Étude de la compression sur ARCHEOPS

François R. BOUCHET, Didier VIBERT

Version 1 - 25 juin 1999

Institut d'Astrophysique de Paris, *98bis bd Arago, 75014 PARIS*

1 Introduction

Le but de cette étude est une première analyse de l'effet du processus de compression/décompression utilisé à bord d'ARCHEOPS sur le signal issu des bolomètres, en adaptant des outils développé pour PLANCK.

2 Description de la méthode

Pour étudier l'effet de la compression/décompression dans des conditions relativement réalistes en terme de dynamique du signal, des flot de données temporelles par bolomètre – *timelines* – ont été simulés pour les trois canaux d'ARCHEOPS prévus pour le vol à TRAPANI : 143 GHz, 217 GHz et 353 GHz. Pour chaque canal une timeline astrophysique et une timeline de bruit ont été calculées séparément, puis éventuellement additionnées.

2.1 "Timelines" astrophysiques

Elles ont été générées grâce à "**SUPERTANGO**", qui est une généralisation "tout le ciel" faite en FORTRAN par R. Teyssier à partir du logiciel IDL "**TANGO**" de simulations d'observation locales écrit par F. R. Bouchet et R. Gispert au cours de la phase A de PLANCK. Le principe est simple : des cartes "templates" décrivent la structure spatiale de chaque processus ayant une signature spectrale particulière et la contribution de chaque processus à une fréquence donnée est donné par une certaine loi spectrale.

Les timelines astrophysiques sont générées à partir de cartes "template" en pixelisation Healpix des processus suivants :

- **Dipole du CMB :** calculé d'après les résultats de COBE (colatitude galactique $\theta = 48.05$ degrés, longitude galactique $\phi = 264.31$ degrés et $\beta = 1.231 \times 10^{-03}$).
- **Anisotropies (primaires) du CMB :** simulé avec CMBFAST dans le cas d'un Univers CDM standard avec des conditions initiales isentropiques d'exposant $n = 1$ et $\Omega_b = .05$, $\Omega_c = 0.95$, $\Omega_v = 0$, $\Omega_\nu = 0$, $H_o = 50$ km/s/Mpc, $T_{cmb} = 2.726$ K, $Y_{He} = 0.24$ et 3.04 neutrinos sans masse et pas de neutrinos massifs, le tout dans le cas sans réionisation.
- **Points source :** cartes locales de 12.5×12.5 degrés, réalisation simulées à 30 fréquences du modèle E (Guiderdoni et al., MNRAS, 1997) par E. Hivon, et rassemblées en carte tout le ciel

par J.-F. Sygnet et B. Guiderdoni et complétée par un catalogue d'objets rares (moins d'un par carte locale; ce catalogue d'objets brillants est artificiel, i.e. il n'est pas tiré de catalogues observés).

- **Poussière Galactique :** carte IRAS à 100 μm (modifiée par H. Dole pour remplir les trous) extrapolée en fréquence avec une température unique de 18 K et une émissivité en ν^2 (ce qui est bien sur très faux au moins dans les régions optiquement épaisses, dont le plan galactique).
- **Synchrotron Galactique :** carte HASLAM à 408 MHz extrapolée en fréquence avec une loi en $\nu^{-0.9}$. Cette carte a une résolution angulaire de 51'. Nous n'avons pas utilisé l'extension artificielle par une addition de structures gaussiennes étendant le spectre de puissance ($\sim \ell^{-3}$) constaté au plus grandes échelles.

Ces simulations du ciel observée négligent donc actuellement la contribution SZ des amas, de l'émission Galactique "free-free", des grains de poussière tournant, etc... tous facteurs qui ne devraient pas altérer les conclusions. En revanche, l'absence des fluctuations atmosphériques pourrait être plus génante (à vérifier).

Les cartes à une fréquence donnée sont obtenues par intégration dans des bandes carrées de $\Delta\nu/\nu = 0.25$ centrées sur les valeurs nominales (143, 217, 353 GHz). Elles sont ensuite convolées par un beam symétrique gaussien le long d'une trajectoire correspondant au vol de TRAPANI. Nous avons utilisé des FWHM de 7.2' pour toutes les bandes.

Les caractéristiques de la charge utile et de la trajectoire utilisées sont :

- Angle axe de spin-axe optique ("**boresight angle**") : 45 degrés.
- **Fréquence de rotation du telescope :** 2 rpm.
- **Fréquence d'échantillonnage :** $f_{samp} = 160$ Hz ;
- **Trajectoire :** départ le 17/07/99 de Trapani avec une dérive "en ligne droite" jusqu'à Gibraltar en 26 heures. Seules les 50 premières minutes (100 "cercles", soit 480 000 points) ont été analysées.

