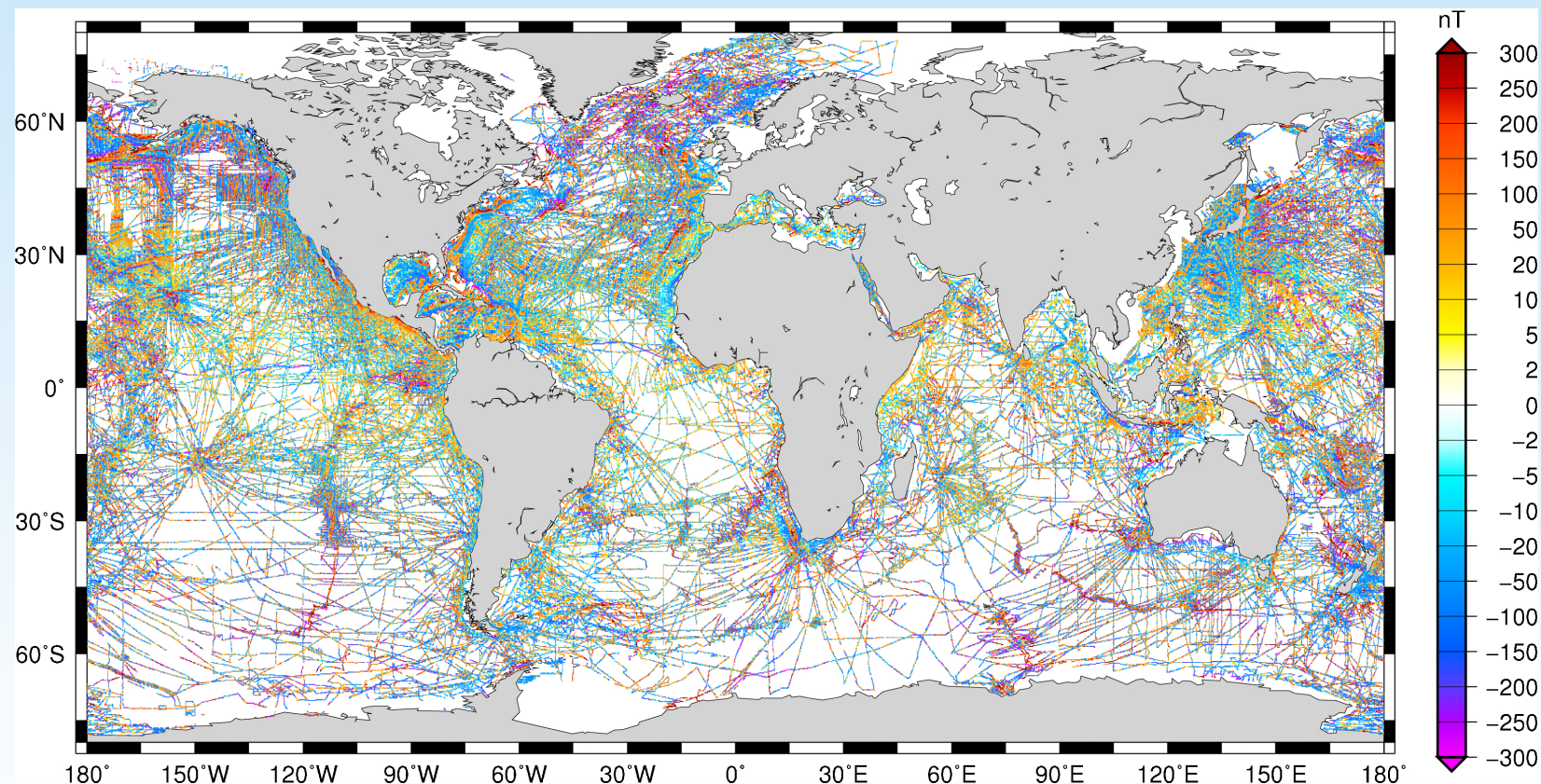


Les données magnétiques marines : vers la nouvelle version de la carte mondiale des anomalies magnétiques (WDMAM)



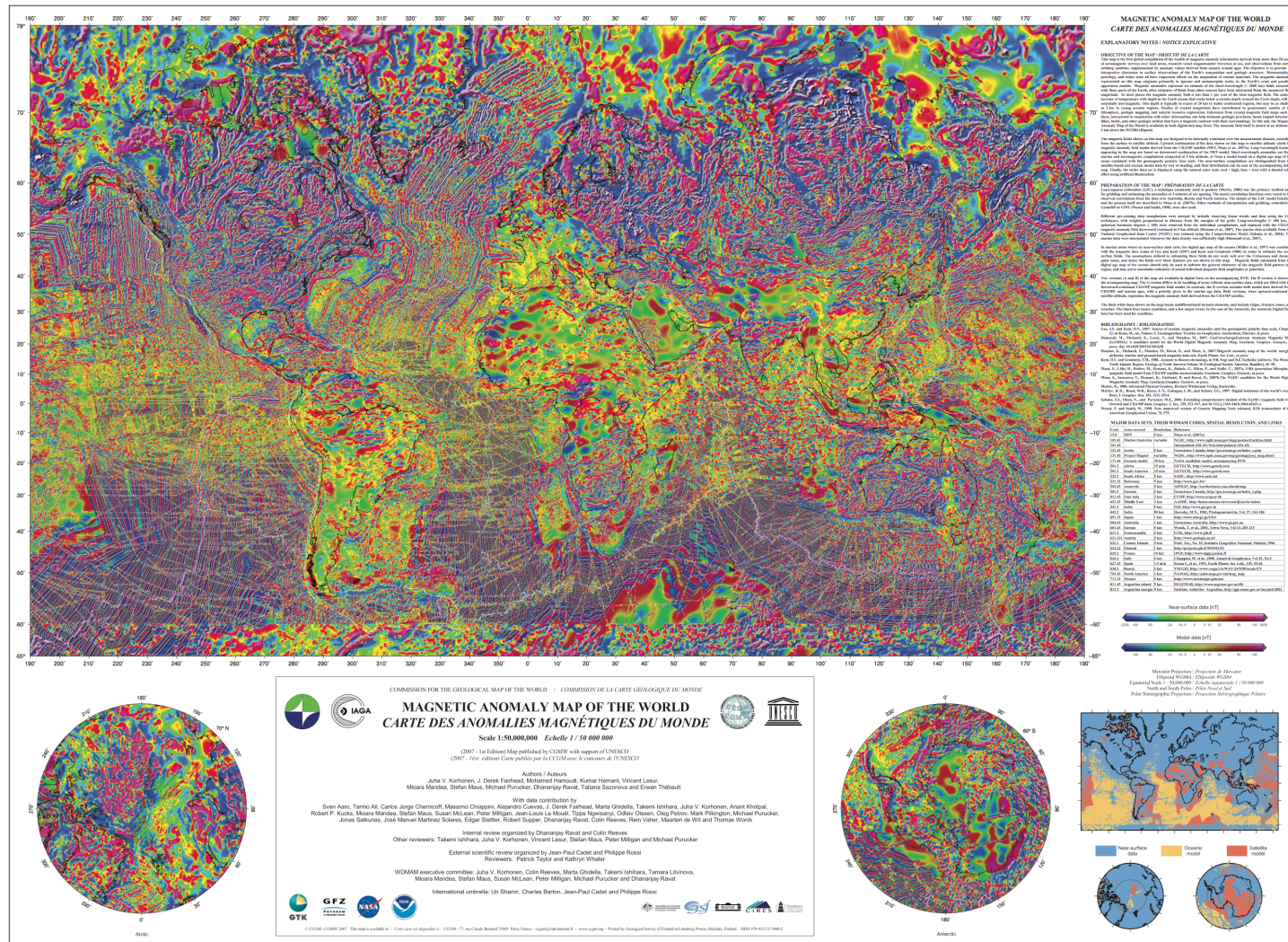
Yoann QUESNEL (GFZ Potsdam)
avec Takemi Ishihara (GSJ, Japon) et Manuel Catalán (ROSN, Espagne)

Sommaire

- Introduction
 - WDMAM
 - Améliorations possibles
- Sources d'erreurs et méthodes pour corriger les données magnétiques marines conservées au GEODAS
 - corrections préliminaires
 - analyse le long des tracés
 - mise à niveau (leveling)
- Vers une nouvelle version de la carte WDMAM
 - prolongement vers le haut
 - interpolation
- Conclusions

Introduction : WDMAM ?

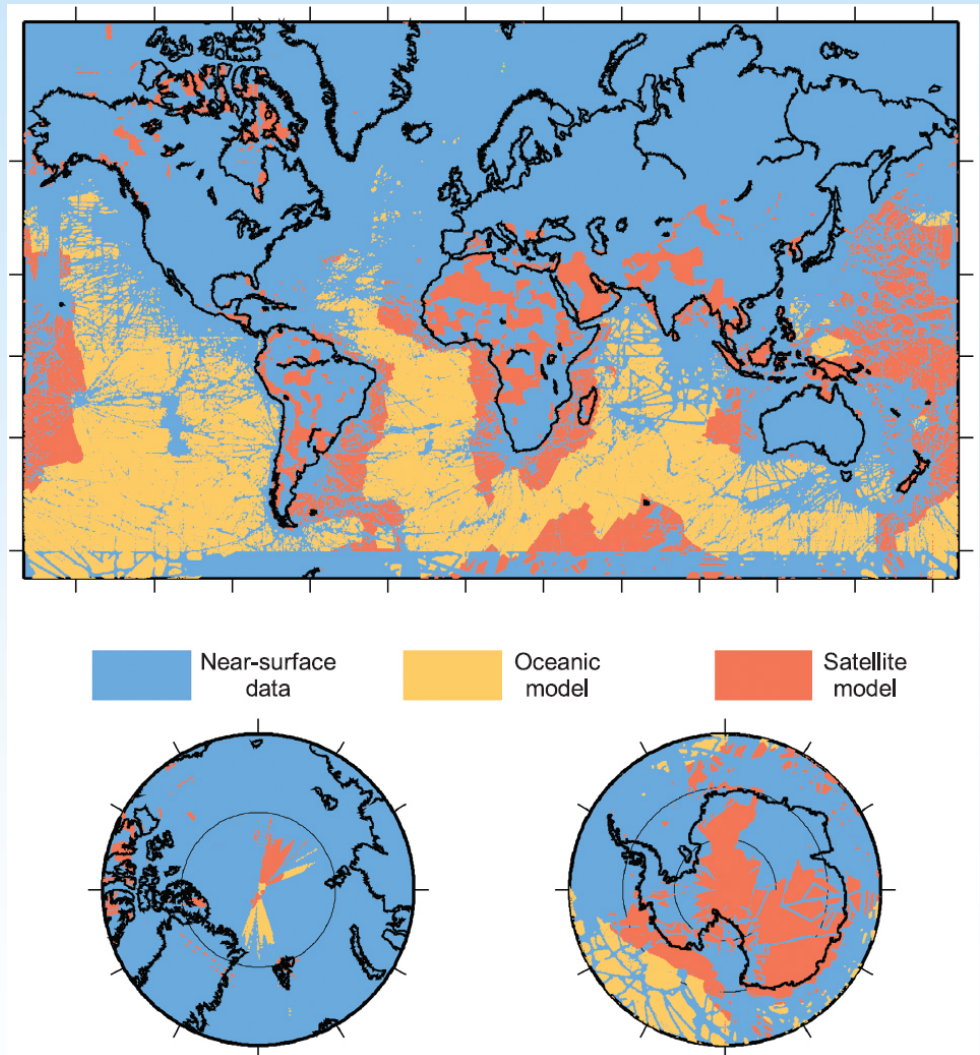
World Digital Magnetic Anomaly Map (altitude : 5 km, résolution : 3')



Introduction : WDMAM ?

World Digital Magnetic Anomaly Map

- Données de surface :
 - aéromagnétiques
 - marines
- Modèle océanique :
 - carte des âges des surfaces océaniques (Müller et al., 1997)
 - échelle temporelle de polarité géomagnétique (Gee and Kent, 2007)
- Modèle satellitaire :
 - données CHAMP : MF5 (Maus et al., 2007)

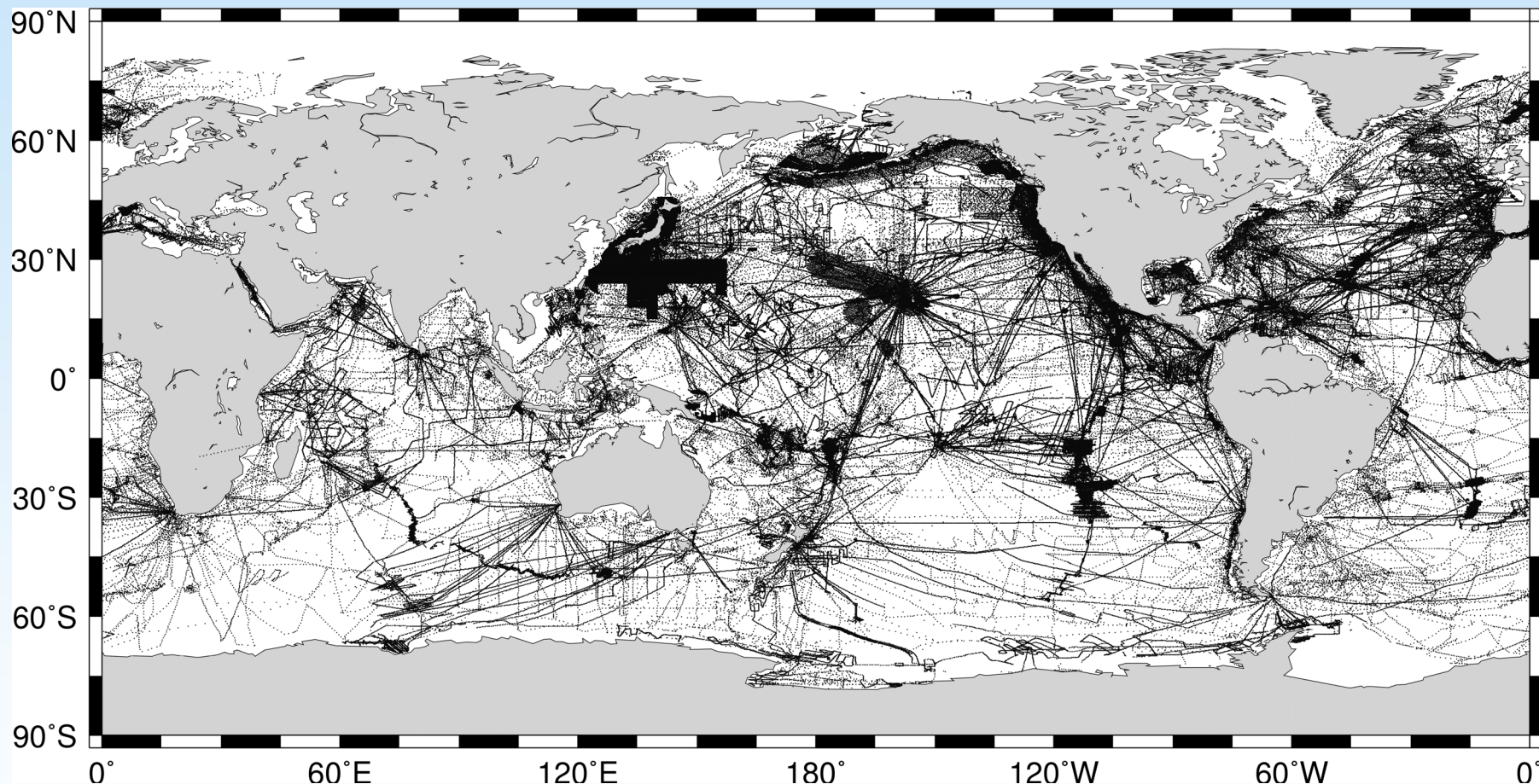


Introduction : Améliorations possibles

- Inclure de nouvelles données
- Augmenter la résolution globale à 1:25.000.000 (2' d'arc), jusqu'à 1 km localement
- Affiner les recouvrements entre jeux de données
- Mettre à jour le modèle satellitaire (→ MF6)
- Mettre à jour le modèle d'anomalies océaniques (nouvelle carte âges océans : Müller et al., 2008)
- Réviser les données existantes :

