

# Étude de la qualité du sous-sol Prospection par méthode sismique réfraction aquatique

## Extension du Port de la Turballe

CD44 – SAEML LAPP - EGIS  
LA TURBALLE (44)

---

RAPPORT N19-44050A



**Agence de Nantes - siège social**  
École centrale | CS 82118 | 44321 NANTES CEDEX 3  
+33 (0)2 40 14 33 71 | nantes@calligee.fr



**Agence de Toulouse**  
Le Prologue 2 | 71 rue Ampère | 31670 LABÈGE  
+33 (0)5 62 24 36 97 | toulouse@calligee.fr

## CLIENT

---

Conseil Département de Loire Atlantique  
3 Quai Ceneray  
44041 NANTES  
Tel : 02 40 99 10 00

Interlocuteur : Adèle HOURQUET (société EGIS)

## PARTENAIRES

---

Fondouest  
21 rue de l'Argelette  
49072 BEAUCOUZE  
Tel : 02 41 21 03 80  
Mail : fondouest-paysdelaloire@fondouest.com



Interlocuteur : M. Romain BRIELLES

## CERTIFICATIONS

---



## REFERENCES

---

N° affaire : N19-44050A  
Rubrique : Qualsol  
Agence : Nantes

Nombre de pages : 35  
Nombre de figures hors texte : 31  
Nombre d'annexes : 1

## VERSIONS ET VISAS

---

N° version	Rédaction	Visa	Vérification	Visa	Intitulé des révisions	Date d'application
V0	Julien BLANCHAIS Marion DAIZE		Christopher BOULAY		Version provisoire	14 mai 2019

# Sommaire

1 INTRODUCTION .....	6
2 CONTEXTE GEOMORPHOLOGIQUE ET GEOLOGIQUE.....	7
<b>2.1 - Documents consultés</b> .....	<b>7</b>
<b>2.2 - Contexte géomorphologique</b> .....	<b>8</b>
<b>2.3 - Contexte géologique</b> .....	<b>8</b>
3 LOGISTIQUE .....	10
<b>3.1 - Condition d'intervention</b> .....	<b>10</b>
<b>3.2 - Méthode</b> .....	<b>10</b>
<b>3.3 - Approche pratique</b> .....	<b>10</b>
<b>3.4 - Personnel mobilisé</b> .....	<b>12</b>
<b>3.5 - Qualité</b> .....	<b>12</b>
4 PROSPECTION SISMIQUE .....	13
<b>4.1 - Acquisition</b> .....	<b>13</b>
<b>4.2 - Post-traitement et représentation</b> .....	<b>15</b>
<b>4.3 - Résultats</b> .....	<b>18</b>
<b>4.4 - Synthèse</b> .....	<b>31</b>
5 CONCLUSIONS .....	34

FIGURES HORS TEXTE

ANNEXES

# Table des illustrations

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Documents consultés.....	7
Tableau 2 : Tableau synthétique de l'acquisition (1/2) .....	14
Tableau 3 : Suite du tableau synthétique de l'acquisition (2/2) .....	15
Tableau 4 : Épaisseurs des horizons sur le profil PS01 .....	18
Tableau 5 : Épaisseurs des horizons sur le profil PS02 .....	19
Tableau 6 : Épaisseurs des horizons sur le profil PS03 .....	20
Tableau 7 : Épaisseurs des horizons sur le profil PS04 .....	21
Tableau 8 : Épaisseurs des horizons sur le profil PS05 .....	22
Tableau 9 : Épaisseurs des horizons sur le profil PS06 .....	23
Tableau 10 : Épaisseurs des horizons sur le profil PS07 .....	24
Tableau 11 : Épaisseurs des horizons sur le profil PS08 .....	25
Tableau 12 : Épaisseurs des horizons sur le profil PS09 .....	26
Tableau 13 : Épaisseurs des horizons sur le profil PS10 .....	27
Tableau 14 : Épaisseurs des horizons sur le profil PS11 .....	28
Tableau 15 : Épaisseurs des horizons sur le profil PS12 .....	29
Tableau 16 : Épaisseurs des horizons sur le profil PS13 .....	30
Tableau 17 : Tableau récapitulatif des vitesses moyennes du substratum sain.....	31
Tableau 18 : Tableau récapitulatif des vitesses du substratum altéré et des sédiments	32

## LISTE DES FIGURES

Figure 1: Photos du matériel d'acquisition en mer (flûte sismique et canon à air).....	11
Figure 2: Photos du matériel d'acquisition à terre (enregistrement) .....	11
Figure 3: Localisation du projet sur fond de carte IGN (Infoterre) .....	8
Figure 4: Localisation du projet sur fond de carte géologique (Infoterre) .....	9
Figure 5: Photo de la mise en place du dispositif .....	14
Figure 6: Exemple d'enregistrement sismique – Profil PS01 tir milieu 64.5 m .....	16
Figure 7: Exemple d'enregistrement sismique – Profil PS07 tir demi-offset -60m .....	16
Figure 8 : Table Caterpillar pour tracteur D 9G (390 CV) avec défonceuse 9B une dent (LCPC).....	33

## LISTE DES FIGURES HORS TEXTE

Figure A : Localisation des profils sismiques sur fond de plan aérien
Figure B : Dromochronique du profil PS01
Figure C : Modélisation du profil PS01
Figure D : Dromochronique du profil PS02
Figure E : Modélisation du profil PS02
Figure F : Dromochronique du profil PS03
Figure G : Modélisation du profil PS03
Figure H : Dromochronique du profil PS04
Figure I : Modélisation du profil PS04
Figure J : Dromochronique du profil PS05
Figure K : Modélisation du profil PS05
Figure L : Dromochronique du profil PS06
Figure M : Modélisation du profil PS06

Figure N : Dromochronique du profil PS07  
Figure O : Modélisation du profil PS07  
Figure P : Dromochronique du profil PS08  
Figure Q : Modélisation du profil PS08  
Figure R : Dromochronique du profil PS09  
Figure S : Modélisation du profil PS09  
Figure T : Dromochronique du profil PS10  
Figure U : Modélisation du profil PS10  
Figure V : Dromochronique du profil PS11  
Figure W : Modélisation du profil PS11  
Figure X : Dromochronique du profil PS12  
Figure Y : Modélisation du profil PS12  
Figure Z : Dromochronique du profil PS13  
Figure AA : Modélisation du profil PS13  
Figure AB : Carte des vitesses sismiques du substratum sain (via méthode Plus-Minus)  
Figure AC : Carte du toit du substratum sain (via méthode Plus-Minus)  
Figure AD : Carte des épaisseurs des terrains superficiels et altérés (via méthode Plus-Minus)  
Figure AE : Carte des épaisseurs des sédiments (via Plotrefa)

## **LISTE DES ANNEXES**

Annexe 1 : Principe de la sismique réfraction



# 1 Introduction

À la demande et pour le compte du Conseil Départemental de Loire-Atlantique (44), la société CALLIGÉE (Nantes, 44) est intervenue du 08 au 12 avril 2019 sur le site du Port départemental de La Turballe (44).

Le but de la mission était de reconnaître, par méthode géophysique, la qualité des sols sur l'ensemble du site, ainsi que l'épaisseur des formation meubles.

La technique mise en œuvre était :

- Sismique réfraction aquatique suivant 13 profils de 115 mètres linéaires.

Les implantations des profils ont été validées avec la société EGIS et le Conseil Départementale de Loire-Atlantique.

Le présent rapport expose les caractéristiques géologiques du site et commente les mesures géophysiques obtenues.

Une révision de ce rapport sera effectuée après la réalisation des sondages géotechnique par la société Fondouest.



## 2 Contexte géomorphologique et géologique

### 2.1 - DOCUMENTS CONSULTÉS

Le tableau ci-dessous référence les différents documents consultés.

Tableau 1 : Documents consultés

Titre	Source	Année	Échelle
Carte géologique n°479 (Saint-Nazaire)	BRGM	-	1/50 000
Carte géologique n°449 (La Roche-Bernard)	BRGM	-	1/50 000
Carte IGN 1022 OT	Géoportail – IGN	2015	1/25 000
MAOA01801-Plan masse_2018-11-23.dwg	EGIS	10/07/18	1/2000-
NA118308_Port de LA TURBALLE_Bathymétrie_CC47_CM.dwg	EGIS	21/01/19	1/1500



## 2.2 - CONTEXTE GEOMORPHOLOGIQUE

Le Port départemental de la Turballe, d'une surface de 0.15 km<sup>2</sup>, accueille de nombreux bateaux, d'une longueur inférieure à 14 mètres. Aujourd'hui consacré à la pêche et à la plaisance, le port de La Turballe peut accueillir plus de 300 bateaux.

Situé au centre de la « rade du Croisic », ce port est connu notamment pour ses nombreuses conserveries qui sont apparues au milieu du XIX<sup>ème</sup> et que l'on pouvait retrouver tout le long de la côte Guérandaise.

La Figure 1 ci-dessous, localise le site du port de la Turballe :

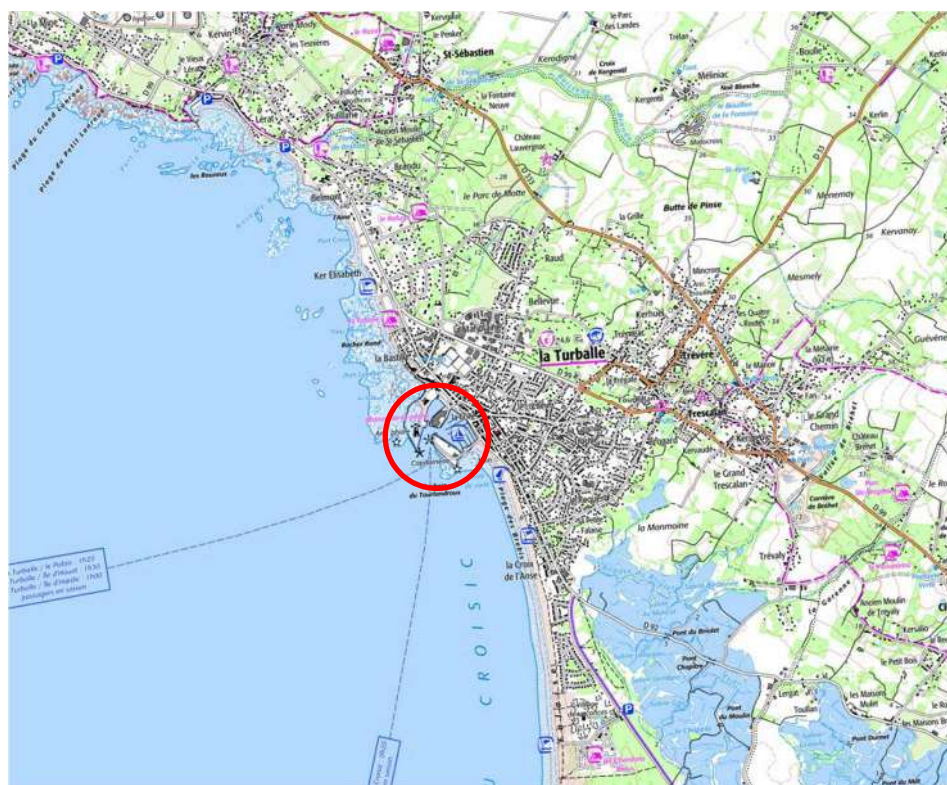


Figure 1: Localisation du projet sur fond de carte IGN (Infoterre)

## 2.3 - CONTEXTE GEOLOGIQUE

La description des faciès et leur attribution chronologique sont faites en référence aux cartes et aux notices des cartes géologiques n°479 (Saint-Nazaire) et n°449 (La Roche-Bernard).

La Figure 2 ci-après, propose un extrait de ce document.

Les entités géologiques vraisemblablement recoupées sont les suivantes :

- **Les Leucogranites (γ1-2) :** c'est ce faciès que l'on appelle Granite de Guérande ; ils sont clairs, riches en muscovites et feuilletés (plongement vers le Nord- Ouest) ; il est possible d'y voir une orientation plus ou moins marquée des biotites et des muscovites, suivant la foliation, ainsi qu'une forte altération



et fracturation ; les muscovites sont présentes en grandes lamelles allongées et fraîches, contrairement à la biotite, en paillettes plus ou moins muscovitisées ; les quartz globuleux et étirés indiquent que les minéraux ont été déformés, fracturés puis recristallisés ; ces leucogranites sont intrusifs dans les micaschistes et migmatites ;

- **Le Socle immergé (Subs)** : composé de plusieurs roches, le socle immergé est à la fois magmatique (granite et leucogranite) et métamorphique (micaschiste et migmatite), résultat d'une succession d'événements tectoniques : extension lors de l'orogénèse cadomienne, compression et collision pendant l'orogénèse hercynienne, et cisaillement pendant le Cisaillement Sud Armoricaïn ;
- **Les Formations Dunaires (D)** : formées de sable fins, elles reposent parfois sur des tourbières et des paléosols ;
- **Les Sables et Galets (Mz)** : sous forme de cordon littoral (ou tombolo), dont la granulométrie dépend du contexte hydrodynamique, ces plages de sables et de galets sont riches en minéraux lourds et ont autrefois été exploitées ; la flèche formée par le cordon de La Turballe, tend à créer un double cordon, entourant la presqu'île du Croisic ;
- **Les Formations de versants (SC)** : d'épaisseur généralement faible, ces formations forment un empâtement des reliefs par des blocs de limons ;
- **Les Remblais** : les remblais hétérogènes sont accumulés sur la digue.

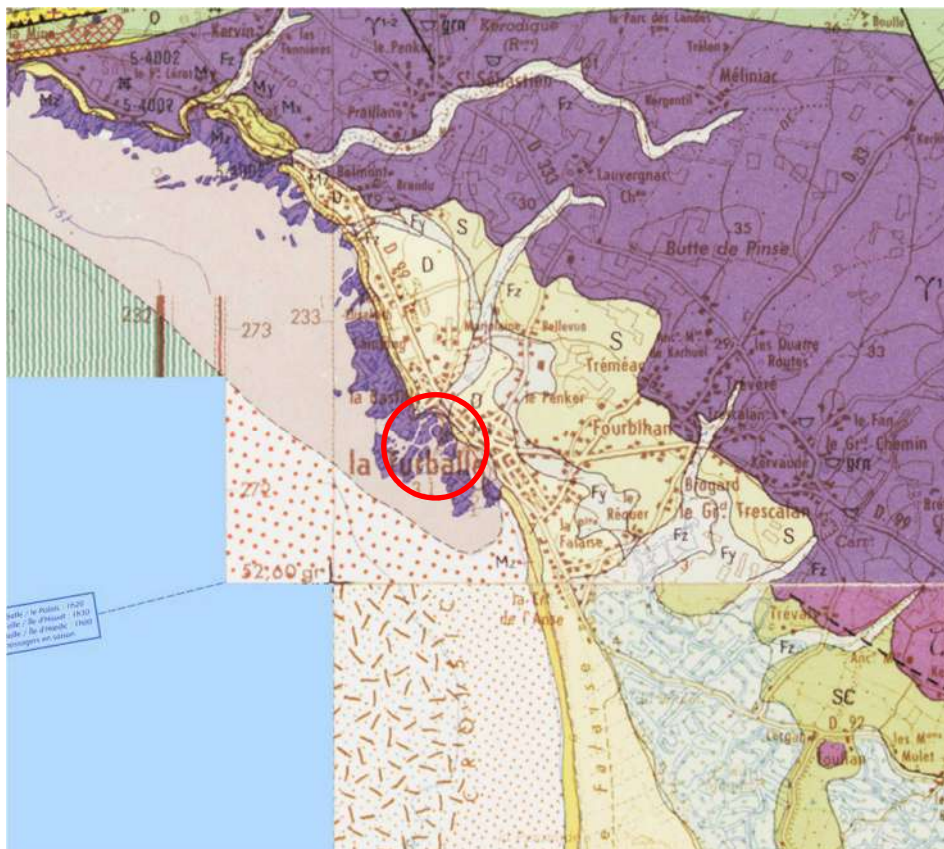


Figure 2: Localisation du projet sur fond de carte géologique (Infoterre)



## 3 Logistique

### 3.1 - CONDITION D'INTERVENTION

---

Le but de la prospection sismique aquatique est de mettre en évidence la position du toit du substratum rocheux sous la colonne d'eau ainsi que les vitesses sismiques afférentes sur l'ensemble du site.

Pour ce faire, les mesures ont été faites du 08 au 12 avril 2019 sur le port de La Turballe.

### 3.2 - METHODE

---

La méthode employée était :

- la sismique réfraction aquatique pour connaître la disposition et la qualité des terrains en profondeur, sous la colonne d'eau.

Le principe de cette méthode est exposé en annexe 1 (en fin de rapport).

### 3.3 - APPROCHE PRATIQUE

---

Le matériel mis en œuvre était un sismographe DAQlink 4 équipé d'une série de 24 géophones basses-fréquences espacés de 5 mètres. La source sismique était de type "canon à air" alimenté en air par des bouteilles de plongée, déclenchée par un opérateur, et relié au système d'acquisition via une liaison radio.

Un opérateur, responsable de l'enregistrement des données et du suivi de la qualité de ces données se situait à terre. Deux autres opérateurs, responsables de la mise en place du

dispositif et de la réalisation des tirs se situaient en mer, sur une barge mise à disposition et pilotée par l'entreprise CELTIC MARINE.



Figure 3: Photos du matériel d'acquisition en mer (flûte sismique et canon à air)



Figure 4: Photos du matériel d'acquisition à terre (enregistrement)

### 3.3.1 - PARAMETRES D'ACQUISITION

Les paramètres d'acquisition ont été adaptés à la sismique réfraction aquatique. Pour cela un intervalle d'échantillonnage de 0.125 ms et une durée d'enregistrement de 0.5 seconde ont été retenus. À chaque position de tir, un minimum de deux tirs ont été effectués puis ont été sommés (stack).

Pour chaque dispositif deux tirs en bouts (chaque extrémité du dispositif), deux tirs en offset ou deux en demi-offset selon la qualité des enregistrements, et un tir au centre ont été réalisés. Soit un total de 7 positions de tirs minimum pour chaque dispositif mis en œuvre.

L'implantation des profils sismiques réalisés a été faite de façon à couvrir la totalité de l'emprise du site.

## 3.4 - PERSONNEL MOBILISE

---

Le personnel de CALLIGEE mobilisé lors de cette campagne était :

- Christopher BOULAY en qualité d'ingénieur géophysicien (CALLIGEE, Nantes) ;
- Matthieu MOLINIE en qualité d'ingénieur géophysicien (CALLIGEE, Nantes) ;
- Julien BLANCHAIS en qualité de technicien en géophysique (CALLIGEE, Nantes).

## 3.5 - QUALITE

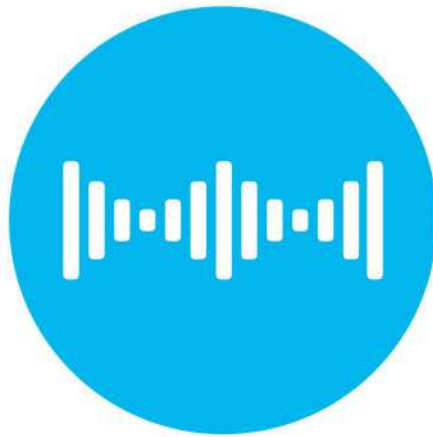
---

CALLIGEE est membre de l'association AGAP-Qualité depuis 1994. Cette association incite à la mise en place de la qualité pour les mesures géophysiques de sub-surface, aussi bien auprès des bureaux d'études, des organismes de formation, que des donneurs d'ordre.

Cette adhésion nous engage à mettre en œuvre le matériel adapté aux mesures demandées et du personnel compétent. Dans toutes les phases de l'intervention, le "Code de Bonne Pratique de Géophysique Appliquée" est respecté. Les mesures sont réalisées dans les règles de l'art.

- Sismique réfraction aquatique:

Les pointés sismiques ont été réalisés par Monsieur Julien BLANCHAIS (technicien en géologie géophysique) et Mme Marion DAIZE (Technicienne supérieure). Les modèles sismiques ainsi que les interprétations ont été validés par Monsieur Christopher BOULAY (Ingénieur géophysicien).



# 4 Prospection sismique

## 4.1 - ACQUISITION

---

Afin de couvrir au mieux la zone d'étude, nous avons réalisé 13 profils sismiques dont leurs positions sont données sur fond de plan aérien en Figure A en fin de rapport.

Ces profils, numérotés de PS01 à PS13, sont composés de 24 géophones espacés de 5 m et ayant une longueur totale de 115 mètres chacun.

6 profils (PS01, PS02, PS03, PS08, PS12 et PS13) ont une orientation Est-Ouest, et les 7 autres (PS04, PS05, PS06, PS07, PS09, PS10, et PS11) ont une orientation Nord-Sud.

Sur chaque profil, un minimum de 7 points de tir sont réalisés. Ceux-ci sont localisés :

- De part et d'autre du profil ; ils sont nommés « tir en bout » et sont localisés aux positions 0 m et 120 m ;
- Au centre du profil, et est appelé « tir milieu » ; il est localisé à la position 60 m ;
- En demi-offset, de part et d'autre du dispositif ; ces tirs sont espacés d'une demi-longueur du dispositif (60 m) ; ils sont localisés aux positions -60 m et 180 m ;
- En offset, quand à la lecture des données, celui-ci est nécessaire ; ces tirs sont espacés d'une longueur de dispositif (120 m) ; ils sont localisés à -120 m et 240 m.

Les tirs en offset sont jugés nécessaires lorsque l'opérateur d'enregistrement estime que les demi-offsets ne recoupent pas le terrain le plus rapide sur sa totalité (substratum rocheux sain). Il est parfois délicat d'estimer la nécessité de ce tir.

Les positions de tirs décrites précédemment sont les positions théoriques. En mer il est difficile de se placer parfaitement à l'aplomb de cette position. Chaque position de tir réelle a été enregistrée au DGPS, et la géométrie a été recalée pour chaque profil.



Pour chaque point de tir on enregistre plusieurs tirs (au minimum 2) afin de les sommer (stack). Ces tirs ont pour but d'augmenter le rapport signal/bruit, et ainsi d'améliorer la qualité des fichiers enregistrés.



Figure 5: Photo de la mise en place du dispositif

Les Tableau 2 et Tableau 3 ci-dessous synthétisent pour chaque profil, le nombre de stack effectué aux différentes positions de tir :

Tableau 2 : Tableau synthétique de l'acquisition (1/2)

Profil		PS01	PS02	PS03	PS04	PS05	PS06	PS07
Longueur (entre les deux tirs en bout)		115 m	115 m	115m	115m	115m	115m	115 m
Nombre de stack en fonction de la position	Tir offset (-120m)	-	-	-	8	-		-
	Demi-offset (-60m)	4	4	4	4	4	4	4
	Tir en bout (0m)	2	2	2	2	2	2	2
	Tir milieu (60m)	2	2	2	2	2	2	2
	Tir en bout (120m)	2	2	2	2	1	2	2
	Demi-offset (180 m)	4	4	4	4	4	4	4
	Tir offset (240m)	-	-	-	4	2		-
Date de réalisation		10-04	10-04	10-04	11-04	10-04	11-04	10-04

Tableau 3 : Suite du tableau synthétique de l'acquisition (2/2)

Profil		PS08	PS09	PS010	PS011	PS012	PS013
Longueur (entre les deux tirs en bout)		115 m	115m	115m	115m	115m	115m
Nombre de stack en fonction de la position	Tir offset (-120m)	4					6
	Demi-offset (-60m)	8	4	4	4	4	2
	Tir en bout (0m)	2	2	2	2	2	2
	Tir milieu (60m)	2	2	2	2	1	2
	Tir en bout (120m)	2	2	2	2	2	2
	Demi-offset (180m)	4	4	4	4	4	4
	Tir offset (240m)	6				4	4
Date de réalisation		11-04	11-04	11-04	11-04	12-04	12-04

## 4.2 - POST-TRAITEMENT ET REPRESENTATION

Les données ont d'abord été traitées à l'aide du logiciel PICKWIN (Pick First Breaks or Dispersion Curves). Plusieurs étapes sont nécessaires afin d'obtenir les temps d'arrivées :

- application d'une normalisation et d'un gain sur les traces ;
- vérification des sismogrammes et identification des différentes arrivées ;
- intégration de la géométrie (positions de la source et des récepteurs) ;
- calcul de l'offset pour les tirs en dehors du dispositif ;
- correction du temps zéro (calage des tirs offsets grâce aux tirs en bout et tirs milieux) ;
- évaluation de la vitesse de la première couche (onde directe) lorsque celle-ci est visible (ici il s'agit de la vitesse de l'eau soit 1500 m/s) ;
- pointage des temps d'arrivée de l'onde réfractée sur les tirs avec offset ;
- affichage des dromochroniques.

Rappelons que si la prise de mesure n'est pas correcte, il est illusoire de vouloir faire apparaître par l'intermédiaire de traitements de l'information utilisable a posteriori.

Ici, la source sismique étant relativement puissante, les enregistrements sont de bonne qualité et toutes les arrivées ont pu être identifiées sur l'intégralité des géophones, pour tous les profils.



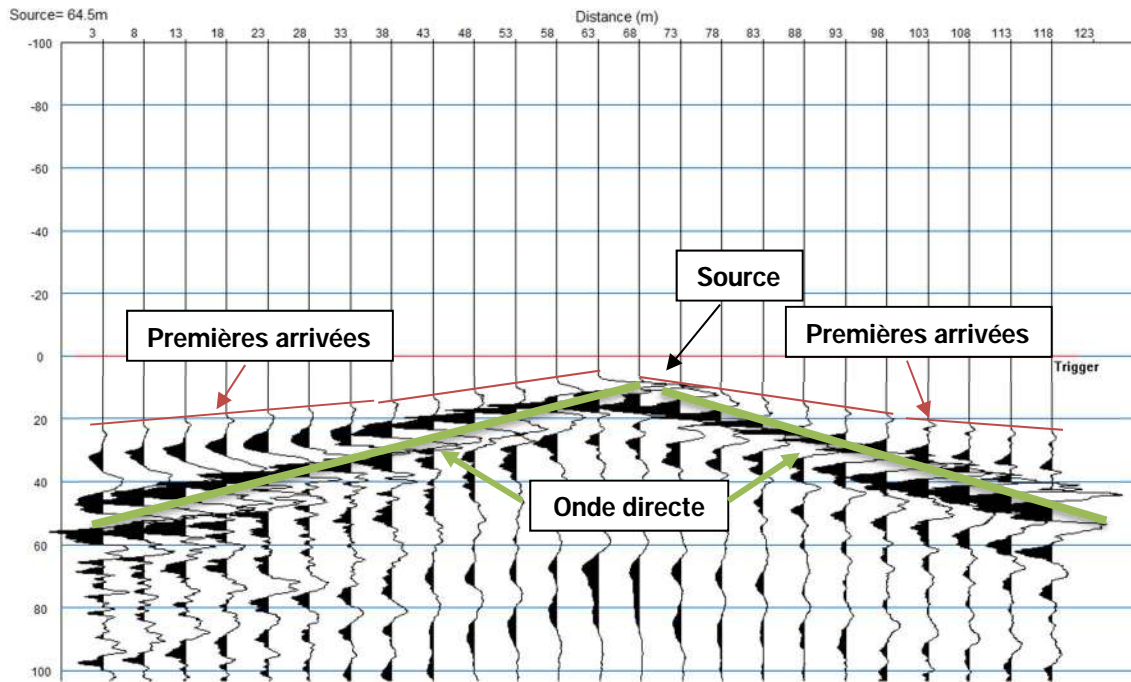


Figure 6: Exemple d'enregistrement sismique – Profil PS01 tir milieu 64.5 m

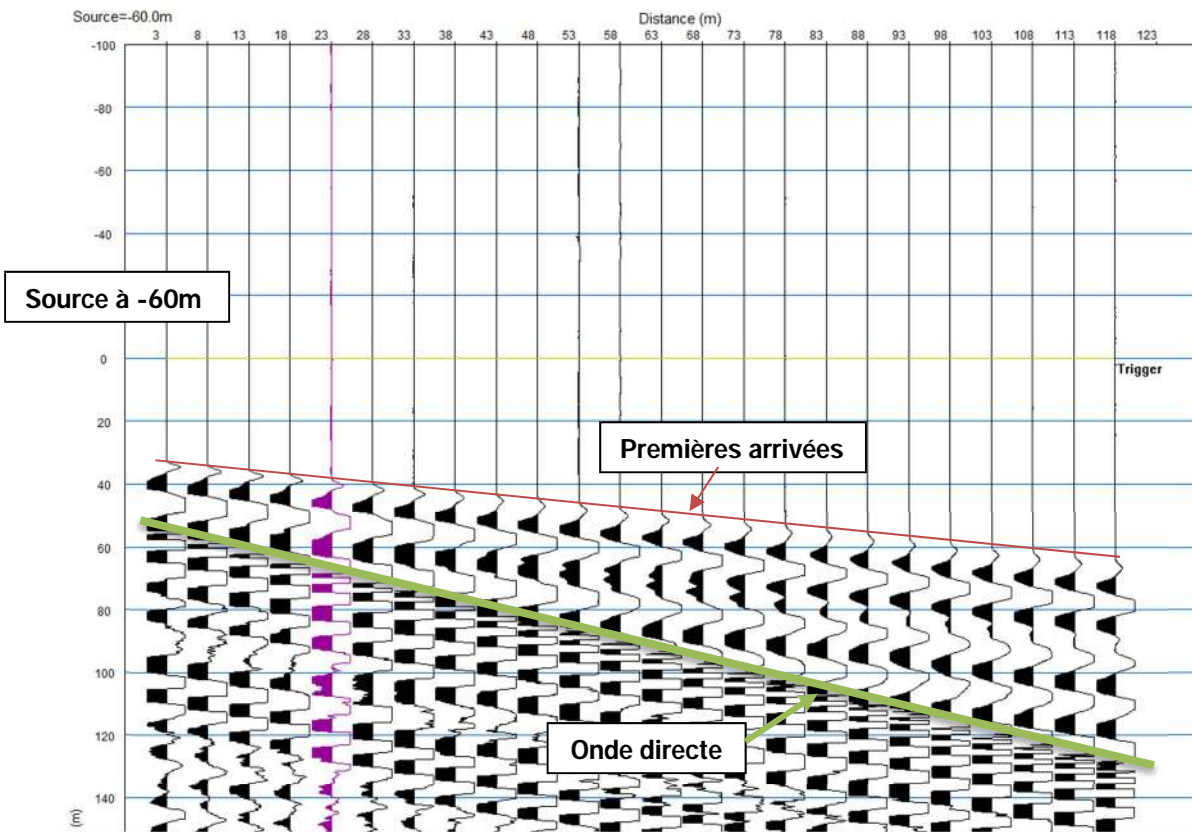


Figure 7: Exemple d'enregistrement sismique – Profil PS07 tir demi-offset -60m

A partir des dromochroniques obtenues, il est possible de construire les courbes **Plus et Minus (ou demie-différence)**, et ensuite d'en déduire la profondeur et la vitesse du substratum :

- la courbe **Plus** s'obtient graphiquement comme étant la moyenne des temps d'arrivée direct et inverse ;
- la courbe **Minus** (ou demie-différence) se construit comme étant la différence entre les temps d'arrivée ;
- la pente de la courbe Minus correspond à la vitesse du substratum ; elle permet d'identifier les variations latérales de vitesses du substratum sain ;
- la courbe Plus permet de déduire le délai sismique à chaque géophone. Si la courbe Plus s'obtient facilement graphiquement, c'est plus complexe mathématiquement. En effet, pour obtenir le délai sismique, il faut évaluer la valeur d'une constante propre à chaque profil, et ce à partir des tirs en bout et/ou des données de sondage.
- la profondeur du substratum se calcule ensuite à partir de l'équation suivante :

$$Z_2 = \frac{\Delta T \cdot V_1 \cdot V_2}{2 \cdot \sqrt{V_2^2 - V_1^2}}$$

Avec :

$Z_2$  : profondeur du substratum (m)

$V_1$  : vitesse de la couche de surface (km/s)

$V_2$  : vitesse du substratum (km/s)

$\Delta T$  : délai sismique (ms)

On voit que l'estimation de la profondeur du substratum dépend de deux paramètres parfois difficiles à évaluer et/ou très variables : le délai sismique et la vitesse de la couche de surface. Les profondeurs déduites sont estimées de moins en moins précisément lorsque l'épaisseur de la couche de surface augmente. Il est donc important de caler précisément ces profondeurs à l'aide des sondages destructifs. Les vitesses de surface retenues sont celle de la vitesse dans l'eau soit 1500 m/s.

