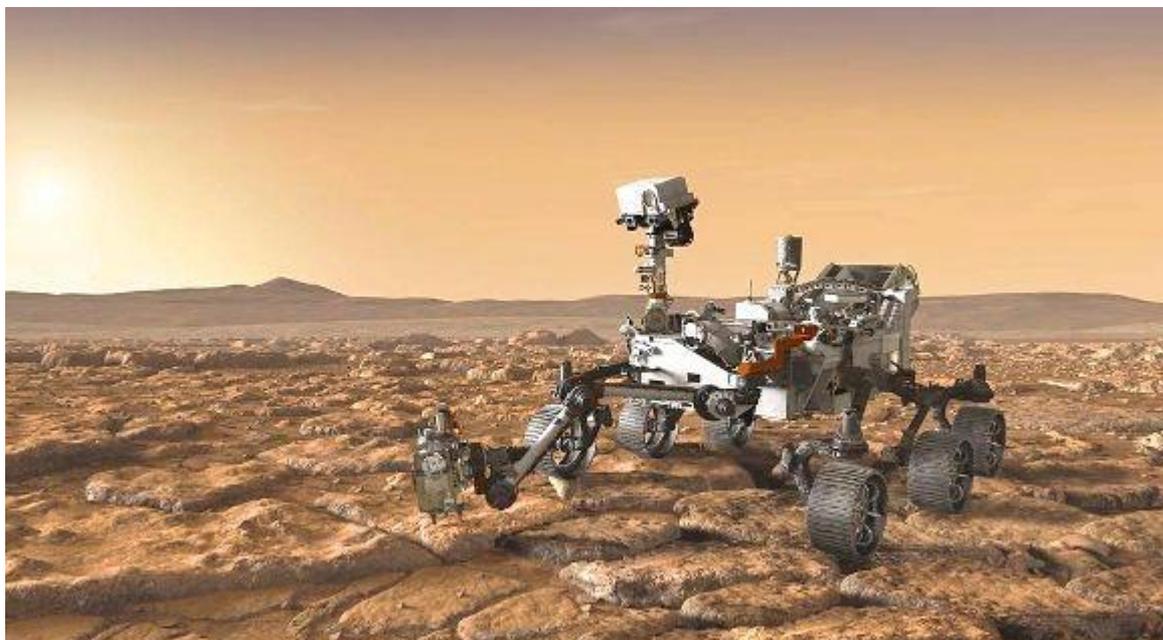


Mission Mars 2020



Activité pédagogique

Utilisation du RIMFAX embarqué sur Perseverance
(Radar Imager for Mars' Subsurface Experiment)

Auteurs

Dr. Florence Bigot-Cormier
Dr. Jean-Claude Auger

Février 2021

Introduction

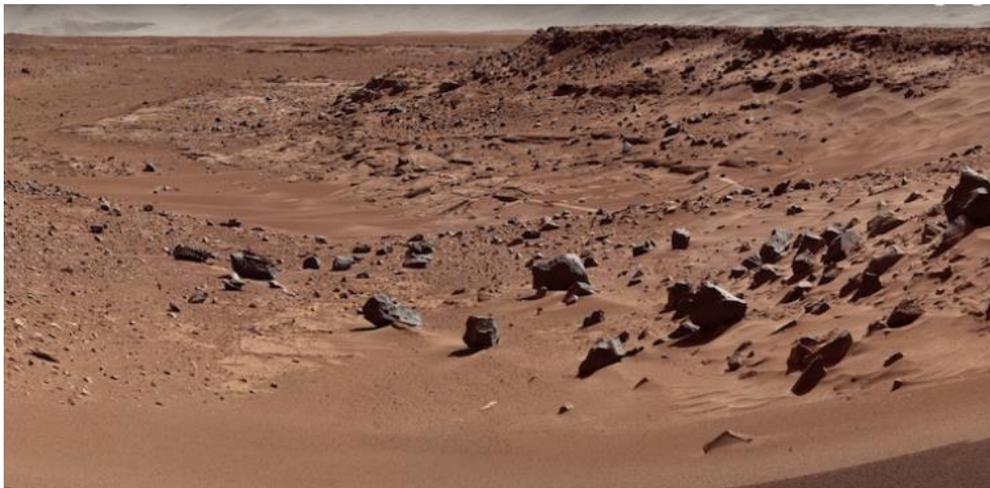
RIMFAX est un radar à ondes continues modulées en fréquence (FMCW). La gamme de fréquences de fonctionnement s'étend de 150 à 1200 MHz. En général, toute la bande passante (avec une fréquence centrale effective de 675 MHz) sera utilisée pour l'imagerie peu profonde jusqu'à plusieurs mètres, et une bande passante réduite des fréquences inférieures (fréquence centrale 375 MHz) sera utilisée pour l'imagerie de structures plus profondes. La majorité des données seront collectées à des intervalles de distance réguliers chaque fois que le mobile conduit, dans chacun des modes profonds, peu profond et de surface.

Les mesures stationnaires avec des temps d'intégration prolongés amélioreront la plage de profondeur et le SNR à certains endroits. L'instrument RIMFAX se compose d'une unité électronique logée à l'intérieur du corps du rover et d'une antenne montée à l'extérieur à l'arrière du rover.

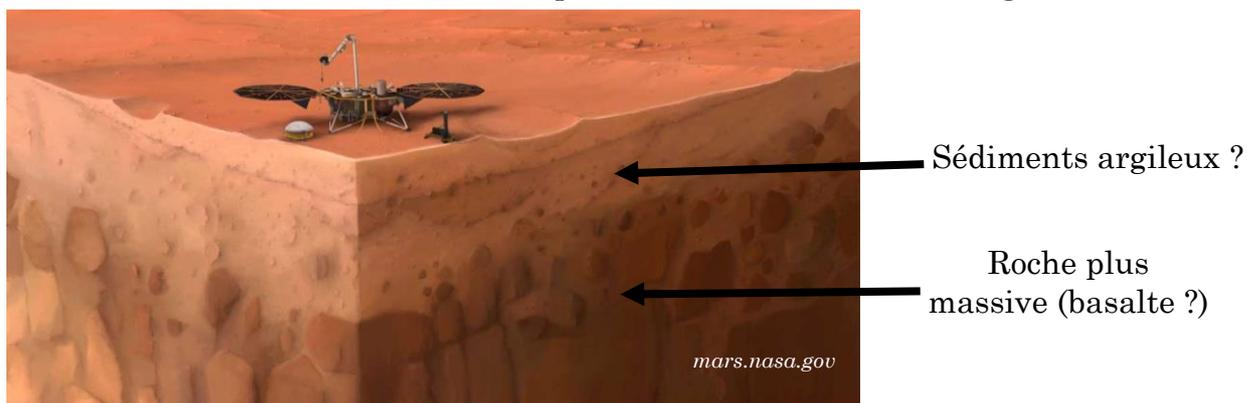
Observations de terrain

Les différentes missions sur Mars ont permis de montrer une géologie hétérogène : des milieux argileux, des roches volcaniques et encore des évaporites, ces dernières indiquant la présence, dans le passé, d'eau liquide sur Mars.