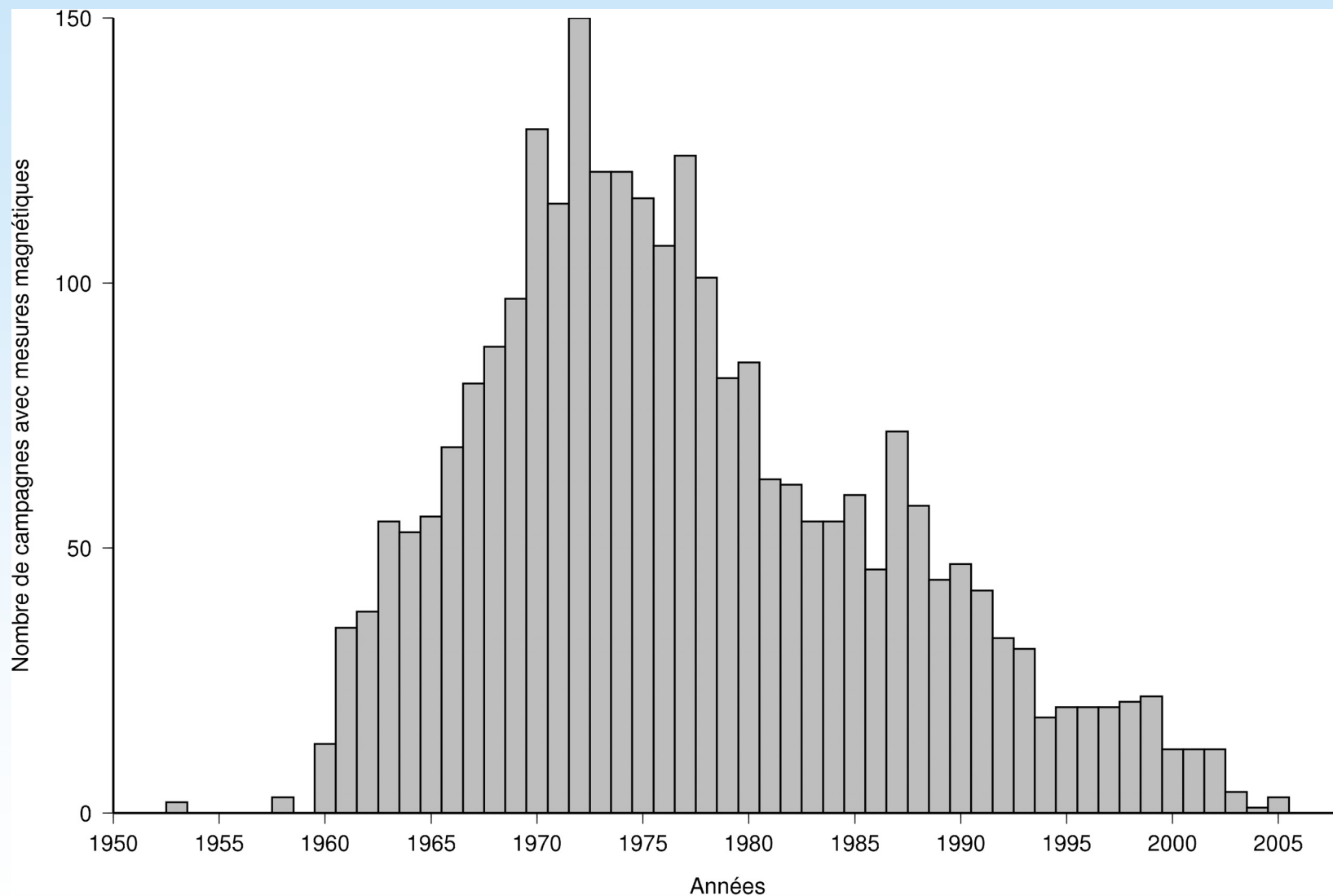
Jeu de données magnétiques marines ?

Introduction : Données magnétiques marines de 1953 à 2004, conservées au GEODAS



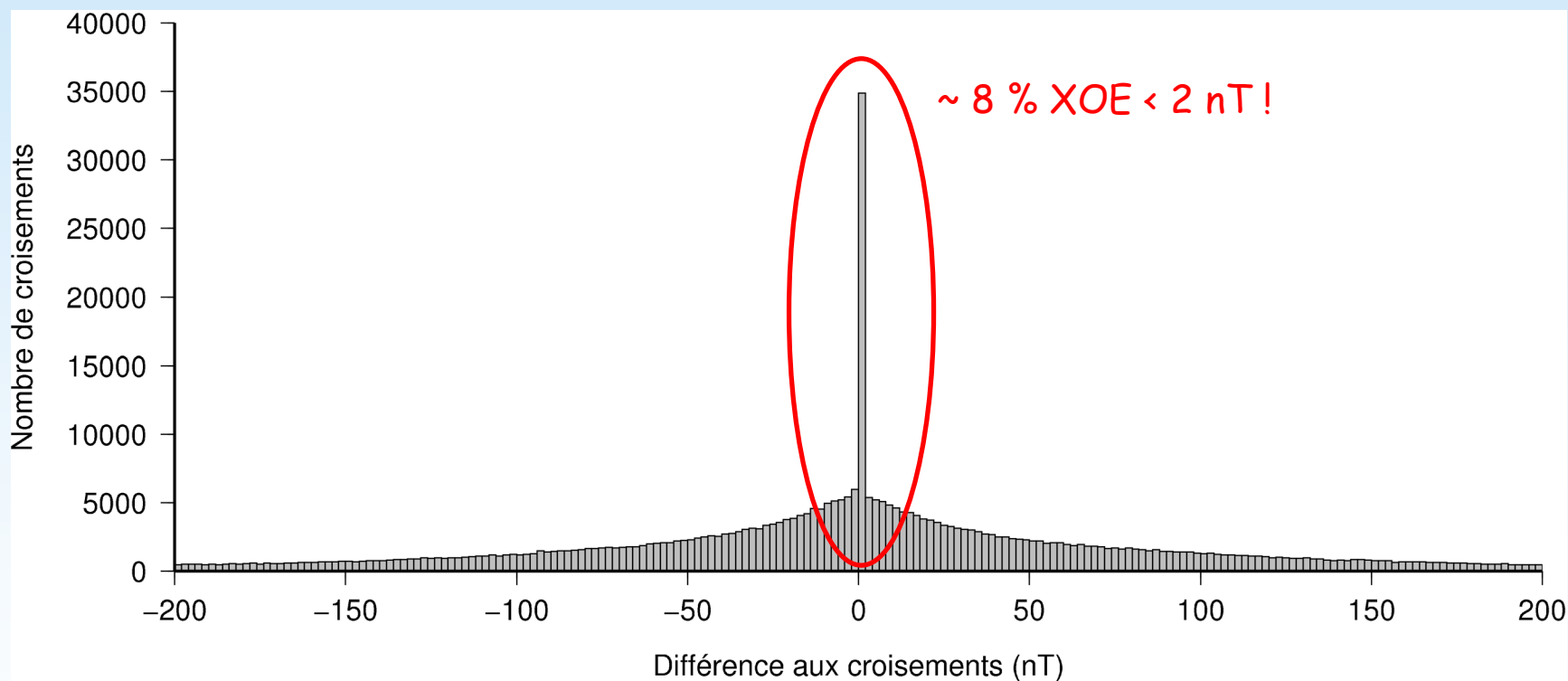
www.ngdc.noaa.gov/mgg/geodas/
2410 campagnes ; 20.254.321 données

Introduction : Données magnétiques marines de 1953 à 2004, conservées au GEODAS



Introduction : Données magnétiques marines de 1953 à 2004, conservées au GEODAS

Nombre de croisements (cross-over ; XO) : 441163



$$\text{RMS}_{\text{XOE}s} = 173.8 \text{ nT} ; 66792 | \text{XOE} | > 200 \text{ nT}$$

Sources d'erreur

En 1 point (λ, φ) au temps (t) :

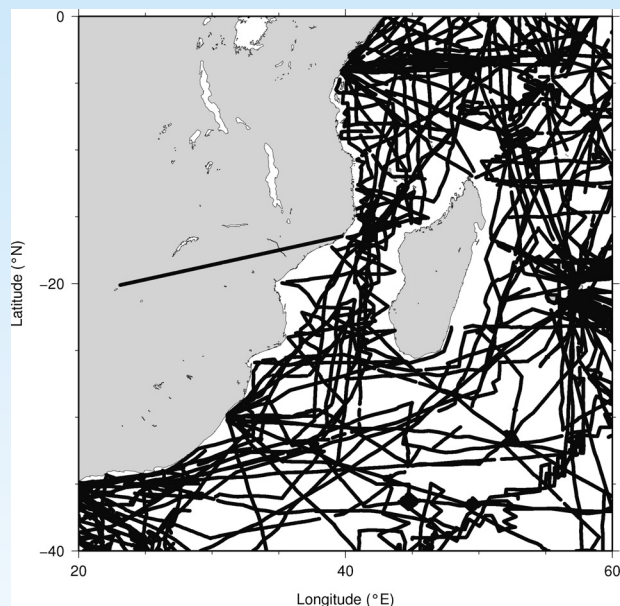
$$\Delta B_{Lithosphère}^{\lambda, \varphi, t} = B_{Mesuré}^{\lambda, \varphi, t} - B_{Noyau}^{\lambda, \varphi, t} - B_{Externe}^{\lambda, \varphi, t} - B_{Bruit}$$

└─ Champ total (TF)

- Positionnement en espace et en temps (λ, φ, t)
- Modèle du champ géomagnétique
- Observatoires magnétiques de référence
- Relevé des observations
- Magnétomètres

Corrections préliminaires

Positionnement en espace et en temps



Vérification, correction et/ou exclusion des données lorsque :

- sur terres émergées
- même date (en secondes)
- temps décroissant
- vitesse supérieure à 30 noeuds

Campagnes doublement répertoriées	
E881SP	EVA800
GH7901	G179NP
POL7001	P170WG
POL7106	P671WG
PZGSCXUS	P172WF

Corrections préliminaires

Extraction de l'anomalie magnétique : principe

$$\Delta B_{Lithosphère}^{\lambda, \varphi, t} = B_{Mesuré}^{\lambda, \varphi, t} - B_{Noyau}^{\lambda, \varphi, t} - B_{Externe}^{\lambda, \varphi, t} - B_{Bruit}$$

A l'époque :

?

- Modèles IGRF → révisés par la suite
- Observatoires magnétiques proches → limité aux côtes

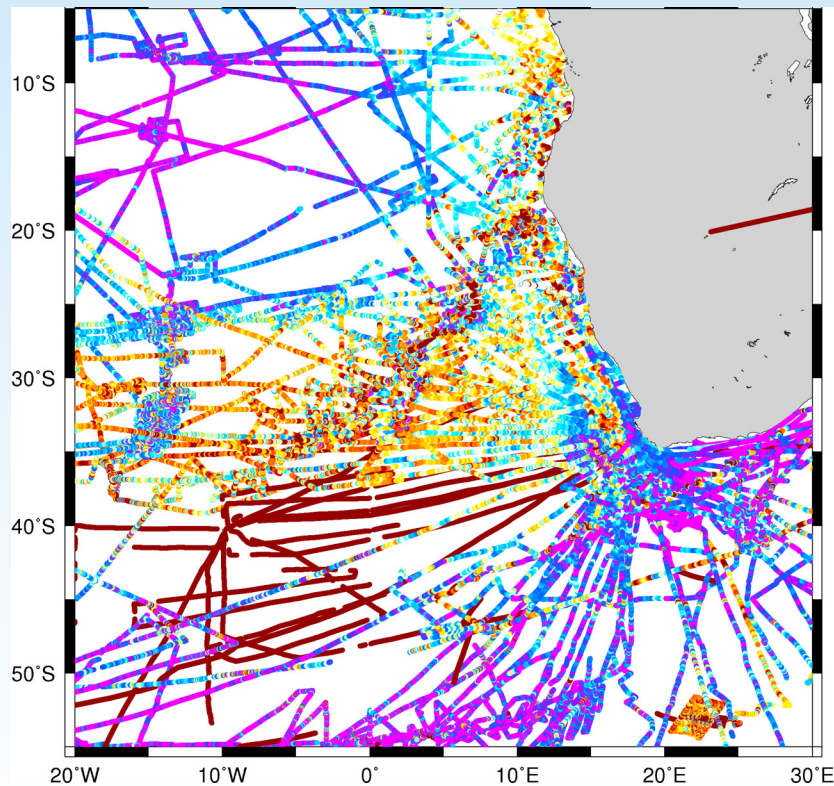
Aujourd'hui :

- Modèle Compréhensif étendu CM4 (Sabaka et al., 2004) →
intègre données satellitaires POGO, Magsat, Oersted, CHAMP, SAC-C
et données d'observatoires depuis 1960 jusqu'en 2002.5
- Modèle CHAOS (Olsen et al., 2006) → intègre données satellitaires
Oersted, CHAMP, SAC-C entre 1999 et 2005.

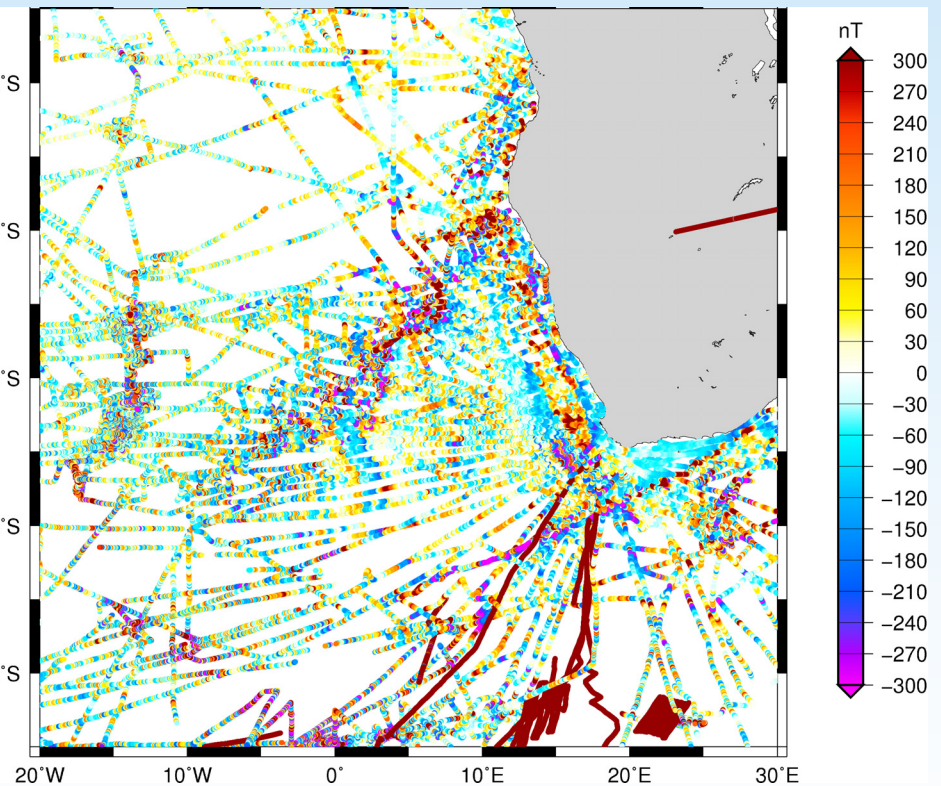
Corrections préliminaires

Extraction de l'anomalie magnétique : exemple

Anomalies originales



Anomalies après extraction CM4

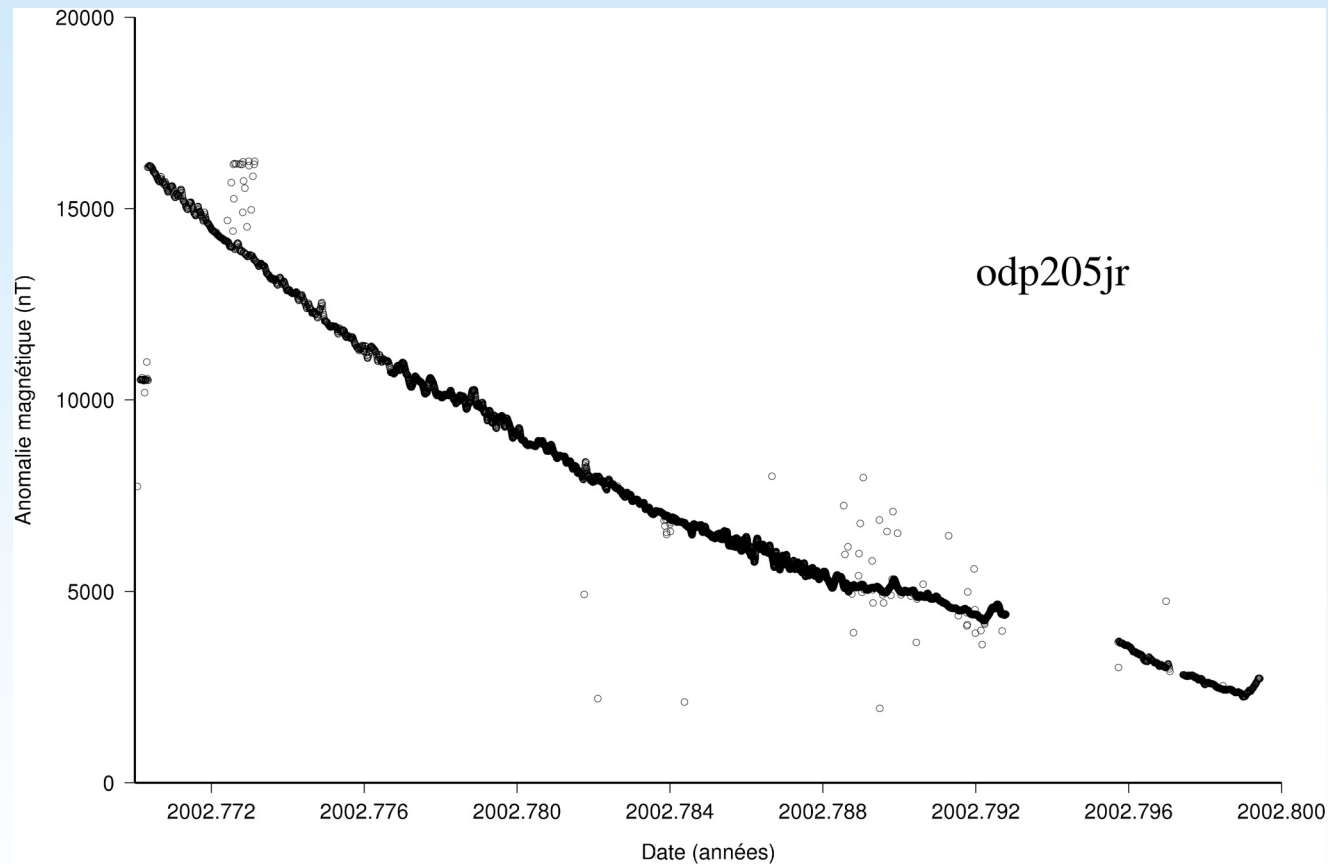


Quesnel et al., IUGG, 2007

Analyse le long des tracés

Exemples d'erreurs

Tendance à grande l.o. corrélée à un autre paramètre (t , λ , ϕ , etc.)

