



### Etude de cas – InSight #3

#### Etude d'un événement sismique sur Mars à partir d'un sismogramme de SEIS

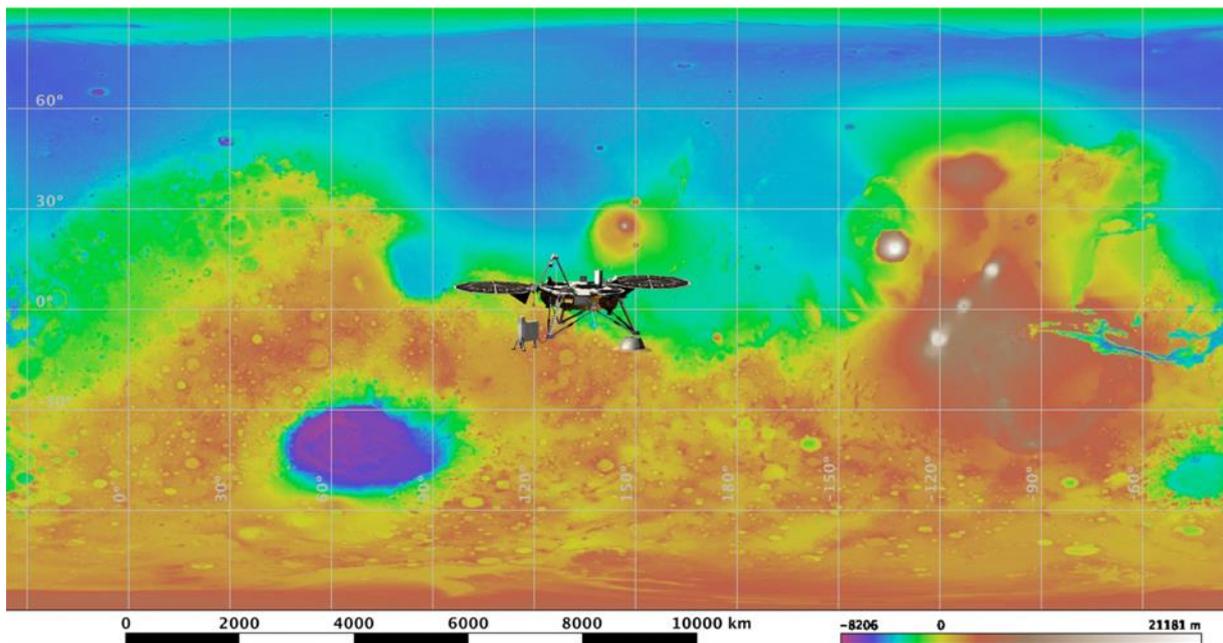
##### Contexte de l'activité :

Depuis le mois de Février 2018, nous recevons les enregistrements réalisés par les capteurs situés sur le lander InSight. La station géophysique nous transmet le mouvement du sol (enregistré par le sismomètre SEIS), ainsi que des d'autres données. Les mouvements du sol pouvant être liés à des secousses telluriques ne sont pas rares. Mais quelques événements sont suffisamment nettement enregistrés pour faire l'objet d'une analyse poussée. C'est le cas du 'marsquake' du sol 173 (23 mai 2019).

##### Objectif de l'activité :

A partir de la lecture du sismogramme, on veut identifier l'arrivée des ondes de volume P et S. On veut alors en déduire une distance épacentrale approximative compte tenu des incertitudes des modèles de vitesse actuels pour Mars.

En fonction de la qualité du sismogramme, des outils disponibles et de l'âge des élèves, on pourrait envisager de localiser l'azimut du séisme par rapport à SEIS.



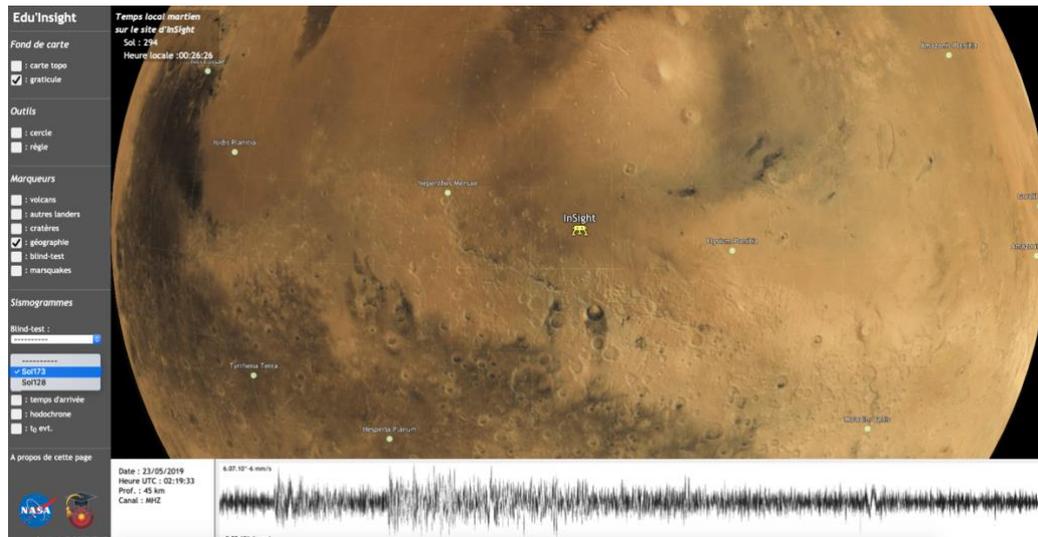
InSight lander est posé dans la plaine Elysium à l'équateur (Lat : 4,0 deg, Long : 136 deg)