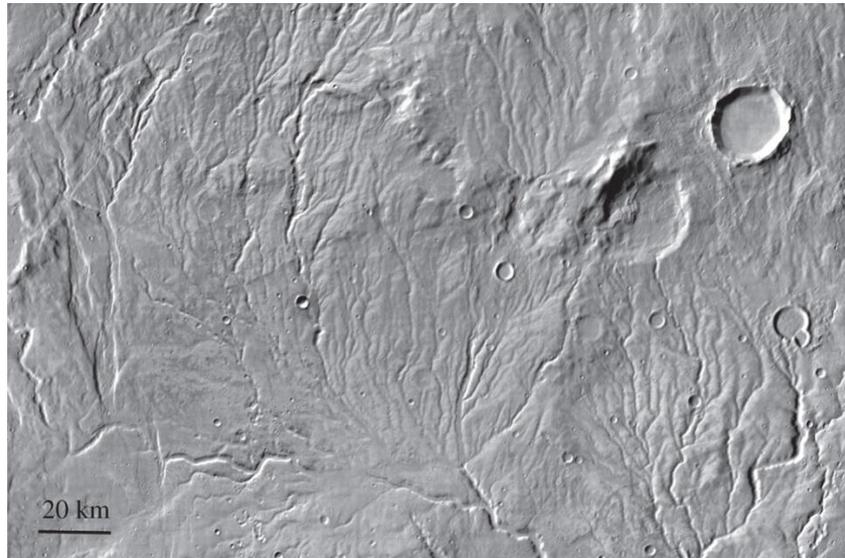
Les clichés réalisés par ces nombreuses missions montrent des surfaces hétérogènes prises par Curiosity, Spirit ou Opportunity.



Il est fort probable qu'en profondeur, le sous-sol de Mars ne soit pas homogène non plus comme on peut l'imaginer avec cette image ci-dessous essayant de reconstituer l'allure du sous-sol de cette planète lors de la mission Insight Mars.



L'objectif de cette activité est de visualiser ce que RIMFAX pourrait détecter grâce aux ondes électromagnétiques sur la surface de Warrego Valles (voir photo ci-dessous) où d'anciens réseaux de rivières martiens y sont présents en grand nombre.



<https://media4.obspm.fr/>

Déroulement de l'activité 1

Contexte

Le sous-sol exploré est constitué de deux couches de natures géologiques différentes. On considère que l'onde initiale envoyée par le rover, est directement émise depuis la surface intérieure au sol à la profondeur $z = 0$. On néglige ainsi les phénomènes de réflexion et transmission air-sol.

Le détecteur est très fortement directionnel (très faible angle solide) de telle sorte que l'on peut supposer que l'écho enregistré provient uniquement de la partie du sous-sol en dessous du rover.

Une partie de l'onde électromagnétique envoyée par le Rover est réfléchi à l'interface entre les deux couches.

La mesure du temps aller-retour entre l'émission et la détection permet de déterminer la profondeur de l'interface.

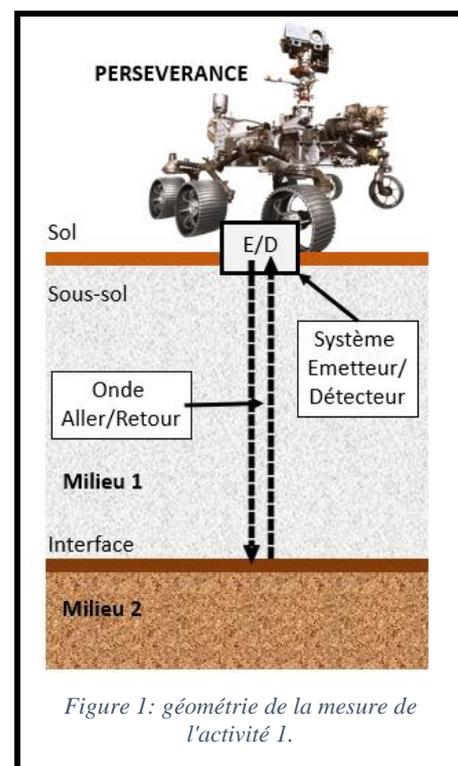
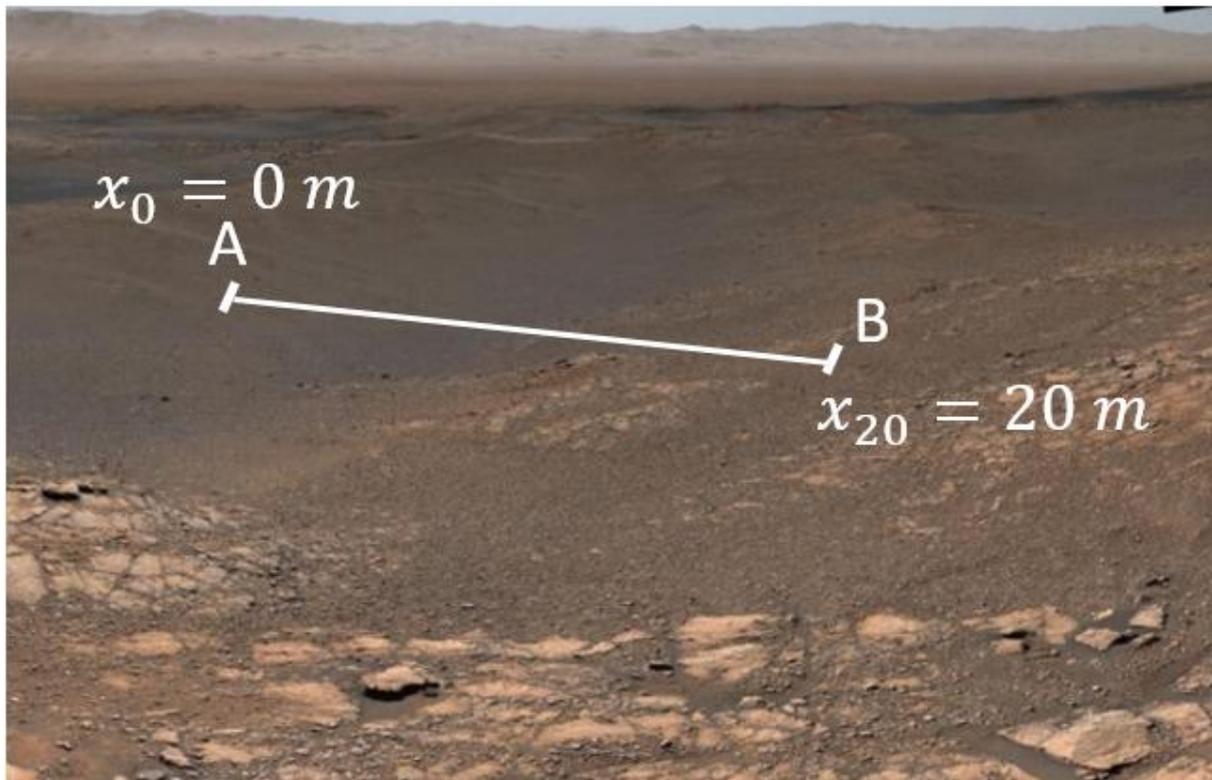


Figure 1: géométrie de la mesure de l'activité 1.

Dans la Warrego Valles, voilà une surface que Persévérance pourrait traverser.



Visualisation d'une surface martienne sur laquelle RIMFAX pourrait être utilisée.