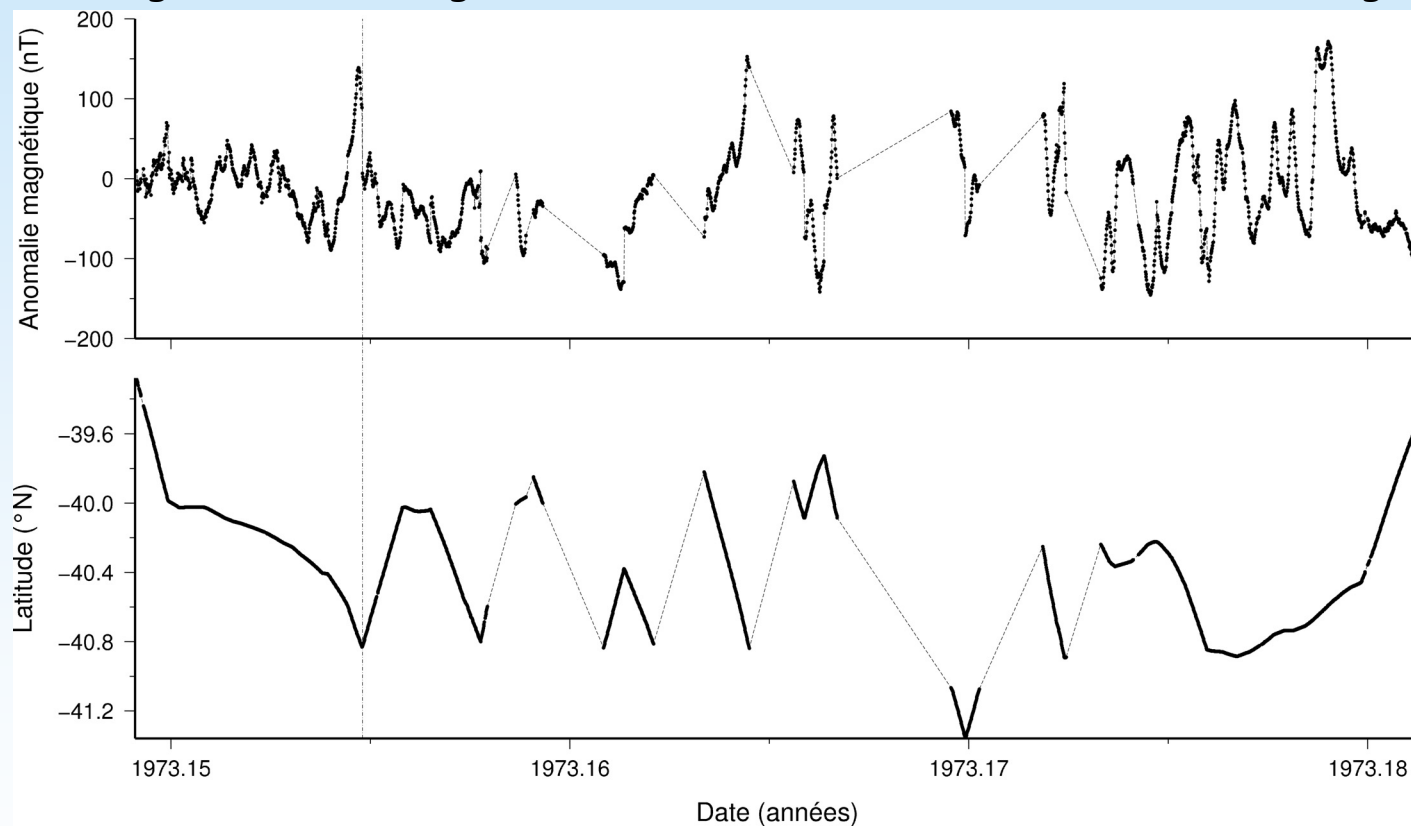


Méthode de correction : retirer la tendance estimée par un filtre

Analyse le long des tracés

Exemples d'erreurs

Décalage dû à un changement de direction du navire (+ échantillonnage)



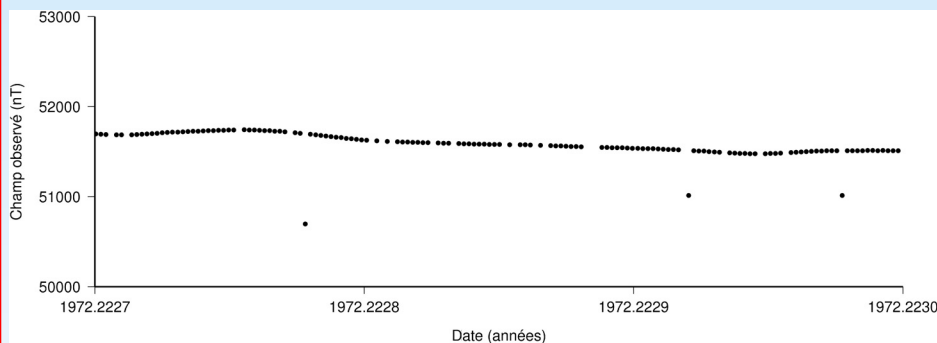
Méthode de correction : Bullard and Mason (DSR, 1961) si décalage > 100 nT, et si échantillonnage supérieur ou égal à 5 minutes

Analyse le long des tracés

Exemples d'erreurs

Décalages dûs à un mauvais relevé des mesures TF

Isolé (spike)

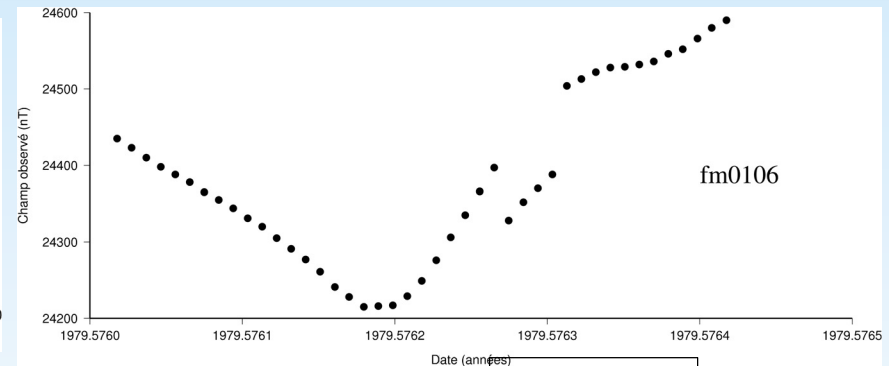


Champ observé (nT)
51719
51709
51705
50698
51693
51687
51680

Champ observé (nT)
51524
51522
51519
51013
51511
51507
51505

Champ observé (nT)
51509
51509
51510
51012
51510
51511
51511

En série (décalage constant)



Champ observé (nT)
24306
24335
24366
24397
24328
24352
24370

24388
24504
24513
24522
24528
24529
24532
24536

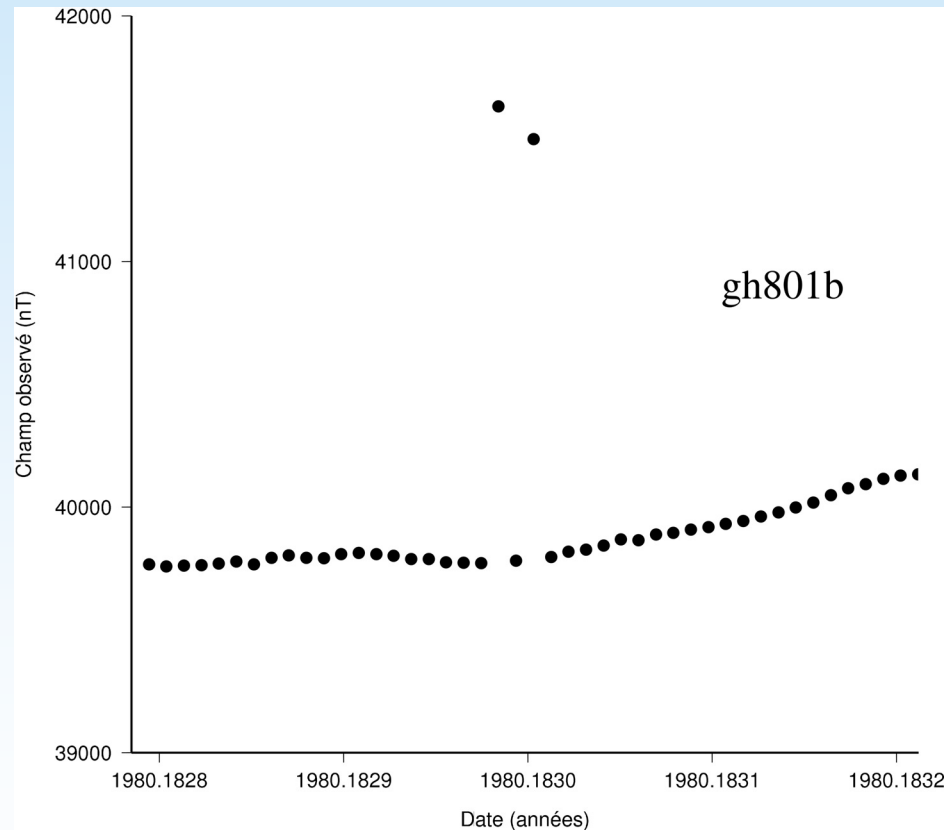
Méthode de correction : 1-identifier le décalage, 2-corriger la valeur TF

Analyse le long des tracés

Exemples d'erreurs

Autres décalages (spikes isolés inexplicables..)

Champ observé (nT)
39789
39788
39775
39774
39771
41632
39782



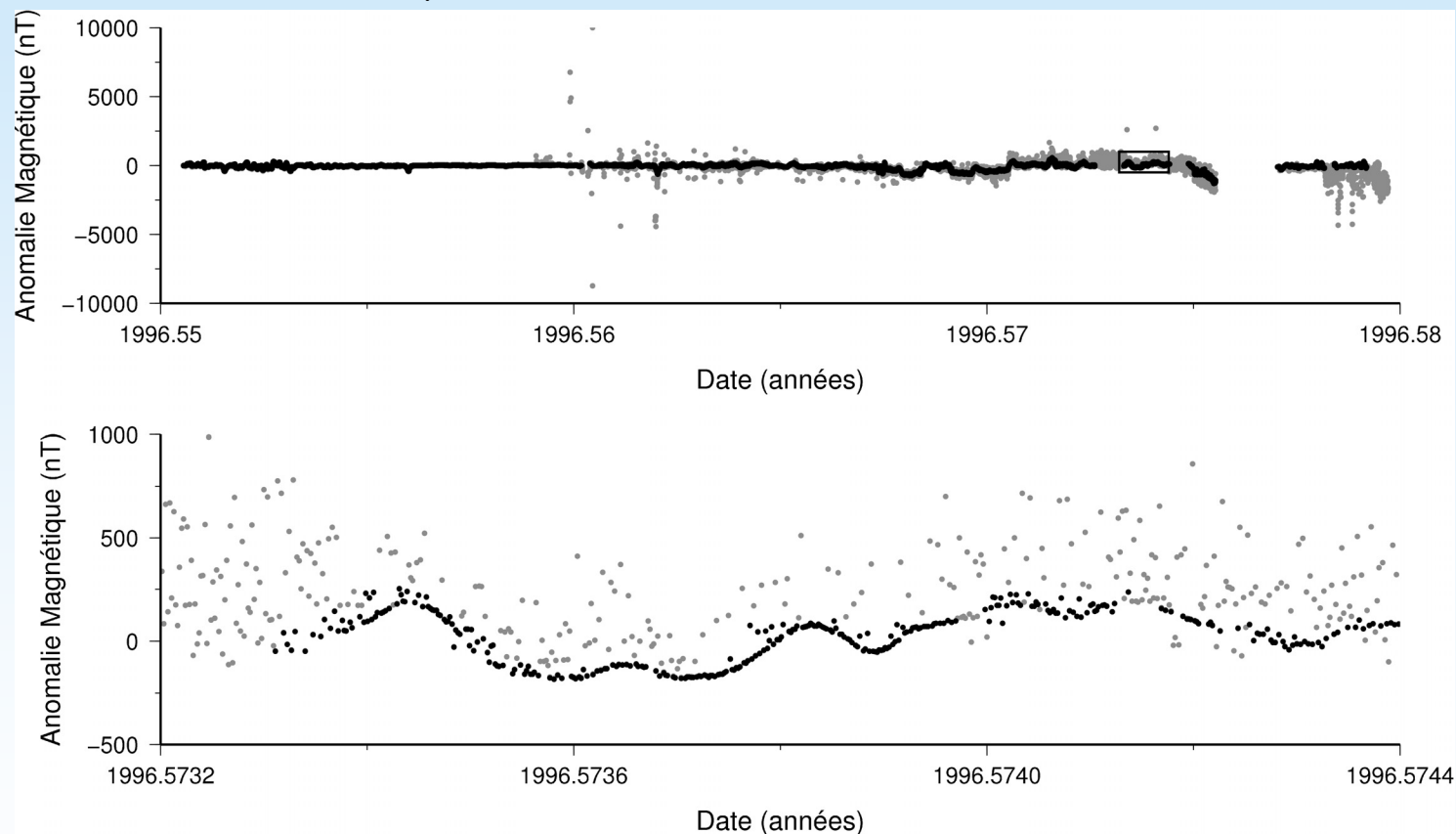
41499
39797
39819
39826
39844
39868
39865
39888

Méthode de correction : 1 - comparer aux valeurs voisines (du tracé correspondant ainsi que des tracés voisins) 2- SOIT éliminer SOIT corriger

Analyse le long des tracés

Exemples d'erreurs

Spikes en série (données bruitées)

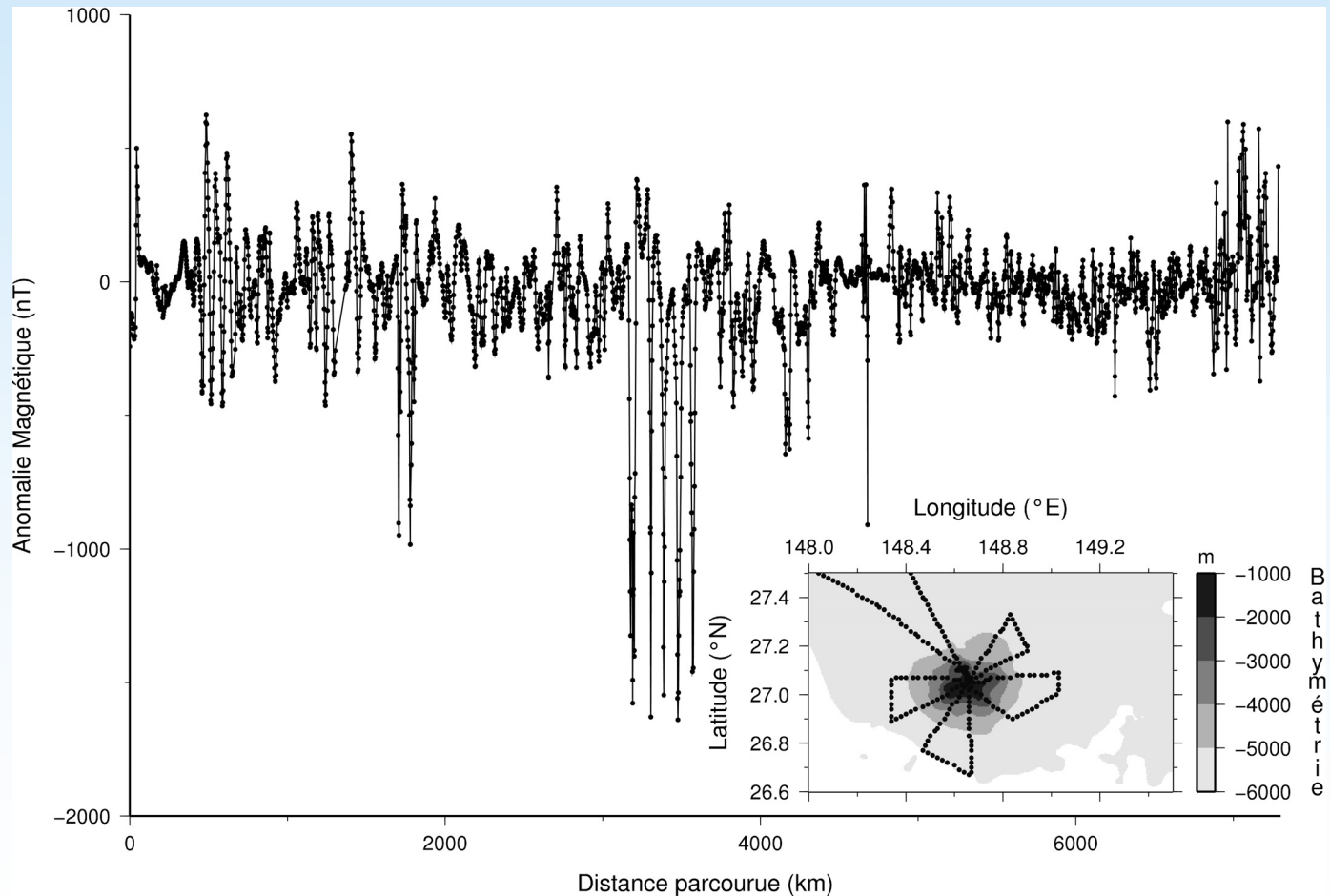


Méthode de correction : 1-sélectionner les parties où l'anomalie semble visible, 2-appliquer un filtre passe-bas reproduisant l'anomalie, 3-retirer le bruit restant valeur par valeur

