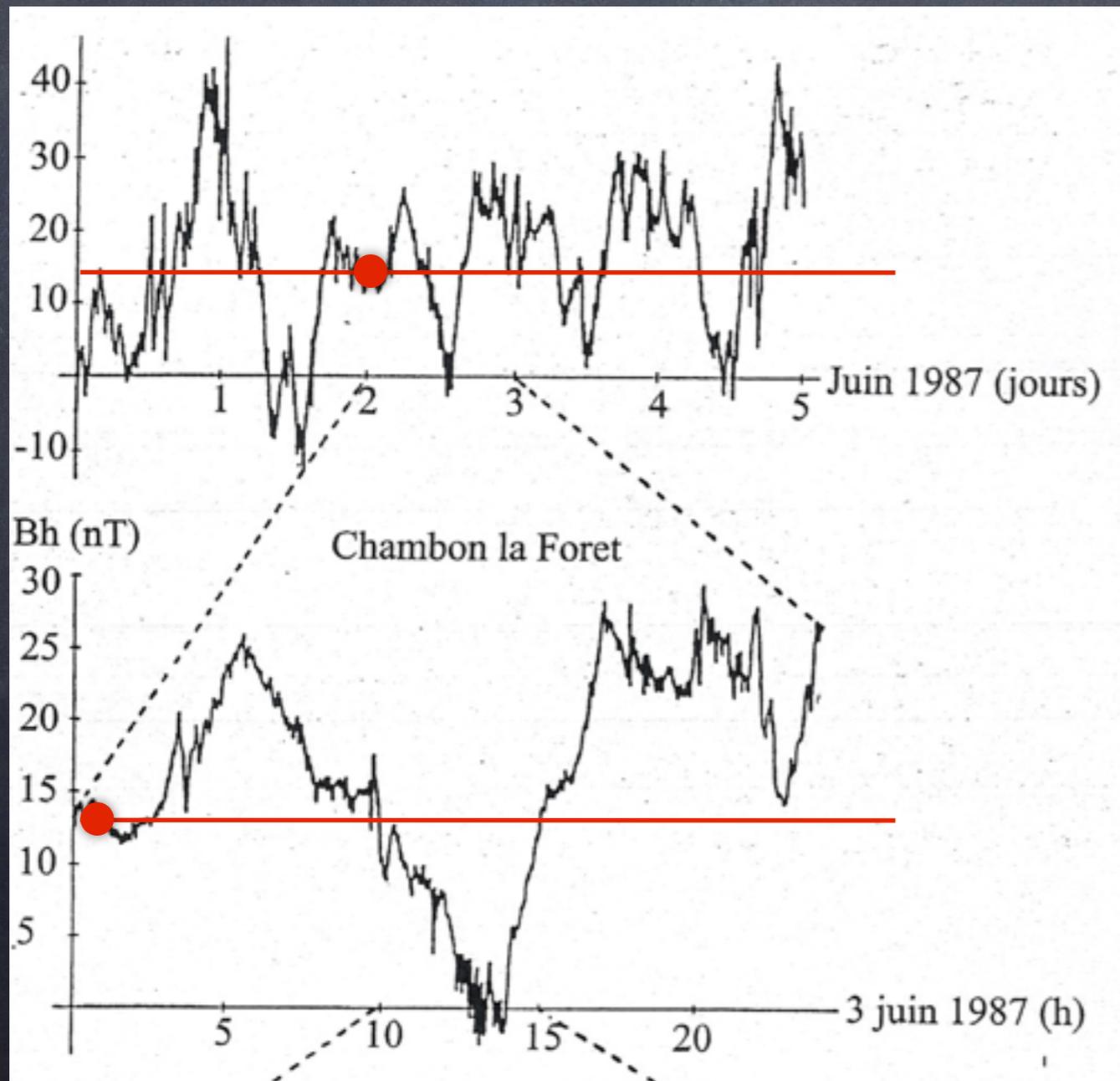
→ Station de base + Station mobile

→ 2 magnétomètres montés en gradiomètre.



5. La prospection magnétique (le champ crustal)

Correction de la variation temporelle :



Permet de ramener toutes les mesures à la même date et la même heure.

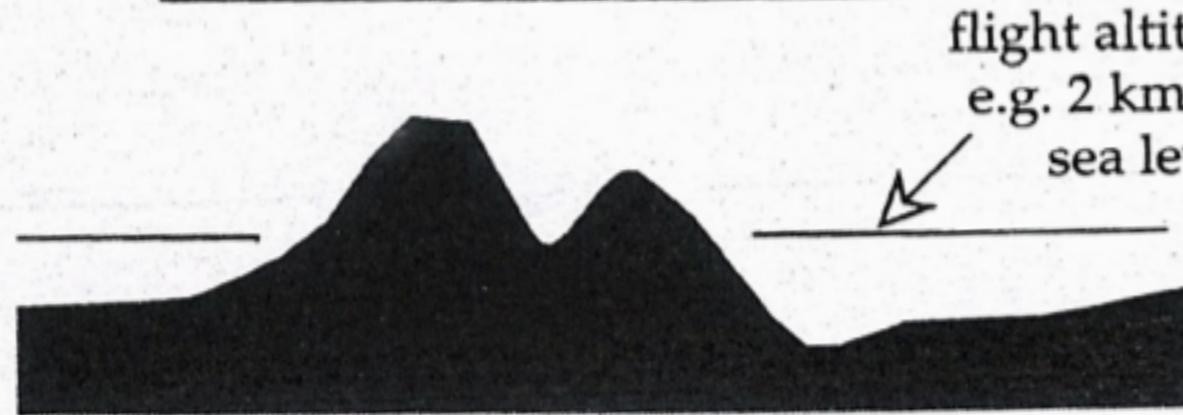
5. La prospection magnétique (le champ crustal)

Correction d'altitude :

(a)

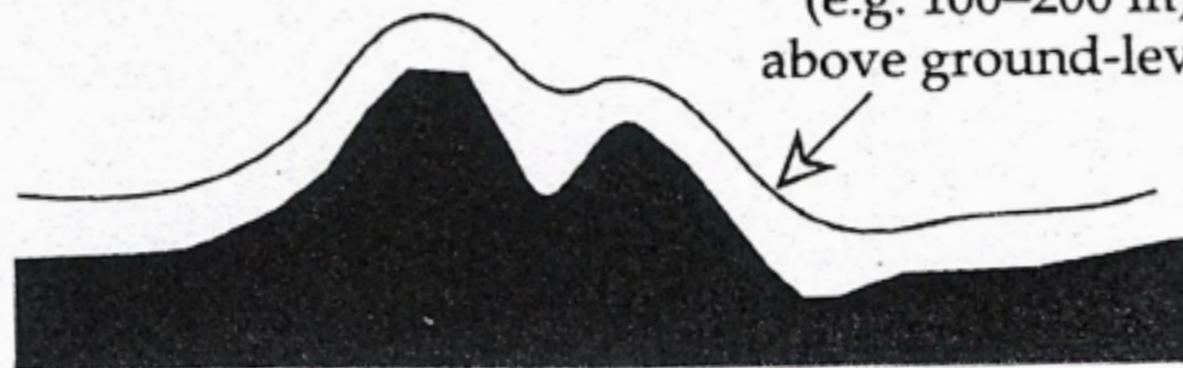
flight altitude #1
e.g. 4 km above
sea-level

flight altitude #2
e.g. 2 km above
sea level



(b)

constant height
(e.g. 100-200 m)
above ground-level



5. La prospection magnétique (le champ crustal)

Correction d'altitude :

→ Champ dipôle :

$$\|\vec{B}_{\text{Total}}\| = \sqrt{B_r^2 + B_\theta^2} = \frac{\mu_0 m}{4\pi r^3} \sqrt{4 \cos^2 \theta + \sin^2 \theta}$$

$$= \frac{\mu_0 m}{4\pi r^3} (1 + 3 \cos^2 \theta)^{1/2}$$

Si on pose $B_\phi = \frac{\mu_0 m}{4\pi r^3}$ on a $\|\vec{B}_{\text{Total}}\| = \frac{B_\phi}{r^3} (1 + 3 \cos^2 \theta)^{1/2}$

et donc la correction d'altitude

$$\frac{\delta \|\vec{B}_{\text{Total}}\|}{\delta r} = -\frac{3 B_0}{r^4} (1 + 3 \cos^2 \theta)^{1/2} = -\frac{3}{r} \|\vec{B}_{\text{Total}}\|$$

5. La prospection magnétique (le champ crustal)

Correction d'altitude :

→ Champ dipôle :

$$\frac{\delta \|\vec{B}_{\text{Total}}\|}{\delta r} = -\frac{3}{r} \|\vec{B}_{\text{Total}}\|$$

A l'équateur : $\|\vec{B}_{\text{Total}}\| \approx 30000 \text{ nT}$

↳ Correction d'altitude $\approx 0.015 \text{ nT m}^{-1}$

Au pôle : $\|\vec{B}_{\text{Total}}\| \approx 60000 \text{ nT}$

↳ Correction d'altitude $\approx 0.030 \text{ nT m}^{-1}$

5. La prospection magnétique (le champ crustal)

Correction de latitude :

→ **Champ dipôle** : Un déplacement vers le Nord

$$\frac{\delta}{\delta\theta} \|\vec{B}_{\text{Total}}\| = -\frac{1}{r} \frac{B_p}{r^3} \frac{\delta}{\delta\theta} (1 + 3\cos^2\theta)^{1/2}$$

on pose $u = 1 + 3\cos^2\theta$ donc $u' = -6\cos\theta\sin\theta$

$$v = \sqrt{u} \quad \text{donc} \quad v' = \frac{1}{2\sqrt{u}}$$

$$\begin{aligned} \frac{\delta}{\delta\theta} \|\vec{B}_{\text{Total}}\| &= + \frac{1}{r} \times \frac{B_p}{r^3} \frac{6\cos\theta\sin\theta}{2\sqrt{1+3\cos^2\theta}} \\ &= \frac{1}{r} \times \frac{B_p}{r^3} (1+3\cos^2\theta)^{1/2} \times \frac{3\cos\theta\sin\theta}{1+3\cos^2\theta} \end{aligned}$$

5. La prospection magnétique (le champ crustal)

Correction de latitude :

→ Champ dipôle : Un déplacement vers le Nord
donne

$$\frac{\delta \|\vec{B}_{\text{total}}\|}{\delta \theta} = \frac{1}{r} \|\vec{B}_{\text{total}}\| \cdot \frac{3 \cos \theta \sin \theta}{1 + 3 \cos^2 \theta}$$

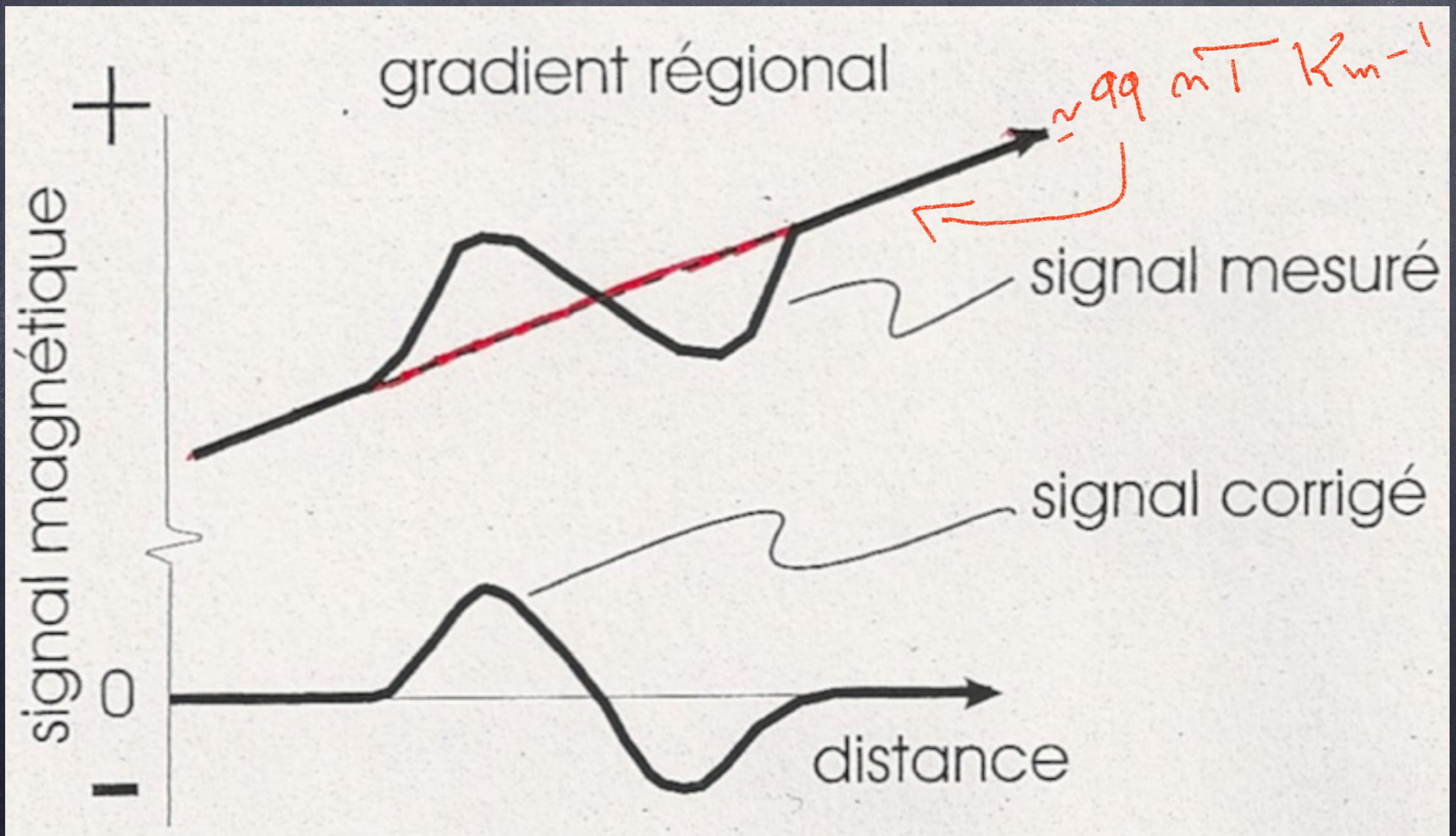
Exemple à l'équateur $\theta = 90$
ou au pôle $\theta = 0$ → Correction = 0

Aux latitudes intermédiaires : → Correction 5 mT km^{-1}

5. La prospection magnétique (le champ crustal)

Correction de latitude :

Exemple : correction de gradient sur 1 étude régionale.