Mesures : Perseverance se déplace de gauche à droite sur le profile AB.

- Au début de l'expérience, le rover est situé en A à la position $x_0 = 0 \text{ m}$
- Le rover avance de la gauche vers la droite et prenant une mesure à intervalle régulier de $\Delta x = 1 \text{ m}$.
- À la fin de l'expérience, le rover est situé en B à la position $x_{20} = 20 \text{ m}$

Données :

- Vitesse de la lumière dans le vide : $c = 2,99 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
- Fréquence de l'onde : $f = 675 \text{ MHz}$
- On suppose que le milieu de propagation est de l'argile. Dans le domaine de fréquence considéré, la permittivité relative de l'argile est $\epsilon_r = 10$.
- Vitesse de propagation dans le milieu :

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_r \epsilon_0 \mu_0}} \Rightarrow v = \frac{2,99 \cdot 10^8}{\sqrt{10}} = 9,4552102 \cdot 10^7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

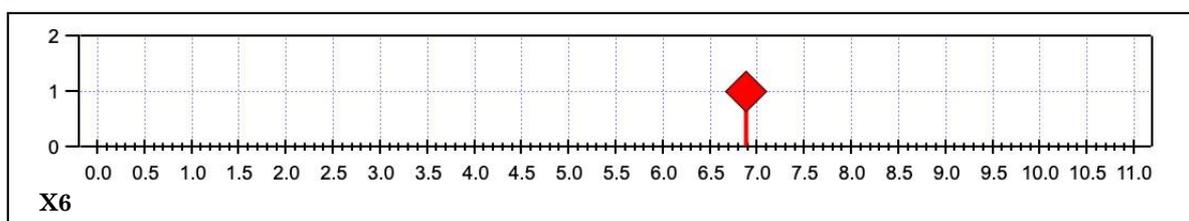
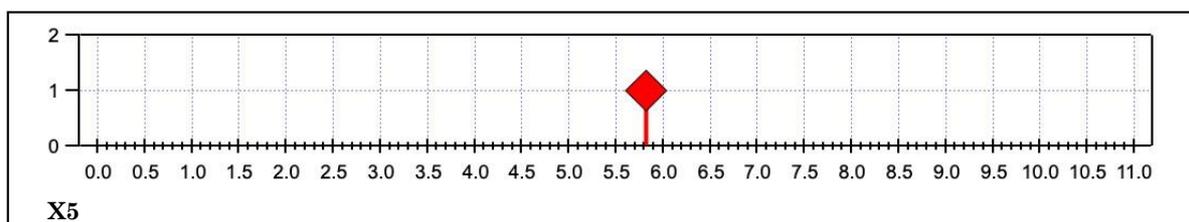
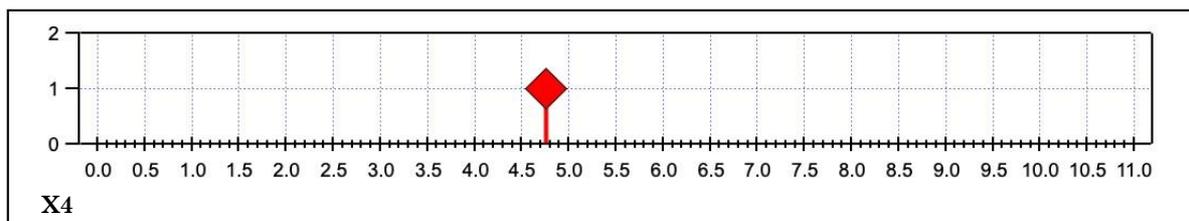
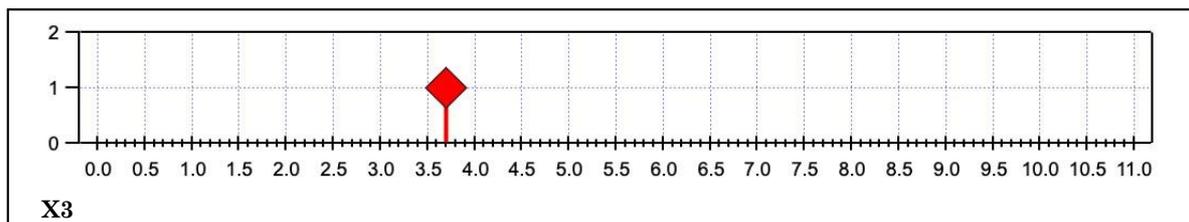
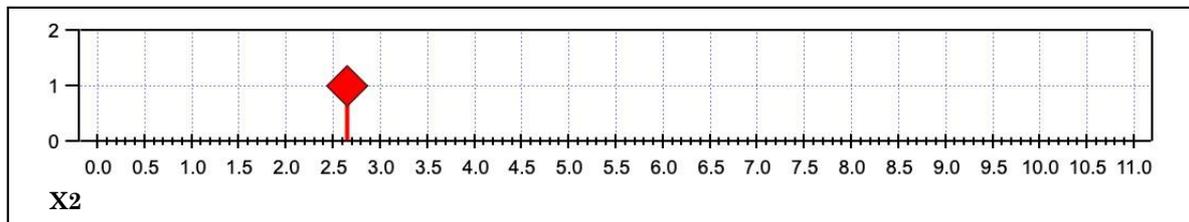
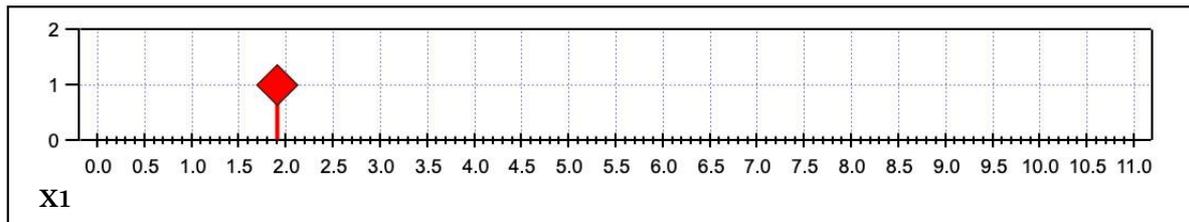
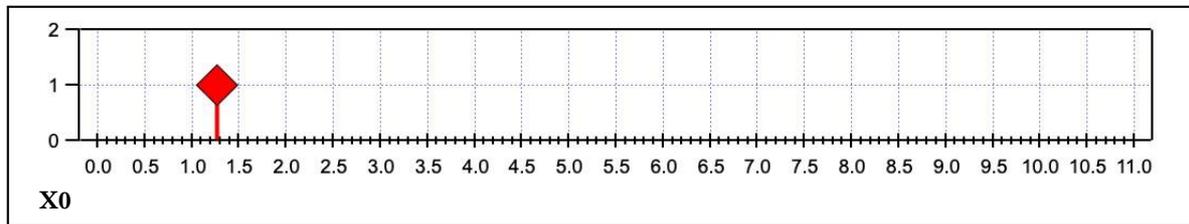
Le document 1 (ci-dessous) correspond à l'ensemble des mesures réalisées. Chaque pulse indique le temps aller-retour de l'onde réalisé entre l'émetteur et le détecteur suite à sa réflexion sur l'interface en profondeur.