Analyse le long des tracés

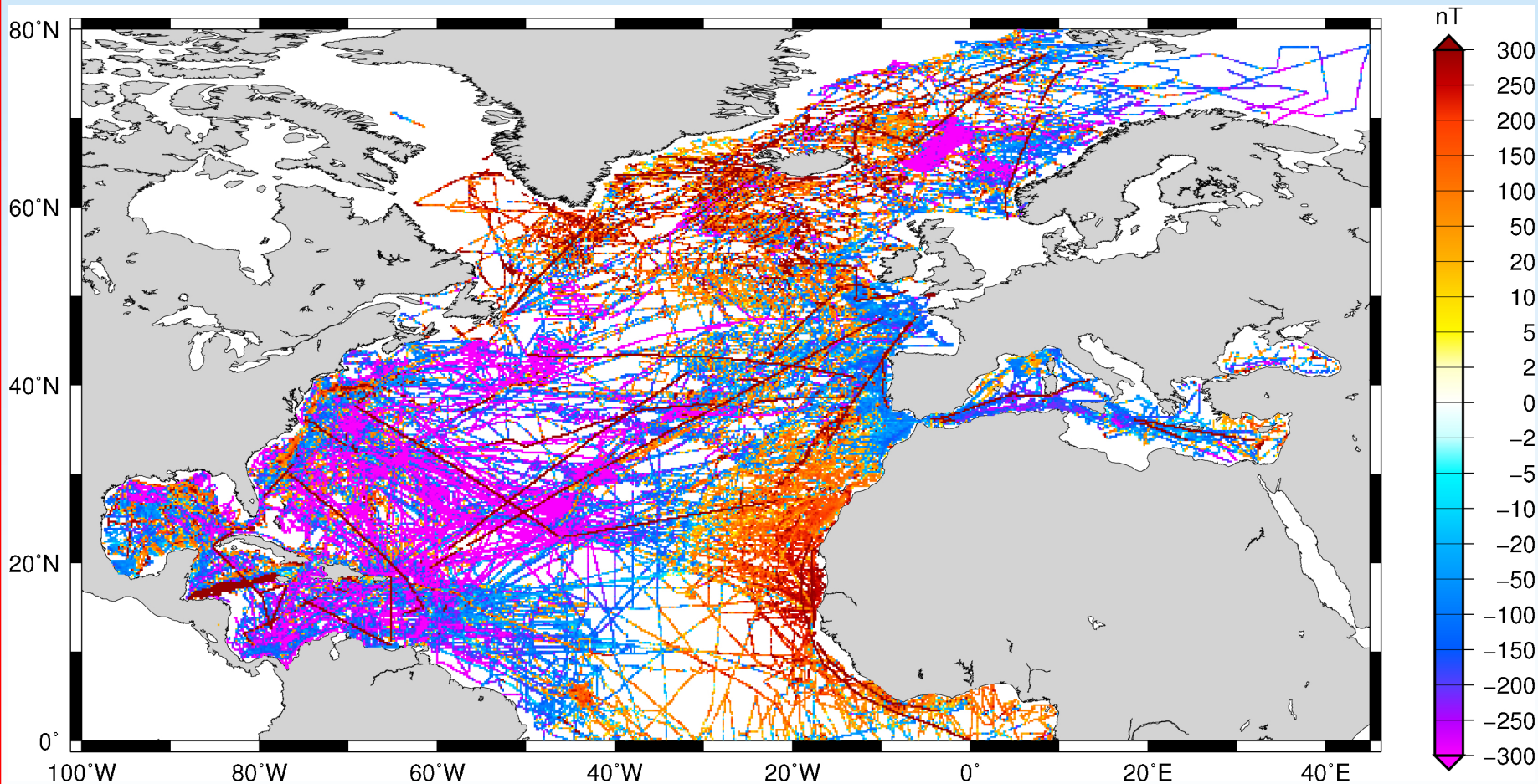
Exemples d'erreurs

Attention à la bathymétrie !



Analyse le long des tracés

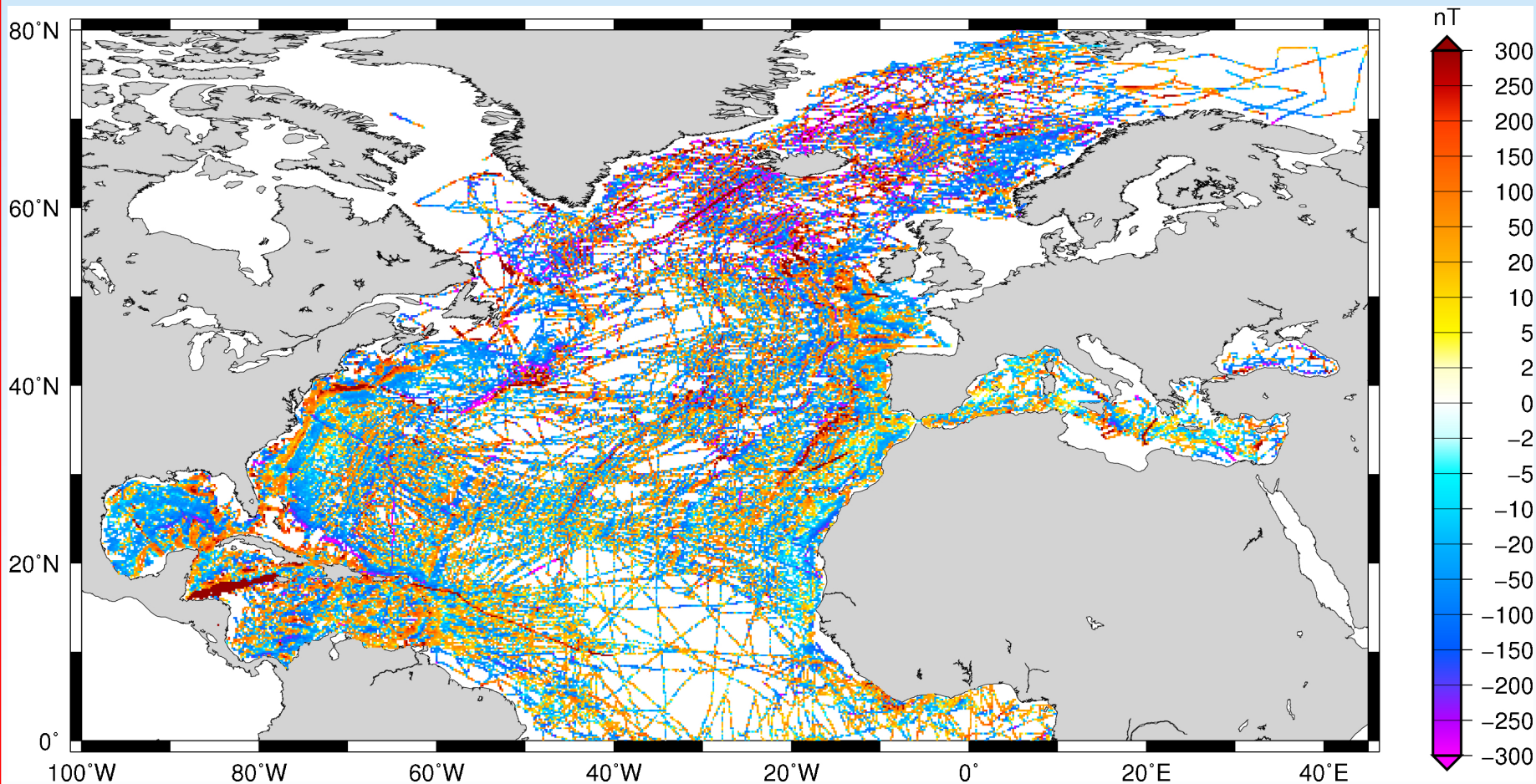
Atlantique Nord



Données originales d'anomalies magnétiques

Analyse le long des tracés

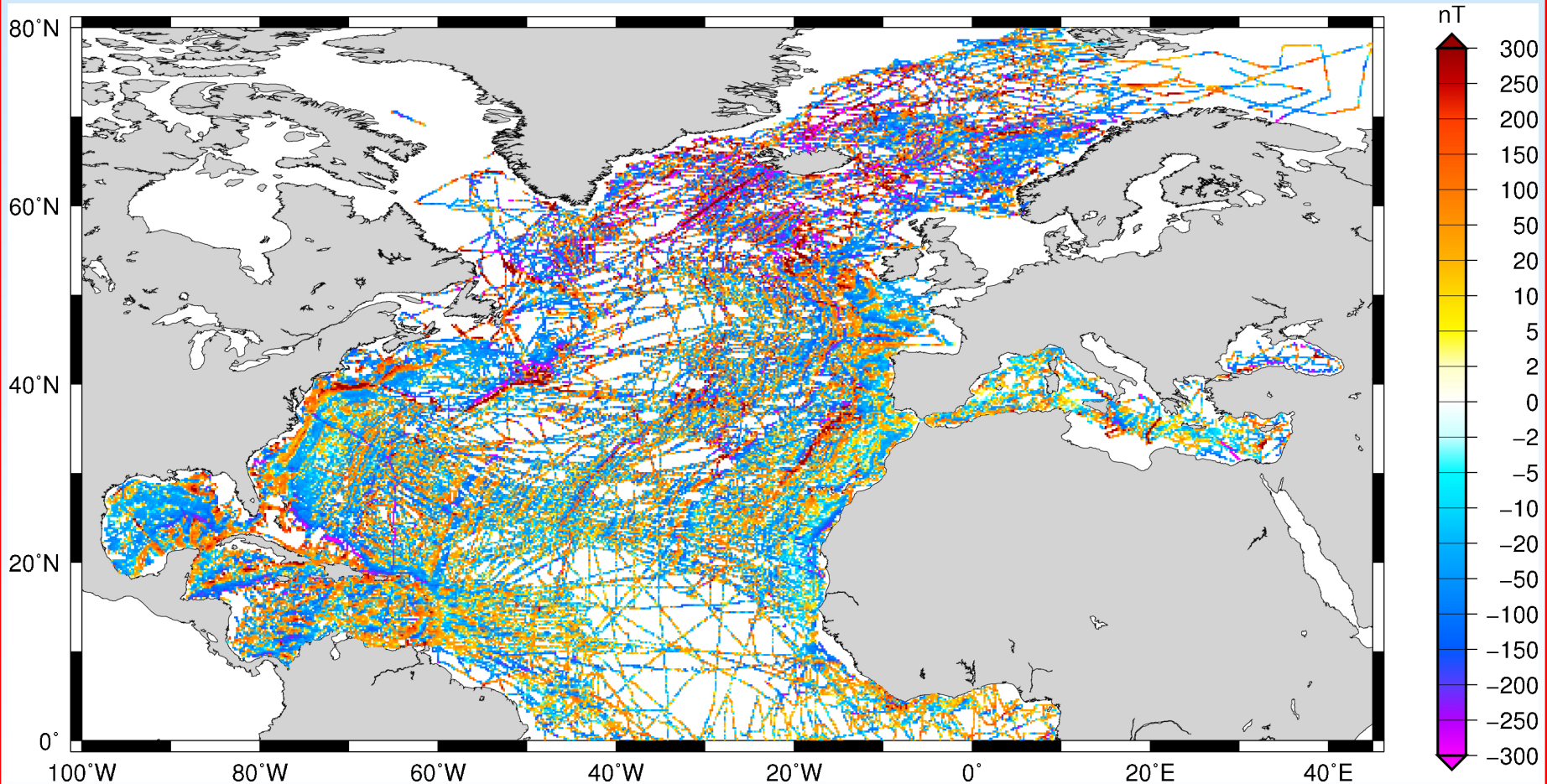
Atlantique Nord



Données corrigées par CM4

Analyse le long des tracés

Atlantique Nord

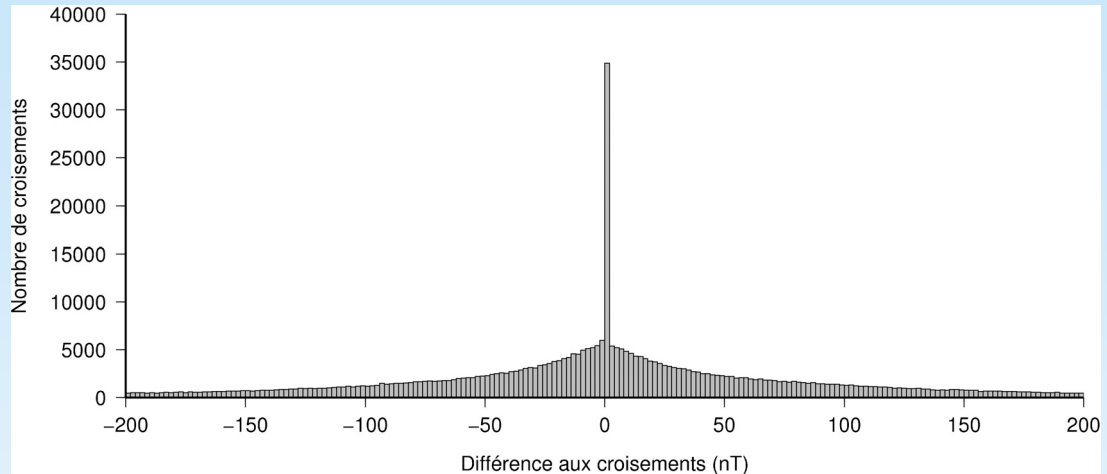


Données corrigées par CM4 + analyse

Analyse le long des tracés

Anomalies originales

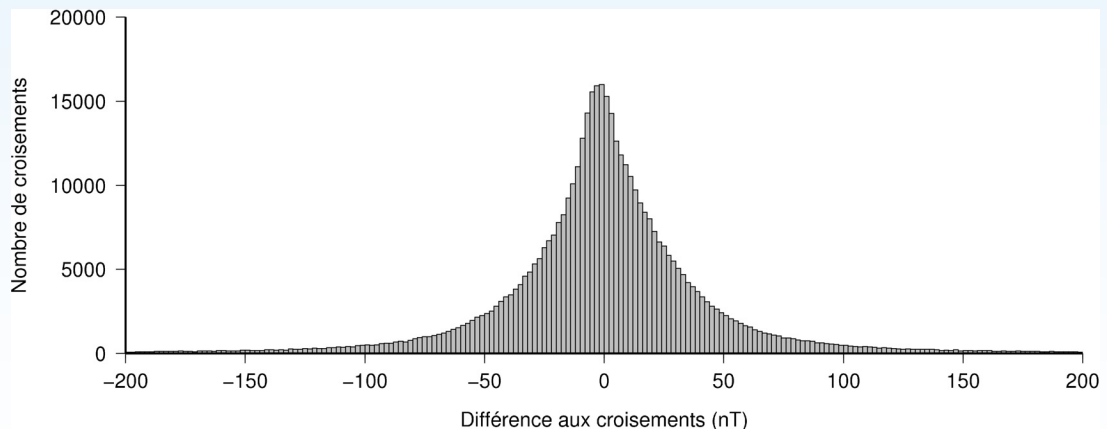
- $XOs = 441163$ ($|XOEs| < 1000$ nT)
- $|XOEs| > 200$ nT = 66792
- $RMS_{XOEs} = 173.8$ nT



Données exclues : 329817 (1.6 % du jeu initial)

Anomalies calculées en utilisant CM4, puis corrigées par notre analyse

- $XOs = 451520$
- $|XOEs| > 200$ nT = 10463
- $RMS_{XOEs} = 81.9$ nT



Mise à niveau (leveling)