2.2 "Timelines" de bruit

Les timelines de bruit blanc additionné d'un bruit en $1/f$ ont été générées simplement 1) en générant une timeline de bruit blanc normalement distribué et de variance unité (RANDOMN.PRO) 2) en prenant sa Transformée de Fourier 3) en multipliant chaque amplitude (complexe) de mode par $(1 + f_{knee}/f)$ 4) En multipliant la transformée de Fourier inverse par la *rms* désirée du bruit blanc. Cette procédure très simple (GET_OOF_NOISE.PRO) à l'inconvénient de ne pas pouvoir générer des séries très longues (mais pas de problèmes avec seulement quelques millions de points), et de ne pas être extensible une fois la série générée[1].

Nos timelines de bruit ont été générées avec les caractéristiques suivantes :

- **Niveau du bruit blanc :** $rms = NEP\sqrt{f_{samp}/2}$, avec les NEP suivantes : 11,46 10^{-3}, 18,91 10^{-3} et 36,03 10^{-3} μVolts pour les canaux à 143, 217 et 353 GHz respectivement (avec un facteur de 5 10^5 μVolt par nanoWatt; f_{samp} =160 Hz).
- **Fréquence du coude :** 0,1 Hz (cette "knee frequency" est celle où le niveau du spectre de puissance en 1/f est égal au niveau de celui du bruit blanc);

1. Les propriété désirables mentionnées ci-dessus peuvent être obtenues directement par une approche de corrélations dans l'espace réel comme celle proposée par Couchot et coll. dans le contexte de PLANCK. Nous avons essayé d'utiliser les routines C++ correspondantes, mais les séries obtenues présentent des "glitches" inattendus ainsi qu'occasionnellement des discontinuités. Après plusieurs jours d'efforts pour l'installer, et tenter de l'utiliser, nous avons temporairement renoncé faute de temps.

Un exemple d'un cercle de "timeline" avec signal seul, bruit seul et signal plus bruit est représenté sur la figure 1 (cf figure 2.a pour une timeline de 100 cercles).