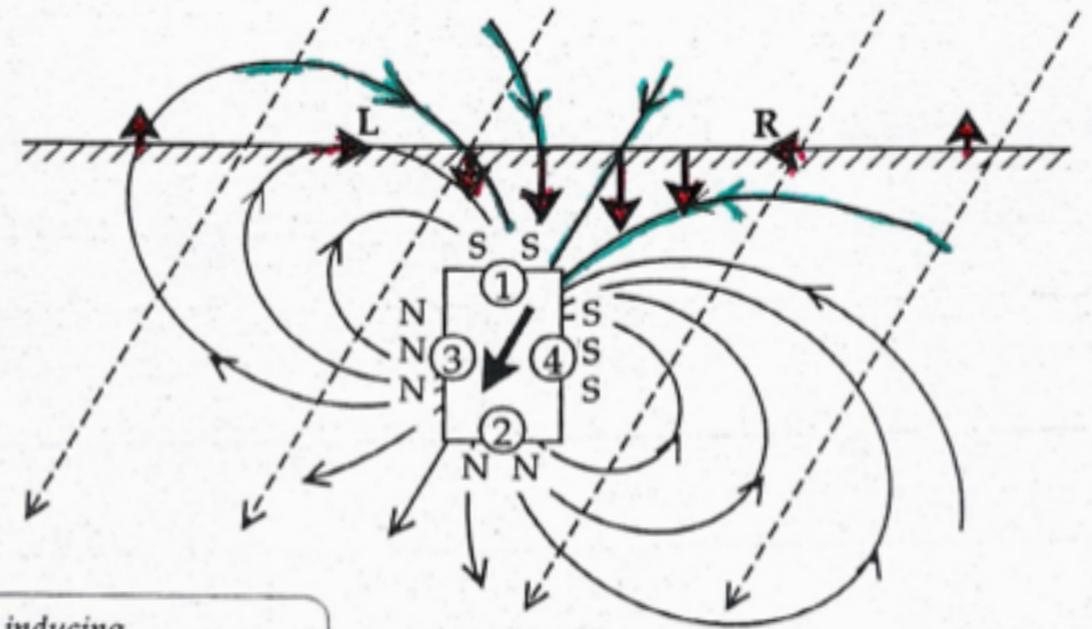
5. La prospection magnétique (le champ crustal)

Réduction au pôle :

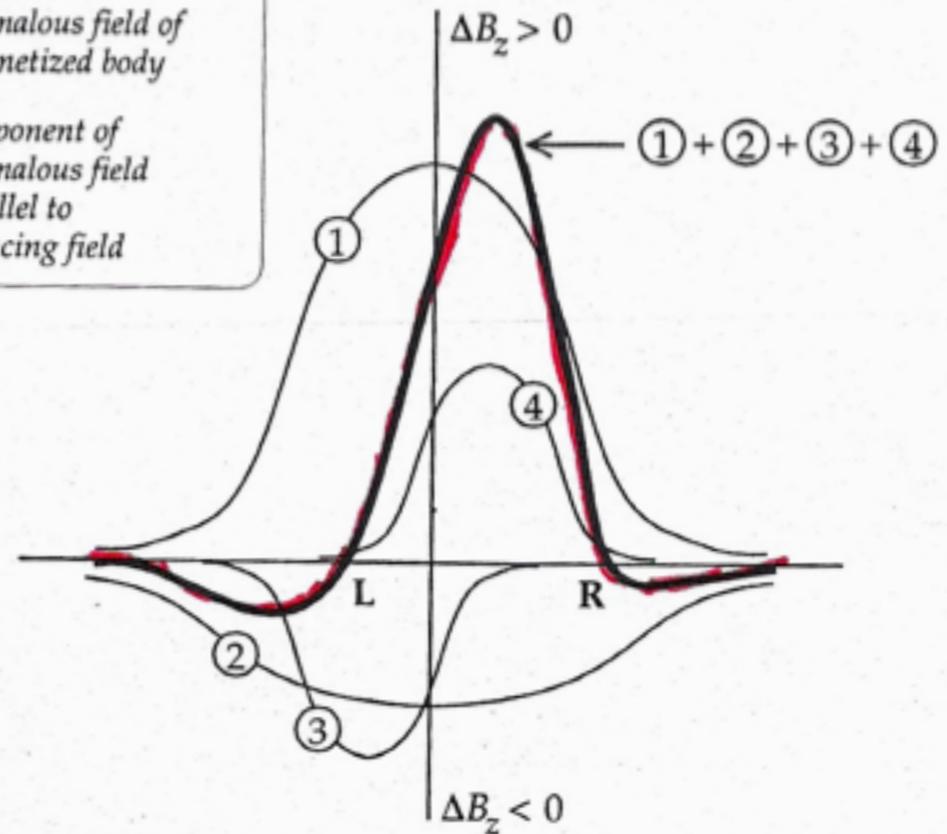
Ne s'applique que pour la prospection de la croûte continentale

$Q_n \ll 1$

C'est l'aimantation induite du corps magnétique qui crée l'anomalie.



- ⋮ inducing magnetic field
- ↓ anomalous field of magnetized body
- ↓ component of anomalous field parallel to inducing field



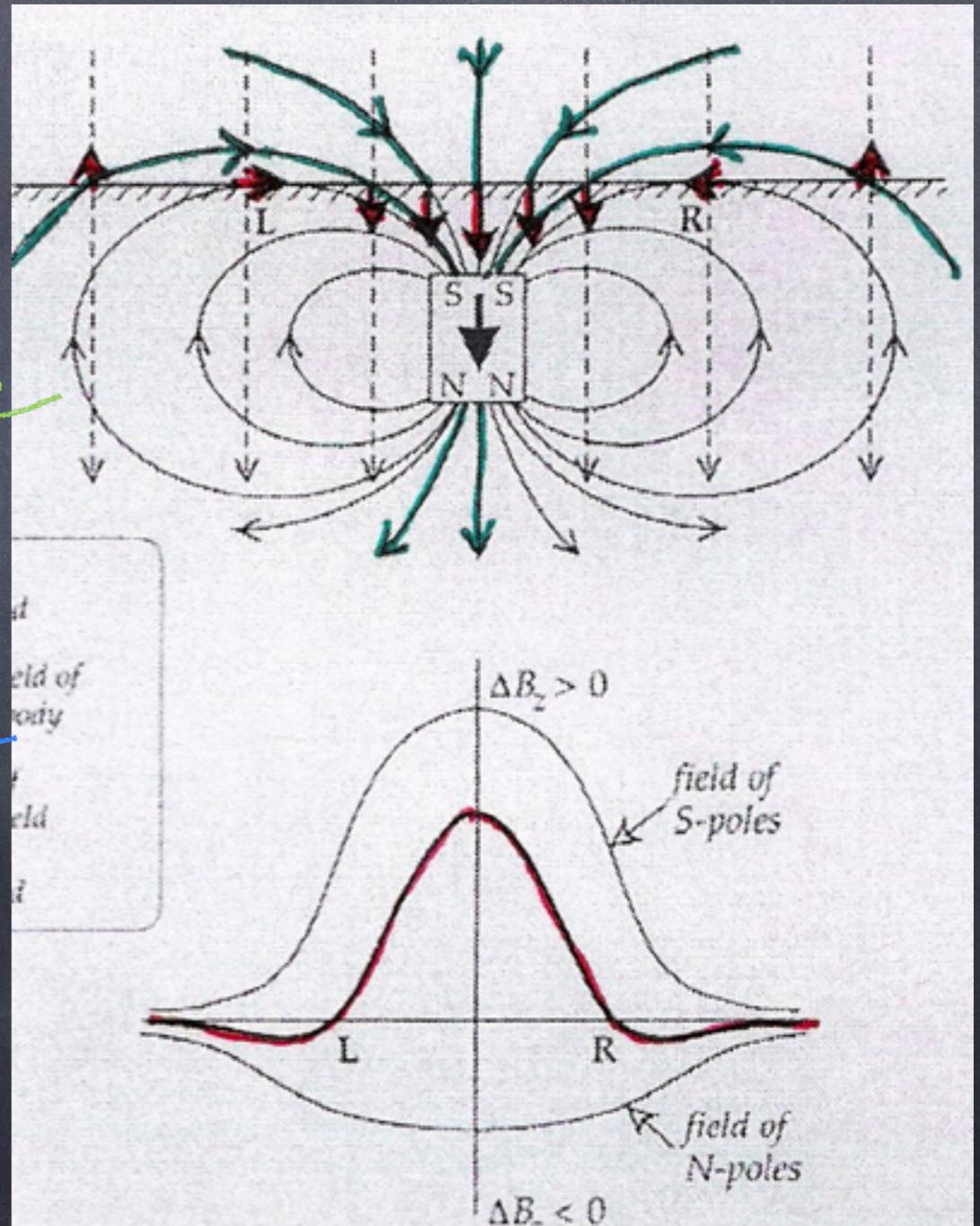
5. La prospection magnétique (le champ crustal)

Réduction au pôle :

On repositionne la zone d'étude au pôle.

↳ Donc aimantation induite est verticale.

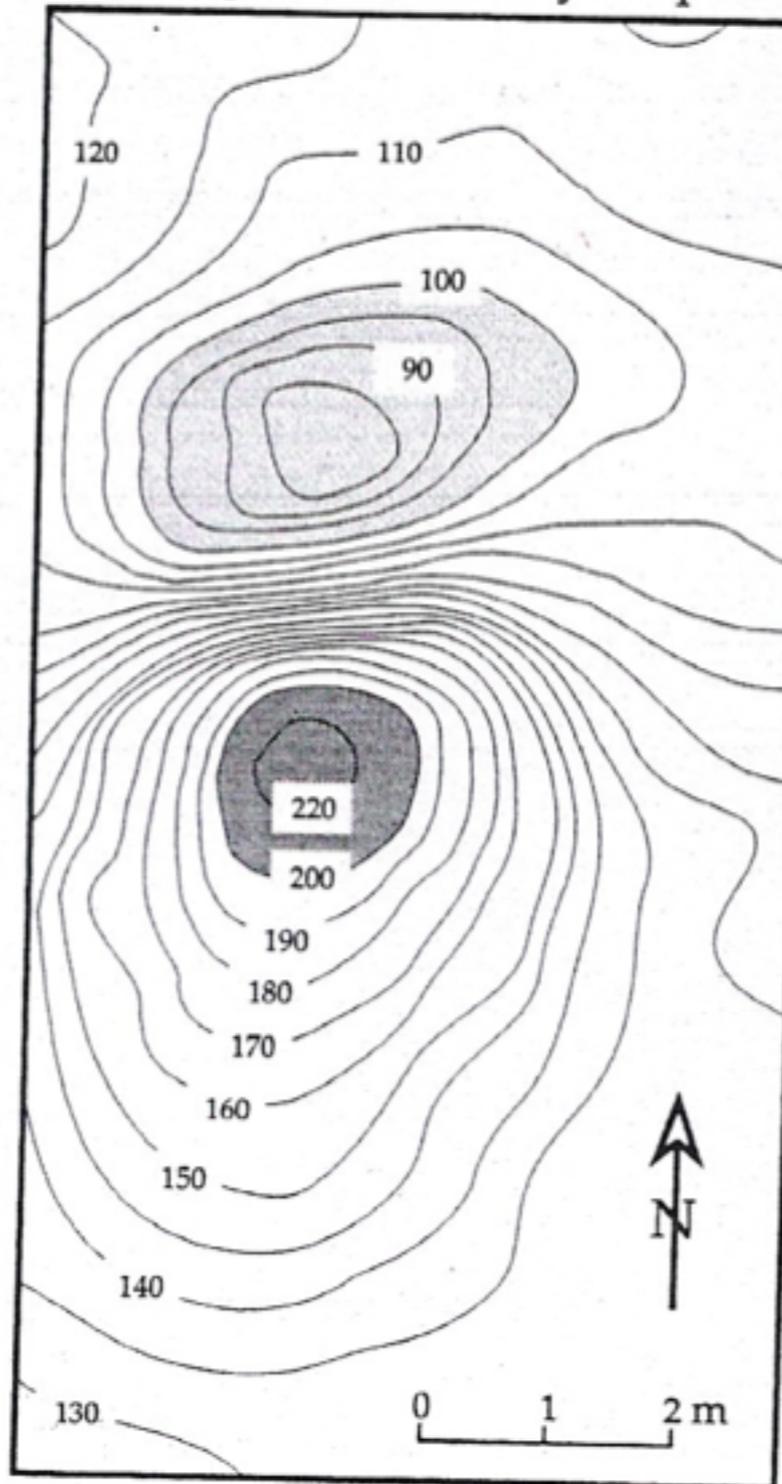
L'anomalie est maintenant symétrique et à l'aplomb du corp