Il est très important de noter que la pente de la courbe Minus correspond à la vitesse du substratum, soit la vitesse de fond la plus rapide. Avec cette méthode, nous n'obtenons que la profondeur du toit du substratum **sain**, et non le toit du substratum altéré ou fracturé, qui comme nous le verrons dans la partie suivante, présente ici des vitesses sismiques relativement élevées.

Une deuxième interprétation est réalisée à l'aide du logiciel Plotrefa. Ce logiciel permet, à partir du pointé des premières arrivées de l'ensemble des tirs effectués, de créer un modèle des vitesses sismiques des ondes P à l'aplomb du dispositif.

Tous les profils ont été calés en bathymétrie d'après le plan client transmis (NA118308\_Port de LA TURBALLE\_Bathymétrie\_CC47\_CM.dwg).

Dans ce qui suit, les côtes sont exprimées en Côte Marine (CM, Port de Référence : La Turballe ; delta IGN69/CM=2.86 m ; source RAM2017-SHOM).

L'ensemble de ce traitement a été réalisé pour chaque profil, et est présenté dans le chapitre suivant. Nous nous intéresserons plus particulièrement aux modèles d'épaisseurs ainsi qu'aux variations latérales de vitesses sur les graphiques obtenus via la méthode d'interprétation Plus-Minus.

## 4.3 - RESULTATS

### 4.3.1 - PROFIL PS01

D'une longueur de 115 mètres et orienté Est-Ouest, le profil comporte 24 géophones. Le géophone 1 est à l'Est.

Les dromochroniques et les résultats des interprétations sont respectivement présentés sur la Figure B et Figure C (en fin de rapport).

La méthode d'interprétation Plus-Minus nous donne le toit du substratum entre -13.00 m et -9.50 m CM, avec une vitesse moyenne de 4100 m/s, pour un minimum de 3000 m/s et un maximum de 5000 m/s.

La méthode d'interprétation en sismique réfraction via Plotrefa met en évidence des vitesses très rapides au sein du substratum sain (4109 m/s). Les vitesses sont moindres dans la partie altérée et fracturée sus-jacente (environ 3200 m/s). La position du substratum sain se situe entre -18.50 m et -7.00 m CM. A environ 82.5 m sur le profil, le substratum sain remonte à -7.00 m CM.

Les épaisseurs des différents horizons, via Plotrefa, sont présentées dans le Tableau 4 ci-dessous :

Tableau 4 : Épaisseurs des horizons sur le profil PS01

<b>Position (m)</b>	<b>2.5</b>	<b>7.5</b>	<b>12.5</b>	<b>17.5</b>	<b>22.5</b>	<b>27.5</b>	<b>32.5</b>	<b>37.5</b>
<b>Épaisseur des sédiments (m)</b>	0.53	0.51	0.68	0.74	0.87	0.86	0.86	0.66
<b>Épaisseur du substratum altéré (m)</b>	10.42	9.00	7.56	6.33	5.63	5.59	6.09	6.85
<b>Position (m)</b>	<b>42.5</b>	<b>47.5</b>	<b>52.5</b>	<b>57.5</b>	<b>62.5</b>	<b>67.5</b>	<b>72.5</b>	<b>77.5</b>
<b>Épaisseur des sédiments (m)</b>	0.59	0.83	0.65	0.67	0.65	0.95	0.83	1.11
<b>Épaisseur du substratum altéré (m)</b>	7.67	8.34	8.72	8.63	7.85	6.44	4.85	3.60
<b>Position (m)</b>	<b>82.5</b>	<b>87.5</b>	<b>92.5</b>	<b>97.5</b>	<b>102.5</b>	<b>107.5</b>	<b>112.5</b>	<b>117.5</b>
<b>Épaisseur des sédiments (m)</b>	1.26	1.30	1.18	1.24	1.12	1.00	0.86	0.73
<b>Épaisseur du substratum altéré (m)</b>	2.89	2.84	3.52	4.96	7.06	9.51	12.00	14.46

### 4.3.2 - PROFIL PS02

D'une longueur de 115 mètres et orienté Est-Ouest, le profil comporte 24 géophones. Le géophone 1 est à l'Est.

Les dromochroniques et les résultats des interprétations sont respectivement présentés sur la Figure D et Figure E (en fin de rapport).

La méthode d'interprétation Plus-Minus nous donne le toit du substratum entre -16.40 m et -12.00 m CM, avec une vitesse moyenne de 4100 m/s, pour un minimum de 3330 m/s et un maximum de 4770 m/s.

La méthode d'interprétation en sismique réfraction via Plotrefa met en évidence des vitesses très rapides au sein du substratum sain (3980 m/s). Les vitesses sont moindres dans la partie altérée sus-jacente (environ 3216 m/s). La position du substratum sain se situe entre -19.90 m et -7.00 m CM. A environ 62.5 m sur le profil, le substratum sain remonte à -7.00 m CM.

Les épaisseurs des différents horizons, via Plotrefa, sont présentées dans le Tableau 5 ci-dessous :

Tableau 5: Épaisseurs des horizons sur le profil PS02

<b>Position (m)</b>	<b>2.5</b>	<b>7.5</b>	<b>12.5</b>	<b>17.5</b>	<b>22.5</b>	<b>27.5</b>	<b>32.5</b>	<b>37.5</b>
<b>Épaisseur des sédiments (m)</b>	0.11	0.31	0.54	0.67	0.78	0.91	0.92	0.97
<b>Épaisseur du substratum altéré (m)</b>	16.90	15.06	13.27	11.74	10.67	9.89	9.06	7.89
<b>Position (m)</b>	<b>42.5</b>	<b>47.5</b>	<b>52.5</b>	<b>57.5</b>	<b>62.5</b>	<b>67.5</b>	<b>72.5</b>	<b>77.5</b>
<b>Épaisseur des sédiments (m)</b>	0.70	0.84	1.14	1.34	1.45	1.41	1.30	1.22
<b>Épaisseur du substratum altéré (m)</b>	6.46	5.10	3.92	3.03	2.77	3.31	4.27	5.27
<b>Position (m)</b>	<b>82.5</b>	<b>87.5</b>	<b>92.5</b>	<b>97.5</b>	<b>102.5</b>	<b>107.5</b>	<b>112.5</b>	<b>117.5</b>
<b>Épaisseur des sédiments (m)</b>	1.17	1.17	1.12	1.04	1.02	0.69	0.79	1.05
<b>Épaisseur du substratum altéré (m)</b>	6.29	7.49	8.97	10.66	12.13	13.16	13.95	14.69

### 4.3.3 - PROFIL PS03

D'une longueur de 115 mètres et orienté Est-Ouest, le profil comporte 24 géophones. Le géophone 1 est à l'Est.

Les dromochroniques et les résultats des interprétations sont respectivement présentés sur la Figure F et Figure G (en fin de rapport).

La méthode d'interprétation Plus-Minus nous donne le toit du substratum entre - 17.90 m et -14.30 m CM, avec une vitesse moyenne de 3700 m/s, pour un minimum de 3200 m/s et un maximum de 4240 m/s.

La méthode d'interprétation en sismique réfraction via Plotrefa met en évidence des vitesses très rapides au sein du substratum sain (3635 m/s). Les vitesses sont moindres dans la partie altérée sus-jacente (environ 2000 m/s). La position du substratum sain se situe entre -18.50 m et -11.80 m CM.

Les épaisseurs des différents horizons, via Plorefa, sont présentées dans le Tableau 6 ci-dessous :

Tableau 6: Épaisseurs des horizons sur le profil PS03

Position (m)	2.5	7.5	12.5	17.5	22.5	27.5	32.5	37.5
Épaisseur des sédiments (m)	1.18	0.88	0.84	0.98	1.13	1.24	1.59	2.15
Épaisseur du substratum altéré (m)	9.13	9.92	10.22	10.16	9.93	9.52	8.67	7.56
Position (m)	42.5	47.5	52.5	57.5	62.5	67.5	72.5	77.5
Épaisseur des sédiments (m)	2.70	3.01	3.02	2.96	2.62	2.02	1.65	1.76
Épaisseur du substratum altéré (m)	6.58	6.12	6.23	6.72	7.72	8.97	9.72	9.70
Position (m)	82.5	87.5	92.5	97.5	102.5	107.5	112.5	117.5
Épaisseur des sédiments (m)	2.15	2.39	2.39	2.17	1.89	1.71	1.51	1.26
Épaisseur du substratum altéré (m)	9.30	9.21	9.62	10.39	11.19	11.91	12.69	13.47

#### 4.3.4 - PROFIL PS04

D'une longueur de 115 mètres et orienté Nord-Sud, le profil comporte 24 géophones. Le géophone 1 est au Nord.

Les dromochroniques et les résultats des interprétations sont respectivement présentés sur la Figure H et Figure I (en fin de rapport).

La méthode d'interprétation Plus-Minus nous donne le toit du substratum entre - 23.90 m et -18.50 m CM, avec une vitesse moyenne de 3250 m/s, pour un minimum de 2920 m/s et un maximum de 3430 m/s.

La méthode d'interprétation en sismique réfraction via Plotrefa met en évidence des vitesses très rapides au sein du substratum sain (3662 m/s). Les vitesses sont moindres dans la partie altérée sus-jacente (environ 2500 m/s). La position du substratum sain se situe entre -33.60 m et -20.60 m CM. A environ 27.5 m sur le profil, le substratum sain remonte à -20.50 m CM.

Les épaisseurs des différents horizons, via Plotrefa, sont présentées dans le Tableau 7 ci-dessous :

Tableau 7: Épaisseurs des horizons sur le profil PS04

<b>Position (m)</b>	<b>2.5</b>	<b>7.5</b>	<b>12.5</b>	<b>17.5</b>	<b>22.5</b>	<b>27.5</b>	<b>32.5</b>	<b>37.5</b>
<b>Épaisseur des sédiments (m)</b>	1.31	1.36	1.44	1.59	1.75	1.79	1.78	1.63
<b>Épaisseur du substratum altéré (m)</b>	20.52	19.40	18.20	16.97	16.06	15.91	16.73	18.30
<b>Position (m)</b>	<b>42.5</b>	<b>47.5</b>	<b>52.5</b>	<b>57.5</b>	<b>62.5</b>	<b>67.5</b>	<b>72.5</b>	<b>77.5</b>
<b>Épaisseur des sédiments (m)</b>	1.56	1.41	1.37	1.33	1.31	1.38	1.34	1.34
<b>Épaisseur du substratum altéré (m)</b>	20.20	22.06	23.65	24.86	25.73	26.29	26.60	26.70
<b>Position (m)</b>	<b>82.5</b>	<b>87.5</b>	<b>92.5</b>	<b>97.5</b>	<b>102.5</b>	<b>107.5</b>	<b>112.5</b>	<b>117.5</b>
<b>Épaisseur des sédiments (m)</b>	1.31	1.31	1.45	1.46	1.23	1.00	0.90	0.82
<b>Épaisseur du substratum altéré (m)</b>	26.61	26.35	26.12	26.41	27.33	28.31	29.13	29.88

#### 4.3.5 - PROFIL PS05

D'une longueur de 115 mètres et orienté Nord-Sud, le profil comporte 24 géophones. Le géophone 1 est au Nord.

Les dromochroniques et les résultats des interprétations sont respectivement présentés sur la Figure J et Figure K (en fin de rapport).

La méthode d'interprétation Plus-Minus nous donne le toit du substratum entre - 12.20 m et -8.20 m CM, avec une vitesse moyenne de 5100 m/s.

La méthode d'interprétation en sismique réfraction via Plotrefa met en évidence des vitesses très rapides au sein du substratum sain (4177 m/s). Les vitesses sont moindres dans la partie altérée sus-jacente (environ 2550 m/s). La position du substratum sain se situe entre -14.10 m et -7.00 m CM. A environ 47.5 m sur le profil, le substratum sain remonte à -7.00 m CM.

Les épaisseurs des différents horizons, via Plotrefa, sont présentées dans le Tableau 8 ci-dessous :

Tableau 8: Épaisseurs des horizons sur le profil PS05

<b>Position (m)</b>	<b>2.5</b>	<b>7.5</b>	<b>12.5</b>	<b>17.5</b>	<b>22.5</b>	<b>27.5</b>	<b>32.5</b>	<b>37.5</b>
<b>Épaisseur des sédiments (m)</b>	0.30	0.15	0.13	0.16	0.23	0.43	0.62	0.48
<b>Épaisseur du substratum altéré (m)</b>	7.67	9.57	10.47	10.50	10.06	9.22	7.93	6.59
<b>Position (m)</b>	<b>42.5</b>	<b>47.5</b>	<b>52.5</b>	<b>57.5</b>	<b>62.5</b>	<b>67.5</b>	<b>72.5</b>	<b>77.5</b>
<b>Épaisseur des sédiments (m)</b>	1.09	0.65	0.75	0.81	0.56	0.34	0.10	0.11
<b>Épaisseur du substratum altéré (m)</b>	5.38	4.49	4.50	5.48	7.10	8.78	9.82	10.02
<b>Position (m)</b>	<b>82.5</b>	<b>87.5</b>	<b>92.5</b>	<b>97.5</b>	<b>102.5</b>	<b>107.5</b>	<b>112.5</b>	<b>117.5</b>
<b>Épaisseur des sédiments (m)</b>	0.28	0.07	0.48	0.64	0.78	0.33	0.50	0.57
<b>Épaisseur du substratum altéré (m)</b>	9.56	8.91	8.43	8.19	8.21	8.67	9.53	10.49



#### 4.3.6 - PROFIL PS06

D'une longueur des 115 mètres et orienté Nord-Sud, le profil comporte 24 géophones. Le géophone 1 est au Nord, et il prolonge le profil PS05 à hauteur de son géophone 24.

Les dromochroniques et les résultats des interprétations sont respectivement présentés sur la Figure L et Figure M (en fin de rapport).

La méthode d'interprétation Plus-Minus nous donne le toit du substratum entre - 15.80 m et -13.60 m CM, avec une vitesse moyenne de 4250 m/s, pour un minimum de 3570 m/s et un maximum de 4690 m/s.

La méthode d'interprétation en sismique réfraction via Plotrefa met en évidence des vitesses très rapides au sein du substratum sain (4198 m/s). Les vitesses sont moindres dans la partie altérée sus-jacente (environ 2770 m/s). La position du substratum sain se situe entre -18.80 m et -11.00 m CM. A environ 17.5 m sur le profil, le substratum sain remonte à -11.00 m CM.

Les épaisseurs des différents horizons, via Plotrefa, sont présentées dans le Tableau 9 ci-dessous :

Tableau 9: Épaisseurs des horizons sur le profil PS06

<b>Position (m)</b>	<b>2.5</b>	<b>7.5</b>	<b>12.5</b>	<b>17.5</b>	<b>22.5</b>	<b>27.5</b>	<b>32.5</b>	<b>37.5</b>
Épaisseur des sédiments (m)	0.98	0.88	1.03	0.95	1.08	1.05	1.06	1.05
Épaisseur du substratum altéré (m)	7.14	6.93	6.67	6.58	7.00	7.90	9.01	10.02
<b>Position (m)</b>	<b>42.5</b>	<b>47.5</b>	<b>52.5</b>	<b>57.5</b>	<b>62.5</b>	<b>67.5</b>	<b>72.5</b>	<b>77.5</b>
Épaisseur des sédiments (m)	0.82	0.74	0.93	0.89	0.90	0.84	0.82	0.93
Épaisseur du substratum altéré (m)	10.84	11.62	12.43	13.22	13.77	13.74	13.12	12.23
<b>Position (m)</b>	<b>82.5</b>	<b>87.5</b>	<b>92.5</b>	<b>97.5</b>	<b>102.5</b>	<b>107.5</b>	<b>112.5</b>	<b>117.5</b>
Épaisseur des sédiments (m)	1.00	1.00	0.95	0.84	0.95	0.85	0.82	0.73
Épaisseur du substratum altéré (m)	11.38	10.71	10.37	10.60	11.45	12.66	13.95	15.20

#### 4.3.7 - PROFIL PS07

D'une longueur de 115 mètres et orienté Nord-Sud, le profil comporte 24 géophones. Le géophone 1 est au Nord, et il prolonge le profil PS06 à hauteur de son géophone 24.

Les dromochroniques et les résultats des interprétations sont respectivement présentés sur la Figure N et Figure O (en fin de rapport).

La méthode d'interprétation Plus-Minus nous donne le toit du substratum entre -18.40 m et -15.00 m CM, avec une vitesse moyenne de 3550 m/s, pour un minimum de 3220 m/s et un maximum de 4120 m/s.

La méthode d'interprétation en sismique réfraction via Plotrefa met en évidence des vitesses très rapide au sein du substratum sain (3550 m/s). Les vitesses sont moindres dans la partie altérée sus-jacente (environ 2400 m/s). La position du substratum sain se situe entre -17.40 m et -11.50 m CM. A environ 97.5 m sur le profil, le substratum sain remonte à -11.50 m CM.

Les épaisseurs des différents horizons, via Plotrefa, sont présentées dans le Tableau 10 ci-dessous :

Tableau 10: Épaisseurs des horizons sur le profil PS07

<b>Position (m)</b>	<b>2.5</b>	<b>7.5</b>	<b>12.5</b>	<b>17.5</b>	<b>22.5</b>	<b>27.5</b>	<b>32.5</b>	<b>37.5</b>
<b>Épaisseur des sédiments (m)</b>	0.84	0.88	0.74	0.71	0.82	0.94	0.94	0.86
<b>Épaisseur du substratum altéré (m)</b>	11.30	12.40	13.38	13.81	13.75	13.58	13.61	13.81
<b>Position (m)</b>	<b>42.5</b>	<b>47.5</b>	<b>52.5</b>	<b>57.5</b>	<b>62.5</b>	<b>67.5</b>	<b>72.5</b>	<b>77.5</b>
<b>Épaisseur des sédiments (m)</b>	0.84	0.87	0.84	0.83	0.89	0.98	1.06	1.14
<b>Épaisseur du substratum altéré (m)</b>	14.00	14.06	13.94	13.58	13.02	12.39	11.66	10.76
<b>Position (m)</b>	<b>82.5</b>	<b>87.5</b>	<b>92.5</b>	<b>97.5</b>	<b>102.5</b>	<b>107.5</b>	<b>112.5</b>	<b>117.5</b>
<b>Épaisseur des sédiments (m)</b>	1.22	1.30	1.35	1.38	1.38	1.38	1.41	1.44
<b>Épaisseur du substratum altéré (m)</b>	9.73	8.71	8.00	7.76	7.93	8.26	8.62	8.98

#### 4.3.8 - PROFIL PS08

D'une longueur de 115 mètres et orienté Est-Ouest, le profil comporte 24 géophones. Le géophone 1 est à Est.

Les dromochroniques et les résultats des interprétations sont respectivement présentés sur la Figure P et Figure Q (en fin de rapport).

La méthode d'interprétation Plus-Minus nous donne le toit du substratum entre -17.40 m et -11.00 m CM, avec une vitesse moyenne de 4850 m/s, pour un minimum de 2940 m/s et un maximum de 5470 m/s.

La méthode d'interprétation en sismique réfraction via Plotrefa met en évidence des vitesses très rapides au sein du substratum sain (4841 m/s). Les vitesses sont moindres dans la partie altérée sus-jacente (environ 2500 m/s). La position du substratum sain se situe entre -24.10 m et -10.5 m CM. A environ 15 m sur le profil, le substratum sain remonte à -10.5 m CM.

Les épaisseurs des différents horizons, via Plotrefa, sont présentées dans le Tableau 11 ci-dessous :

Tableau 11: Épaisseurs des horizons sur le profil PS08

<b>Position (m)</b>	<b>2.5</b>	<b>7.5</b>	<b>12.5</b>	<b>17.5</b>	<b>22.5</b>	<b>27.5</b>	<b>32.5</b>	<b>37.5</b>
<b>Épaisseur des sédiments (m)</b>	0.24	0.45	0.69	1.08	1.06	1.01	0.82	0.61
<b>Épaisseur du substratum altéré (m)</b>	11.22	9.37	8.06	7.62	8.13	9.53	11.53	13.75
<b>Position (m)</b>	<b>42.5</b>	<b>47.5</b>	<b>52.5</b>	<b>57.5</b>	<b>62.5</b>	<b>67.5</b>	<b>72.5</b>	<b>77.5</b>
<b>Épaisseur des sédiments (m)</b>	0.50	0.41	0.35	0.16	0.09	0.12	0.25	0.44
<b>Épaisseur du substratum altéré (m)</b>	15.89	17.87	19.59	20.94	21.74	21.81	21.22	20.33
<b>Position (m)</b>	<b>82.5</b>	<b>87.5</b>	<b>92.5</b>	<b>97.5</b>	<b>102.5</b>	<b>107.5</b>	<b>112.5</b>	<b>117.5</b>
<b>Épaisseur des sédiments (m)</b>	0.57	0.77	1.04	1.27	1.31	1.22	1.16	1.14
<b>Épaisseur du substratum altéré (m)</b>	19.21	17.77	16.38	15.63	15.89	16.90	18.16	19.48

#### 4.3.9 - PROFIL PS09

D'une longueur de 115 mètres et orienté Nord-Sud, le profil comporte 24 géophones. Le géophone 1 est au Nord.

Les dromochroniques et les résultats des interprétations sont respectivement présentés sur la Figure R et Figure S (en fin de rapport).

La méthode d'interprétation Plus-Minus nous donne le toit du substratum entre - 11.70 m et -8.20 m CM, avec une vitesse moyenne de 4300 m/s, pour un minimum de 3080 m/s et un maximum de 6450 m/s.

La méthode d'interprétation en sismique réfraction via Plotrefa met en évidence des vitesses très rapides au sein du substratum sain (3976 m/s). Les vitesses sont moindres dans la partie altérée sus-jacente (environ 2850 m/s). La position du substratum sain se situe entre -12.40 m et -5.60 m CM. A environ 37.5 m sur le profil, le substratum sain remonte à environ -5.60 m CM.

Les épaisseurs des différents horizons, via Plotrefa, sont présentées dans le Tableau 17 ci-dessous :

Tableau 12: Épaisseurs des horizons sur le profil PS09

<b>Position (m)</b>	<b>2.5</b>	<b>7.5</b>	<b>12.5</b>	<b>17.5</b>	<b>22.5</b>	<b>27.5</b>	<b>32.5</b>	<b>37.5</b>
<b>Épaisseur des sédiments (m)</b>	0.33	0.16	0.11	0.49	0.58	0.85	1.03	1.03
<b>Épaisseur du substratum altéré (m)</b>	8.77	10.31	10.69	9.61	7.83	6.21	5.17	4.85
<b>Position (m)</b>	<b>42.5</b>	<b>47.5</b>	<b>52.5</b>	<b>57.5</b>	<b>62.5</b>	<b>67.5</b>	<b>72.5</b>	<b>77.5</b>
<b>Épaisseur des sédiments (m)</b>	1.00	0.93	1.08	0.33	0.84	0.39	0.89	1.02
<b>Épaisseur du substratum altéré (m)</b>	5.25	6.22	7.33	8.47	9.23	9.18	8.39	7.09
<b>Position (m)</b>	<b>82.5</b>	<b>87.5</b>	<b>92.5</b>	<b>97.5</b>	<b>102.5</b>	<b>107.5</b>	<b>112.5</b>	<b>117.5</b>
<b>Épaisseur des sédiments (m)</b>	1.16	1.32	1.15	1.22	1.28	1.12	1.29	0.94
<b>Épaisseur du substratum altéré (m)</b>	6.04	5.63	5.71	6.01	6.21	6.30	6.39	6.45

#### 4.3.10 - PROFIL PS10

D'une longueur de 115 mètres et orienté Nord-Sud, le profil comporte 24 géophones. Le géophone 1 est au Nord.

Les dromochroniques et les résultats des interprétations sont respectivement présentés sur la Figure T et Figure U (en fin de rapport).

La méthode d'interprétation Plus-Minus nous donne le toit du substratum entre -14.40 m et -9.70 m CM, avec une vitesse moyenne de 4100 m/s, pour un minimum de 3000 m/s et un maximum de 6520 m/s.

La méthode d'interprétation en sismique réfraction via Plotrefa met en évidence des vitesses très rapides au sein du substratum sain (3843 m/s). Les vitesses sont moindres dans la partie altérée sus-jacente (environ 2250 m/s). La position du substratum sain se situe entre -20.50 m et -5.60 m CM. A environ 60 m sur le profil, le substratum sain semble remonter jusqu'à la fin du profil.

Les épaisseurs des différents horizons, via Plotrefa, sont présentées dans le Tableau 13 ci-dessous :

Tableau 13: Épaisseurs des horizons sur le profil PS10

Position (m)	2.5	7.5	12.5	17.5	22.5	27.5	32.5	37.5
Épaisseur des sédiments (m)	0.00	0.04	0.14	0.10	0.24	0.05	0.15	0.64
Épaisseur du substratum altéré (m)	17.15	18.06	18.23	17.47	15.85	13.78	11.96	10.36
Position (m)	42.5	47.5	52.5	57.5	62.5	67.5	72.5	77.5
Épaisseur des sédiments (m)	0.55	0.59	0.87	0.92	0.96	0.94	0.89	1.05
Épaisseur du substratum altéré (m)	8.64	6.89	5.33	4.21	3.68	3.55	3.40	3.01
Position (m)	82.5	87.5	92.5	97.5	102.5	107.5	112.5	117.5
Épaisseur des sédiments (m)	1.20	1.27	1.34	1.34	1.36	1.40	1.36	1.30
Épaisseur du substratum altéré (m)	2.69	2.67	2.80	3.02	3.30	3.70	4.22	4.78

#### 4.3.11 - PROFIL PS11

D'une longueur de 115 mètres et orienté Nord-Sud, le profil comporte 24 géophones. Le géophone 1 est au Nord.

Les dromochroniques et les résultats des interprétations sont respectivement présentés sur la Figure V et Figure W (en fin de rapport).

La méthode d'interprétation Plus-Minus nous donne le toit du substratum entre -15.60 m et -12.20 m CM, avec une vitesse moyenne de 3550 m/s, pour un minimum de 3080 m/s et un maximum de 4630 m/s.

La méthode d'interprétation en sismique réfraction via Plotrefa met en évidence des vitesses très rapides au sein du substratum sain (3483 m/s). Les vitesses sont moindres dans la partie altérée sus-jacente (environ 2400 m/s). La position du substratum sain se situe entre -20.5 m et -9.40 m CM. A environ 52.5 m sur le profil, le substratum sain remonte à -9.40 m CM.