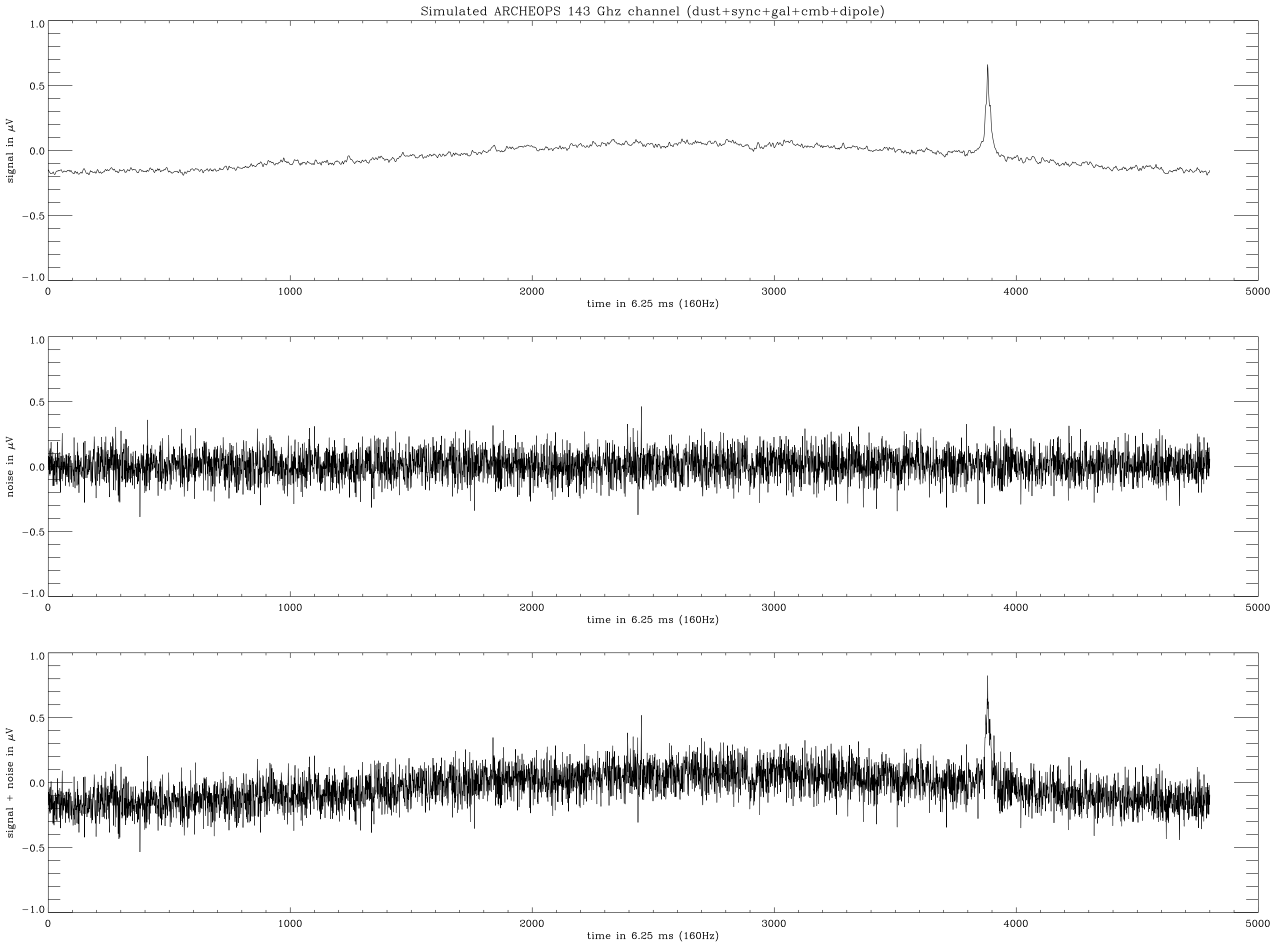

FIG. 1 – *Premier cercle de la timeline du canal 143 GHz. Haut: sans bruit; Milieu: bruit seul; Bas: signal + bruit.*

2.3 Conversion en unité digitale

Les timelines astrophysiques sont générées en nanoWatt par mètre carré par stéradian. Le facteur de conversion en microVolts ARCHEOPS appliqué est :

$$S_{\mu V} = S_{nWm^{-2}sr^{-1}} \times S\Omega \times T_f \times R_b.$$

Nous avons utilisé $S\Omega = 4\ 10^{-6}\mathrm{m}^2\mathrm{sr}$, avec une transmission totale $T_f = 0{,}2$ et une réponse du bolomètre $R_b = 5\ 10^5 \mu\mathrm{V\ nW}^{-1}$.

La conversion en unités digitales a été faite en transformant les valeurs flottantes réelles en entiers non signés sur 20bits (en utilisant toute la dynamique des 20bits). Concrètement, les valeurs sont d'abord décalées de manière à être toutes strictement positives puis un facteur d'échelle est ensuite calculé de manière à ce que la valeur maximale de la timeline soit égale à FFFFF c'est à dire 1048575, le plus grand entier non signé sur 20 bits.

NB1 : Nous avons constaté que la présence d'une valeur nulle en entrée semble entraîner un comportement anormal du compresseur-décompresseur. Dans ce cas, les valeurs qui suivent (par paires) sont entre -max et 0 au lieu d'entre [0, max] (les valeurs proches de zéro se retrouvant près de -max). Nous n'avons pas eu le temps de voir si cela correspond au compilateur utilisé...

NB2 : À cette étape, nous n'avons pas émulé l'ensemble de la chaîne d'acquisition, i.e. nous avons sauté l'étape d'acquisition à 6 kHz sur 16 bits avec les gains décrits dans `archeops.h`, suivie de l'addition d'une trentaine de valeurs (suite au temps mort) sur 21 bits. Nous n'avons pas non plus émulé la modulation/démodulation.

3 Résultats

Pour chaque canal, nous avons effectué une compression/décompression sur : le signal astrophysique sans bruit, le bruit seul et la somme des deux pour les 100 cercles représentés figure 2.a). Les figures 2.b et 3 montrent le resultat de cette étude pour les différentes composantes du signal à 143 GHz. Sur les légendes des panneaux de quatres graphes présentés, V_i et V_o font référence aux valeurs d'entrée et de sortie (après compression/décompression), et les axes correspondent en général à des valeurs normalisées à la rms du signal correspondant.

Le premier graphe (en haut à gauche) donne la distribution des erreurs dues à la compression. Pour le signal + bruit à 143 GHZ (figure 2.b), ce "bruit" est de valeur moyenne quasi nulle (1.7×10^{-4} de la rms = 0.134 μV du signal avant compression) et de faible déviation standard σ = 1.2 % de la rms; l'asymmétrie ("skewness") de la distribution $S \equiv \left\langle (\epsilon - \bar{\epsilon})^3 \right\rangle / \sigma^3 = 3.5\%$ est faible, mais l'aplatissement ("Kurtosis") $K = \left\langle (\epsilon - \bar{\epsilon})^4 \right\rangle / \sigma^4 = 5.1$ est fort. Même si globalement la distribution est assez bien ajustée par une gaussienne de même σ (cf. courbe en pointillés), on note un effet de paliers qui suggère un effet de discrétisation des valeurs de sortie.

