EOST - UDS
2ère année EOST
Contrôle d'imagerie sismique à rendre pour le 25/4/22

On s'intéresse à la migration d'une coupe de sismique réflexion p(x,t) acquise avec des couples source-récepteur confondus.

I) La vitesse V_0 = 1000 m/s est constante. Les temps sont simples : $z = V_0 t$ pour un trajet vertical.

La figure 1A montre une coupe sismique p(x,t) à déport nul comportant :
a) une réflexion horizontale à t_0 = 1 s allant de x_0 = 1000 m à x_m = 3000 m
b) une réflexion pentée allant de l'origine à x_1 = 2000 m , t_1 = 1.414 s
c) une hyperbole de diffraction enregistrée de x = 0 m, t_1 = 1.414 s à x_2 = 2732 m , t_2 = 2 s

La figure 1B montre la migration de la réflexion horizontale a).

1) Déterminer le pendage α du réflecteur correspondant à la réflexion b), les coordonnées x_{1m}, z_1 de l'extrémité de ce réflecteur et représenter le réflecteur sur la figure 1B.
2) Déterminer les coordonnées x_d, z_d du point diffractant correspondant à l'hyperbole c).
3) Dessiner les 3 rayons diffractés issus de x_d, z_d émergeant en x_0 , x_1 et x_2 et les rayons réfléchis issus des extrémités des réflecteurs. Pour chacun de ces rayons, indiquer l'angle d'incidence par rapport à la verticale et vérifier que les temps de trajet sont ceux indiqués sur la figure 1A.

La figure 1C montre la TF2D $P(k_x , \omega)$ des réflexions de la figure 1A.
Les coordonnées sont $c_x = k_x/2\pi$ en m^{-1} et $f = \omega/2\pi$ en Hz.

4) Vérifier que les pentes sur la figure 1C correspondent à celles des réflexions de la figure 1A.
5) Déterminer et dessiner les pentes limites de l'éventail de pentes possibles pour des réflexions correspondant à des réflecteurs de pendage -90° à 90° dans le milieu de vitesse V_0.
6) Déterminer et dessiner la pente correspondant à celle en x = 0 et x_2 = 2732 m pour l'hyperbole de la figure 1A.

La figure 1D correspond à la TF2D $P(k_x , k_z)$ du réflecteur horizontal de la figure 1B.
Les coordonnées sont $c_x = k_x/2\pi$ et $c_z = k_z/2\pi$ en m^{-1}

7) Tracer la droite correspondant au réflecteur penté de la figure 1B en indiquant quelle est sa pente.
8) Tracer le lieu des diffractions (correspondant à tous les pendages entre -90° et 90°) pour une fréquence f_0 = 50 Hz.
9) Dans la migration de Stolt, comment la valeur de $P(c_{x0}, f_0)$ encadrée par un carré sur la figure 1C est-elle placée dans le plan (c_x , c_z) ? Indiquer son positionnement par un carré sur la figure 1D.

Sur la figure 1C, les bornes f_m = 100 Hz, $c_{xm} = 0.1\ m^{-1}$ correspondent aux valeurs de Nyquist.

10) Quels sont les pas d'échantillonnage Δt et Δx ?

La figure 2 compare les TF2D obtenues avec le pas Δx de la figure 1 (fig 2A) et celle avec un pas $2\Delta x$ (fig 2B)

11) Dans le cas où le pas est $2\Delta x$, compléter la figure 2B en tenant compte de l'aliasing spatial.
12) Déterminer la valeur de c_{x2} produite par l'aliasing spatial pour le point c_{x1}, f_1 encadré par un carré sur la figure 2A. Placer la sur la figure 2B.
13) A quel pendage α_2 faux correspond cette valeur c_{x2} ? Comment l'onde plane de fréquence f_1 apparait-elle sur la section migrée ?

II) La vitesse sous les réflecteurs de la figure 1 est V_1 = 1500 m/s. Elle reste V_0 = 1000 m/s au-dessus.