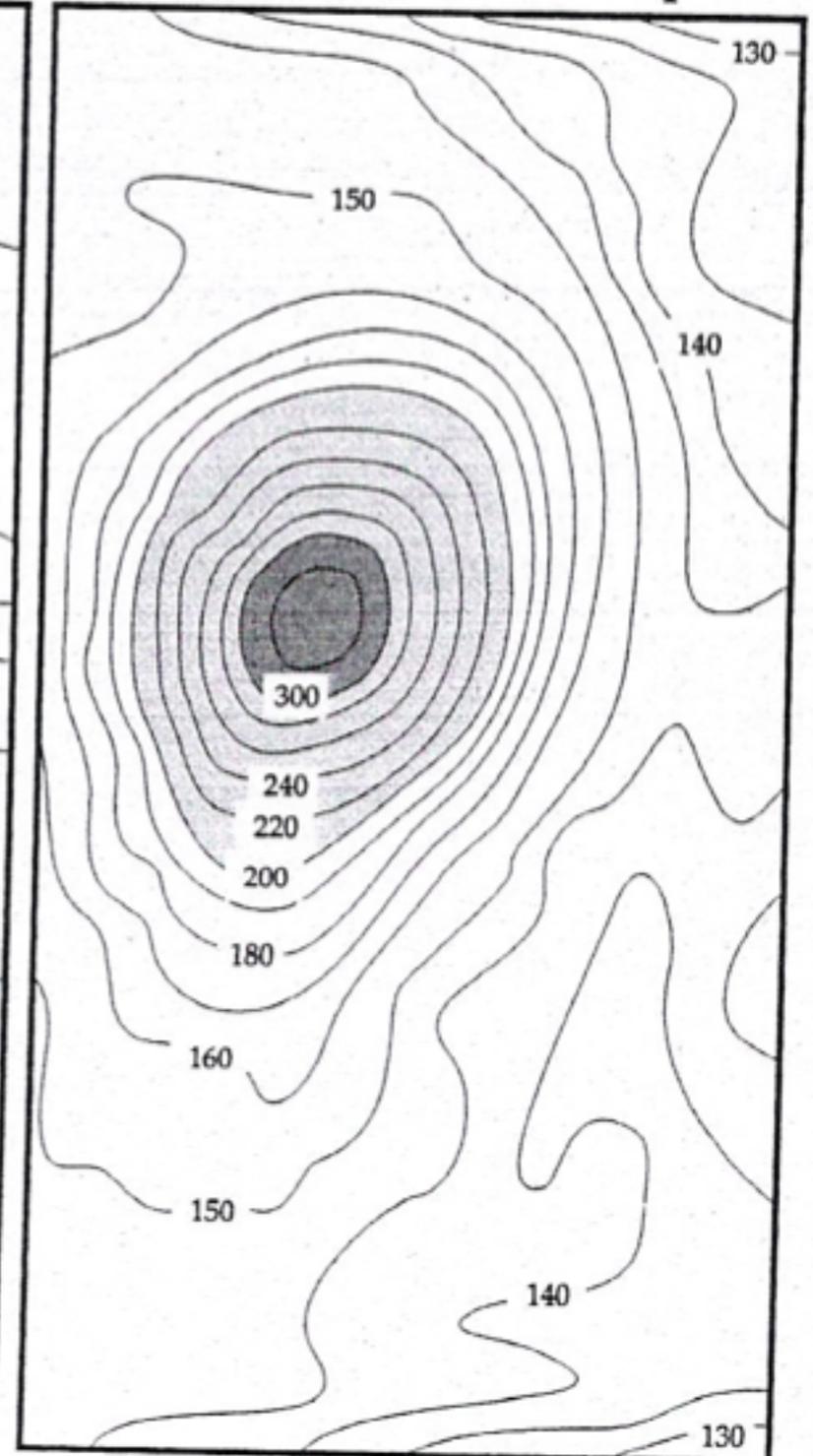
5. La prospection magnétique (le champ crustal)

Exemple
de réduction au
pôle.

(a) magnetic anomaly map



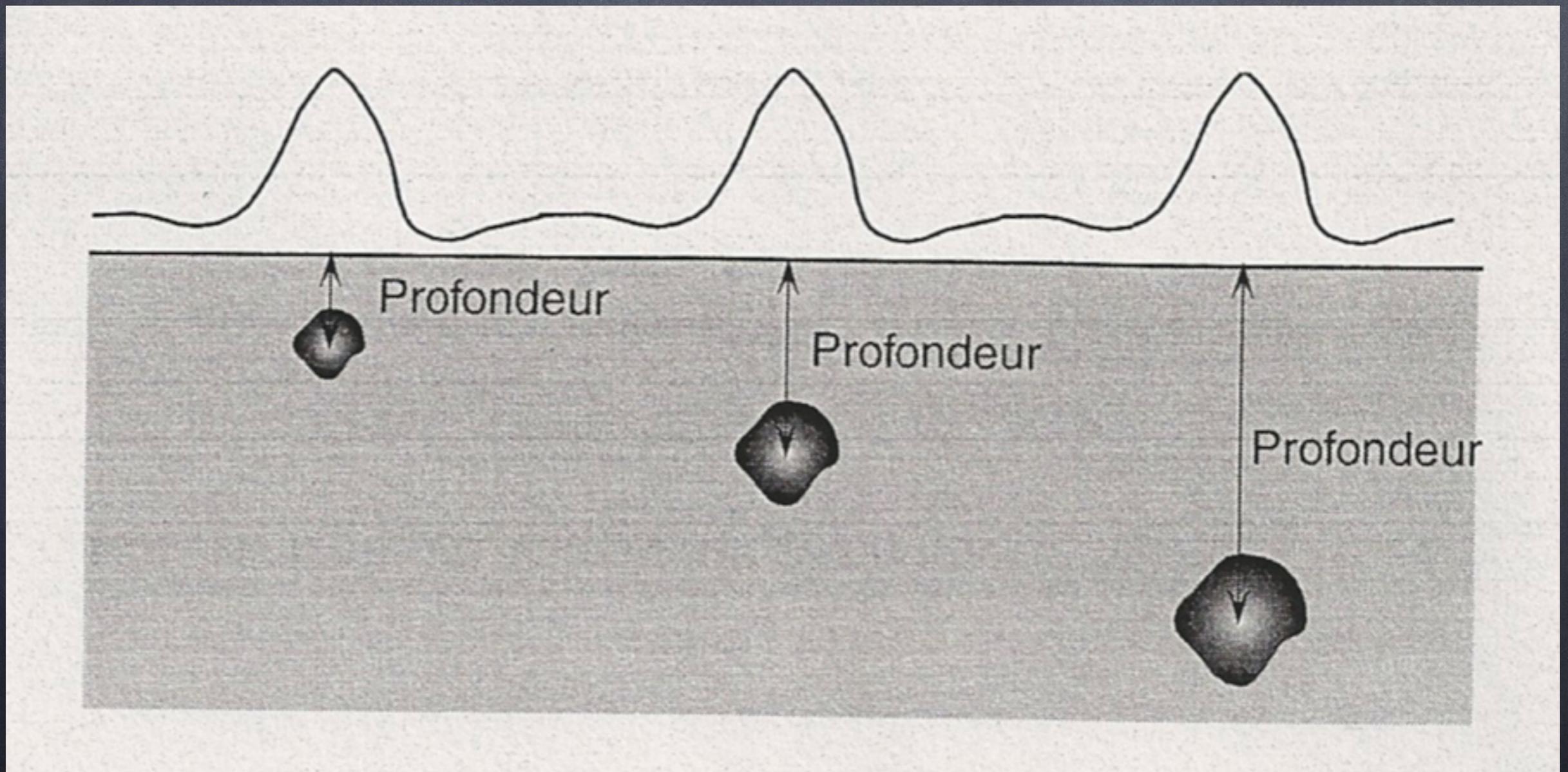
(b) after reduction to the pole



5. La prospection magnétique (le champ crustal)

Interprétation des anomalies.

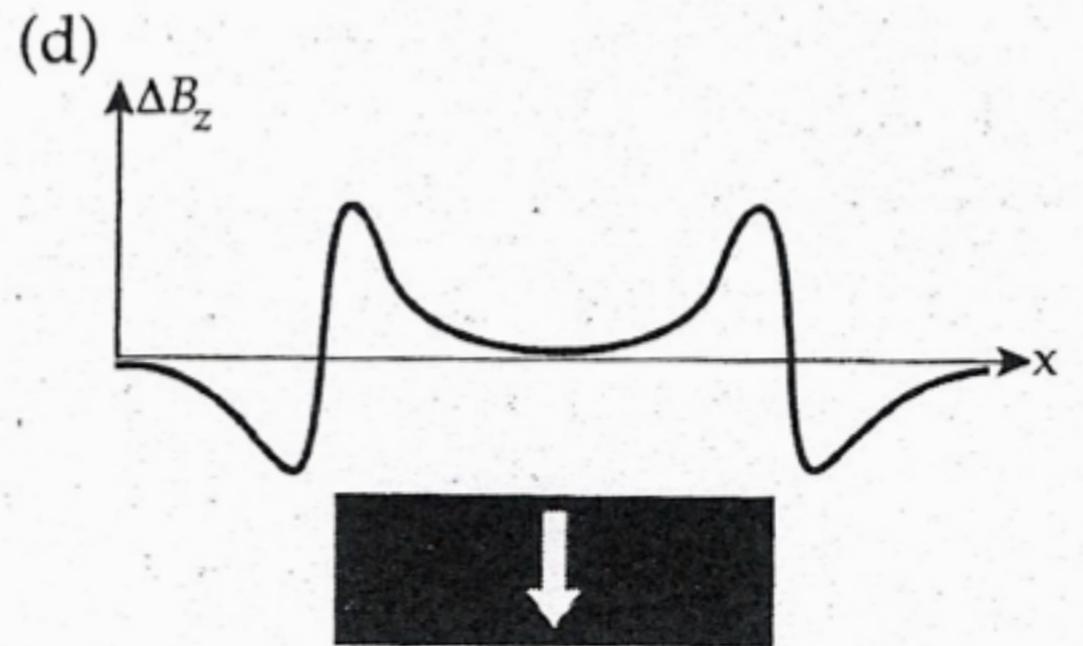
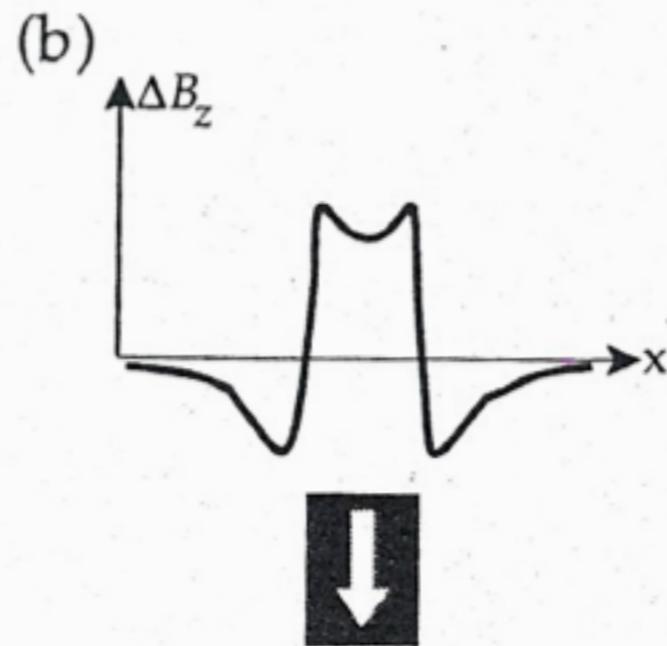
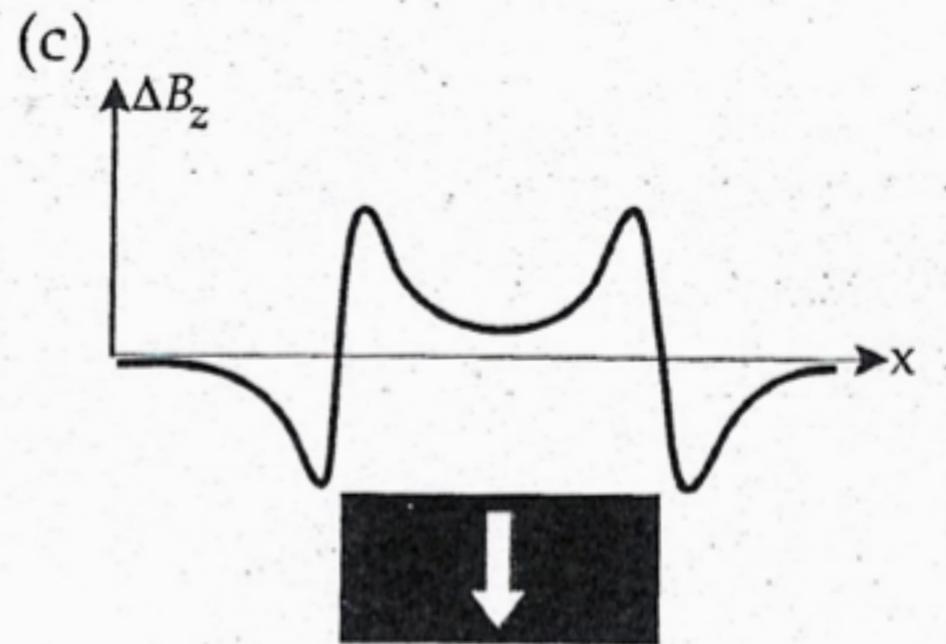
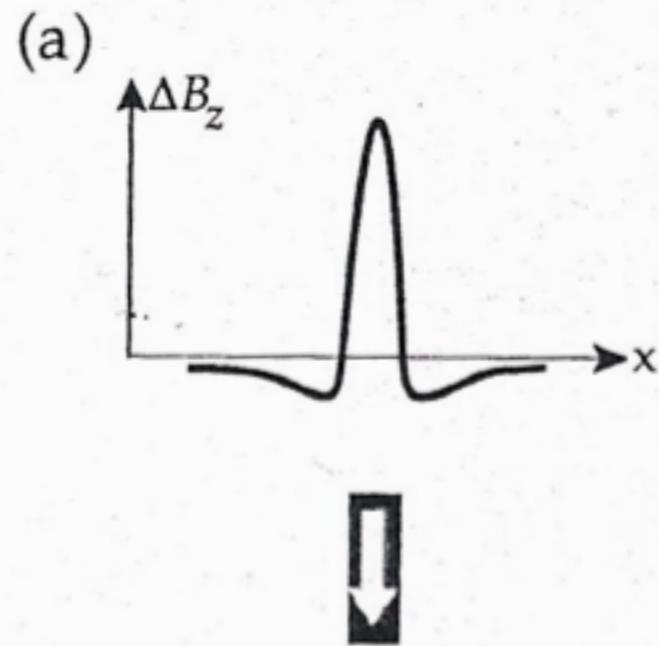
Non unicité de la solution



