



# Foxta v3

## **PARTIE I : MODULE TASPLAQ**

<b>I.1. INTRODUCTION.....</b>	<b>7</b>
<b>I.2. ASPECTS THEORIQUES.....</b>	<b>8</b>
I.2.1. Notions préliminaires .....	8
I.2.1.1. Modélisation d'une plaque en éléments finis .....	8
I.2.1.2. Généralisation du modèle de Boussinesq .....	8
I.2.2. Formulation.....	9
I.2.2.1. Principe général de la méthode.....	9
I.2.2.2. Modélisation de la plaque.....	10
I.2.2.3. Modélisation de l'interaction Sol / Plaque .....	12
I.2.2.4. Modélisation du sol support.....	13
I.2.2.5. Formulation du problème et résultats .....	14
I.2.3. Traitement de certains cas particuliers.....	15
I.2.3.1. Décollement de la plaque.....	15
I.2.3.2. Limitation de la réaction du sol .....	15
I.2.3.3. Prise en compte d'une charge extérieure appliquée au sol .....	16
I.2.3.4. Prise en compte d'une contrainte initiale dans le sol .....	16
I.2.4. Prise en compte des symétries .....	17
I.2.4.1. Cas d'une symétrie par rapport à un ou deux plans .....	17
I.2.4.2. Axisymétrie (ou symétrie par rapport à un axe) .....	17
I.2.4.3. Déformations planes .....	18
I.2.5. Limites de validité .....	19
I.2.5.1. Validité du modèle de Kirchhoff.....	19
I.2.5.2. Validité du modèle de Boussinesq .....	19
I.2.5.3. Cas particulier d'une couche de forme en surface.....	19
<b>I.3. MANUEL D'UTILISATION.....</b>	<b>20</b>
I.3.1. Notations et unités .....	20
I.3.1.1. Notations et conventions de signe.....	20
I.3.1.2. Unités.....	20
I.3.2. Onglet "Paramètres" .....	21
I.3.2.1. Cadre "Mode général" .....	21
I.3.2.2. Cadre "Cadre de travail".....	21
I.3.2.3. Cadre "Interface plaque/support" .....	22
I.3.2.4. Cadre "Paramètres avancés" .....	23
I.3.3. Onglet "Couches".....	24
I.3.3.1. Cadre "Définition des couches de sol".....	24
I.3.3.2. Cadre "Charges extérieures sur le sol".....	26

I.3.4.	Onglet "Plaque" .....	34
I.3.4.1.	Définition des propriétés de la plaque .....	34
I.3.4.2.	Assistants "Plaque circulaire" et "Plaque quelconque" .....	35
I.3.4.3.	Assistant "Paramètres équivalents d'une section mixte" .....	37
I.3.5.	Onglet "Désactivation" .....	39
I.3.5.1.	Définition des zones désactivées .....	39
I.3.5.2.	Assistant "Désactivation" .....	40
I.3.6.	Onglet "Charges réparties" .....	42
I.3.6.1.	Charges réparties dans le cas de projets 3D .....	42
I.3.6.2.	Charges réparties dans le cas de projets 2D .....	43
I.3.6.3.	Assistants de définition des charges .....	44
I.3.7.	Onglet "Charges linéiques" .....	46
I.3.7.1.	Charges et raideurs linéiques dans le cas de projets 3D .....	46
I.3.7.2.	Charges et raideurs linéiques dans le cas de projets 2D .....	47
I.3.8.	Onglet "Charges ponctuelles" .....	48
I.3.8.1.	Assistants "Charges ponctuelles" .....	49
I.3.9.	Onglet "Décollement/Plastification" .....	52
I.3.10.	Onglet "Maillage" .....	53
I.3.10.1.	Cadre "Paramètres généraux" .....	53
I.3.10.2.	Cadre "Raffinements" .....	54
I.3.10.3.	Cadre "Passages imposés" .....	54
I.3.11.	Calcul et résultats .....	55
I.3.11.1.	Calcul .....	55
I.3.11.2.	Résultats disponibles pour les projets 3D .....	56
I.3.11.3.	Résultats disponibles pour les projets 2D .....	67
I.3.11.4.	Assistant externe d'exportation vers Tasseldo .....	71
<b>I.4.</b>	<b>EXEMPLES DE CALCUL TASPLAQ .....</b>	<b>72</b>
I.4.1.	Exemple 1 : Dalle sur appuis rigides .....	72
I.4.1.1.	Etape 1 : Dalle appuyée sur deux côtés opposés .....	72
I.4.1.2.	Etape 2 : Plaque appuyée sur 4 côtés .....	84
I.4.1.3.	Comparaison des résultats .....	86
I.4.2.	Exemple 2 : Radiers sous chargements localisés .....	89
I.4.2.1.	Etape 1 : Radier isolé .....	89
I.4.2.2.	Etape 2 : Deux radiers identiques voisins .....	103
I.4.3.	Exemple 3 : Dallage avec différents systèmes de joints .....	108
I.4.3.1.	Etape 1 : Dallage continu sur sol multicouche élastique .....	108
I.4.3.2.	Etape 2 : Dallage avec joints partiels sur sol multicouche élastique .....	118
I.4.3.3.	Etape 3 : Dallage avec joints francs sur sol multicouche élastique .....	122
I.4.3.4.	Comparaison des trois situations étudiées .....	125
I.4.4.	Exemple 4 : Radier en L sous chargement linéique et interaction avec un remblai .....	128
I.4.4.1.	Etape 1 : Radier en L sous chargement linéique .....	128
I.4.4.2.	Etape 2 : Influence d'un remblai voisin .....	135
I.4.5.	Exemple 5 : Calcul de tassements sous un réservoir circulaire .....	138
I.4.5.1.	Etape 1 : Phase de construction du réservoir .....	139
I.4.5.2.	Etape 2 : Phase "hydrotest" .....	146

I.4.6.	Exemple 6 : Poutre de roulement et calage du coefficient de réaction .....	150
I.4.6.1.	Etape 1 : Semelle chargée localement avec prise en compte du poids propre .....	150
I.4.6.2.	Etape 2 : Semelle chargée localement – Définition du coefficient de réaction équivalent .....	160
I.4.7.	Exemple 7 : Calcul d'une fondation en déformations planes .....	163
I.4.7.1.	Saisie de données.....	163
I.4.7.2.	Résultats graphiques - Coupes .....	167