Les épaisseurs des différents horizons, via Plotrefa, sont présentées dans le Tableau 14 ci-dessous :

Tableau 14: Épaisseurs des horizons sur le profil PS11

<b>Position (m)</b>	<b>2.5</b>	<b>7.5</b>	<b>12.5</b>	<b>17.5</b>	<b>22.5</b>	<b>27.5</b>	<b>32.5</b>	<b>37.5</b>
<b>Épaisseur des sédiments (m)</b>	0.21	0.71	0.72	0.72	0.79	0.89	0.65	0.69
<b>Épaisseur du substratum altéré (m)</b>	17.26	15.80	14.35	12.87	11.41	10.09	9.04	8.24
<b>Position (m)</b>	<b>42.5</b>	<b>47.5</b>	<b>52.5</b>	<b>57.5</b>	<b>62.5</b>	<b>67.5</b>	<b>72.5</b>	<b>77.5</b>
<b>Épaisseur des sédiments (m)</b>	1.08	0.98	1.15	1.10	1.00	1.02	1.10	1.18
<b>Épaisseur du substratum altéré (m)</b>	7.46	6.75	6.50	6.80	7.33	7.79	8.14	8.41
<b>Position (m)</b>	<b>82.5</b>	<b>87.5</b>	<b>92.5</b>	<b>97.5</b>	<b>102.5</b>	<b>107.5</b>	<b>112.5</b>	<b>117.5</b>
<b>Épaisseur des sédiments (m)</b>	1.21	1.17	1.24	1.05	1.15	0.95	0.88	0.86
<b>Épaisseur du substratum altéré (m)</b>	8.57	8.65	8.78	9.37	10.66	11.95	12.74	13.33

#### 4.3.12 - PROFIL PS12

D'une longueur de 115 mètres et orienté Est-Ouest, le profil comporte 24 géophones. Le géophone 1 est à l'Est.

Les dromochroniques et les résultats des interprétations sont respectivement présentés sur la Figure X et Figure Y (en fin de rapport).

La méthode d'interprétation Plus-Minus nous donne le toit du substratum entre -16.70 m et -11.00 m CM, avec une vitesse moyenne de 3833 m/s, pour un minimum de 3125 m/s et un maximum de 4280 m/s.

La méthode d'interprétation en sismique réfraction via Plotrefa met en évidence des vitesses très rapides au sein du substratum sain (3659 m/s). Les vitesses sont moindres dans la partie altérée sus-jacente (environ 2700 m/s). La position du substratum sain se situe entre -22.40 m et -11.40 m CM. A environ 17.5 m et 95 m sur le profil, le substratum sain remonte à environ -11.40 m CM.

Les épaisseurs des différents horizons, via Plotrefa, sont présentées dans le Tableau 15 ci-dessous :

Tableau 15: Épaisseurs des horizons sur le profil PS12

<b>Position (m)</b>	<b>2.5</b>	<b>7.5</b>	<b>12.5</b>	<b>17.5</b>	<b>22.5</b>	<b>27.5</b>	<b>32.5</b>	<b>37.5</b>
<b>Épaisseur des sédiments (m)</b>	0.52	0.74	0.67	0.98	0.65	1.18	1.19	1.10
<b>Épaisseur du substratum altéré (m)</b>	11.05	9.83	8.95	8.48	8.43	8.78	9.35	10.07
<b>Position (m)</b>	<b>42.5</b>	<b>47.5</b>	<b>52.5</b>	<b>57.5</b>	<b>62.5</b>	<b>67.5</b>	<b>72.5</b>	<b>77.5</b>
<b>Épaisseur des sédiments (m)</b>	1.08	1.08	1.03	0.93	0.87	0.85	0.86	0.90
<b>Épaisseur du substratum altéré (m)</b>	10.65	11.04	11.40	11.76	12.08	12.30	12.38	12.27
<b>Position (m)</b>	<b>82.5</b>	<b>87.5</b>	<b>92.5</b>	<b>97.5</b>	<b>102.5</b>	<b>107.5</b>	<b>112.5</b>	<b>117.5</b>
<b>Épaisseur des sédiments (m)</b>	0.98	1.10	1.24	1.35	1.33	1.07	0.82	0.58
<b>Épaisseur du substratum altéré (m)</b>	11.87	11.16	10.42	10.24	11.16	13.40	16.41	19.53



### 4.3.13 - PROFIL PS13

D'une longueur de 115 mètres et orienté Est-Ouest, le profil comporte 24 géophones. Le géophone 1 est à l'Est. Il prolonge le profil PS12 à hauteur du géophone 6.

Les dromochroniques et les résultats des interprétations sont respectivement présentés sur la Figure Z et Figure AA (en fin de rapport).

La méthode d'interprétation Plus-Minus nous donne le toit du substratum entre -18.00 m et -14.20 m CM, avec une vitesse moyenne de 3725 m/s, pour un minimum de 2550 m/s et un maximum de 5360 m/s.

La méthode d'interprétation en sismique réfraction via Plotrefa met en évidence des vitesses très rapides au sein du substratum sain (3853 m/s). Les vitesses sont moindres dans la partie altérée sus-jacente (environ 2100 m/s). La position du substratum sain se situe entre -27.10 m et -9.50 m CM. Le substratum sain semble plonger en direction de l'Ouest (au large).

Les épaisseurs des différents horizons, via Plotrefa, sont présentées dans le Tableau 16 ci-dessous :

Tableau 16: Épaisseurs des horizons sur le profil PS13

<b>Position (m)</b>	<b>2.5</b>	<b>7.5</b>	<b>12.5</b>	<b>17.5</b>	<b>22.5</b>	<b>27.5</b>	<b>32.5</b>	<b>37.5</b>
<b>Épaisseur des sédiments (m)</b>	1.49	1.26	1.19	1.18	1.15	1.11	0.94	0.92
<b>Épaisseur du substratum altéré (m)</b>	5.83	7.22	8.14	8.83	9.55	10.49	11.67	12.79
<b>Position (m)</b>	<b>42.5</b>	<b>47.5</b>	<b>52.5</b>	<b>57.5</b>	<b>62.5</b>	<b>67.5</b>	<b>72.5</b>	<b>77.5</b>
<b>Épaisseur des sédiments (m)</b>	0.82	0.75	0.78	0.94	0.91	0.73	0.64	0.58
<b>Épaisseur du substratum altéré (m)</b>	13.46	13.49	13.07	12.71	12.97	13.73	14.58	15.54
<b>Position (m)</b>	<b>82.5</b>	<b>87.5</b>	<b>92.5</b>	<b>97.5</b>	<b>102.5</b>	<b>107.5</b>	<b>112.5</b>	<b>117.5</b>
<b>Épaisseur des sédiments (m)</b>	0.58	0.60	0.57	0.50	0.42	0.32	0.24	0.13
<b>Épaisseur du substratum altéré (m)</b>	16.63	17.78	19.06	20.48	21.86	22.99	23.78	24.41

## 4.4 - SYNTHÈSE

### 4.4.1 - VITESSES

Le Tableau 17, ci-dessous, présente pour chaque profil, l'ensemble des résultats des vitesses moyennes calculées sur les demi-différences ainsi que les vitesses obtenues par les modèles sismiques à l'aide du logiciel Plotrefa.

Les vitesses présentées correspondent au substratum sain.

Tableau 17: Tableau récapitulatif des vitesses moyennes du substratum sain

Profil	Vitesse sismique moyenne calculée sur les demi-différences (m/s)	Vitesse sismique obtenue à l'aide de Plotrefa (m/s)
PS01	4100	4109
PS02	4099	3980
PS03	3698	3635
PS04	3246	3662
PS05	5100	4177
PS06	4252	4098
PS07	3563	3550
PS08	4841	4841
PS09	4286	3976
PS10	4090	3843
PS11	3563	3483
PS12	3833	3659
PS13	3725	3853
<b>Moyenne</b>	<b>4030</b>	<b>3910</b>

Le Tableau 18 présente les résultats des vitesses du substratum altéré ainsi que des sédiments, estimées à l'aide du logiciel Plotrefa.

Tableau 18: Tableau récapitulatif des vitesses du substratum altéré et des sédiments

Profil	Vitesse sismique du rocher fracturé estimée à l'aide de <i>Plotrefa</i> (m/s)	Vitesse sismique des sédiments estimée à l'aide de <i>Plotrefa</i> (m/s)
PS01	3332	300
PS02	3216	300
PS03	2011	816
PS04	2487	300
PS05	2524	300
PS06	2770	210
PS07	2398	300
PS08	2577	300
PS09	2865	300
PS10	2254	300
PS11	2431	300
PS12	2687	300
PS13	2109	300
<b>Moyenne</b>	<b>2590</b>	<b>330</b>

Sont disponible en fin de rapport :

- Une carte des vitesses sismiques du substratum sain, en figure AB, d'après la méthode Plus-Minus ;
- une carte du toit du substratum sain, en figure AC, d'après la méthode Plus-Minus ;
- une carte des épaisseurs des terrains superficiels et altérés, en figure AD, d'après la méthode Plus-Minus ;
- une carte des épaisseurs des sédiments, en figure AE, d'après le logiciel Plotrefa.

#### 4.4.2 - RIPPABILITE

D'après la table compilée par le laboratoire Central des Ponts et Chaussées (table Caterpillar pour tracteur D 9G 390 CV avec défonceuse 9B une dent) présentée en Figure 8, est considéré comme défonçable au bulldozer un granite affichant une vitesse inférieure à 1800 m/s, comme marginal ou défonçable par deux tracteurs en tandem un gneiss affichant une vitesse comprise entre 1800 m/s et 2000 m/s, et défonçable seulement après tirs d'ébranlement un gneiss affichant une vitesse supérieure à 2000 m/s.

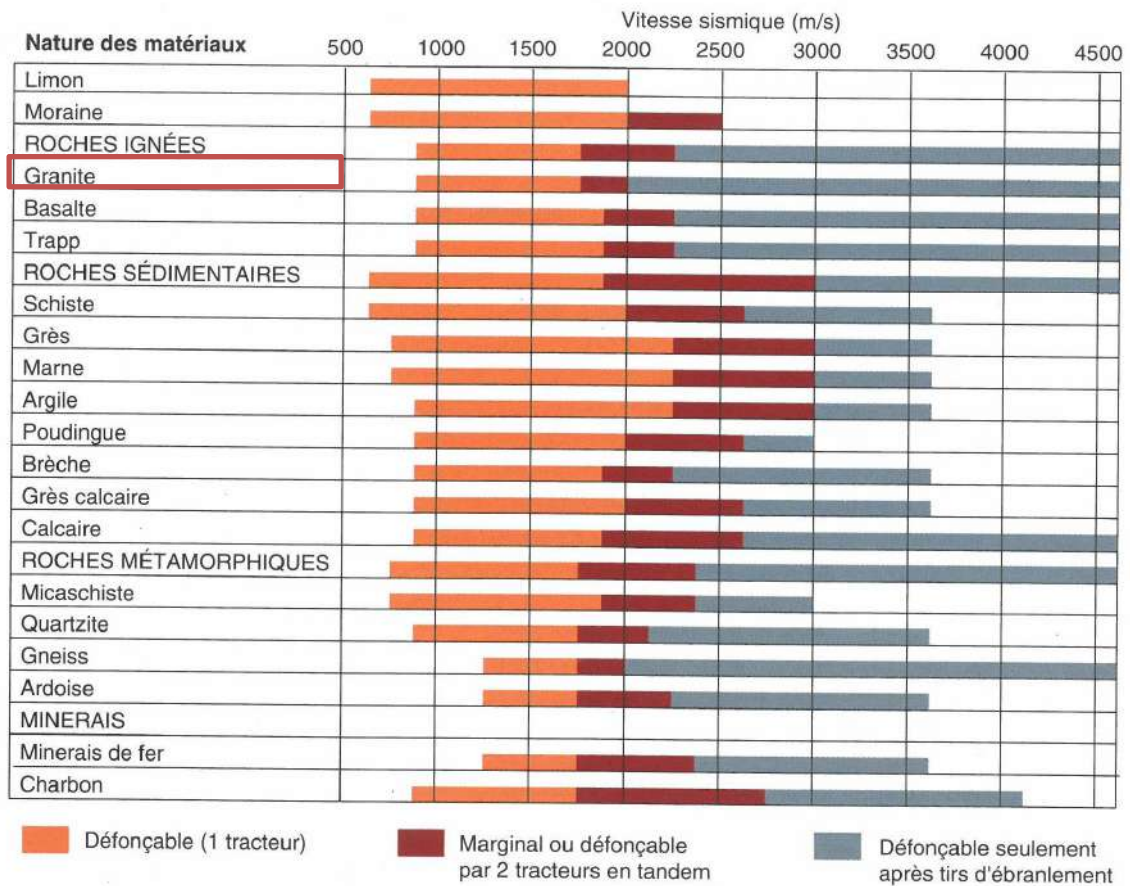


Figure 8 : Table Caterpillar pour tracteur D 9G (390 CV) avec défonceuse 9B une dent (LCPC)



## 5 Conclusions

La méthode d'interprétation Plus-Minus nous permet d'obtenir uniquement les vitesses les plus rapides, soit celle du substratum sain. Sur l'ensemble du projet, ces vitesses sont comprises entre 3246 m/s et 5100 m/s. elle permet également d'observer les variations latérales de vitesse dans le substratum sain.

Les modèles sismiques via le logiciel Plotrefa nous donne des vitesses sismiques pour le substratum rocheux comprise entre 3550 m/s et 4841 m/s.

Les vitesses sismiques du substratum sain obtenues entre les deux méthodes sont relativement similaires et semblent donc cohérentes vis-à-vis du substratum rocheux en place.

Le substratum, dit altéré, obtenu sur les modèles sismiques via Plotrefa, présente des vitesses sismiques relativement rapides (>2000 m/s). Cela implique qu'il n'est pas réellement altéré au sens propre du terme mais plutôt fracturé. Quant aux vitesses sismiques des sédiments (entre 300 et 900 m/s), elles restent relativement faibles.

La différence majeure entre les deux méthodes d'interprétation intervient sur la position du toit du substratum sain. Cette position ne pourra être affinée et corrigée qu'après intervention de l'entreprise en géotechnique. Un recalage des modèles sera alors effectué en fonction des résultats géotechniques.

## **OBSERVATIONS IMPORTANTES**

### **CONDITIONS DE VALIDITE DE L'ETUDE**

1 - Le présent rapport et ses annexes (planches, plans hors-texte, etc.) constituent un tout indissociable. Les interprétations erronées qui pourront en être faites à partir d'une communication ou d'une reproduction partielle ne sauraient engager la société CALLIGEE.

2 - La société CALLIGEE ne peut être rendue responsable des modifications apportées au présent rapport sans son consentement écrit.

3 - Les conclusions de l'étude sont établies à partir d'informations disponibles fournies et collectées et de mesures et échantillonnages limités dans l'espace et le temps, qui ne permettent pas de présager d'hétérogénéités naturelles ou artificielles des milieux et de variations temporelles des conditions physiques (météorologie, période hydrologique, occupation des sols, activités anthropiques, etc.).

Les méthodes de reconnaissance et de caractérisation du sol et sous-sol et des eaux souterraines et superficielles sont ponctuelles et ne sauraient être représentatives d'une zone plus étendue. Sauf mention contraire, les incertitudes associées aux méthodes, échantillonnage et analyses ne sont pas prises en compte dans le rapport. Les méthodes de reconnaissance géophysique étant quant à elles de nature indirecte et non destructive, les résultats qui en découlent résultent d'interprétations sur la base de jugement professionnel et scientifique.

4 - Les résultats de l'étude sont valables uniquement dans le cadre de la demande et des hypothèses formulées par le client. Ils ont été établis en fonction des caractéristiques de son projet prévalant au moment où l'étude a été réalisée.

5 - Si, en l'absence de fourniture de l'ensemble des données demandées dans son offre, et à défaut de disposer de données précises spécifiques à la zone étudiée, la société CALLIGEE a été amenée dans le présent rapport à faire des hypothèses sur le projet, il appartient au client ou à son maître d'œuvre de lui communiquer par écrit ses observations éventuelles sans quoi, il ne pourrait en aucun cas et pour aucune raison être reproché à CALLIGEE d'avoir établi son étude sur la base des dites hypothèses.

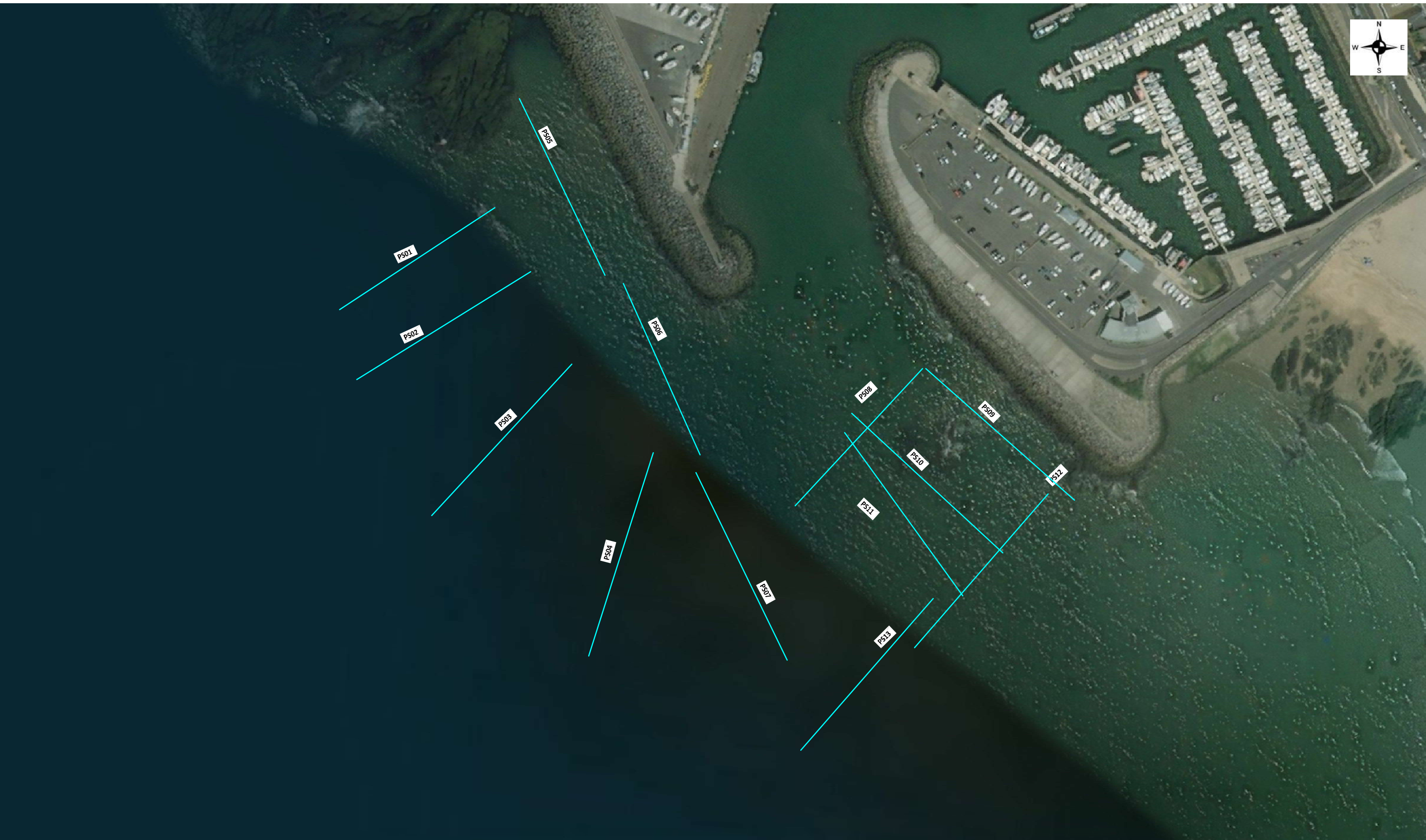
6 - Toute modification ultérieure du projet concernant la conception, l'implantation, et/ou le niveau, la taille des ouvrages ne pourra pas être prise en compte dans le rapport. En effet, ces modifications peuvent être de nature à rendre caduque certains éléments ou la totalité des conclusions de l'étude.

7 - Les conclusions de l'étude sont valables à la date de rédaction du présent rapport suivant la réglementation en vigueur à cette même date. Toute évolution réglementaire postérieure à la réalisation de l'étude devra être prise en compte par le client.

8 - L'utilisation des résultats de CALLIGEE pour chiffrer un coût autre qu'estimatif de travaux ou d'infrastructures ne saurait en aucun cas engager la responsabilité de CALLIGEE.

# FIGURES HORS TEXTE

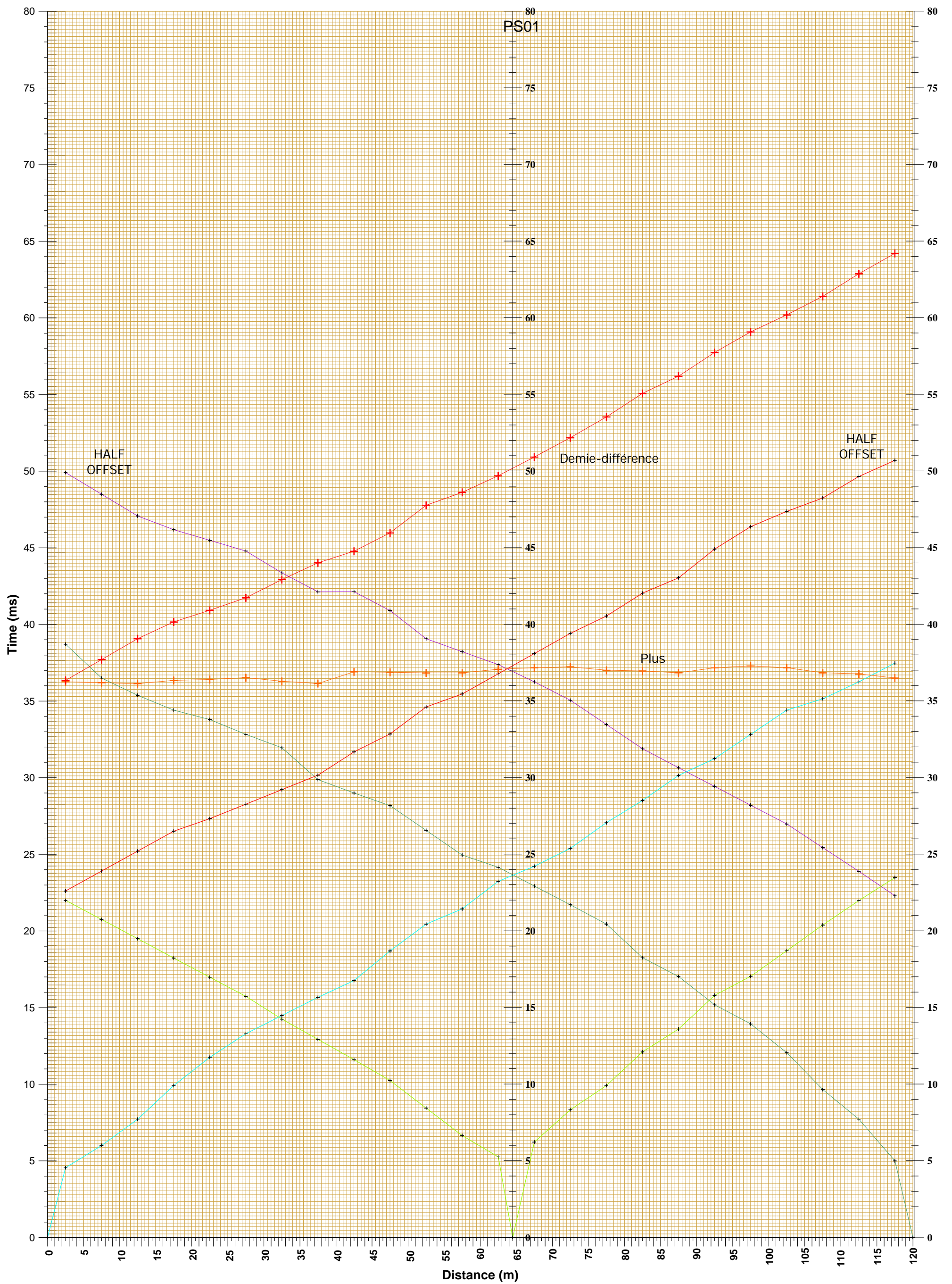


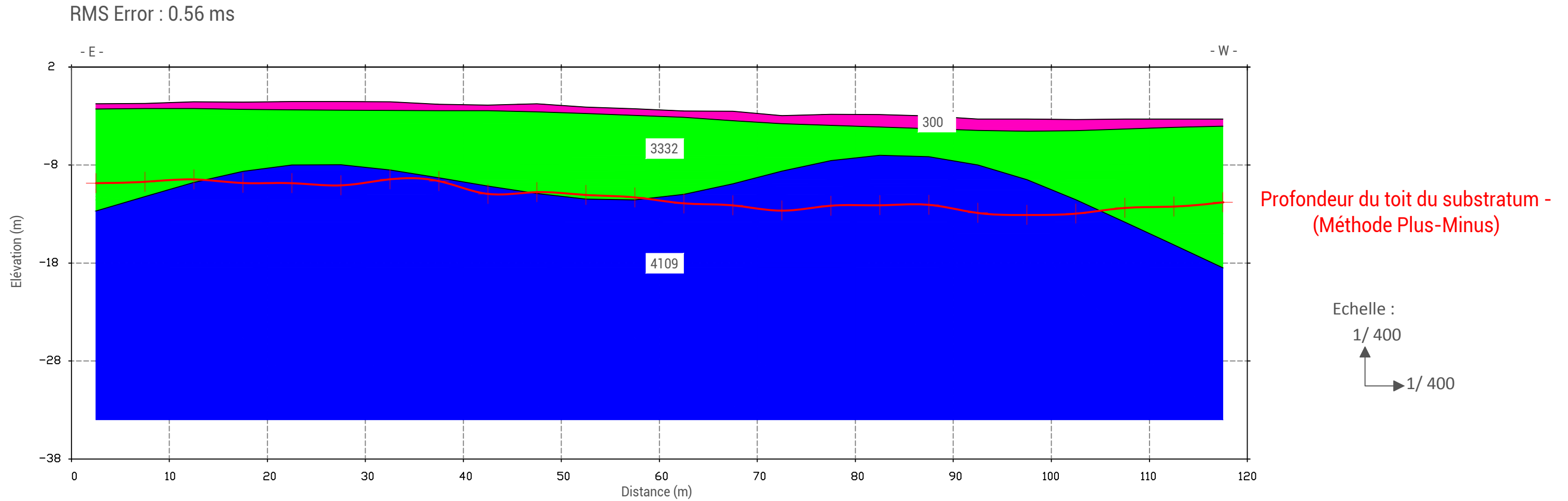


	<p>Figure A : Localisation des profils sismiques sur fond de plan aérien</p> <p>Extension du port de La Turballe (44)</p>	<p>Rapport N19-44050A</p>
--	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------