La figure 3A montre deux réflexions à la base de la couche de vitesse V_1 :
d) une réflexion horizontale à t_3 = 1.5 s allant de x_0 = 1000 m à x_m = 3000 m
e) une réflexion pentée allant de x = 0, t_4 = 1.167 s à x_5 = 1303 m , t_5 = 1.545 s
ainsi qu'une diffraction f) présentant une triplication entre x = 1000 et x_5 = 1303 m

La figure 3B montre la migration de la réflexion horizontale d)

14) Vérifier que la profondeur z_3 = 1750 m du réflecteur correspondant à la réflexion d) est juste.
15) Vérifier que la pente de la réflexion e) est celle correspondant à un rayon vertical dans le milieu de vitesse V_1 qui se réfracte à l'interface b).
16) Vérifier que le temps t_4 correspond à un rayon vertical entre la surface et la profondeur z_3 = 1750 m dans le milieu de vitesse V_1
17) En déduire que la réflexion pentée e) correspond à un réflecteur horizontal à la profondeur z_3 entre x = 0 et x = 1000 m.
18) La diffraction f) provient du point x = 1000, z = 1750. Expliquer pourquoi elle présente une triplication (considérer le rayon diffracté vertical réfracté par les réflecteurs a) et b))
19) Les losanges sur la diffraction correspondent aux rayons diffractés sous l'incidence +-25° par rapport à la verticale. Expliquer pourquoi les temps sont différents en dessinant les rayons correspondant à ces trajets sur la figure 3B (ne pas faire le calcul exact du tracé de rayon).

Le prolongement vers le bas du champ d'onde réfléchi à la profondeur z = 500 m est $P(x, \omega, z = 500)$.

20) Exprimer $P(x, \omega, z = 501)$ selon la méthode de migration phase-shift + correction.
21) Exprimer $P(x, \omega, z = 501)$ selon la méthode de migration par différences finies explicite utilisant l'équation d'onde paraxiale à 15°.
22) Pourquoi est-il préférable d'utiliser une formulation implicite des différences finies ? Justifier.

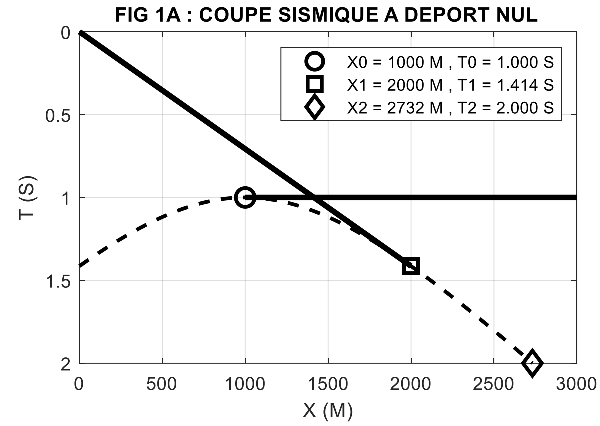
FIG 1A : COUPE SISMIQUE A DEPORT NUL
X0 = 1000 M , T0 = 1.000 S
X1 = 2000 M , T1 = 1.414 S
X2 = 2732 M , T2 = 2.000 S
T (S)
X (M)

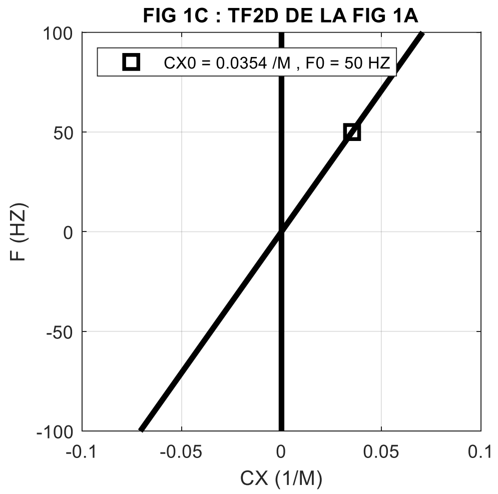
FIG 1C : TF2D DE LA FIG 1A
CX0 = 0.0354 /M , F0 = 50 HZ
F (HZ)
CX (1/M)