## TABLE DES FIGURES

Figure I.1	: Schéma de principe.....	7
Figure I.2	: Application de la formule de Steinbrenner .....	9
Figure I.3	: Principe de la méthode, éléments du système .....	10
Figure I.4	: Modélisation de la plaque en éléments finis .....	10
Figure I.5	: Modélisation des trous .....	11
Figure I.6	: Modélisation d'une forme polygonale.....	11
Figure I.7	: Simulation de joints francs .....	11
Figure I.8	: Modélisation de plusieurs plaques désolidarisées .....	11
Figure I.9	: Equilibre de la plaque.....	12
Figure I.10	: Distribution de la réaction du sol sous la plaque.....	13
Figure I.11	: Calcul des coefficients d'influence dans le cas d'un multicouche non horizontal .....	14
Figure I.12	: Décollement de la plaque - Exemple .....	15
Figure I.13	: Prise en compte d'une charge extérieure s'appliquant directement au sol.....	16
Figure I.14	: Prise en compte d'une contrainte initiale en surface - Exemple .....	16
Figure I.15	: Schématisation de la condition de symétrie par rapport à un plan .....	17
Figure I.16	: Modèle de Kirchhoff pour les plaques circulaires avec des éléments "annulaires" à 2 nœuds et 4 degrés de liberté .....	17
Figure I.17	: Discrétisation en éléments de poutre à 2 nœuds et 4 degrés de liberté .....	18
Figure I.18	: Onglet "Paramètres".....	21
Figure I.19	: Figure d'aide à la définition des coordonnées de la plaque.....	22
Figure I.20	: Figure d'aide au choix de la symétrie.....	22
Figure I.21	: Onglet "Couches" : cas d'un modèle 3D .....	24
Figure I.22	: Figure d'aide pour le pendage des couches selon x.....	25
Figure I.23	: Figure d'aide pour le pendage des couches selon y.....	25
Figure I.24	: Disposition globale du problème {Plaque + Sol + Charges ext.} .....	26
Figure I.25	: Figure d'aide pour la définition des charges extérieures en 3D.....	26
Figure I.26	: Figure d'aide pour la définition des charges extérieures dans le cas d'un projet 2D en déformations planes.....	27
Figure I.27	: Figure d'aide pour la définition des charges extérieures dans le cas d'un projet 2D axisymétrique .....	27
Figure I.28	: Exemples de visualisation d'une charge extérieure sur le sol.....	28
Figure I.29	: Chargements automatiques (assistants).....	29
Figure I.30	: Assistant : "Chargement circulaire uniforme".....	30
Figure I.31	: Onglet "Couches" - Charges extérieures – Après assistant "Chargement circulaire uniforme" .....	30
Figure I.32	: Assistant : "Chargement annulaire uniforme" .....	31
Figure I.33	: Onglet "Couches" - Charges extérieures - Après assistant "Chargement annulaire uniforme" .....	31
Figure I.34	: Exemple de chargement de type Talus 3D.....	32
Figure I.35	: Assistant : "Chargement type talus 3D" .....	32
Figure I.36	: Onglet "Couches - Charges extérieures – Après assistant "Chargement de type talus 3D".....	33
Figure I.37	: Assistant de charges pour Tasplaq – Exemple de modification du groupe n°1.....	34
Figure I.38	: Onglet "Plaque" .....	34
Figure I.39	: Assistant pour une plaque circulaire .....	36
Figure I.40	: Assistant pour une plaque de forme quelconque.....	37
Figure I.41	: Assistant de Plaque pour Tasplaq – Exemple de modification du groupe n°3 .....	37
Figure I.42	: Assistant : Paramètres équivalents d'une section mixte .....	38
Figure I.43	: Onglet "Désactivation".....	39
Figure I.44	: Assistant de désactivation circulaire .....	40
Figure I.45	: Assistant de désactivation quelconque .....	41

Figure I.46	: Assistant de désactivation pour Tasplaq – Exemple de modification du groupe n°3.....	41
Figure I.47	: Onglet "Charges réparties" - projets 3D.....	42
Figure I.48	: Onglet "Charges réparties" - projets 2D.....	43
Figure I.49	: Assistant de charges réparties.....	44
Figure I.50	: Assistant "Charge répartie circulaire".....	45
Figure I.51	: Assistant "Charge répartie quelconque".....	46
Figure I.52	: Onglet "Charges linéiques" - Projet 3D.....	47
Figure I.53	: Onglet "Charges linéiques" - Projet 2D.....	48
Figure I.54	: Onglet "Charges ponctuelles".....	49
Figure I.55	: Assistant de charges ponctuelles le long d'un segment.....	50
Figure I.56	: Assistant de charges répartie sur un rectangle horizontal.....	51
Figure I.57	: Cas d'une plaque partiellement appuyée sur le sol.....	52
Figure I.58	: Onglet "Décollement/plastification".....	52
Figure I.59	: Onglet "Maillage".....	53
Figure I.60	: Fenêtre de calcul en cours/terminé.....	56
Figure I.61	: Fenêtre des résultats – Projet 3D.....	56
Figure I.62	: Résultats numériques formatés – Projet 3D.....	58
Figure I.63	: Résultats numériques formatés : Réaction dans les appuis surfaciques.....	59
Figure I.64	: Résultats numériques : Tableau de résultats.....	59
Figure I.65	: Coupe graphique – Projet 3D – Flèche de la plaque – Exemple de coupe suivant x.....	61
Figure I.66	: Coupe graphique – Projet 3D – Tassement du sol – Exemple de coupe suivant y.....	62
Figure I.67	: Coupe graphique – Projet 3D – Réaction du sol – Exemple de coupe suivant x.....	62
Figure I.68	: Nuage de points : Modifier les bornes du dégradé.....	63
Figure I.69	: Nuage de points – Projet 3D – Moment $M_x$ .....	63
Figure I.70	: Nuage de points – Projet 3D – Tassement du sol.....	63
Figure I.71	: Graphique 3D – Flèche de la plaque.....	64
Figure I.72	: Graphique 3D – Moment $M_x$ .....	64
Figure I.73	: Assistant de déshomogénéisation des données.....	65
Figure I.74	: Assistant de déshomogénéisation des données : résultats.....	66
Figure I.75	: Fenêtre des résultats – Projet 2D.....	67
Figure I.76	: Résultats numériques formatés – Exemple pour un projet 2D en déformations planes.....	67
Figure I.77	: Résultats numériques : Tableau des résultats – Projets 2D en déformations planes.....	68
Figure I.78	: Résultats numériques : Tableau des résultats – Projets 2D axisymétriques.....	69
Figure I.79	: Coupe graphique : exemple de projet 2D axisymétrique - Flèche de la plaque/tassement du sol.....	70
Figure I.80	: Coupe graphique : exemple de projet 2D en déformations planes - Moment $M_x$ .....	70