Echelle :  
1/ 2000  
↑  
→ 1/ 2000



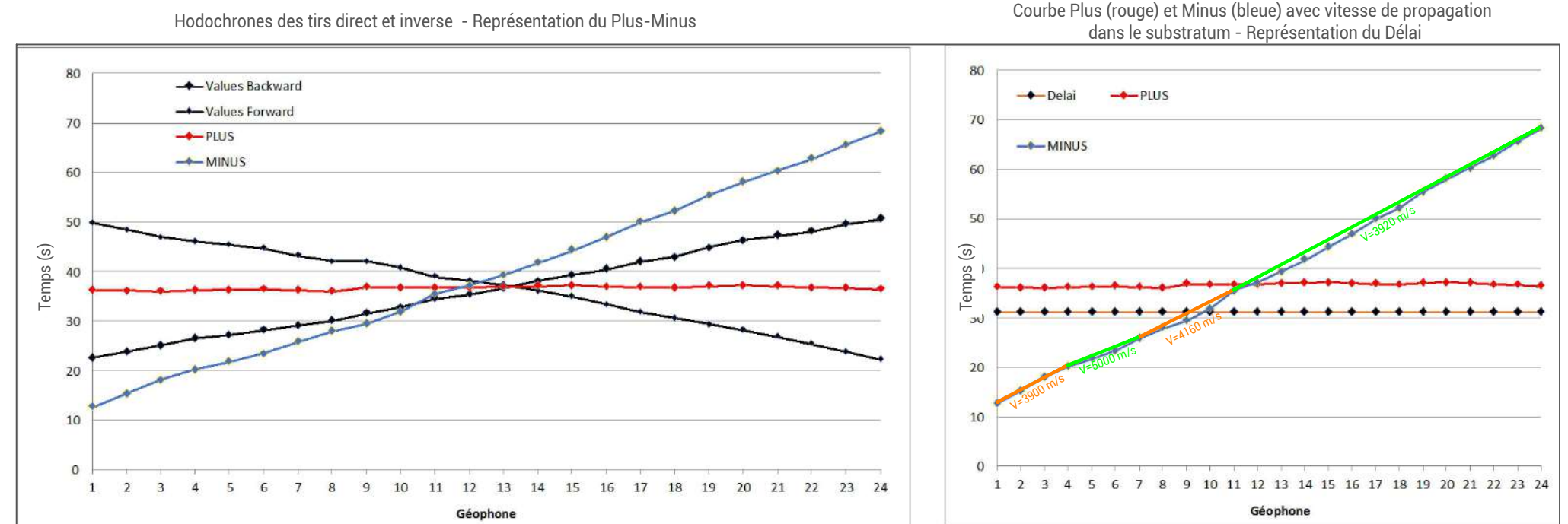


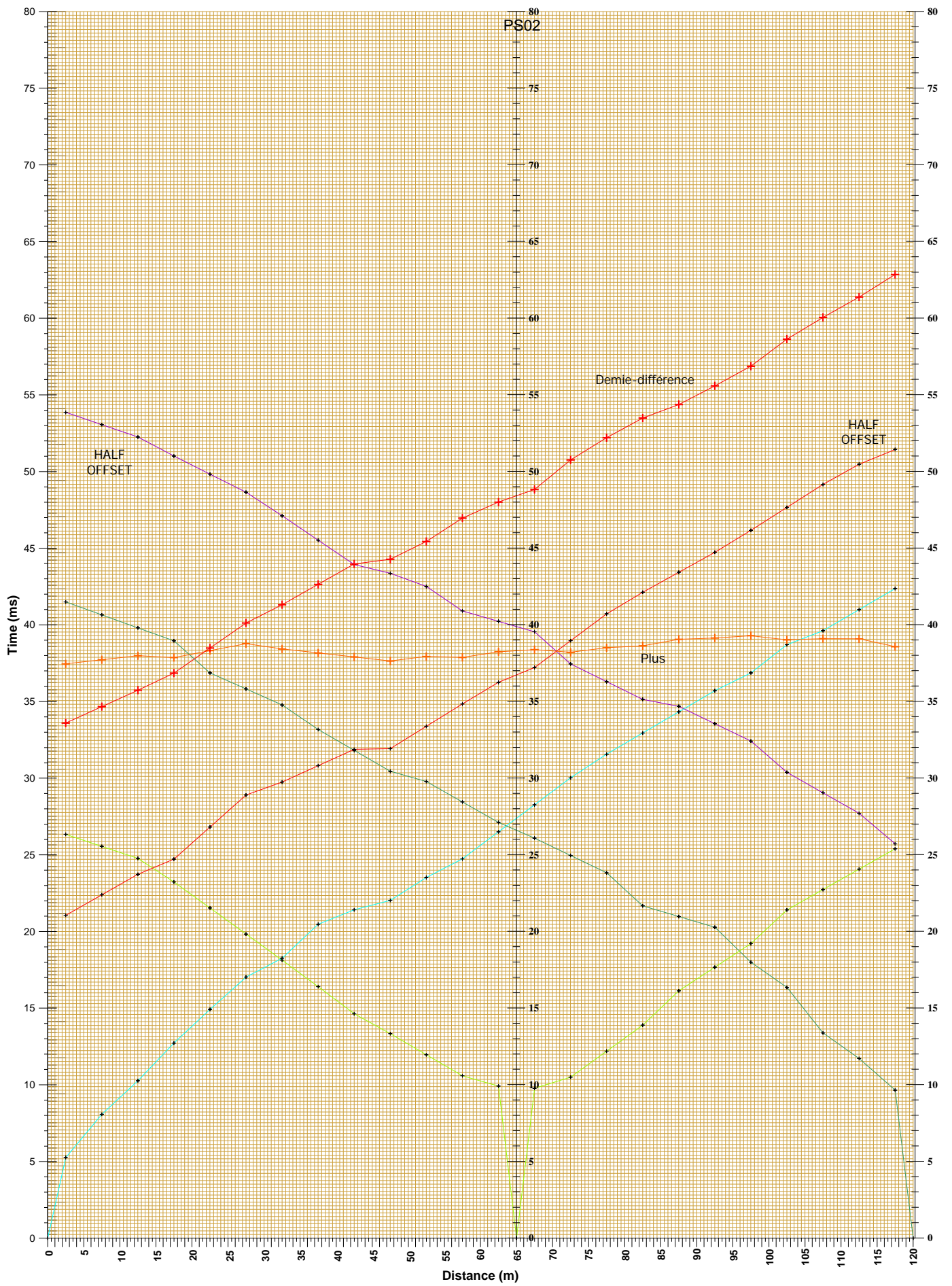


Légende :

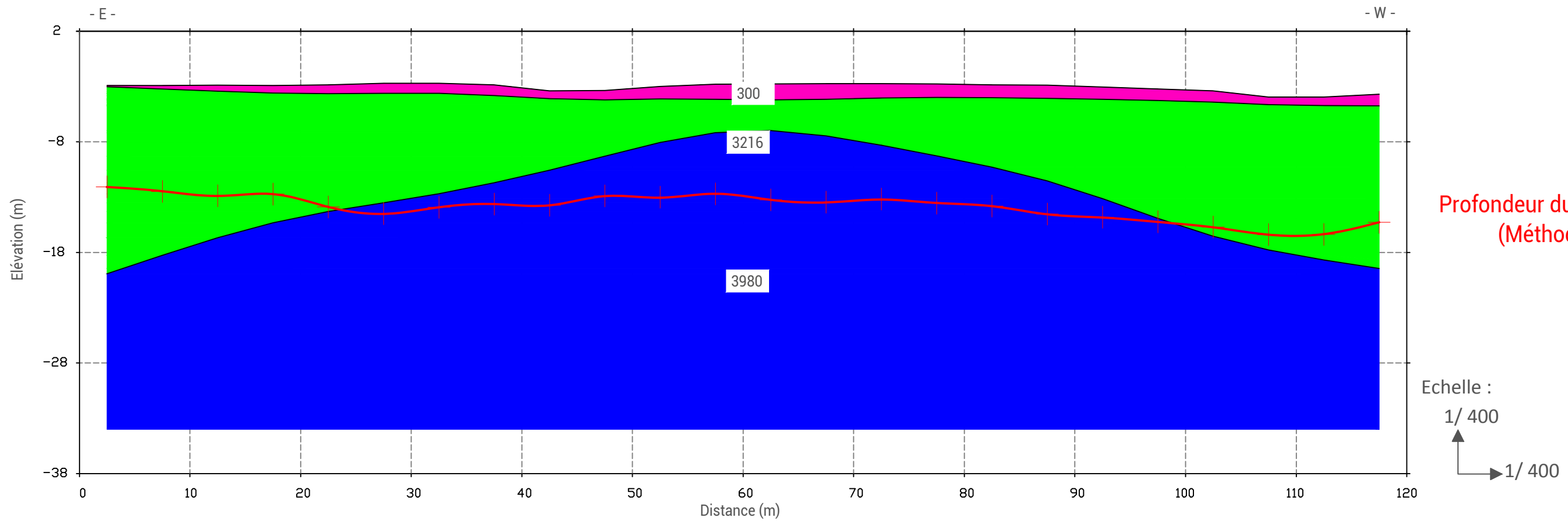
- Sédiments avec vitesse sismique
- Rocher altéré et/ou fracturé avec vitesse sismique
- Substratum sain avec vitesse sismique
- Position du substratum via la méthode Plus-Minus

Traitement avec la méthode Plus-Minus





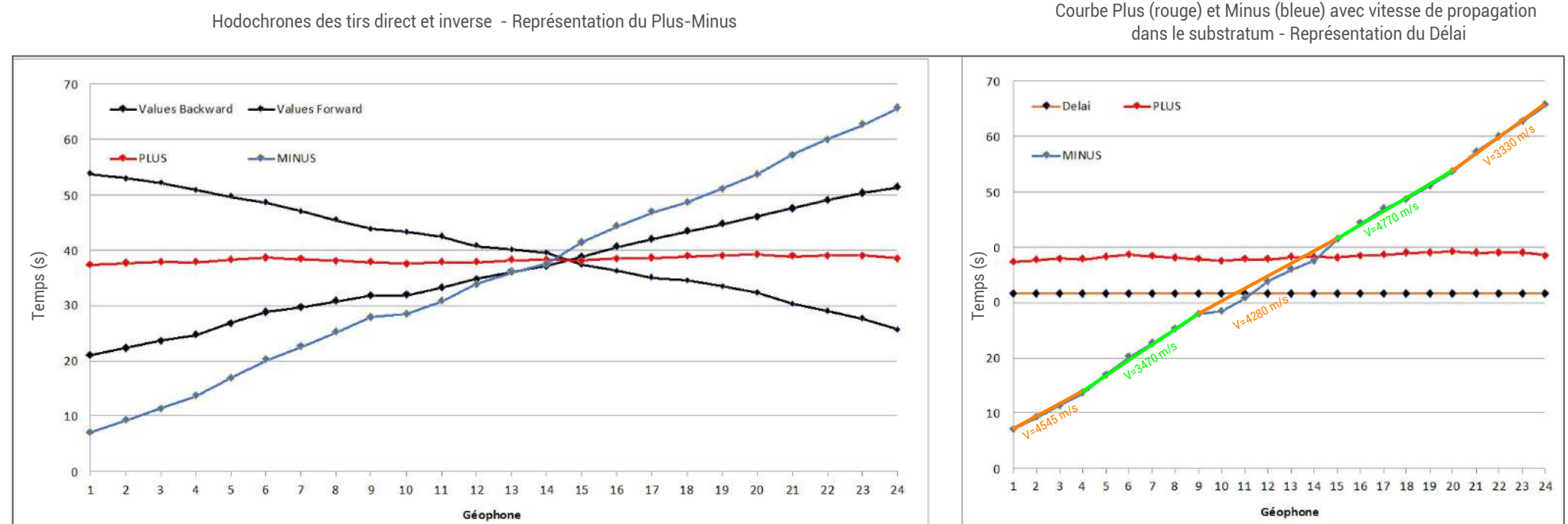
RMS Error : 0.36 ms



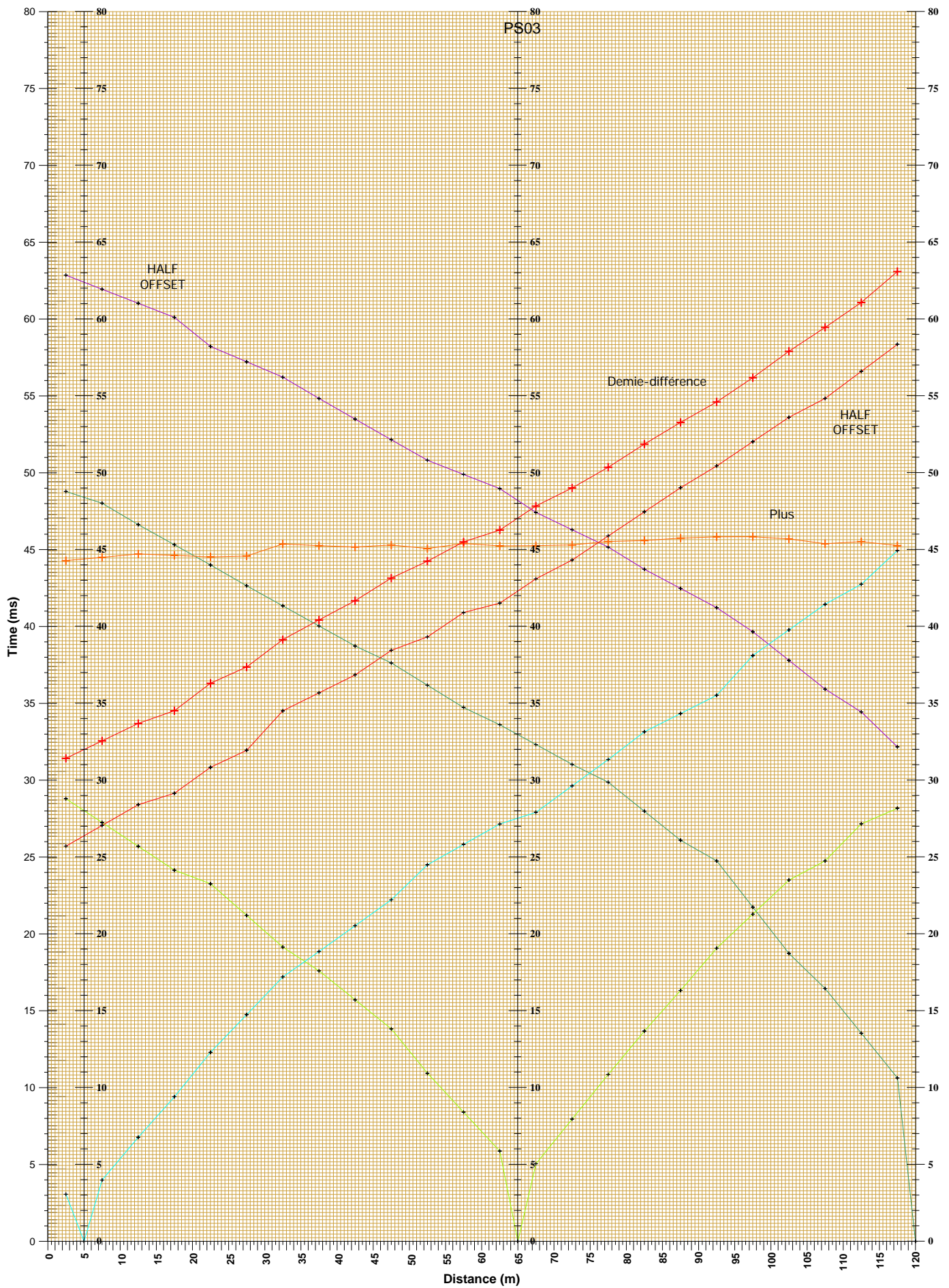
Légende :

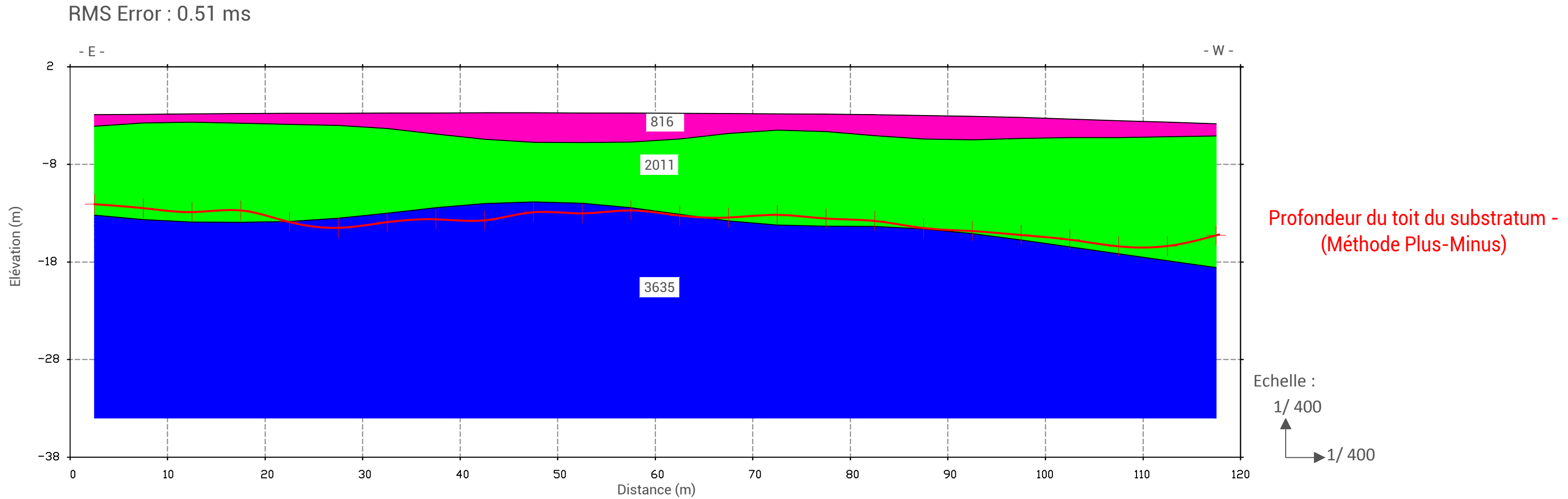
- Sédiments avec vitesse sismique
- Rocher altéré et/ou fracturé avec vitesse sismique
- Substratum sain avec vitesse sismique
- Position du substratum via la méthode Plus-Minus

### Traitement avec la méthode Plus-Minus





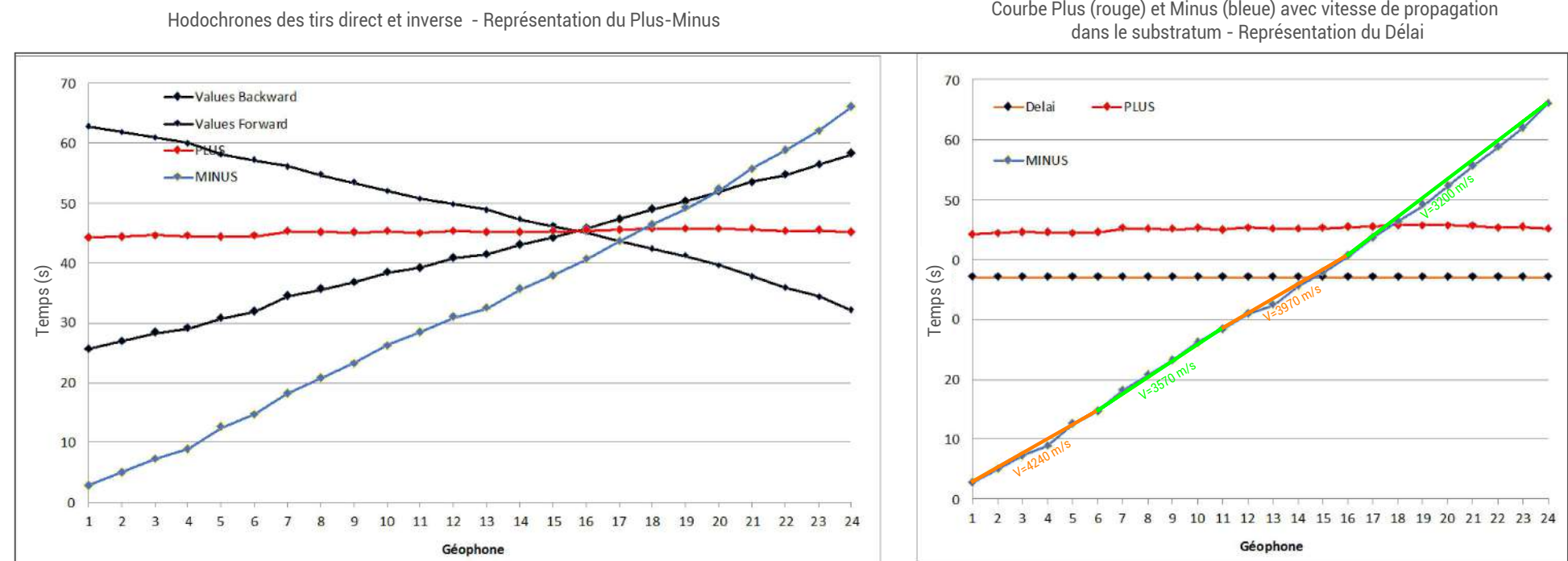




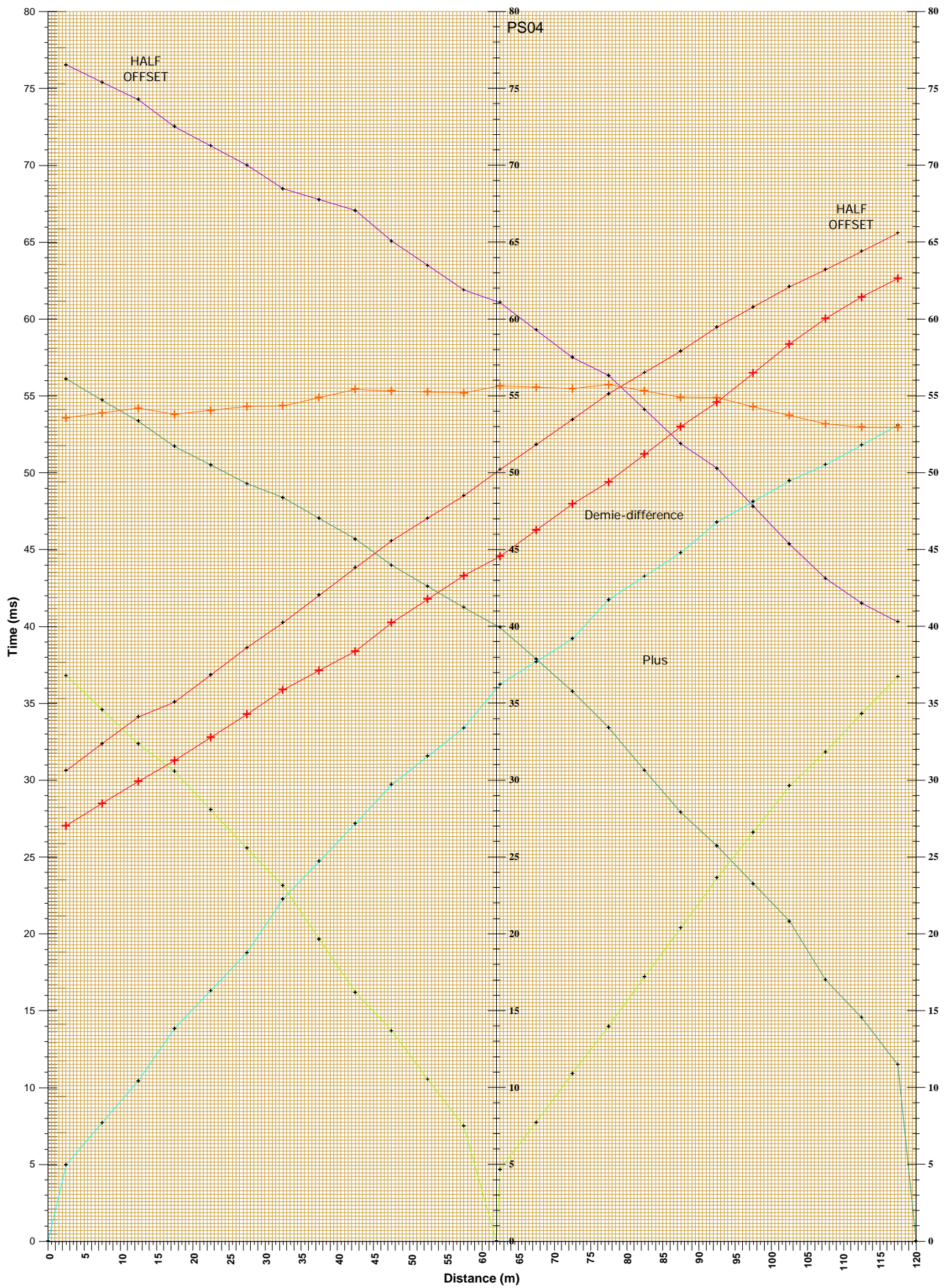
Légende :

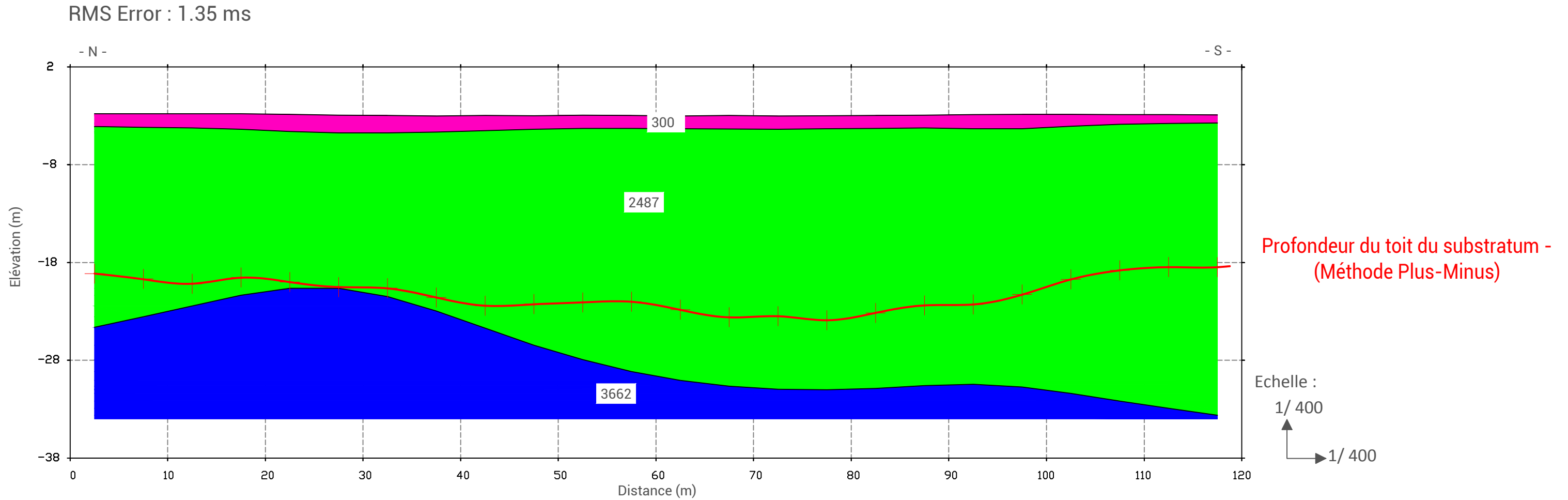
- Sédiments avec vitesse sismique
- Rocher altéré et/ou fracturé avec vitesse sismique
- Substratum sain avec vitesse sismique
- Position du substratum via la méthode Plus-Minus

Traitement avec la méthode Plus-Minus





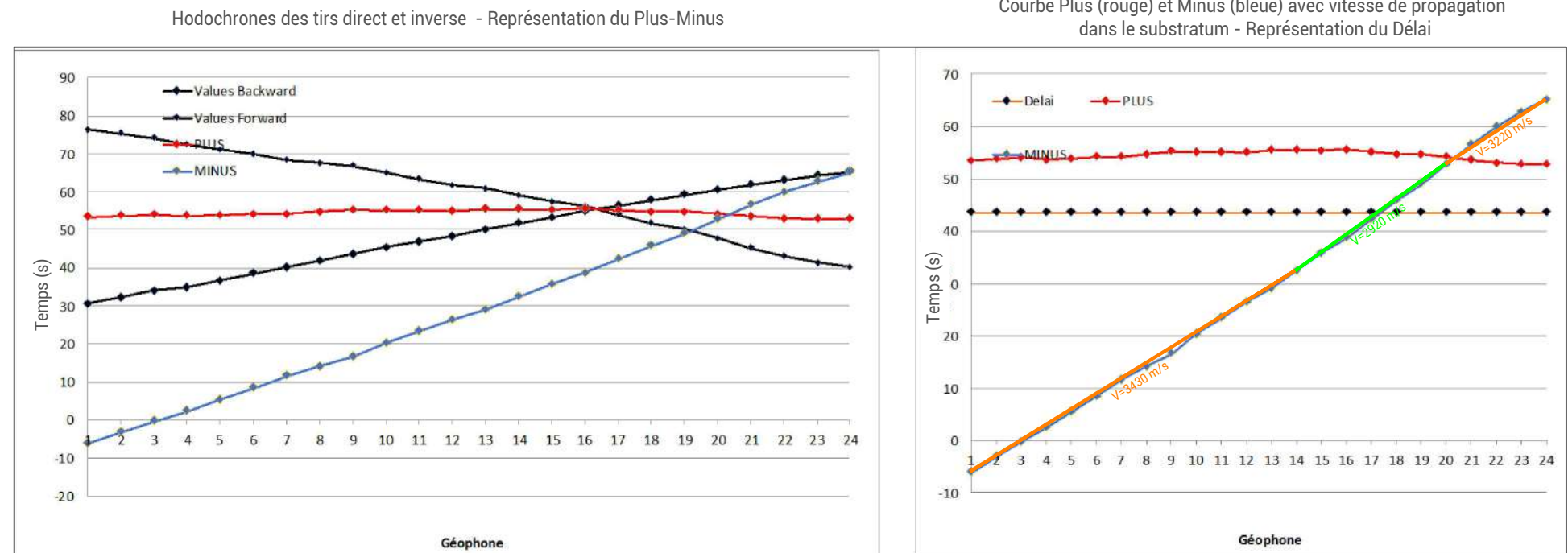


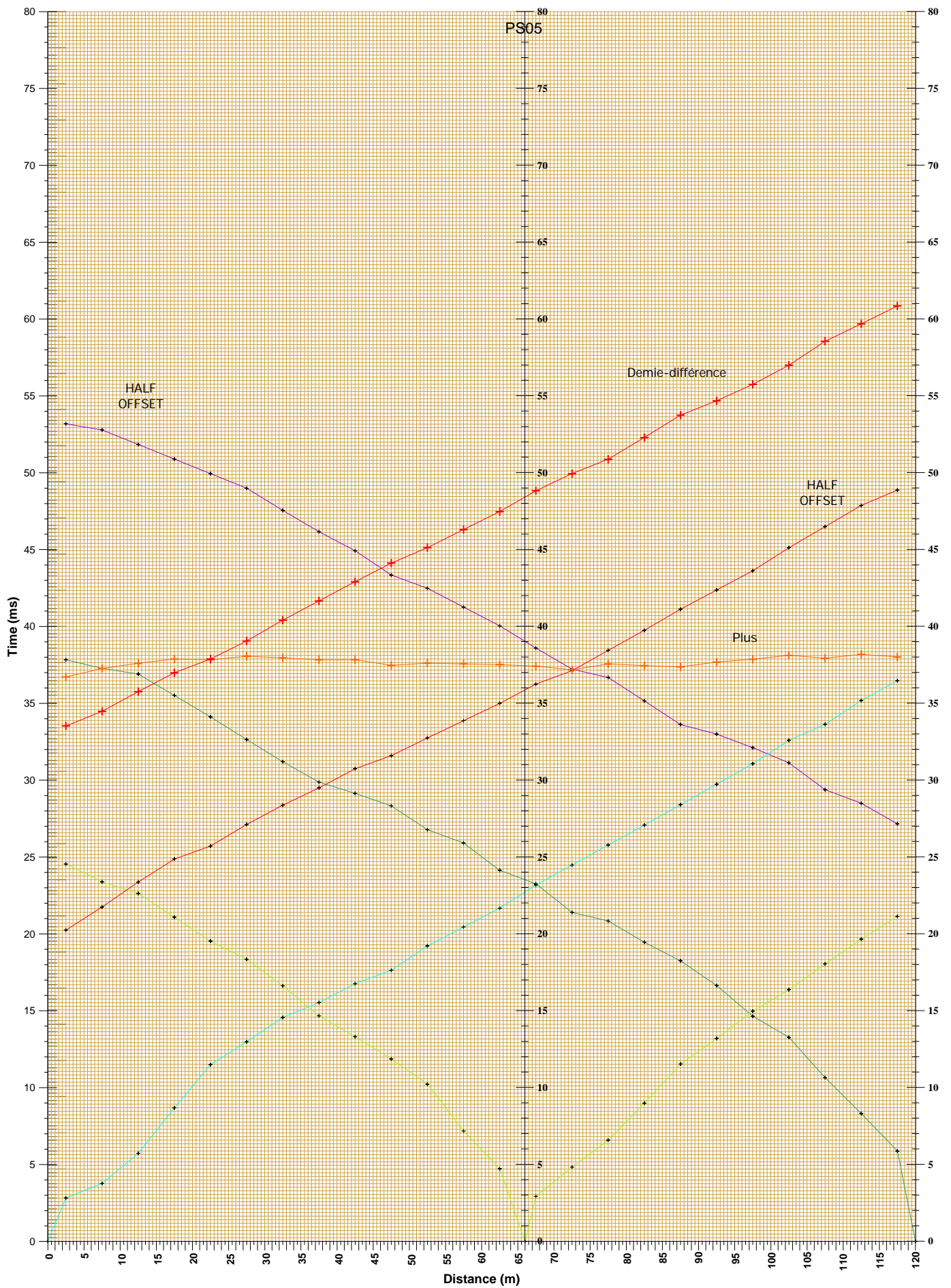


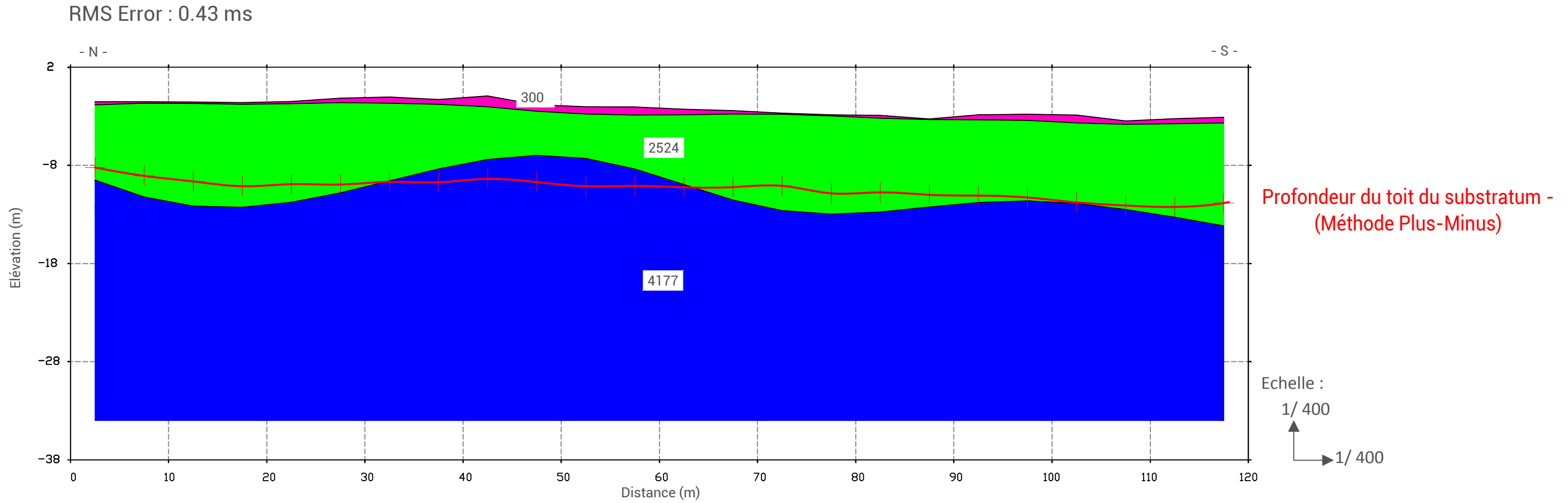
Légende :