1. $\lambda > 50$ km

- ajustement des moyennes des tracés avec le modèle NGDC-720

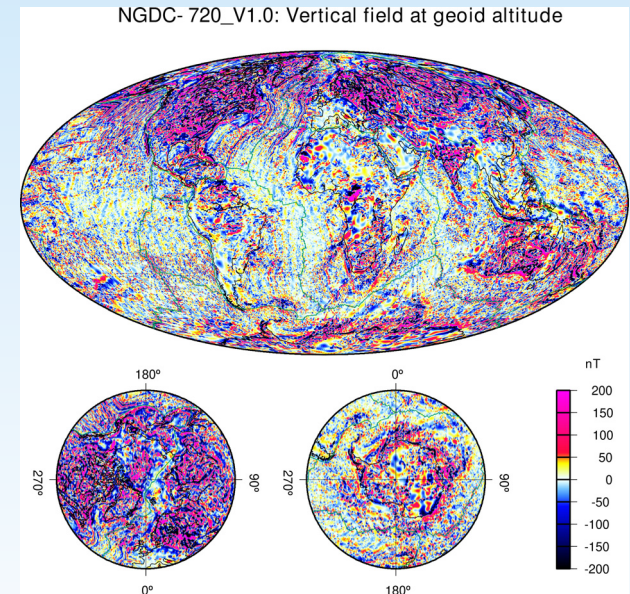
2. $\lambda < 50$ km

- division des tracés
- sélection des segments de meilleure qualité
- leveling avec moyenne pondérée et filtrage

Mise à niveau (leveling) : $\lambda > 50$ km

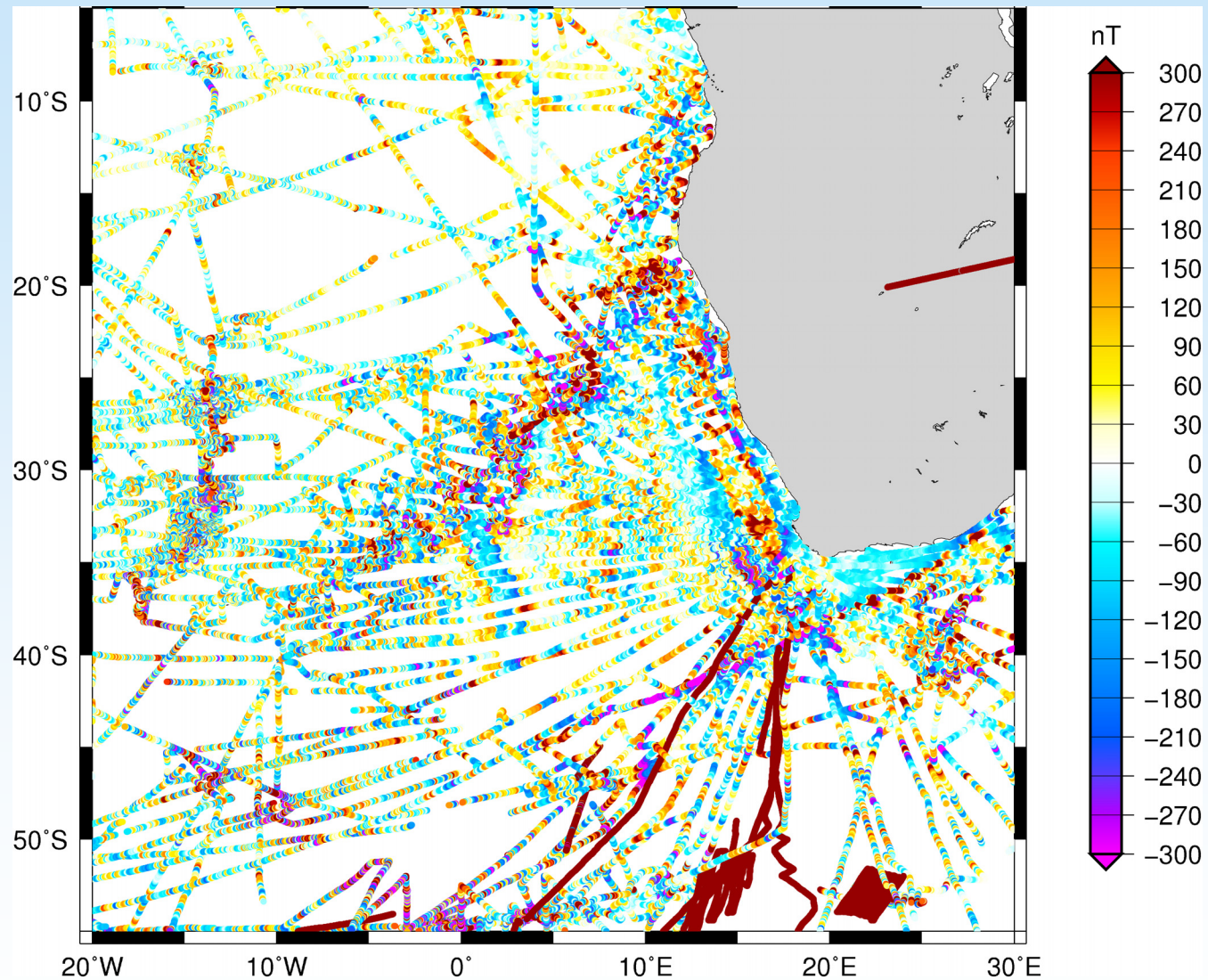
- Réduction du nombre de données utilisées avec un pas d'échantillonnage minimal de 1.5 km le long des tracés
- Ajustement au modèle NGDC-720 (degré 16-720 ; données de surface + MF5 ; www.ngdc.noaa.gov/geomag/)

$$\Delta B_{new}^i = \Delta B_{old}^i - \left(\frac{\sum_{i=0}^N \Delta B_{old}^i}{N} - \frac{\sum_{i=0}^N \Delta B_{NGDC-720}^i}{N} \right)$$



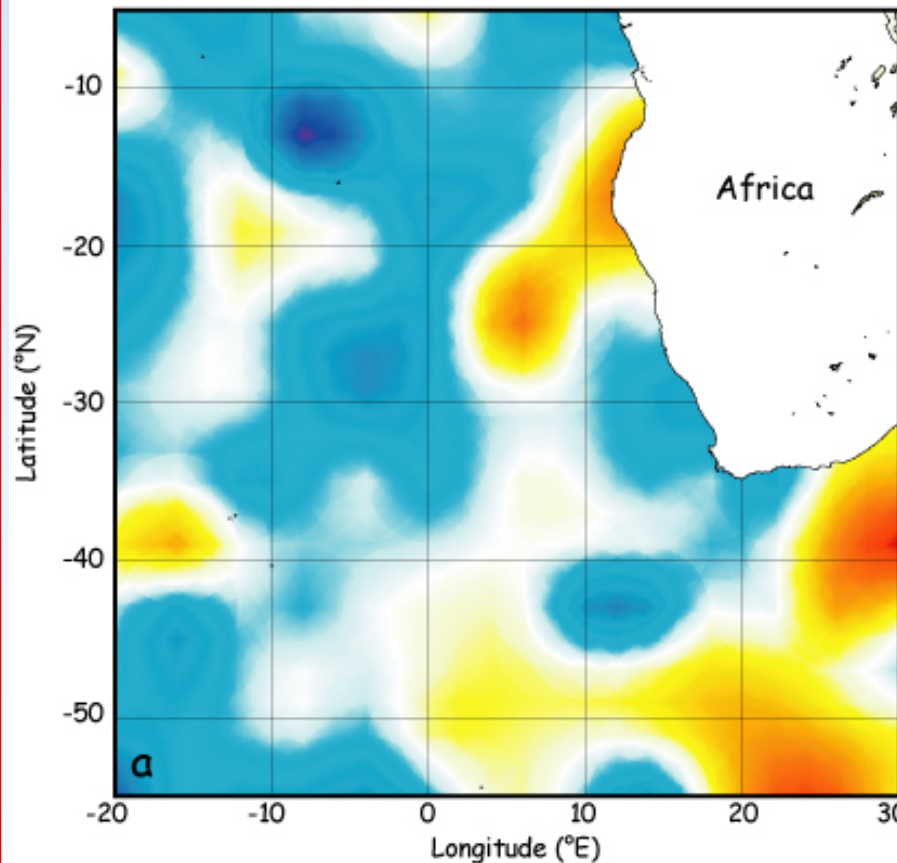
RMS_{XOEs} (jeu entier) : 81.9 nT → NGDC-720 → 78.5 nT

Cohérence des grandes l.o.

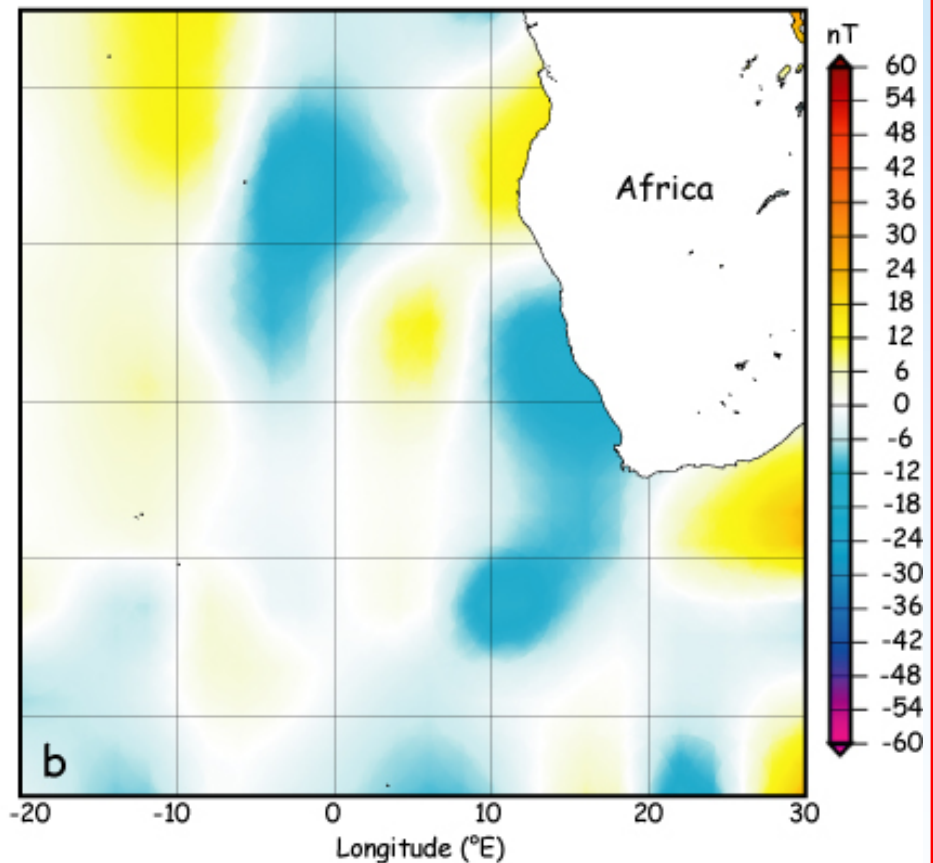


Cohérence des grandes l.o.

Interpolation of Marine data (Search radius = 4°)



Lithospheric field of the new GRIMM model



Lesur et al., *GJI*, 2008

Mise à niveau (leveling) : $\lambda < 50$ km

1. Séparation des tracés lorsque 0.02 jours sans données
2. Sélection des meilleurs segments

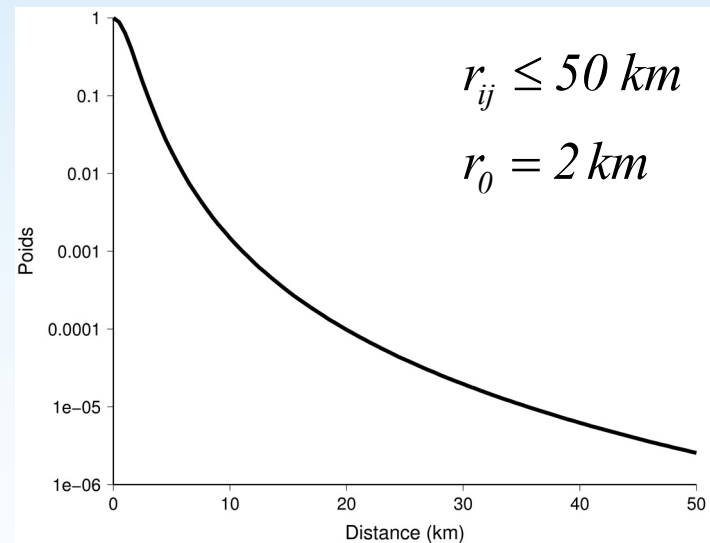
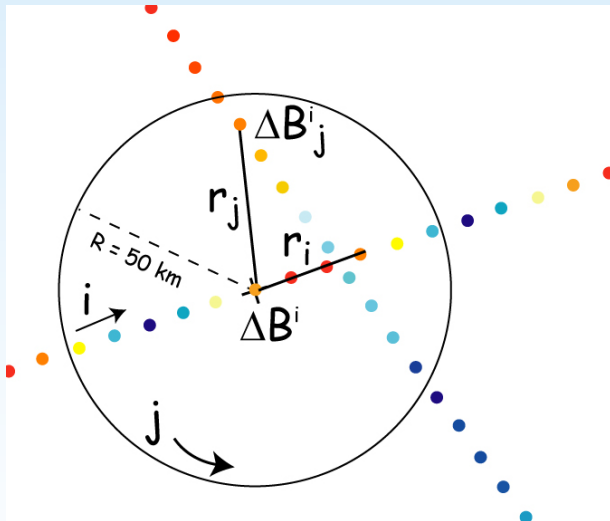
Critère	Nombre de segments	Pourcentage de données	RMS _{XOE} jeu total
RXOE > 400 nT	210	0.3 %	63.6 nT
RXOE > 300 nT	432	0.7 %	60.8 nT
RXOE > 200 nT	1144	2.0 %	52.5 nT
RXOE > 150 nT	2146	4.1 %	47.0 nT
RXOE > 100 nT	4710	11 %	38.3 nT
RXOE > 0 nT	50012	100 %	76.2 nT

RXOE : moyenne des RMS_{XOE_s} par segment

Mise à niveau (leveling) : $\lambda < 50$ km

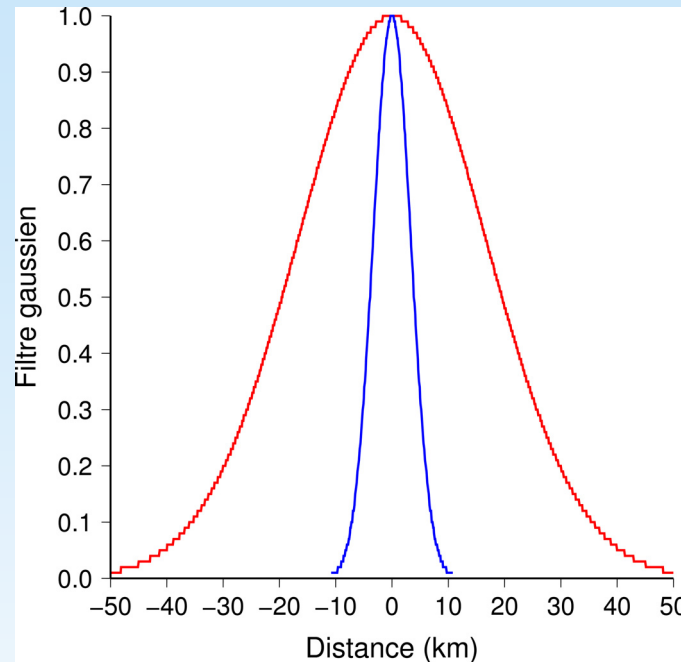
$$\Delta B_{new}^i = \Delta B_{old}^i - \left(\frac{\sum_i \left(\Delta B_{old}^i - \overline{\Delta B_{neighbours}^i} \right) S_i G(r_i)}{\sum_i S_i G(r_i)} \right)$$

avec $\overline{\Delta B_{neighbours}^i} = \sum_j \Delta B_j^i W_{ij} / \sum_j W_{ij}$ où $W_{ij} = \left[r_0^2 / (r_0^2 + r_{ij}^2) \right]^2$



avec $S_i = \sum_j W_{ij}$ et $G(r_i)$: filtre gaussien passe-bas dépendant de la distance le long du tracé et appliqué différemment selon les groupes