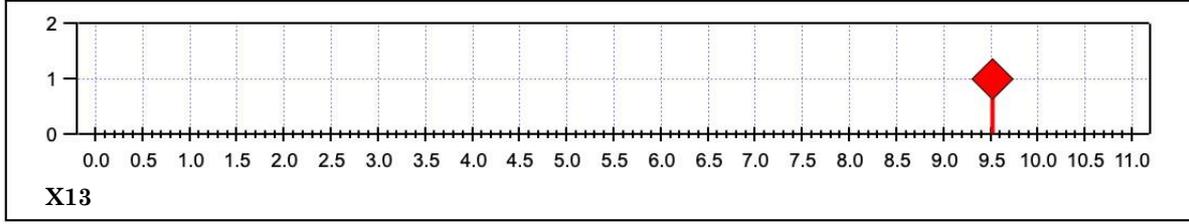
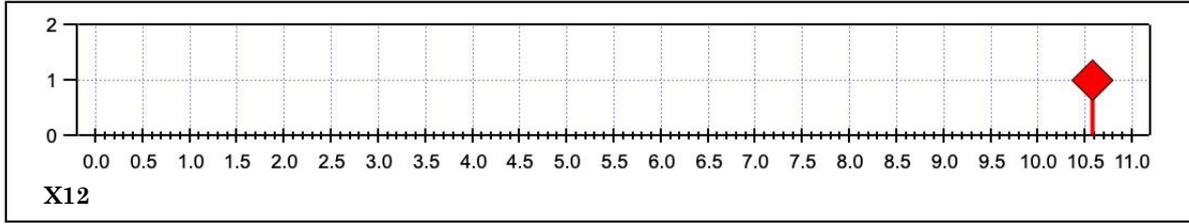
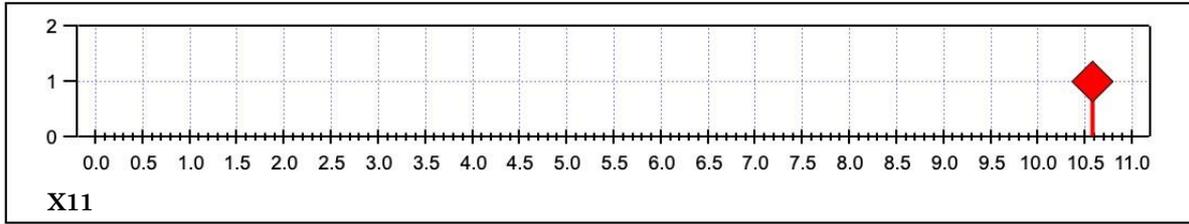
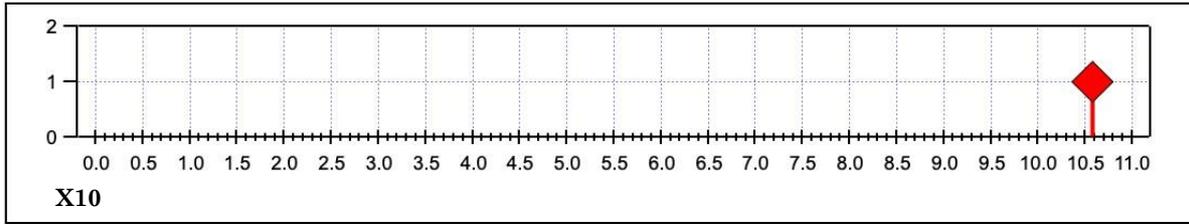
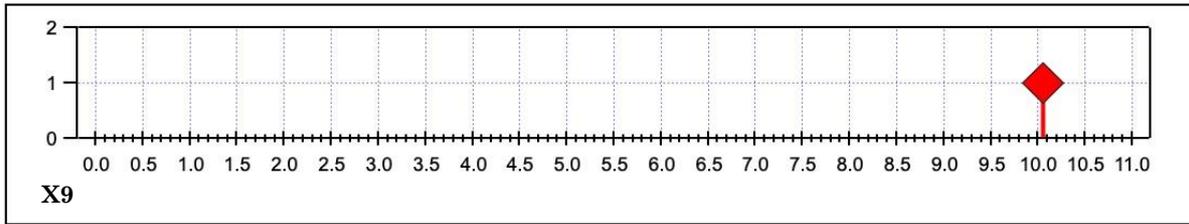
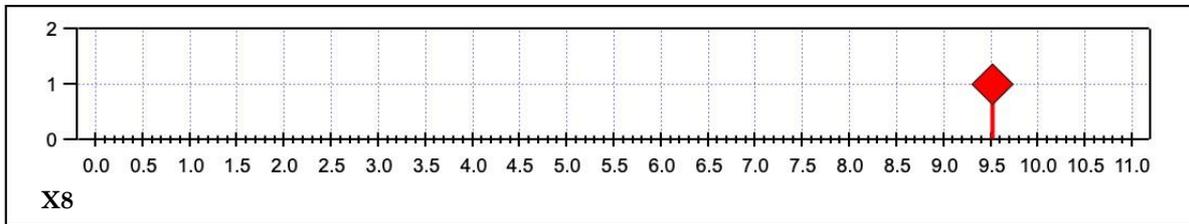
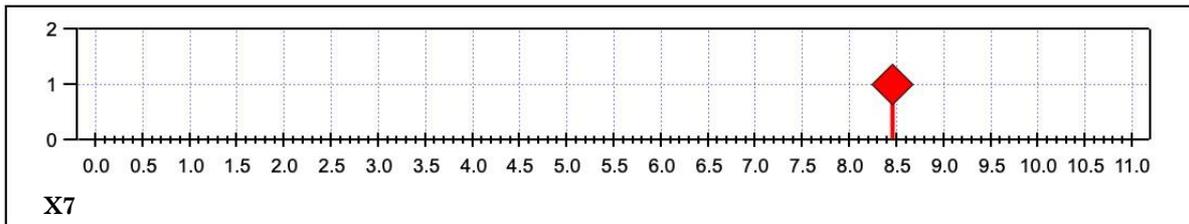
DOCUMENT 1

