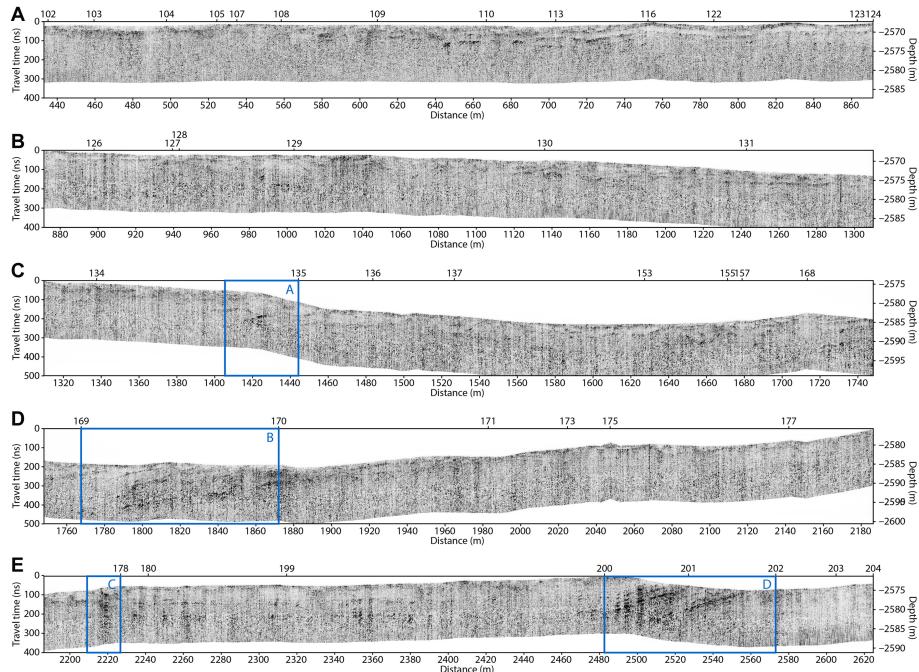


Traitements numériques du signal

Traitements de radargramme, acquis par géoradar



Radargrammes acquis sur le sol martien par le radar RIFMAX



Adèle PLUQUET

Adrien ANTON LUDWIG

January 19, 2023

Table des matières

1	Introduction	3
2	Présentation de la situation de départ	4
3	Ringing & clutter (ou onde directe)	5
4	Bruit	7
5	Présentation du résultat	9

1 Introduction

Un radargramme est une représentation graphique de la mesure d'un radar à pénétration de sol ou de matériaux. Il représente généralement en abscisse une longueur correspondant à la distance du linéaire analysé, en ordonnée un temps correspondant au temps de réponse du signal entre son émission et sa réception, et un dégradé de couleur correspondant à l'amplitude du signal. (Source)

La donnée acquise par les radargrammes est livrée brute et il faut alors la nettoyer. En effet, lors de l'acquisition, différents phénomènes viennent parasiter le résultat :

- **Ringing** : Provoqué par la réverbération de l'onde, il produit des bandes horizontales sur le radargramme.
- **Clutter ou onde directe** : Il s'agit de l'onde retournée par la surface du sol analysé. Sa distance au radar étant très faible, elle est captée quasiment instantanément et son amplitude est très forte. Cette information ne nous intéresse pas car nous souhaitons sonder sous le sol et non sa surface.
- **Bruit** : Le bruit provient de perturbations aléatoires issues des appareils de mesures. Le bruit apparaît essentiellement en fin d'enregistrement d'une trace en l'absence d'information et rehaussé par le gain appliqué en profondeur.
- **Artefacts en colonnes** : Du fait de la très large bande passante de l'antenne, le bruit peut également apparaître à la suite de l'enregistrement des signaux provenant des ondes électromagnétiques dans l'air issues des antennes de radio-transmission et des appareils téléphoniques. Dans ce dernier cas des artefacts en forme de colonne apparaissent sur les données.

