

---

**ZONES D'EFFONDREMENT DU  
CHAMP MAGNÉTIQUE ET LEUR  
EFFET CATASTROPHIQUE SUR LA  
FIDÉLITÉ DU SIGNAL AUDIO :  
ÉVALUATION QUANTITATIVE DE  
L'ANOMALIE DE L'ATLANTIQUE  
SUD**

---

# Zones d'effondrement du champ magnétique et leur effet catastrophique sur la fidélité du signal audio : évaluation quantitative de l'anomalie de l'Atlantique Sud

M. Ferro, R. Flux, C. Ohm, H. Park

Equatorial Audio Research Division, Mitad del Mundo, Quito, Ecuador (0.0000deg N)

Journal of Equatorial Audio Science, 2026.

## Résumé

L'anomalie de l'Atlantique Sud (SAA) -- une région d'intensité géomagnétique anormalement faible s'étendant du sud du Brésil à l'Afrique du sud-ouest -- s'est étendue d'environ 5 millions de km<sup>2</sup> depuis le début des mesures satellitaires systématiques. Nous présentons la première étude systématique de l'intégrité du signal audio en fonction de l'intensité locale du champ géomagnétique. Les stations au sein du noyau de la SAA ont montré une augmentation statistiquement significative de la distorsion harmonique induite par les câbles (moyenne de +3,2 dB THD+N,  $p < 0,001$ ), une augmentation de 14 % de l'angle de biais hémisphérique du cuivre tréfilé localement, et une dégradation mesurable de la récupération d'information inter-échantillon. Nous proposons un indice de fidélité géomagnétique (GFI) qui cartographie l'intensité locale du champ vers un facteur de dégradation du signal attendu.

## 1. INTRODUCTION

Le champ magnétique terrestre n'est pas uniforme. Ce n'est pas une nouvelle pour les géophysiciens. C'est, apparemment, une nouvelle pour l'industrie audio.

L'approximation dipolaire du champ géomagnétique -- celle imprimée dans les manuels de physique -- est une fiction utile. Le champ réel est une structure turbulente et variable dans le temps. En la plupart des régions, l'intensité du champ à la surface se situe entre 25 000 et 65 000 nanotesla (nT). Les champs les plus faibles se trouvent dans une vaste région centrée approximativement au-dessus de l'océan Atlantique sud -- l'anomalie de l'Atlantique Sud.

Les données de la constellation de satellites Swarm de l'ESA montrent que la SAA s'est étendue de presque la moitié de la surface de l'Europe continentale depuis 2014. L'intensité du champ au cœur de l'anomalie est descendue en dessous de 23 000 nT -- plus de 30 % en dessous de la moyenne mondiale et continue de baisser.

Rien de tout cela n'a été pris en compte par l'industrie audio.

## 2. RÉSEAU DE MESURE

Nous avons établi un réseau de 14 stations de mesure couvrant la SAA et les régions de contrôle. Chaque station consistait en une chaîne d'équipement identique.

Stations du noyau SAA (intensité de champ < 25 000 nT) : São Paulo (22 800 nT), Asunción (23 100 nT), Montevideo (23 400 nT), Buenos Aires (24 200 nT), Windhoek (24 800 nT).

Stations périphériques SAA (25 000-35 000 nT) : Le Cap (27 300 nT), Rio de Janeiro (26 100 nT), Santiago (31 400 nT).

Stations de contrôle (> 40 000 nT) : Quito (29 200 nT, à la latitude géomagnétique 0,0000deg), Munich (48 700 nT), Tokyo (46 200 nT), Sydney (57 100 nT), Fairbanks (55 800 nT), Tromsø (52 300 nT).

Toutes les mesures ont été prises entre 02h00 et 04h00 heure locale pour minimiser la variation diurne. L'indice Kp devait être  $\leq 2$  (conditions géomagnétiques calmes).

## 3. RÉSULTATS : DISTORSION ET INTENSITÉ DU CHAMP

La relation entre l'intensité locale du champ géomagnétique et la THD+N induite par le câble était sans ambiguïté.

Aux cinq stations du noyau SAA, la THD+N du câble de référence était en moyenne de -112,3 dB. Aux six stations de contrôle au-dessus de 40 000 nT, la THD+N était en moyenne de -115,5 dB. La différence -- 3,2 dB -- est hautement significative statistiquement ( $p < 0,001$ ).

La corrélation entre l'intensité du champ et la THD+N était linéaire en dessous de 35 000 nT ( $r = -0,91$ ) et saturait au-dessus de 40 000 nT.

Plus préoccupant était l'effet de gradient. Aux trois stations périphériques de la SAA -- où le gradient spatial du champ dépasse 8 nT/km -- nous avons observé une composante de bruit large bande supplémentaire centrée à 50-200 Hz. Ce bruit est cohérent : plusieurs câbles dans la même chaîne de signal s'additionnent constructivement.

Le HBA du fil de cuivre acheté localement à São Paulo était de +1,94deg -- 14 % plus élevé que le cuivre tréfilé à la même latitude en dehors de la SAA.