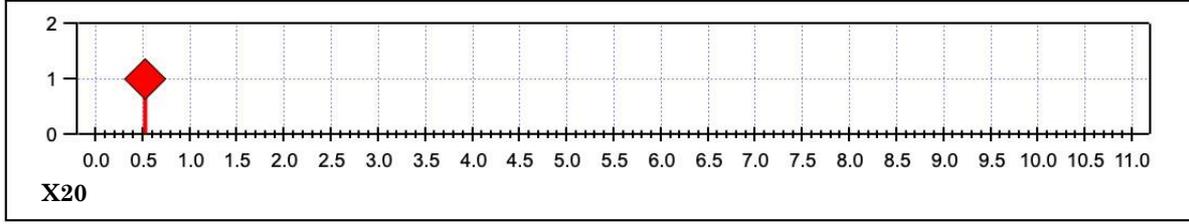
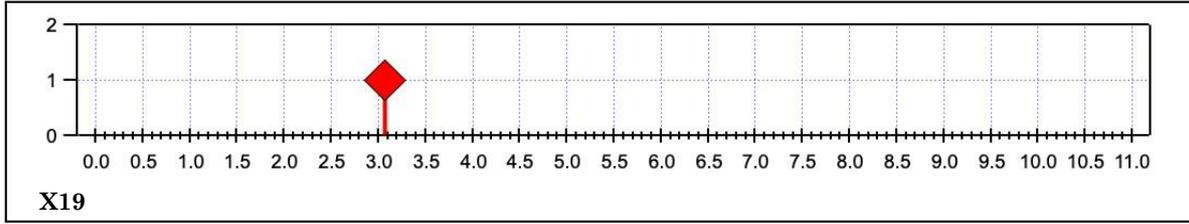
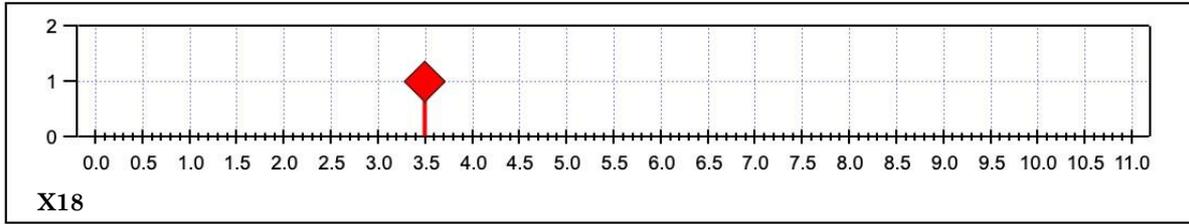
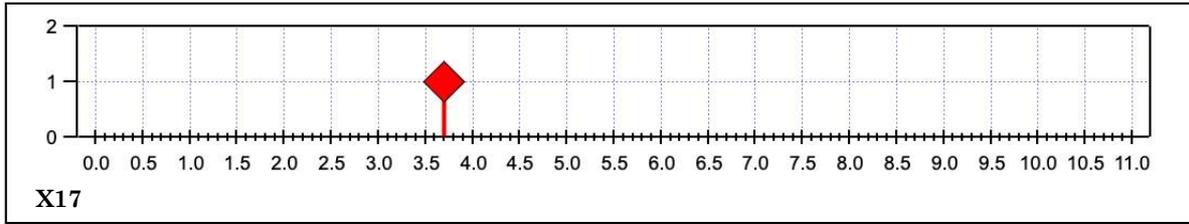
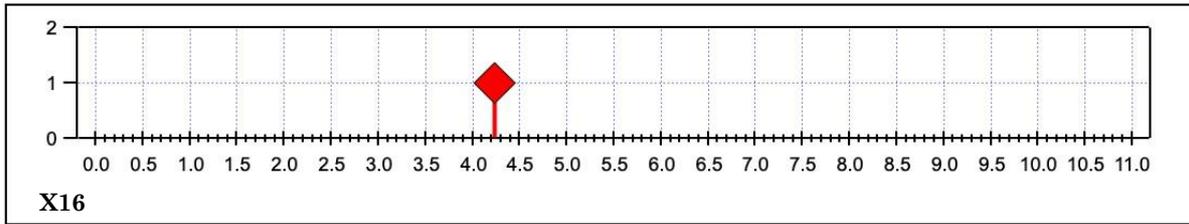
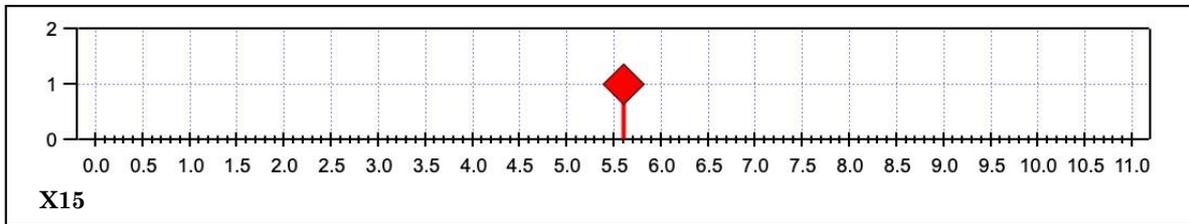
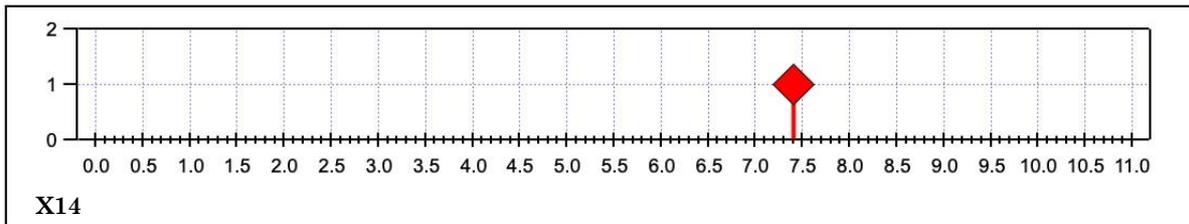
Représentation de la position temporelle de l'écho :

Ordonnées : échelle d'intensité arbitraire (approximation : les pulses ont même intensité)

Abscisses : Temps aller-retour mis par l'onde avec un facteur multiplicatif de 10^{-8} s







Questions partie 1 :

1- A partir du document 1 et de la vitesse de propagation des ondes, retrouvez la profondeur de l'interface à chaque point.

Pour cela il faut :

a- en chaque point, pointer le temps aller-retour du pulse

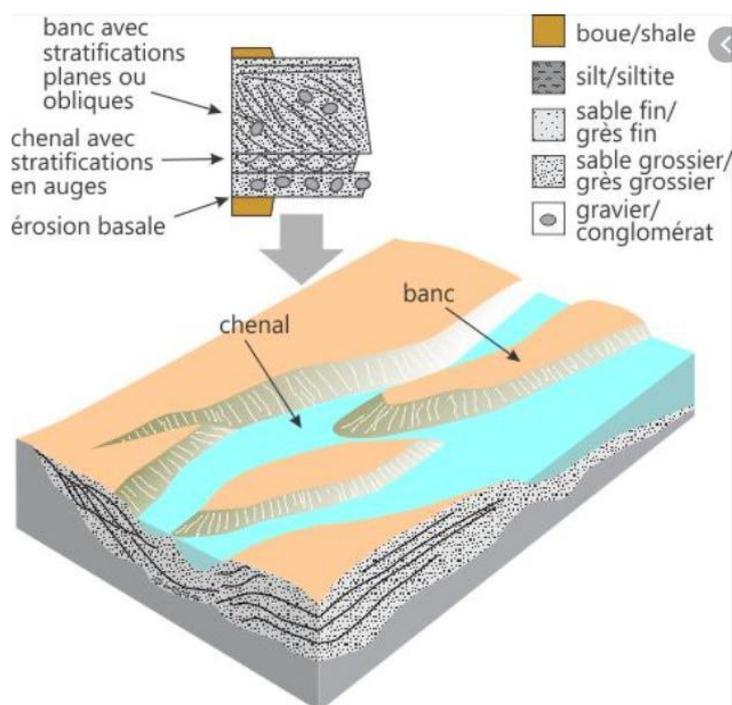
b- calculer la distance à partir de la vitesse des ondes (voir données) et le temps **aller-retour** pointés précédemment.

