

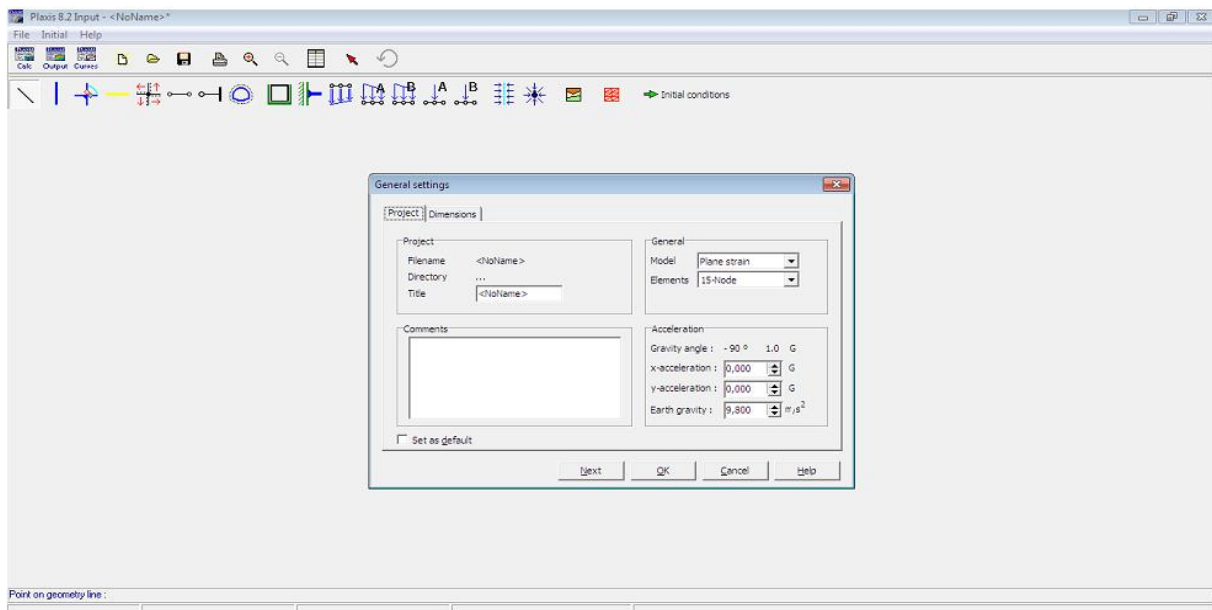
Introduction

Conçu par des géotechniciens numériques, le code éléments finis Plaxis représente certainement un optimum actuel sur les plans scientifique et pratique en l'analyse dynamique. Scientifiquement, c'est un outil d'analyse non linéaire en élastoplasticité non standard, avec prise en compte des pressions interstitielles (et même consolidation linéaire), doté de méthodes de résolution et d'algorithmes robustes, éprouvés, ainsi que de procédures de choix automatique évitant des choix délicats à l'opérateur peu averti. Bien que très fiable sur le plan numérique, le code fait appel à des éléments de haute précision (triangles à 15 nœuds), ainsi qu'à des processus de pilotage de résolution récents (méthode de longueur d'arc). Du point de vue pratique, le système de menus arborescents à l'écran rend l'utilisation souple et agréable, car l'opérateur ne s'encombre pas l'esprit outre mesure. Le recours aux manuels devenant rare, ceux-ci sont de volumes réduits, faciles à consulter. L'ensemble des options simplifiées (initiation des contraintes, pressions interstitielles) permettent d'aller au but (prévoir le comportement d'un ouvrage), quitte à réaliser ultérieurement, avec le même code et les mêmes données, un calcul affiné.

IV.1. Le code Plaxis

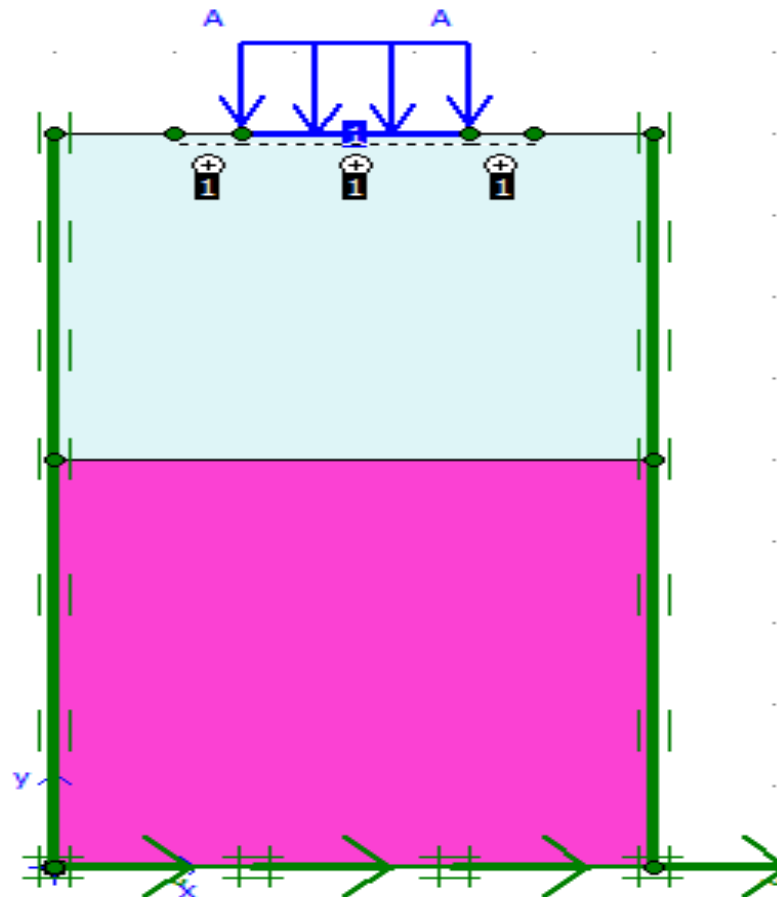
IV.2. L'interface graphique de code Plaxis

Le système d'option par défaut et de solutions approchées spécifique est destiné à faire gagner du temps à l'opérateur, à lui éviter de devoir faire des choix tracassant, et enfin à améliorer la convivialité du logiciel. Ce système est inséparable du traitement à partir d'un menu arborescent **Fig(IV.1)**. Chaque branche du menu est évidemment figée, car elle réalise une tâche précise, bien définie, mais la diversité des branches en fait globalement un outil extrêmement souple.



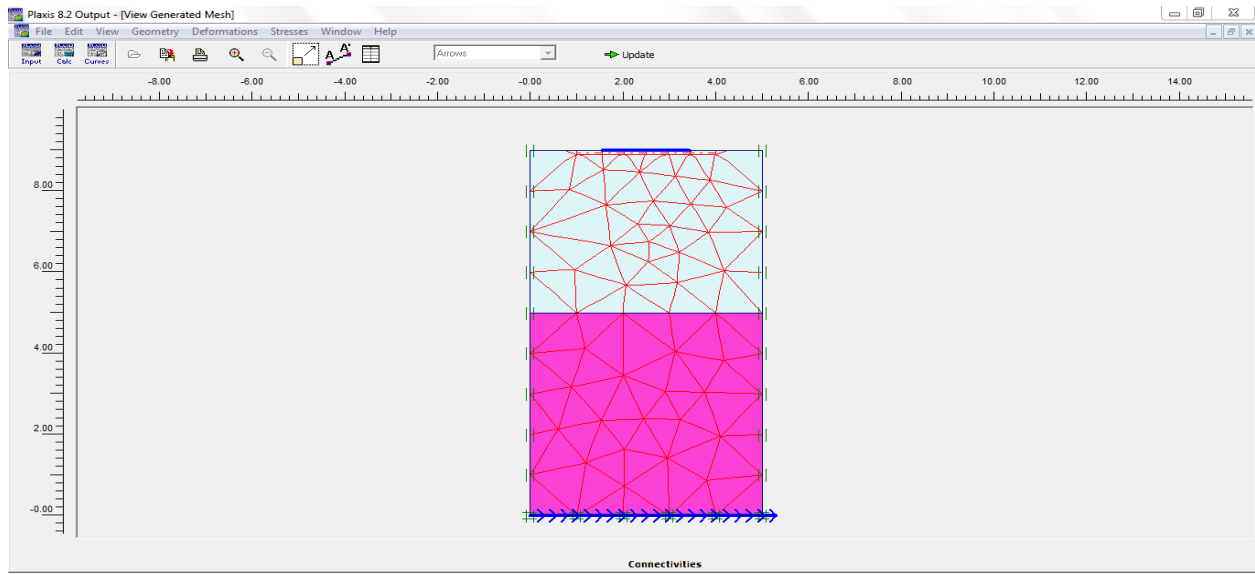
Fig(IV.1) : Interface utilisateur pour l'entrée des données

En ce qui concerne les conditions aux limites en déplacement : Si celles-ci sont complexes **Fig(IV.2)**. L'ingénieur devra en spécifier les subtilités d'une manière précise. Par contre, si elles ont un caractère standard (vecteur déplacement nul à la base du domaine étudié et vecteur déplacement horizontal nul sur ses faces latérales), l'application peut être réalisée automatiquement (par défaut) à partir du menu avec contrôle immédiat du résultat à l'écran



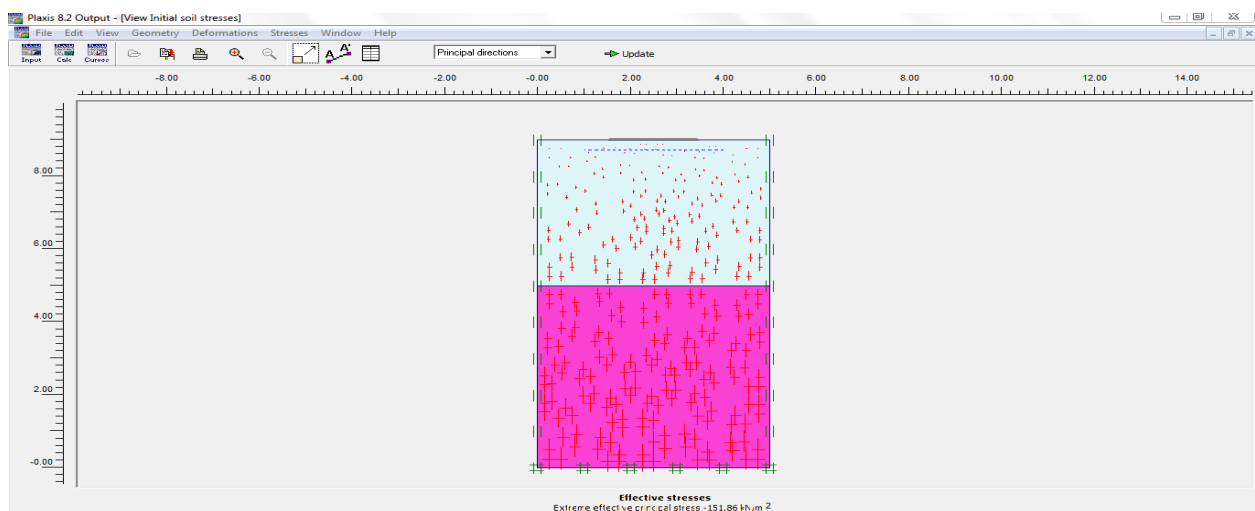
Fig(IV.2): Condition aux limites

Les options par défaut commencent dès le maillage **Fig(IV.3)**. L'opérateur peut bien entendu spécifier un maillage très détaillé, mais si seules les grandes lignes de celui-ci impotent, le détail des éléments, agencé de manière optimale du point de vue numérique, sera entièrement généré par le logiciel à partir d'un petit nombre de nœuds-clé, avec contrôle permanent à l'écran. Le maillage est d'ailleurs en cours de refonte en vue d'accroître son efficacité



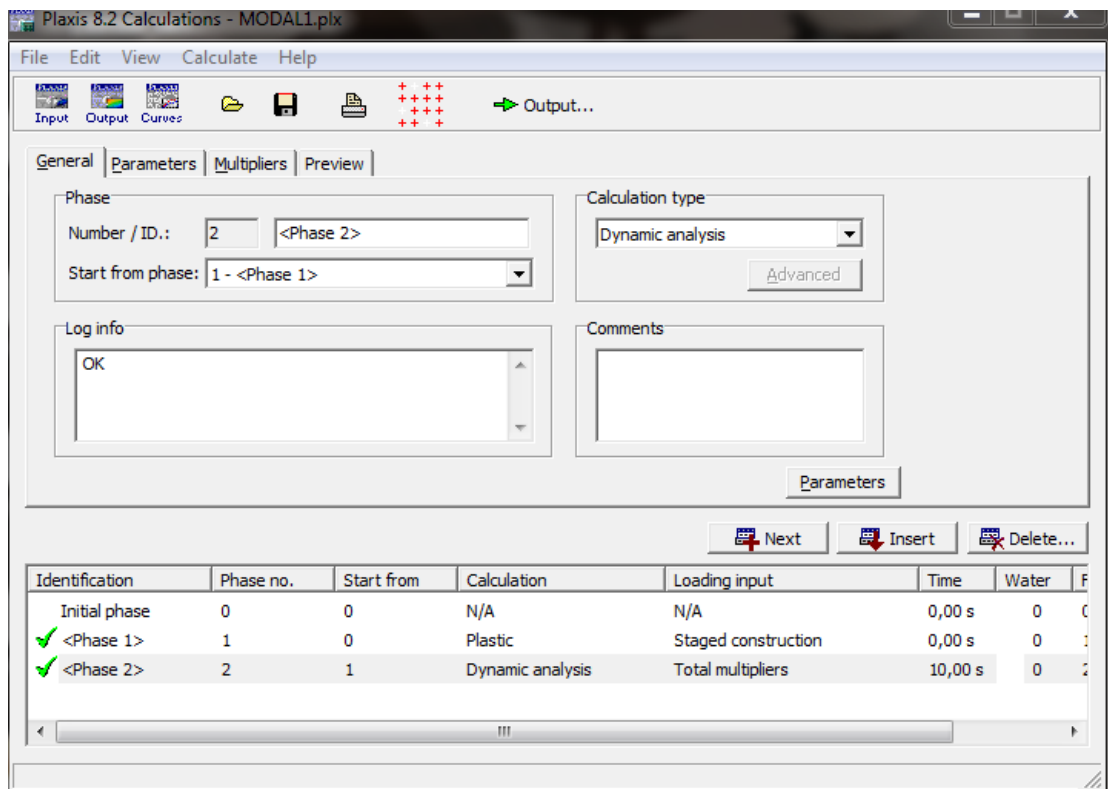
Fig(IV.3): Maillage

L'application des contraintes initiales dues au poids des terres peut être réalisée de manière exacte par activation du multiplicateur de chargement relatif au poids propre. Par contre, si comme bien souvent en géotechnique on connaît ou on sait estimer un état K_0 donné, celui-ci peut être spécifié directement. Dans ce cas, le massif est souvent en léger déséquilibre (incompatibilité entre K_0 et les autres caractéristiques mécaniques). Le menu permet alors, par un changement fictif nul, de rééquilibrer le massif, puis de réinitialiser à zéro le champ de déplacement de manière à prendre comme nouvelle origine 'état du matériau après application de la gravité. L'option K_0 est particulièrement intéressante (et réaliste) dans le cas d'un modèle hétérogène de surface libre presque horizontale .Fig(IV.4).