## TABLE DES TABLEAUX

Tableau I.1	: Notations et conventions de signe .....	20
Tableau I.2	: Unités .....	20
Tableau I.3	: Onglet "Paramètres" : Cadre "Cadre de travail" .....	22
Tableau I.4	: Onglet "Paramètres" : Cadre "Interface plaque/support" .....	23
Tableau I.5	: Onglet "Paramètres" : Cadre "Paramètres avancés" .....	24
Tableau I.6	: Paramètres des couches de sol .....	25
Tableau I.7	: Définition de la contrainte initiale en surface .....	25
Tableau I.8	: Paramètres pour la définition des charges extérieures sur le sol dans le cas d'un modèle 3D .....	27
Tableau I.9	: Paramètres pour la définition des charges extérieures sur le sol dans le cas d'un modèle 2D .....	28
Tableau I.10	: Paramètres pour l'assistant "Chargement circulaire uniforme" .....	29
Tableau I.11	: Paramètres pour l'assistant "Chargement annulaire uniforme" .....	31
Tableau I.12	: Paramètres pour l'assistant "Chargement de type Talus 3D" .....	33
Tableau I.13	: Définition des caractéristiques mécaniques de la plaque .....	35
Tableau I.14	: Paramètres pour l'assistant "Désactivation circulaire" .....	35
Tableau I.15	: Paramètres pour l'assistant "Plaque quelconque" .....	36
Tableau I.16	: Paramètres de l'assistant "Section mixte" .....	38
Tableau I.17	: Paramètres de désactivation .....	39
Tableau I.18	: Paramètres pour l'assistant "Désactivation circulaire" .....	40
Tableau I.19	: Paramètres pour l'assistant "Désactivation quelconque" .....	41
Tableau I.20	: Paramètres pour les charges réparties en 3D .....	42
Tableau I.21	: Paramètres pour les charges réparties en 2D .....	43
Tableau I.22	: Paramètres pour le chargement circulaire uniforme .....	45
Tableau I.23	: Paramètre pour une charge répartie quelconque .....	45
Tableau I.24	: Paramètres pour les charges linéiques en 3D .....	47
Tableau I.25	: Paramètres pour les charges linéiques en 2D .....	48
Tableau I.26	: Paramètres pour les charges ponctuelles .....	49
Tableau I.27	: Paramètre pour l'assistant de charges ponctuelles le long d'un segment .....	50
Tableau I.28	: Paramètres de gestion manuelle du décollement/plastification de la plaque .....	53
Tableau I.29	: Paramètres pour le raffinement du maillage "Sur l'axe X" et "Sur l'axe Y" .....	54
Tableau I.30	: Paramètres pour le raffinement du maillage "sur les axes X et Y" .....	54
Tableau I.31	: Paramètres pour le passage imposé sur "Sur l'axe X" et "Sur l'axe Y" .....	55
Tableau I.32	: Paramètres pour le passage imposé "Sur les axes X et Y" .....	55
Tableau I.33	: Détail des résultats numériques (tassement et réaction aux nœuds) .....	60
Tableau I.34	: Détail des résultats numériques (flèche de la plaque) .....	60
Tableau I.35	: Détail des résultats numériques (moment fléchissant) .....	61
Tableau I.36	: Assistant de déshomogénéisation : cadre "Couche inférieure" .....	65
Tableau I.37	: Détail des résultats numériques relatifs à la plaque (projets 2D) .....	69
Tableau I.38	: Détail des résultats numériques - Tassement et réaction du sol (projets 2D) .....	69
Tableau I.39	: Détail des résultats numériques - Moments fléchissants (projets 2D en déformations planes) .....	69
Tableau I.40	: Détail des résultats numériques - Moments fléchissants (projets 2D axisymétriques) .....	69

## I.1. INTRODUCTION

Le programme TASPLAQ permet de modéliser en trois dimensions, de manière simplifiée, le cas d'une ou plusieurs plaques sur sol support élastique.

La plaque, de comportement élastique linéaire, est représentative d'un élément de fondation étendu, de type radier ou dallage, d'inertie et géométrie quelconques et soumis à l'application de chargement hétérogène : charges réparties, charges ponctuelles, moments...

Le support de la plaque est supposé de comportement initial élastique. Celui-ci est assimilé par défaut à un massif multicouche élastique (couches horizontales ou inclinées, caractérisées chacune par un module de Young et un coefficient de Poisson). Il est également possible d'appuyer la plaque par à une distribution de ressorts : surfaciques, linéiques ou ponctuels, en translation ou en rotation.

La condition de contact "support / plaque" autorise le décollement/plastification en surface suivant un critère défini au préalable.

La mise en œuvre de la méthode permet d'obtenir la flèche de la plaque, le tassement et les réactions en tout point, ainsi que les efforts dans la plaque (moments et efforts tranchants).

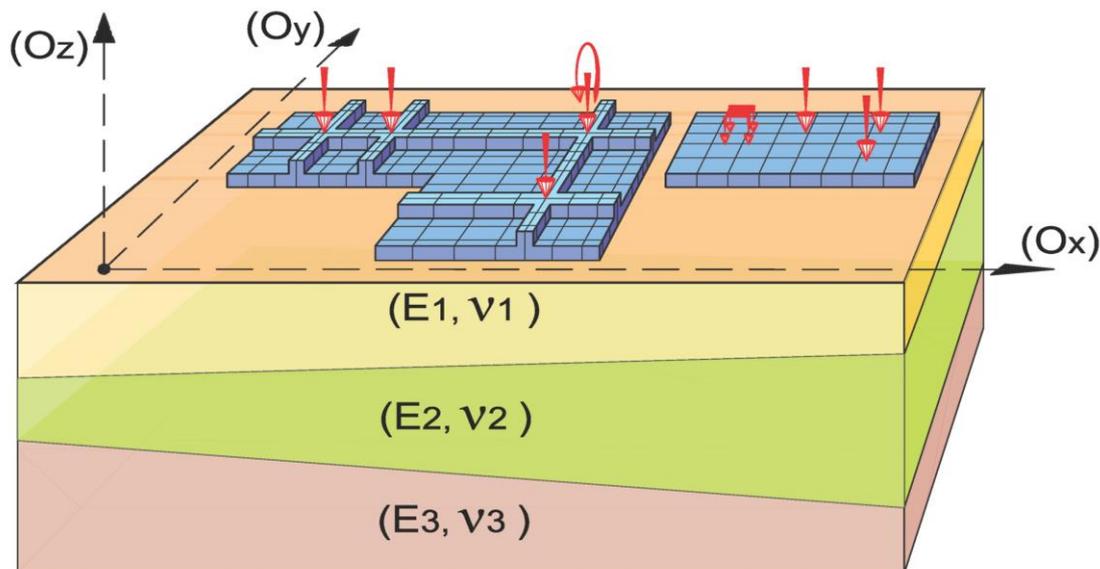


Figure I.1 : Schéma de principe

## I.2. ASPECTS THEORIQUES

### I.2.1. Notions préliminaires

#### I.2.1.1. Modélisation d'une plaque en éléments finis

La plaque est supposée homogène isotrope et travaillant en flexion pure. On se limite au cas des plaques dont l'épaisseur est faible devant les autres dimensions, ce qui nous permet d'adopter la théorie classique des plaques minces et plus exactement "le modèle discret de Kirchhoff". Dans le cadre dudit modèle, seules les déformations dues à la flexion sont prises en compte : la contribution des déformations de cisaillement est négligée.