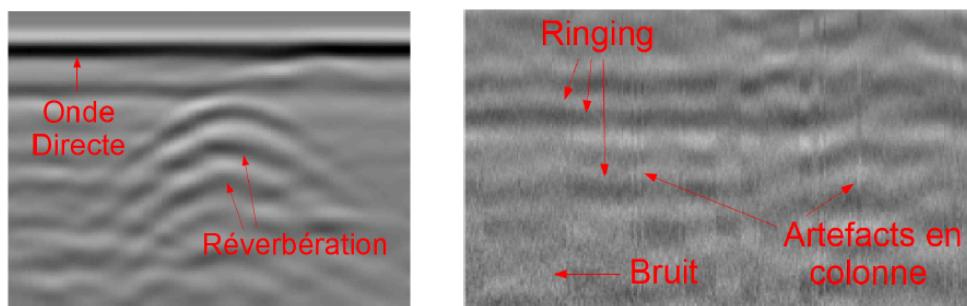


Figure 1: Exemple de parasites dans un radargramme. La **réverbération** montre cependant une information intéressante extraite de l'analyse du sol.

L'objectif du travail va être de nettoyer ces données en supprimant et atténuant ces parasites en utilisant des méthodes de traitement du signal et non de traitement d'image.

2 Présentation de la situation de départ

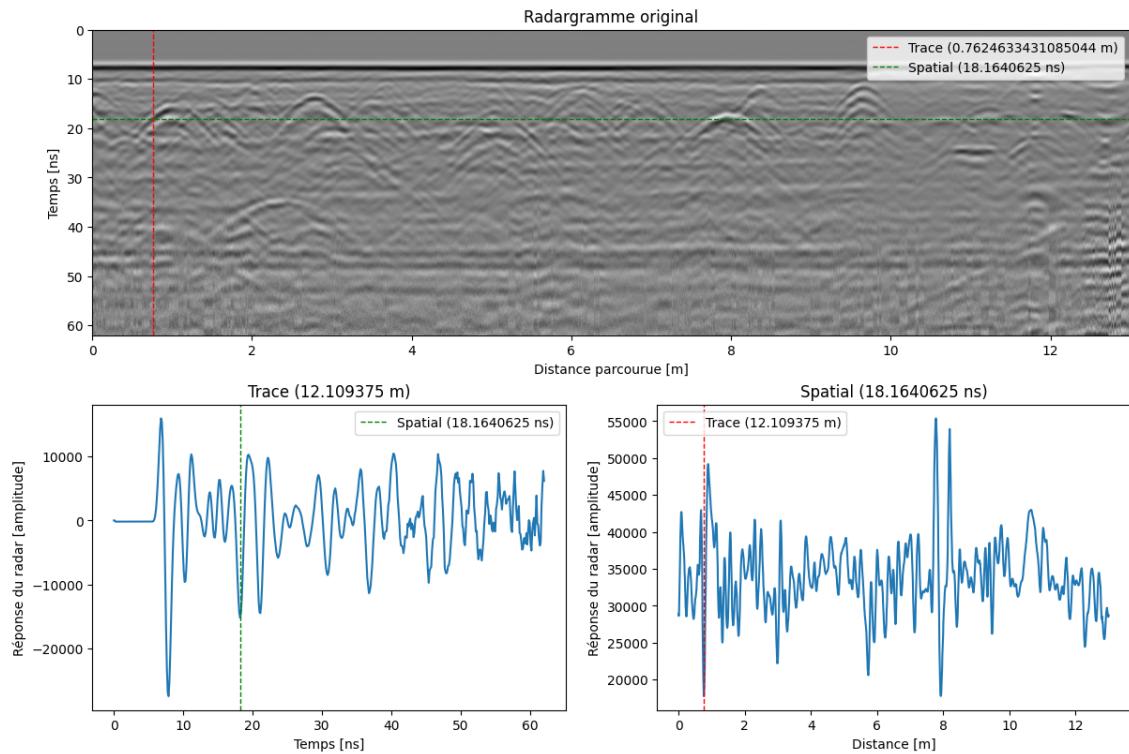


Figure 2: En haut, le radargramme acquis. En bas à gauche, une trace acquise (acquise au niveau du trait rouge du radargramme). En bas à droite, une ligne spatiale obtenue en regroupant les points de toutes les traces correspondant au même temps, ici 18,164 ns.

Nous disposons donc d'un radargramme. Celui-ci est constitué de multiples traces, les colonnes, qui représentent réponse du radar dans le domaine temporel. Mais il peut aussi être étudié selon le domaine spatial, les lignes. La représentation ci-dessus montre ces différents éléments et leurs intersections.

Sur le radargramme donné, nous observons bien les différents bruits et artefacts présentés dans l'introduction. Pour les corriger, nous allons devoir manipuler et analyser le radargramme à la fois le domaine temporel et le domaine spatial. Nous allons bien sûr utiliser la transformée de Fourier pour obtenir aussi le domaine fréquentiel correspondant à chacun.