## Déroulement de l'activité :

### 1/ Afficher un enregistrement de SEIS lors du sol 173

On travaillera avec l'interface en ligne 'Marsview' :  
disponible sur > <https://insight.oca.eu/fr/data-insight>

Sélectionnez dans la liste des marquages disponibles, l'évènement du sol 173



Copie d'écran obtenue avec le sismogramme de l'évènement > Marsquake SOL 173

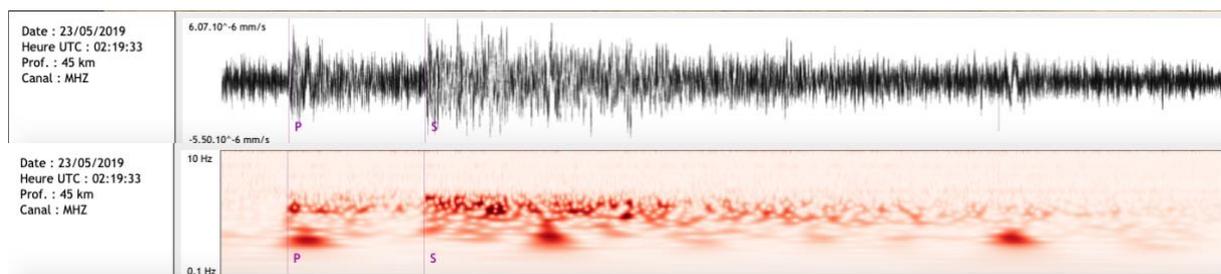
### 2/ Analyse de l'enregistrement de SEIS lors du sol 173

La composante verticale (Z) du sismogramme s'affiche. On peut identifier deux temps principaux d'arrivée de trains d'onde sismiques ... qui se détachent du bruit.

On peut faire l'hypothèse que l'on est en présence de l'arrivée des ondes de volume P, puis S générées par le marsquake. On peut alors examiner le spectrogramme correspondant (> spectre). L'analyse des fréquences contenues dans le signal renforce l'hypothèse du passage d'ondes sismiques : richesse de fréquences de l'ordre de 1 Hz – 2 Hz.

Attention, l'échelle des ordonnées est logarithmique.

Le logiciel propose d'afficher les pointés réalisés par l'équipe scientifique de la mission. Les pointés apparaissent nettement en lien avec les précédentes observations.



### 3/ Première approche de localisation du séisme

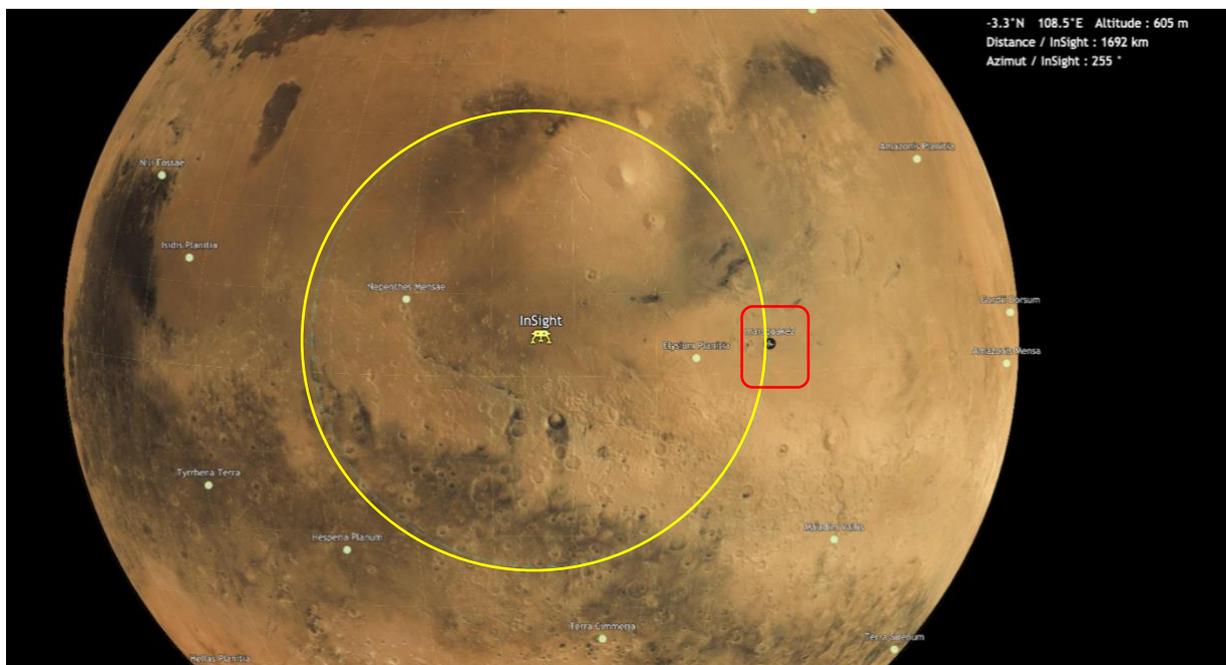
On peut alors évaluer, à l'aide du curseur, le délai 'ts-tp'. On sait que ce délai est un indicateur de la distance séisme-station. Mais il faut disposer de modèles de vitesse, pour traduire ce délai ts-tp en distance. Comprendre la structure de Mars et établir un modèle de vitesse est justement l'objectif de la mission !