Le deuxième graphe (en bas à gauche) montre les courbes de niveau de la fonction de distribution dans le plan "valeur d'entrée-valeur de sortie". Cette figure a été générée en tracant un nuage de points pour chaque couple de valeur [V_i,V_o] et en calculant la densité locale de points. Le contour extérieur englobe la totalité des points. Outre l'asymétrie de la distribution initiale, on constate aussi l'absence de points aberrants (i.e. très loin de la ligne pointillée de pente unité) et une dispersion assez faible.

Le troisième graphe (en haut à droite) détaille quantitativement le graphe précédent en indiquant pour chaque tranche de valeurs initiales la valeur moyenne de la valeur absolue de l'erreur ainsi que la "rms" de l'erreur (ce qui mesure la dispersion des points le long de tranches de valeurs d'entrées du graphe précédent). La forme de la courbe se comprend mieux en analysant ce même graphe sur le signal et sur le bruit séparément (cf. figure 3) Le bruit étant gaussien n'a pas de fortes excursions et les valeurs importantes ($> 5\sigma$) correspondent entièrement aux pics du signal dus aux passages dans le plan galactique. Clairement les erreurs croissent avec la valeur absolue du signal d'entrée, mais elles diminuent plutot en valeur relatives.

Enfin, le quatrième graphe, montre les niveaux relatifs des spectres du signal avant et après compression avec les spectres de l'erreur. Le bruit de compression se situe à un niveau près de 5000 fois plus petit que celui du signal bruité.

Des conclusions similaires s'obtiennent pour les autres canaux (cf. les figures 4, 5 et 6 en annexe).