Fig(IV.4): Contraintes initiales (condition K0)

La conduite des calculs non linéaires constitue un autre exemple de la souplesse d'utilisation que procure ce logiciel : l'opérateur peut évidemment faire lui-même ses choix de taille d'étape de chargement, de nombre d'étape, de rigidité d'interface, de méthode de résolution, etc. **Fig(IV.4).** S'il ne désire pas assumer ces choix, le logiciel peut les décider à sa place, compte tenu de l'expérience des numériciens en la matière.

**Fig(IV.5) :** Option pour le choix du modèle de comportement du sol retenu pour les calculs

Un calcul par élément fini fournit une masse imposante de résultats. Des résultats directement utiles au projeteur : déplacement, contraintes, pression interstitielles à un stade donné du chargement, et des résultats plus mathématique concernant le déroulement du processus de calcul proprement dit. L'ensemble ces résultats est accessible selon que l'on est intéressé par l'un ou l'autre aspect ; c'est également un système de menu arborescent qui permet de sélectionner les informations souhaitées : Option de « Out put ».

IV.1.3. Modèles de comportement implémentés dans Plaxis

IV.1.3.1. Modèle élastique linéaire

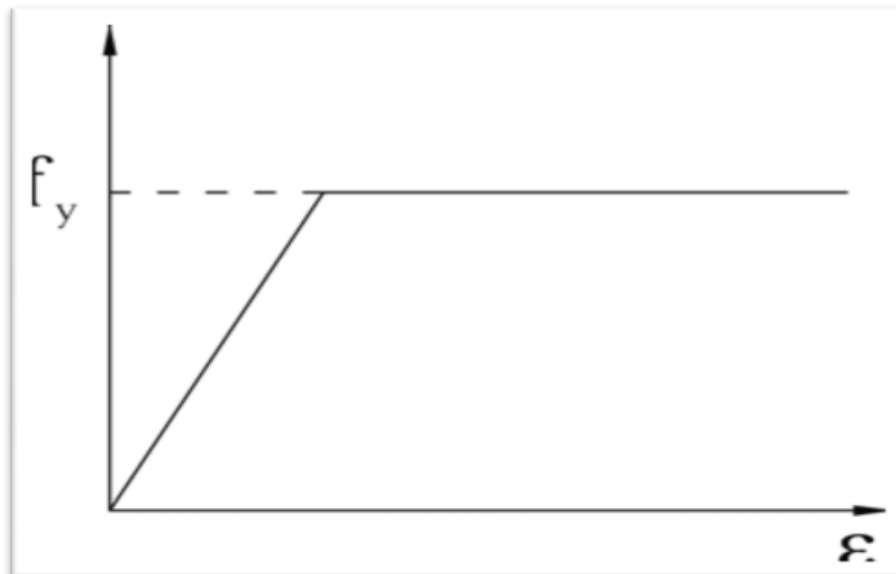
Le modèle élastique linéaire utilisé dans plaxis est défini par deux paramètres : Le module de Yong E et le coefficient de poisson ν . On peut également utiliser les deux paramètres suivants utilisés en mécanique des sols : Le module de compressibilité volumique K et le module de cisaillement G. Ces quatre paramètres sont reliés entre eux par les deux expressions suivantes :

$$K = \frac{E}{3(1+\nu)} \quad \text{.....(IV.1)}$$

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad \text{.....}$$

(IV.2)

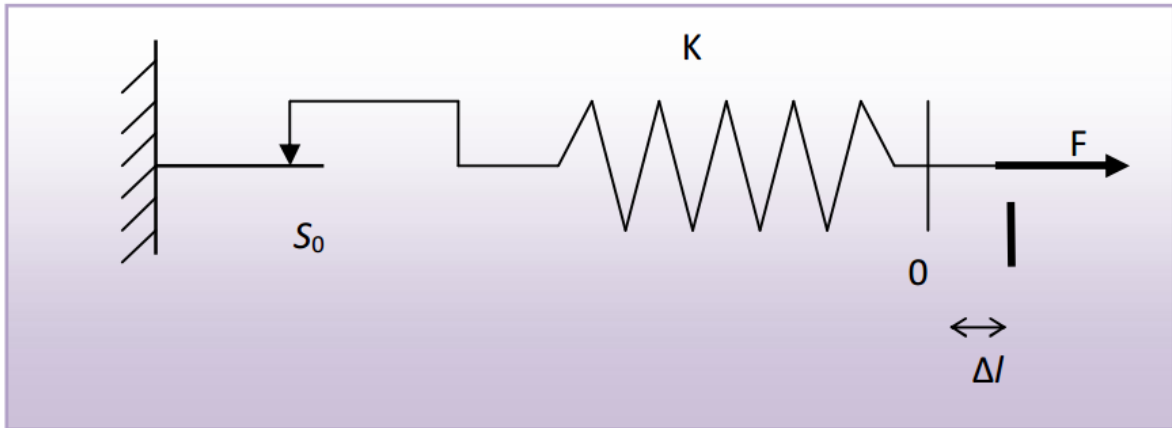
La courbe effort-déplacement du comportement élastique parfaitement plastique que l'on trouve est présentée sur la **Fig(IV.8)**.



Fig(IV.6): Représentation du comportement élastique parfaitement plastique

IV.3.1.3.2. Modèles élastoplastique

Le comportement élastoplastique peut être représenté par un modèle monodimensionnel, en série un ressort de raideur K pour symboliser l'élasticité du matériau. à un patin de seuil S_0 **Fig(IV.9)**.



Fig(IV.7) : Modèle monodimensionnel du comportement élastoplastique [Baziz.12]

Le modèle bien connu de Mohr-coulomb est utilisé généralement comme une première approximation du comportement d'un sol. Ce modèle comporte cinq paramètres : le module d'Young E , le coefficient de poisson, la cohésion c , l'angle de frottement φ , et l'angle de dilatation ψ . **Fig(IV.11)**

Fig(IV.8): Fenêtre des paramètres de Mohr-coulomb

Paramètre de Mohr-coulomb :

φ : angle de frottement effectif.

Ψ : angle de dilatance.

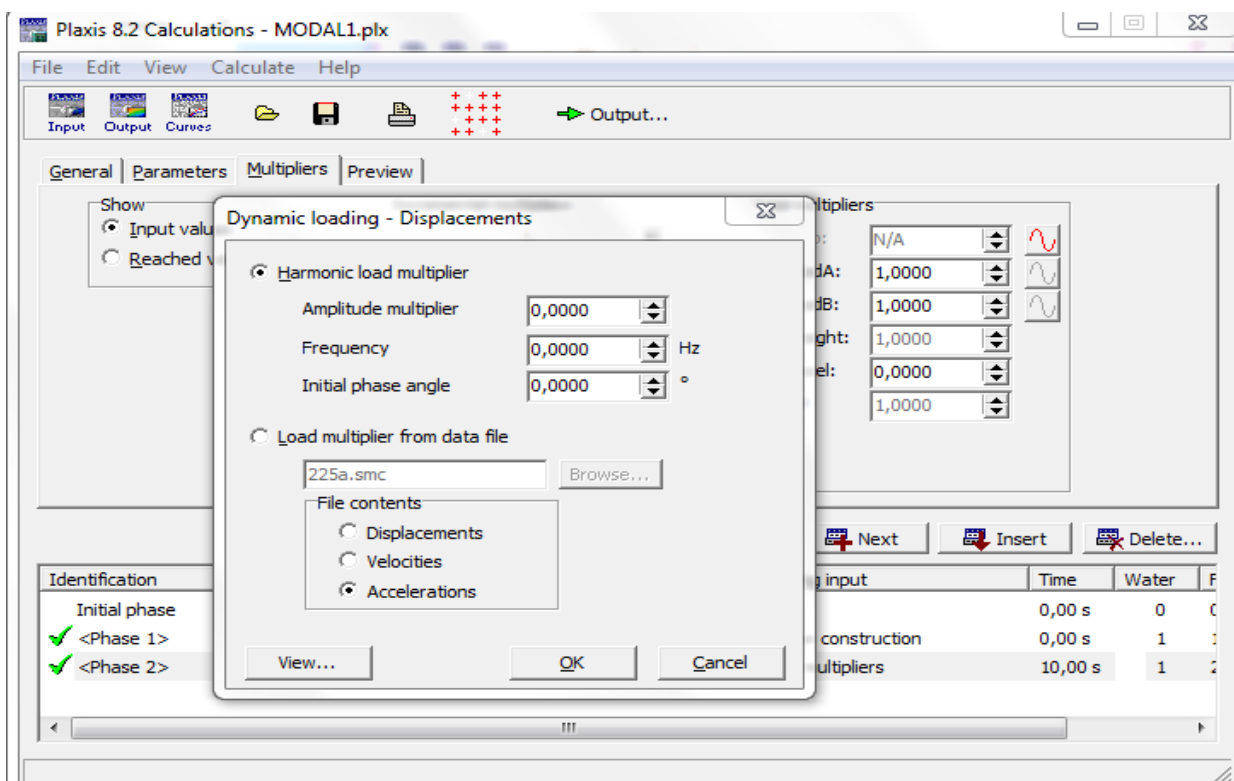
C : cohésion (effective). $[\text{KN}/\text{m}^2]$

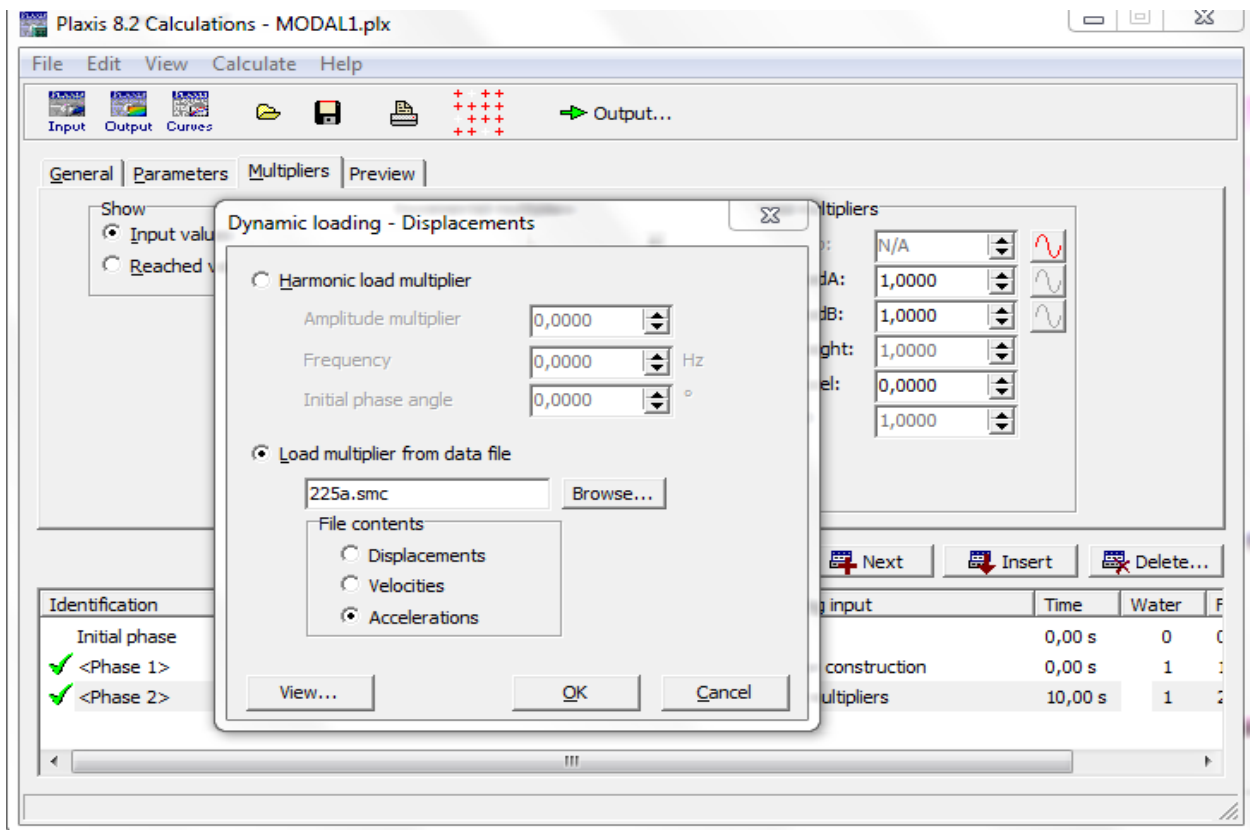
Paramètre de rigidité :

E_{oed} : Module tangent dans un essai œnométrique $[\text{KN}/\text{m}^2]$.

IV.1.4. Le Module Dynamique Du Code Plaxis

La plaxis V8 nous permet d'étudier un problème dynamique. La charge dynamique est généralement appliquée le long du substratum. Cette action peut être représentée par une force vitesse, ou une accélération variable en fonction du temps. Dans le programme Input ; il spécifier quel est le système de chargement qu'on va choisir pour représenter l'action dynamique par l'option de (set dynamique load system). Dans le programme de calcul, on peut considérer soit une sollicitation harmonique **Fig(IV.12)**, soit une sollicitation sismique figure **Fig(IV.13)**.



Fig(IV.9): Fenêtre de command d'une excitation harmonique**Fig(IV.10):** Fenêtre d'insertion d'un fichier accélérogramme

Le plaxis nous donne la main de simuler n'importe quel séisme par l'utilisation du fichier SMC (Strong Motion CD-ROM) ce programme est utilisé par (U.S Geological Survey National Strongmotion Program) ; et il possible de porter plus de 200 valeurs par second. Pour l'action dynamique utilisée dans ce modèle, elle est une accélération variable en fonction du temps de forme sinusoïdale avec un départ faible grandissante vers le pic à temps puis descendante et amortie vers zéro à la fin la durée totale de cette action et de 10 secs.