Cependant, nous disposons de différents modèles de vitesse pur Mars (qui devront être confirmés ou pas dans le futur). Le logiciel propose le modèle 'EH45TcoldCrust1b' ; en activant l'hodochrone, il est possible d'estimer une distance avec le délai ts-tp.

L'hodochrone a intégré, dès son ouverture, la profondeur du foyer donnée par l'équipe scientifique.

Il ne reste plus qu'à tracer un cercle dont le rayon correspond à la distance trouvée (environ 1710-1720 kms) sur le globe virtuel du logiciel.

La liste des épicentres des marsquakes répertoriés par la mission InSight est disponible dans le menu. En activant ce menu on voit que notre solution (cercle) passe par un des marsquakes répertoriés.



copie d'écran de MarsView > cercle d'un rayon de 1710 kms recoupe un épicentre identifié (sol 173)

La solution proposée par la science team de la mission InSight est la suivante :

Nom de l'évènement: marsquake2  
(Terre) Date / Heure: 2019 MAI 23 02h19m33,610s  
(Mars) Date / Heure: SOL 173 03h 39m13s  
Latitude: 3,45  
Longitude: 164,68  
Profondeur (km): 45,0  
Distance séisme-SEIS : 1 715,803 km  
Distance séisme- SEIS : 29,004 deg  
Azimut du séisme vers SEIS : 273,064 deg

## VARIANTE de l'ACTIVITE

### Utilisation du logiciel SeisGram2K et les fichiers SAC (3 composantes) de l'événement

#### 1/ Afficher un enregistrement de SEIS lors du sol 173

On travaillera avec le logiciel SeisGram2K (disponible en téléchargement).

On télécharge les données du marsquake (sol 173 – 23 mai 2019) sur le site portail InSight-Education. Les données sont au format SAC (analysable avec SeisGram2K).

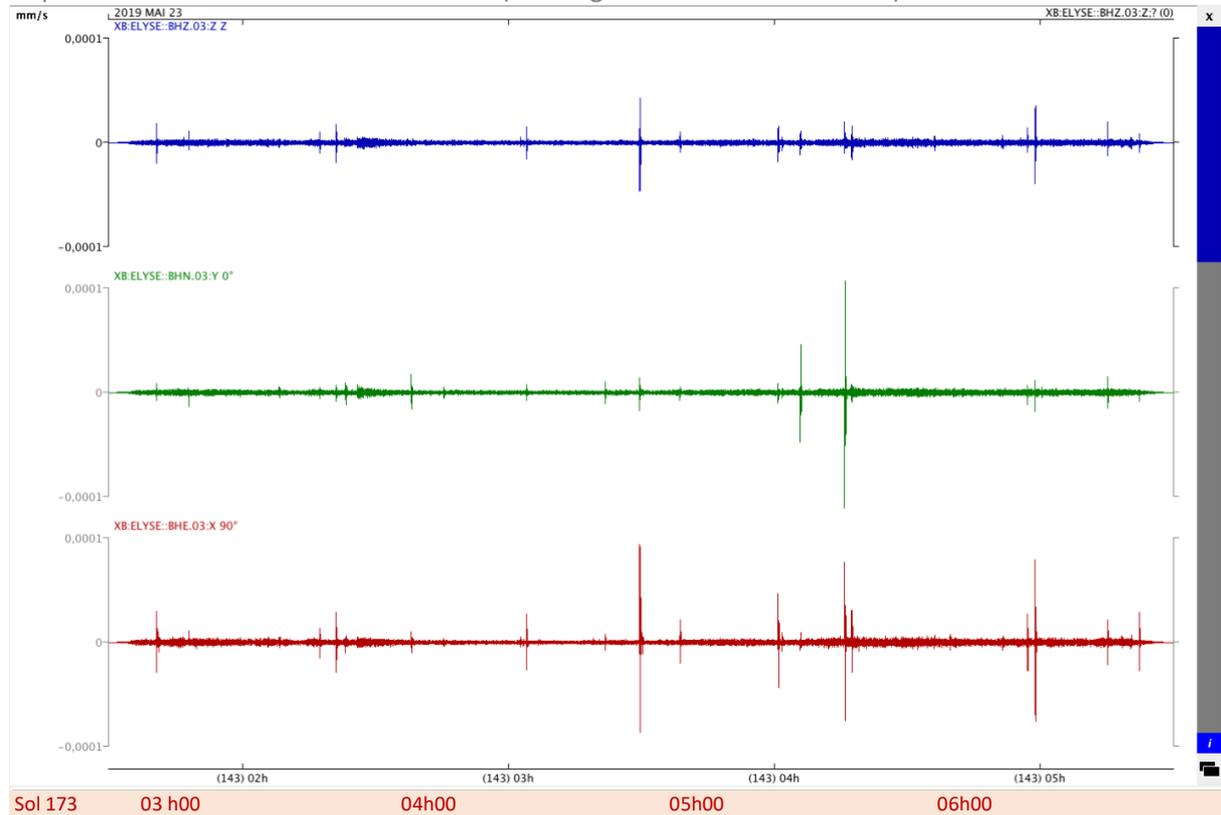
Dénomination des capteurs :

XB.ELYSE > sismogramme à trois composantes de SEIS

On ouvre les données avec SeisGram2K. On obtient le document ci-dessous. Attention, le temps, donné en abscisse correspond au temps terrestre (GMT). On a quatre d'heures d'enregistrement en continu.