Note : Vous pouvez utiliser le tableur Excel pour réaliser ces calculs une fois que vous avez entrez les temps. **Notez par exemple que $9,4552102 \cdot 10^7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, se notre 9,4552102E7 dans excel.**

2- Faire le graphique de la géométrie de cette interface

3- Représentez ensuite la surface plane où se déplace PERSEVERANCE, puis le sous-sol de Mars suivant ce profil.

4- Ce document nous présente la coupe transversale d'une rivière sur Terre.



Que pouvez-vous déduire du profil obtenu à partir des données de RIMFAX ?

Déroulement de l'activité 2

Contexte

Durant la précédente étude le radar a enregistré un écho diffus entre les positions x_{10} et x_{12} qui pourrait signaler la présence d'un objet massif de l'ordre du mètre cube.

Pour confirmer la présence de cet objet, réaliser un deuxième passage où il effectue deux nouvelles mesures en $x = x_{10}$ et $x = x_{12}$. Cette fois-ci pour améliorer la résolution, la mesure est réalisée à une fréquence de $f = 1200 \text{ MHz}$.

Mesure :

On suppose qu'à cette fréquence :

- L'intensité de l'onde réfléchiée par l'interface entre les deux milieux est trop faible pour être détectée.
- L'onde émise par l'émetteur est hémisphérique.

Données :

La longueur d'onde ayant changé, le milieu 1 va réagir différemment donc la vitesse de l'onde a varié :

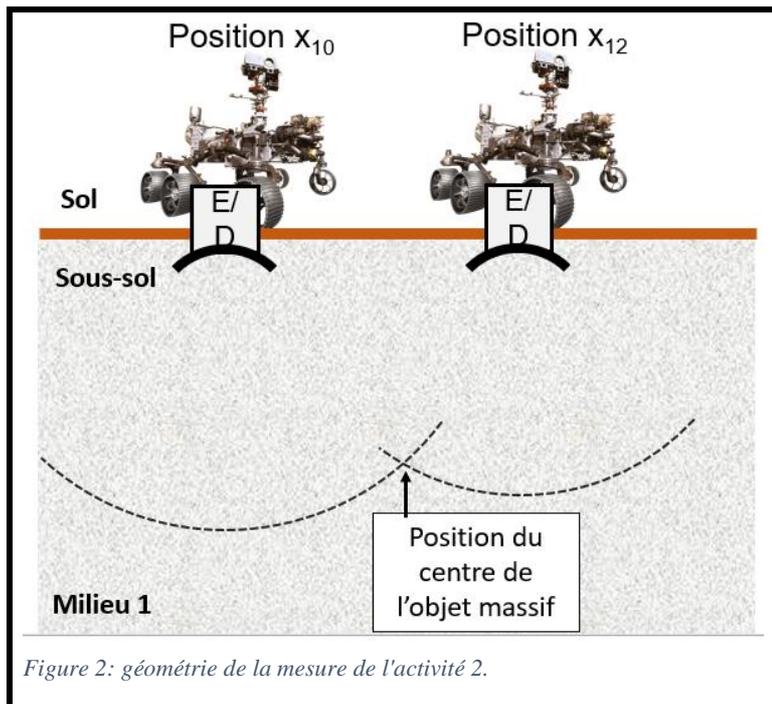
- Vitesse de la lumière dans le vide : $c = 2,99 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
- Fréquence de l'onde : $f = 1200 \text{ MHz}$
- On suppose que le milieu de propagation est toujours de l'argile. Dans le domaine de fréquence considéré, la permittivité relative de l'argile est $\epsilon_r = 12$.
- Vitesse de propagation dans le milieu :

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_r \epsilon_0 \mu_0}} \Rightarrow v = \frac{2,99 \cdot 10^8}{\sqrt{12}} = 8,6313865 \cdot 10^7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Information complémentaire : un détecteur a été endommagé, on ne peut mesurer que le temps de l'onde et non la direction d'où vient l'écho.

Par conséquent la localisation de la position de l'objet massif se fait par "triangulation" de la façon suivante :

- La mesure du temps t_1 que met l'écho pour faire l'aller et le retour entre l'objet et le détecteur permet de définir un ensemble de positions possibles représenté par un cercle de rayon R_1 centré sur le détecteur à la position x_{10} .
- La mesure du temps t_2 que met l'écho pour faire l'aller et le retour entre l'objet et le détecteur permet de définir un ensemble de positions possibles représenté par un cercle de rayon R_2 centré sur le détecteur à la position x_{12} .



On suppose donc que la méthode permet de détecter le centre de l'objet.

Le document 2 correspond aux deux nouvelles mesures obtenues à une fréquence supérieure aux positions x_{10} et x_{12} . Chaque pulse indique le temps aller-retour de l'onde réalisé entre l'émetteur et le détecteur suite à sa réflexion sur l'objet massif.

Questions partie 2 :

- 1- A partir du document 2 et de la nouvelle vitesse de propagation des ondes, retrouvez la position du centre de l'objet massif en utilisant la technique illustrée dans le schéma ci-dessus.
- 2- Si on considère que cet objet est posé à la base du chenal, ayant localisé son centre, représentez ce bloc rocheux sur votre schéma du sous-sol martien.
- 3- Que pouvons nous en déduire quand à la dynamique du cours d'eau ?

DOCUMENT 2

Représentation de la position temporelle de l'écho :

Ordonnées : échelle d'intensité arbitraire (approximation : les pulses ont même intensité)

Abscisses : Le temps aller-retour mis par l'onde (rouge) avec un zoom (bleu)