Dans cette étude on a utilisé « l'accélérogramme 225smc » sont présentés dans le tableau suivant et figurés avec leur fichiers dans l'annexe. **Fig(IV.11).**

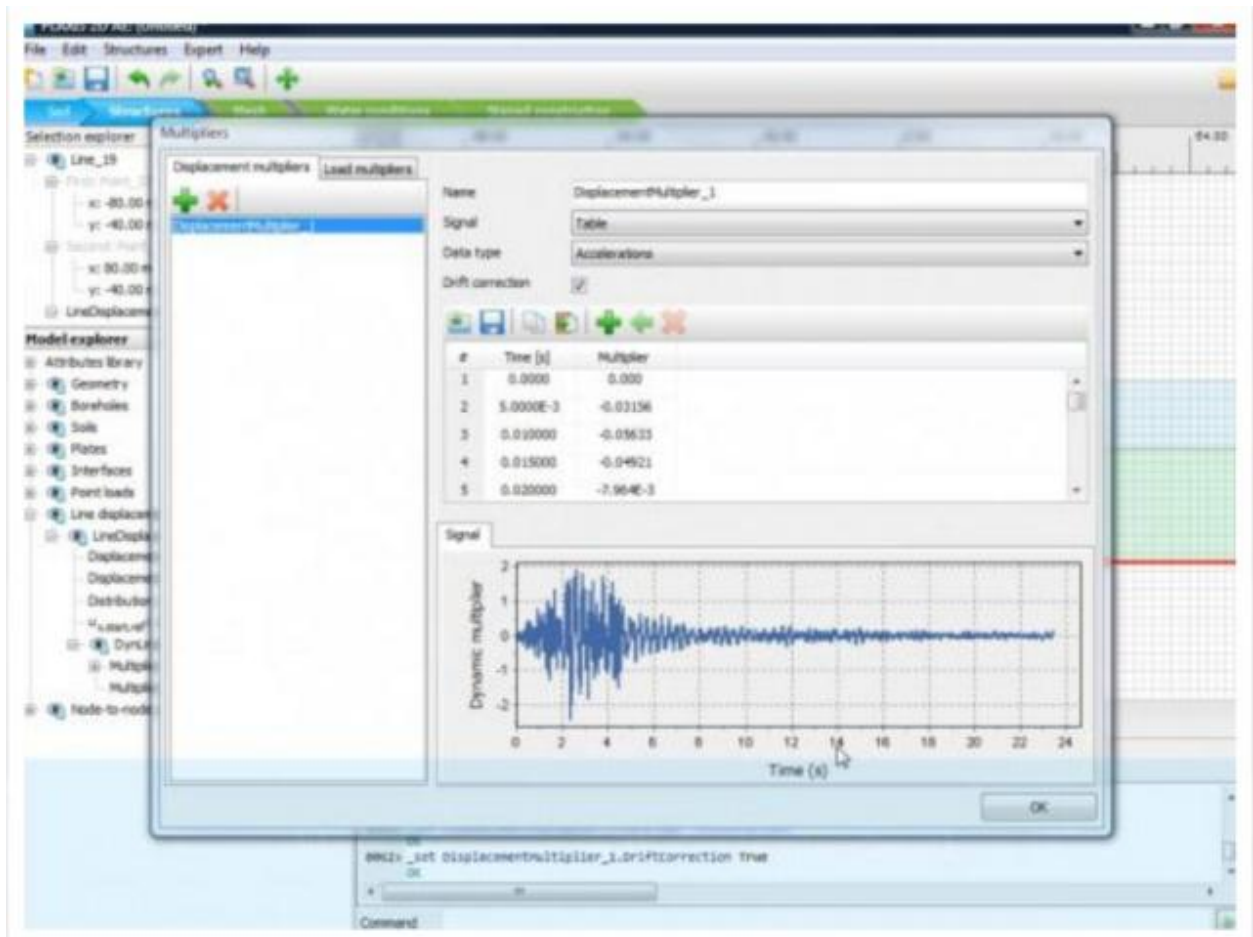
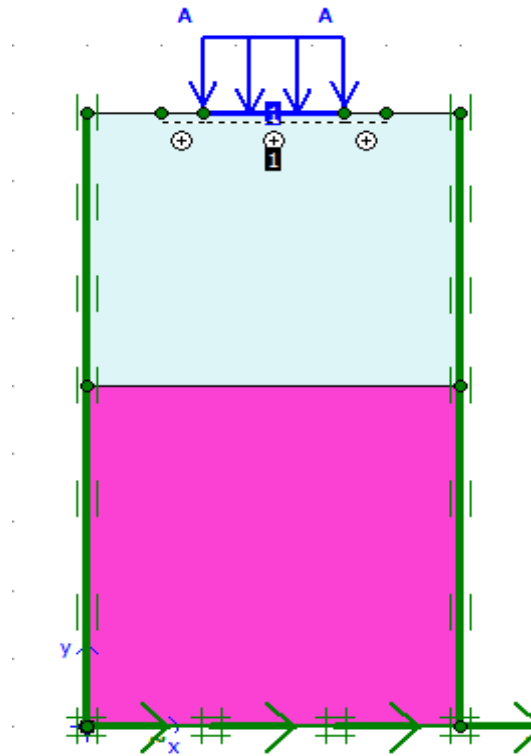


Figure (IV.11) : accélérogramme de calcul

IV.2. Modèle de calcul retenu

Le profil géométrique retenu pour le calcul est présentée sur la **Fig(IV.15)**. Il est constitué d'une semelle de chaque $B= 1.9\text{m}$, reposant sur un massif de sol homogène sans eau, de 9m de hauteur (hauteur de la argile 5 m et sable 4 m)et 5m de longueur. Pour des raisons de système symétrique, seule les moitié du modèle est représentée ici :



Fig(IV.12): profil géométrique retenu

IV.2.1 Caractéristique des matériaux

Le **Tableau (IV.1)** donne les caractéristiques géotechniques du sol constituant le massif de fondation.

	Symbole	Unité	sable	Argile
profondeur	H	M	4	5
Poids volumique sec	γ_{sec}	KN/m ³	17,5	16,5
Poids volumique humide	γ_{sat}	KN/m ³	19 ,5	18,5
Perméabilité horizontale	k_x	M /s	-	-
Perméabilité verticale	k_x	m/s	-	-
Module d'young	E_{re}	Mpa	150	185
Module G	G	Mpa	55	185

Coefficient de poisson	ν	°	0,30	62
Cohésion	c	Kpas	0,2	0,45
Angle de frottement	φ	°	35	8
Angle de dilatation	Ψ	°	5	30
Facteur de rigidité	R_{inter}	-	1	1

Tableau (IV.1) : Propriétés du sol de fondation

b) semelle : elle constituée en béton armée dont les propriétés sont de l'élément structural.

Les propriétés de l'élément structural sont résumées dans le **Tableau (IV.2)**:

Paramètre	Nom	Valeur	Unité
Type de comportement	Matériel type	Elastique	
Rigidité normale	EA	14472000	KN/m
Rigidité de flexion	EI	244215	KN m ² /m
Epaisseur équivalente	D	0,45	M
Poids	W	11,25	KN/m/m
Coefficient de poisson	ν	0,2	-
Rayleigh dumping	α et β	0,01	-

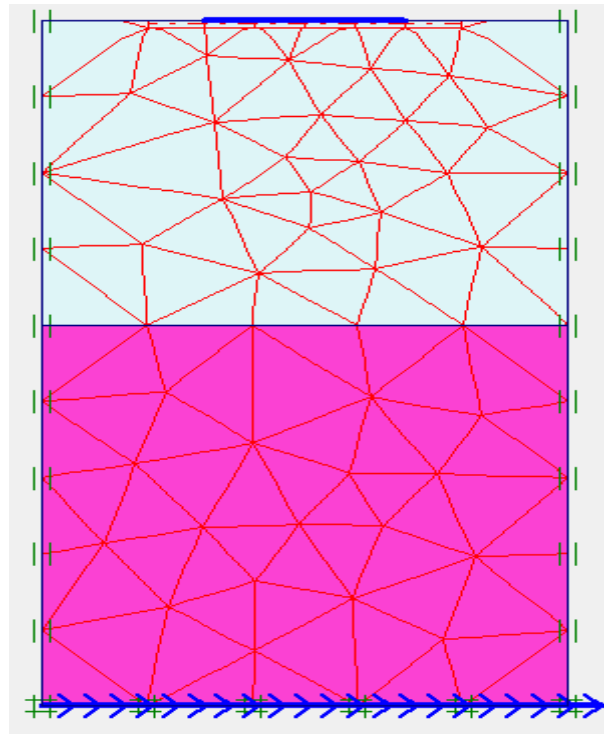
Tableau (IV.2) : propriétés de l'élément structural (plate)

La valeur de charge répartie uniformément

Chargement statique applique sur l'élément et de $N=203,04 \text{ KN / m}^2$

IV.2.2. Génération de maillage

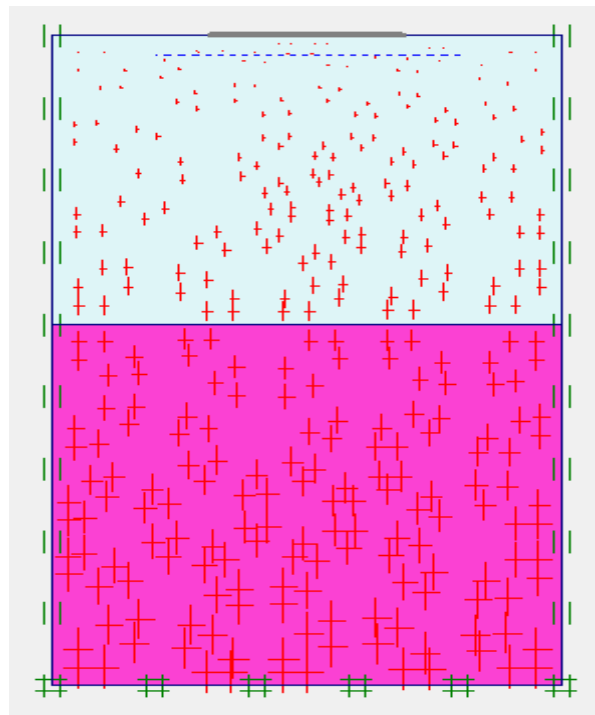
Le modèle de référence choisi est constitué par des éléments triangulaires à 15 nœuds. La **Fig(IV.13)** présenté le maillage du modèle.



Fig(IV.13): maillage du modèle

IV.2.3. Condition initiales

Elles correspondent à un état de type $K0=1$ (contrainte de type géotechnique) **Fig(IV.14)**.



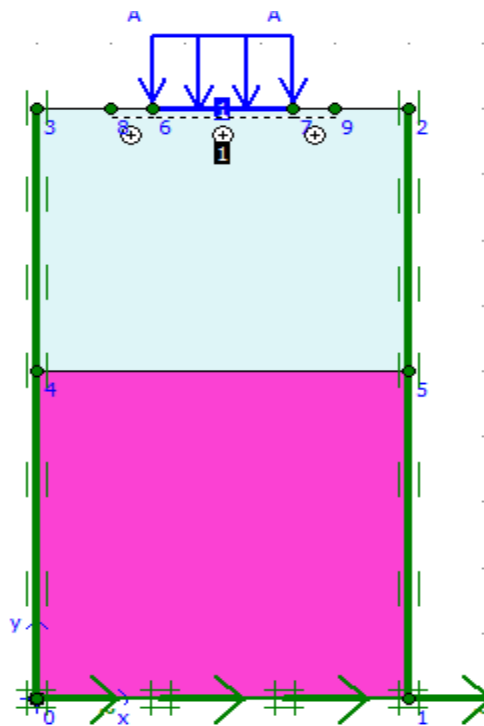
Fig(IV.14): génération des contraintes initiales

IV.2.4. Sollicitation sismiques

Dans cette application numérique, une type de sollicitation sismique sous forme de déplacement imposés à la base du modèle de calcule ont été considérées ;

- Une accélération horizontale simulant le mouvement horizontal ;

La **Fig(IV.15)**: présente Figure Sollicitations sismiques horizontale.