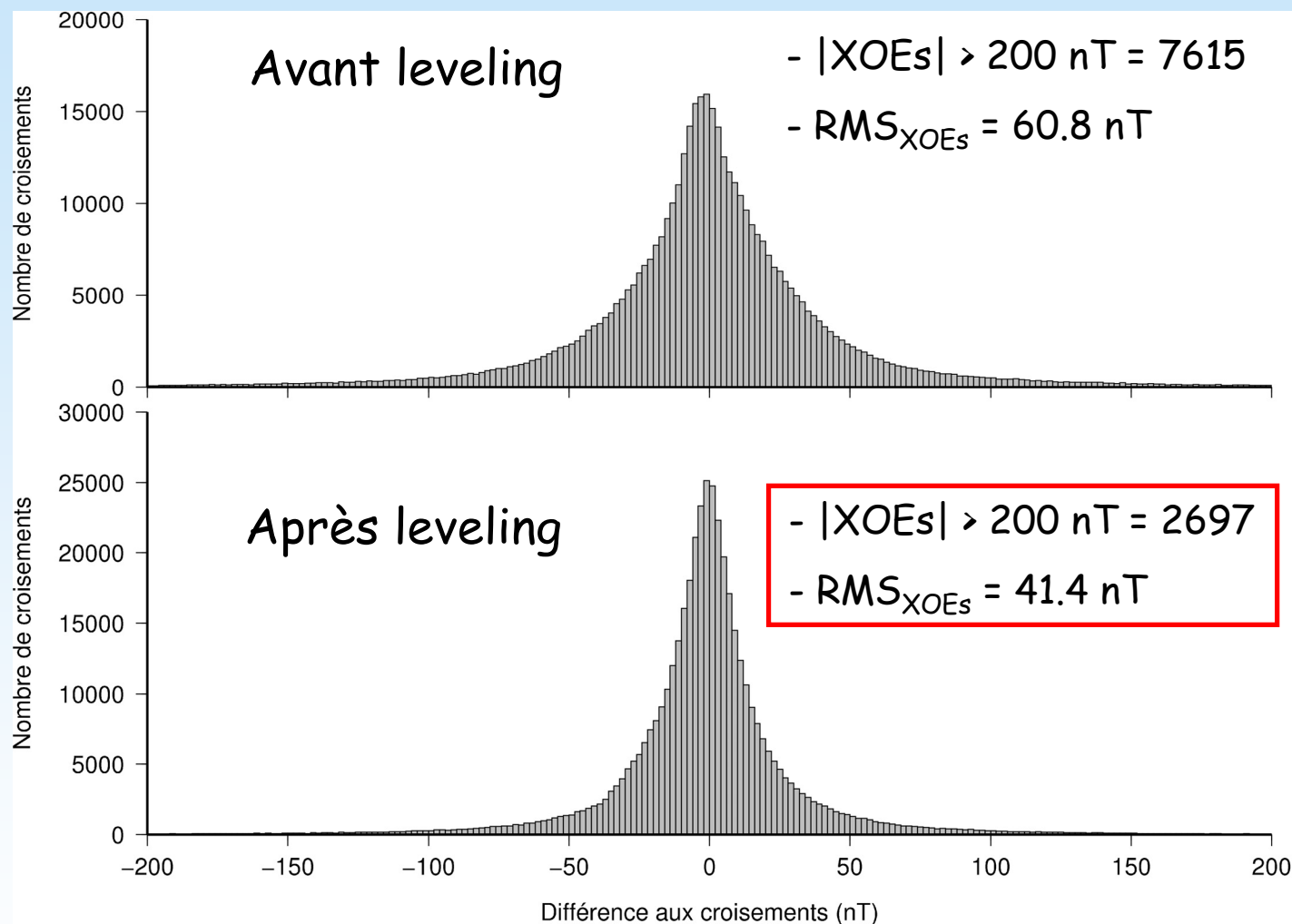
Mise à niveau (leveling) : $\lambda < 50$ km



Étapes selon critères du filtre

1. Largeur 100 km sur tout le jeu de données ($RXOE < 300$ nT)
2. Largeur 20 km sur les données acquises ± 12 h par rapport aux mesures en XO, lorsque $XOE > 200$ nT

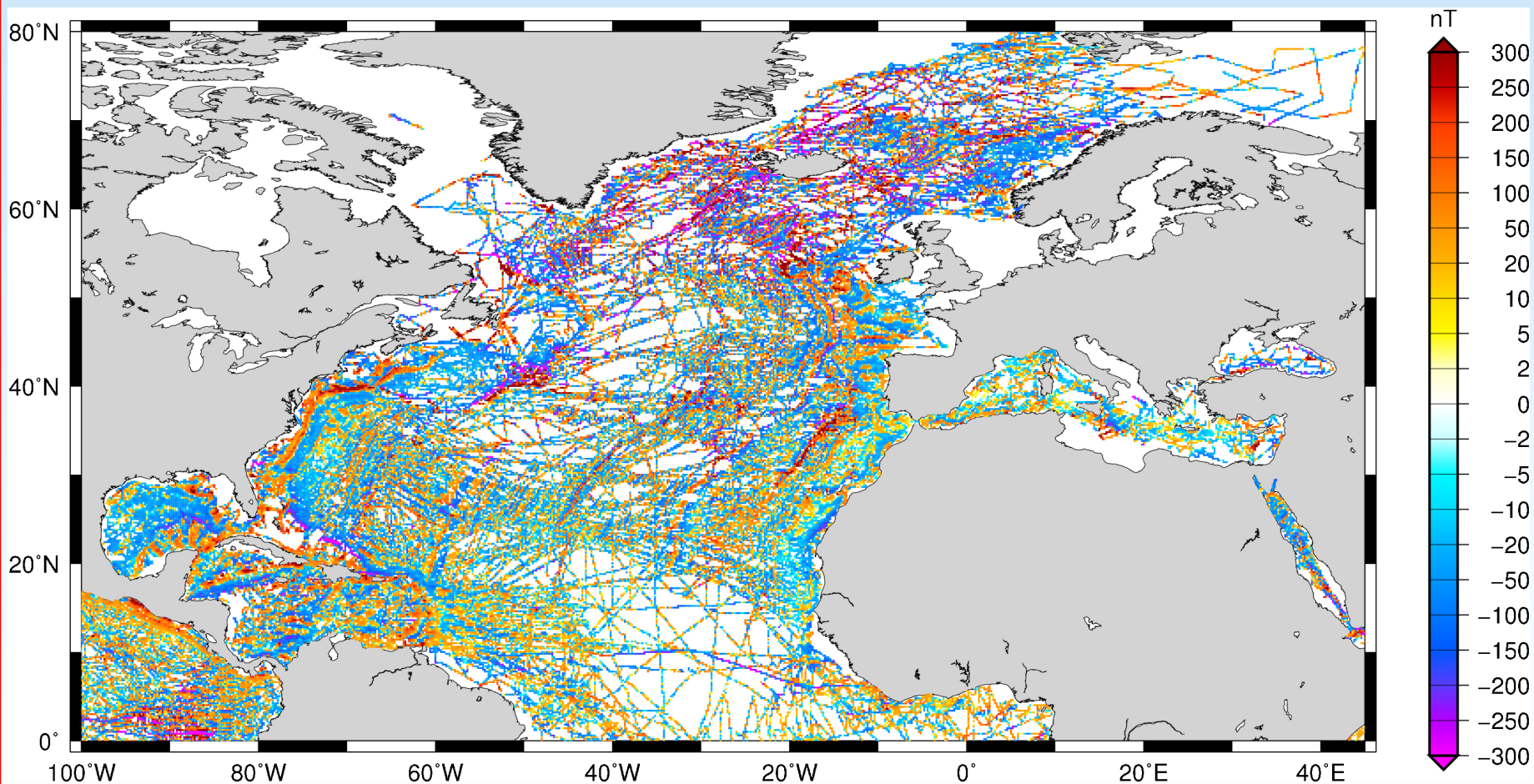
Mise à niveau (leveling)



+ exclusion de 0.3 % des données acquises à $\pm 2.4 \text{ h}$ par rapport à une donnée où $XOE > 300 \text{ nT} \rightarrow \underline{RMS_{XOE} = 36.6 \text{ nT}}$

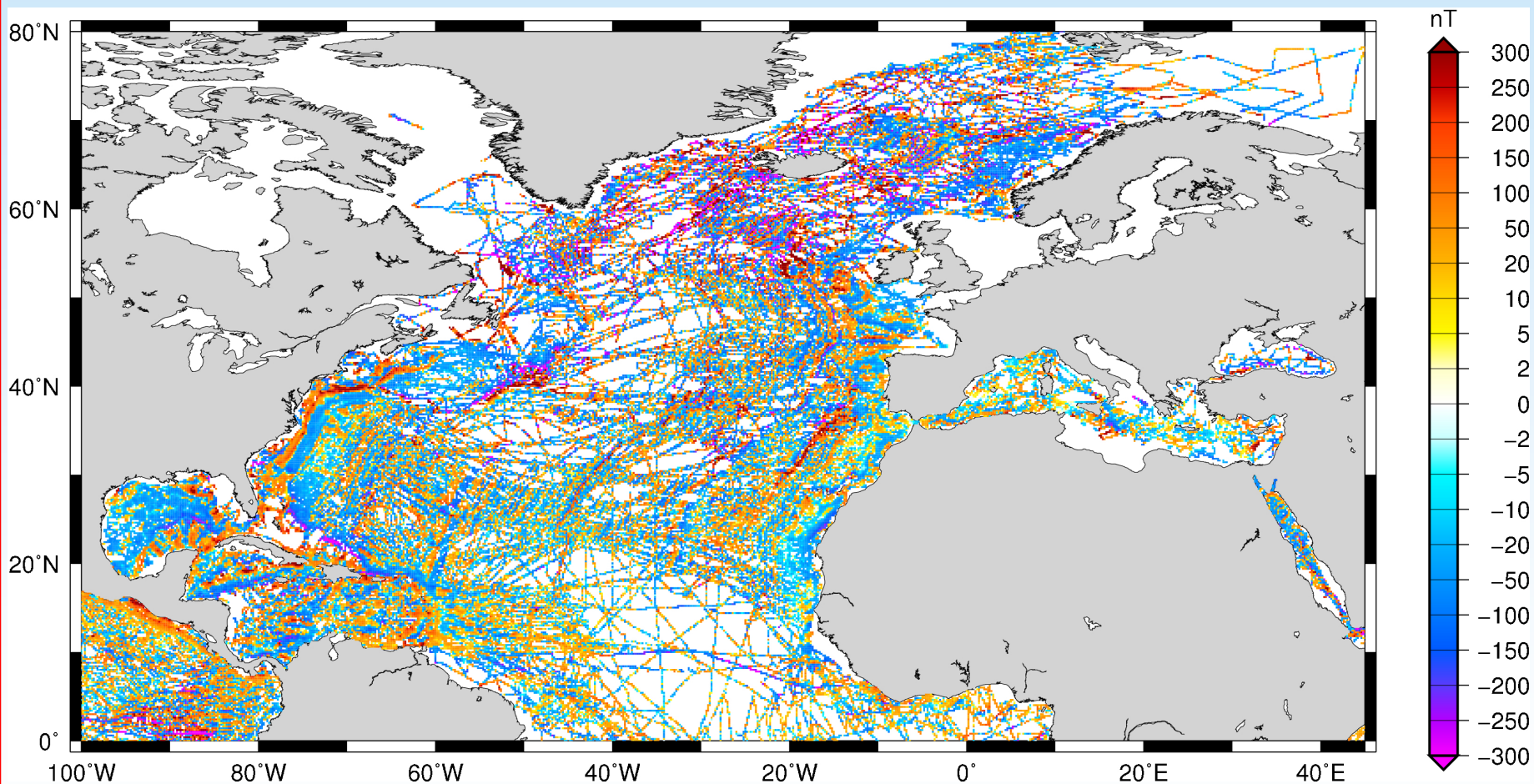
Mise à niveau (leveling)

Atlantique Nord - Données corrigées, avant leveling



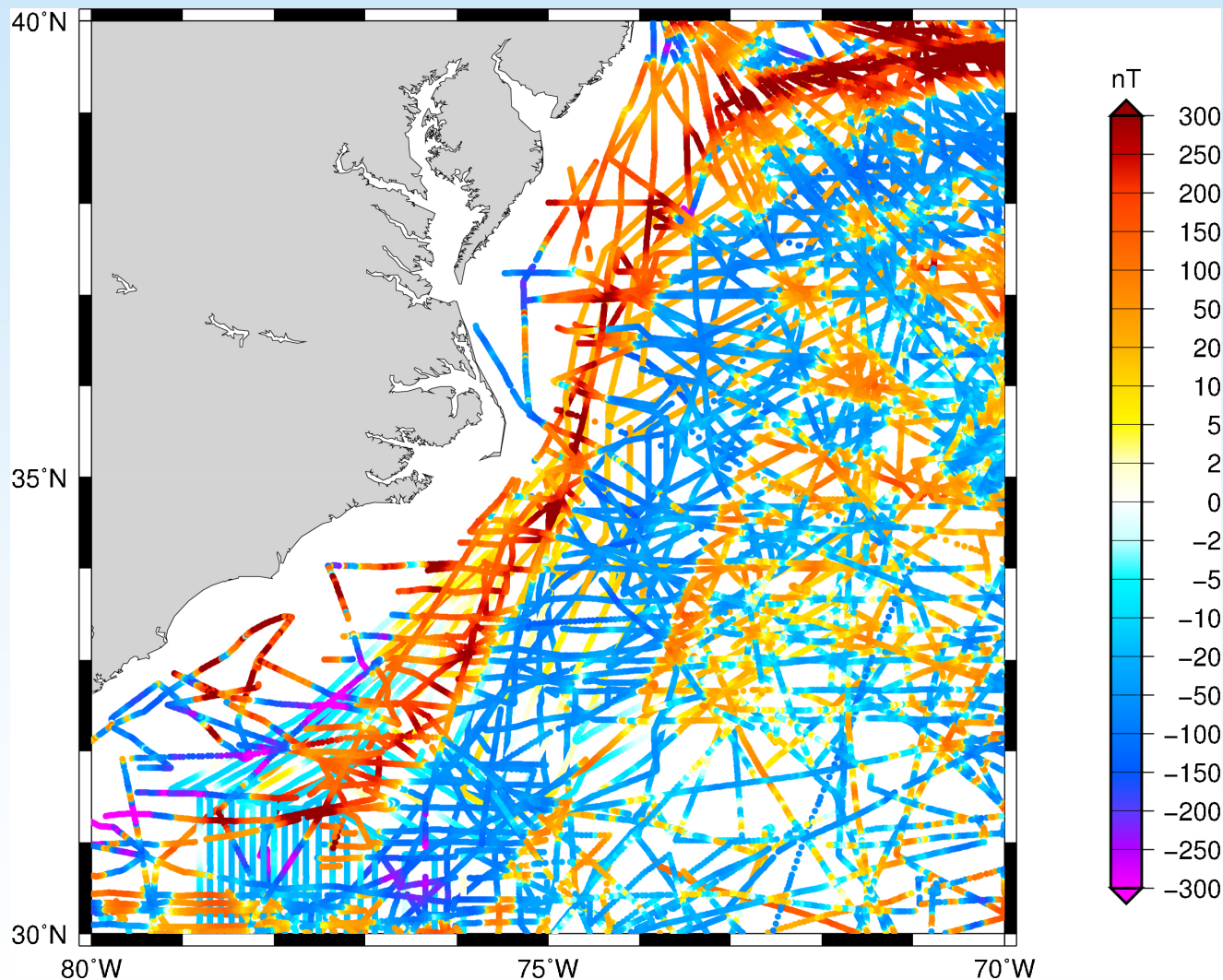
Mise à niveau (leveling)

Atlantique Nord - Données corrigées, après leveling



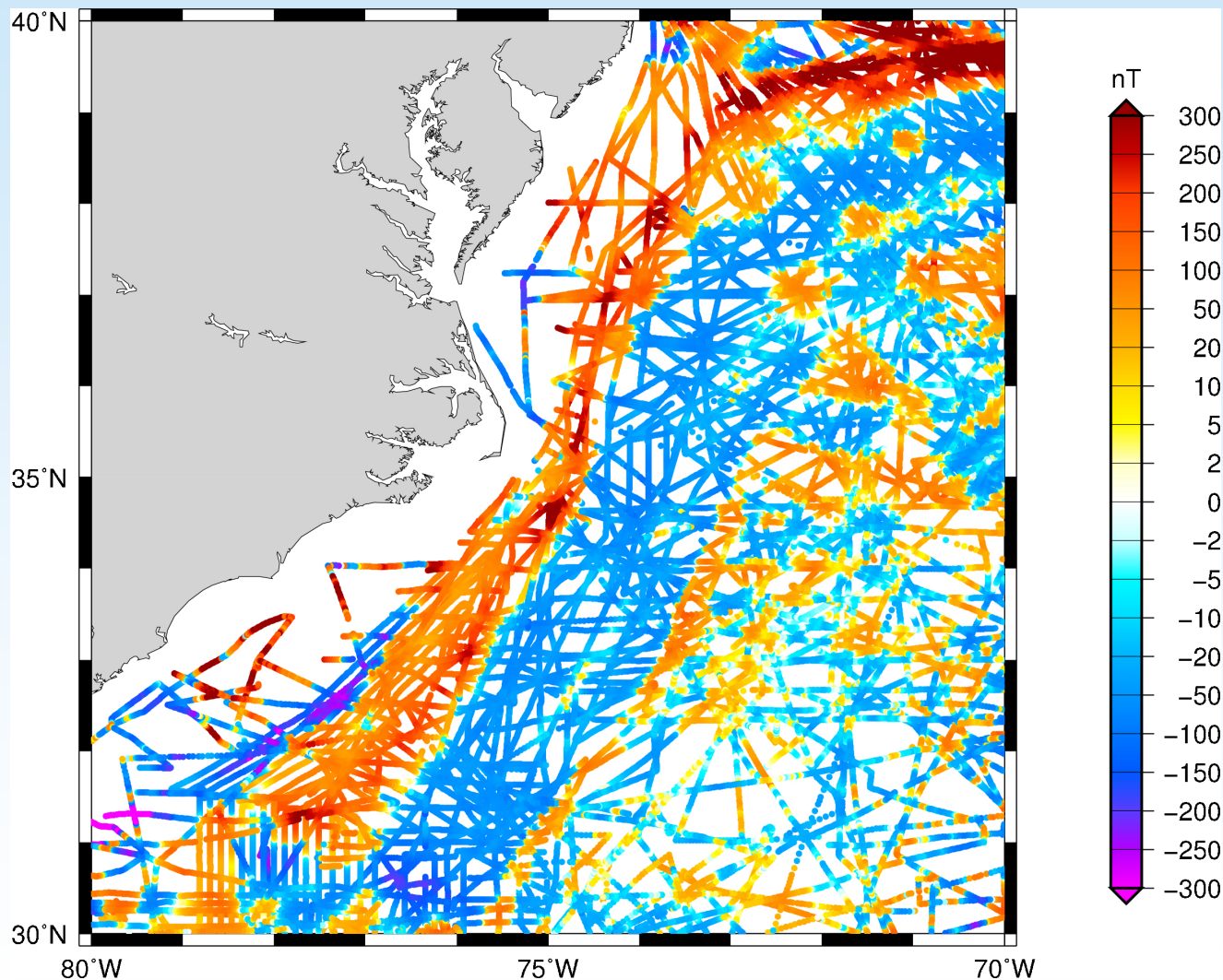
Mise à niveau (leveling)