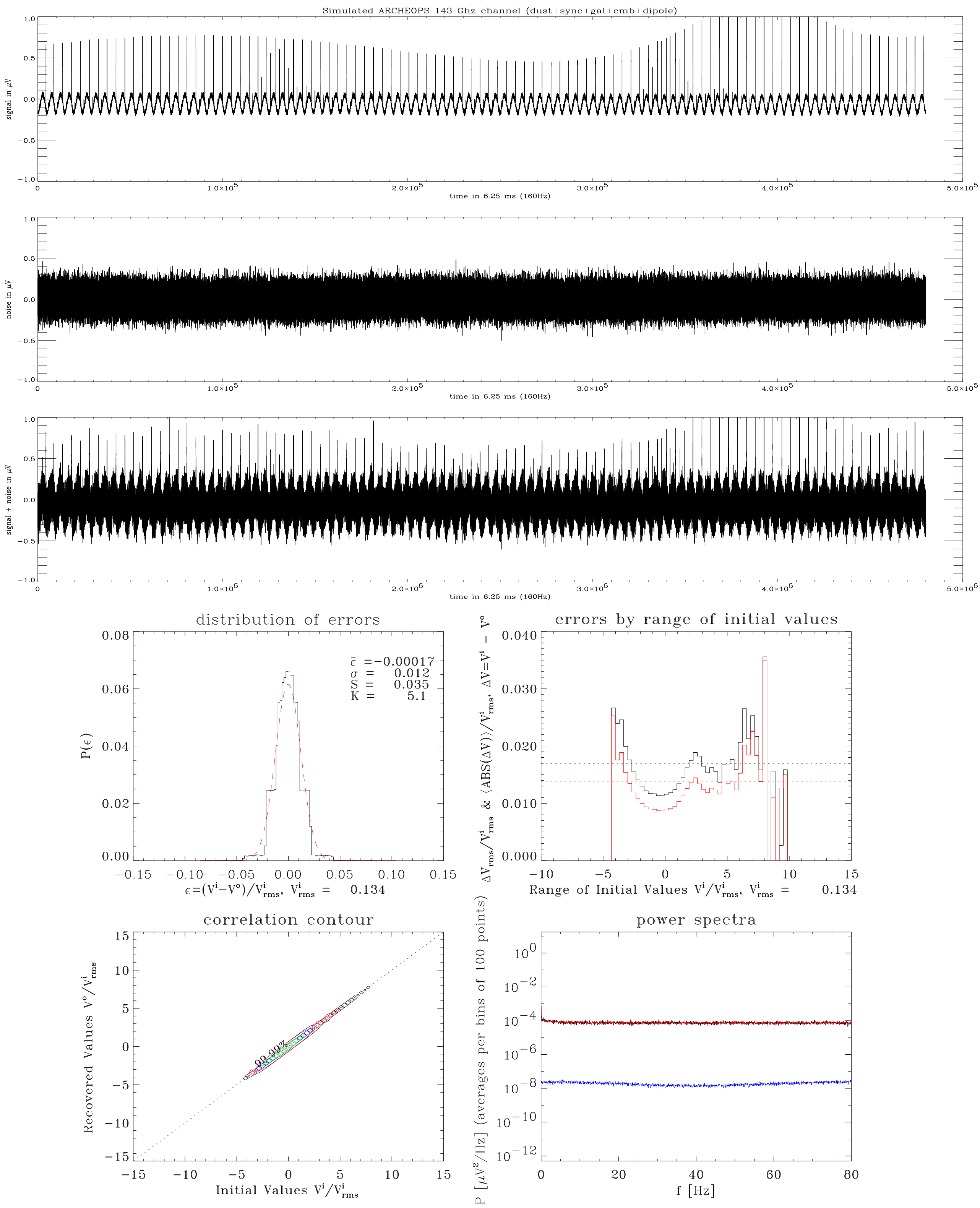

FIG. 2 – *Paneau du haut: les 100 premiers cercles de la timeline du canal 143 GHz utilisés pour l'analyse. En descendant signal sans bruit, bruit seul, signal + bruit. Paneau du bas: Quatre figures comparant les propriétés d'une timeline du canal 143 GHz "brute" à sa transformée par compression/décompression (voir texte).*