Afin de simplifier la lecture des graphes dans le domaine fréquentiel, nous avons décidé de centrer le signal de chaque trace autour de 0 en lui soustrayant sa moyenne.

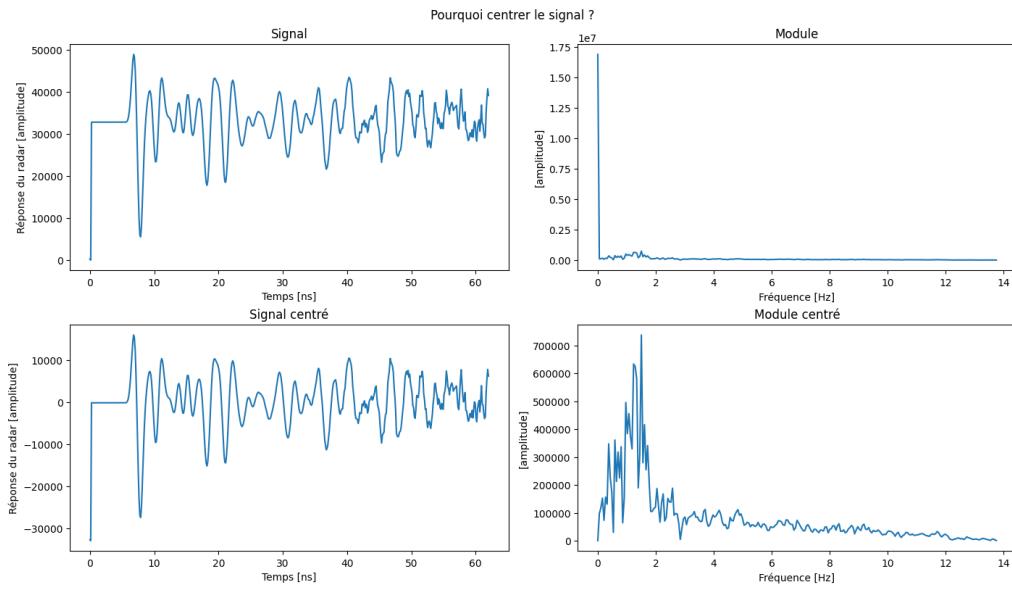


Figure 3: Comme on peut le voir ci-dessus, on centre le signal pour que la valeur moyenne soit nulle. Cela évite d'écraser les amplitudes des fréquences intéressantes par la valeur moyenne du signal. Ainsi, le module du signal centré est bien plus facile à lire.

3 Ringing & clutter (ou onde directe)

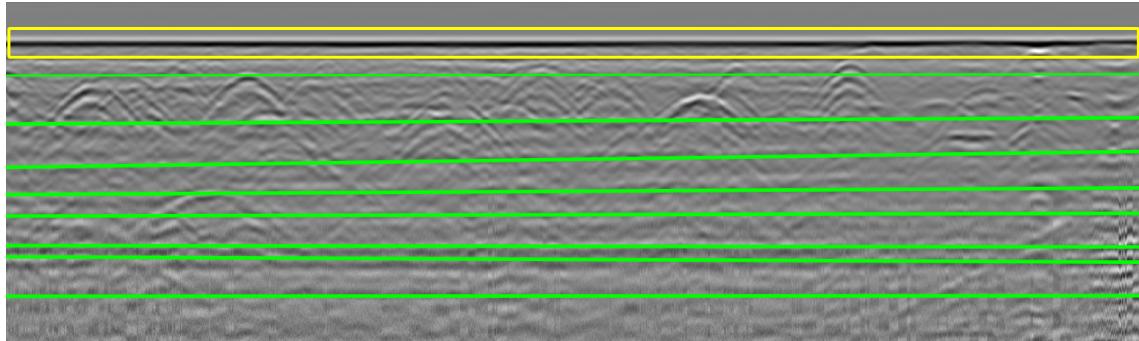


Figure 4: Le cadre jaune met en évidence l'onde directe provoquée par la surface du sol. En vert, sont mises en évidences plusieurs lignes horizontales provoquées par le ringing.

Pour atténuer l'effet du ringing dans notre cas nous avons essayé deux méthodes :

- On considère que les lignes horizontales sur notre radargramme sont en fait des ondes de très basses fréquence. Ainsi, pour les retirer, on peut utiliser un filtre passe-haut suivant l'axe spatial.