La plaque est supposée de comportement élastique linéaire, la combinaison des équations d'équilibre et des lois de comportement conduit ainsi à l'équation ci-dessous, dite de Lagrange :

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = q(x, y) \frac{(1-\nu^2)}{EI} \quad (1)$$

Où  $w$  désigne la flèche de la plaque,  $q$  la densité de charge appliquée à la plaque,  $EI$  le produit d'inertie et  $\nu$  le coefficient de Poisson.

La résolution de cette équation peut être menée en introduisant une formulation en éléments finis. Nous choisissons un modèle de type "déplacements", avec des éléments rectangulaires à quatre nœuds et 12 degrés de liberté (Zienkiewicz O.C., 1991). Chaque nœud possède ainsi trois degrés de liberté : un déplacement et deux rotations. Ces rotations ne sont autres que les premières dérivées partielles de la flèche (approximation de Kirchhoff).

Il convient de noter que ce modèle est caractérisé par sa simplicité et sa convergence sûre et rapide.

#### I.2.1.2. Généralisation du modèle de Boussinesq

Le sol est assimilé à un massif multicouche élastique. Certes, tous les géotechniciens savent bien que le sol n'est pas un matériau élastique, mais Terzaghi lui-même admettait que lorsque les contraintes étaient inférieures au tiers des valeurs limites, on pouvait considérer avec une approximation suffisante que le sol avait un comportement élastique.

Le comportement élastique du sol étant admis, on se propose d'utiliser les formules de Boussinesq pour le calcul des tassements en surface. Il convient de rappeler que le modèle de Boussinesq a été établi à la base pour le cas d'un massif semi-infini homogène. Ce modèle nous fournit un profil de contraintes qu'on suppose valable dans le cas d'un multicouche. On admet donc que les distributions des contraintes sont identiques dans les deux cas.

Plusieurs recherches et approches (Burland 1977) ont pu discuter de manière approfondie des conditions de cette simplification, et ont conclu que celle-ci était effectivement acceptable dans la majorité des situations couramment rencontrées par l'ingénieur ; une exception notable est le cas d'une couche raide surmontant des couches plus déformables.

Le calcul des tassements se basera principalement sur la méthode de superposition applicable dans le modèle élastique ainsi que sur la formule de Steinbrenner (calcul élastique 3D également utilisé dans le module Tasseldo de Foxta) qui découle des formules de Boussinesq (Terzaghi, 1943). Cette formule permet d'exprimer le tassement, sous le coin d'une charge rectangulaire uniforme, d'une couche située entre les profondeurs  $D1$  et  $D2$ , de module  $E$  et de coefficient de Poisson  $\nu$  :

$$\rho_{D1-D2} = \frac{qB}{E} \left( (1-\nu^2)(F_1(d_2) - F_1(d_1)) + (1-\nu-2\nu^2)(F_2(d_2) - F_2(d_1)) \right) \quad (2)$$

Où :

$$\begin{cases} F_1(d) = \frac{1}{\pi} \left( l \ln \left( \frac{(1 + \sqrt{l^2 + 1}) \sqrt{l^2 + d^2}}{l(1 + \sqrt{1 + d^2 + l^2})} \right) + \ln \left( \frac{(l + \sqrt{l^2 + 1}) \sqrt{1 + d^2}}{(l + \sqrt{1 + d^2 + l^2})} \right) \right) \\ F_2(d) = \frac{d}{2\pi} \arctan \left( \frac{l}{d \sqrt{1 + d^2 + l^2}} \right) \end{cases} \quad \text{avec } d = \frac{D}{B} \text{ et } l = \frac{L}{B} \quad (3)$$

En additionnant les tassements produits dans chaque couche, et en combinant avec la méthode de superposition algébrique, on évalue le tassement, induit par une ou plusieurs charges rectangulaires, en tout point de la surface d'un multicouche élastique.

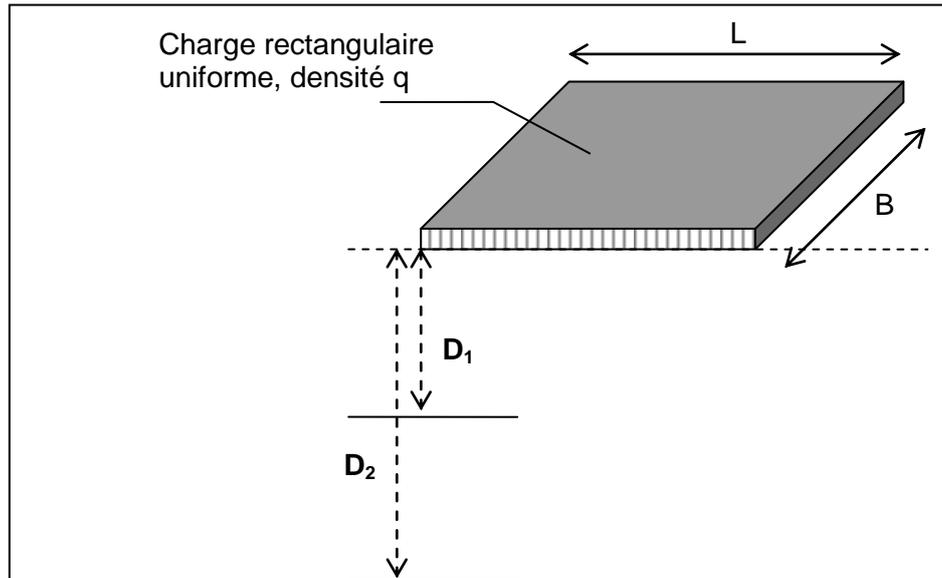


Figure I.2 : Application de la formule de Steinbrenner

## I.2.2. Formulation

Le problème qu'on se propose de traiter comporte trois inconnues : le déplacement vertical de la plaque, le tassement et la réaction du sol. L'équation de Lagrange (1) permet de relier le déplacement de la plaque à la réaction du sol, ensuite une deuxième relation est obtenue en écrivant l'égalité entre le déplacement vertical de la plaque et le tassement du sol. Enfin, l'application du modèle de Boussinesq permet de relier le tassement à la réaction du sol.

L'introduction d'une discrétisation en éléments finis pour la plaque permet une formulation matricielle simple du problème à résoudre.

### I.2.2.1. Principe général de la méthode

La méthode proposée consiste ainsi à établir un couplage entre trois approches :

- une formulation en éléments finis pour la plaque ;
- une discrétisation adaptée au maillage, pour les pressions d'interaction ;
- l'application des formules de Boussinesq pour le calcul des déformations du sol support.