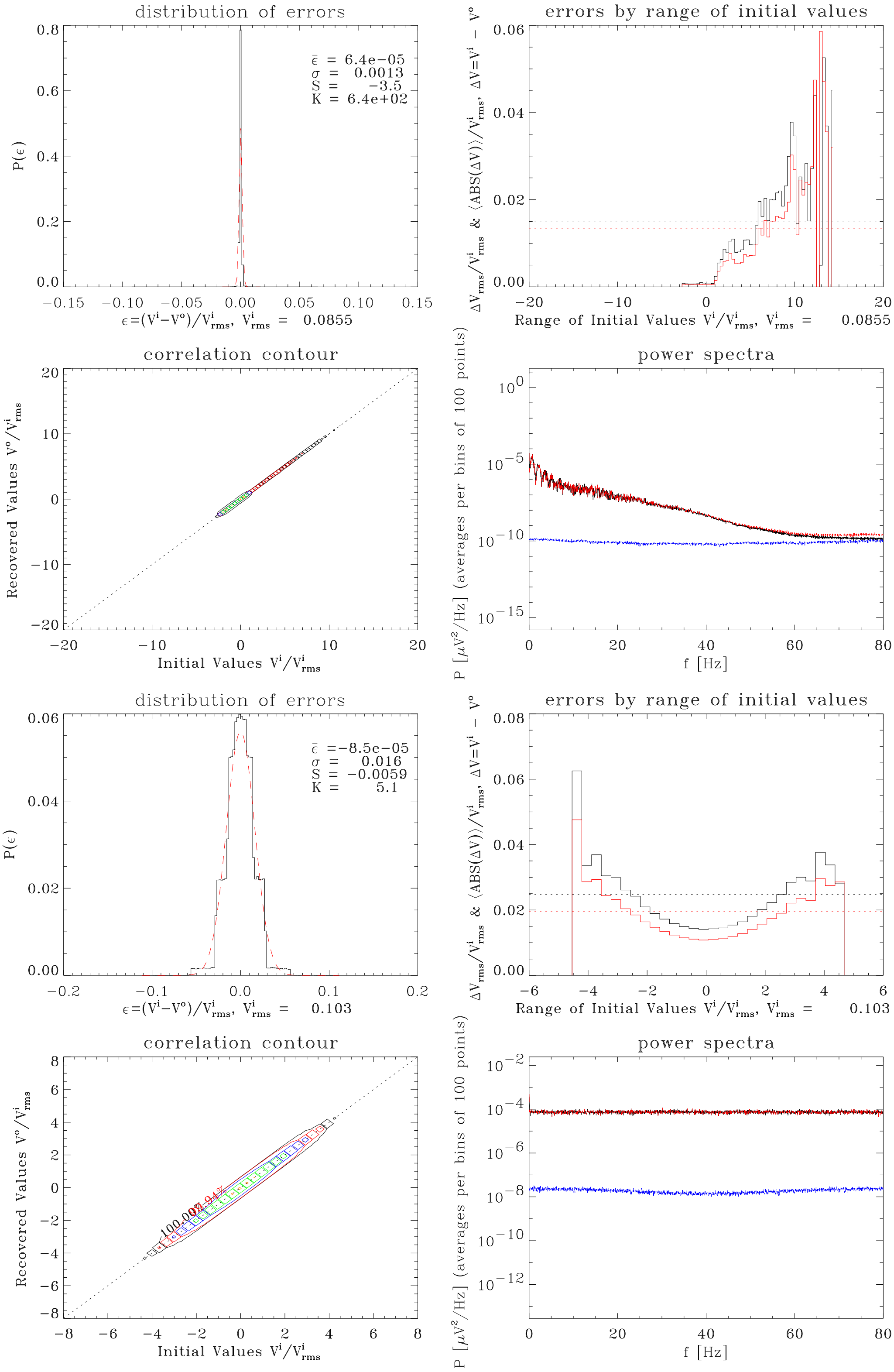

FIG. 3 – *Quatre panneaux comparent les propriétés d'une timeline du canal 143 GHz "brute" à sa transformée par compression/décompression. Haut: signal seul. Bas: Idem pour le bruit seul.*

4 Annexe

Les figures 3 à 6 suivantes détaillent l'effet du compresseur sur les signaux à 217 et 353 GHz.

