

# Fluxmètre à bande large et à contre-réaction de flux pour la mesure des champs magnétiques faibles

J. Moutoussamy\*, C. Coillot\*, G. Chanteur\*

\*CETP/IPSL/CNRS

10-12, Avenue de l'Europe

78140 VELIZY VILLACOUBLAY

[christophe.coillot@cetp.ipsl.fr](mailto:christophe.coillot@cetp.ipsl.fr), [Joel.moutoussamy@cetp.ipsl.fr](mailto:Joel.moutoussamy@cetp.ipsl.fr), [Gerard.Chanteur@cetp.ipsl.fr](mailto:Gerard.Chanteur@cetp.ipsl.fr)

## Résumé

Un nouveau fluxmètre pour mesurer les champs magnétiques faibles dans la bande de 100mHz à 650kHz, a été conçu pour l'instrumentation plasma de la sonde planétaire Mercury Magnetospheric Orbiter (MMO) de la mission ESA-JAXA « BEPICOLOMBO » dédiée à l'exploration de la planète Mercure et de son environnement (détails à <http://sci.esa.int>, sélectionner « Missions » puis « BepiColombo » sous « Définition »). Le principe des fluxmètres à contre-réaction de flux est exposé avant la présentation des performances du fluxmètre à bande large.

Mots clés : magnétomètre, fluxmètre, bande large, couplages magnétiques.

## 1. Principe d'un fluxmètre standard à contre-réaction de flux

### 1a. Principe du fluxmètre

La **figure 1** donne le schéma de principe : un noyau magnétique amplifie le champ magnétique extérieur  $B_{ext}$  variable au cours du temps [1], la tension  $V_e$ , aux bornes de la bobine qui entoure le noyau, est la dérivée par rapport au temps du flux magnétique à travers la bobine. Un préamplificateur à faible bruit (fonction de transfert  $G_0$ ), effectue un changement d'échelle de la tension de telle sorte que le signal de sortie à mesurer  $V_s$  soit de l'ordre de 1V pour un champ magnétique externe de 1nT. Ce changement d'échelle est approprié pour la mesure des champs magnétiques faibles dans les environnements planétaires avec une sensibilité inférieure au  $pT/\sqrt{Hz}$  dans la gamme [10Hz ; 10kHz] et pouvant affleurer les  $10fT/\sqrt{Hz}$ .

### 1b. Représentation électrocinétique

La représentation électrocinétique d'un tel capteur (**Figure 2**) fait intervenir une source de tension ( $e$ ) qui correspond à la tension induite  $-d\phi/dt$ , une résistance inhérente au fil utilisé pour le bobinage ( $R$ ), un coefficient d'auto-induction ( $L$ ), et une capacité ( $C$ ) laquelle est liée principalement à l'énergie électrostatique stockée entre les couches de bobinage. Ce circuit comporte une fréquence de résonance qui réduit la dynamique de sortie, puisque le système doit être conçu pour ne pas saturer, le gain de l'ensemble doit alors être ajusté pour la fréquence de résonance.

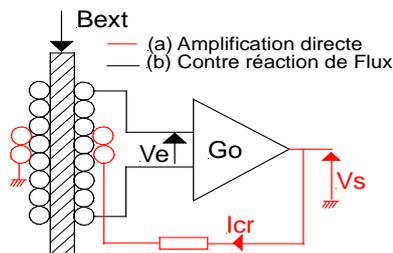


Figure 1 : Principe du search coil à amplification directe (a) et de la contre-réaction de flux (b)

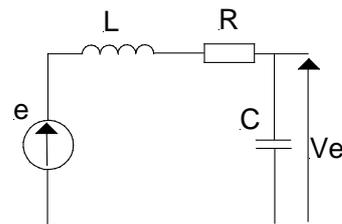


Figure 2 : Représentation électrocinétique du search coil

### 1c. Contre-réaction de flux et fonction de transfert résultante

Pour remédier à la résonance naturelle du bobinage de mesure, sans augmenter le bruit en entrée, un second bobinage est utilisé pour injecter dans le noyau un flux qui s'oppose au flux auto-induit par le bobinage principal (**Figure 1.b**) et aplanit la fonction de transfert (tension-champ :  $V_s/B_{ext}$ ) sur 2 à 4 décades (**Figure 3**) [2]. Une telle fonction de transfert a l'avantage d'être indépendante des variations de température. Cet instrument présente une sensibilité optimale sur environ 2 décades (**Figure 4**).

La limitation de la bande passante de l'instrument est liée aux comportements inductifs et capacitifs. Or, dans le cadre d'une mission spatiale exploratoire comme la mission BEPICOLOMBO, il est essentiel d'avoir accès à la gamme de mesure la plus étendue possible. Pour prolonger le minimum de sensibilité au delà de 10kHz, il serait

possible d'utiliser un second fluxmètre. Toutefois l'augmentation de masse et la nécessité d'un support mécanique supplémentaire rendent cette solution inadéquate.