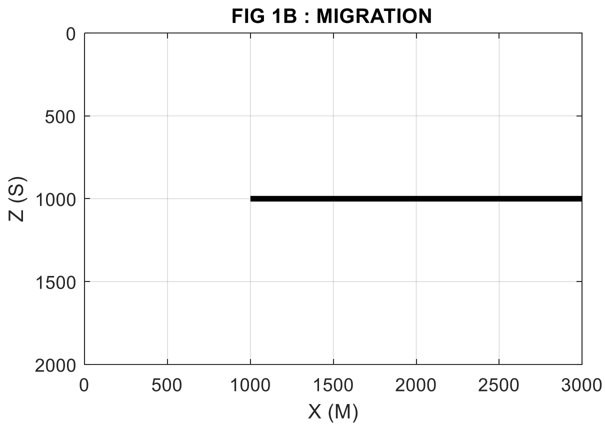
FIG 1B : MIGRATION
Z (S)
X (M)

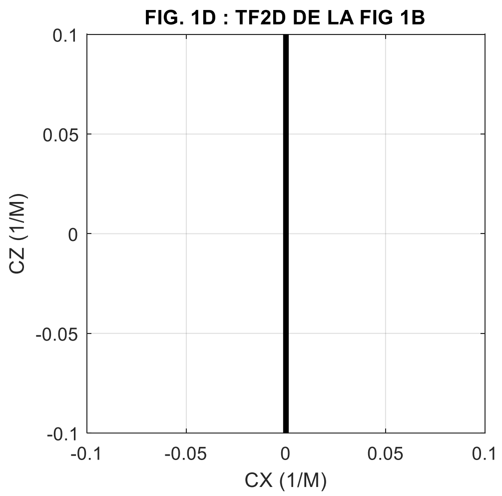
FIG. 1D : TF2D DE LA FIG 1B
CZ (1/M)
CX (1/M)

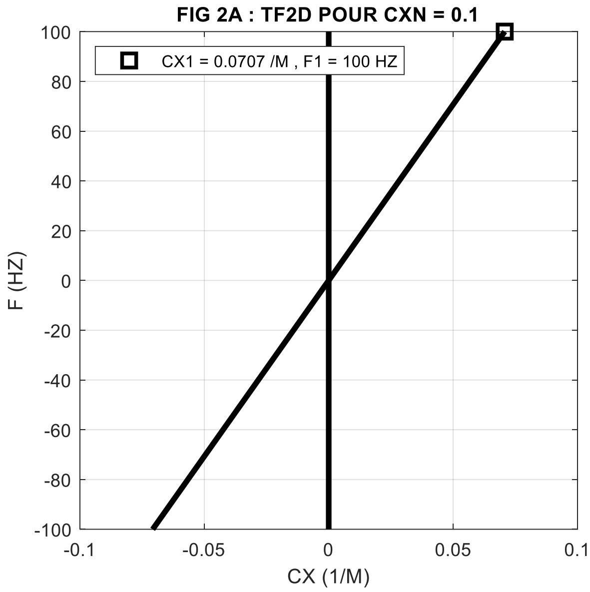
FIG 2A : TF2D POUR CXN = 0.1
CX1 = 0.0707 /M , F1 = 100 HZ
F (HZ)
CX (1/M)
100
80
60
40
20
0
-20
-40
-60
-80
-100
-0.1
-0.05
0
0.05
0.1

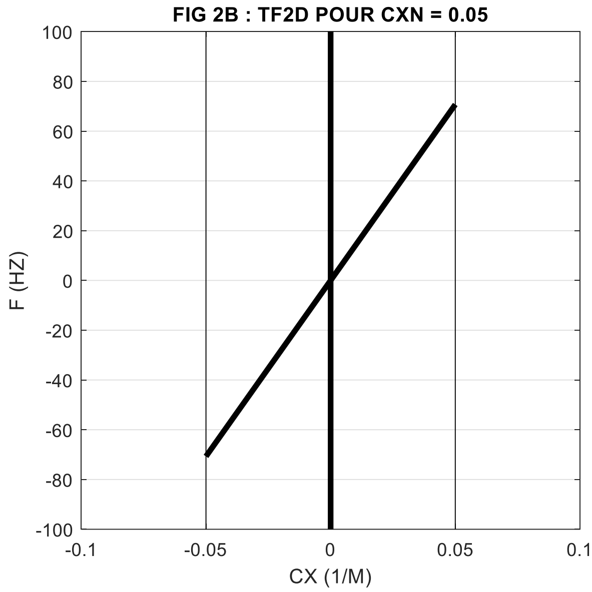
FIG 2B : TF2D POUR CXN = 0.05
F (HZ)
CX (1/M)
100
80
60
40
20
0
-20
-40
-60
-80
-100
-0.1
-0.05
0
0.05
0.1