- Sédiments avec vitesse sismique
- Rocher altéré et/ou fracturé avec vitesse sismique
- Substratum sain avec vitesse sismique
- Position du substratum via la méthode Plus-Minus

Traitement avec la méthode Plus-Minus



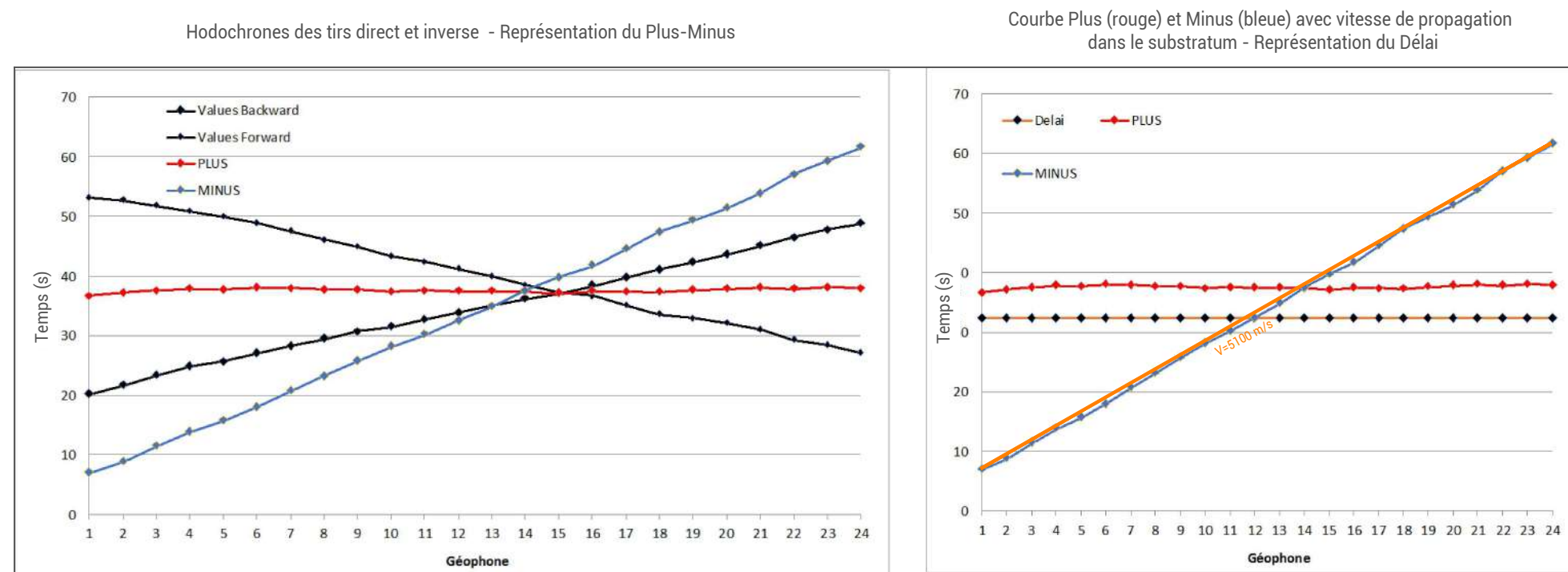




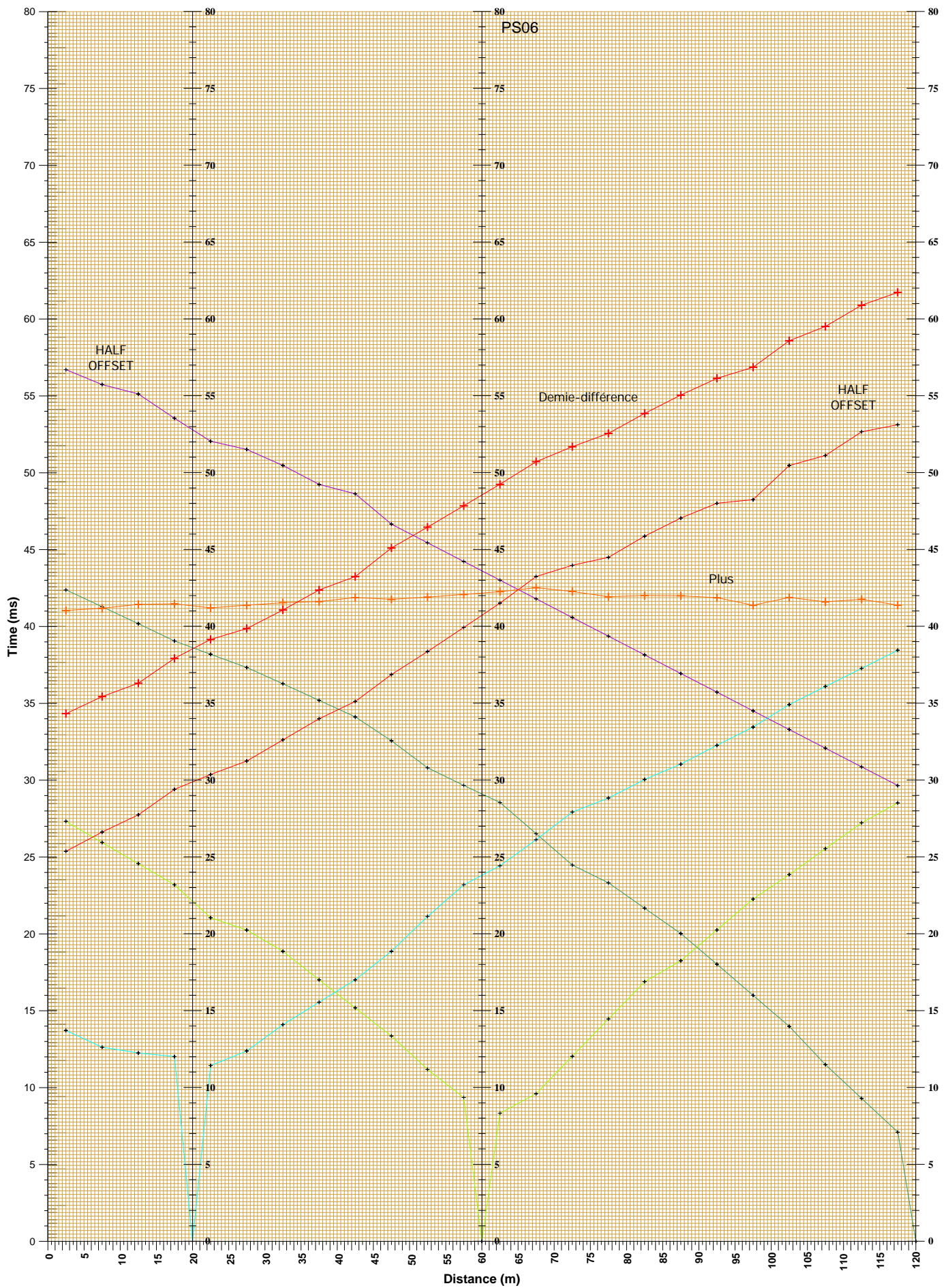
Légende :

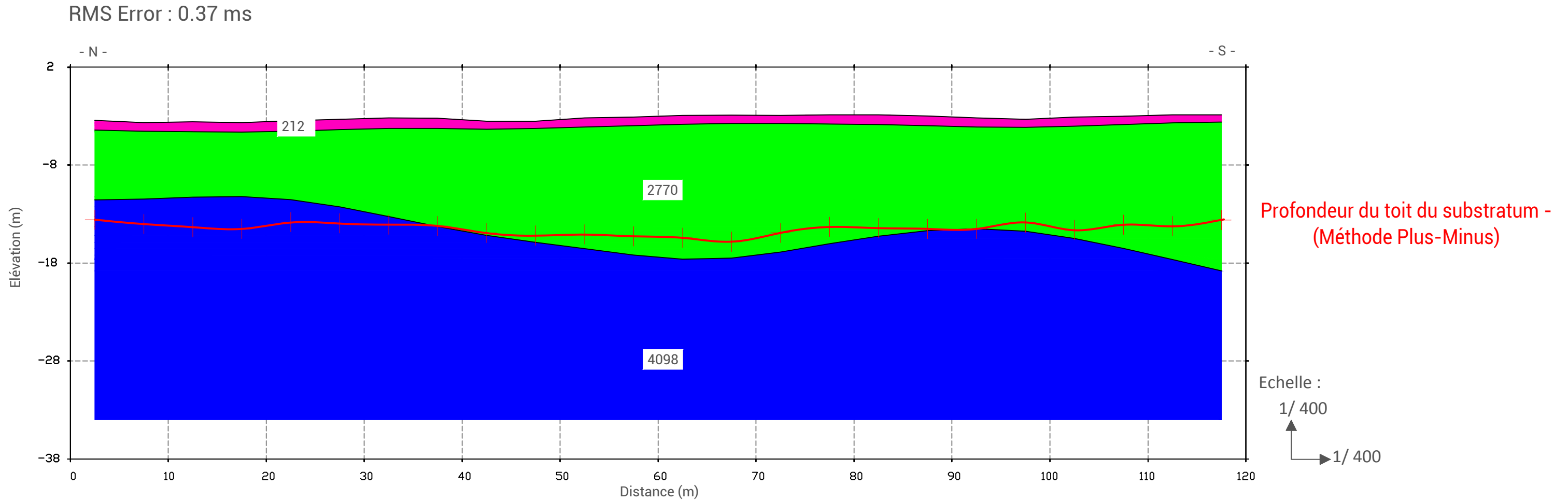
- Sédiments avec vitesse sismique
- Rocher altéré et/ou fracturé avec vitesse sismique
- Substratum sain avec vitesse sismique
- Position du substratum via la méthode Plus-Minus

Traitement avec la méthode Plus-Minus





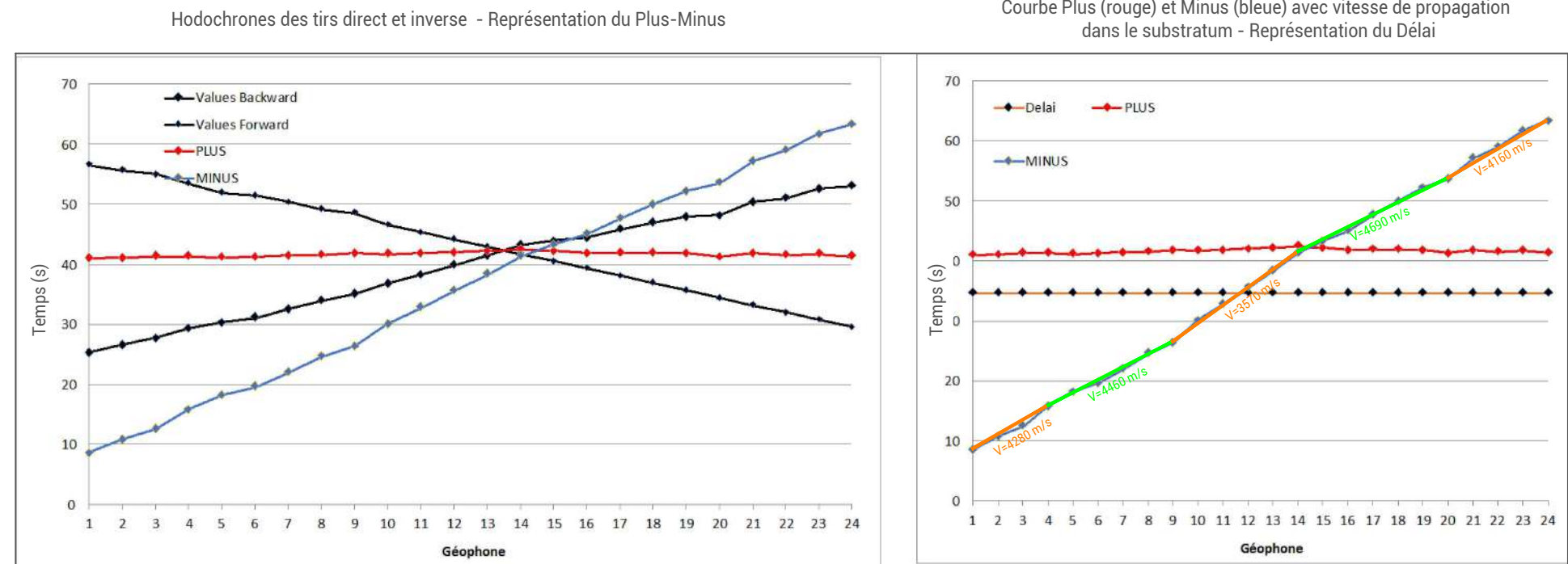


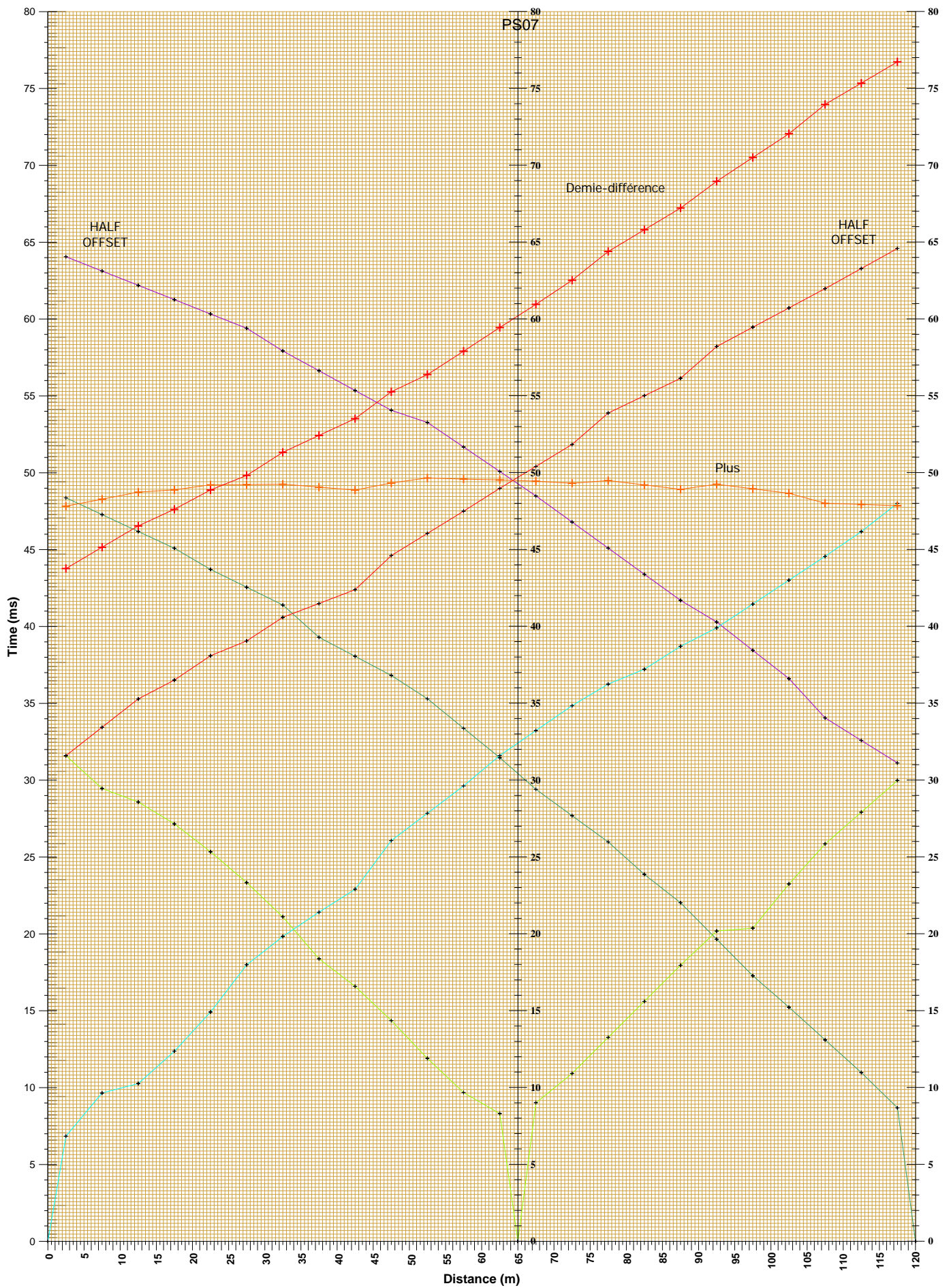


Légende :

- Sédiments avec vitesse sismique
- Rocher altéré et/ou fracturé avec vitesse sismique
- Substratum sain avec vitesse sismique
- Position du substratum via la méthode Plus-Minus

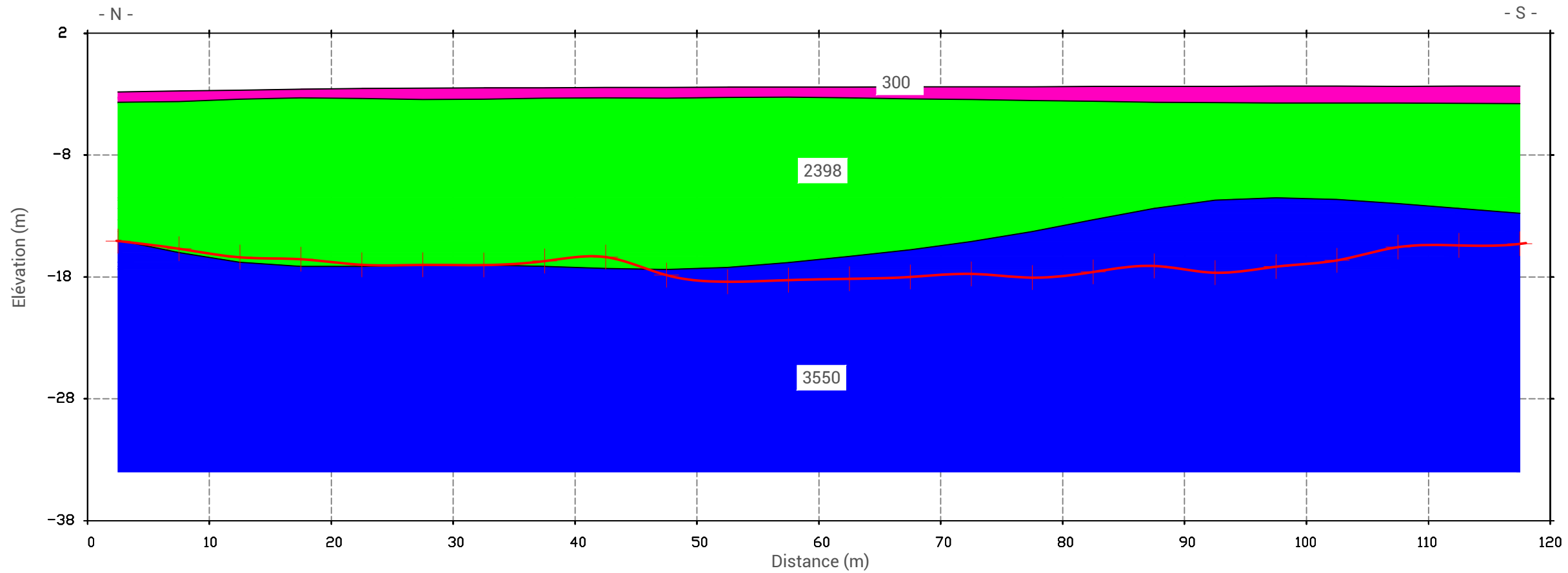
Traitement avec la méthode Plus-Minus







RMS Error : 0.49 ms



Profondeur du toit du substratum - (Méthode Plus-Minus)

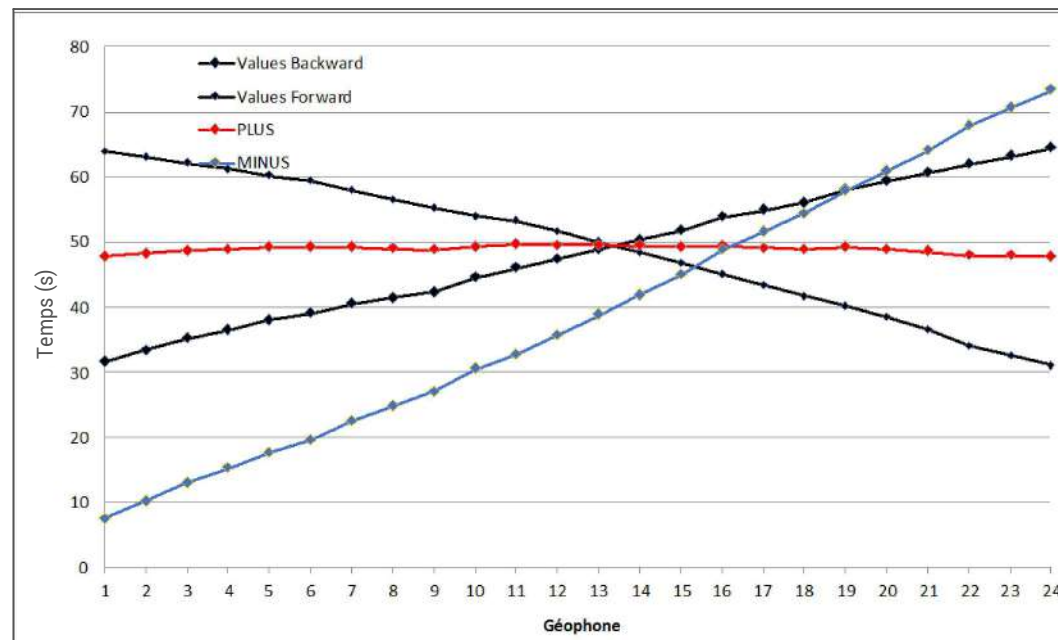
Echelle :  
1/ 400  
1/ 400

Légende :

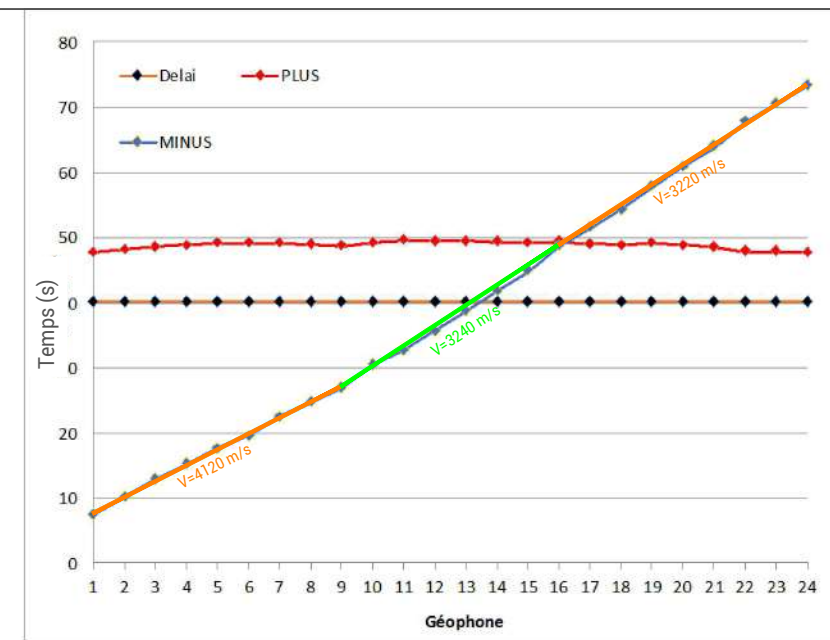
- Sédiments avec vitesse sismique
- Rocher altéré et/ou fracturé avec vitesse sismique
- Substratum sain avec vitesse sismique
- Position du substratum via la méthode Plus-Minus