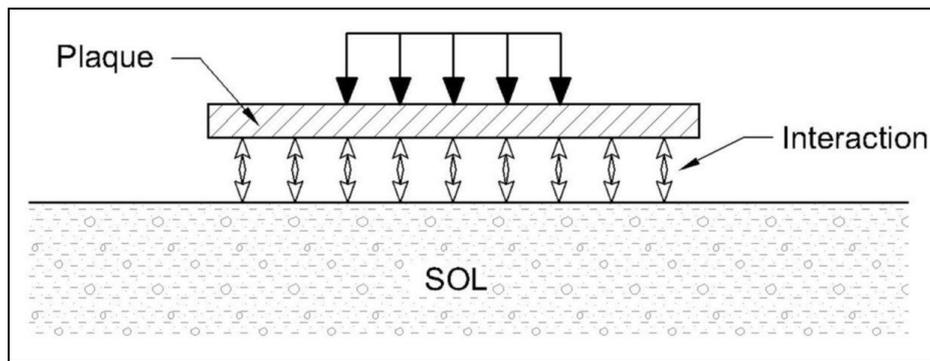


Figure 1.3 : Principe de la méthode, éléments du système

Le principe de la méthode consiste à discrétiser la plaque en éléments finis rectangulaires. Si l'on admet que la réaction du sol est uniformément répartie autour de chaque nœud, on peut alors exprimer les tassements aux nœuds en fonction de la réaction du sol à l'aide d'une "matrice d'influence" dont le calcul peut être conduit sur la base des caractéristiques de chaque couche. La formulation finale du problème s'obtient ensuite en écrivant l'égalité, en chaque nœud, entre le tassement du sol et le déplacement vertical de la plaque.

La méthode a été perfectionnée en introduisant des seuils de plastification du sol en surface, des vérifications et la prise en compte automatique de décollement, ainsi que la prise en compte d'une plaque de géométrie quelconque.

### I.2.2.2. Modélisation de la plaque

La plaque est discrétisée en éléments finis, à l'aide d'un maillage rectangulaire dont le "pas" peut varier dans les deux directions. Les éléments utilisés sont les éléments rectangulaires de Kirchhoff, présentés précédemment. Chaque élément de plaque est caractérisé par un module d'Young, une épaisseur ainsi qu'un coefficient de Poisson.

Le chargement extérieur appliqué à la plaque est introduit à l'aide de charges réparties verticales (associées à chaque élément) et de charges ponctuelles (effort vertical + deux moments fléchissants), associées à chaque nœud du maillage.

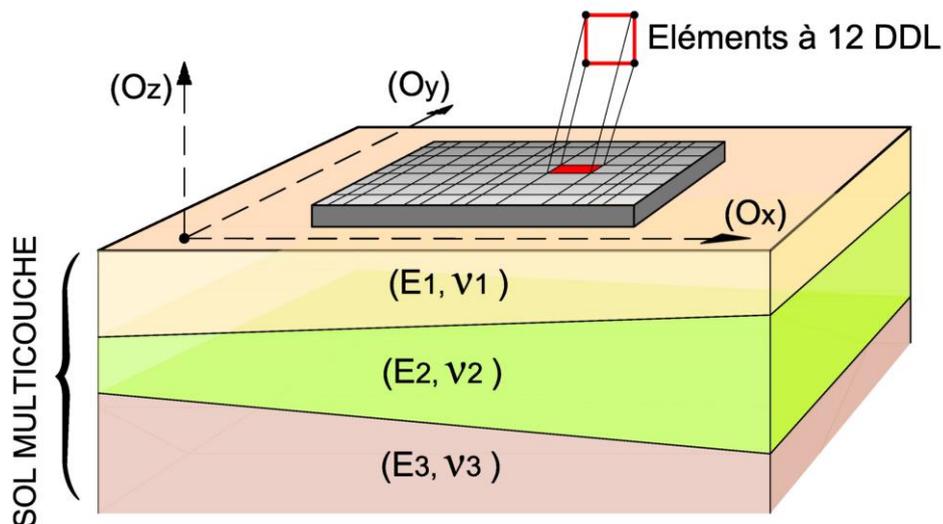


Figure 1.4 : Modélisation de la plaque en éléments finis

Une technique de désactivation des éléments de la plaque a également été introduite afin d'étendre le choix de la géométrie pour la plaque.

Quelques exemples de géométries possibles sont donnés sur les figures 5 à 8.