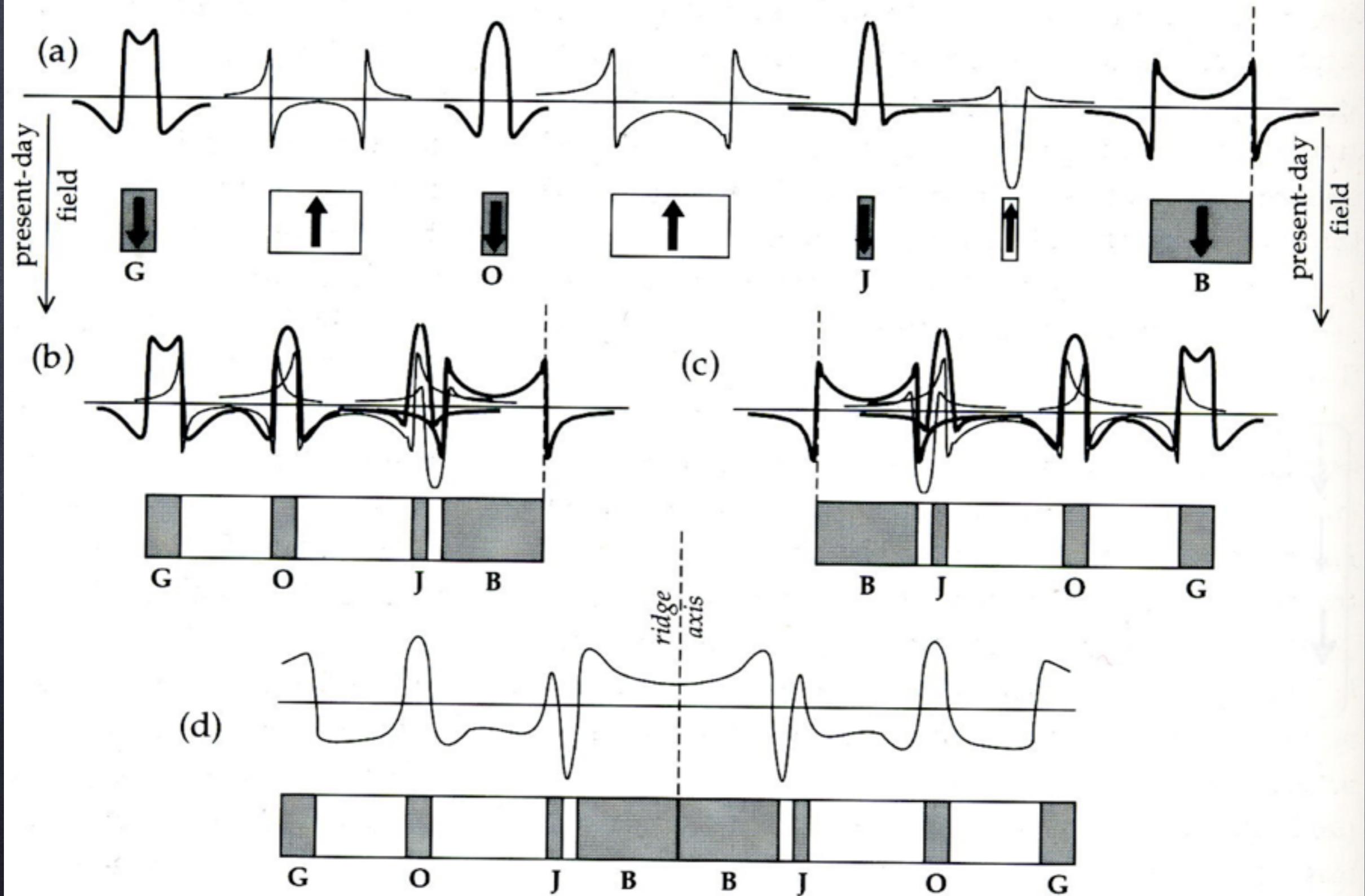
5. La prospection magnétique (le champ crustal)

Interprétation des anomalies.

Effet de la largeur

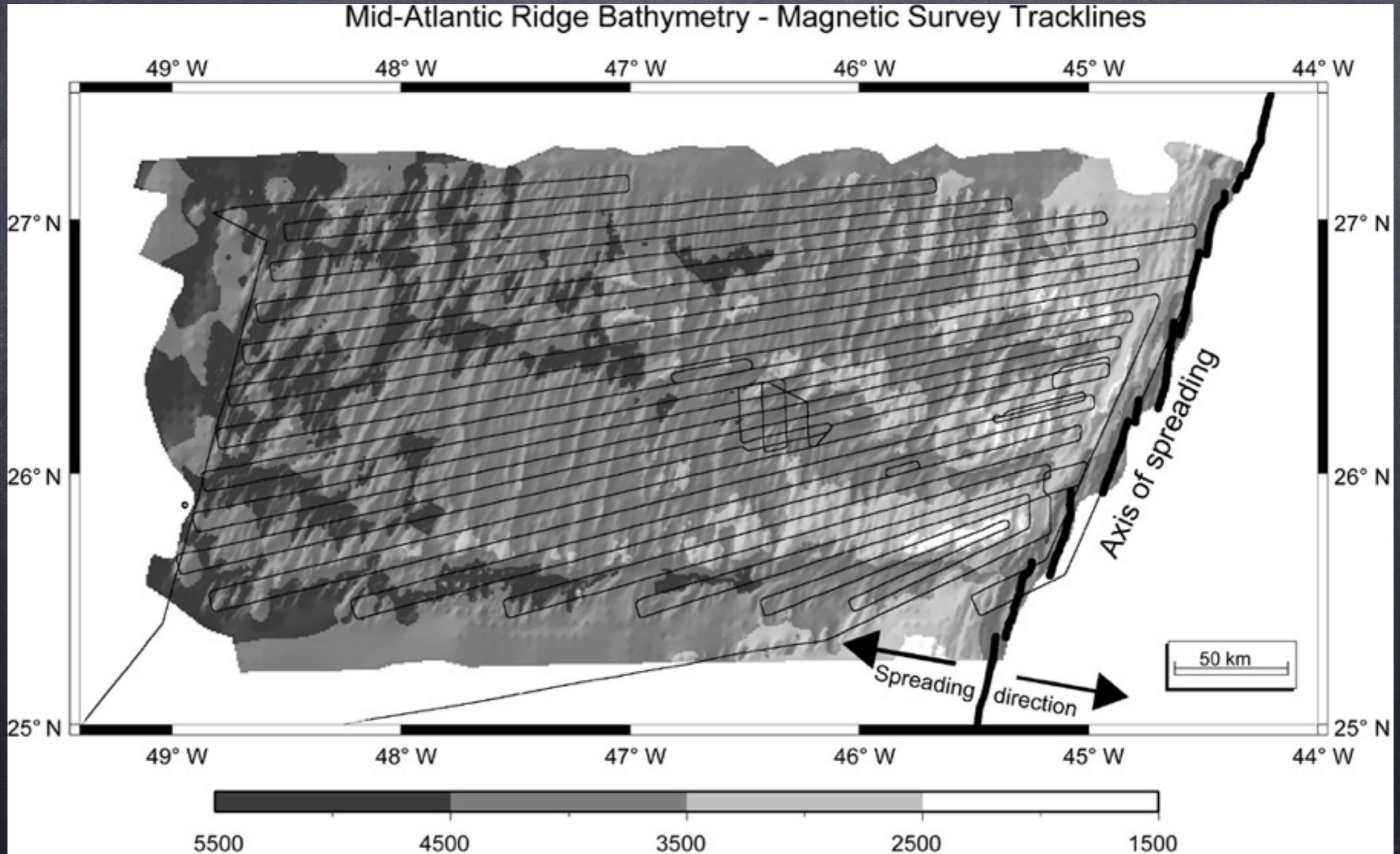


5. La prospection magnétique (le champ crustal)



5. La prospection magnétique (le champ crustal)

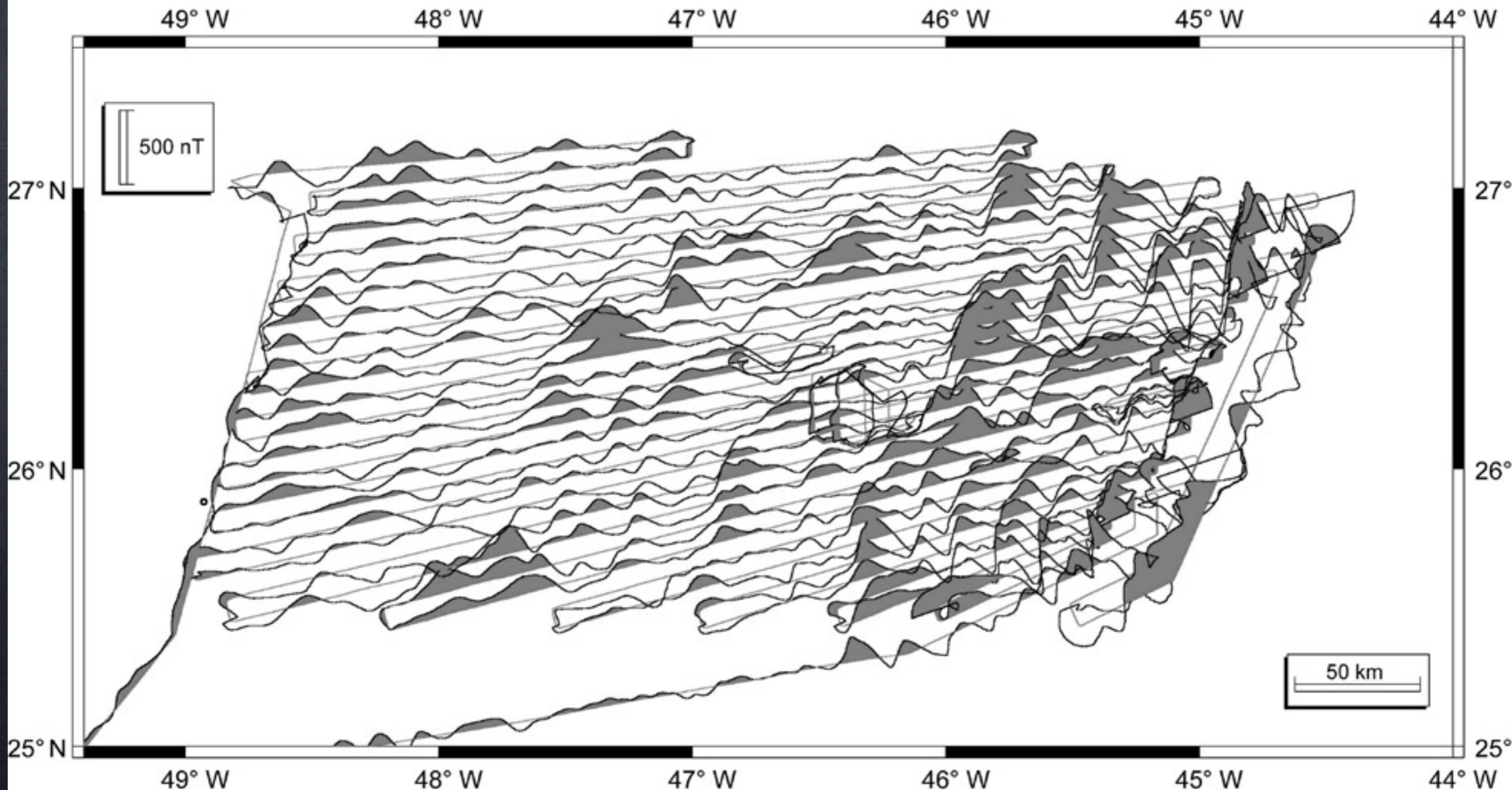
Exemple de prospection magnétique.
Croûte océanique.