La composante verticale (Z) est en bleu, les composantes Nord (N) en vert et Est (E) en rouge.

Copie d'écran obtenue avec SeisGram2K (affichage > inverser les couleurs)



On constate que les enregistrements sont, par moment, perturbés par de brusques variations qui correspondent à des phénomènes mécaniques et/ou électroniques du capteur indépendants du mouvement du sol. On doit faire abstraction autant que possible à ces brusques variations appelées 'glitches'.

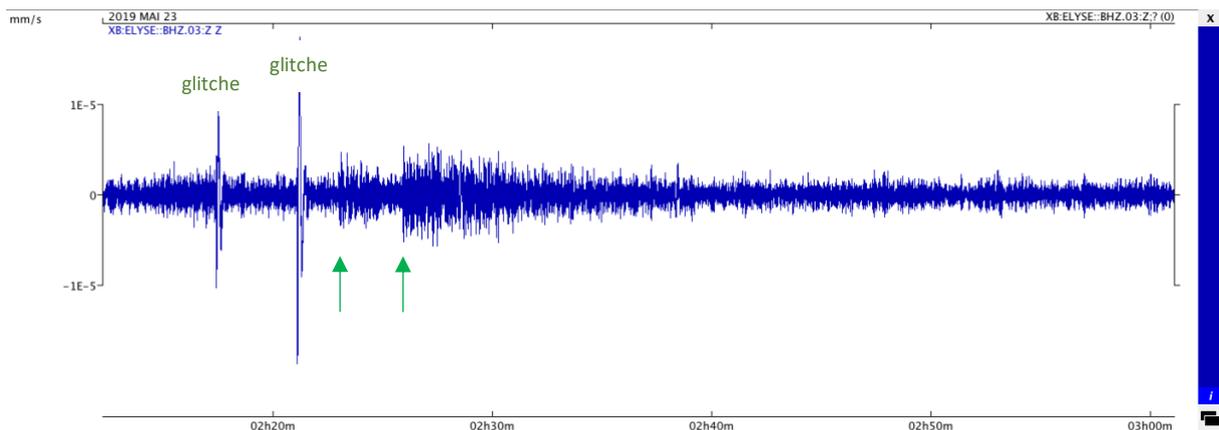
## 2/ Identifier l'arrivée d'ondes sismiques de volume

Sur la durée de l'enregistrement de quelques heures, on va essayer de détecter l'arrivée de trains d'ondes sismiques. Pour cela on peut utiliser divers outils du logiciel comme le zoom en abscisse et en ordonnée, la visualisation du spectrogramme, le filtre du tracé sur certaines fréquences ...

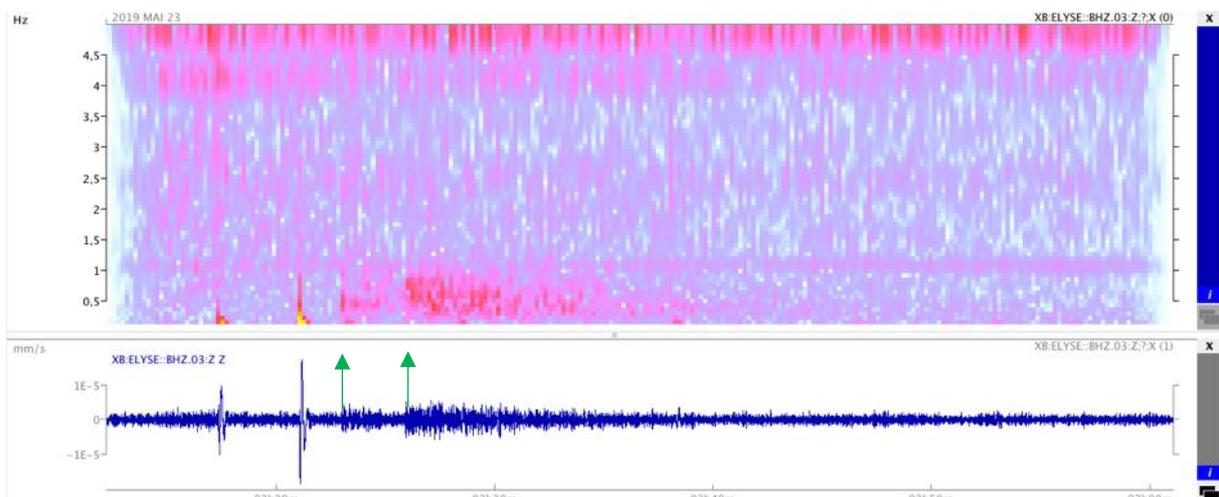
Dans l'enregistrement proposé, on voit plusieurs moments bruités dus à l'environnement ? (voir étude de cas #2), dus à l'arrivée d'ondes sismiques propagées (marsquake ?), dus à la commande du bras robotisé ? (voir marsquake 1)

On constate qu'une partie bruitée du tracé entre 02h20 et 02h40 (heure terrestre), c'est à dire en tout début de journée martienne (sol 173 vers 03h40) ne peut s'expliquer par l'agitation thermique de l'environnement. Un zoom sur cette fenêtre de temps amplifie le tracé et nous rappelle une signature sismique. Il reste à la confirmer.