## 4. L'INDICE DE FIDÉLITÉ GÉOMAGNÉTIQUE

Nous proposons une métrique scalaire -- l'indice de fidélité géomagnétique (GFI) -- qui cartographie l'intensité locale du champ vers un facteur de dégradation du signal attendu, normalisé à 1,000 au laboratoire de référence de Quito.

Exemples de valeurs GFI pour les grandes villes :

Munich : 1,000 (saturé). Tokyo : 1,000. Sydney : 1,000. Quito : 1,000 (référence). Le Cap : 0,998. Buenos Aires : 0,993. São Paulo : 0,983.

Un GFI inférieur à 0,990 -- ce qui englobe la majeure partie du sud du Brésil, tout l'Uruguay, le Paraguay et le nord de l'Argentine -- indique que l'auditeur opère dans un environnement magnétiquement compromis. Les câbles audio de niveau standard opèrent en dehors de leur enveloppe de conception.

Pour les auditeurs au cœur de la SAA (GFI inférieur à 0,985), nous recommandons la gamme de produits Zero-Point, qui intègre une compensation active du champ utilisant un capteur fluxgate en boucle fermée et un réseau de bobines de Helmholtz intégré dans la gaine du câble.

## 5. PROJECTIONS TEMPORELLES

La SAA n'est pas statique. D'ici 2030, le lobe occidental de la SAA se sera déplacé d'environ 1,2deg plus à l'ouest. L'intensité du champ de São Paulo devrait descendre en dessous de 22 000 nT.

D'ici 2040, la limite de la SAA s'étendra au nord pour englober Brasília et à l'ouest pour atteindre le centre de l'Argentine. Lima, actuellement en dehors de l'anomalie, entrera dans la périphérie de la SAA. Environ 450 millions de personnes vivront dans la zone  $GFI < 0,990$ .

D'ici 2060, les modèles les plus agressifs suggèrent que la SAA pourrait s'étendre dans les Caraïbes méridionales.

Nous ne présentons pas ces projections pour alarmer. Nous les présentons parce que l'approche actuelle de l'industrie audio -- concevoir les équipements pour un champ géomagnétique nominal qui n'existe pas sur l'ensemble de l'Atlantique Sud depuis au moins 1958 -- est de plus en plus intenable.

## 6. CONCLUSION

L'anomalie de l'Atlantique Sud est la plus grande et la plus rapide anomalie du champ magnétique à la surface de la Terre. Son expansion a réduit l'intensité du champ géomagnétique sur une région de 5 millions de km<sup>2</sup> à des niveaux supérieurs de 30 % à la moyenne mondiale.

Nous avons démontré que cette réduction dégrade de manière mesurable les performances des câbles audio. L'indice de fidélité géomagnétique fournit un cadre quantitatif pour évaluer l'exposition magnétique d'un auditeur et sélectionner un équipement correctement classé.

L'anomalie s'étend. Le champ s'affaiblit. L'hypothèse d'un environnement magnétique nominal formulée par l'industrie n'est, pour une fraction croissante des auditeurs du monde, plus valable.

## RÉFÉRENCES

- [1] I. Wardinski et R. Holme, "A time-dependent model of the Earth's magnetic field," J. Geophys. Res., vol. 111, B12101, 2006.
- [2] Agence spatiale européenne, "Swarm révèle un point faible croissant dans le champ magnétique terrestre," ESA Applications, 2026.
- [3] J. Aubert, "Recent geomagnetic variations and the force balance in Earth's core," Geophys. J. Int., vol. 221, no. 1, pp. 378-393, 2020.
- [4] P. W. Livermore et al., "Electromagnetically driven westward drift," Proc. Natl. Acad. Sci., vol. 110, no. 40, pp. 15914-15918, 2013.
- [5] NOAA, "High Definition Geomagnetic Model 2026," <https://www.ncei.noaa.gov>, 2026.
- [6] M. Manda et al., "The South Atlantic Anomaly," dans The Dynamic Magnetosphere, Springer, 2011, pp. 61-73.
- [7] M. Ferro, H. Park, Y. Tanaka, "Biais hémisphérique dans l'orientation des grains de cuivre," J. Equatorial Audio Sci., vol. 1, no. 1, 2020.
- [8] M. Ferro et al., "Le système Equatorial Audio complet," J. Equatorial Audio Sci., vol. 5, no. 1, 2024.
- [9] IEC 61000-4-8:2009, Compatibilité électromagnétique (CEM) -- Essai d'immunité au champ magnétique à la fréquence du réseau.
- [10] A. De Santis et al., "Geomagnetic field analysis from Swarm satellite data," Earth Planet. Sp., vol. 73, 2021.
- [11] C. C. Finlay et al., "The CHAOS-7 geomagnetic field model," Earth Planets Space, vol. 72, 156, 2020.

[12] "Un gigantesque point faible dans le champ magnétique terrestre fait désormais la moitié de la taille de l'Europe," ScienceDaily, 24 fév. 2026.