Marge Ouest Atlantique N - Données corrigées, avant leveling

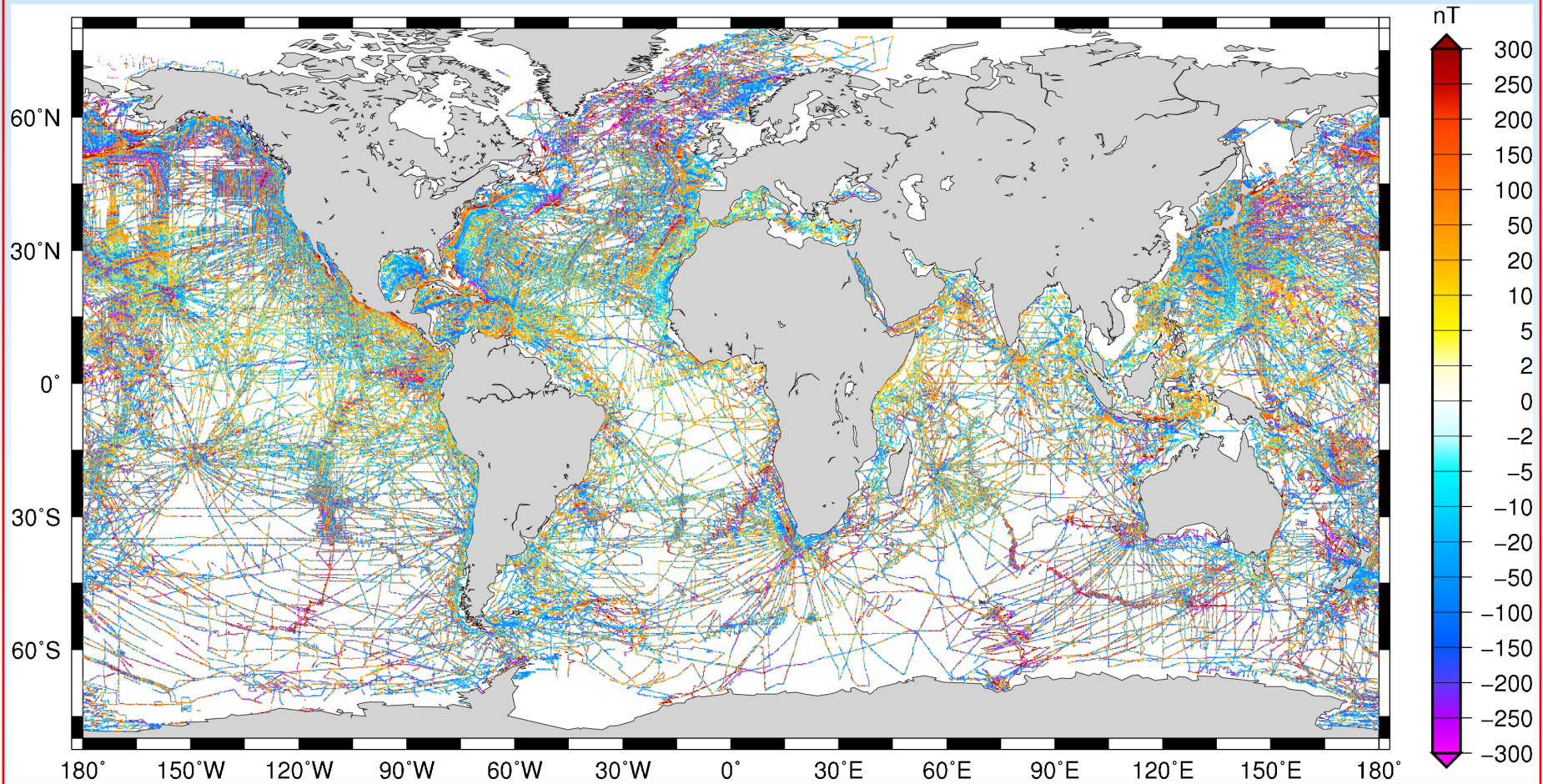


Mise à niveau (leveling)

Marge Ouest Atlantique N - Données corrigées, après leveling



Jeu corrigé et mis à niveau



Prolongement vers le haut

Méthode « classique » : utilisation de la transformée de Fourier

- Domaine spatial : $\Delta b(x,y,z) = \Delta b(x,y,0) * [z/2\pi(x^2+y^2+z^2)^{1.5}]$
- Domaine de Fourier : $F(u,v,z) = F(u,v,0) * e^{-2\pi\rho z}$ avec $\rho = (u^2+v^2)^{0.5}$

puissances de 2

- 1 - FFT d'une grille (nx,ny) de valeurs d'anomalies magnétiques
- 2 - Multiplication par le filtre $e^{-2\pi\rho z}$
- 3 - FFT inverse

Autres approches, peut-être plus adéquates dans le cas de profils :

- Parker and Klitgord (1972), Courtillot et al. (1973) : deep-tow
- Huestis and Parker (1979) : inversion

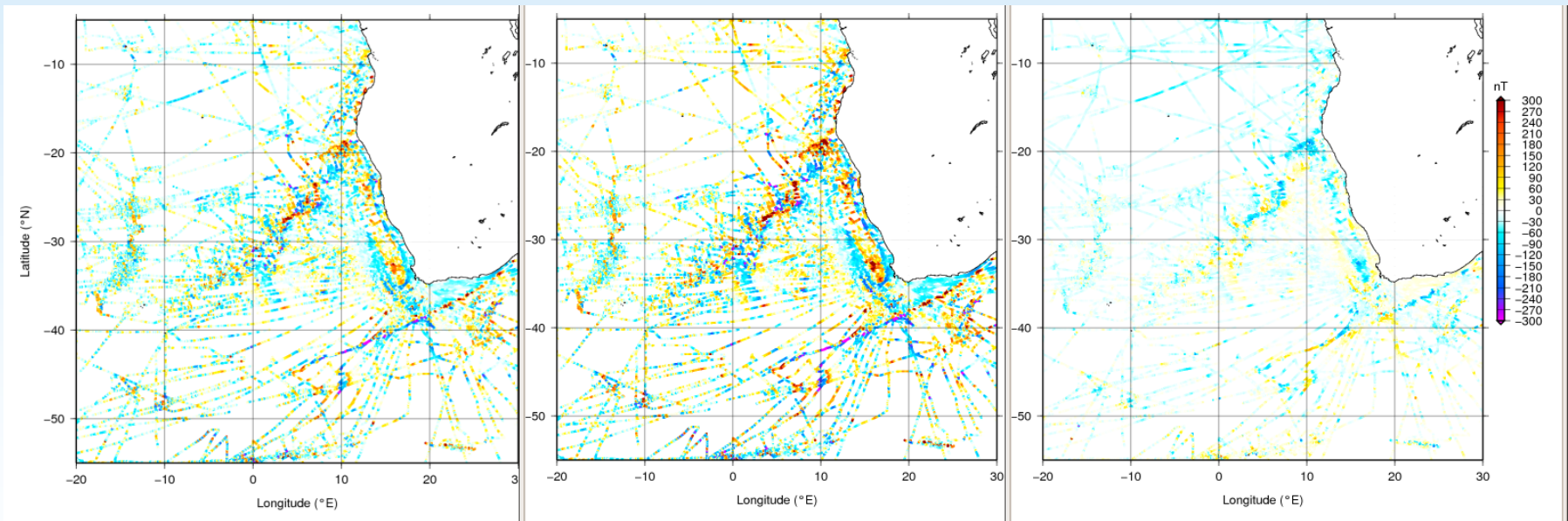
Prolongement vers le haut

Exemple de différences entre méthodes de prolongement

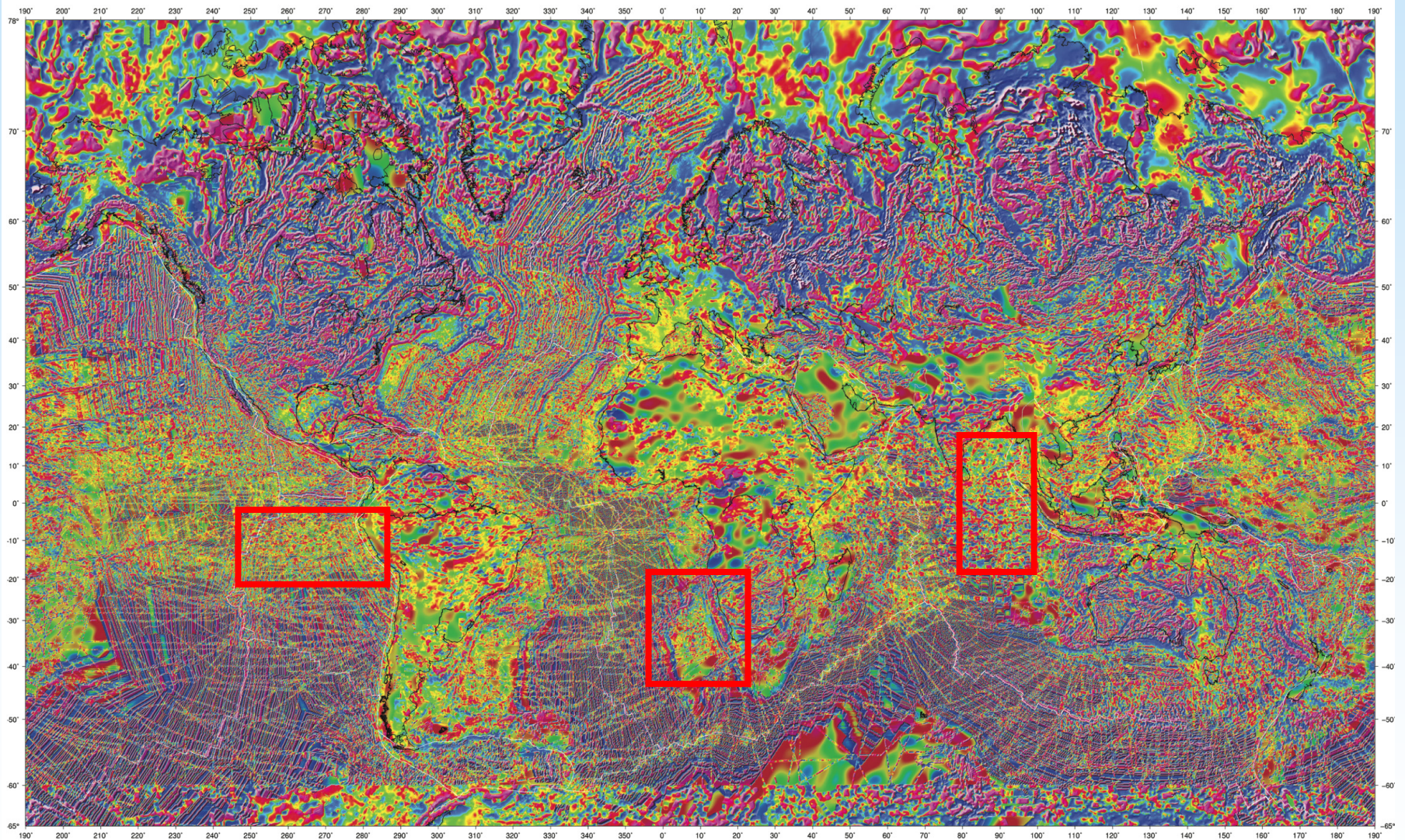
Méthode « classique »
appliquée aux profils

Méthode « classique »
appliquée à la grille
WDMAM

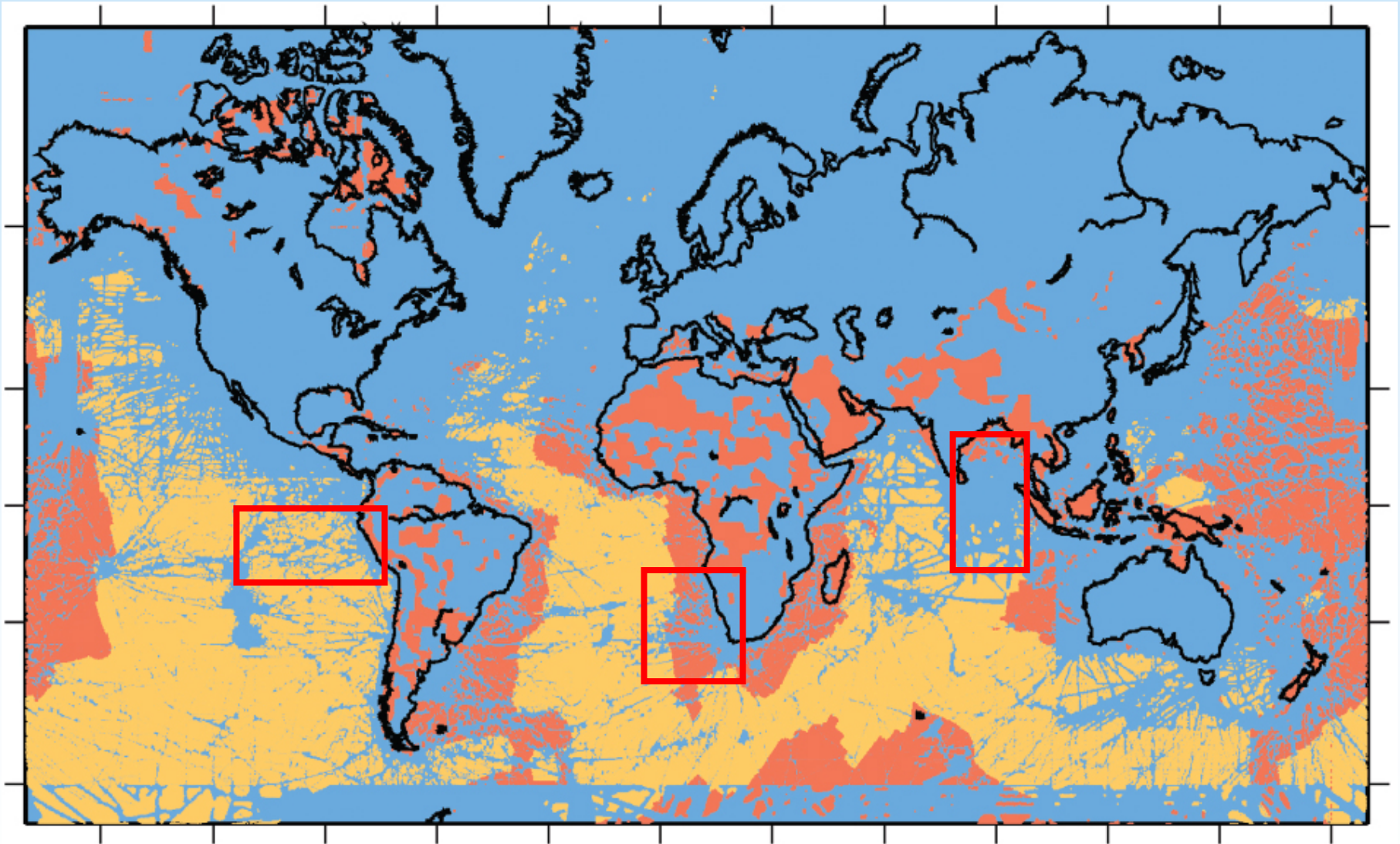
Résidus



Interpolation (si possible)