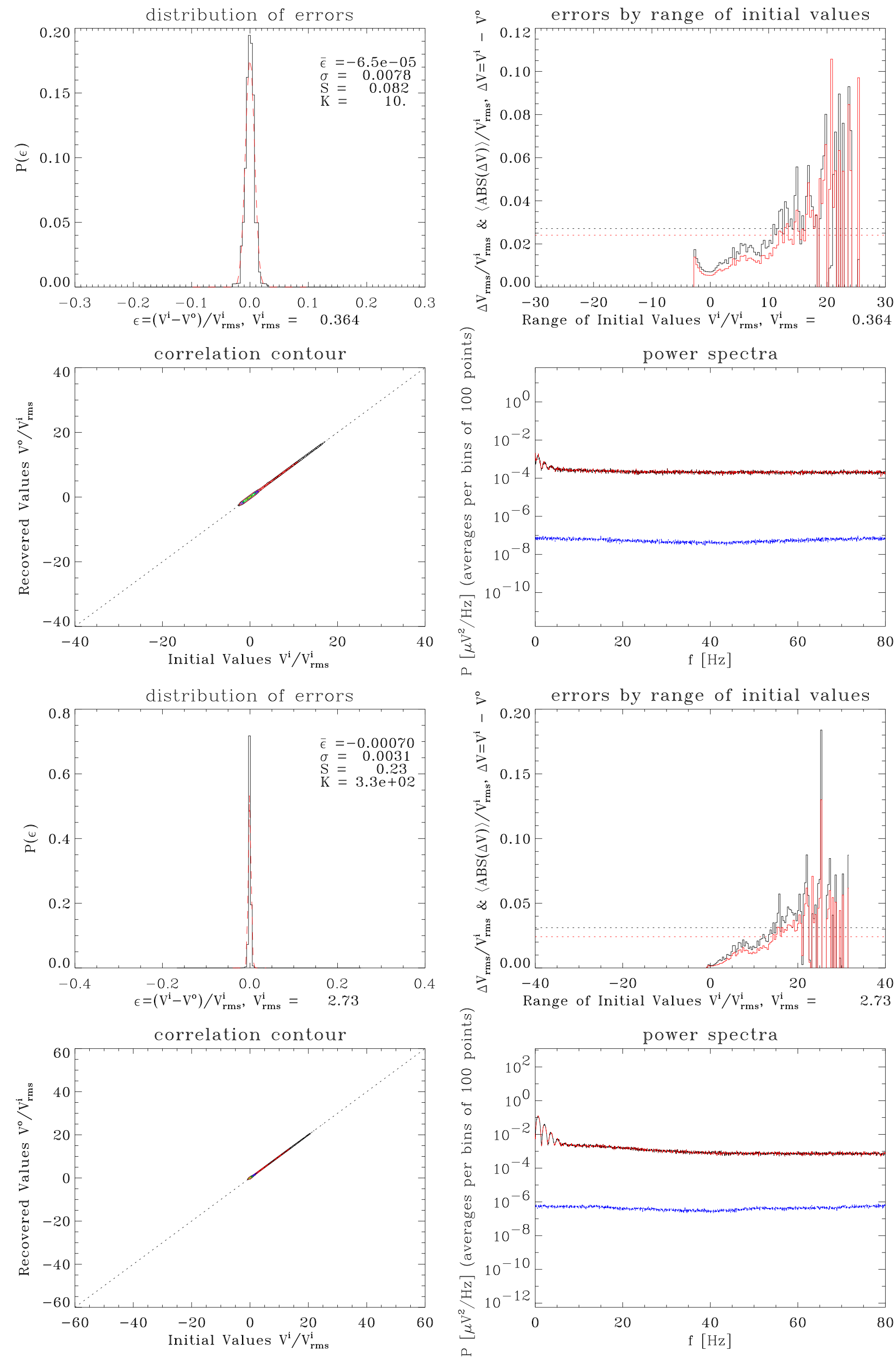

FIG. 4 – *Idem figure 2 (i.e. signal + bruit) pour le canal à 217 GHz (haut) et 353 GHz (bas).*

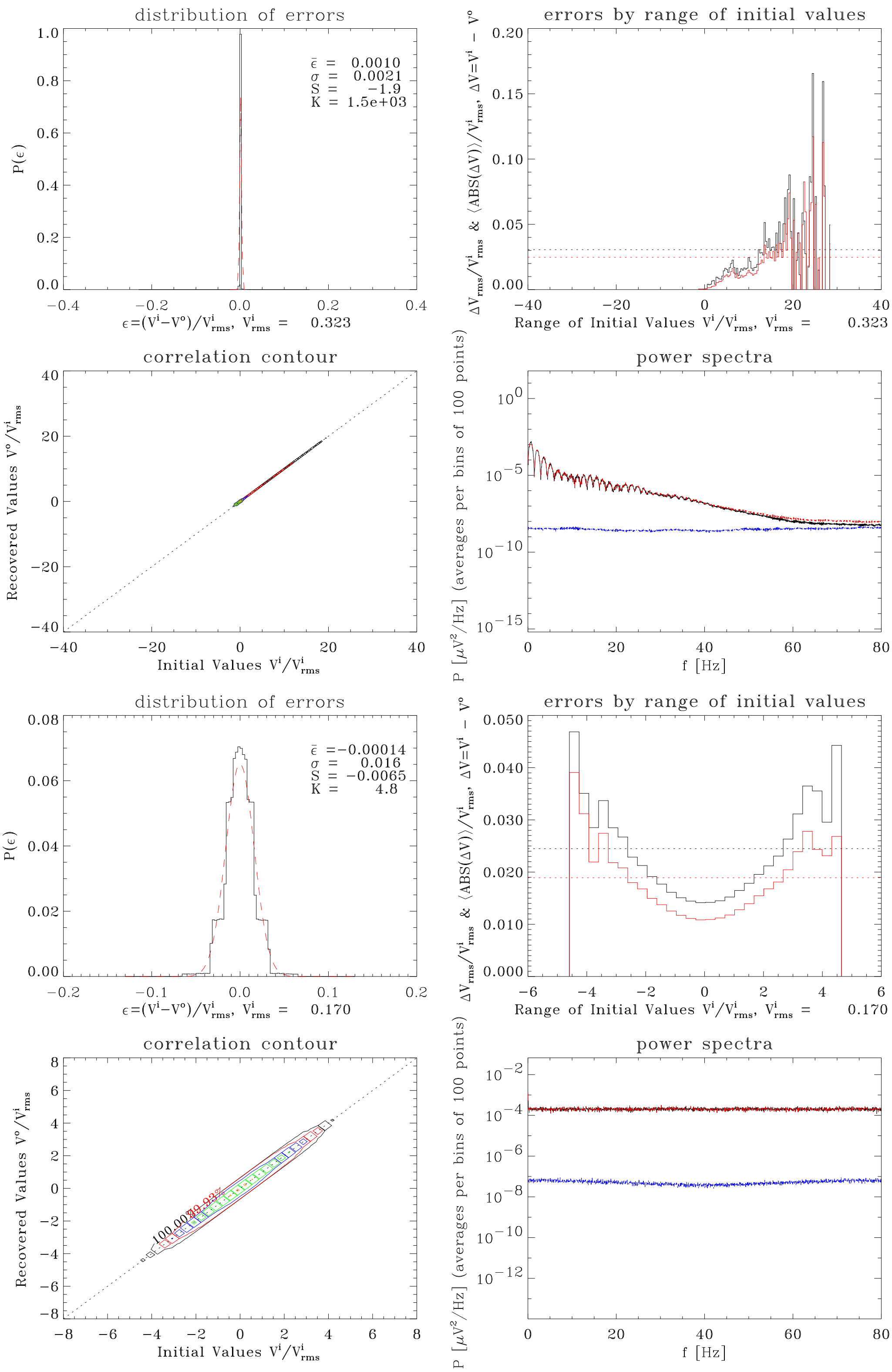

FIG. 5 – *Idem figure 3, pour le canal à 217 GHz (Haut: signal seul. Bas: bruit seul).*