5. La prospection magnétique (le champ crustal)

Exemple de prospection magnétique.
Croûte océanique.

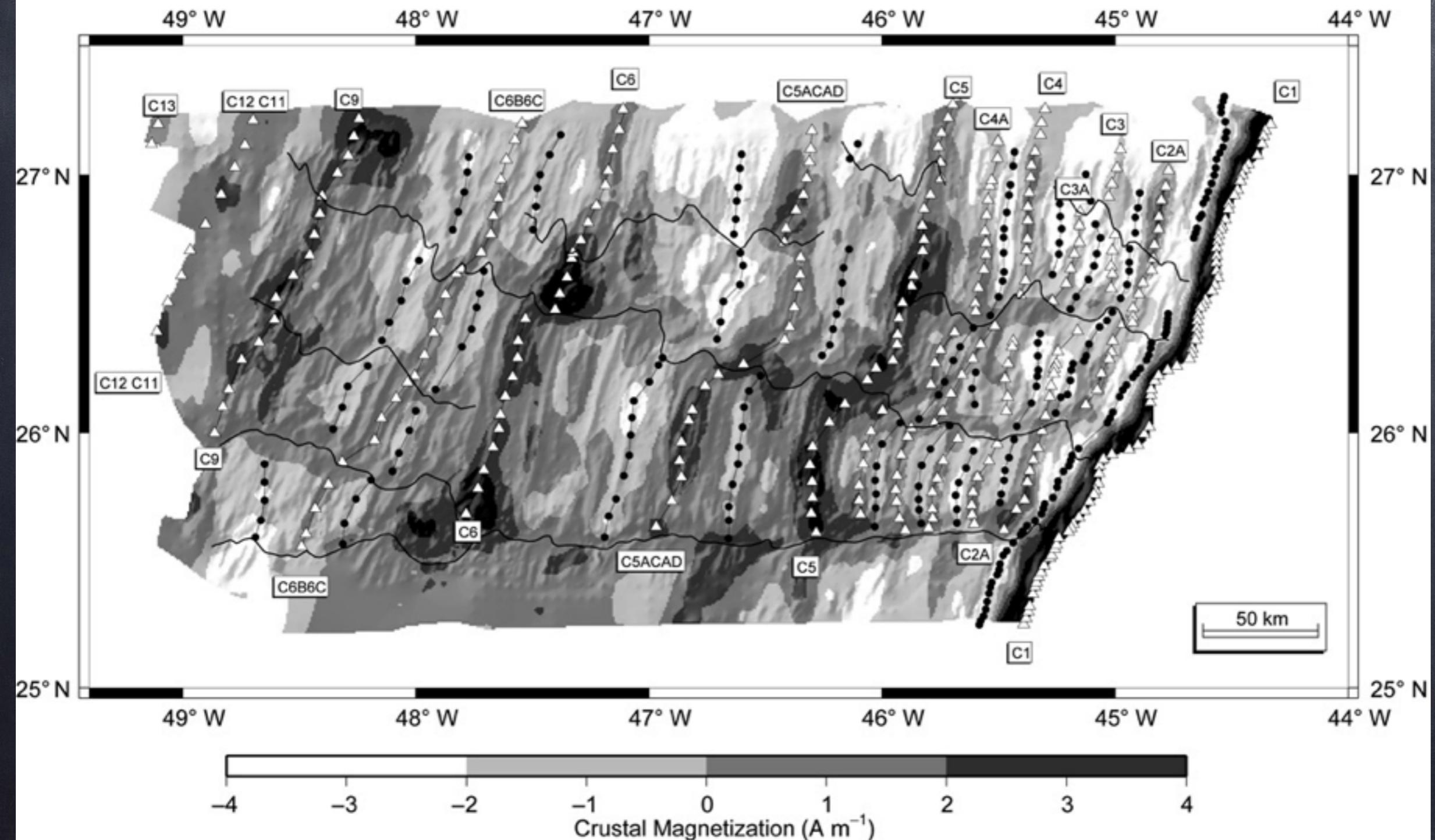
Magnetic Anomaly Wiggle Plot



5. La prospection magnétique (le champ crustal)

Exemple de prospection magnétique.
Croûte océanique.

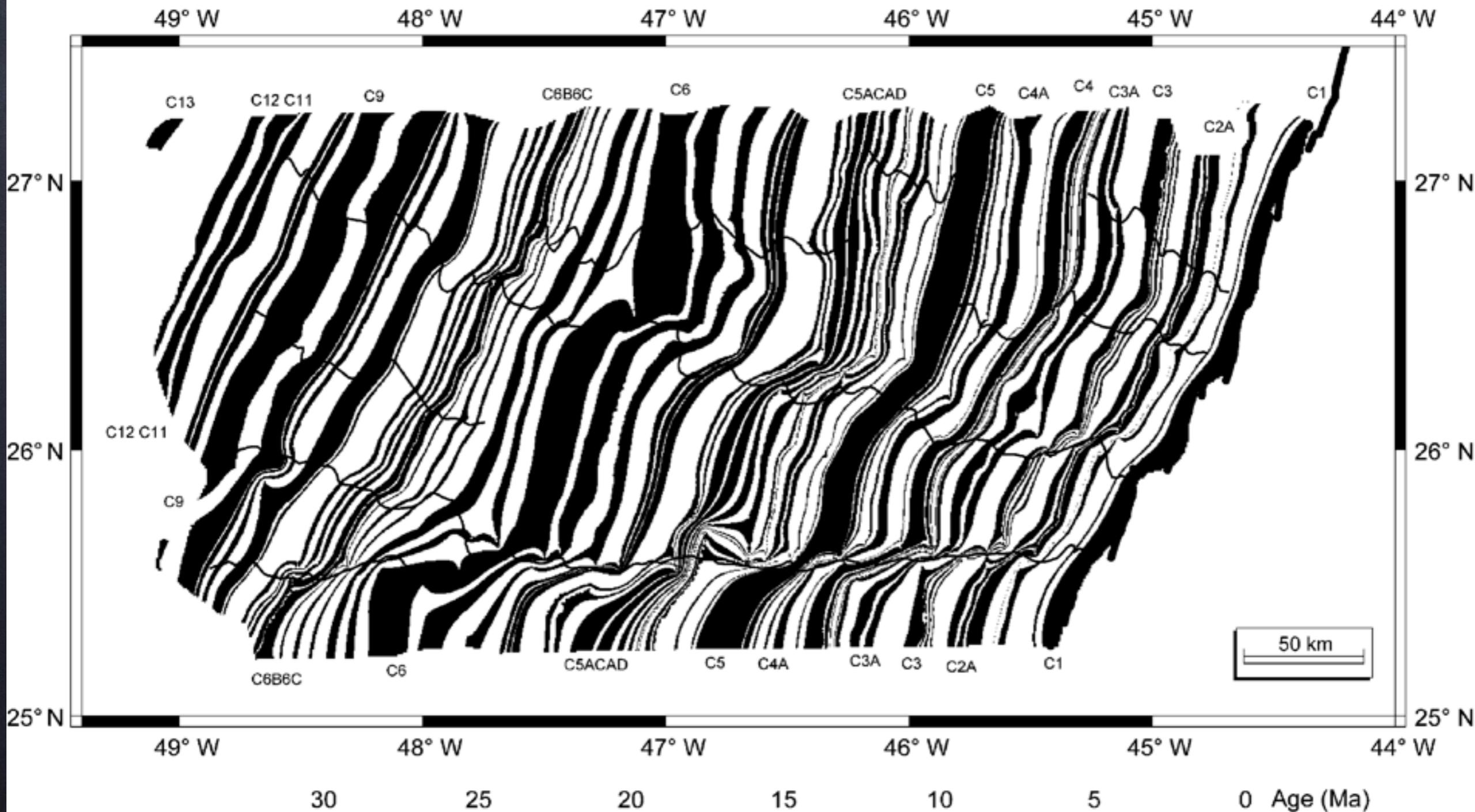
Crustal Magnetization and Magnetic Isochrons Map



5. La prospection magnétique (le champ crustal)

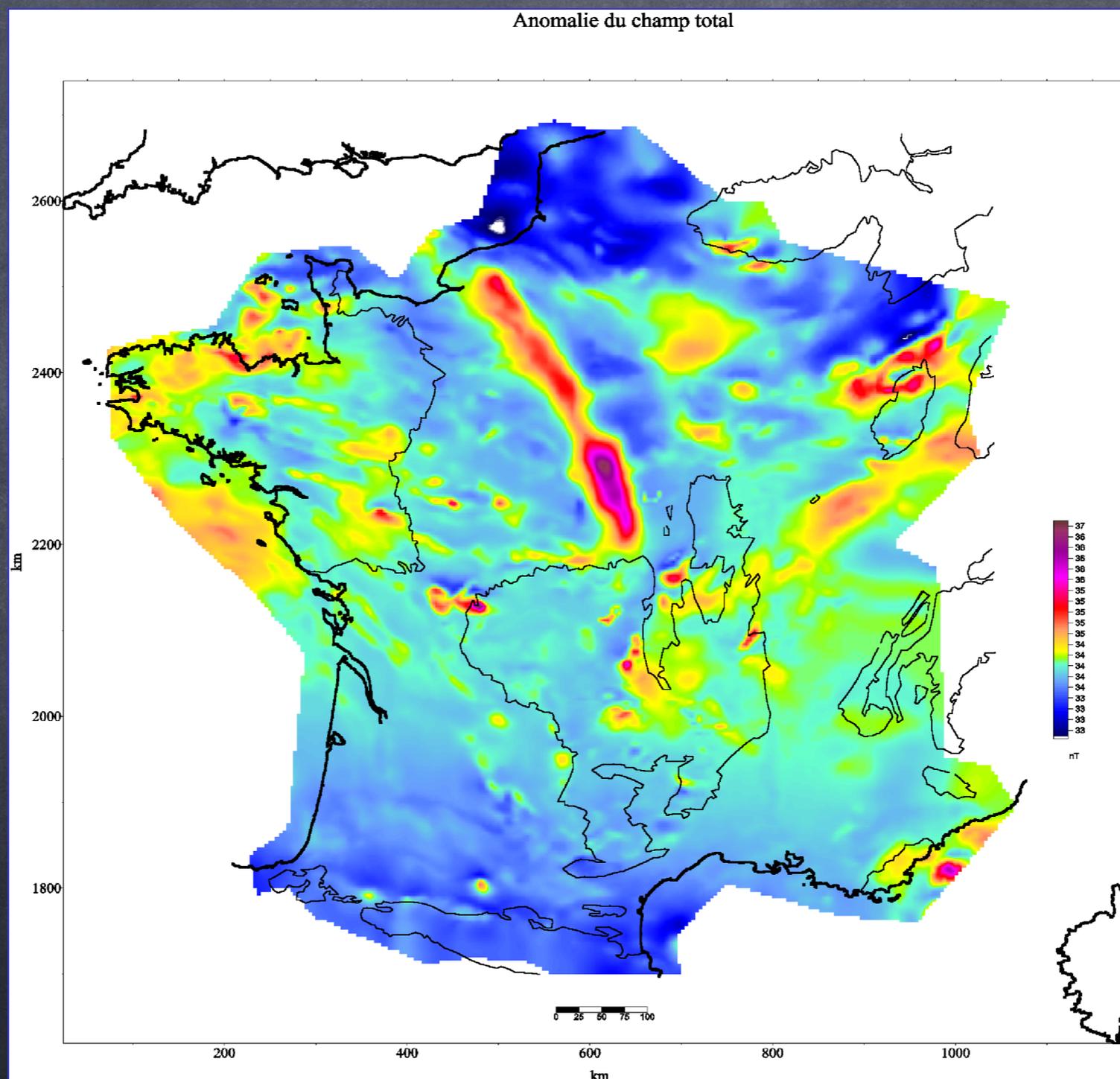
Exemple de prospection magnétique.
Croûte océanique.