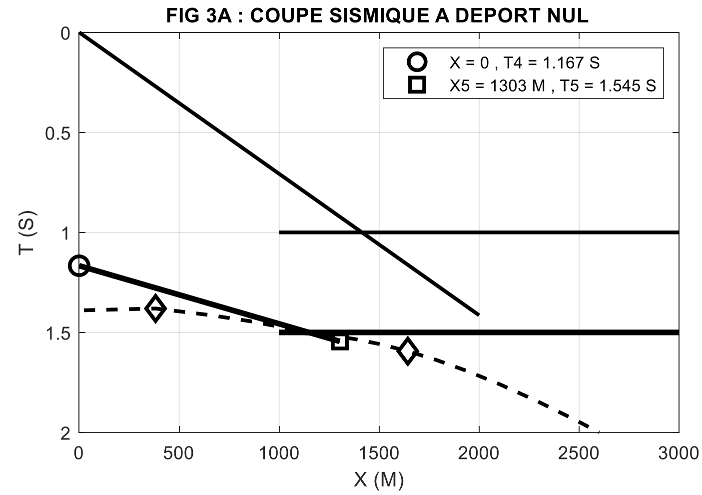
FIG 3A : COUPE SISMIQUE A DEPORT NUL
X = 0 , T4 = 1.167 S
X5 = 1303 M , T5 = 1.545 S
T (S)
0
0.5
1
1.5
2
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
X (M)

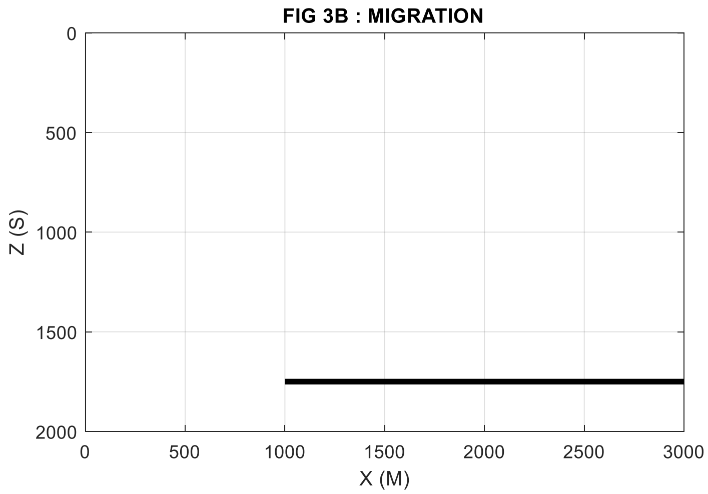
FIG 3B : MIGRATION
Z (S)
0
500
1000
1500
2000
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
X (M)

1) $dt/dx = \sin\alpha / V_0 = t_1/x_1 = .707\ 10^{-3}$, $\alpha = 45°$
$x_{1m} = x_1 - V_0 t_1 \sin\alpha = 1000$ m , $z_1 = V_0 t_1 \cos\alpha = 1000$ m

2) $x_d = 1000$ m (temps minimum à la verticale du point diffractant), $z_d = 1000$ m (trajet vertical)
les rayons réfléchis issus de x_d, z_d sous les incidences 0 et 45° sont aussi les rayons diffractés

3) le rayon diffracté émergeant en x_2 a une incidence telle que $\sin\alpha_2 = (x_2 - x_d)/V_0 t_d$ soit $\alpha_2 = 60°$
$t_d = V_0 t_0 / \cos\alpha = 1, 1.414, 2$ s

4) $k_x/\omega = c_x/f = \sin\alpha/V_0 = 0$ pour $\alpha = 0$; $= .07/100$ pour $\alpha = 45°$

5) $k_x/\omega = \pm 1/V_0$

6) en x = 0 la pente de l'hyperbole = 0 ; en x_2, $dt/dx = \sin 60/V_0 = .87\ 10^{-3}$

7) $k_x/k_z = c_x/c_z = tg45 = 1$

8) le lieu des diffractions à f_0 est le demi-cercle $c_z = -(f_0^2/V_0^2 - c_x^2)^{½}$ (signe – pour les ondes montantes)