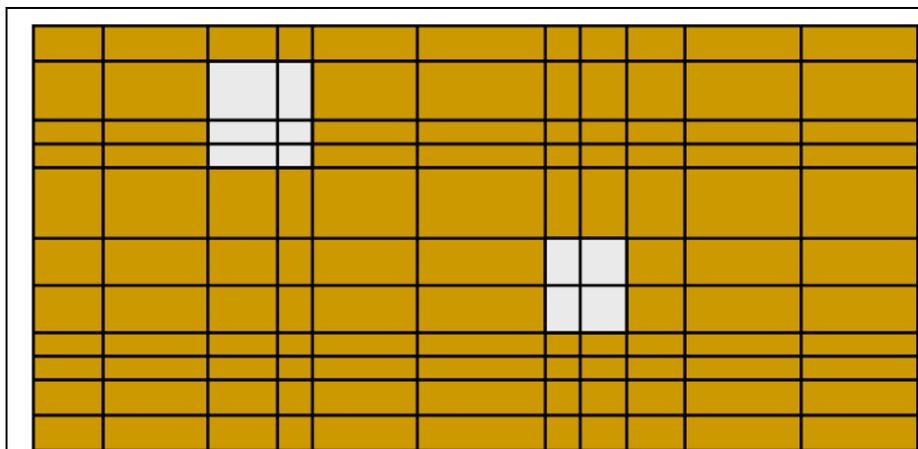


Figure I.5 : Modélisation des trous

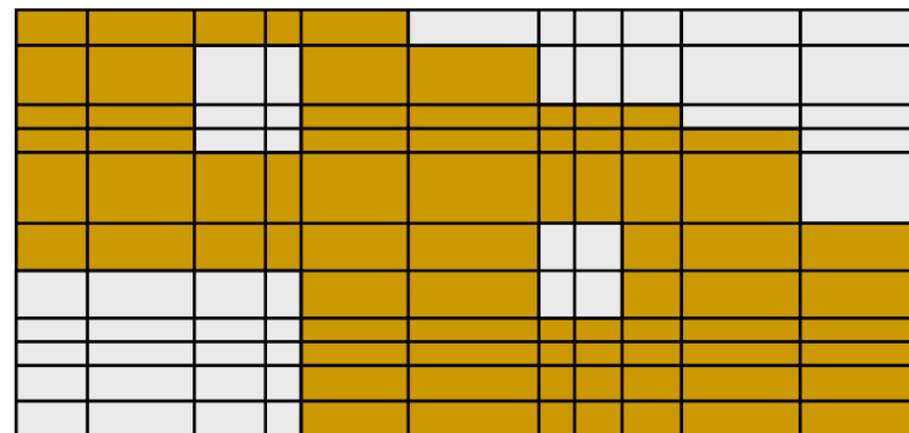


Figure I.6 : Modélisation d'une forme polygonale

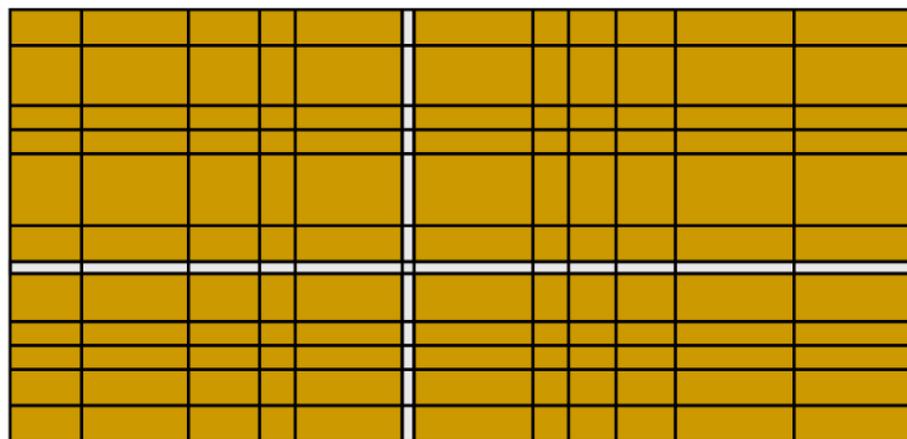


Figure I.7 : Simulation de joints francs

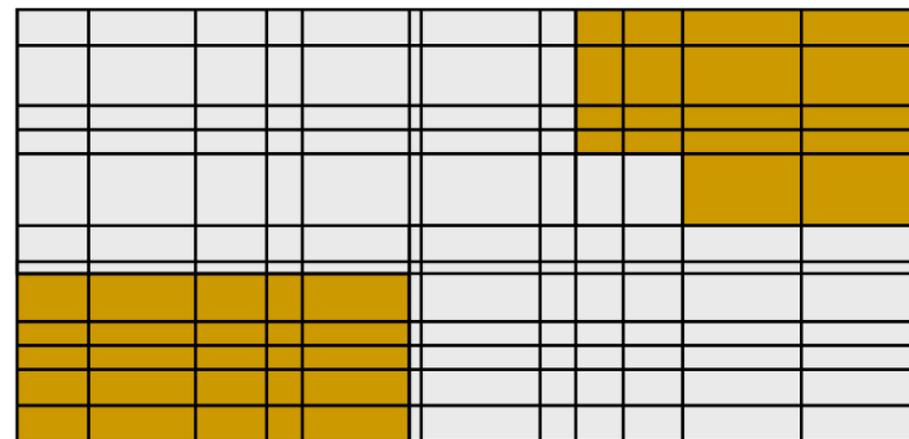


Figure I.8 : Modélisation de plusieurs plaques désolidarisées

Nota : Les éléments désactivés sont représentés en clair et les éléments activés en foncé.

Pour tout ce qui suit, on désigne par "n" le nombre total des nœuds (activés) du maillage. A l'aide de ce maillage, l'équation d'équilibre de la plaque se traduit à l'aide d'un système linéaire :

$$\underline{\underline{\mathbf{K}}}^e \cdot \underline{\underline{\mathbf{a}}}^e = \underline{\underline{\mathbf{F}}}^e \tag{4}$$

- premier membre  $\underline{\underline{\mathbf{K}}}^e$  : matrice de rigidité de la plaque (3n x 3n), constituée par assemblage des matrices de rigidité associées à chaque élément du maillage ;
- second membre  $\underline{\underline{\mathbf{F}}}^e$  : vecteur chargement équivalent pour la plaque (3n x 1), constitué par assemblage des "vecteurs chargement" élémentaires ;
- inconnue statique  $\underline{\underline{\mathbf{a}}}^e$  : vecteur déplacement équivalent pour la plaque (3n x 1), constitué par le déplacement et les rotations en chaque nœud.

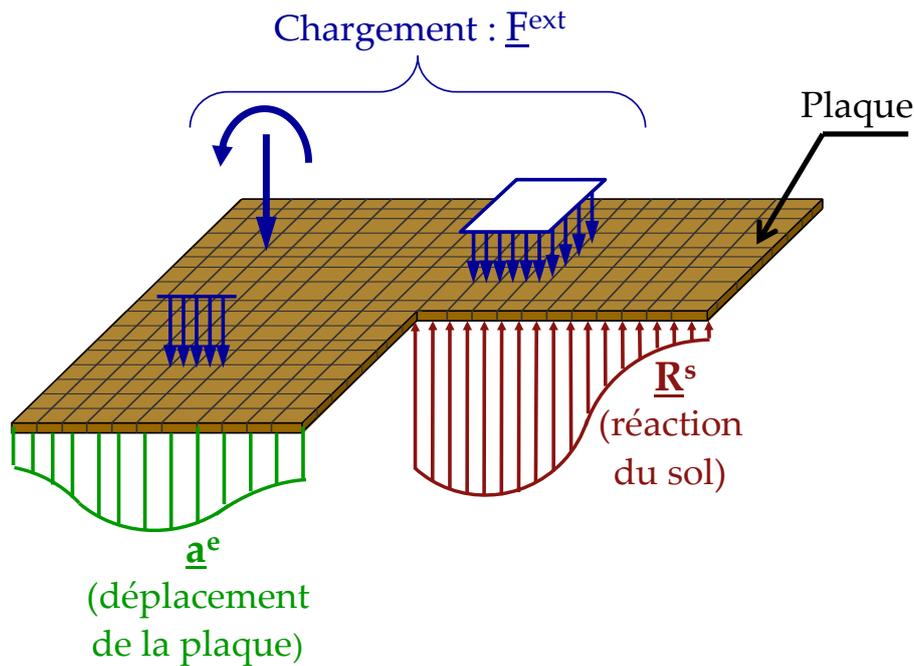


Figure I.9 : Equilibre de la plaque

En examinant les efforts équilibrant la plaque, on peut décomposer le vecteur chargement de la plaque en deux parties : un vecteur chargement relatif aux efforts extérieurs  $\underline{\underline{\mathbf{F}}}^{ext}$ , et un vecteur chargement relatif à la réaction du sol  $\underline{\underline{\mathbf{R}}}^s$  :

$$\underline{\underline{\mathbf{K}}}^e \cdot \underline{\underline{\mathbf{a}}}^e = \underline{\underline{\mathbf{F}}}^{ext} - \underline{\underline{\mathbf{R}}}^s \tag{5}$$

Le premier est calculé directement à l'aide des charges appliquées sur la plaque. Le deuxième dépend de la rigidité du sol.