- Cette méthode fonctionne mais pour ne pas perdre d'informations importantes sur le signal, il faut utiliser une fréquence de coupure pour le filtre très basse. Elle est si faible qu'elle se rapproche très fortement de 0. On peut donc remplacer ce filtre passe-haut par une simple suppression de la moyenne du signal suivant l'axe spatial. Cette méthode étant plus simple et plus optimisée, c'est celle que nous conservons.

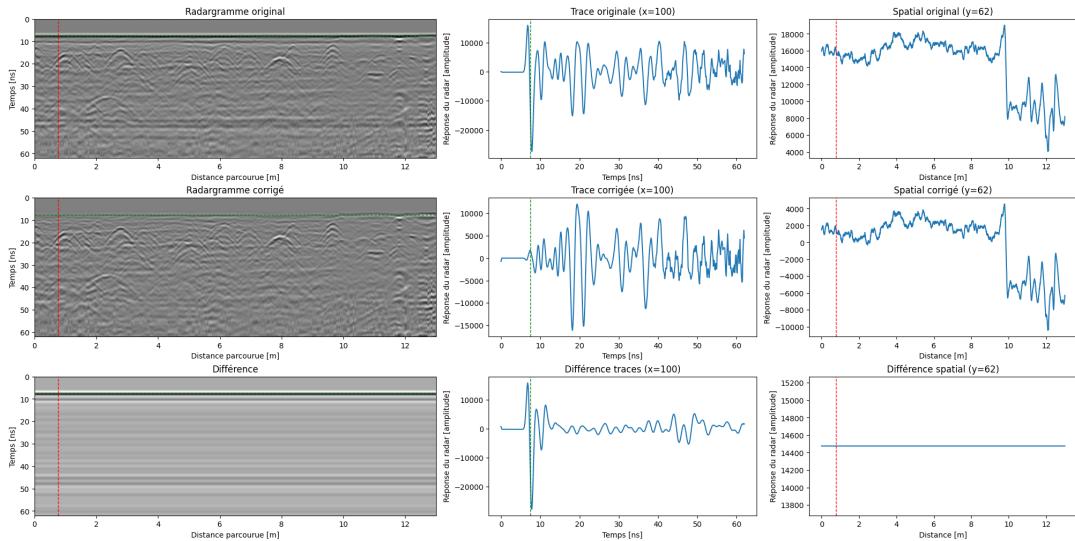


Figure 5: Sur la colonne de gauche, nous voyons que le ringing a été fortement atténué et que le clutter a disparu. Nous voyons très bien sur le radargramme de différence que cette méthode a permis de mettre en évidence et supprimer le ringing et le clutter efficacement. On voit d'ailleurs bien sur la troisième colonne que la moyenne (environ 14500) a été soustraite à tout le signal.

Malgré tout, on constate des lignes de ringing restantes. Cela peut s'expliquer par le fait que notre méthode fonctionne très bien pour les lignes parfaitement horizontales mais n'est pas très tolérante aux variations d'inclinaison des lignes de ringing.