On travaille alors de préférence sur la composante Z sur la période 02h20 > 02h40. On discerne bien, au-delà des 'glitches', deux amplifications du signal qui pourraient correspondre à l'arrivée des ondes de volume.

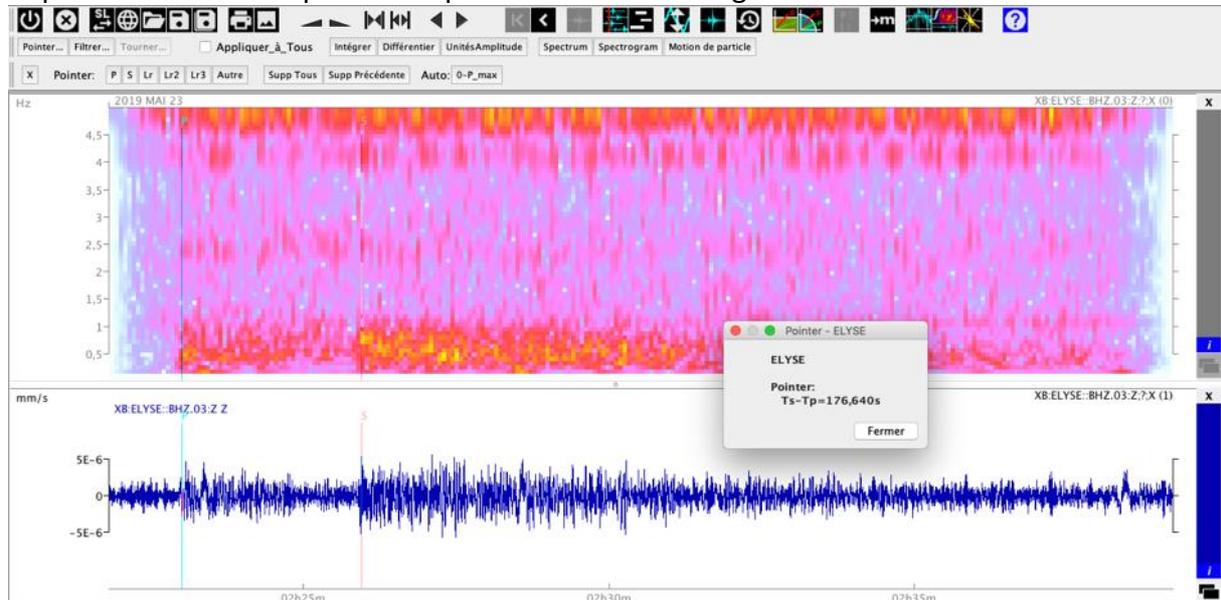


Pour confirmer qu'il s'agit bien des trains d'ondes de volume, on peut examiner alors un spectrogramme du tracé.



### 3/ Evaluation de la distance épacentrale

On est bien en présence d'arrivée de trains d'ondes P et S. On peut alors estimer le délai entre l'arrivée des trains d'ondes. Ces ondes étant générées au même moment, le délai  $T_s - T_p$  dépend de la distance parcourue par ces ondes dans le globe martien.