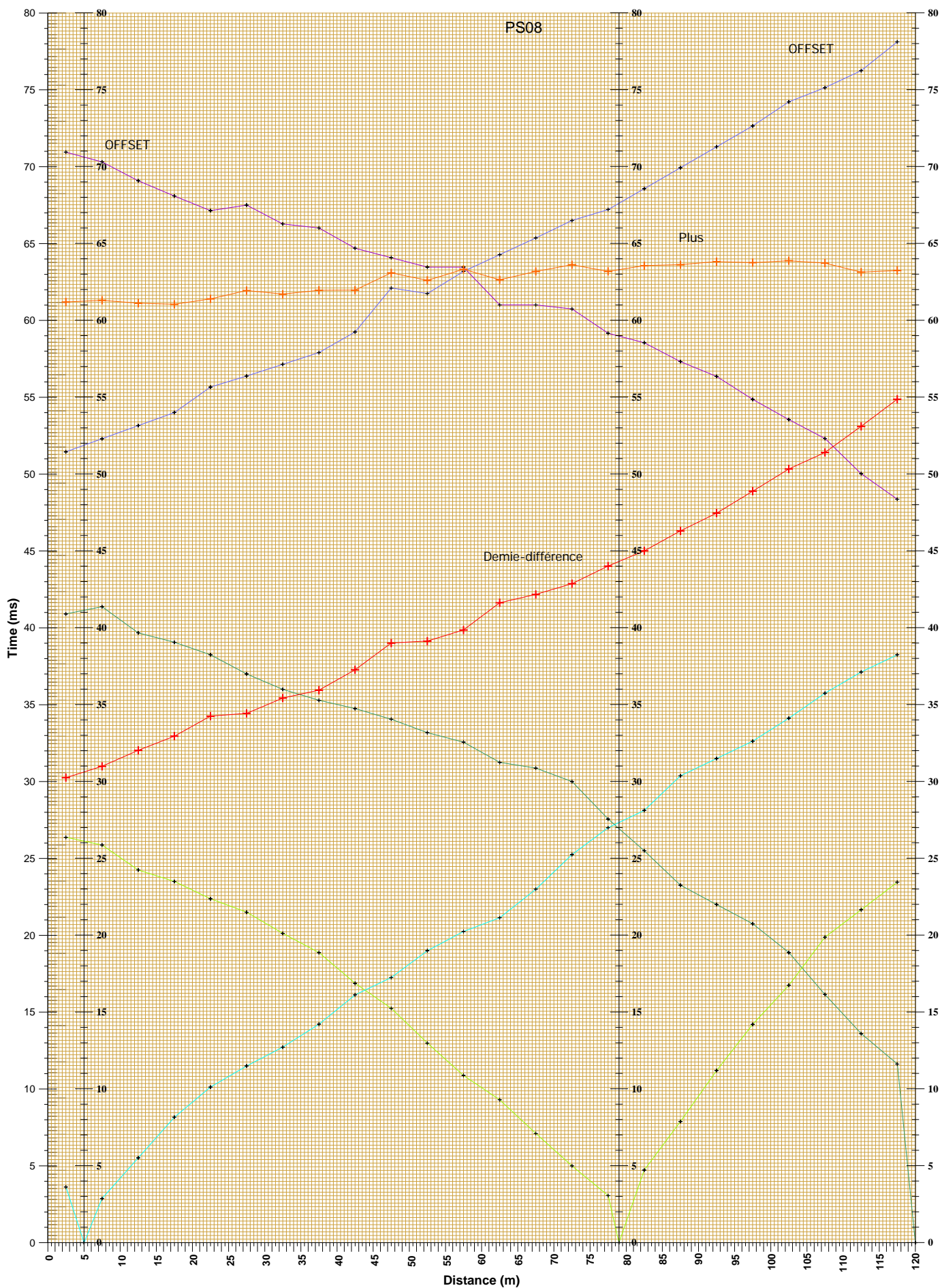
### Traitement avec la méthode Plus-Minus

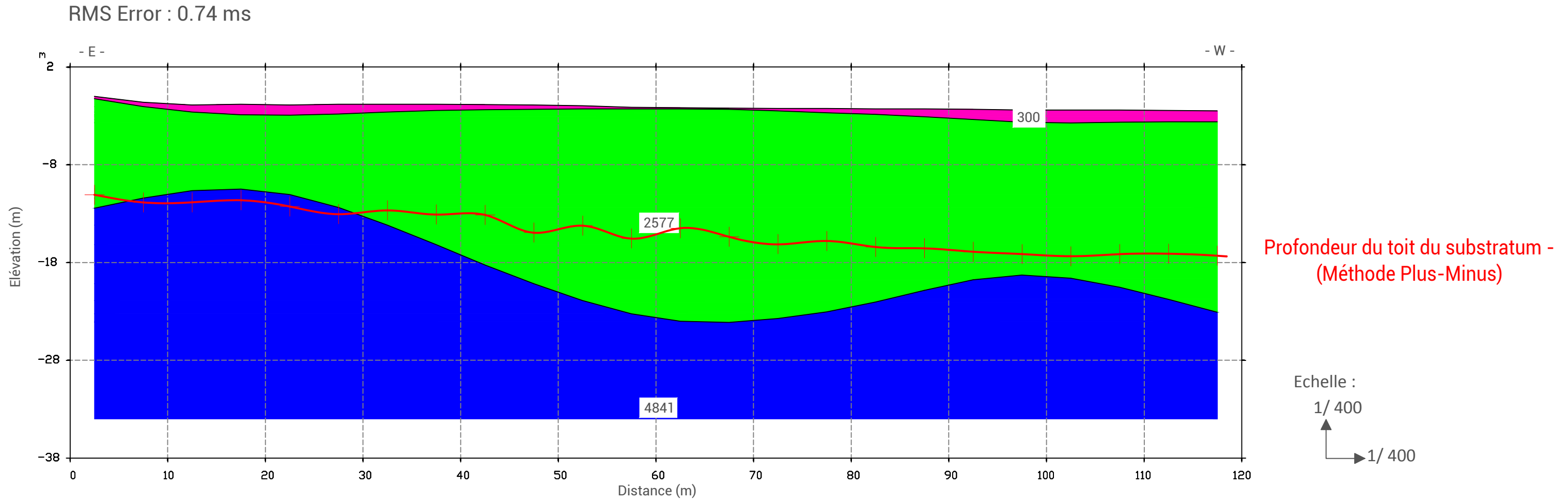
Hodochrones des tirs direct et inverse - Représentation du Plus-Minus



Courbe Plus (rouge) et Minus (bleue) avec vitesse de propagation dans le substratum - Représentation du Délai



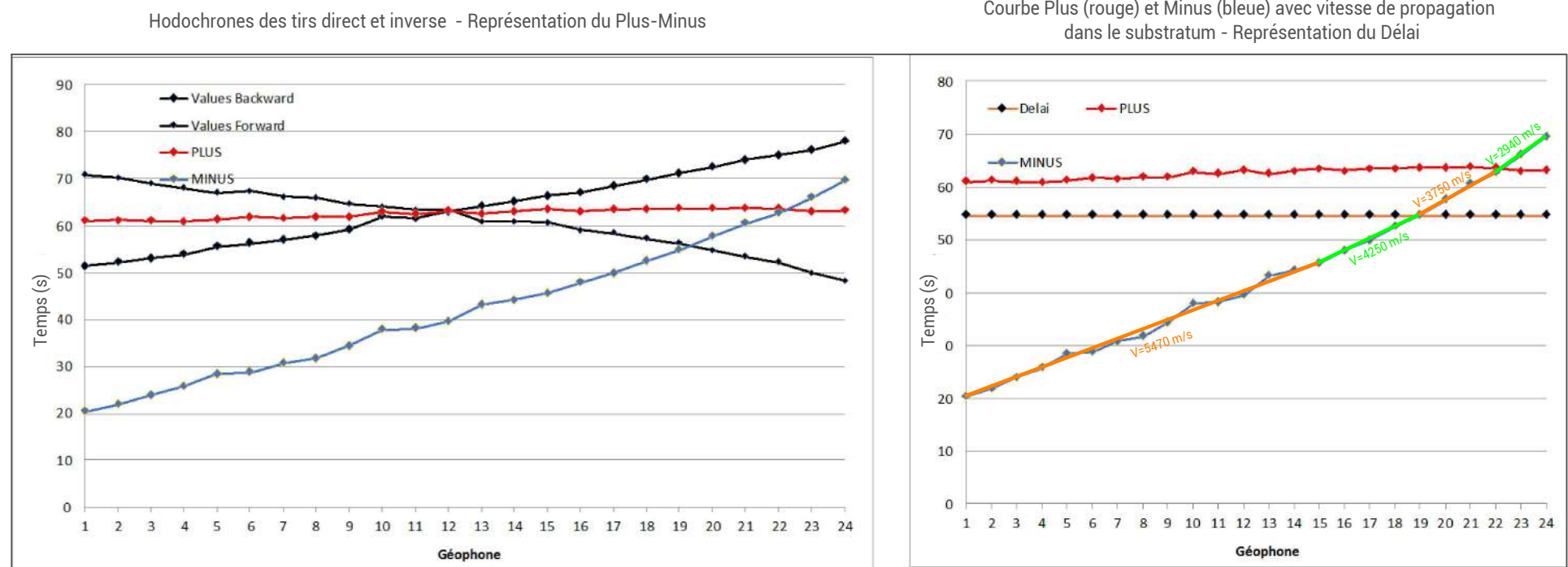


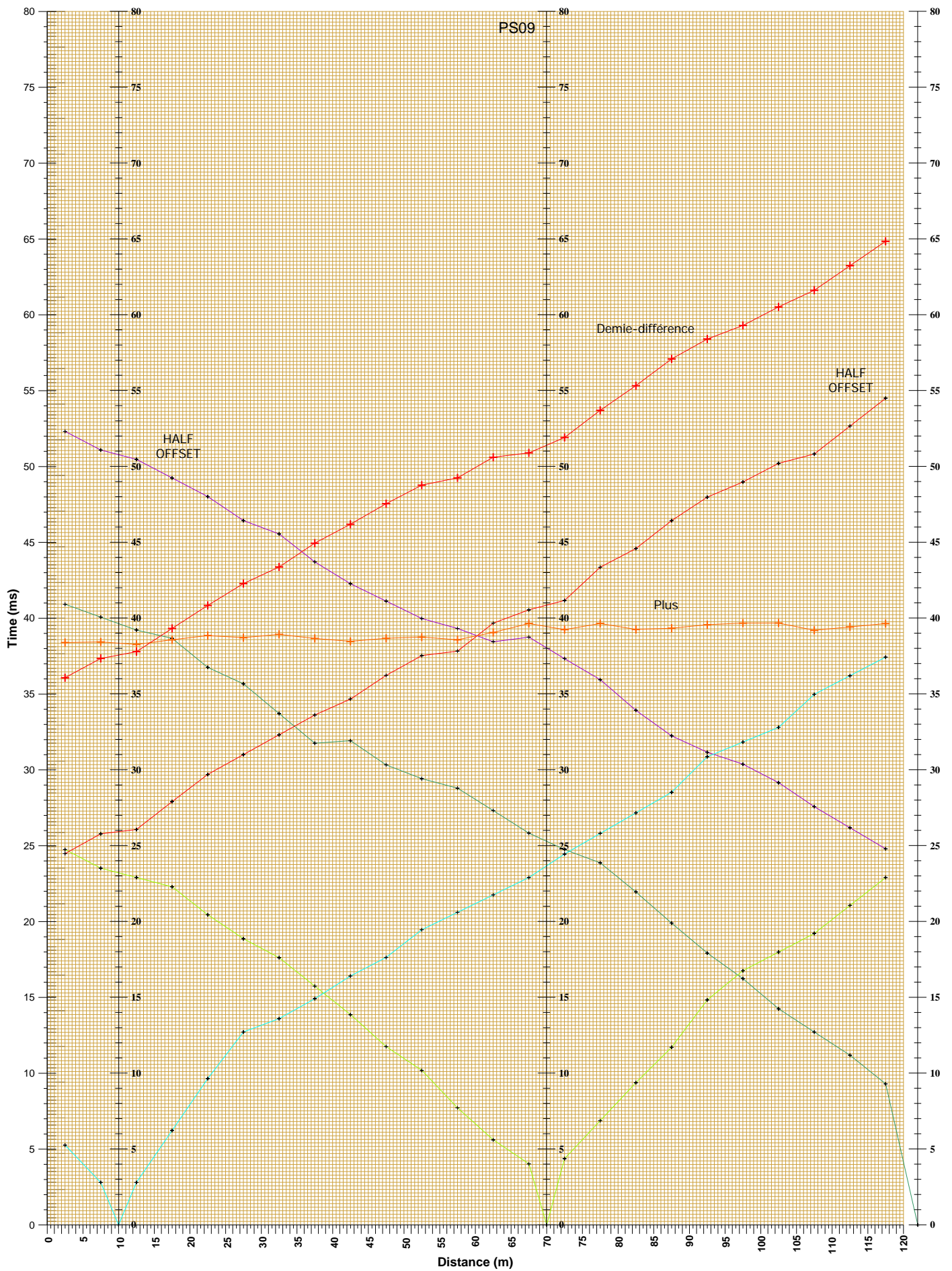


Légende :

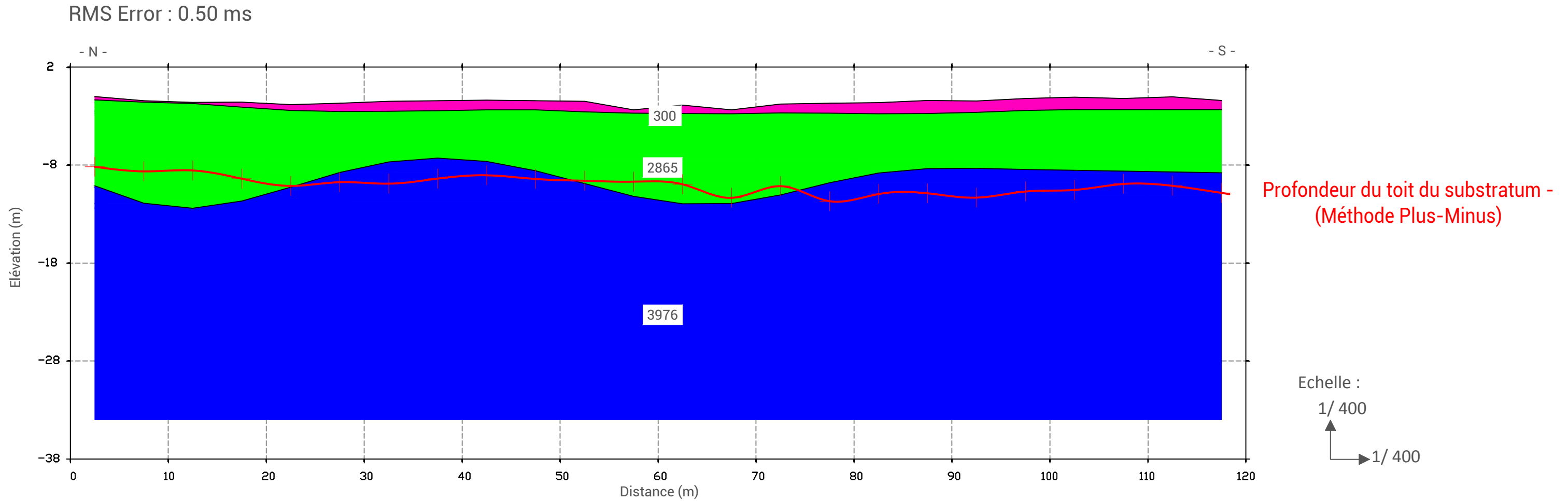
- Sédiments avec vitesse sismique
- Rocher altéré et/ou fracturé avec vitesse sismique
- Substratum sain avec vitesse sismique
- Position du substratum via la méthode Plus-Minus

Traitement avec la méthode Plus-Minus





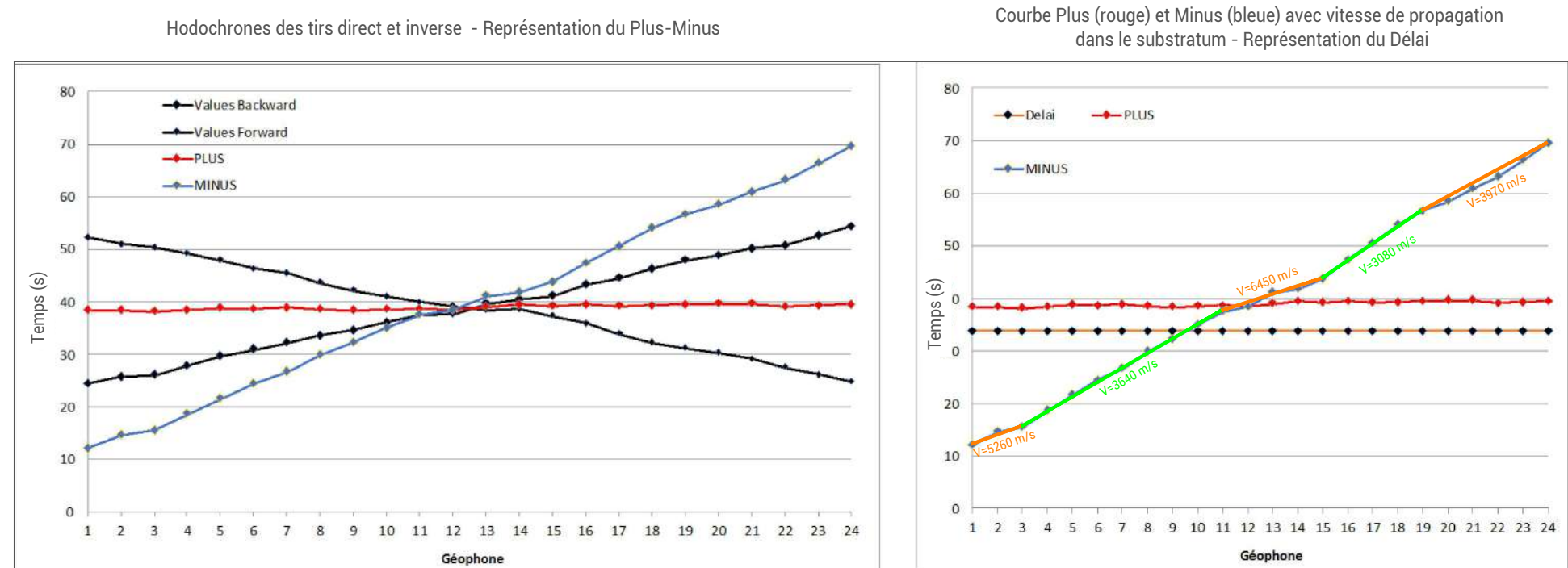


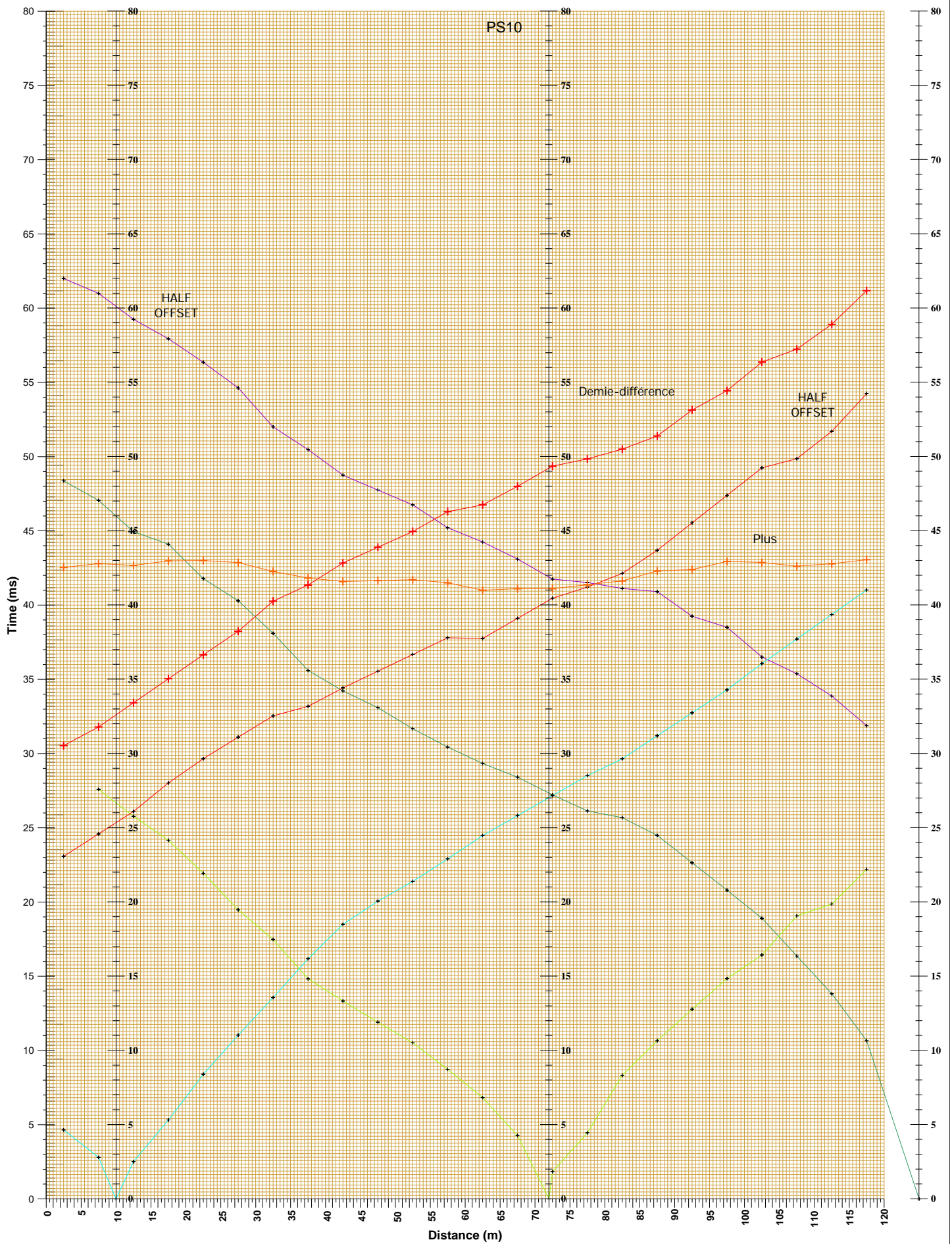


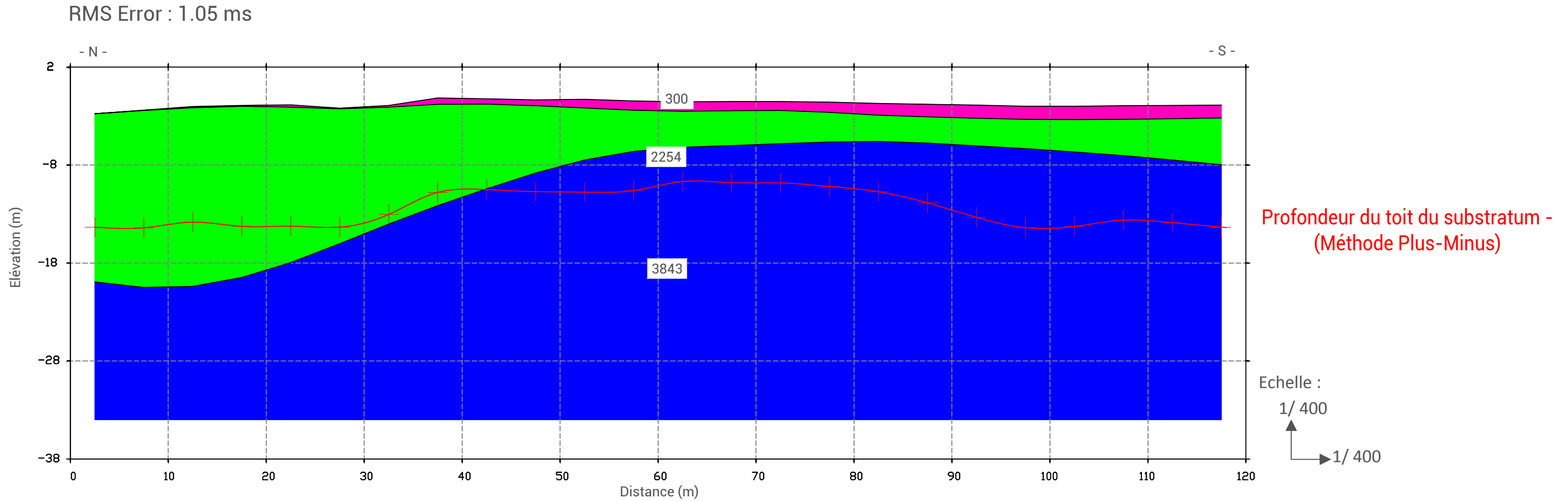
Légende :

- Sédiments avec vitesse sismique
- Rocher altéré et/ou fracturé avec vitesse sismique
- Substratum sain avec vitesse sismique
- Position du substratum via la méthode Plus-Minus

Traitement avec la méthode Plus-Minus



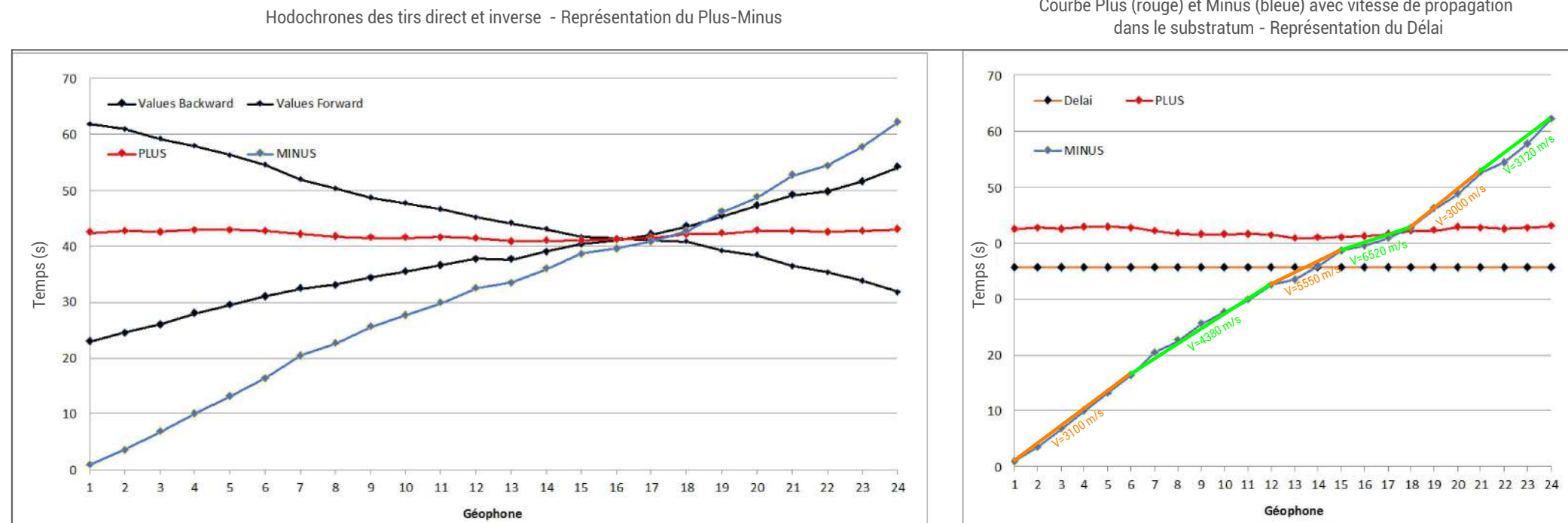




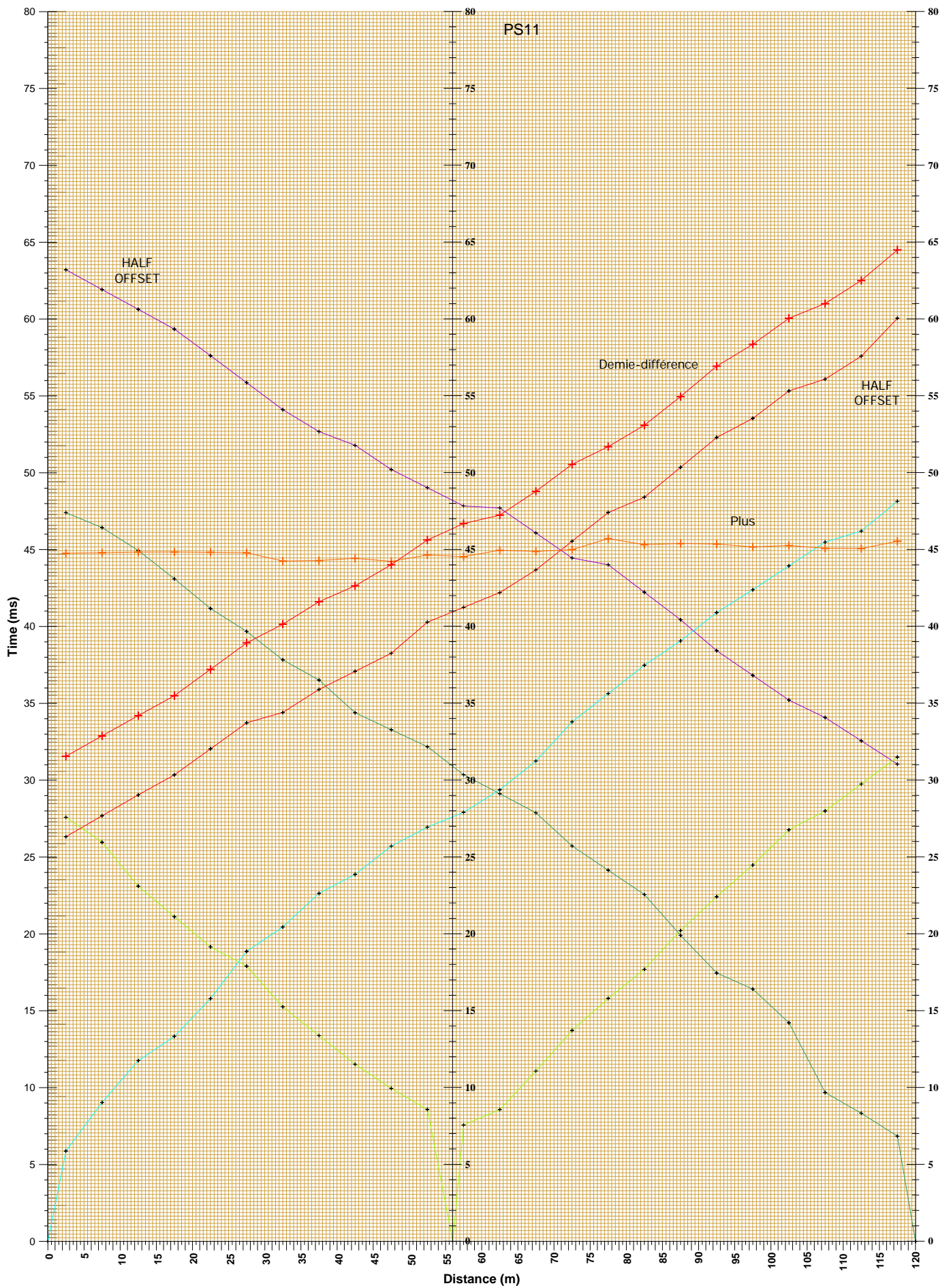
Légende :