Magnetic Polarity and Age Map



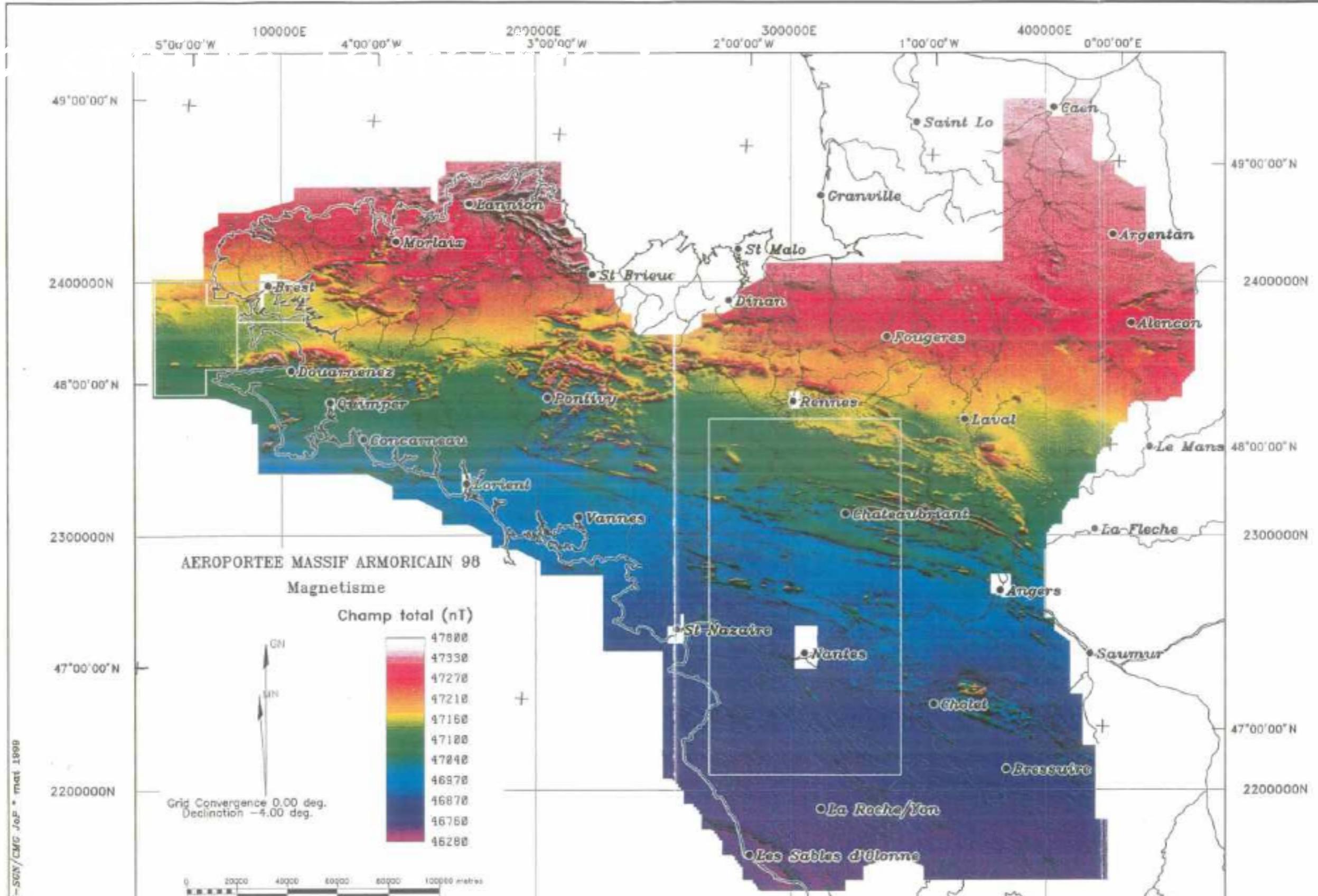
5. La prospection magnétique (le champ crustal)

Autre exemple :



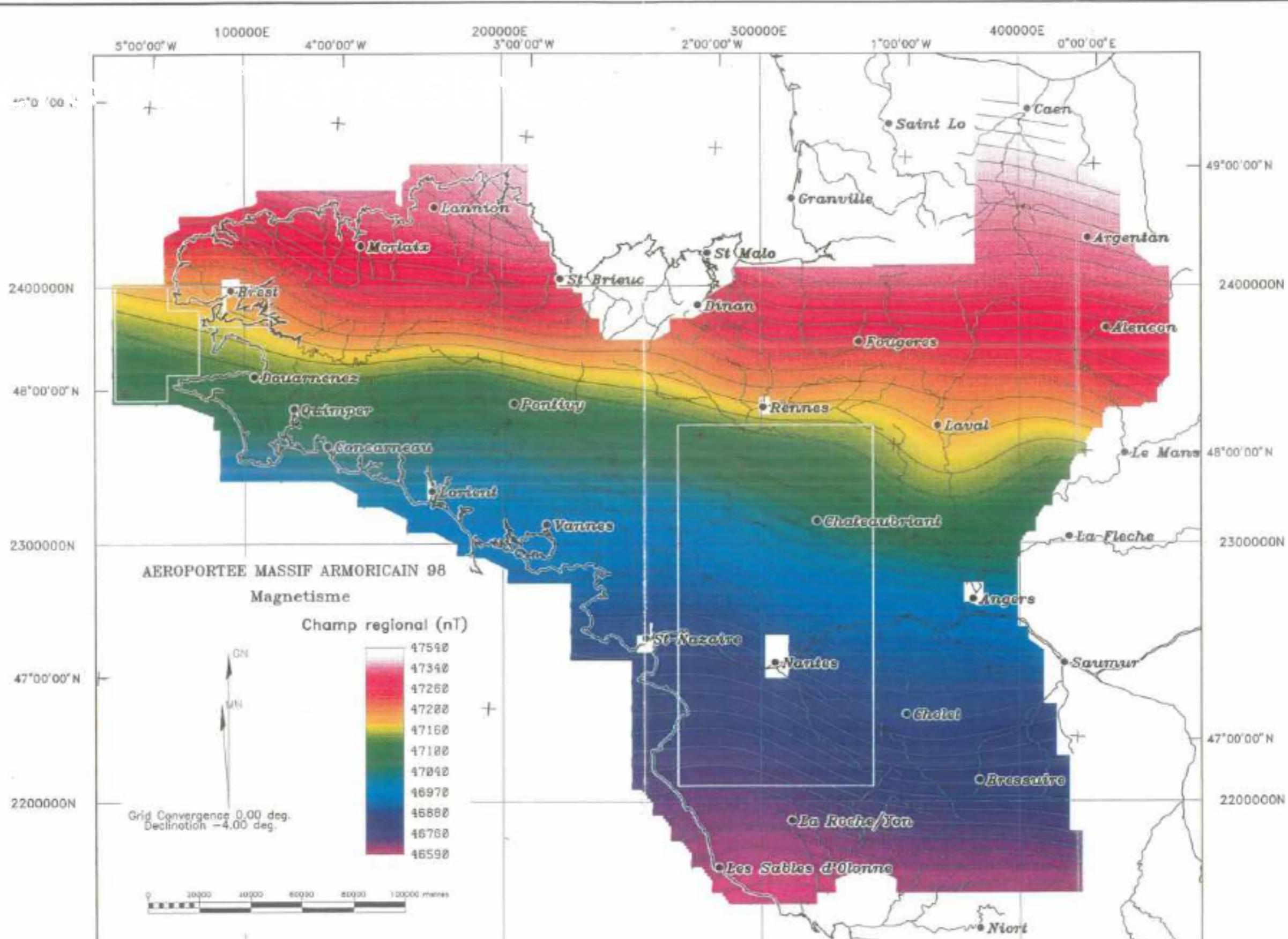
5. La prospection magnétique (le champ crustal)

Couverture géophysique aéroportée du Massif armoricain



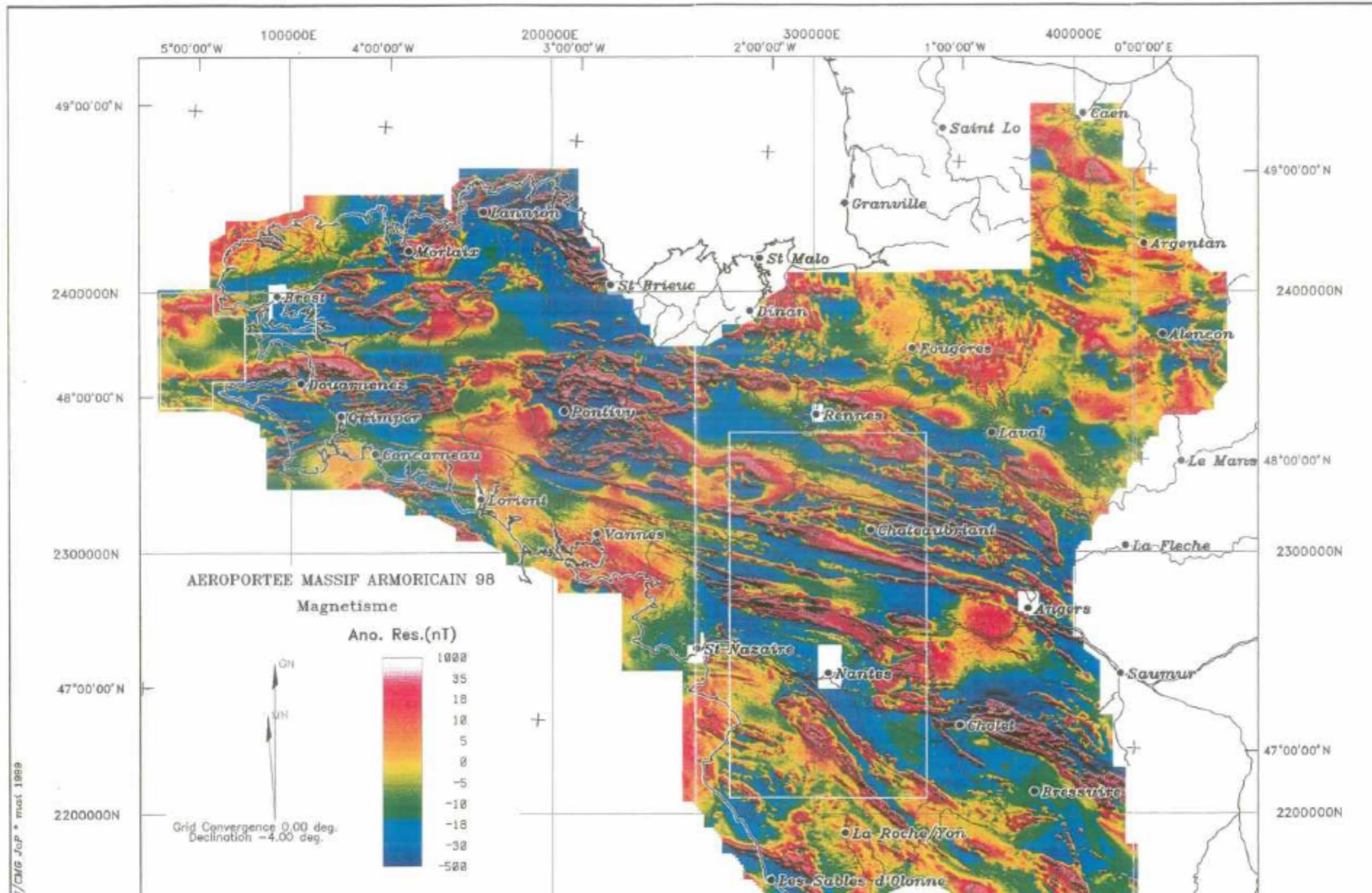
5. La prospection magnétique (le champ crustal)