4 Bruit

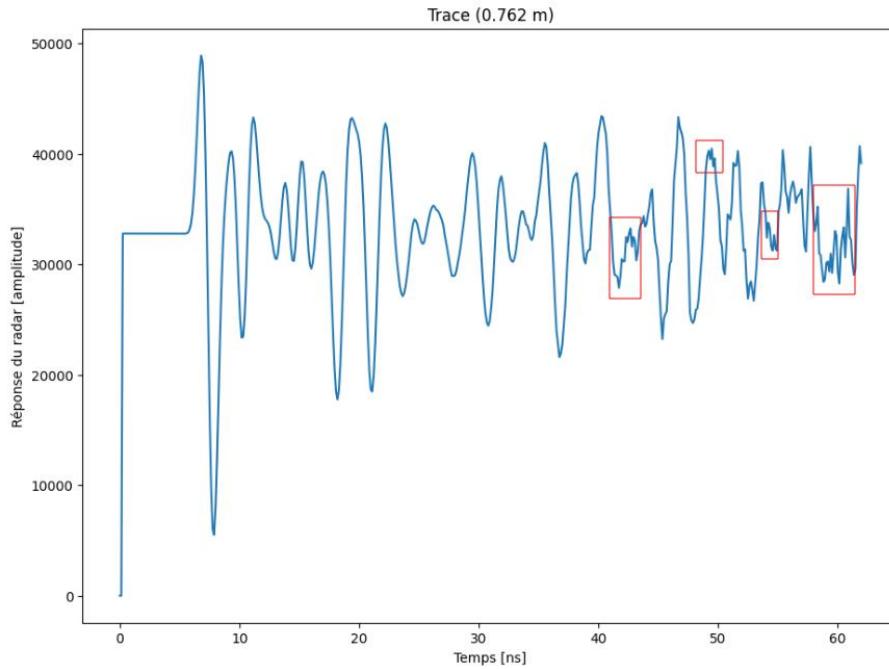


Figure 6: Signal sur l'axe temporel. En rouge, sont mises en évidence quelques parties du signal bruitées. Elles apparaissent en fin de signal.

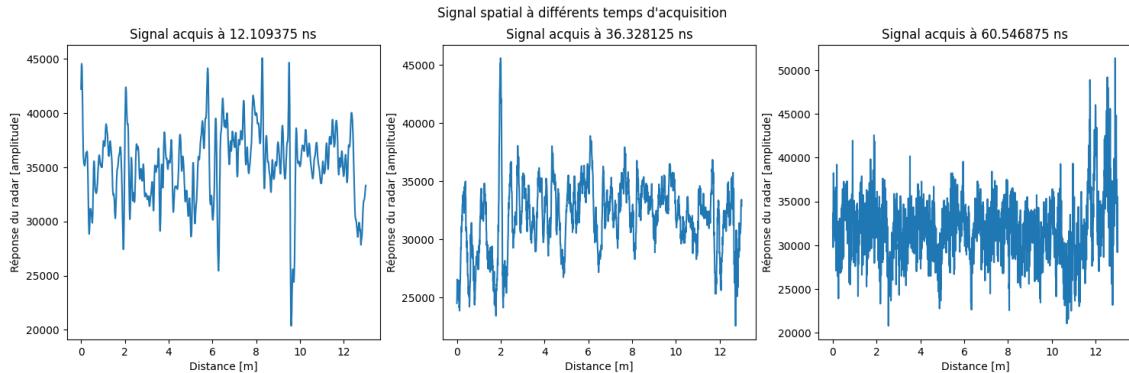


Figure 7: Voici le signal spatial à différents moments de l'acquisition. On constate que plus on avance dans le temps d'acquisition / plus on est en profondeur, plus on obtient de bruit / de hautes fréquences.

Les deux schémas précédents montrent que plus le signal est acquis en profondeur, plus il est bruité. Le bruit se traduit par des plus hautes fréquences. Ainsi, nous souhaitons éliminer ces hautes fréquences afin de diminuer le bruit. Cela se fait grâce à un filtre passe-bas. Nous avons le choix de l'utiliser sur l'axe temporel ou sur l'axe spatial.

- **Axe temporel** : Sur l'axe temporel, les hautes fréquences sont concentrées en fin de signal. Effectuer un filtre passe-bas soustrait les hautes fréquences à tout le signal. Ainsi, tout le début du signal, sans hautes fréquences est fortement altéré. Au final, sur le radargramme, beaucoup d'informations sont perdues.
- **Axe spatial** : Sur l'axe spatial, les hautes-fréquences sont assez bien réparties sur le signal. Certains signaux ont plus de hautes-fréquences que d'autres mais celles si sont dans tous les cas, présentes sur toute la longueur du signal. Ainsi, en appliquant le filtre passe-bas, les hautes-fréquences sont retirées sans altérer le signal.

Nous choisissons donc d'appliquer le filtre selon l'axe spatial.