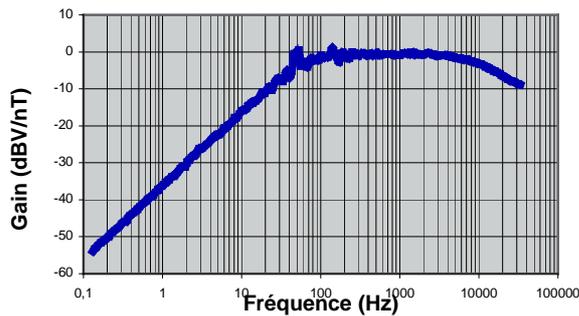


Figure 3 : Fonction de transfert d'un search coil à contre réaction de flux

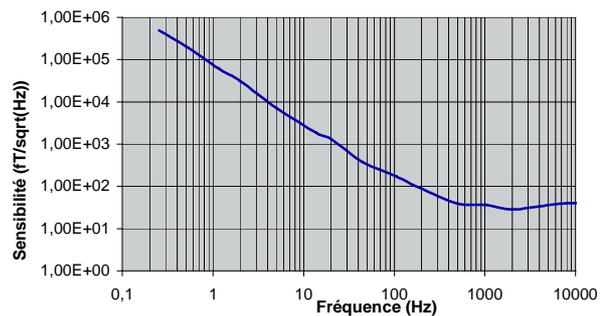


Figure 4 : Sensibilité d'un search coil.

## 2. Fluxmètre à bande large à contre-réaction de flux

Une solution consiste à utiliser deux bobinages sur un même noyau, optimisés pour deux bandes de fréquence contiguës ([100mHz ;10kHz] & [10kHz ;1MHz]). Une première étude menée au CETP en 1995 avait montré les limitations d'un tel procédé. En effet, il est possible d'obtenir deux bandes de mesure différentes à partir du même noyau, mais la jonction entre les 2 bandes (en particulier de 10kHz à 100kHz) est rendue délicate par l'existence sur la courbe de gain d'une multitude de résonances et d'anti-résonances ( **Figure 5** , courbe bleue).

Des améliorations techniques ont permis de surmonter cette difficulté et d'obtenir une fonction de transfert en haute fréquence parfaitement exploitable bien que la résonance du bobinage basse fréquence reste visible entre 2 et 4kHz. Par ailleurs, la réponse de l'enroulement basse fréquence n'est pas altérée et reste semblable à celle présentée sur la **Figure 3**.

Le prototype de fluxmètre à bande large réalisé au CETP a une masse inférieure à 55grammes, un seuil de sensibilité inférieur à 20fT/ $\sqrt{\text{Hz}}$  de quelques kHz à plusieurs centaines de kHz et une consommation inférieure à 80mW (alimenté en +/-5V).

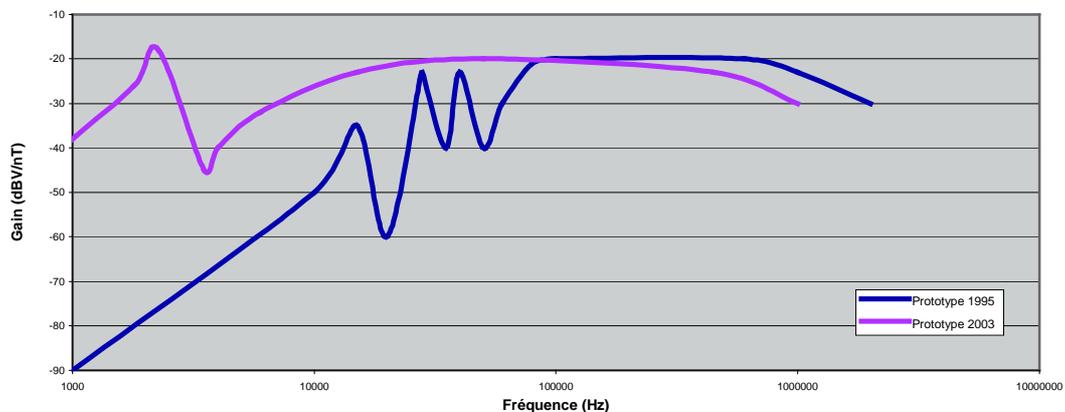


Figure 5 : Fonction de transfert [1kHz; 2MHz] : prototype 1995 versus prototype 2003

## Conclusion

Nous avons montré qu'il est possible d'exploiter un noyau magnétique unique pour réaliser un fluxmètre à bande large et à contre-réaction de flux. La masse, la consommation et la sensibilité de l'instrument sont compatibles avec les contraintes imposées aux instruments embarqués sur les sondes planétaires en général et à bord de MMO en particulier. La limite actuelle de 650kHz de la bande de fréquence n'est pas liée au fluxmètre mais aux contraintes de la télémesure de la sonde MMO, cette limite peut facilement être repoussée à 1MHz.

## Références bibliographiques

[ 1 ] R. M. Bozorth D. M. Chapin "Demagnetizing factors of rods"; Journal of applied physics; Volume 13; pages 320-327; May; 1942.

[ 2 ] K. El Bourki C. Coillot L. Rezeau H. de Feraudy "Measuring currents in space plasmas with a Current Density Coil" ; ECMS 2003 ; Liberec (Czech Republic); pages 359-364; 2003