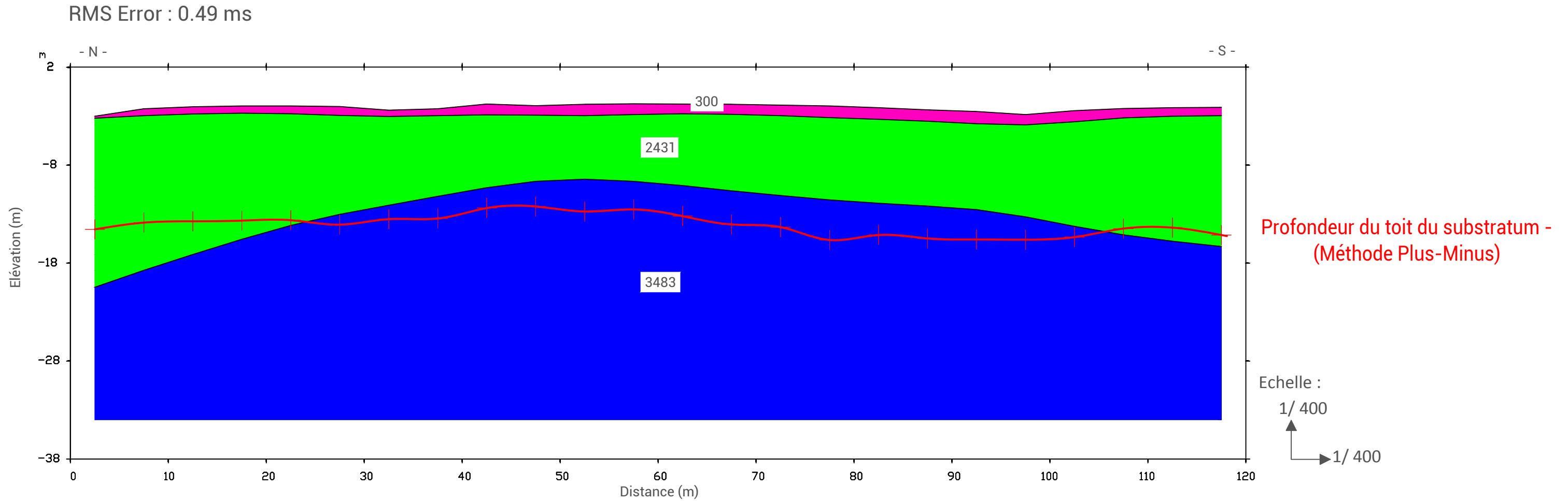
- Sédiments avec vitesse sismique
- Rocher altéré et/ou fracturé avec vitesse sismique
- Substratum sain avec vitesse sismique
- Position du substratum via la méthode Plus-Minus

Traitement avec la méthode Plus-Minus





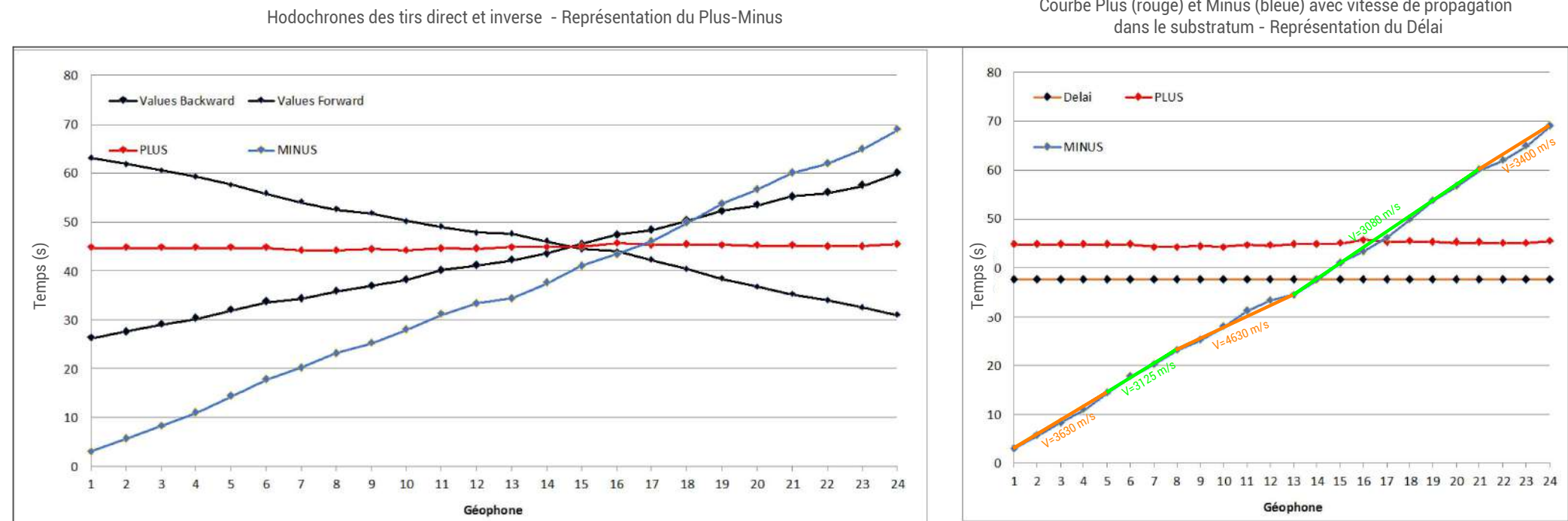


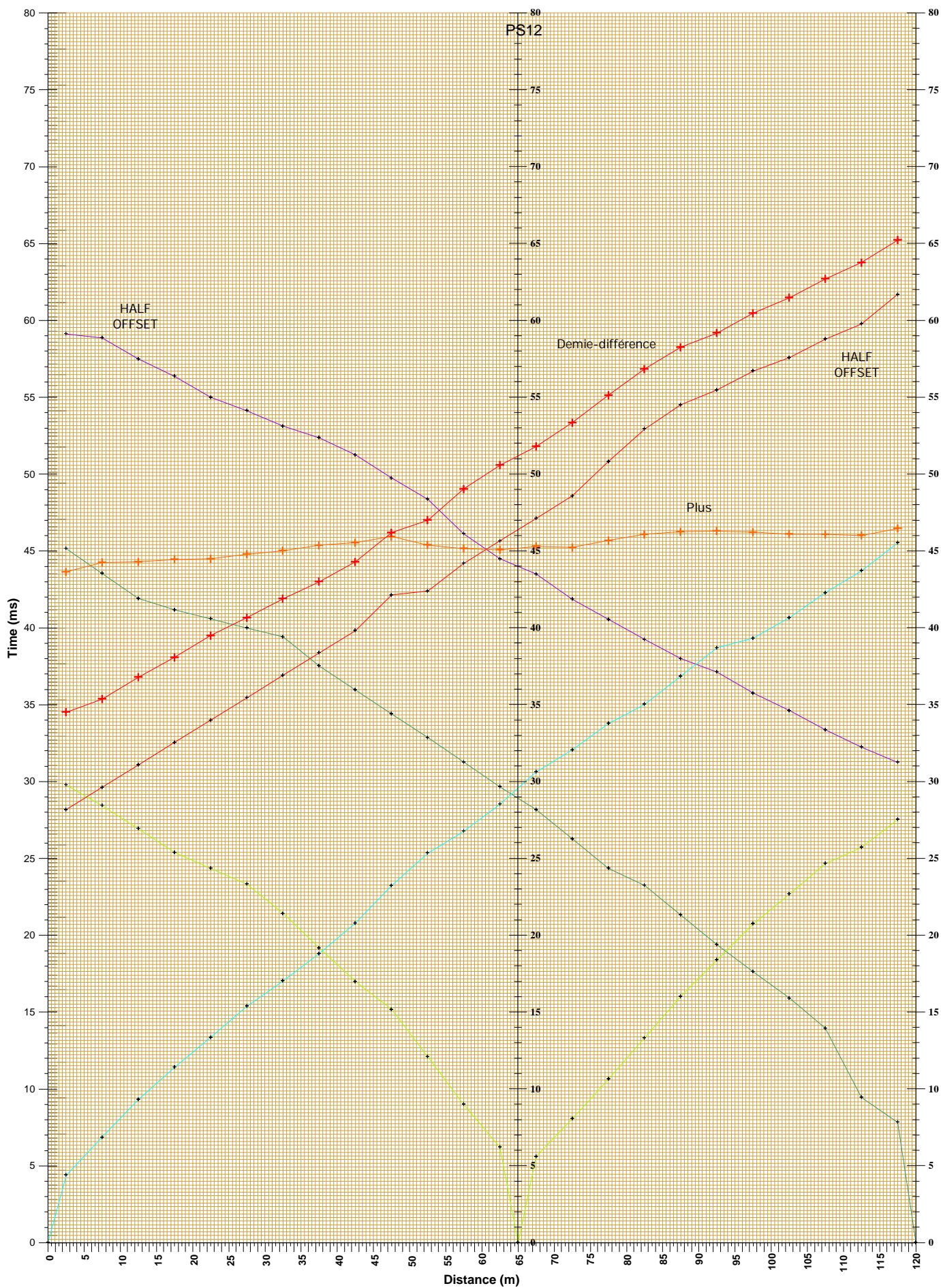


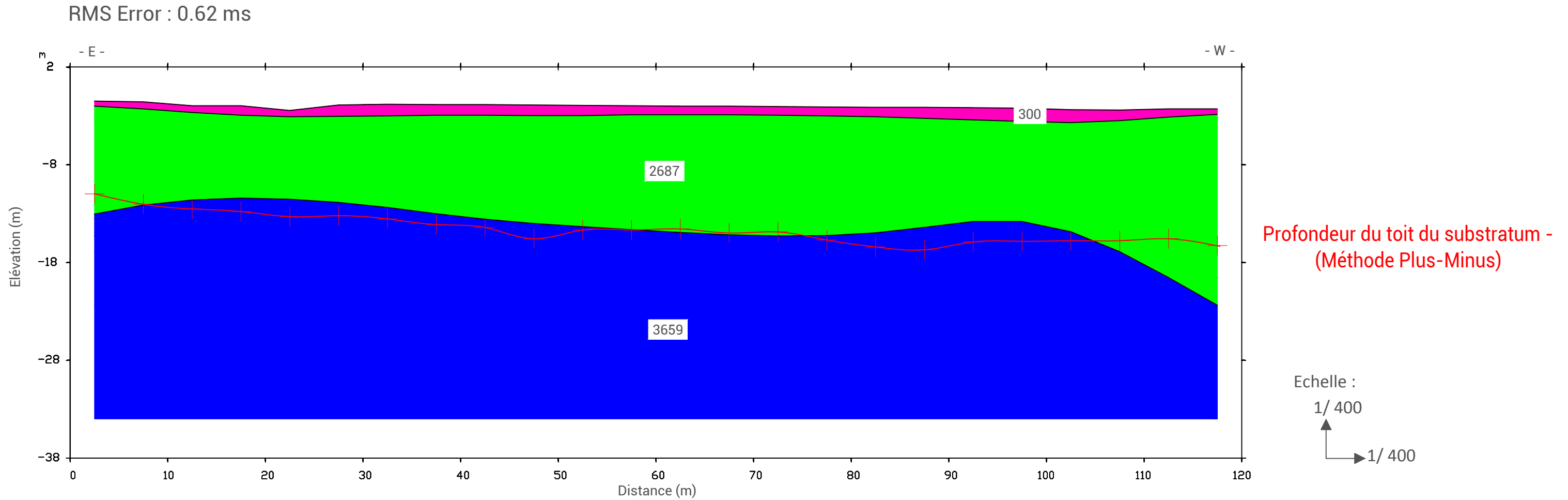
Légende :

- Sédiments avec vitesse sismique
- Rocher altéré et/ou fracturé avec vitesse sismique
- Substratum sain avec vitesse sismique
- Position du substratum via la méthode Plus-Minus

Traitement avec la méthode Plus-Minus



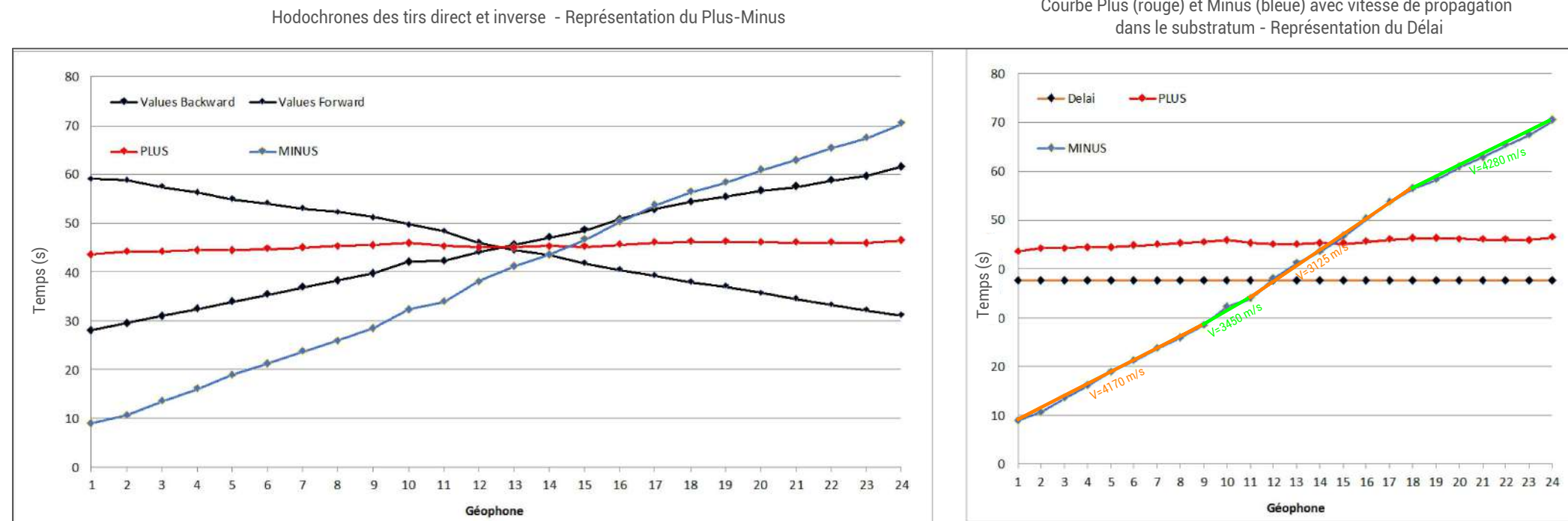




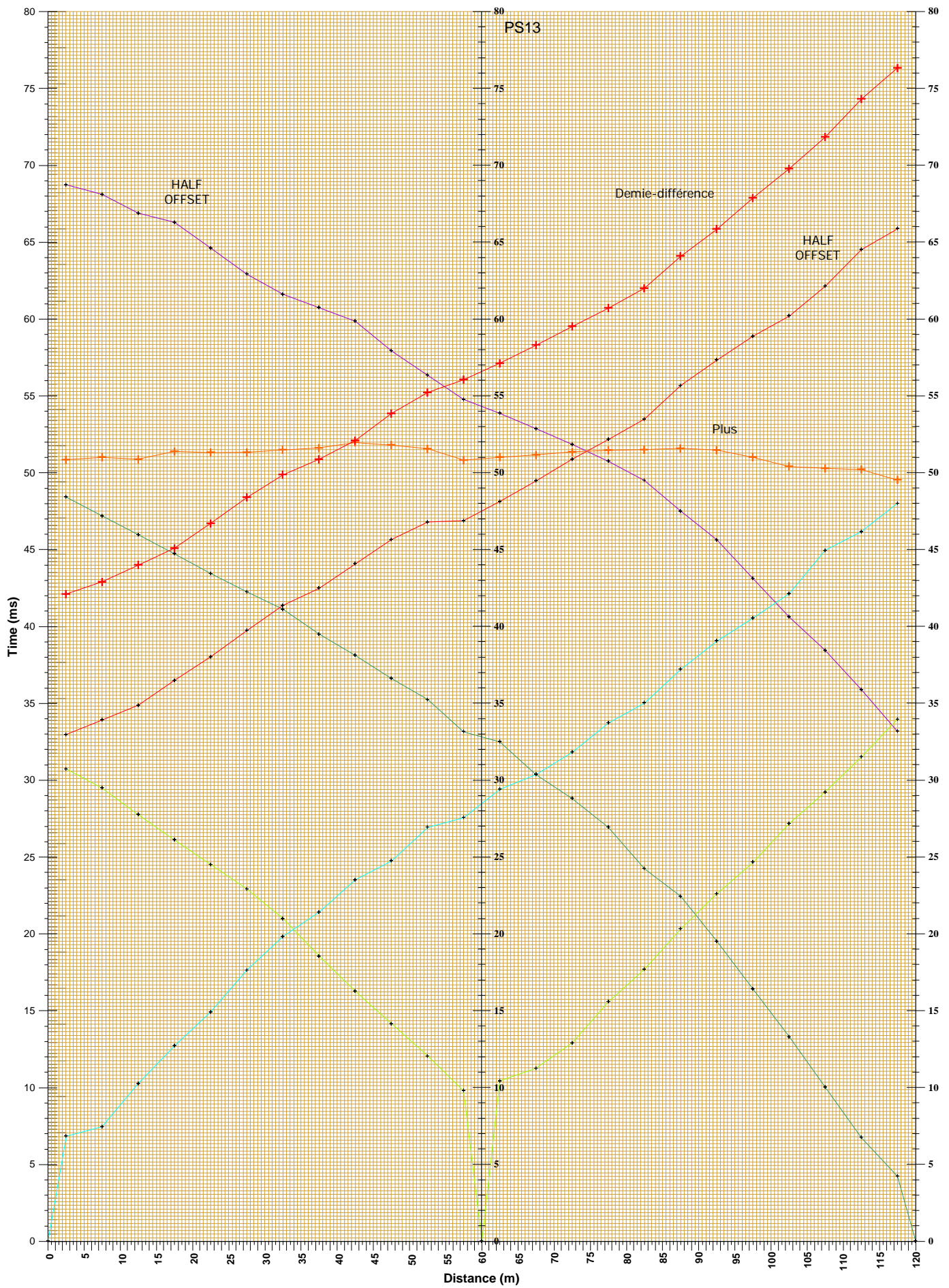
Légende :

- Sédiments avec vitesse sismique
- Rocher altéré et/ou fracturé avec vitesse sismique
- Substratum sain avec vitesse sismique
- Position du substratum via la méthode Plus-Minus

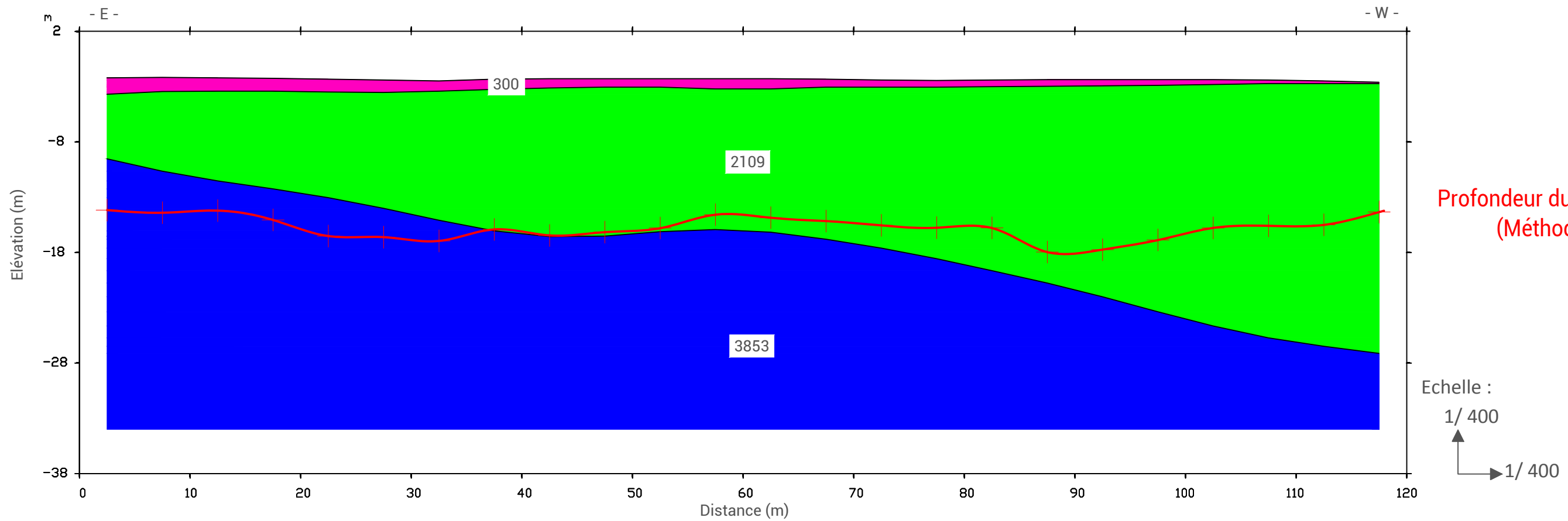
Traitement avec la méthode Plus-Minus







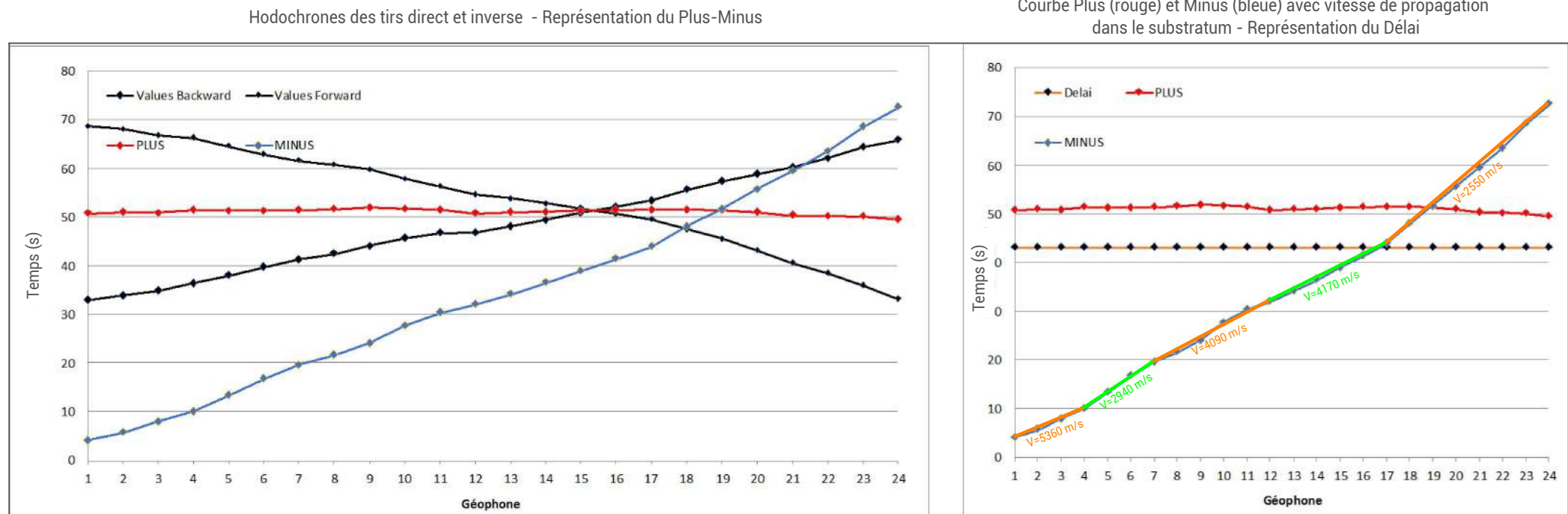
RMS Error : 1.41 ms



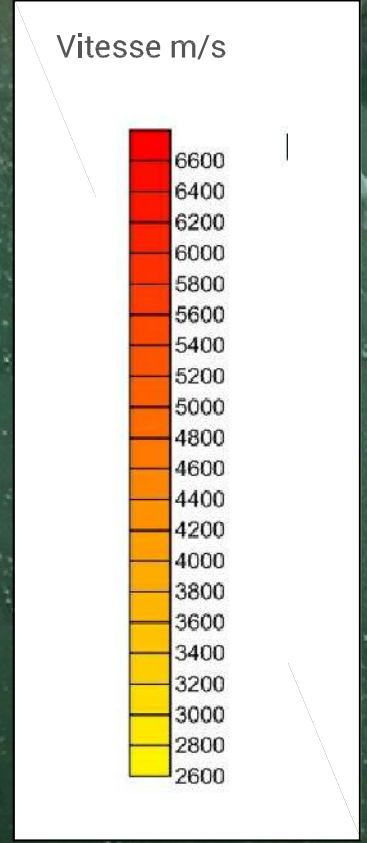
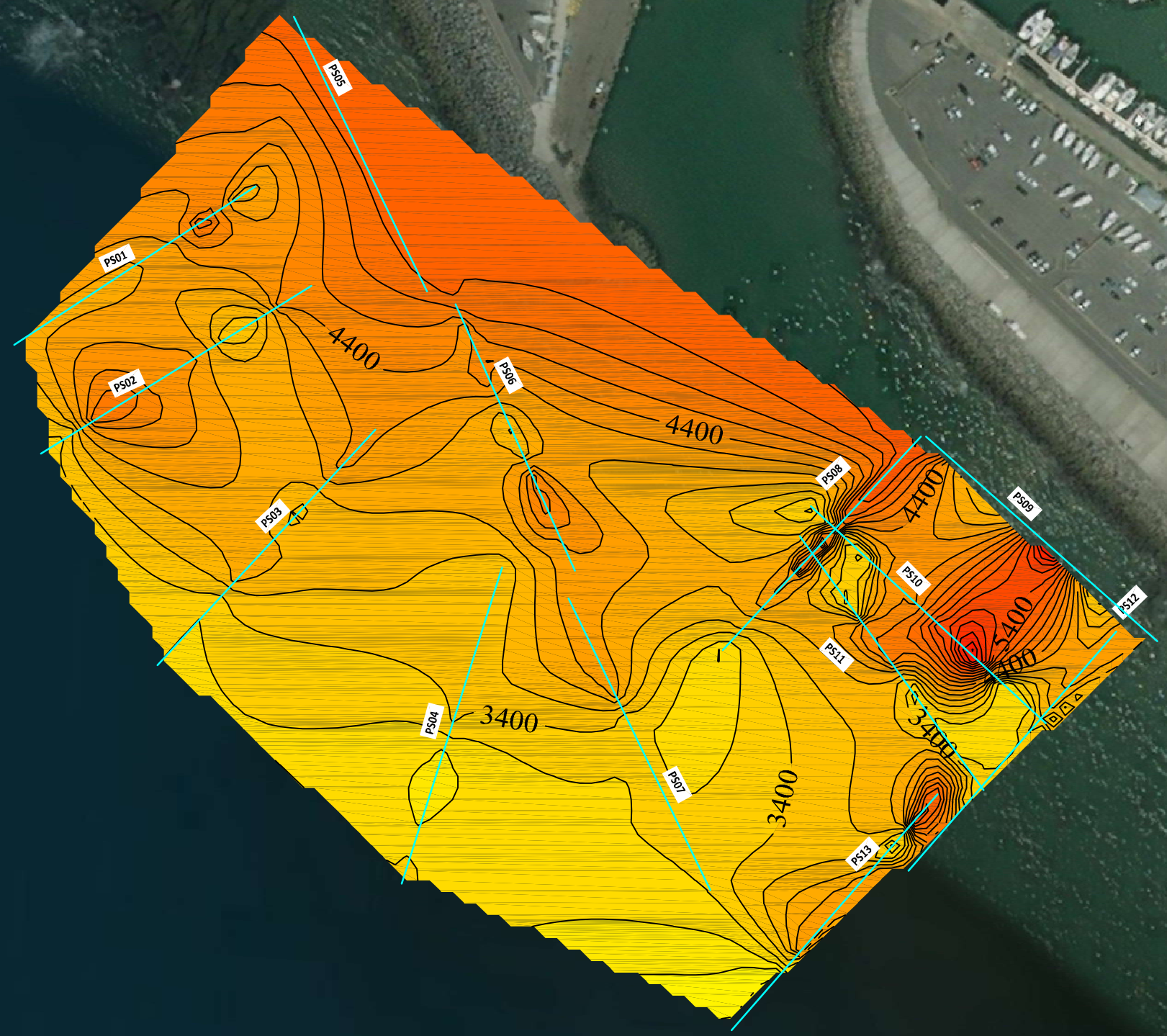
Légende :

- Sédiments avec vitesse sismique
- Rocher altéré et/ou fracturé avec vitesse sismique
- Substratum sain avec vitesse sismique
- Position du substratum via la méthode Plus-Minus