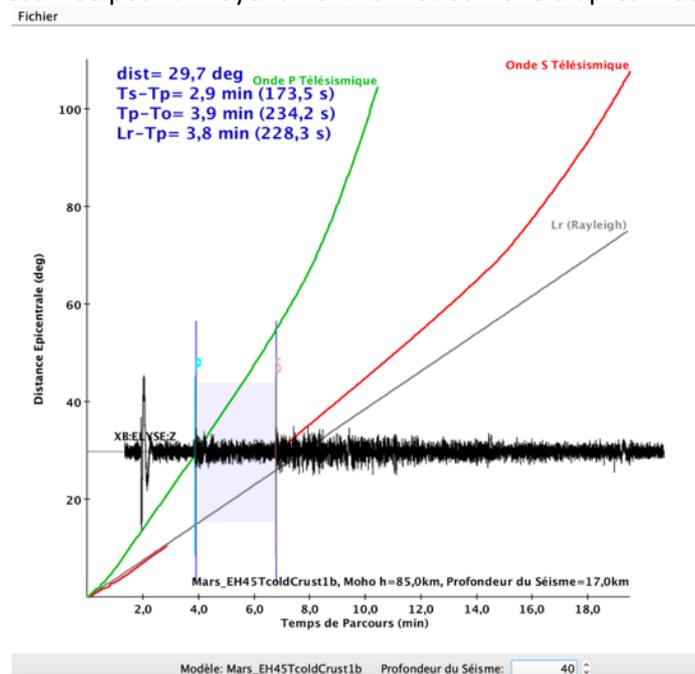


On obtient un délai  $T_s - T_p$  de l'ordre de 173 secondes +/- 3 secondes

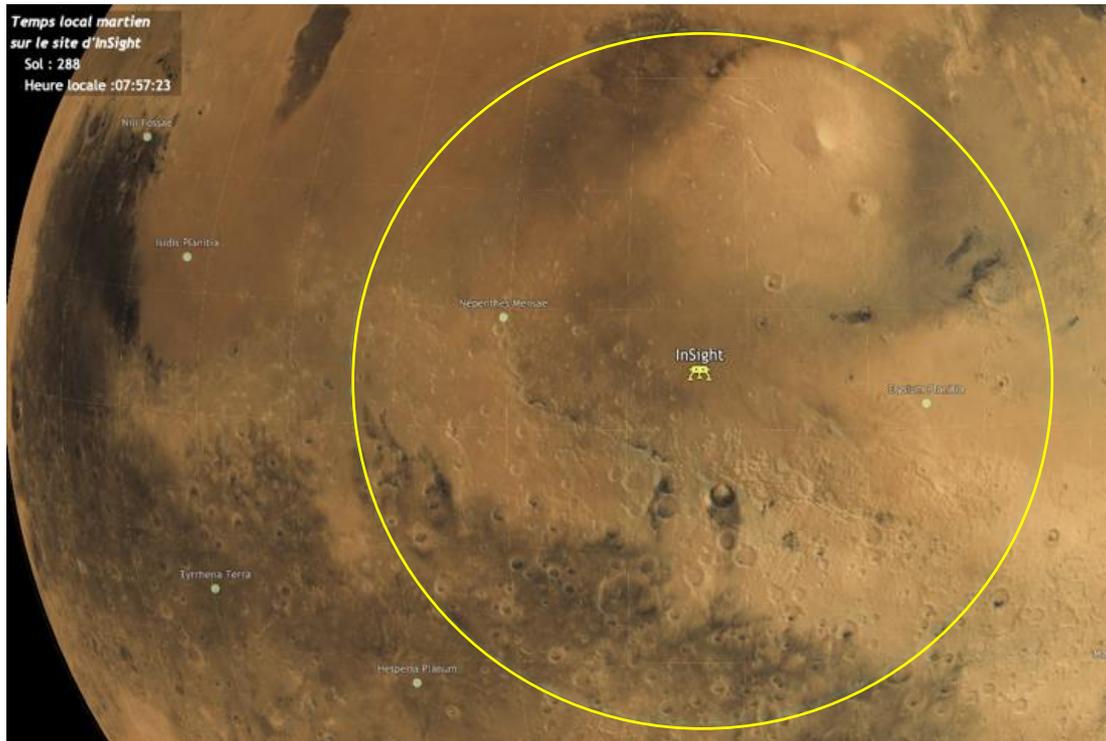
Ce délai s'explique par le retard pris par les ondes S qui se propagent moins vite que les ondes P. Ce délai dépend de la distance parcourue et des vitesses de propagation des ondes P et S dans le globe martien.

Nous avons des modèles de vitesse pour Mars (qui demandent à être validés, c'est l'objet de la mission InSight !). On utilisera un des modèles actuels pour estimer la distance épacentrale.

Distance épacentrale estimée pour un foyer à 40 kms :hodochrone d'après modèle EH45TcoldCrust1b



On peut alors, sur une carte ou un globe virtuel sur lequel InSight est positionné, dessiner un cercle dont le rayon est égal à 29 degrés, soit sur Mars 1710 kms environ.