Couverture géophysique aéroportée du Massif armoricain



5. La prospection magnétique (le champ crustal)

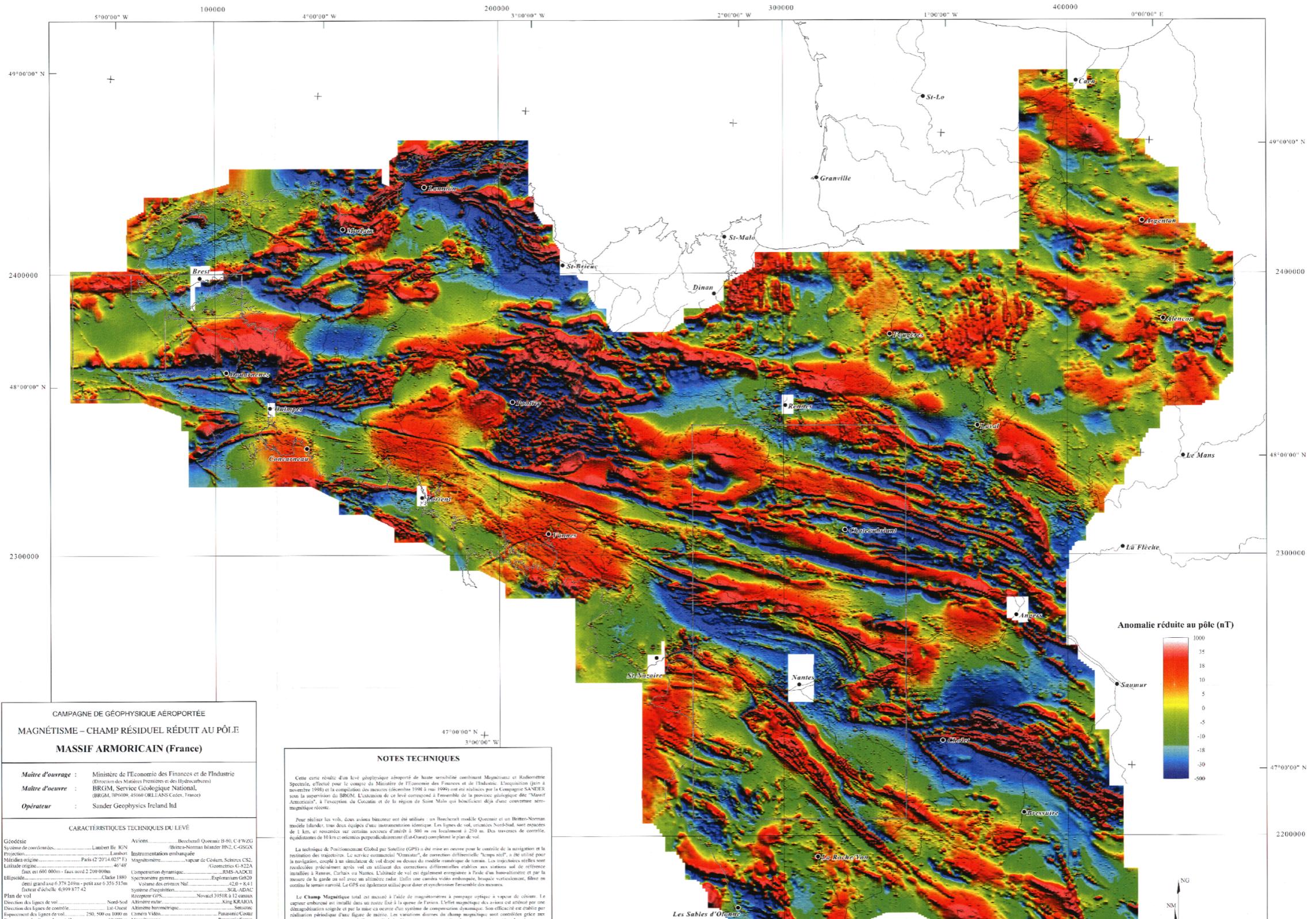
Couverture géophysique aéroportée du Massif armoricain



S. La prospection magnétique (le champ crustal)



GÉOPHYSIQUE AÉROPORTÉE – MASSIF ARMORICAIN MAGNÉTISME – CHAMP RÉSIDUEL RÉDUIT AU PÔLE



CAMPAGNE DE GÉOPHYSIQUE AÉROPORTÉE
MAGNÉTISME – CHAMP RÉSIDUEL RÉDUIT AU PÔLE
MASSIF ARMORICAIN (France)

Maître d'ouvrage : Ministère de l'Economie des Finances et de l'Industrie
(Direction des Matières Premières et des Hydrocarbures)

Maître d'œuvre : BRGM, Service Géologique National,
(BRGM, 109609, 45060 ORLÉANS Cedex, France)

Opérateur : Sander Geophysics Ireland Ltd

CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES DU LEVÉ

Géodésie	Avions	Beechcraft Queenair B-80, C-FWZG
Système de coordonnées		Britannic-Normand Islander BN2, C-GSGX
Projection		Instrumentation embarquée
Méridienne origine		Paris (2°21'4.025" E)
Latitude origine		49°48'
Date au 600 000m		Faax nord 2 210 010m
Ellipsoïde		Clarke 1880
Unité grand axe		6 378 249m - petit axe 6 356 515m
Facteur d'échelle		6,999 877 42
Plan de vol		Novatel 1951R à 12 canaux
Direction des lignes de vol		Nord-Sud
Direction des lignes de contrôle		Altimètre radar
Espacement des lignes de vol		250, 500 ou 1000 m
Espacement des lignes de contrôle		10 000 m
Altitude au sol		120 m

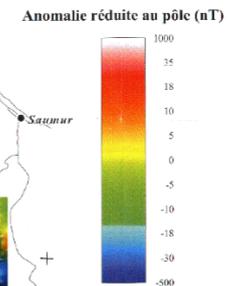
NOTES TECHNIQUES

Cette carte résulte d'un levé géophysique aéroporté de haute sensibilité combinant Magnétisme et Radiométrie Spectrale, effectué pour le compte du Ministère de l'Economie des Finances et de l'Industrie. L'acquisition (jam à novembre 1998) et la compilation des données (décembre 1998 à mai 1999) ont été réalisées par la Compagnie SANDER sous la supervision de BRGM. L'occupation de ce levé correspond à l'ensemble de la province géologique dite "Massif Armoricaire", à l'exception du Cotentin et de la région de Saint-Malo qui bénéficient déjà d'une couverture géophysique récente.

Pour réaliser les vols, deux avions bimoteurs ont été utilisés : un Beechcraft modèle Queenair et un Britten-Norman modèle Islander, tous deux équipés d'une instrumentation identique. Les lignes de vol, orientées Nord-Sud, sont espacées de 1 km, et réalisées sur certains secteurs d'anémétrie à 500 m ou localement à 250 m. Des traverses de contrôle, équidistantes de 10 km et orientées perpendiculairement (Est-Ouest) complètent le plan de vol.

La technique de Positionnement Global par Satellite (GPS) a été mise en œuvre pour le contrôle de la navigation et la restitution des trajectoires. Le logiciel commercial "Onstar", de correction différentielle "champ réel", a été utilisé pour la navigation, associé à un simulateur de vol placé au-dessus du modèle numérique de terrain. Les trajectoires réelles sont recalculées précisément après vol en utilisant des corrections différentielles établies aux stations sol de référence installées à Rennes, Carhaix ou Nantes. L'altitude de vol est également corrigée à l'aide d'un barométrique et par la mesure de la garde au sol avec un altimètre radar. Enfin une caméra vidéo embarquée, boussole vectorielle, filtre en continu le terrain survolé. Le GPS est également utilisé pour dater et synchroniser l'ensemble des mesures.

Le **Champ Magnétique** total est mesuré à l'aide de magnétomètres à pompage optique à vapeur de césium. Le capteur embarqué est installé dans un roue fixé à la queue de l'avion. L'effet magnétique des avions est atténué par une démodulation sinusoïdale et par la mise en œuvre d'un système de compensation dynamique. Son efficacité est établie par réalisation périodique d'une figure de routine. Les variations diurnes du champ magnétique sont contrôlées grâce aux enregistrements aux stations sol (Rennes, Carhaix, Nantes) et sont soustraites des mesures aéroportées. Les écarts aux notes de croquis sont les lignes et les tracés ont été analysés et corrigés. Un chemin topographique est tracé sur



5. La prospection magnétique (le champ crustal)

Prospection «géophysique» archéologique : indispensable avant toute fouille.

Permet d'avoir une vue d'ensemble
Schéma grossier des structures

La méthode magnétique avec la méthode électrique représentent les deux méthodes majeures.

5. La prospection magnétique (le champ crustal)

Prospection «géophysique» archéologique : indispensable avant toute fouille.

Aimantations induite et rémanente :

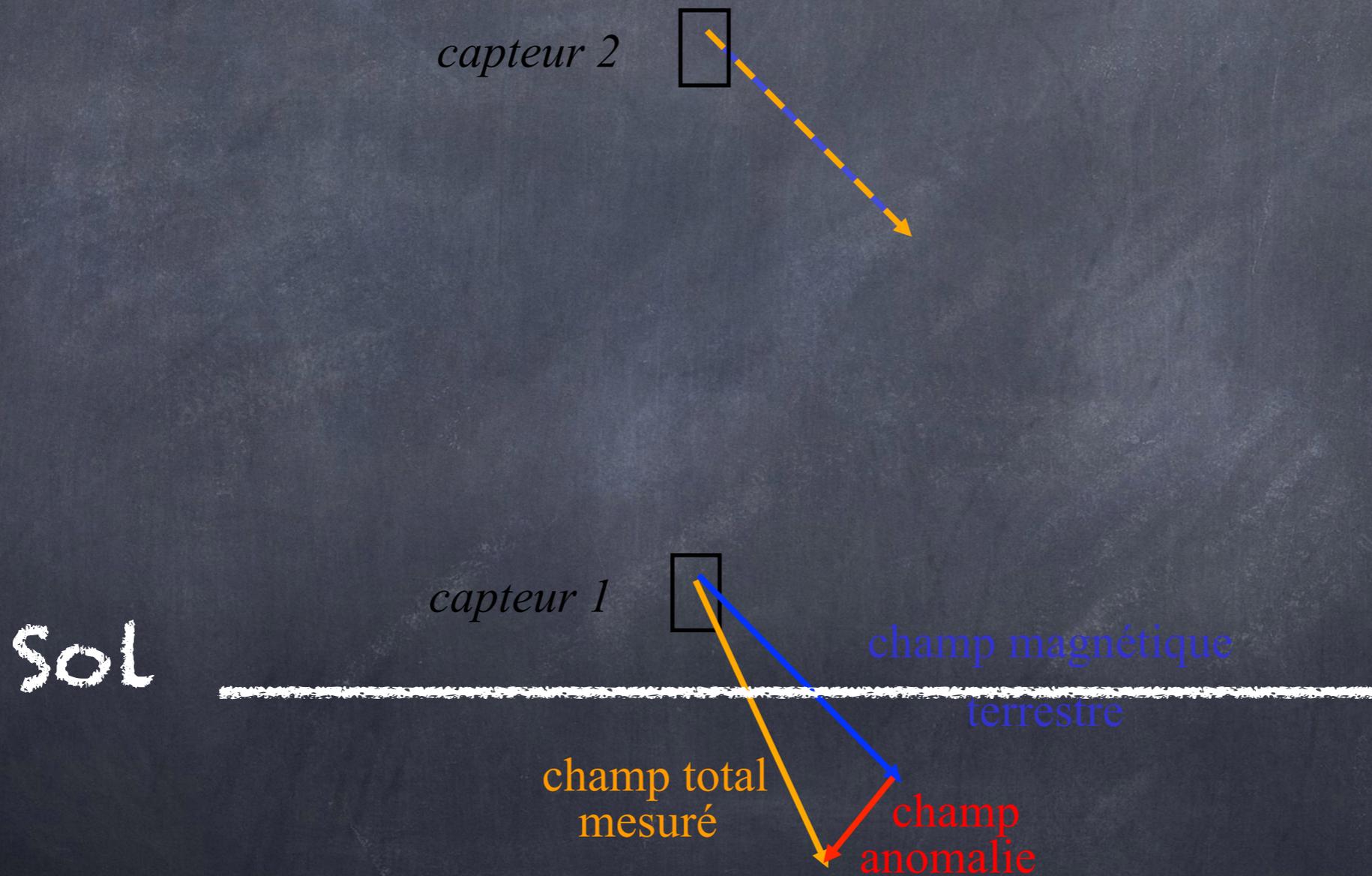
sont liées aux teneurs en oxydes et sulfures de fer

Valeurs élevées : Objets en fer
argile cuite
matériaux à faible granulométrie (fossés comblés de matériaux fins)

Valeurs faibles : matériaux calcaires
sables, graviers
Fondations de murs calcaires.