9) en c_{x0} , $c_{z0} = -(f_0^2/V_0^2 - c_{x0}^2)^{½}$
(en fait l'algorithme va chercher la valeur complexe interpolée en fréquence dans le plan (c_x,f) depuis les valeurs échantillonnées dans le plan (c_x,c_z))

10) $f_N = 1/2\Delta t$ d'où $\Delta t = 1/200 = 5\ 10^{-3}$s, $c_{xN} = = 1/2\Delta x$ d'où $\Delta x = 5$ m

11) voir figure

12) $c_{x2} = c_{x1} - .1$, $\sin\alpha_2/V0 = c_{x2}/f_1$

13) d'où $\alpha_2 = -17°$

14) $z_3 = .5x1500+1x1000 = 1750$m

15) loi de Snell à l'interface de pendage $\alpha = 45°$: $\sin\alpha/V_1 = \sin\theta/V_0$ et $\theta_0 + \theta = \alpha$,
d'où $dt/dx = \sin\theta_0/V_0 = .29\ 10^{-3}$ ce qui correspond à la figure

16) $t_4 = z_3/V_1 = 1.167$ (car le réflecteur penté intersecte la surface en x = 0)

17) donc la réflexion se propage verticalement dans le milieu 1 depuis la profondeur z_3 et se réfracte à l'interface

18) voir figure

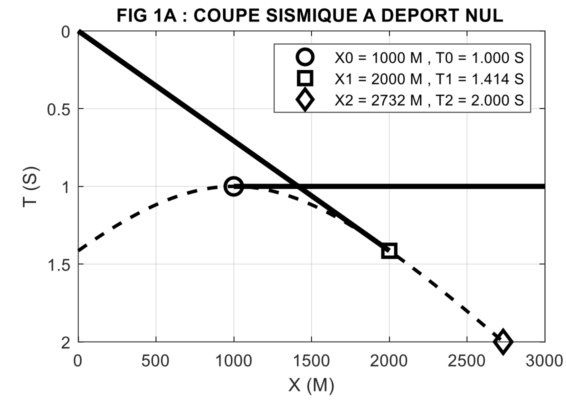
FIG 1A : COUPE SISMIQUE A DEPORT NUL
X0 = 1000 M , T0 = 1.000 S
X1 = 2000 M , T1 = 1.414 S
X2 = 2732 M , T2 = 2.000 S
T (S)
X (M)

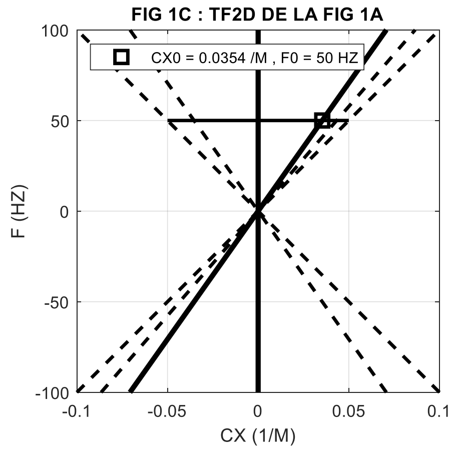
FIG 1C : TF2D DE LA FIG 1A
CX0 = 0.0354 /M , F0 = 50 HZ
F (HZ)
CX (1/M)

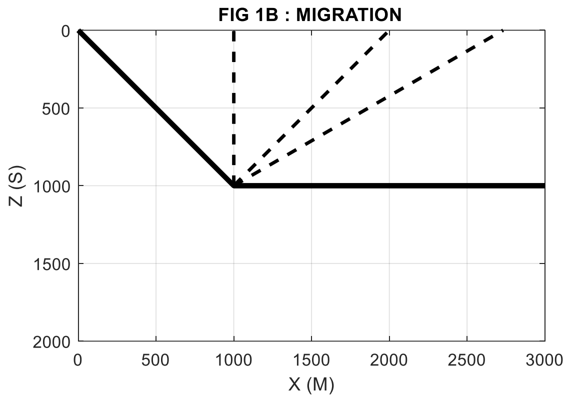
FIG 1B : MIGRATION
Z (S)
X (M)