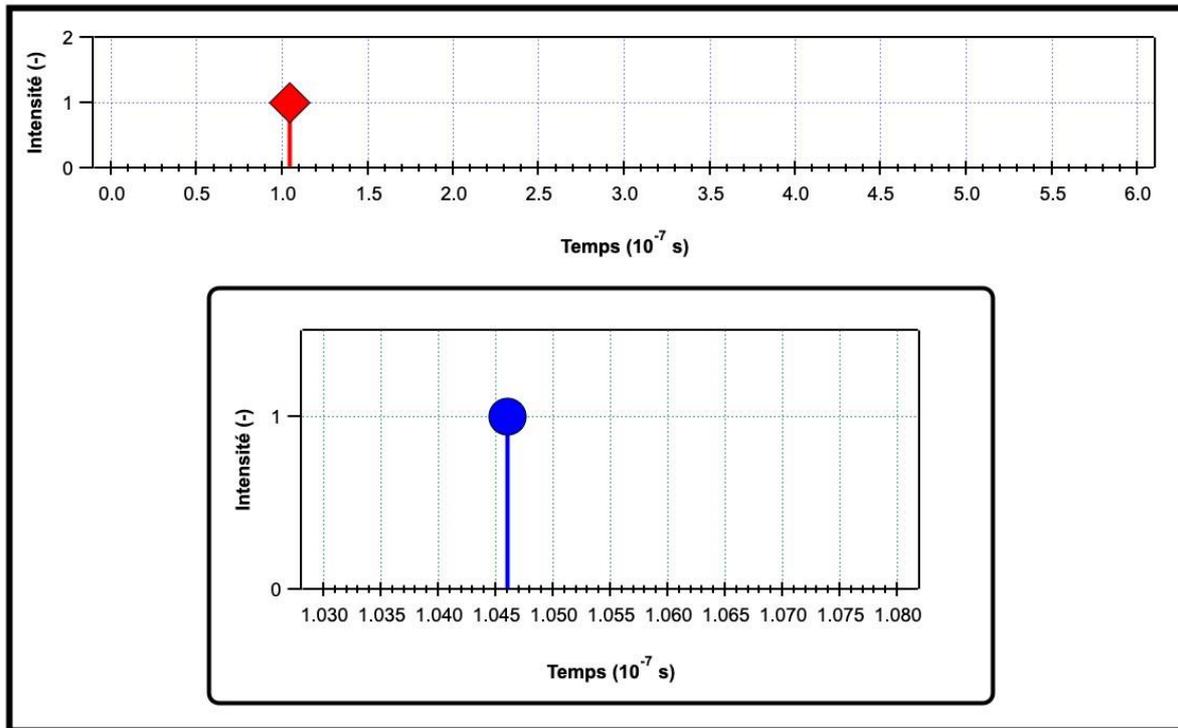


Figure 1

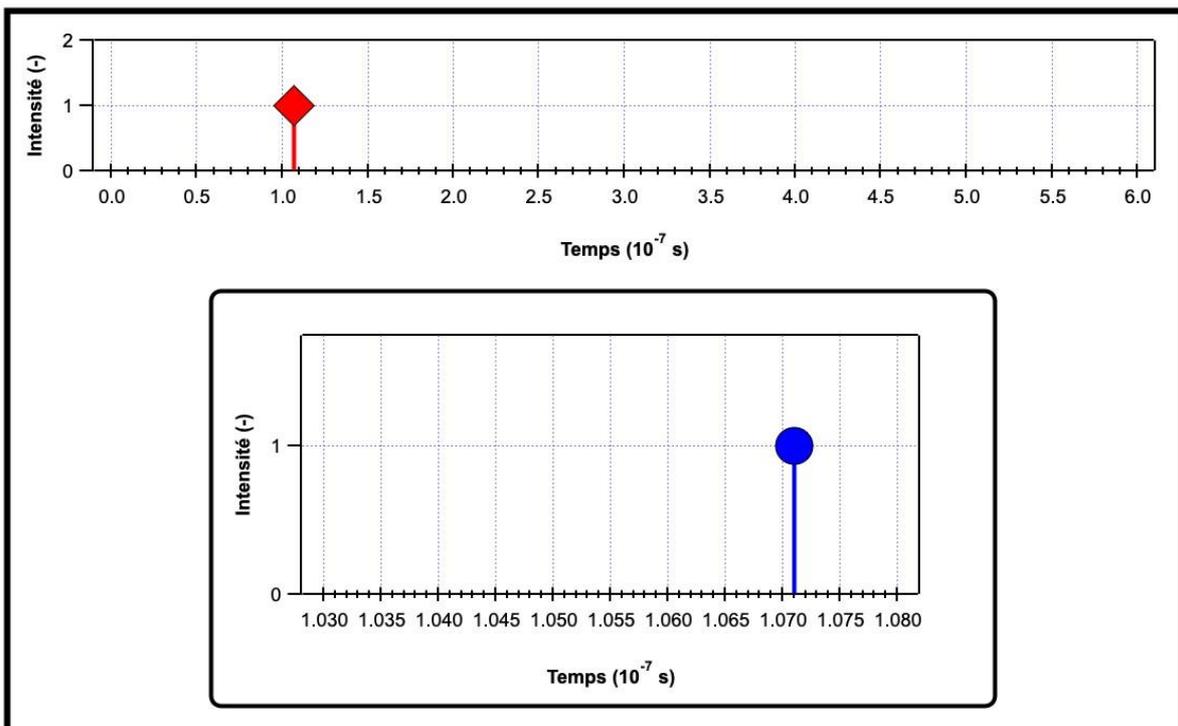


Figure 2

Annexe A : tableau de valeurs utilisées (activité 1)- Correction

A	B	C	D	E	F
Position (m)	Profondeur (m)	t1 (s)	t2(s)	Profondeur (m)	er %
0	0.6	1.2691415E-08	1.27E-08	0.60	0.011%
1	0.9	1.9037123E-08	1.90E-08	0.90	0.015%
2	1.25	2.6440449E-08	2.64E-08	1.25	0.002%
3	1.75	3.7016628E-08	3.70E-08	1.75	0.009%
4	2.25	4.7592808E-08	4.76E-08	2.25	0.006%
5	2.75	5.8168987E-08	5.82E-08	2.75	0.002%
6	3.25	6.8745167E-08	6.88E-08	3.25	0.007%
7	4	8.4609436E-08	8.46E-08	4.00	0.001%
8	4.5	9.5185615E-08	9.52E-08	4.50	0.005%
9	4.75	1.0047370E-07	1.01E-07	4.75	0.026%
10	5	1.0576179E-07	1.06E-07	5.00	0.036%
11	5	1.0576179E-07	1.06E-07	5.00	0.036%
12	5	1.0576179E-07	1.06E-07	5.00	0.036%
13	4.5	9.5185615E-08	9.52E-08	4.50	0.005%
14	3.5	7.4033256E-08	7.40E-08	3.50	0.004%
15	2.65	5.6053751E-08	5.61E-08	2.65	0.007%
16	2	4.2304718E-08	4.23E-08	2.00	0.011%
17	1.75	3.7016628E-08	3.70E-08	1.75	0.009%
18	1.65	3.4901392E-08	3.49E-08	1.65	0.004%
19	1.45	3.0670920E-08	3.07E-08	1.45	0.003%
20	0.25	5.2880897E-09	5.29E-09	0.25	0.002%

- Colonne A : position du rover sur l'axe horizontal Ox
- Colonne B : profondeur de l'interface
- Colonne C : temps de propagation du signal (aller-retour) en haute précision
- Colonne D : temps de propagation du signal (aller-retour) une fois tronqué.
- Colonne E : profondeur de l'interface en utilisant la valeur tronquée du temps.
- Colonne F : erreur relative sur la profondeur en tenant compte des troncatures.

Annexe B : Résultats sous forme graphique (activité 1)