**Nota :** La matrice de rigidité globale de la plaque  $\underline{\underline{\mathbf{K}}}^e$  tient déjà compte de la présence d'éventuelles raideurs élastiques ponctuelles, linéiques ou réparties sous la plaque. Ceci permettra de simuler certains cas particuliers :

- l'existence d'une zone dure sous la plaque en plus du sol (ex. inclusion rigide, pieu...), traiter le cas d'une fondation mixte... ;
- mener un calcul RDM pur de type « Plaque sur appuis » élastiques ou rigides.

### 1.2.2.3. Modélisation de l'interaction Sol / Plaque

On se place dans l'hypothèse d'un contact sans frottement : les efforts transmis au sol sont normaux à la plaque.

Par le principe de l'action et de la réaction, la réaction du sol n'est autre que la pression exercée par la plaque sur celui-ci. L'idée de base consiste à supposer que cette pression est uniforme autour de chaque nœud. Plus exactement, elle est uniforme sur un rectangle délimité par les centres des éléments connectés à ce nœud. Il faut bien sûr tenir compte du cas particulier d'un nœud situé sur le bord ou d'un nœud situé en un coin sortant ou rentrant.

Pour une plaque de forme polygonale, la distribution des pressions d'interaction devrait donc avoir la forme schématisée dans la Figure I.10.

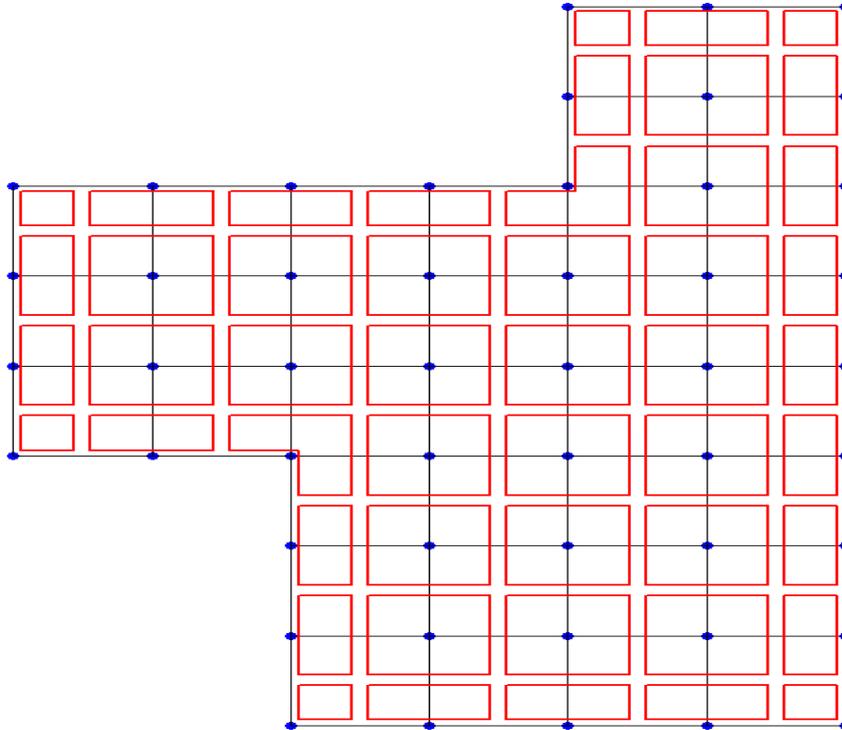


Figure I.10 : Distribution de la réaction du sol sous la plaque

#### I.2.2.4. Modélisation du sol support

A l'aide du maillage associé à la plaque, on définit ce qu'on appelle la "matrice d'influence", notée  $\underline{\mathbf{T}}_{\text{inf}}$  (n x n), qui permet de relier linéairement les pressions exercées sur le sol aux tassements induits par celles-ci :

$$\begin{pmatrix} s_1 \\ s_2 \\ \vdots \\ \vdots \\ s_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \cdots & \alpha_{1n} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} & & \vdots \\ \vdots & & \ddots & \\ \alpha_{n1} & \cdots & & \alpha_{nn} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} p_1 \\ p_2 \\ \vdots \\ \vdots \\ p_n \end{pmatrix} \quad (6)$$

tassements matrice d'influence Pressions d'interaction

$\underline{\mathbf{S}}$   $\underline{\mathbf{T}}_{\text{inf}}$   $\underline{\mathbf{P}}^s$

De cette manière, le coefficient d'influence «  $\alpha_{ij}$  » est calculé en examinant le tassement induit au nœud "i" par une pression unitaire appliquée autour du nœud "j". Le calcul est conduit à l'aide de la méthode présentée en I.2.1. (Formule de Steinbrenner).

Le cas d'un multicouche non horizontal est traité en considérant, pour chacun des coefficients d'influence «  $\alpha_{ij}$  », la stratigraphie rencontrée au point « i » (cf. figure suivante).

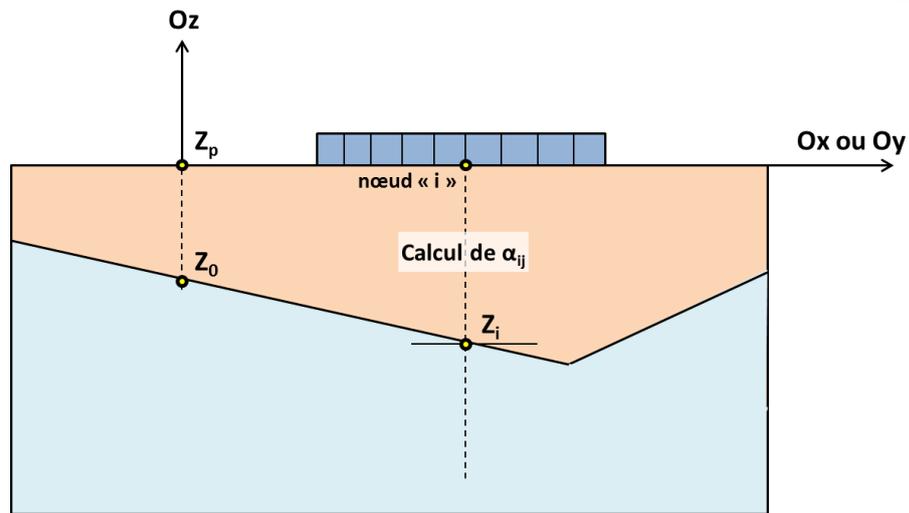


Figure I.11 : Calcul des coefficients d'influence dans le cas d'un multicouche non horizontal