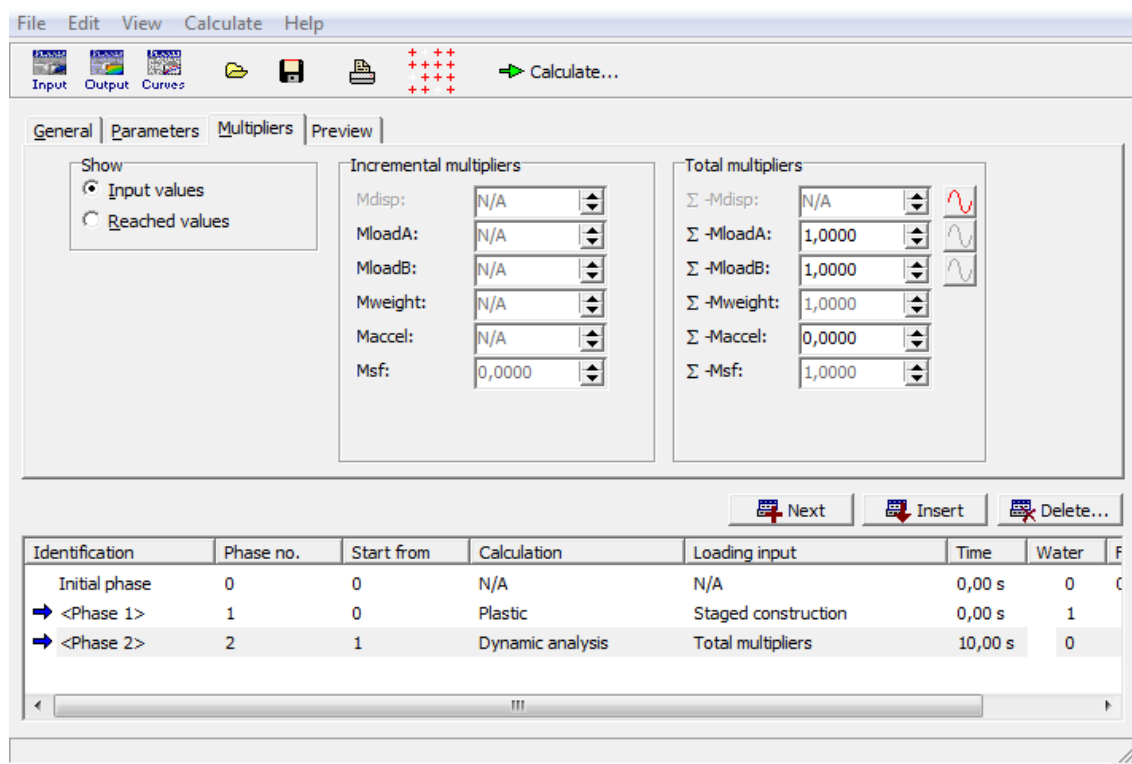
Fig(IV.15): Sollicitations sismiques

IV.2.5. Procédure de calculs

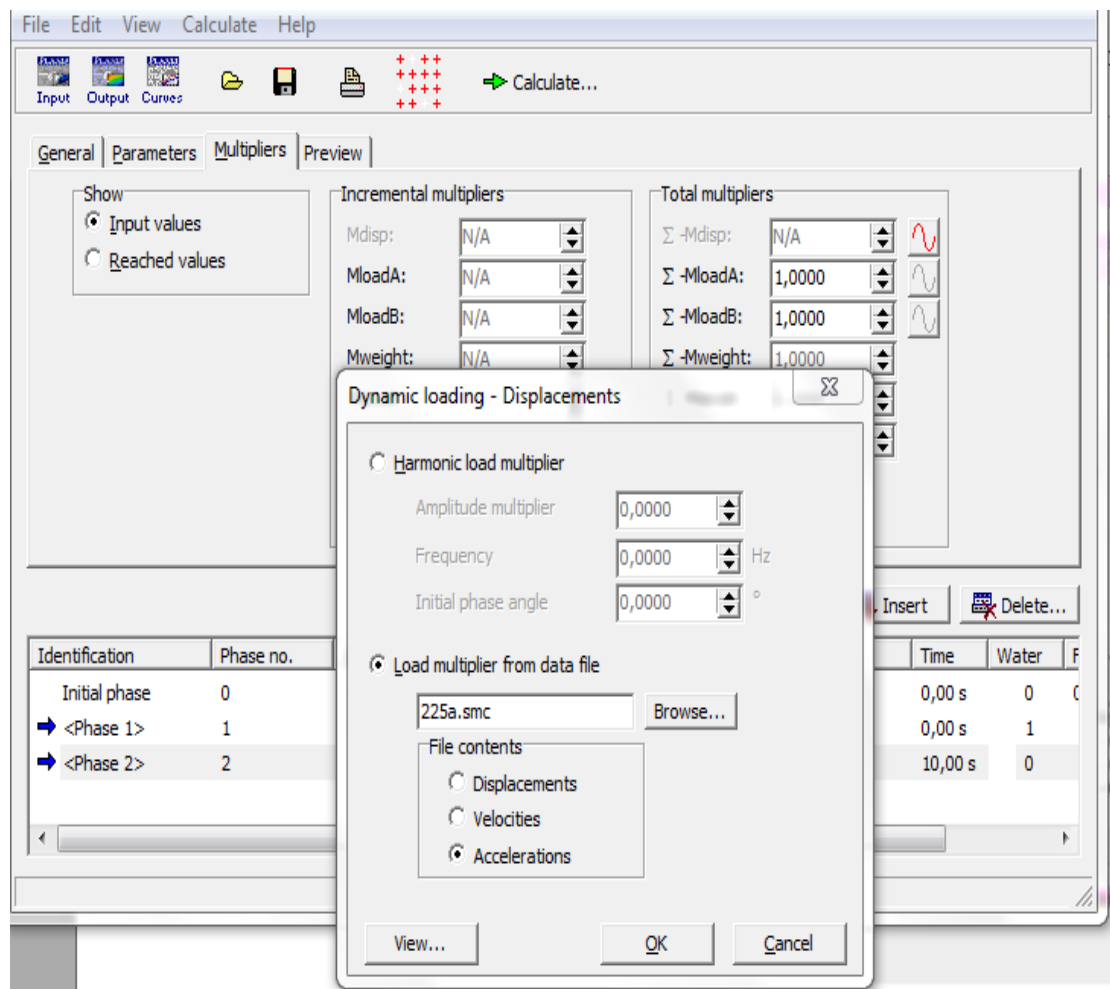
En trois phases dans l'ordre, d'excavation comme suit :

1. Phase (0) : initiation des contraintes géostatique (procédure K0), une phase initiale suivie de deux phases, phase (01) et phase (02).
2. Phase (01) : calcul plastique avec le procédure « stage construction », en condition drainées avec activation de l'élément « plate of building », et de la charge statique « statique load system $N=203,04 \text{ KN/m}^2$ »

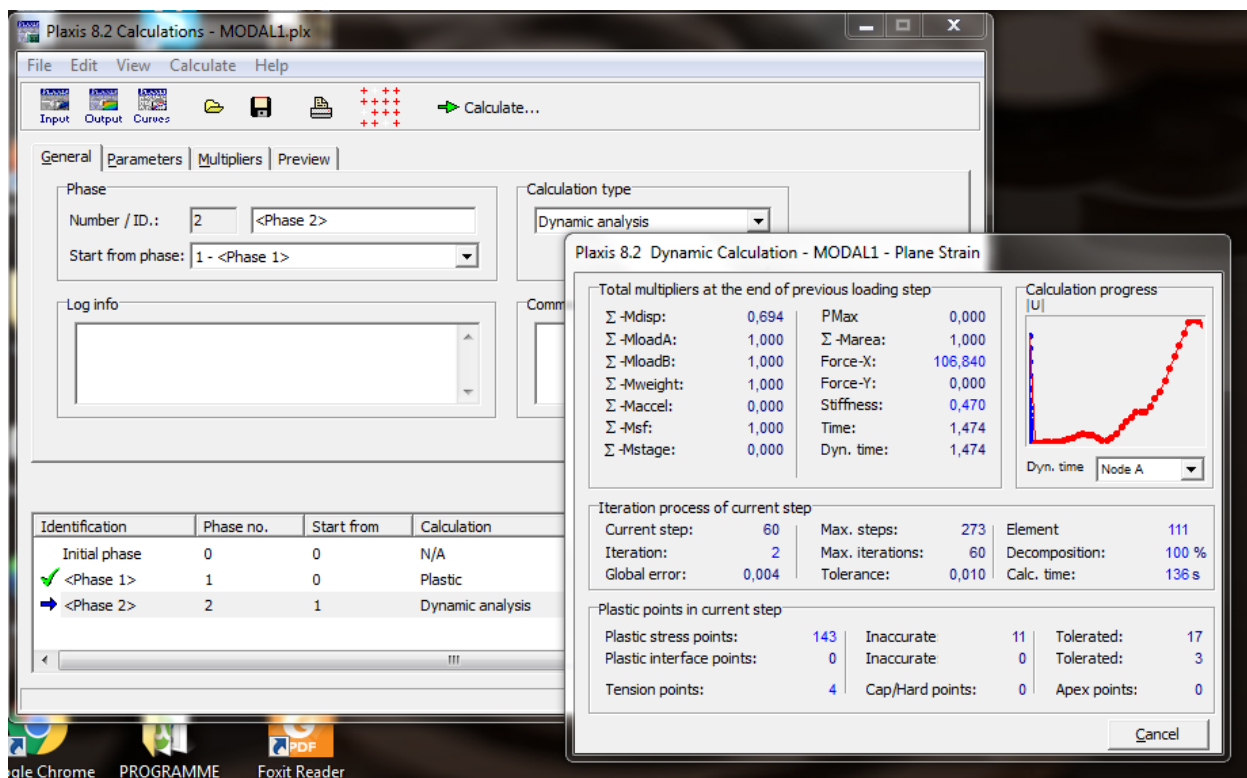
3. Phase (02) : chargement dynamique « dynamique anlysis » et « harmonique load multipler » excitation harmonique.



Fig(IV.16): phases de calcul

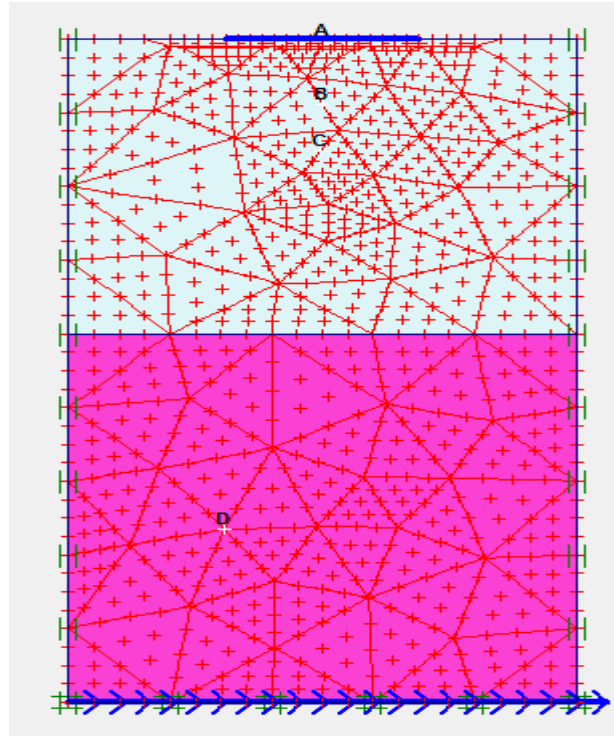


Fig(IV.17) : Activation de la charge dynamique



Fig(IV.18): Fenêtre pour calcul les différentes phases

La **Fig(IV.19)** présentée de calcul lancé après avoir choisi les point de la structure (point A, B, et c dans notre cas). Sur le modèle pour afin d'obtenir les courbes de déplacement, vitesse et l'accélération.

**Fig(IV.19):** Trace des points sur le profil

IV.3. Résultats des calculs et interprétation

IV.3.1. Coordonnées des points

Le **Tableau (IV.3)** donnée les coordonne des points à étudier

N° de point	Point A	Point B	Point C	Point D
X(m)	2,5	2,5	2,5	1,53
Y(m)	9	8	7,5	2,35

Tableau (IV.3) : Données des points

On présente à-après les résultats détaillés pour chacun des trois types de calculs effectué, puis leur interprétation et présente comme suit :

IV.3.2. Résultats des calculs

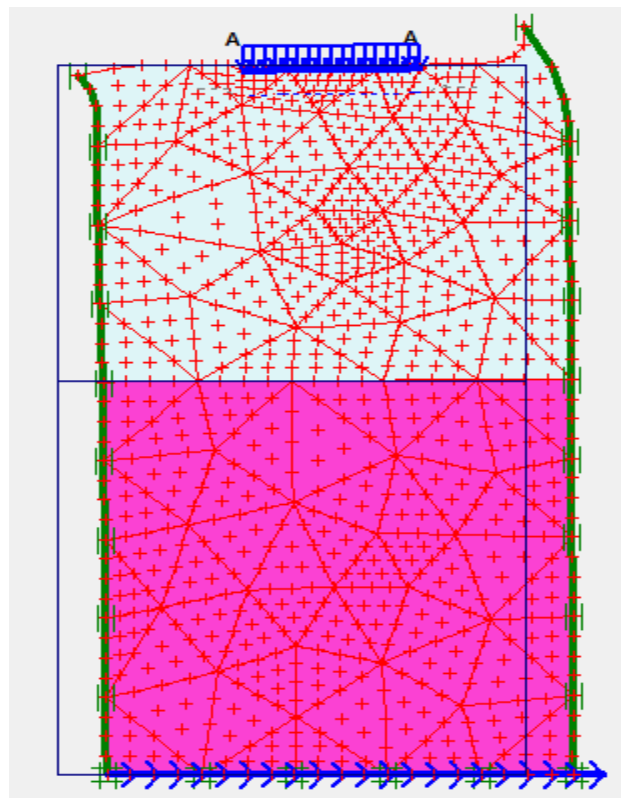
IV.3.2.1. 1^{er} Cas

L'onde sismique horizontale imposée à la base du modèle de calcul produit les effets ci-après.

- 1) Maillage déformé.
- 2) Contraintes.
- 3) Déplacements.
- 4) Synthèse.

a/ Maillage déformation

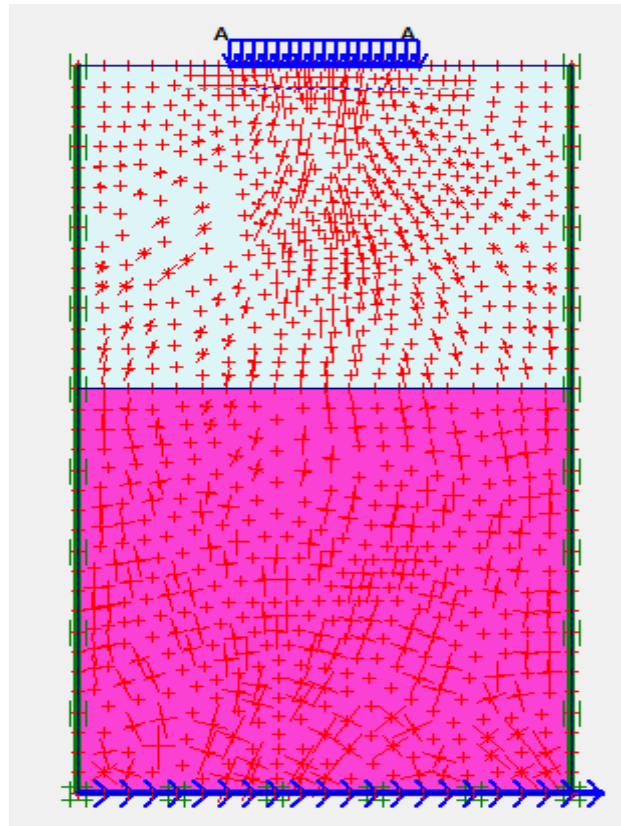
Le maillage déformé du modèle de calcul représenté sur la **Fig(IV.20)**



Fig(IV.20): Maillage déformation du profil (1ere cas)

b/ Contraintes

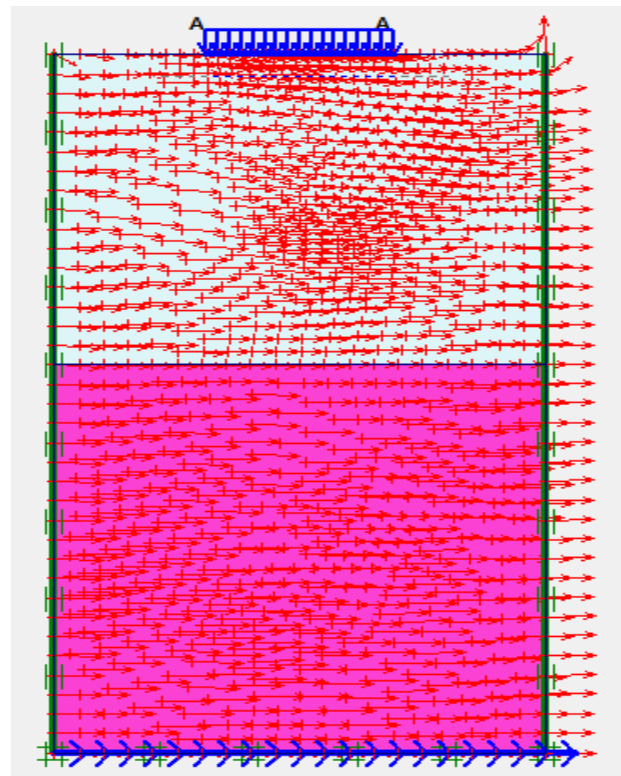
Les iso valeurs des contrainte générées dans le massif sont représentées sur a **Fig(IV.21)**.