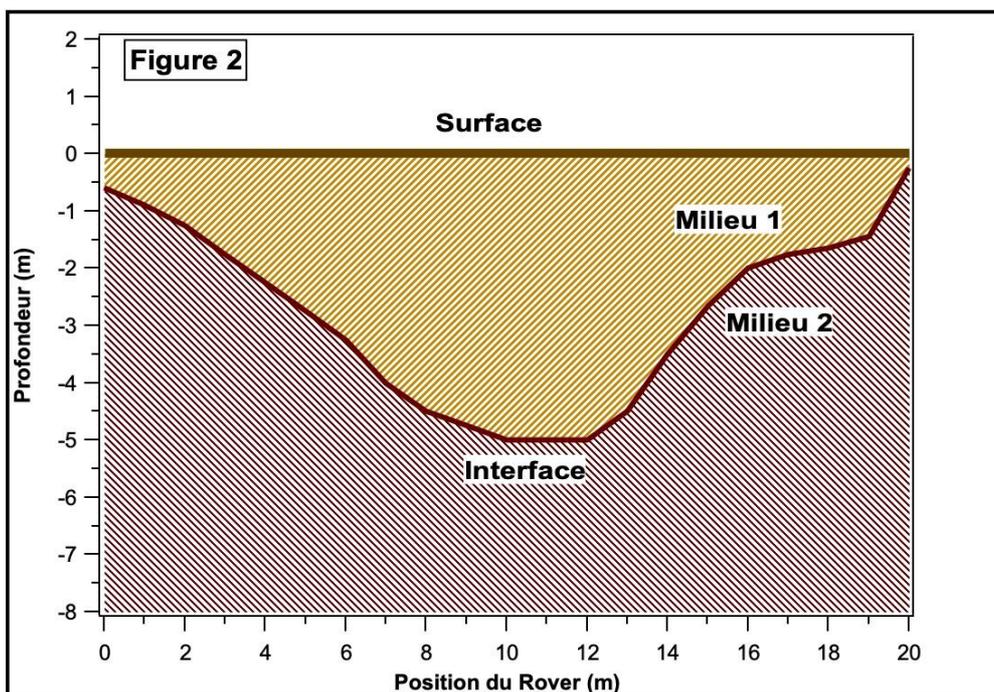
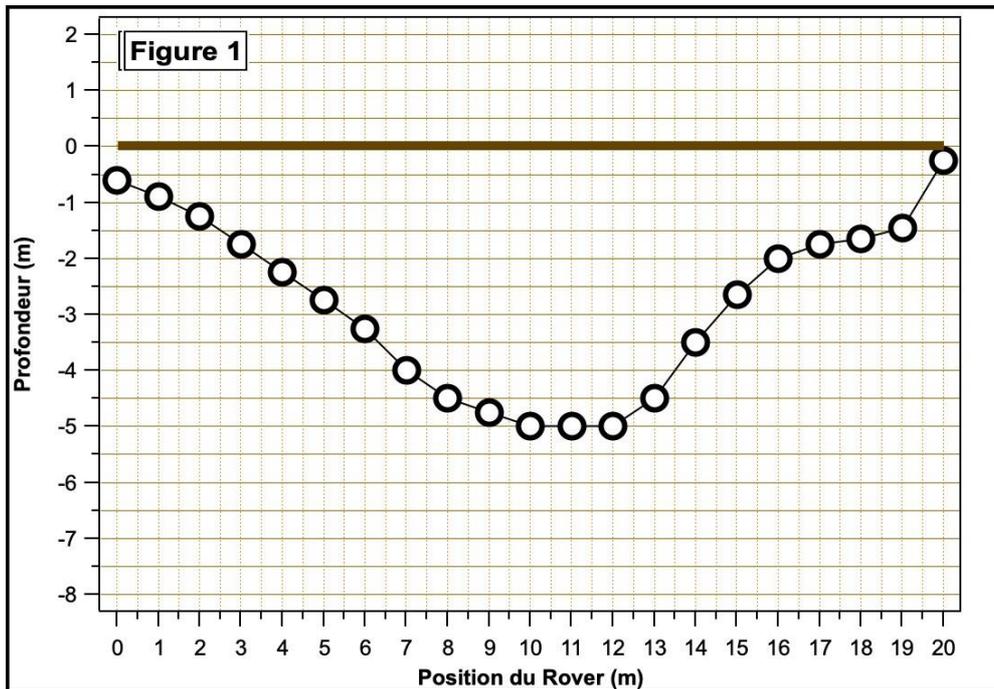


Figure 1 : Relevé graphique des profondeurs.

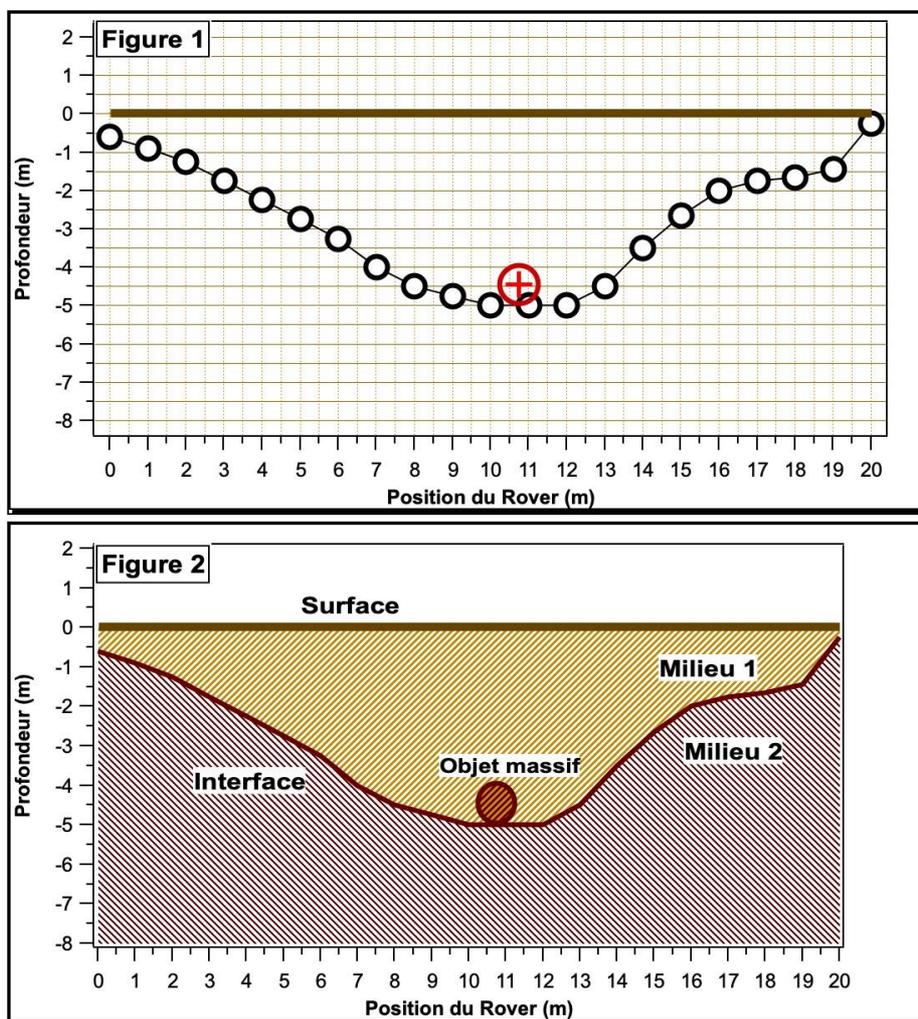
Figure 2 : Représentation du sous-sol.

Question 4 : Le profil RIMFAX permet donc de mettre en évidence une surface d'érosion fluviale, la base d'un chenal de rivière, au moment où l'eau liquide était présente sur Mars.

Annexe C : tableau de valeurs utilisées (activité 2)- Correction

	X (m)	Y (m)	Distance S/C (m)	t (s)	t (s)
S1	10	0	4,513E+00	1,0456628E-07	1,046E-07
S2	12	0	4,622E+00	1,0710281E-07	1,071E-07
Cible	10,75	-4,45			

Annexe D : Résultats sous forme graphique (activité 2)



Question 3 : Le bloc de roche a été déposé à la base du chenal. Cela indique que la vitesse du cours d'eau n'était pas assez élevée pour le transporter. Ici nous avons une coupe transversale, mais nous pouvons imaginer que de part et d'autre de cette coupe vers l'aval et l'amont, d'autres blocs de taille métrique tapissent la base du chenal car le débit du cours d'eau n'a pas permis de les transporter.