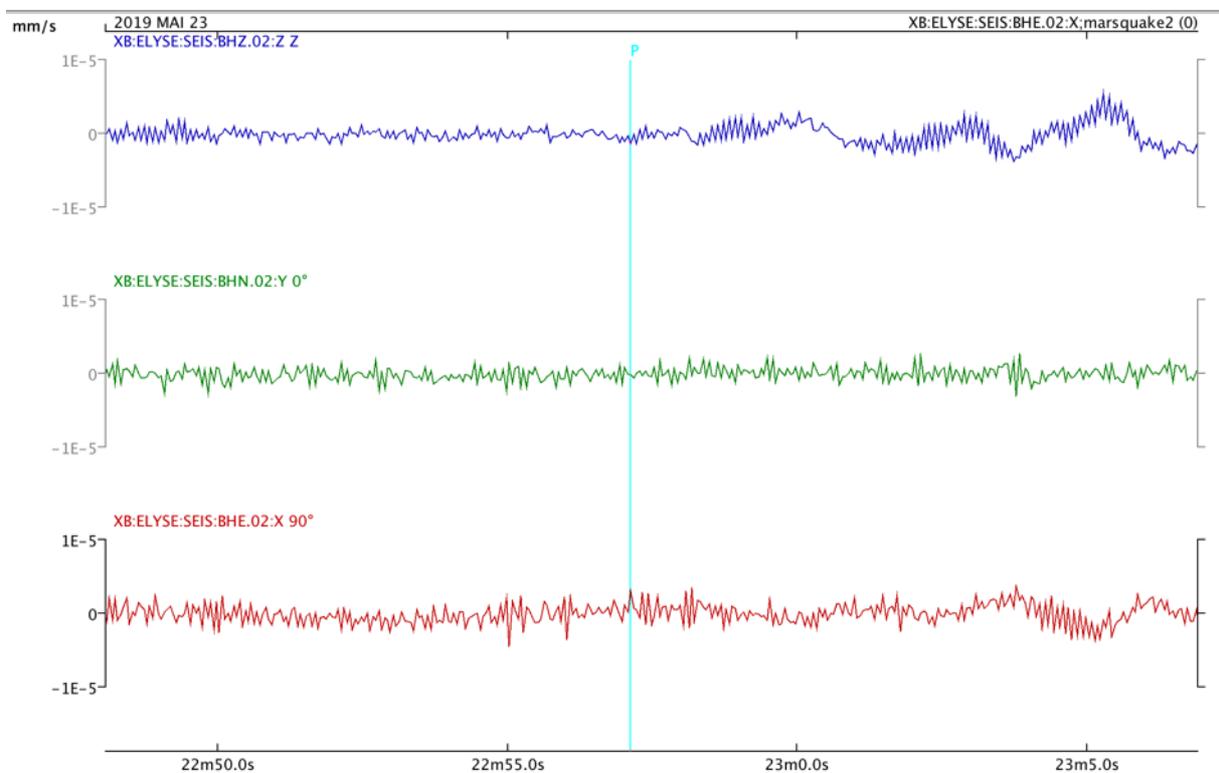
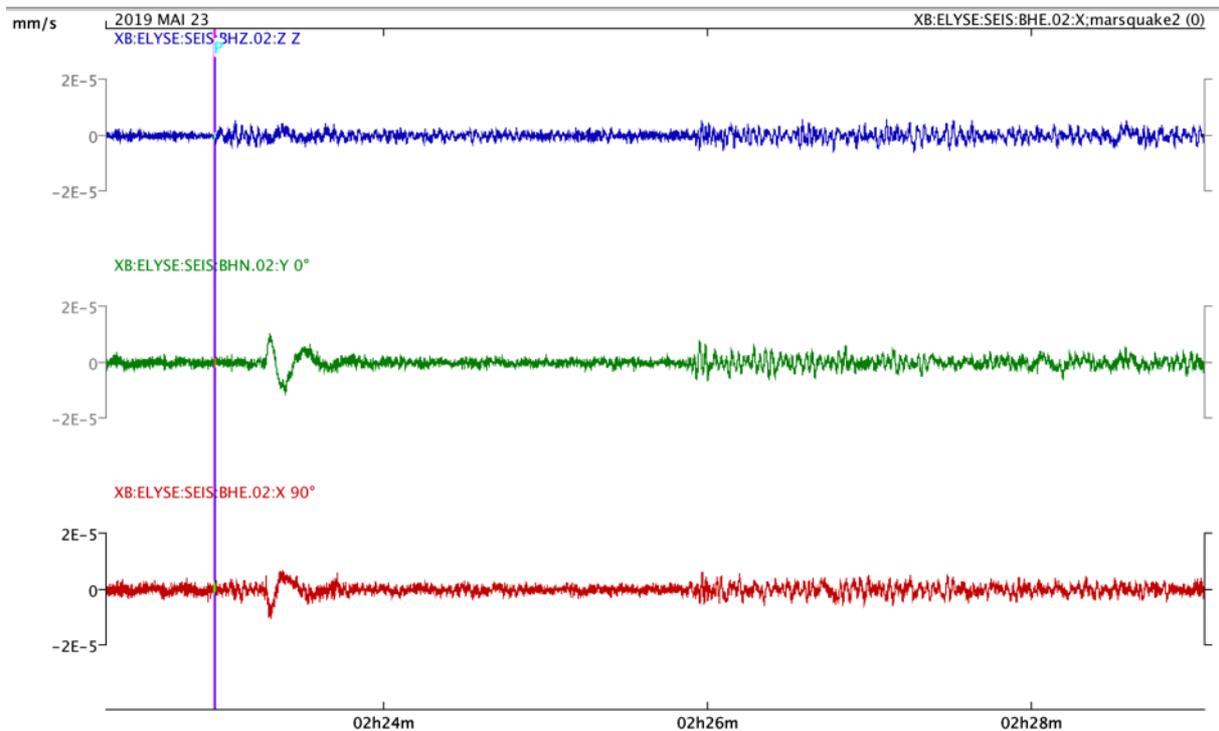
La solution proposée par la science team de la mission InSight est la suivante :

Nom de l'événement : marsquake2  
(Terre) Date / Heure: 2019 MAI 23 02h19m33,610s  
(Mars) Date / Heure: SOL 173 03h 39m13s  
Latitude: 3,45  
Longitude: 164,68  
Profondeur (km): 45,0  
Distance séisme-SEIS : 1 715,803 km  
Distance séisme- SEIS : 29,004 deg  
Azimut du séisme vers SEIS : 273,064 deg