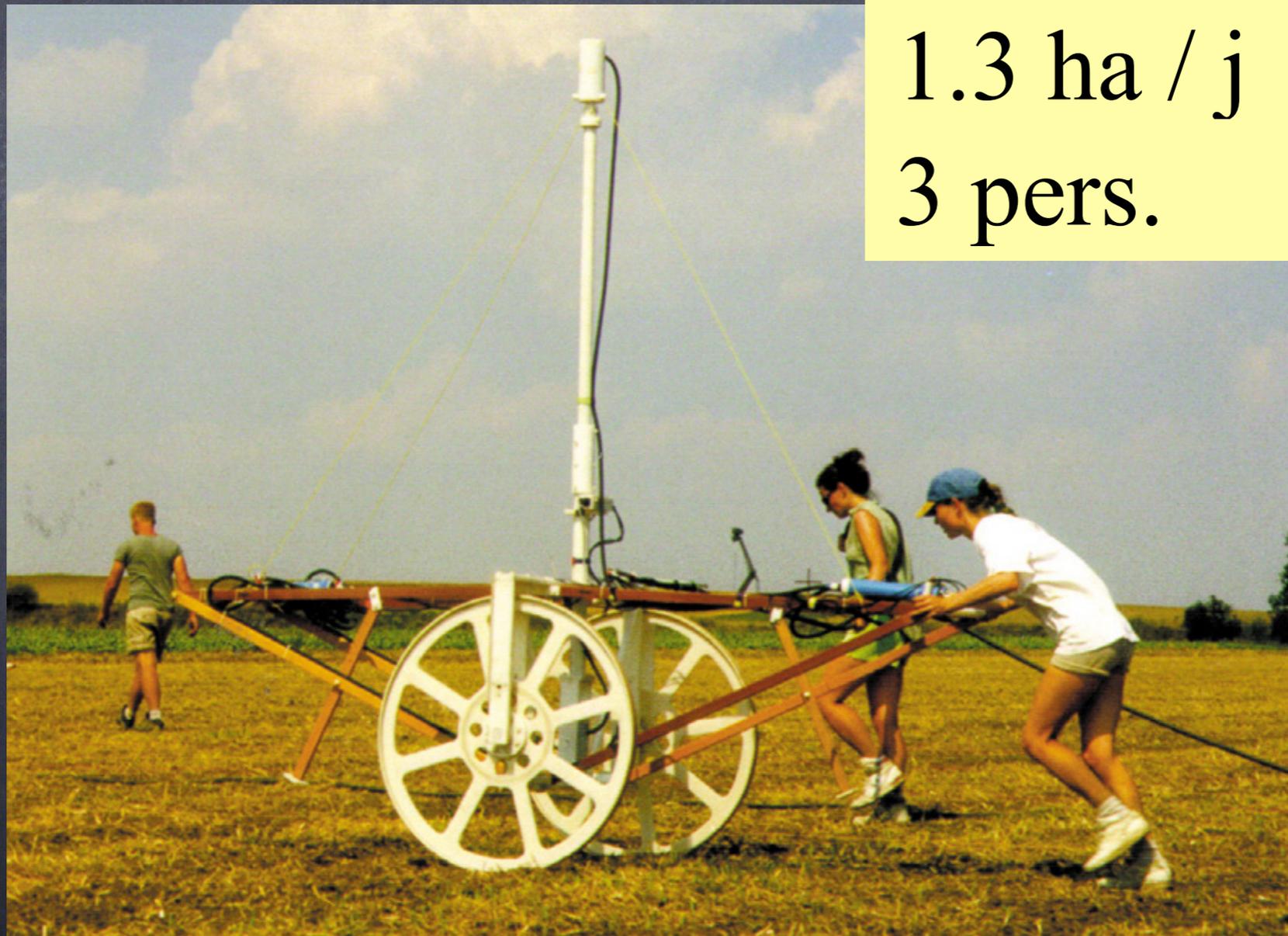
5. La prospection magnétique (le champ crustal)

Prospection archéologique : Couplage de deux capteurs.



5. La prospection magnétique (le champ crustal)

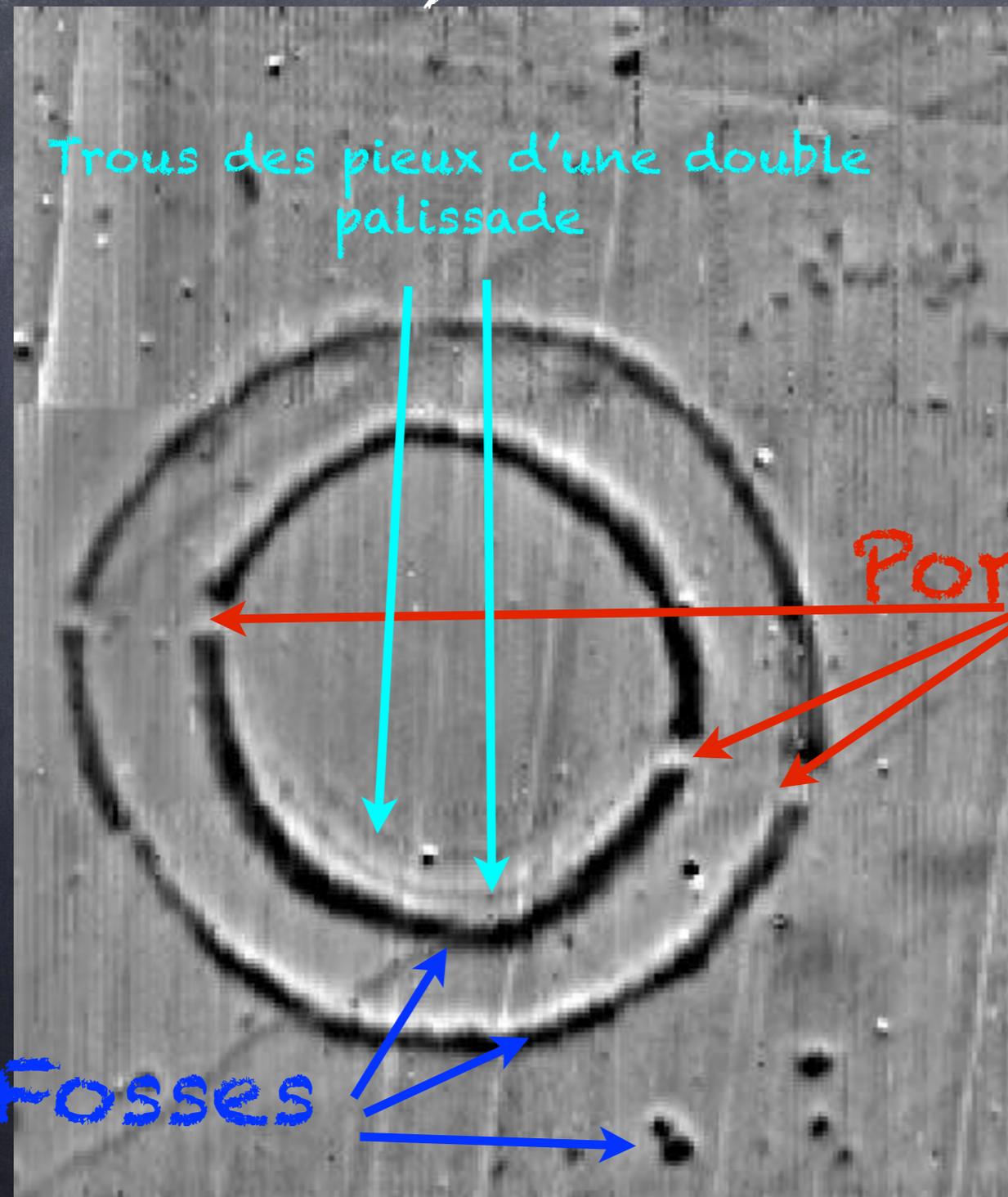
Prospection archéologique : indispensable avant toute fouille.



1.3 ha / j
3 pers.

5. La prospection magnétique (le champ crustal)

1,2 ha



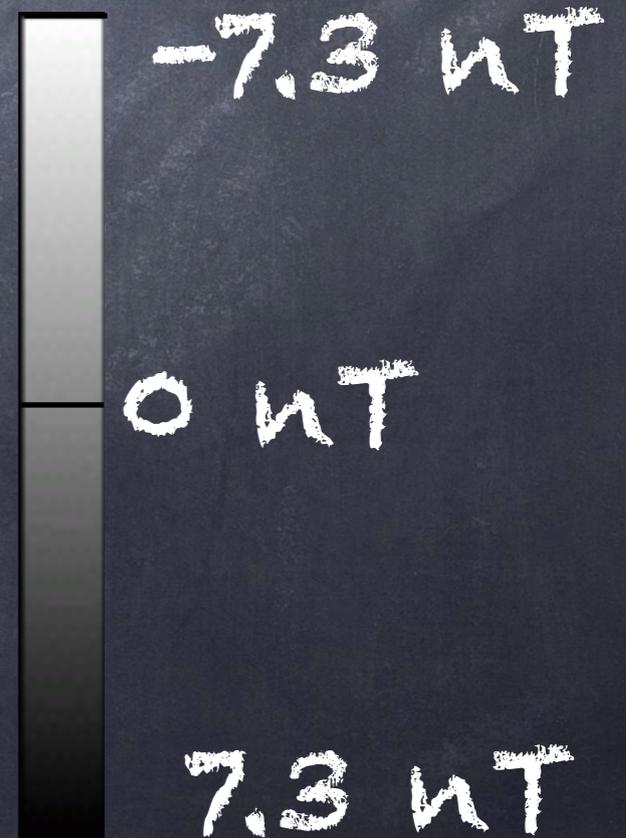
5. La prospection magnétique (le champ crustal)

1,2 ha



Trous de poteaux
d'une construction de
l'âge du bronze
ancien.

Ancienne limite de
parcelle



5. La prospection magnétique (le champ crustal)

Prospection archéologique : Strögen (Autriche).

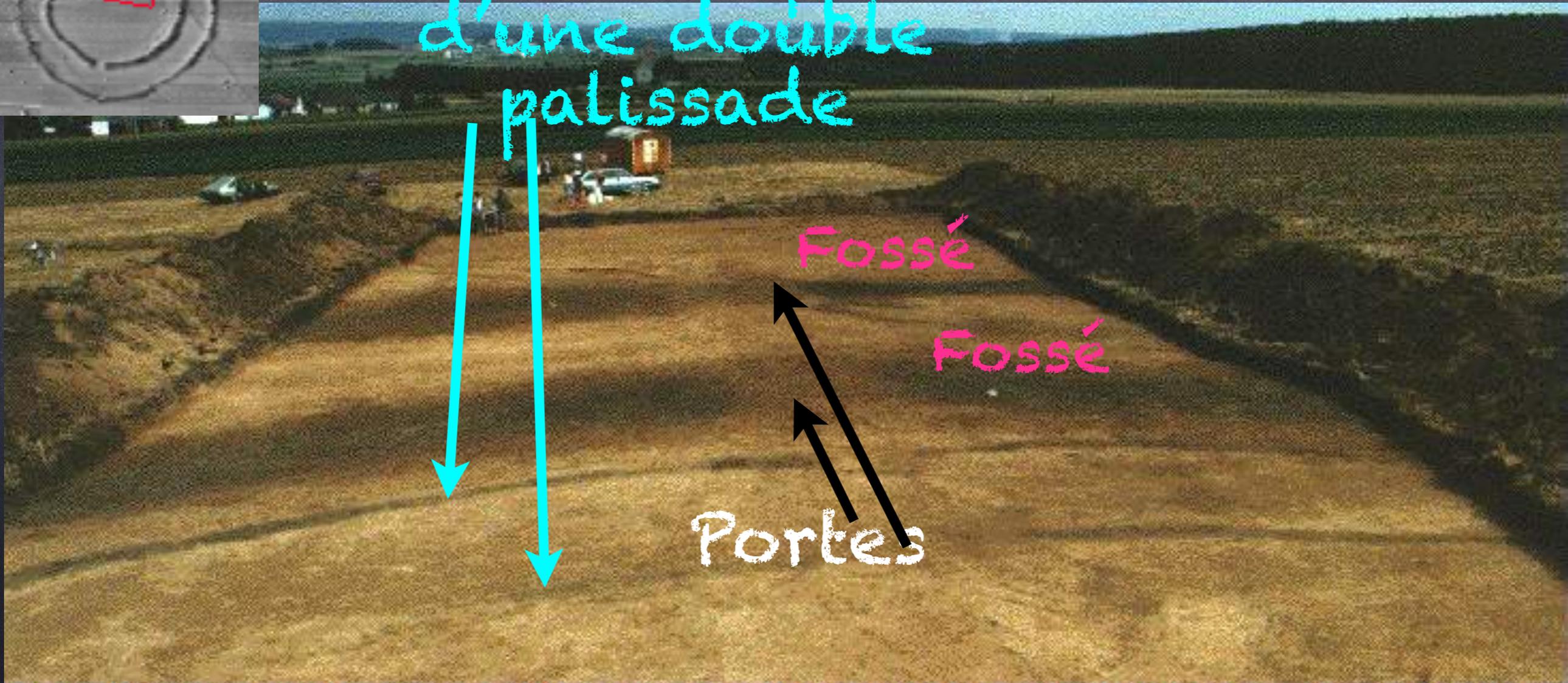
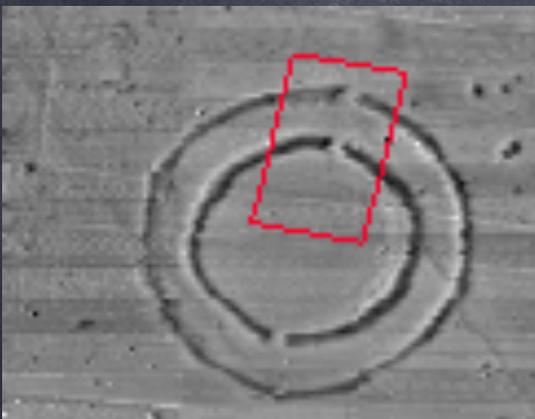
Néolithique Moyen

Trous des pieux
d'une double
palissade

Fossé

Fossé

Portes



5. La prospection magnétique (le champ crustal)

Prospection archéologique : (source : <http://astrosim.univie.ac.at>)