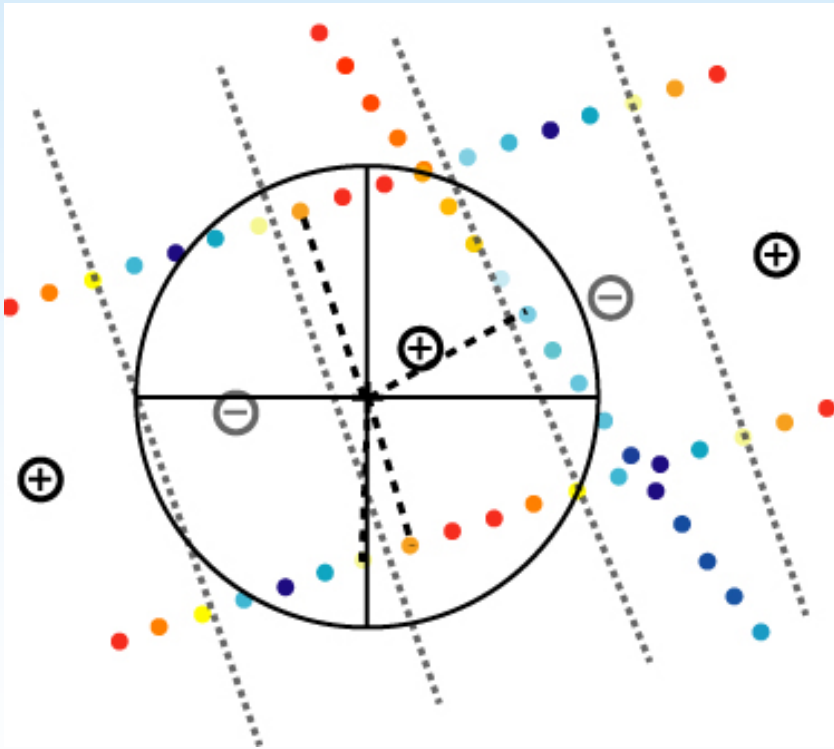
Interpolation (si possible)



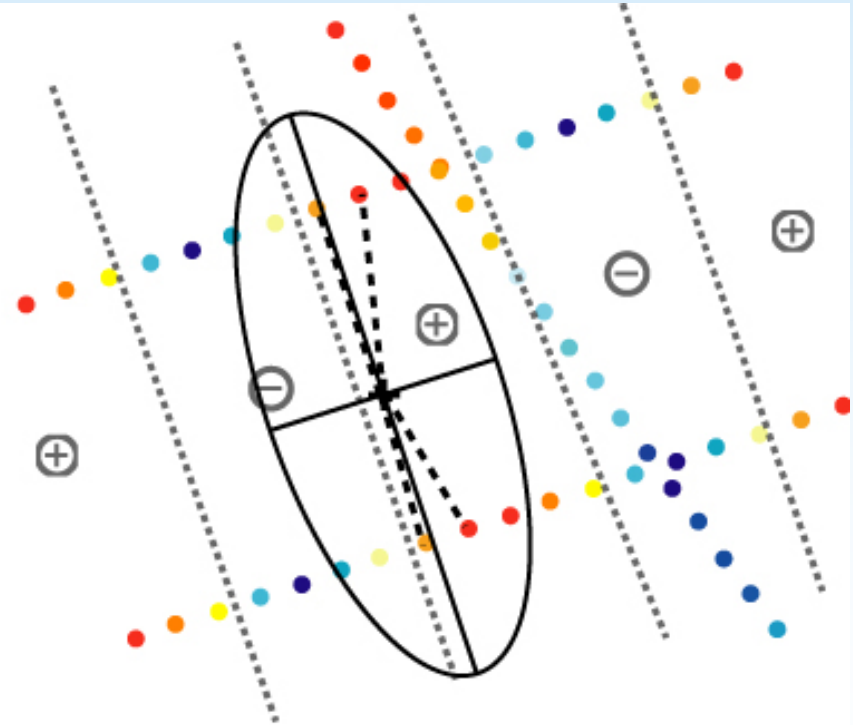
Interpolation (si possible)

Modification de la technique de Nearest-neighbor : principe
(Quesnel et al., IUGG, 2007)

Méthode classique



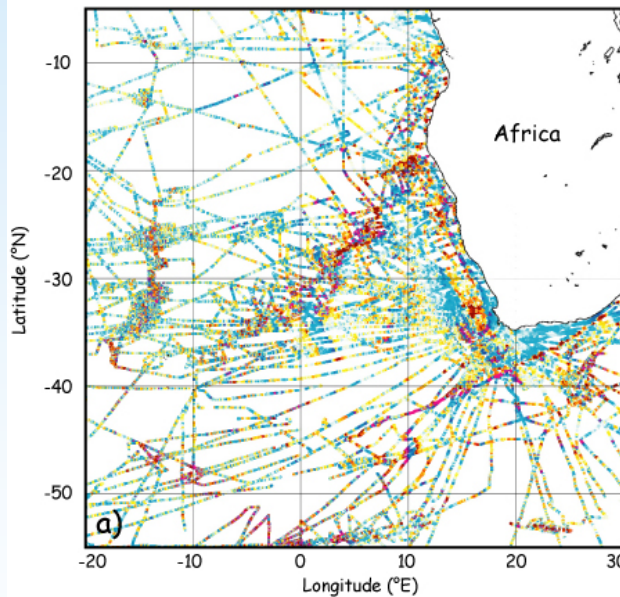
Notre méthode



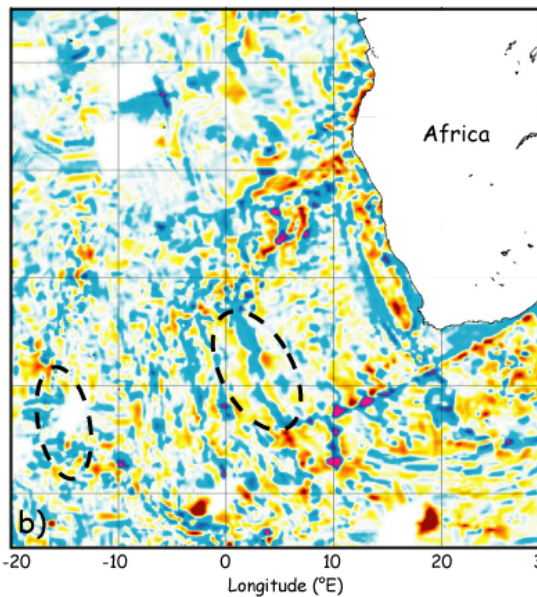
Interpolation (si possible)

Modification de la technique de Nearest-neighbor : exemple
(Quesnel et al., IUGG, 2007)

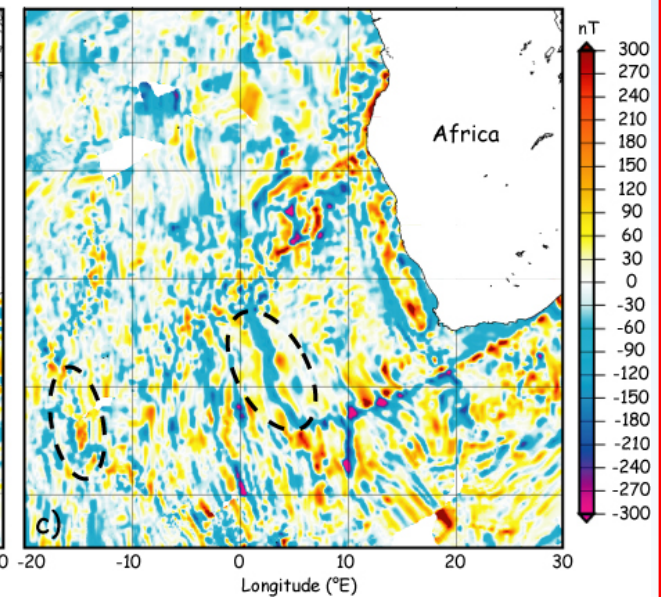
Total-field - CM4 Core field



Classic nearest-neighbor interpolation



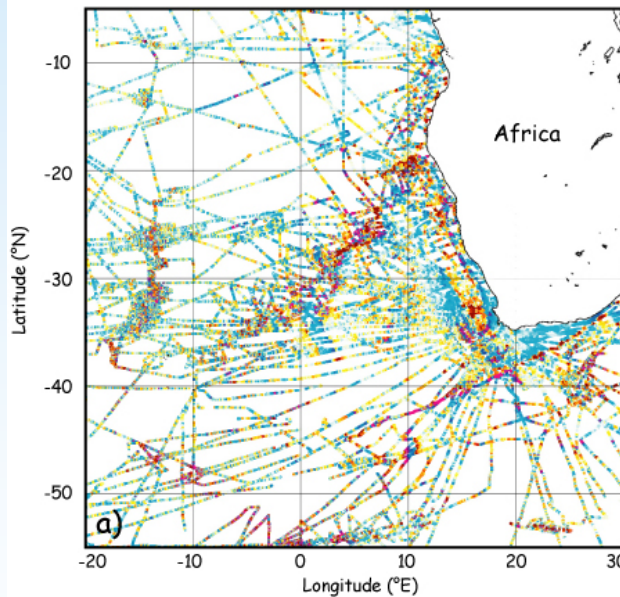
Ellipsoidal nearest-neighbor interpolation



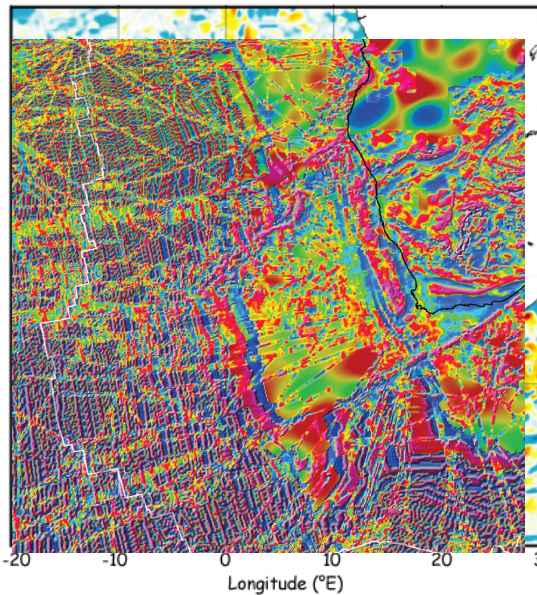
Interpolation (si possible)

Modification de la technique de Nearest-neighbor : exemple
(Quesnel et al., IUGG, 2007)

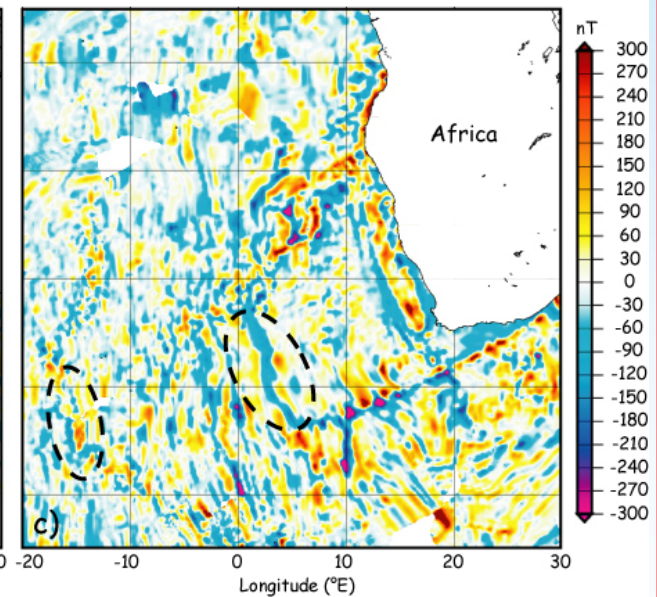
Total-field - CM4 Core field



Classic nearest-neighbor interpolation



Ellipsoidal nearest-neighbor interpolation



→ Nécessité d'intégrer les directions d'aimantation

Conclusions

- Les données magnétiques marines (TF) acquises de 1950 à 2004 et conservées au GEODAS sont en général de très bonne qualité
- Le modèle CM4 permet de réduire significativement les écarts d'anomalies entre différentes campagnes de mesure
- Une analyse de chaque campagne était nécessaire pour exclure ou corriger certaines données
- Une mise à niveau adéquate à grandes et courtes l.o. selon différents critères aboutit à un jeu mondial cohérent et de meilleure qualité qu'auparavant
- Des efforts sont nécessaires concernant le prolongement des tracés à 5 km d'altitude et l'interpolation des mesures, en vue de la prochaine version de la carte WDMAM

CM4

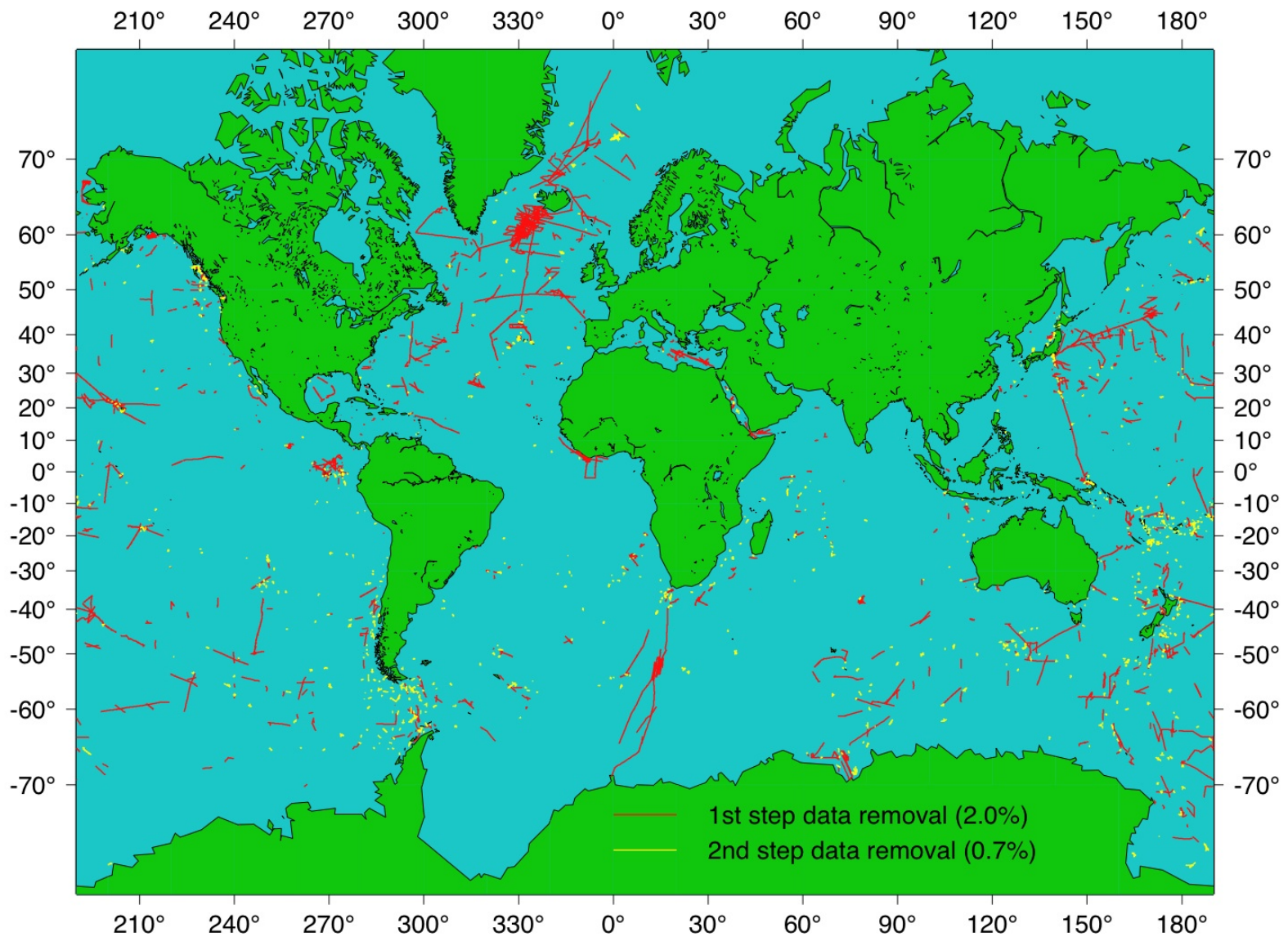
Modèle Compréhensif étendu CM4 (Sabaka et al., 2004) →

- intègre données satellitaires POGO, Magsat, Oersted, CHAMP, SAC-C et données d'observatoires depuis 1960 jusqu'en 2002.5
- modélise la variation séculaire du champ magnétique principal par les harmoniques sphériques de degré $n \leq 15$, à l'aide des B-splines cubiques à 2.5 ans d'intervalle → $n_{HS} \leq 15$ pour notre estimation du champ principal $(B_x, B_y, B_z)_{\text{Noyau}}$
- modélise la contribution du champ externe en ne sélectionnant que les mesures de périodes calmes concernant les courants ionosphériques et magnétosphériques →

$$B_{ext} = \frac{\left(B_{x_{MGTS\text{PH}}} + B_{y_{MGTS\text{PH}}} + B_{z_{MGTS\text{PH}}} + B_{x_{IOS\text{PH}}} + B_{y_{IOS\text{PH}}} + B_{z_{IOS\text{PH}}} \right) \cdot \left(B_{x_{\text{Noyau}}} + B_{y_{\text{Noyau}}} + B_{z_{\text{Noyau}}} \right)}{\sqrt{B_{x_{\text{Noyau}}}^2 + B_{y_{\text{Noyau}}}^2 + B_{z_{\text{Noyau}}}^2}}$$

pour notre estimation du champ externe

Segments rejetés



Prolongement à 5 km