Fig(IV.21) : Total stresses (1ere cas)

c / Déplacements

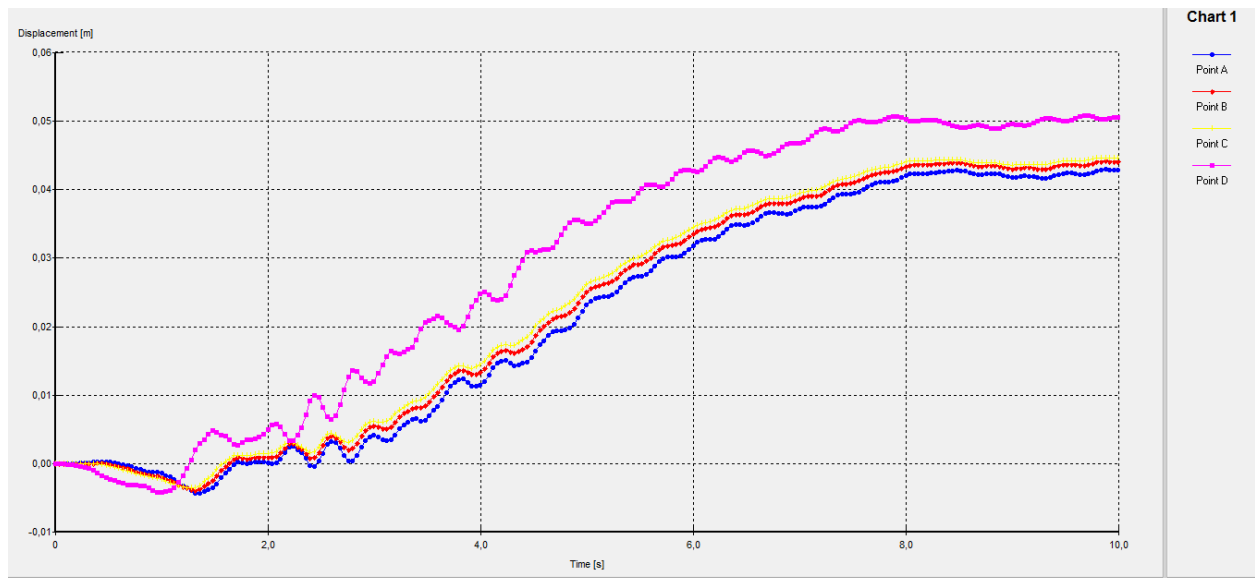
Les vecteurs déplacements sont représentés sur la figure **Fig(IV.22)**.



Fig(IV.22): Total déplacements (1ere cas)

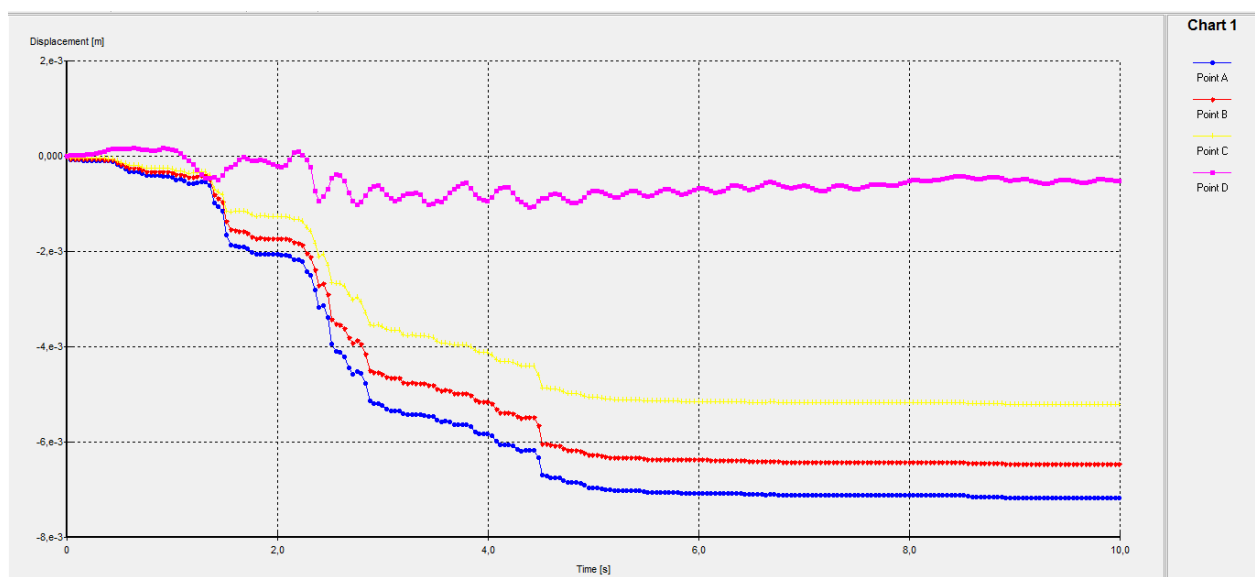
d/ Courbes déplacement-temps

Axe XX' :



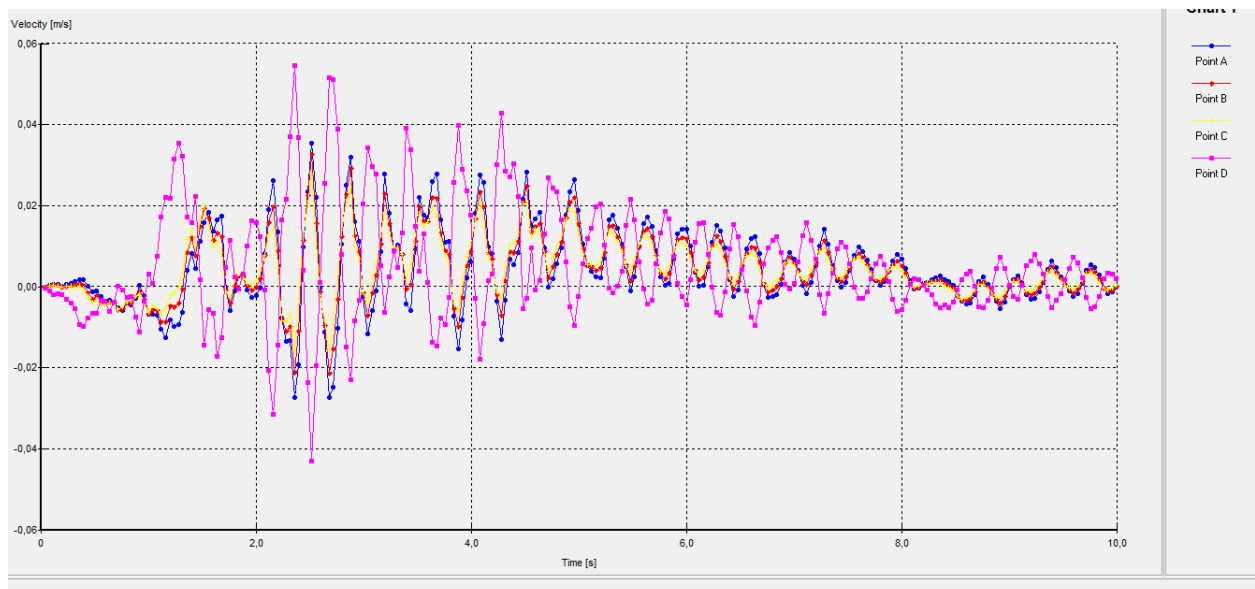
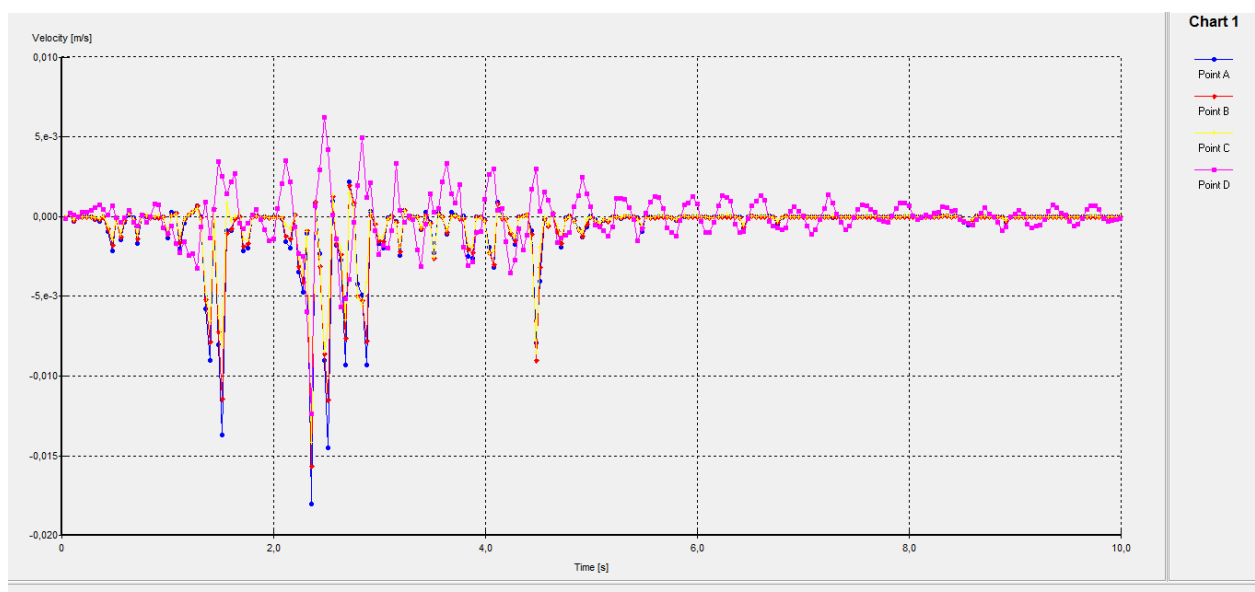
Fig(IV.23): Déplacement-temps suivant l'axe xx' (1ere cas)

Axe YY' :



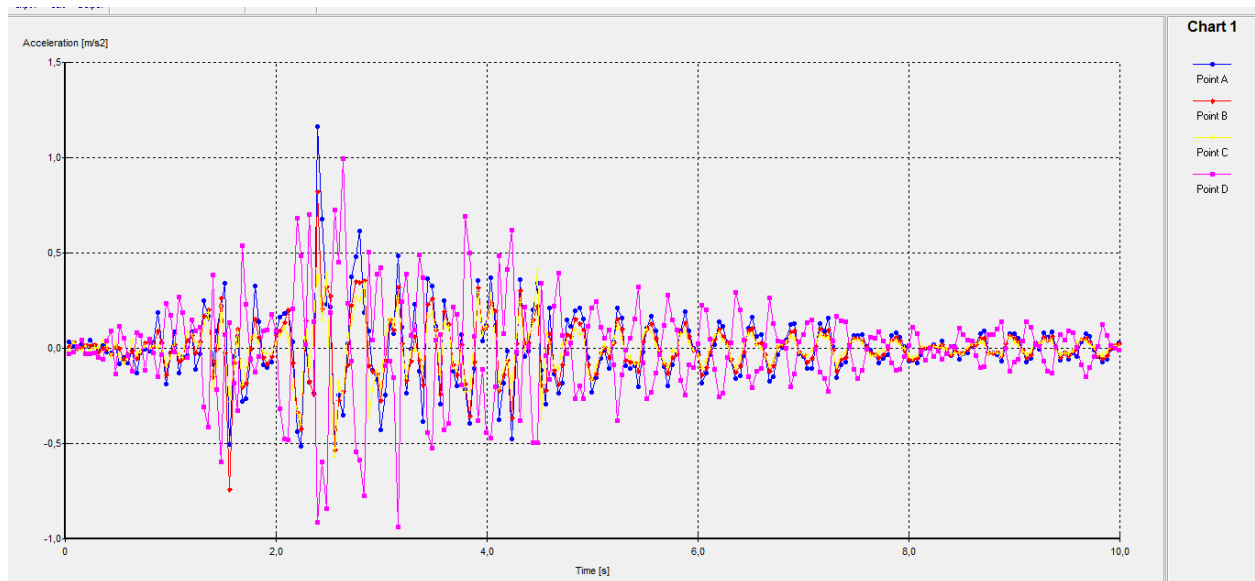
Fig(IV.24): Déplacement-temps l'axe yy' (1ere cas)

e/ Courbe vitesse-temps :

Axe XX' :Fig(IV.25): Vitesse-temps suivant l'axe xx' (1ere cas)Axe YY' :Fig(IV.26) : vitesse-temps suivant l'axe YY' (1ere cas)

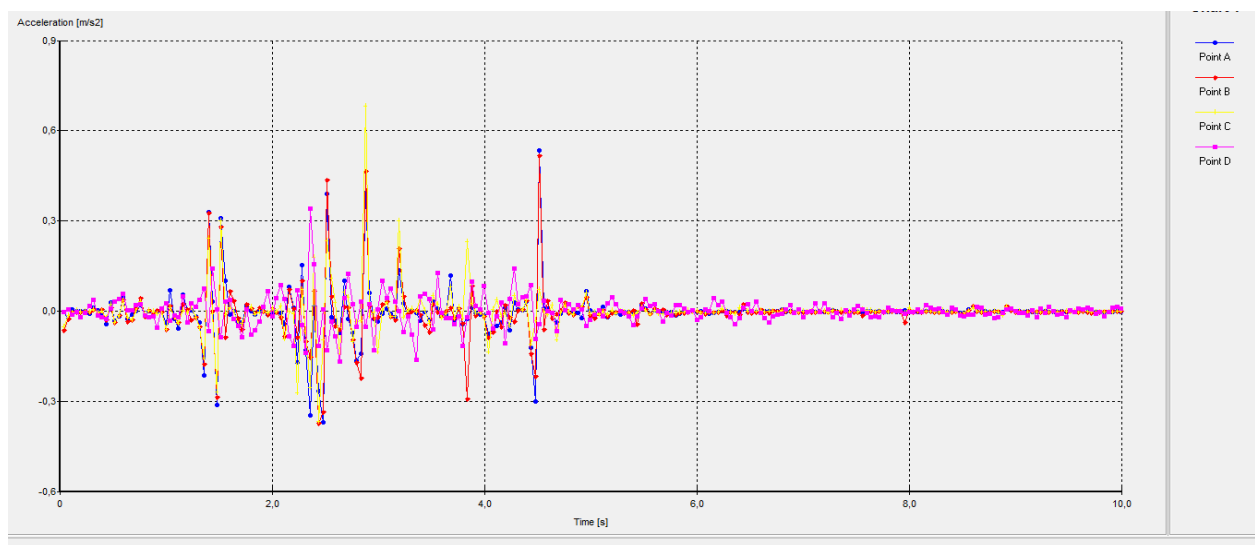
f/ Courbe accélération-temps

Axe XX' :



Fig(IV.27): Accélération-temps suivant l'axe xx' (1ere cas)

Axe YY' :



Fig(IV.28) : Accélération-temps suivant l'axe YY' (1ere cas)

h/ Synthèse

Les valeurs maximales calculées aux points considérés sont donnée dans le **Tableau (IV.4)**.

	N° de point	Point A	Point B	Point C	Point D
Déplacement (m)	Xx	0.043	0.044	0.044	0.051
	YY	$7.17e^{-3}$	$6.45e^{-3}$	$5.21e^{-3}$	$9.43e^{-5}$
Vitesse (m/s)	Xx	0.035	0.033	0.028	0.055
	YY	$2.16e^{-3}$	$1.97e^{-3}$	$1,48e^{-3}$	$6.22e^{-3}$
Accélération (m/s²)	Xx	1.16	0.82	0.14	1
	YY	0.53	0.51	0.68	0.34

Tableau (IV.4): Valeurs maximal aux points considérés.