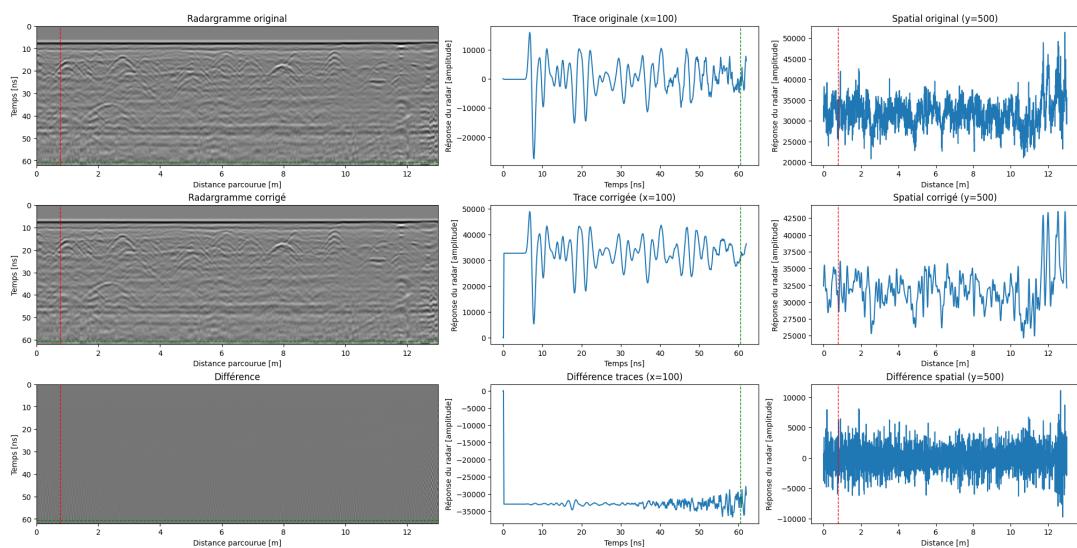


Figure 8: On peut voir sur le bas du radargramme de différence que du bruit a été retiré. On peut voir sur la différence du signal selon l'axe spatial que le filtre a agit assez uniformément sur le signal. Finalement, on voit sur la différence du signal de la trace qu'elle est de plus en plus modifiée au fur et à mesure du temps. Cela est ce à quoi nous nous attendons car plus le signal est profond dans le sol, plus il est bruité et plus le filtre passe-bas a d'effet.

Nous remarquons également que les colonnes ont été atténues en traitant le bruit. Il faudrait cependant trouver une méthode complémentaire pour les retirer complètement.

5 Présentation du résultat

Finalement, nous appliquons les différents traitements en même temps pour observer le résultat.

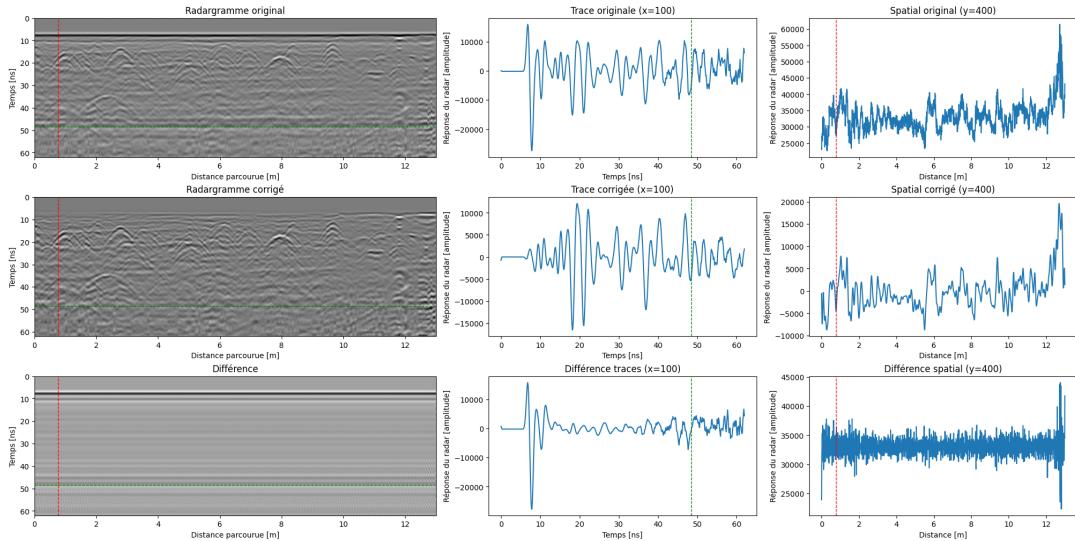


Figure 9: Radargramme obtenu après traitement du clutter, du ringing et du bruit.

Sur le résultat ci-dessus, on peut observer plusieurs choses :

- Le **ringing** et **clutter** ont bien été atténués.
- Le **bruit** a également diminué. On voit d'ailleurs bien sur le bas du radiogramme de différence, le bruit retiré.
- Les **colonnes** ont été également atténuées par le traitement du bruit.
- Grâce à ces traitements, les **motifs** intéressants dans le sol, ressortent bien mieux visuellement.