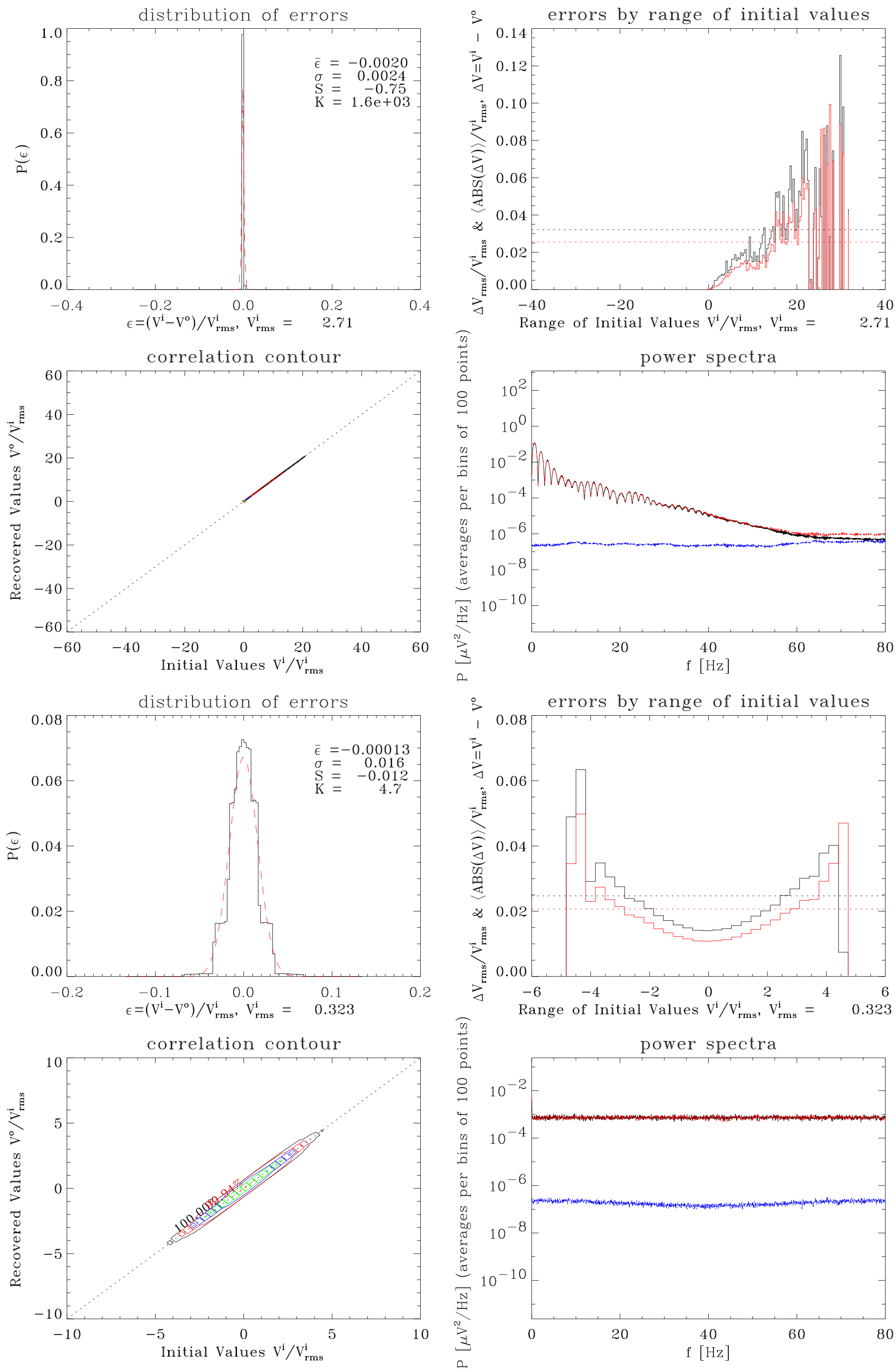

Fig. 6 – *Idem figure 3, pour le canal à 353 GHz (Haut: signal seul. Bas: bruit seul).*