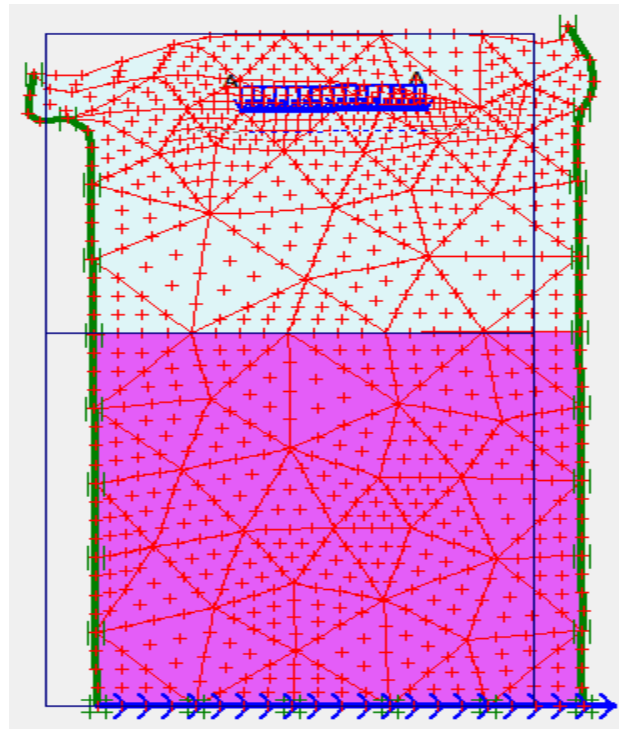
IV.3.2.2. 2^{eme} Cas

L'onde sismique horizontale imposée à la base du modèle de calcul produit les effets ci-après.

- 1) Maillage déformé.
- 2) Contraintes.
- 3) Déplacements.
- 4) Synthèse.

a/ Maillage déformation

Le maillage déformé du modèle de calcul représenté sur la **Fig(IV.29)**



Fig(IV.29): Maillage déformé du profil (2eme cas)

b/Contraintes : Les iso valeurs des contrainte générées dans le massif sont représentées sur a **Fig(IV.30).**

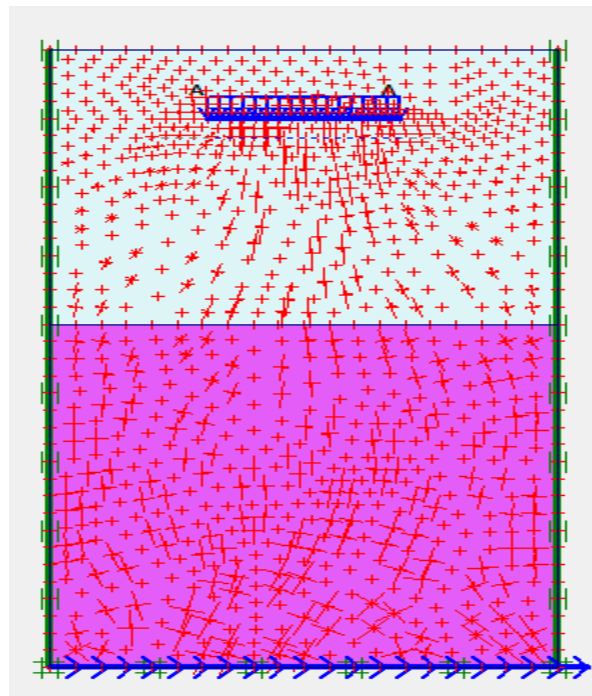
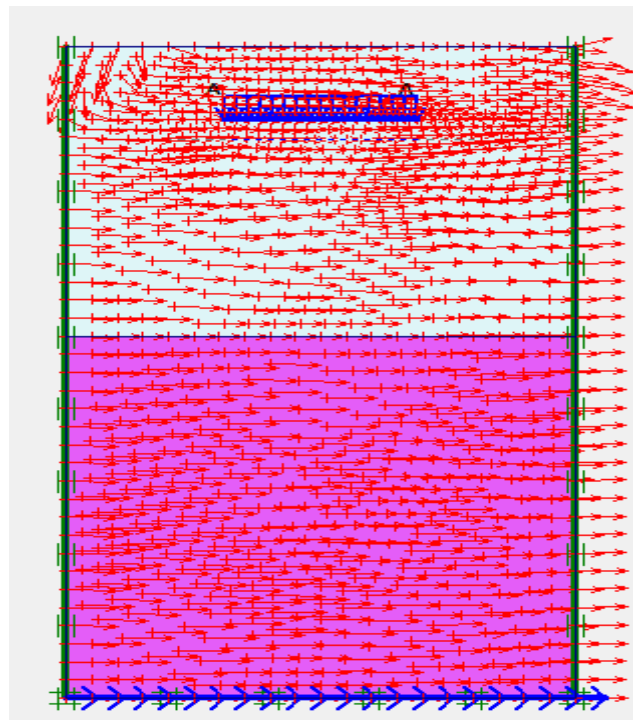


Figure (4-30) : Total stresses (2eme cas)

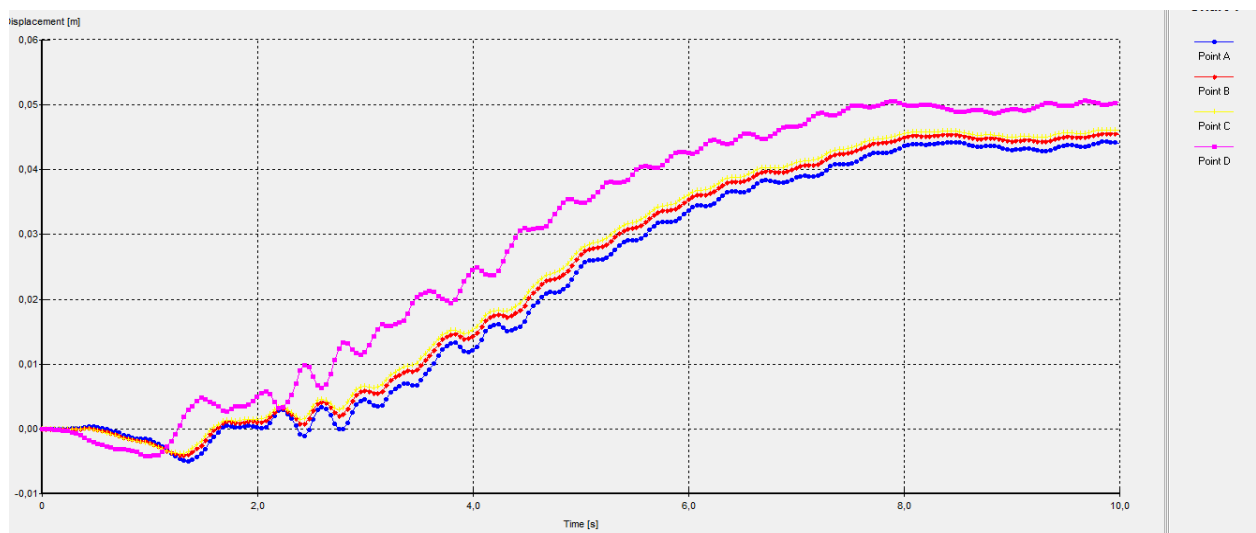
c/ Déplacements : Les vecteurs déplacements sont représentés sur la figure **Fig(IV.31).**



Fig(IV.31) : Total déplacements (2eme cas)

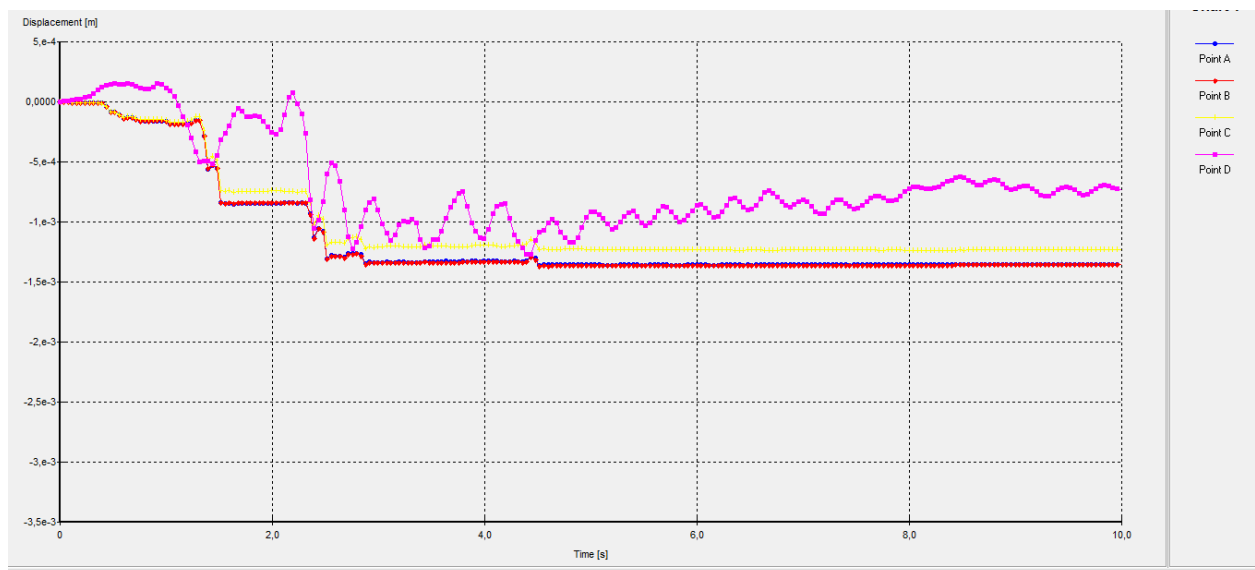
d/ Courbes déplacement-temps

Axe XX' :



Fig(IV.32) : Déplacement-temps suivant l'axe xx' (2eme cas)

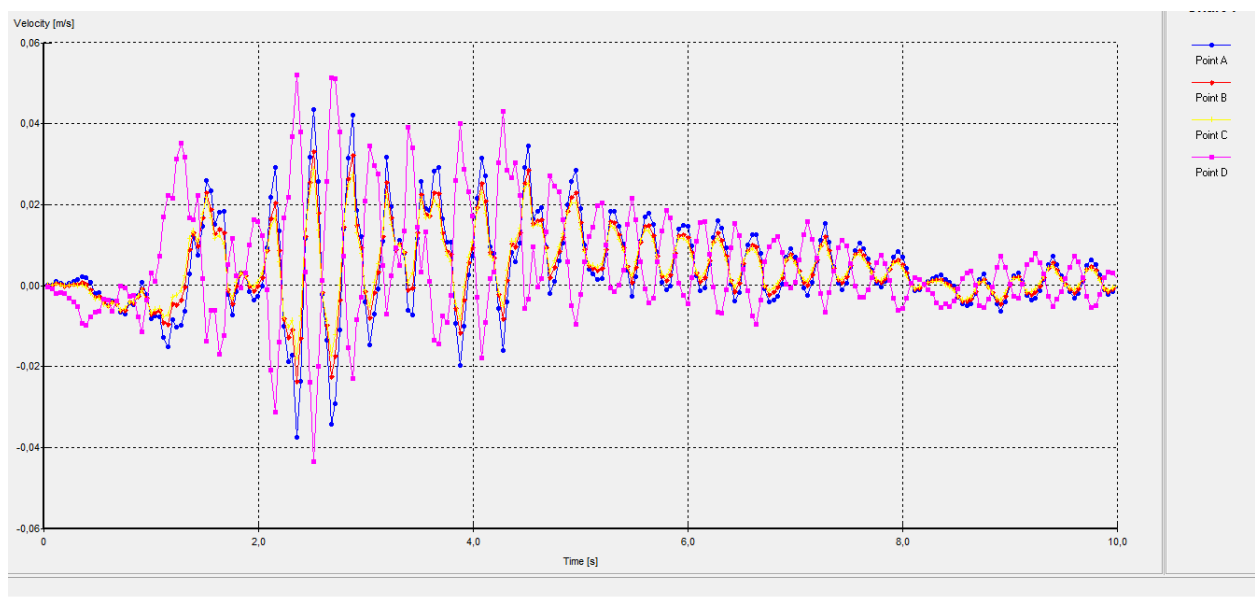
Axe YY' :



Fig(IV.33) : Déplacement-temps l'axe yy' (2eme cas)

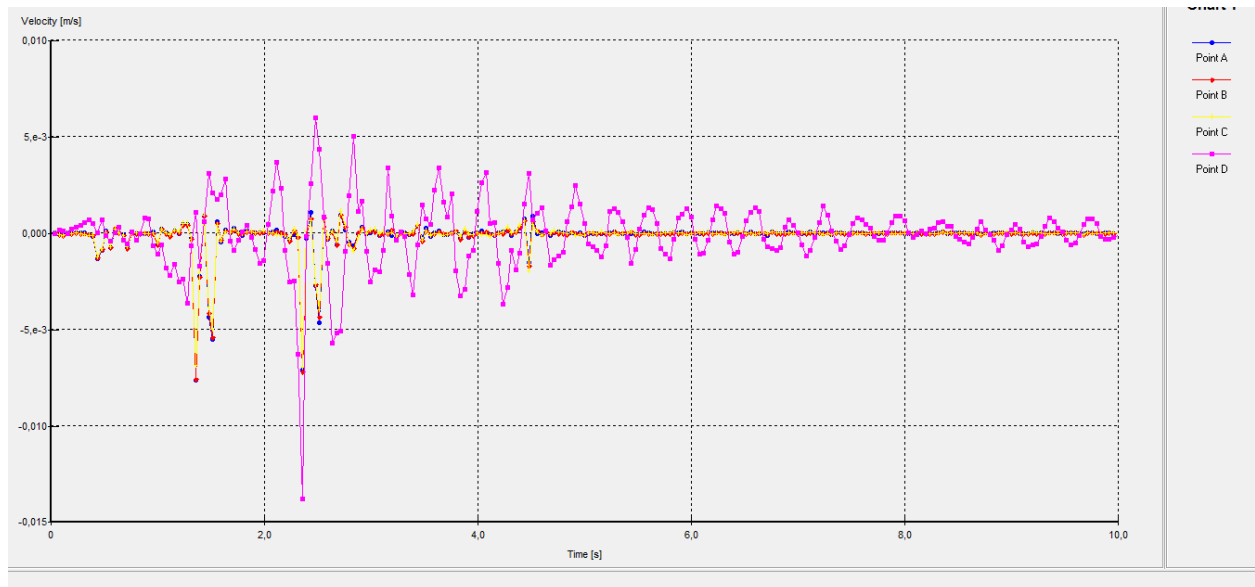
e/ Courbe vitesse-temps

Axe XX' :