### Traitement avec la méthode Plus-Minus



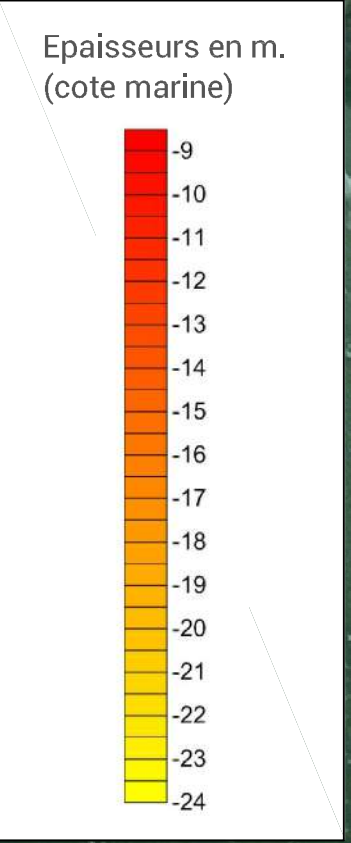
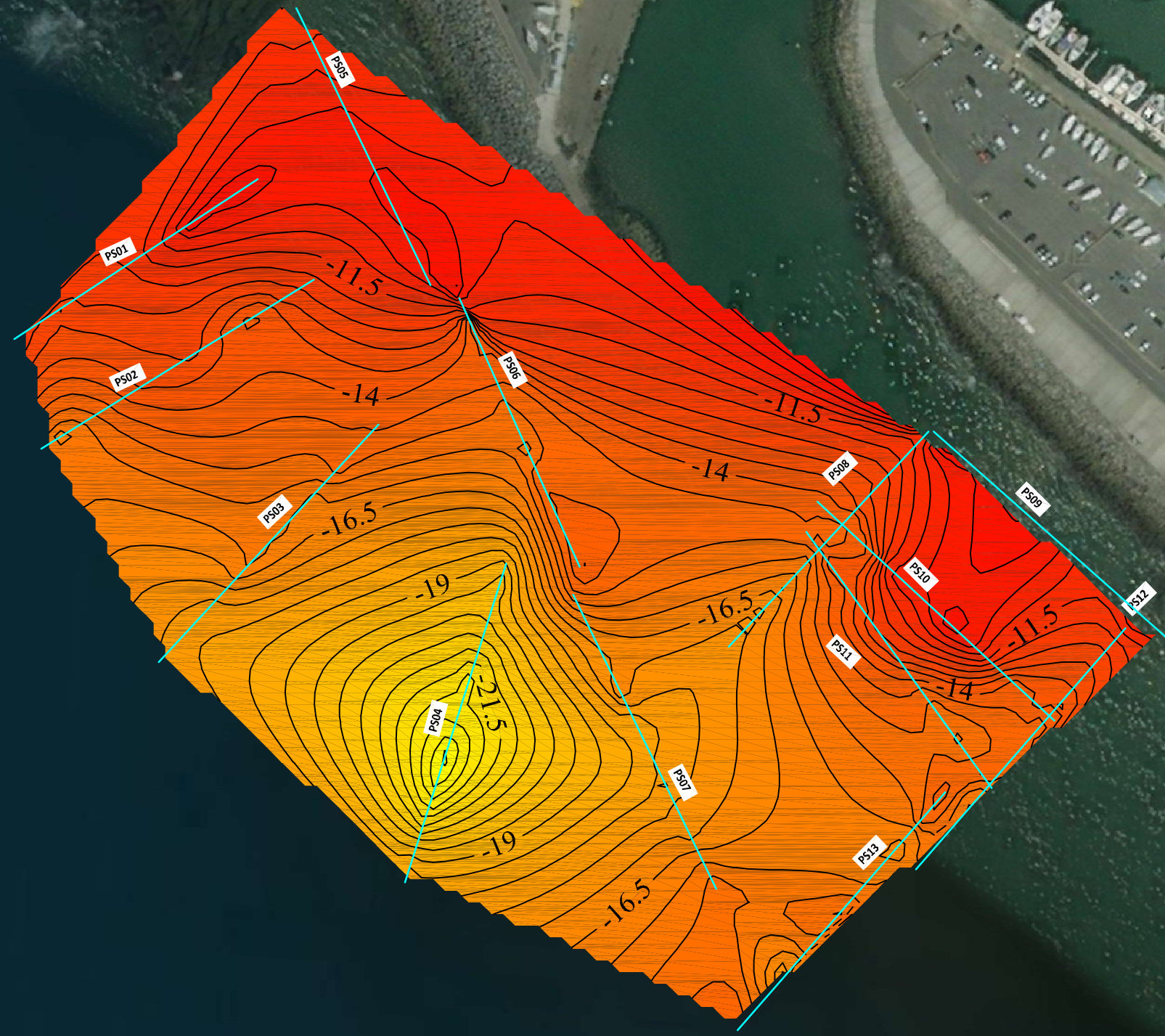




	<p>Figure AB : Carte des vitesses sismiques du substratum sain (via méthode Plus-Minus) Extension du port de La Turballe (44)</p>	<p>Rapport N19-44050A</p>
--	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------

Echelle :  
1/ 2000  
1/ 2000





	<p>Figure AC : Carte du toit du substratum sain (via méthode Plus-Minus)</p> <p>Extension du port de La Turballe (44)</p>	<p>Rapport N19-44050A</p>
--	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------

Echelle :  
1/ 2000  
↑  
→ 1/ 2000



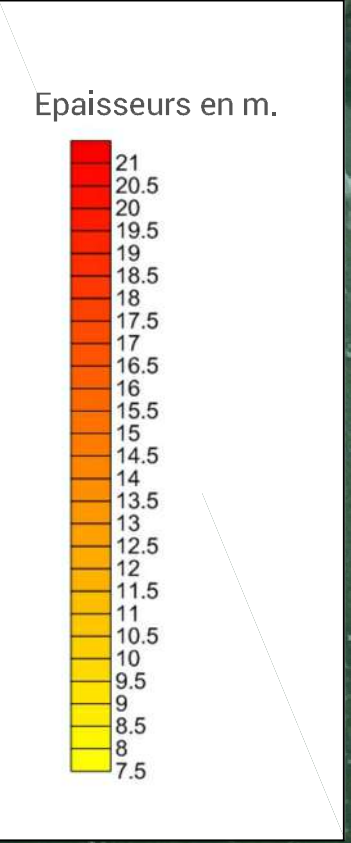
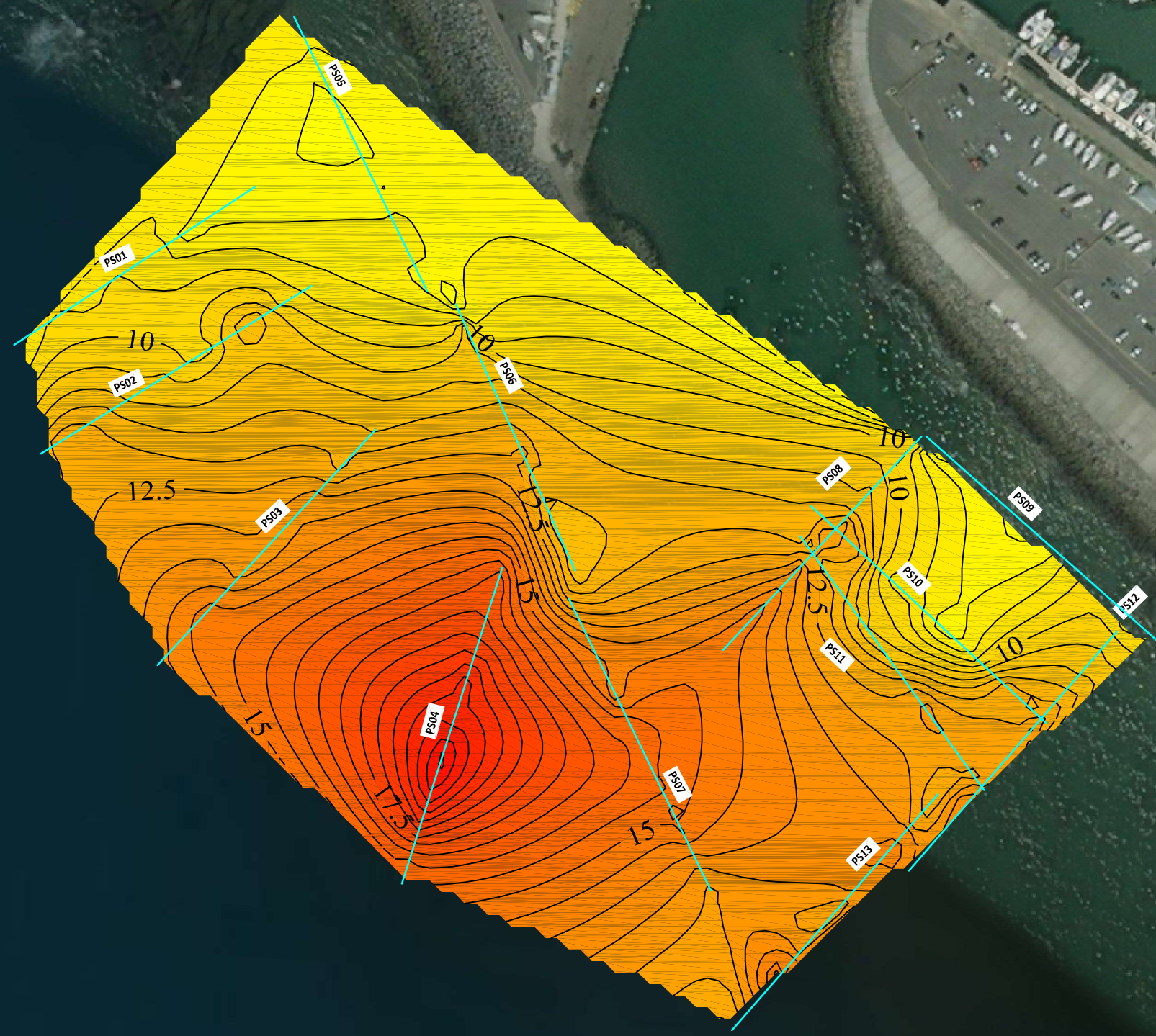
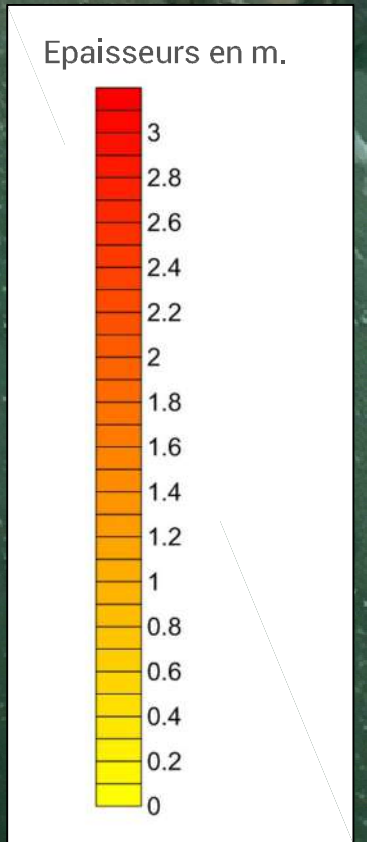
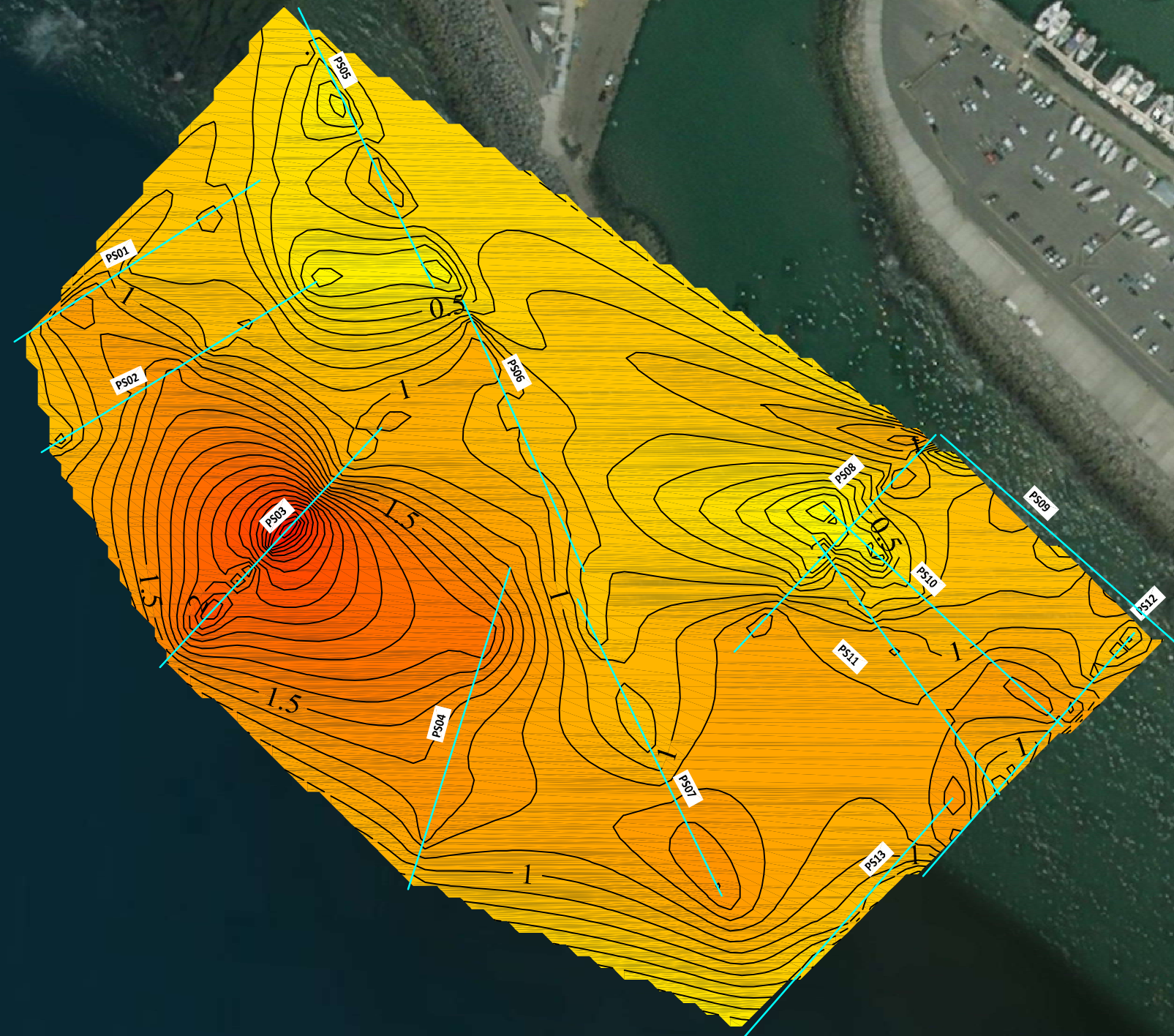


Figure AD : Carte des épaisseurs des terrains superficiels et altérés (via méthode Plus-Minus)  
Extension du port de La Turballe (44)

Rapport N19-44050A

Echelle :  
1/ 2000  
1/ 2000





	<p>Figure AE : Carte des épaisseurs des sédiments (via Plotrefra)</p> <p>Extension du port de La Turballe (44)</p>	<p>Rapport N19-44050A</p>
--	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------

Echelle :  
1/ 2000  
↑  
1/ 2000 →

# ANNEXES

# **ANNEXE 1 : PRINCIPE DE LA SISMIQUE REFRACTION**





## PRINCIPE DE LA SISMIQUE RÉFRACTION

### 1 - PRINCIPE

La sismique réfraction utilise la propagation des ondes acoustiques (ou ondes sismiques) pour reconnaître et caractériser les différentes formations géologiques du sous-sol. Pour que les ondes soient réfractées le long d'une interface géologique il faut une distance suffisante entre la source et les récepteurs. Cette distance dépend de l'épaisseur des couches géologiques, du contraste de vitesse sismique entre les couches, et du pendage de ces couches. Tous ces paramètres peuvent être déterminés par l'analyse des temps de trajet des ondes sismiques. La sismique réfraction permet également d'estimer la rippabilité du substratum.

La vitesse de propagation des ondes sismiques dans une formation géologique dépend principalement de la rigidité et de la densité de celle-ci. Ainsi une roche meuble ou altérée affichera des vitesses faibles, alors qu'une roche dure, compacte et saine affichera des vitesses élevées. Une roche poreuse et perméable montrera une vitesse plus élevée lorsqu'elle est saturée en eau.

Les capteurs (géophones) sont implantés de façon rectiligne et espacés régulièrement. Un dispositif standard comporte 12 ou 24 capteurs, généralement espacés de 5 ou 10 m.

La sismique réfraction requiert la disposition des tirs de manière symétrique. Il faut au minimum : 1 tir au centre, 2 tirs en bout, et 2 tirs avec offset. Les tirs avec offset (c'est-à-dire effectués en dehors du dispositif) permettent d'atteindre une plus grande profondeur. Des tirs intermédiaires à l'intérieur du dispositif peuvent également être effectués selon les besoins.

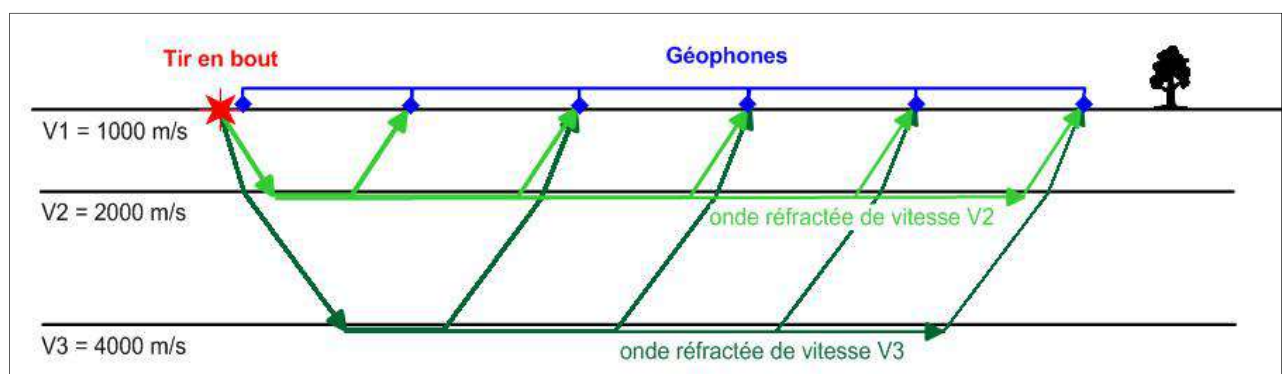


Figure 1 : Principe de la sismique réfraction

## 2 - MATERIEL

L'unité de contrôle, de type Dakling 4 (Geometrics), enregistre les données. Elle est alimentée par une batterie de 12V et elle est reliée à une flûte comportant 24 géophones (hydrophones). La liaison avec la source sismique se fait par radio.

La source sismique peut être une masse actionnée manuellement, une chute de poids, de l'explosif, ou encore un canon à air comprimé en contexte aquatique. La source doit être choisie de façon à établir une onde sismique d'énergie suffisante pour être mesurable sur toute la longueur du dispositif.



Figure 2 : Unité de contrôle avec radio (à gauche) - Canon à air (à droite)

## 3 - RESULTATS

Les données brutes se présentent sous la forme de traces sismiques (une trace correspond à un géophone), comme présenté sur la figure 3 ci-dessous.

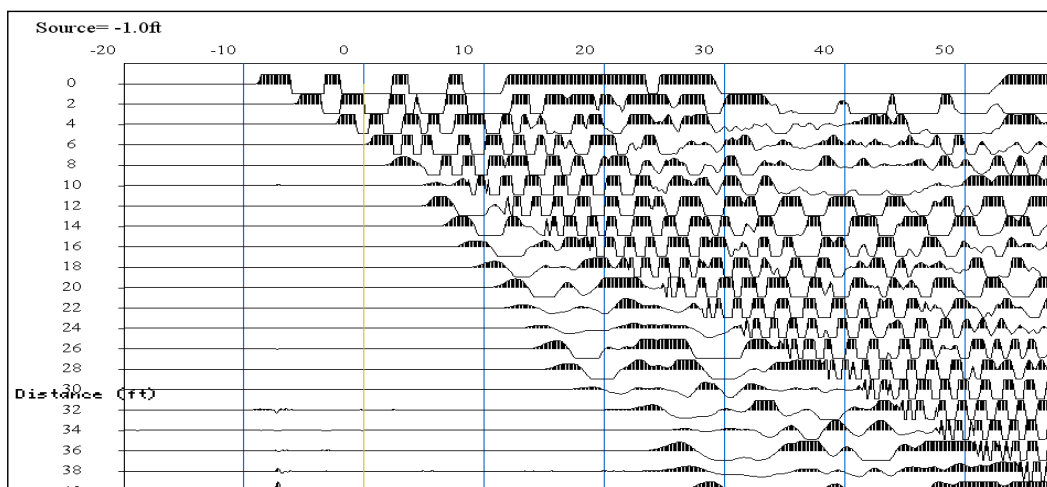


Figure 3 : Exemple de données brutes pour un tir en bout

Le temps d'arrivée de la première onde réfractée est pointé sur chaque trace de chaque tir, à l'aide du logiciel Pickwin. Les temps ainsi déterminés sont présentés sous la forme de courbes appelées hodochrones, avec en abscisse la distance le long du dispositif et en ordonnée le temps. Ces hodochrones peuvent être affichées et analysées avec le logiciel Plotrefra.

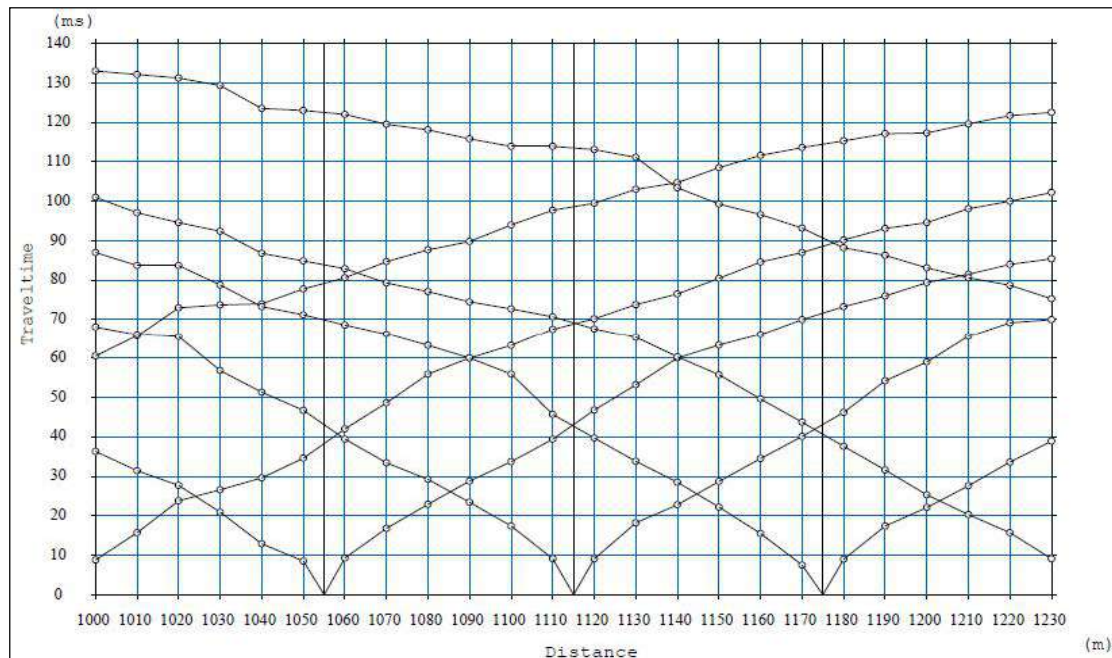


Figure 4 : Exemple d'hodochrones

Un contrôle manuel de toutes les hodochrones doit d'abord être effectué, afin de s'assurer de la qualité des pointés des temps d'arrivée. Ensuite, à partir des pentes apparentes et intercepts de chaque courbe, la vitesse réelle de chaque couche peut être déterminée, ainsi que l'épaisseur de chaque couche au droit des tirs.

Finalement, on obtient un modèle de vitesse sismique suivant la profondeur, qui peut se traduire sous la forme d'une coupe géologique. La présence de sondages le long du dispositif permet de caler plus précisément le modèle issu de la sismique.

### La méthode Plus-Minus

C'est une méthode d'interprétation qui permet d'exploiter les données des deux tirs avec offset. Pour ce faire il faut construire une courbe dite «Minus» comme étant la demi-différence des temps d'arrivée, et une courbe dite «Plus», qui correspond à la moyenne des temps d'arrivée. La courbe «Minus» donne la vitesse du substratum, alors que la courbe «Plus» permet de déduire l'épaisseur du recouvrement du substratum. Cette méthode ne permet pas de discriminer les différentes couches recouvrant le substratum.



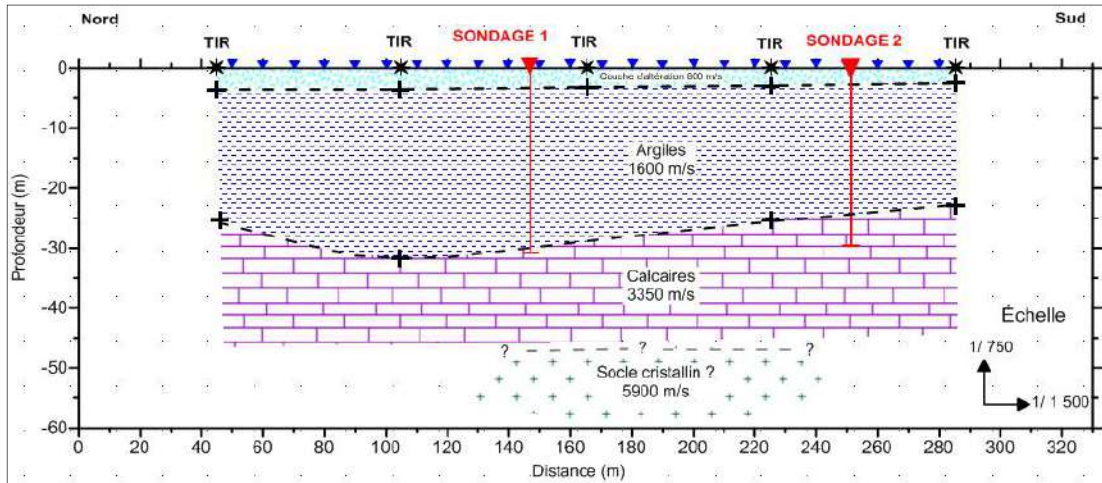


Figure 5 : Modèle géologique final

Souvent, la vitesse sismique varie le long d'une même interface, selon la qualité de la roche dans laquelle l'onde se propage (roche plus ou moins altérée). La vitesse sismique peut alors servir à estimer la rippabilité d'un niveau rocheux situé en profondeur.

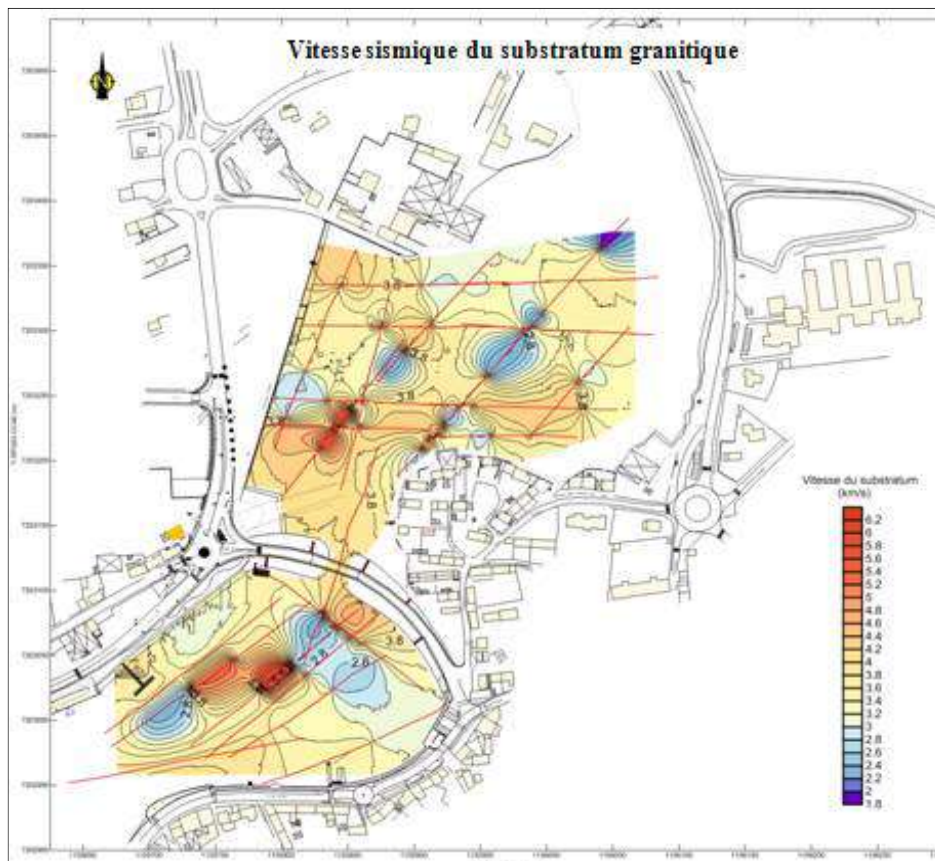


Figure 6 : Carte de vitesse sismique le long d'une interface géologique

#### 4 – LIMITES DE LA SISMIQUE REFRACTION

- La sismique réfraction est adaptée pour des géométries du sous-sol tabulaires ou s'en approchant. Des couches avec des pendages trop importants ou avec un toit très irrégulier ne pourront être mises en évidence.
- Si une couche possède une vitesse sismique plus faible que la couche la surmontant, alors cette couche ne pourra être mise en évidence.
- Pour qu'une couche soit mise en évidence, son épaisseur ne doit pas être trop faible par rapport à sa profondeur.
- D'un point de vue pratique, la sismique réfraction réclame des dégagements importants autour du dispositif de géophones. Généralement un tir avec offset s'effectue à une distance égale à une fois ou deux fois la longueur du dispositif.





**calligée**  
SCIENCES & TECHNIQUES GÉOLOGIQUES

-  géologie & géophysique
-  hydrogéologie
-  eaux superficielles & eaux usées
-  sites et sols pollués
-  géomatique & cartographie