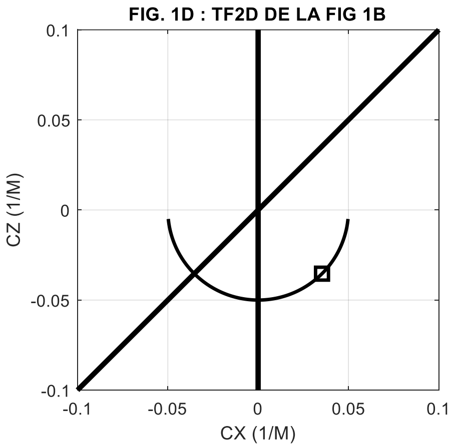
FIG. 1D : TF2D DE LA FIG 1B
CZ (1/M)
CX (1/M)

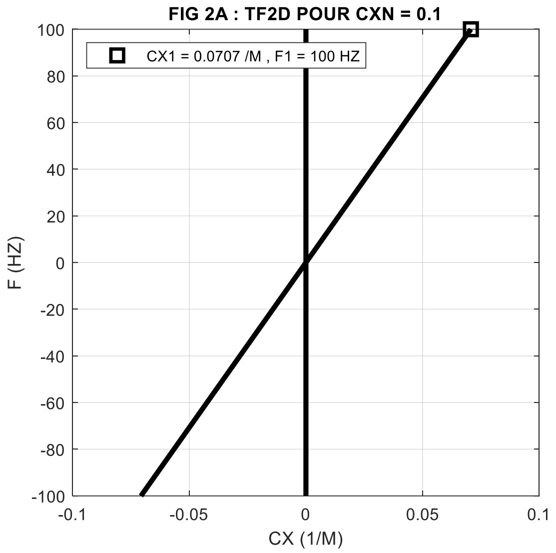
FIG 2A : TF2D POUR CXN = 0.1
CX1 = 0.0707 /M , F1 = 100 HZ
F (HZ)
CX (1/M)
100
80
60
40
20
0
-20
-40
-60
-80
-100
-0.1
-0.05
0
0.05
0.1

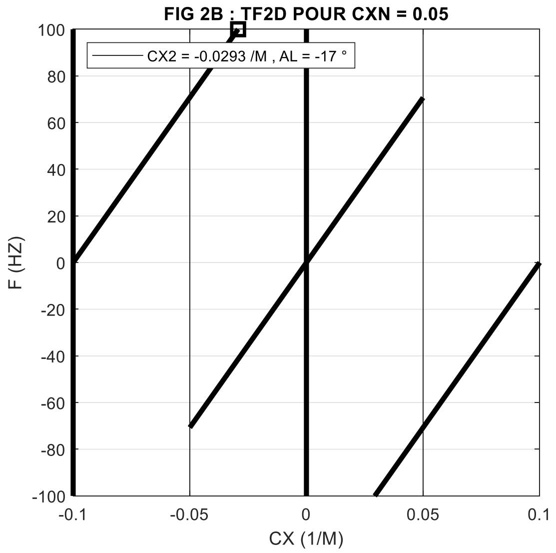
FIG 2B : TF2D POUR CXN = 0.05
CX2 = -0.0293 /M , AL = -17 °
F (HZ)
CX (1/M)
100
80
60
40
20
0
-20
-40
-60
-80
-100
-0.1
-0.05
0
0.05
0.1

FIG 3A : COUPE SISMIQUE A DEPORT NUL

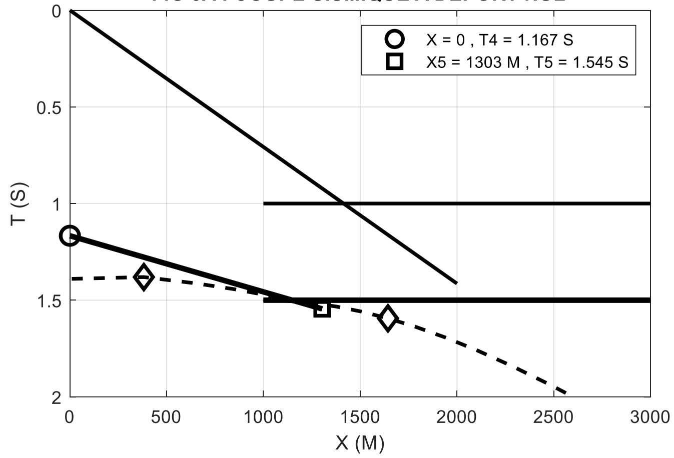

FIG 3B : MIGRATION