Fig(IV.34) : Vitesse-temps suivant l'axe xx' (2eme cas)

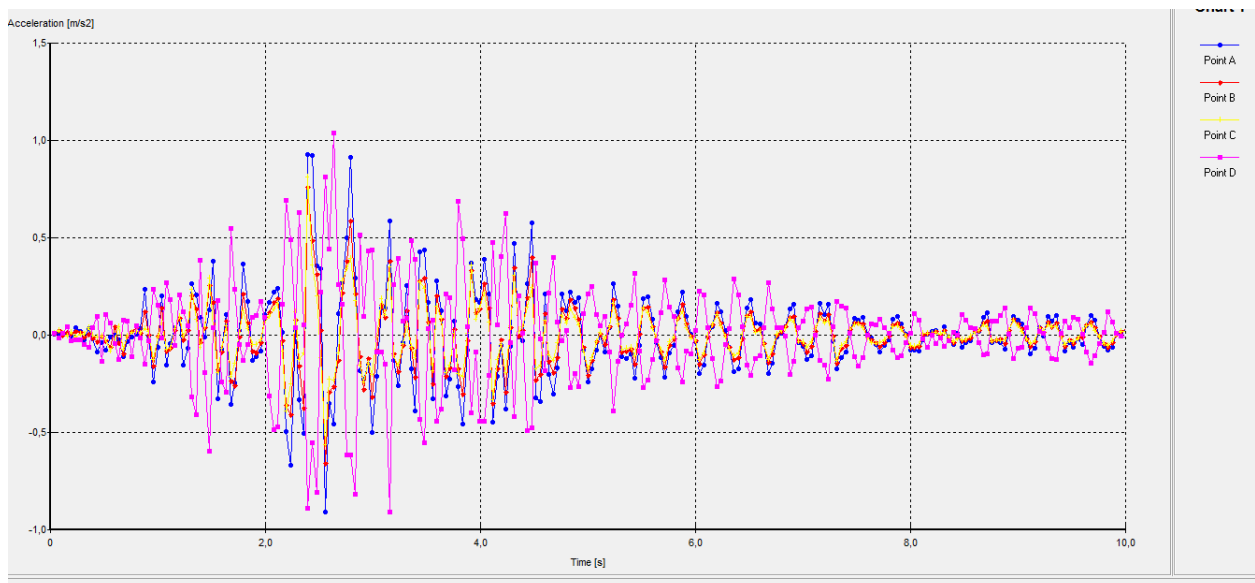
Axe YY' :



Fig(IV.35) : Vitesse-temps suivant l'axe yy' (2eme cas)

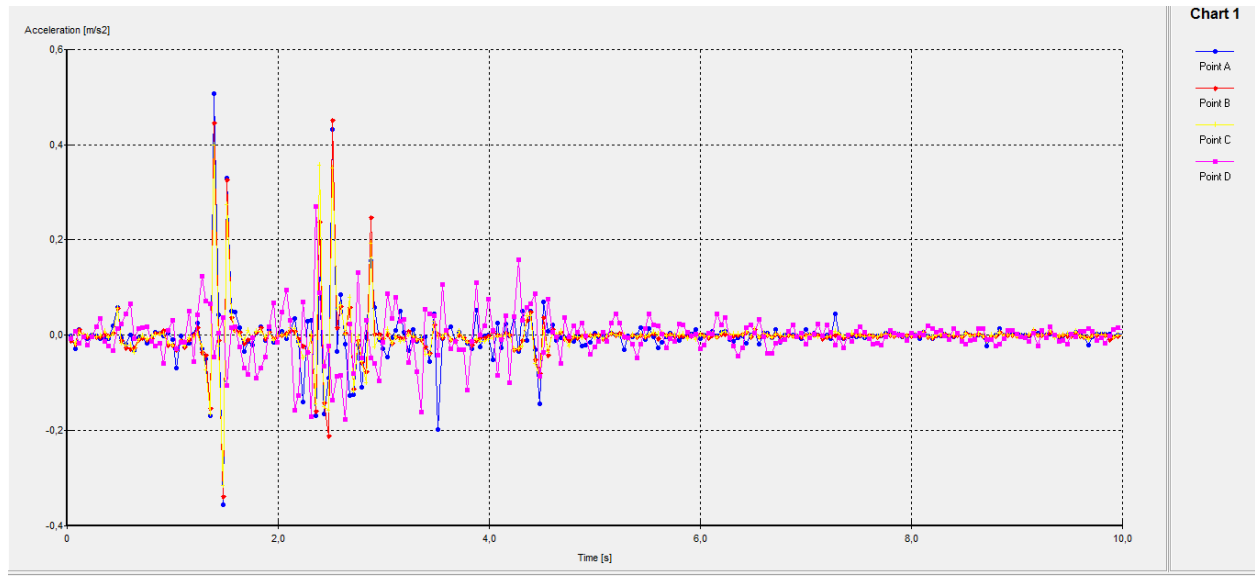
f/ Courbe accélération-temps

Axe XX' :



Fig(IV.36) : Accélération-temps suivant l'axe xx' (2eme cas)

Axe YY' :



Fig(IV.37) : Accélération-temps suivant l'axe yy' (2eme cas)

h/ Synthèse

Les valeurs maximales calculées aux points considérés sont donnée dans le **Tableau (IV.5)**.

	N° de point	Point A	Point B	Point C	Point D
Déplacement (m)	Xx	0.044	0.045	0.046	0.052
	YY	$1.36e^{-3}$	$1.36e^{-3}$	$1.24e^{-3}$	$1.51e^{-4}$
Vitesse (m/S)	Xx	0.044	0.033	0.029	0.052
	YY	$1.05e^{-3}$	$7.40e^{-3}$	$1.14e^{-3}$	$6.01e^{-4}$
Accélération (m/s²)	Xx	0.93	0.76	0.81	1.03
	YY	0.50	0.54	0.40	0.27

Tableau (IV.1) : Valeurs maximal aux points considérés

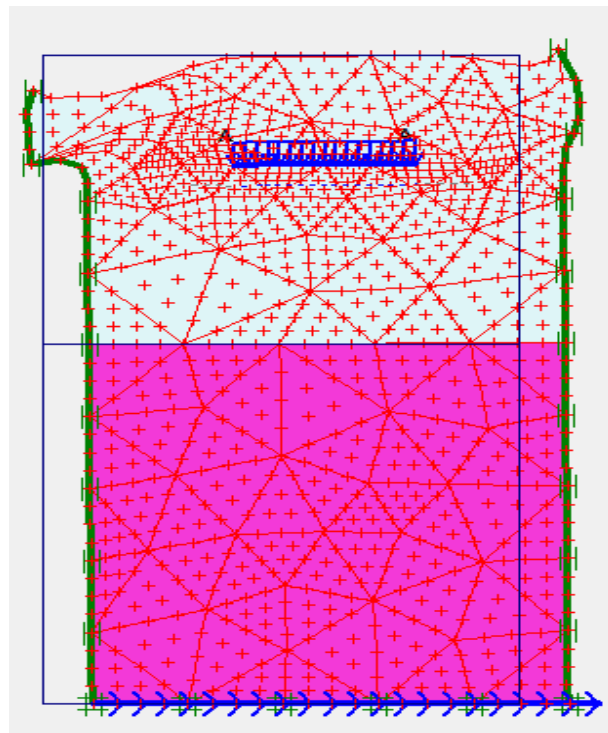
IV-3-2-3- 3^{eme} cas :

L'onde sismique horizontale imposée à la base du modèle de calcul produit les effets ci-après.

- 1) Maillage déformé.
- 2) Contraintes.
- 3) Déplacements.
- 4) Synthèse.

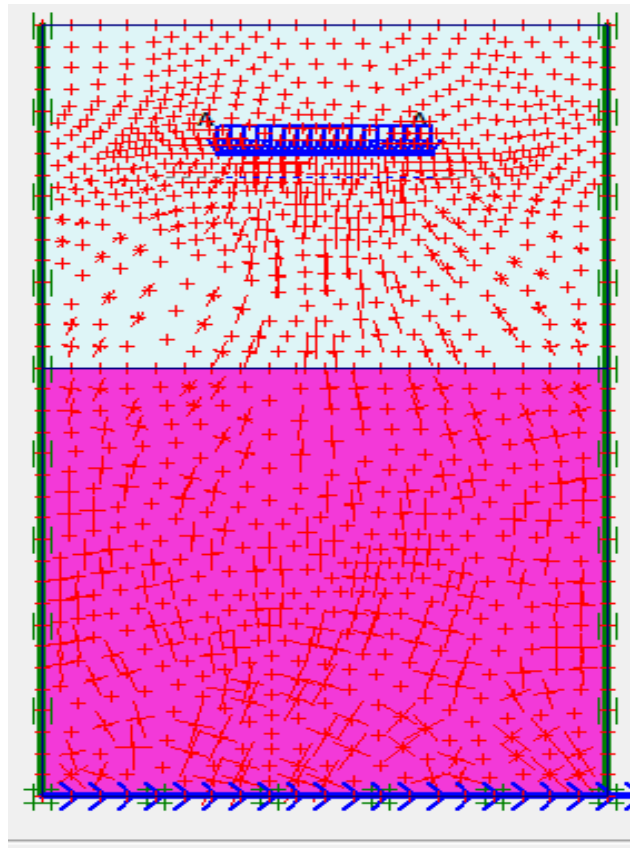
a/ Maillage déformation

Le maillage déformé du modèle de calcul représenté sur **Fig(IV.39)**.



Fig(IV.38) maillage déformé.

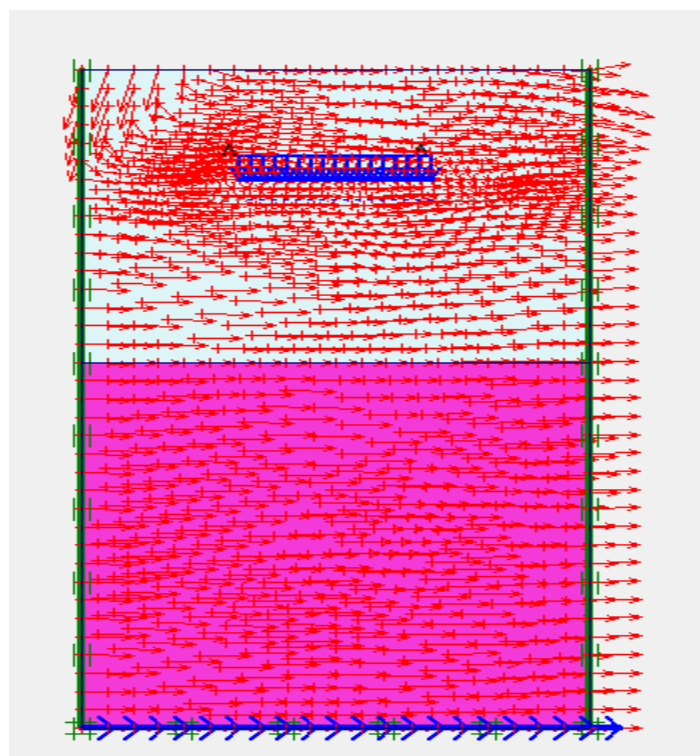
b/Contraintes : Les iso valeurs des contraintes générées dans le massif sont représentées sur a **Fig(IV.39)** .



Fig(IV.39) : Total stresses

c/ Déplacements

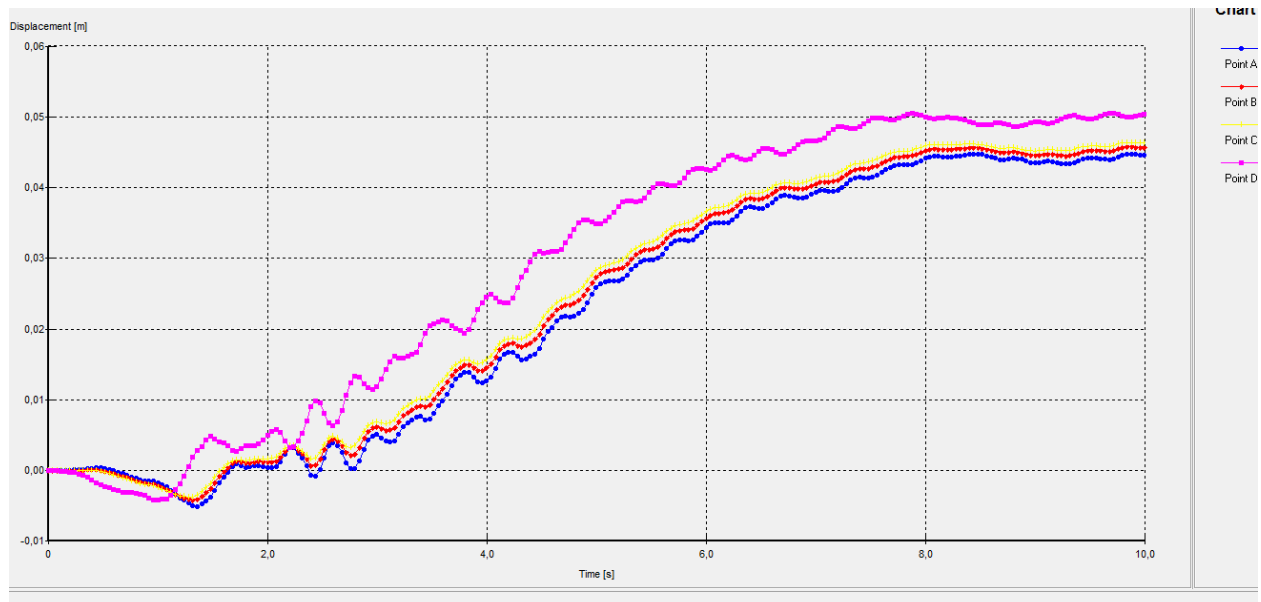
Les vecteurs déplacements sont représentés sur la Fig(IV.41).