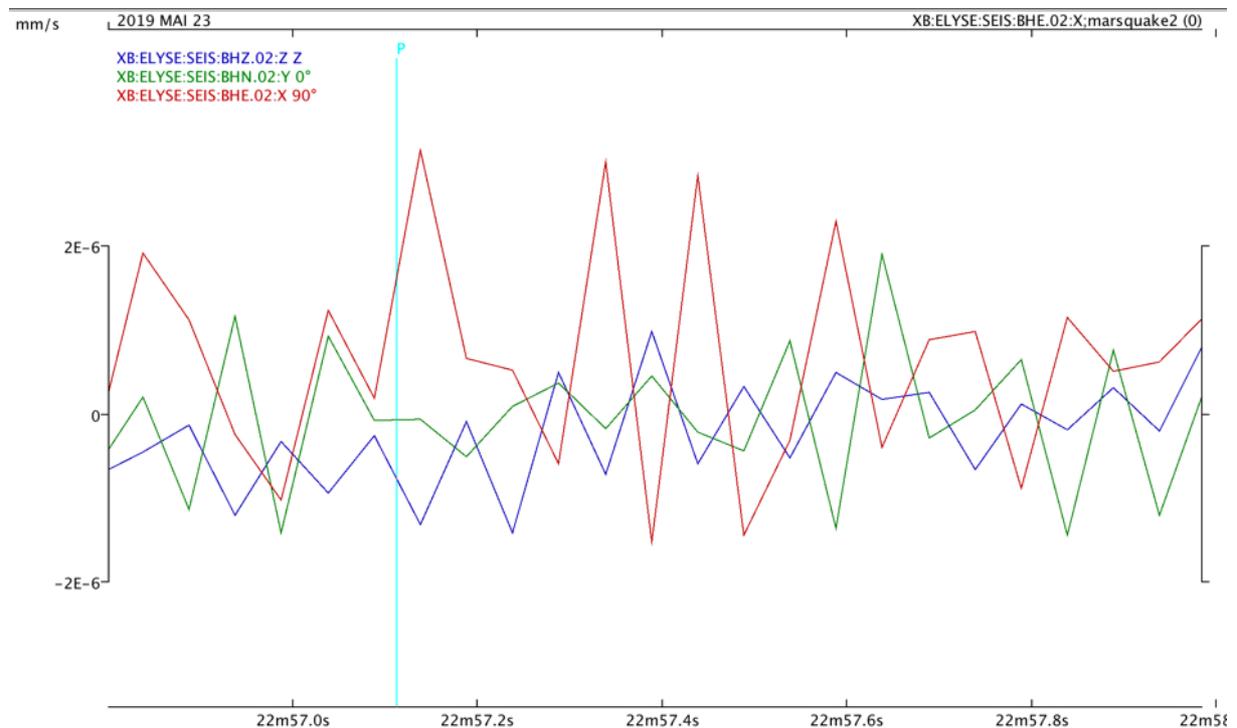
#### 4 / Validation d'un azimut de l'ordre de 273 degrés.

Les données disponibles peuvent permettre la recherche de l'azimut, en utilisant les trois composantes et le logiciel SeisGram2K.

Pour cela, télécharger les trois composantes, et zoomer sur les premiers instants de l'arrivée de l'onde P.



On applique alors l'option 'overlay/superposition des composantes'. On constate que, à l'arrivée des ondes, la composante Nord-Sud (Vert) est très peu affectée par rapport à la composante Est-Ouest (Bleu). Cela tend à évoquer des secousses qui se propagent dans la direction Est-Ouest par rapport à SEIS. Le foyer serait donc soit à l'Est de SEIS (environ 90 deg), soit à l'Ouest de SEIS (environ 270 deg).



Rappel de la solution proposée par la science team de la mission InSight:

Nom de l'évènement: marsquake2

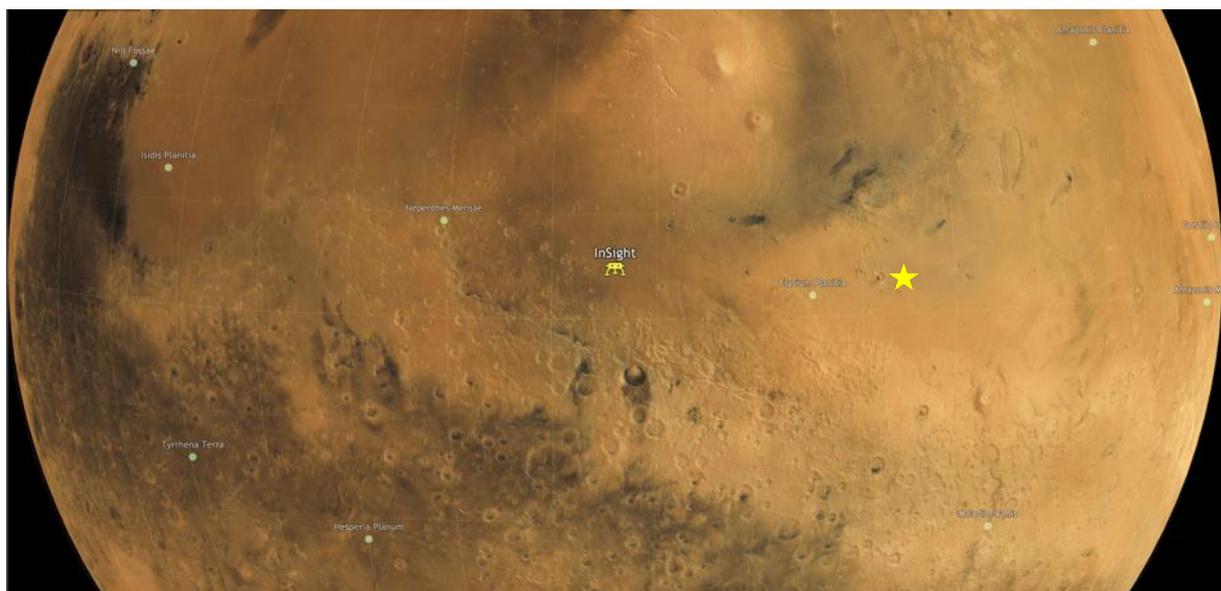
(Terre) Date / Heure: 2019 MAI 23 02h19m33,610s

(Mars) Date / Heure: SOL 173 03h 39m13s

Latitude: 3,45 / Longitude: 164,68 / Profondeur (km): 45,0

Distance séisme-SEIS : 1 715,803 km / Distance séisme- SEIS : 29,004 deg

Azimut du séisme vers SEIS : 273,064 deg



Nos conclusions sont cohérentes avec les solutions proposées par la science team