Fig(IV.40) : Total déplacements

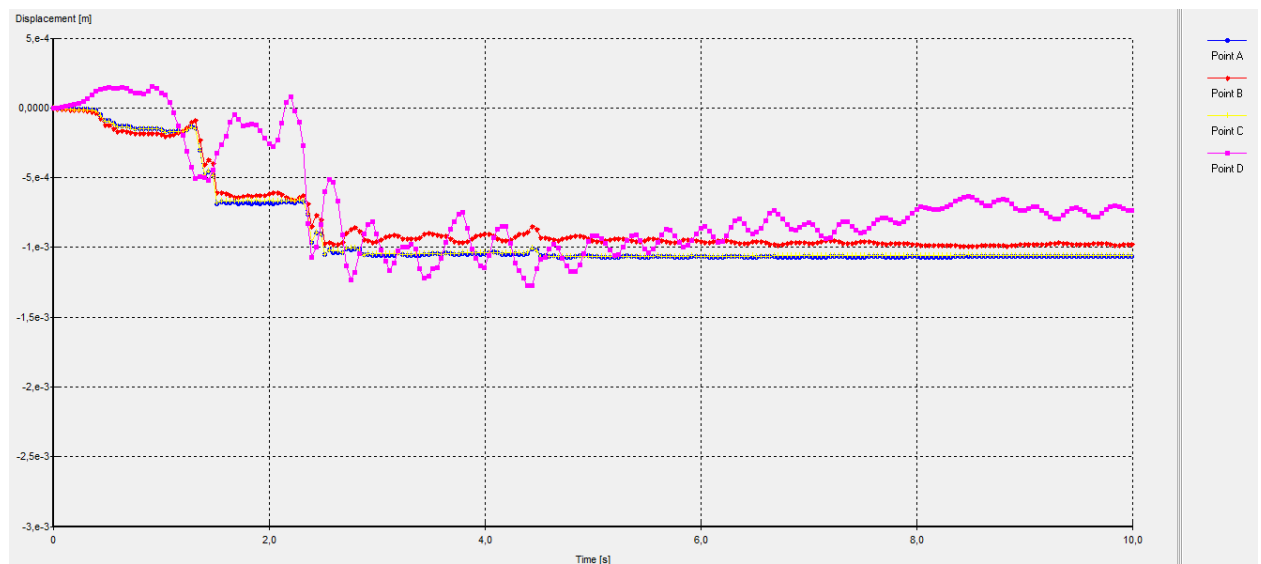
d/ Courbes déplacement-temps

Axe XX' :



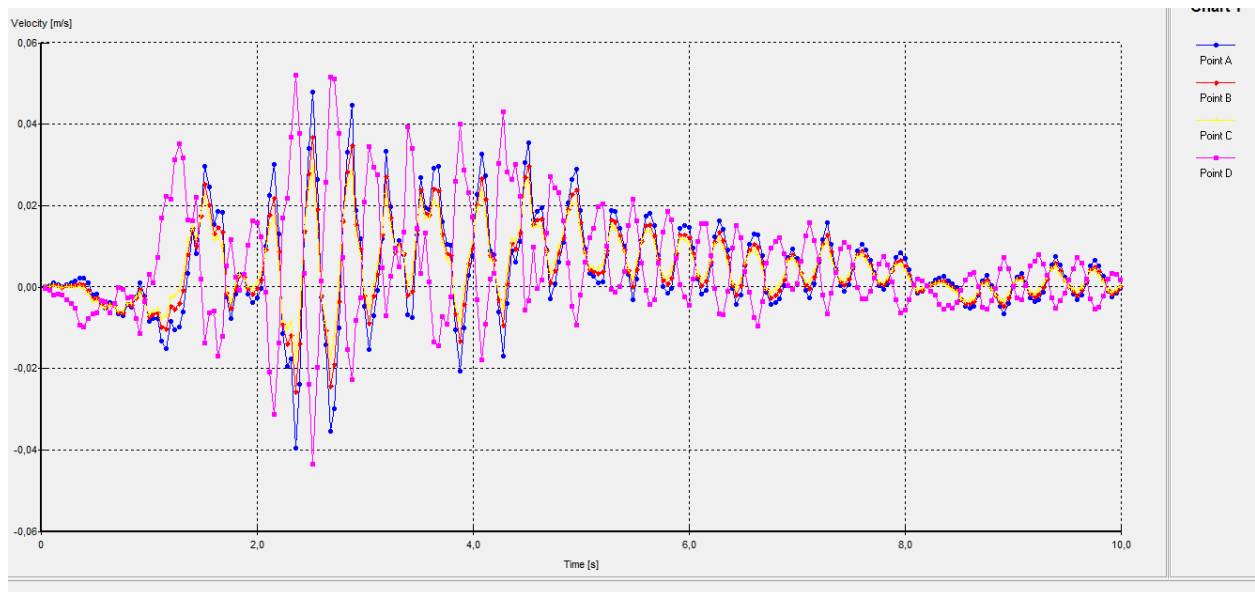
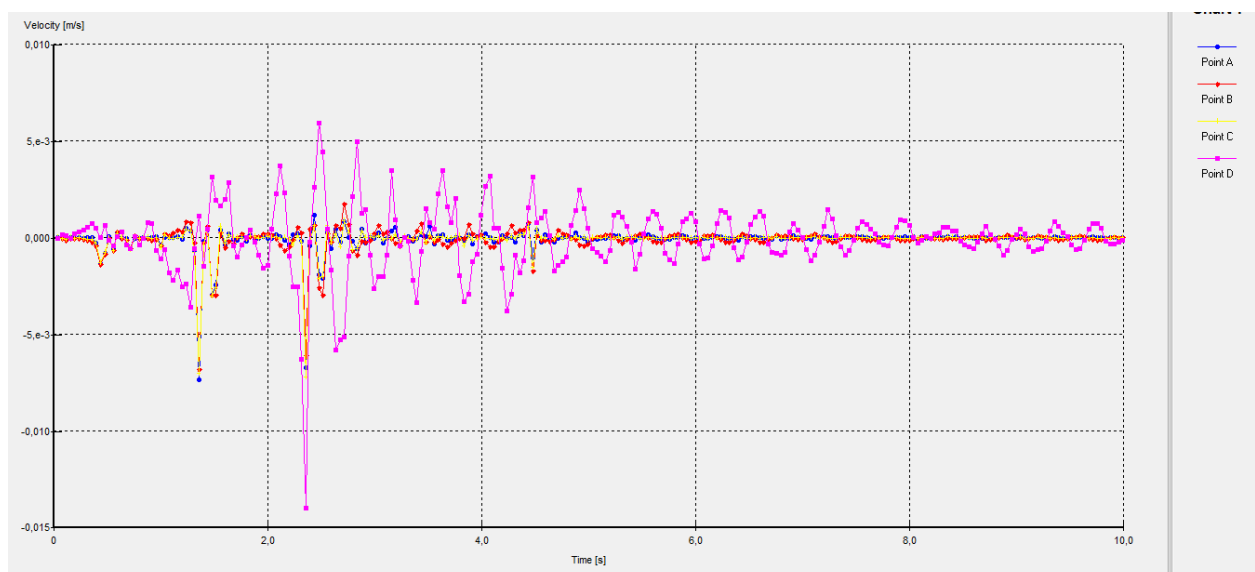
Fig(IV.41) : Déplacement-temps suivant l'axe xx' (3eme cas)

Axe YY' :



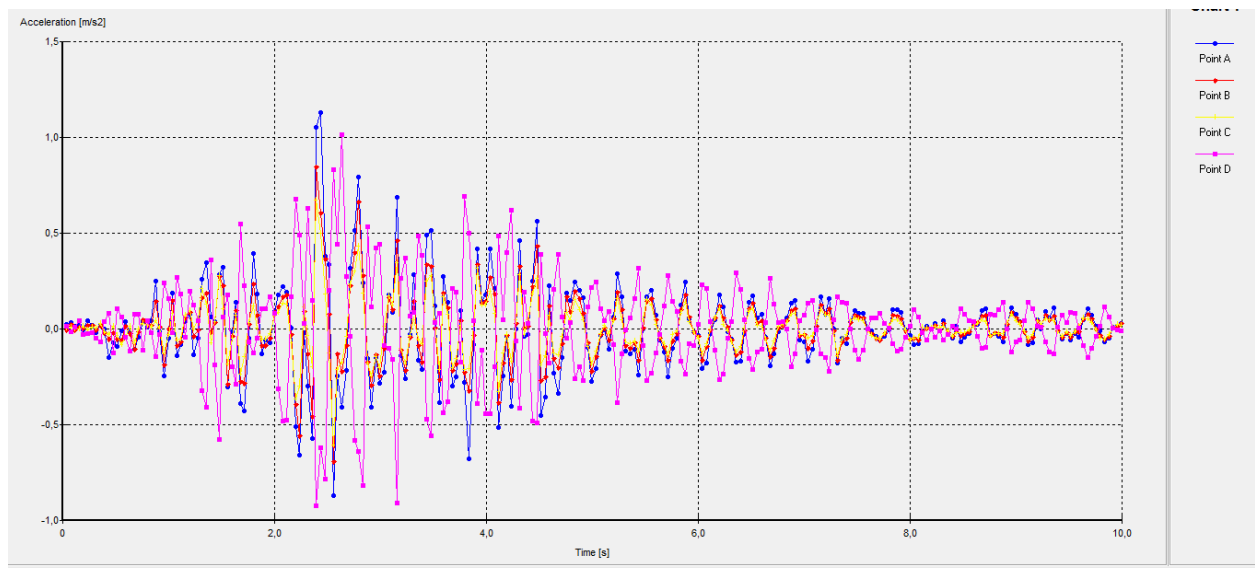
Fig(IV.42): Déplacement-temps suivant l'axe yy' (3eme cas)

e/ Courbe vitesse-temps

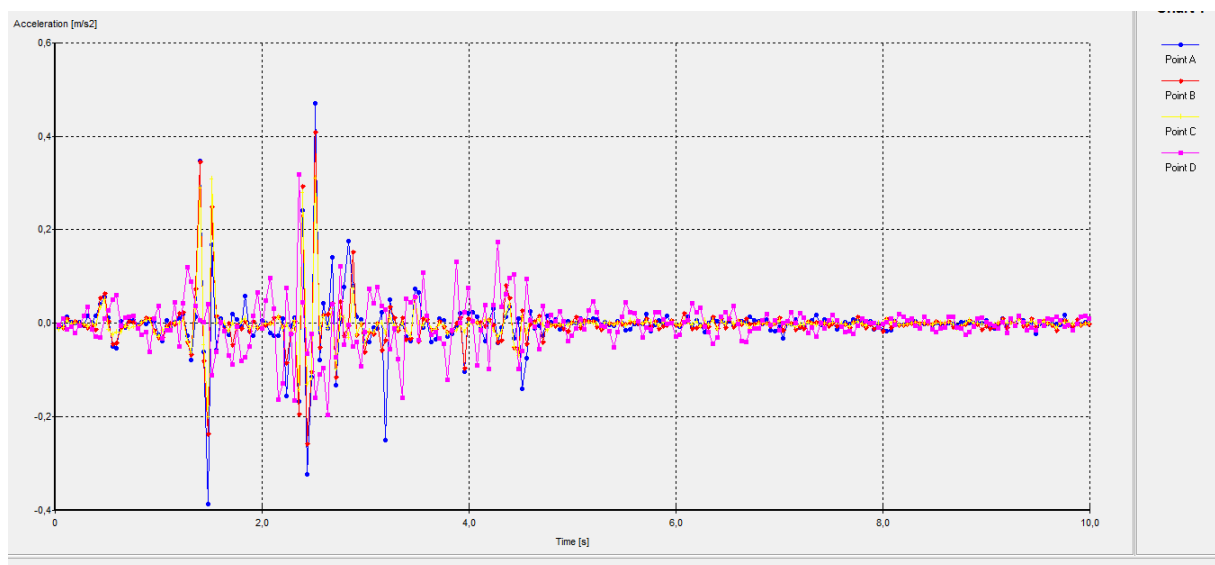
Axe XX' :Fig(IV.43): Vitesse-temps suivant l'axe xx' (3eme cas)Axe YY' :Fig(IV.44) : Vitesse-temps suivant l'axe yy' (3eme cas)

f/ Courbe accélération-temps

Axe XX' :

**Fig(IV.45) : Accélération-temps suivant l'axe xx' (3eme cas)**

Axe YY' :

**Fig(IV.46) : Accélération-temps suivant l'axe yy' (3eme cas)**

	N° de point	Point A	Point B	Point C	Point D
Déplacement (m)	xx	0.045	0.046	0.046	0.053
	YY	$1.01e^{-4}$	$1.01e^{-4}$	$1.47e^{-4}$	$1.50e^{-4}$
Vitesse (m/s)	xx	0.030	0.037	0.048	0.062
	YY	$1.19e^{-3}$	$1.73e^{-3}$	$9.42e^{-4}$	$5.95e^{-4}$
Accélération (m/s²)	xx	0.76	0.84	1.01	1.12
	YY	0.47	0.40	0.31	0.32

Table

au (VI.7) : Valeurs maximal aux points considérés

h/ Synthèse

Les valeurs maximales calculées aux points considérés sont donnée dans le **Tableau (IV.6)**.

IV.3.3. Interprétation des résultats

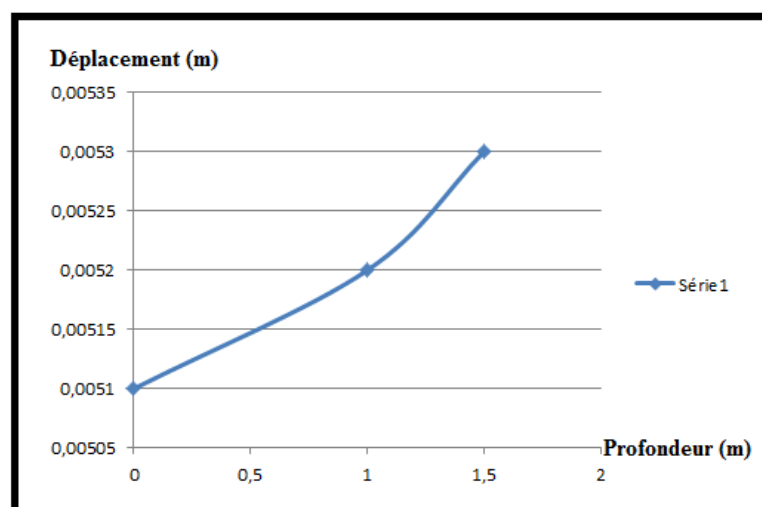
V.3.3.1. Comparaison des calculs

La comparaison des calculs pour les trois cas est résumée dans le **Tableau (IV.7)**.

	1ere cas	2eme cas	3eme cas
Profondeur (m)	00	1	1,5
Déplacement (m)	$51 \cdot 10^{-3}$	$52 \cdot 10^{-3}$	$53 \cdot 10^{-3}$
Vitesse (m/s)	$54 \cdot 10^{-3}$	$56 \cdot 10^{-3}$	$58 \cdot 10^{-3}$
Accélération (m/s^2)	$101 \cdot 10^{-2}$	$104 \cdot 10^{-2}$	$117 \cdot 10^{-2}$

Tableau (VI.7) : Comparaison entre les trois cas

On observé la valeur de (déplacement, vitesse et l'accélération) dans le 3eme cas supérieur aux deux autres cas.



Fig(IV.47): Déplacement-profondeur

Interprétation des résultats obtenue

On remarque que d'après les résultats obtenue des différent cas la variation du déplacement, vitesse et l'accélération augmenté lorsque la profondeur de fondation augmente car la source de séisme dans le centres de la terre et les ondes sismique diminue progressivement vers la surface de la terre c'est -à- dire l'influence du séisme augmenté lorsque la profondeur fondation est augmenté.

D'après les résultats des calculs on peut conclure que le chargement sismique influé sur le « sol-structure » par plusieurs facteurs, notamment en facteur de profondeur, On put dire que : l'étude effectuée sur le facteur de profondeur.