### I.2.2.5. Formulation du problème et résultats

Reprenons à présent l'équation d'équilibre de la plaque :  $\underline{\underline{\mathbf{K}}}^e \underline{\underline{\mathbf{a}}}^e = \underline{\underline{\mathbf{F}}}^{ext} - \underline{\underline{\mathbf{R}}}^s$ . Le terme  $\underline{\underline{\mathbf{R}}}^s$  s'exprime linéairement en fonction de la réaction du sol  $\underline{\underline{\mathbf{P}}}^s$ . Ensuite, à l'aide de la matrice d'influence, on exprime la réaction du sol en fonction du tassement (6). Enfin, la formulation finale du problème s'obtient en écrivant l'égalité, en chaque nœud, entre le tassement du sol et le déplacement vertical de la plaque :

$$\left( \underline{\underline{\mathbf{K}}}^e + \underline{\underline{\mathbf{T}}}^s \cdot \left( \underline{\underline{\mathbf{T}}}_{inf} \right)^{-1} \cdot \underline{\underline{\mathbf{G}}} \right) \underline{\underline{\mathbf{a}}}^e = \underline{\underline{\mathbf{F}}}^{ext} \tag{7}$$

Où :

- $\underline{\underline{\mathbf{T}}}^s$  est la matrice de passage qui permet d'exprimer  $\underline{\underline{\mathbf{R}}}^s$  en fonction de  $\underline{\underline{\mathbf{P}}}^s$ .
- $\underline{\underline{\mathbf{G}}}$  est la matrice de passage qui permet de passer de  $\underline{\underline{\mathbf{S}}}$  à  $\underline{\underline{\mathbf{a}}}^e$ , en écrivant l'égalité en chaque nœud entre le tassement et le déplacement vertical de plaque.

La résolution de ce système permet d'évaluer le vecteur déplacement généralisé et donc les variables nodales associées à chaque élément du maillage. Ceci permet de calculer :

- La flèche  $w$  de la plaque en tout point et donc le tassement du sol en tout point  $\underline{\underline{\mathbf{S}}}$ .
- La réaction du sol en tout point :

$$\underline{\underline{\mathbf{P}}}^s = \left( \underline{\underline{\mathbf{T}}}_{inf} \right)^{-1} \cdot \underline{\underline{\mathbf{S}}} \tag{8}$$

- Les moments fléchissants dans la plaque, qu'on peut évaluer à partir du champ de déplacement dans chaque élément :

$$\begin{cases} M_x = \frac{EI}{(1-\nu^2)} \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \\ M_y = \frac{EI}{(1-\nu^2)} \left( \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right) \\ M_{xy} = 2 \frac{EI}{(1-\nu^2)} \left( \frac{\partial^2 w}{\partial xy} \right) \end{cases} \tag{9}$$

Il est à préciser que les moments sont calculés uniquement à l'intérieur de chaque élément (aux points d'intégration et non aux nœuds) du fait du caractère "non-conforme" des éléments utilisés qui n'assure pas la continuité des efforts lors du passage d'un élément à un autre.

### I.2.3. Traitement de certains cas particuliers

#### I.2.3.1. Décollement de la plaque

Le calcul précédent est valable dans l'hypothèse où la plaque demeure parfaitement collée au sol. Le sol ne pouvant générer des efforts de traction, l'obtention de réactions négatives nécessite de considérer les nœuds correspondants comme "décollés" (voir figure 11 ci-dessous). Ceci peut se faire à l'aide d'un calcul itératif automatique, moyennant un critère de décollement défini par l'utilisateur.

Ainsi, pour les nœuds déclarés comme "décollés" :

- le déplacement de la plaque n'est plus égal au tassement du sol (voir figure 11 ci-dessous) ;
- la réaction du sol au droit de ces nœuds est nulle.

Dans le cas où la plaque repose sur un massif multicouche élastique, un retraitement adapté de la matrice d'influence (6) permet de tenir compte automatiquement de ces nouvelles conditions.

Le processus de décollement automatique s'applique également dans le cas où la plaque repose sur une distribution de ressorts surfaciques. Dans ce cas, un retraitement adapté de la matrice de rigidité  $\underline{\underline{K}}^e$  consistant à annuler les termes équivalents aux ressorts qui "décollent" permet de tenir compte de ces nouvelles conditions.

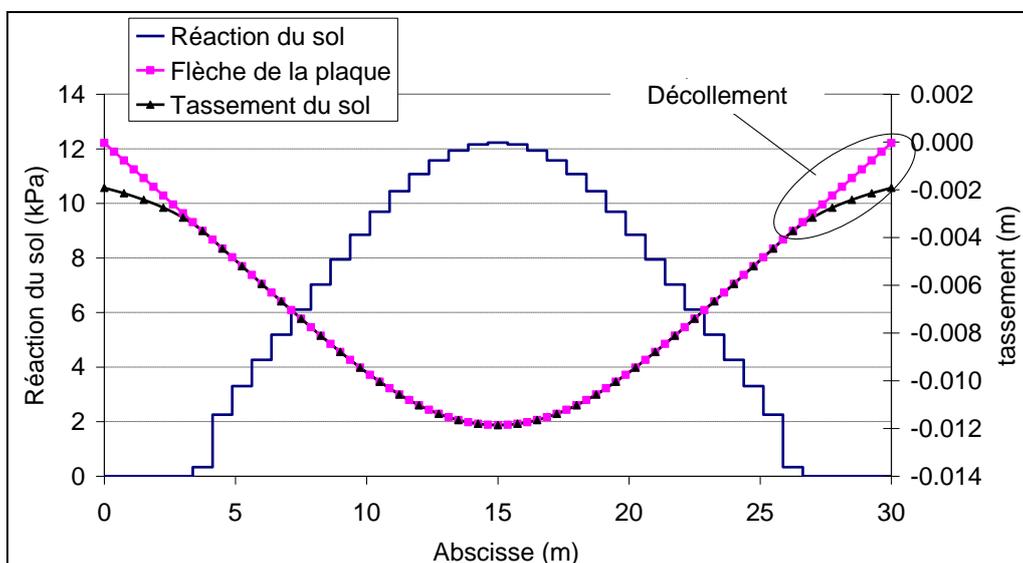


Figure I.12 : Décollement de la plaque - Exemple

#### I.2.3.2. Limitation de la réaction du sol

Afin d'étendre le modèle au-delà du domaine élastique du sol support, nous avons introduit des critères de limitation locale des pressions à l'interface Sol – Plaque. Ceci peut se faire à l'aide d'un calcul itératif automatique moyennant un critère de "plastification" à l'interface sol-plaque.

Ainsi, au droit des nœuds déclarés comme "plastifiés" :

- le tassement du sol n'est plus élastique, mais il est toujours égal au déplacement vertical de la plaque ;
- la réaction du sol est égale à la pression limite de plastification (indiquée par l'utilisateur).

Ce processus s'applique à la fois sur un support défini comme massif multicouche élastique et sur un support défini comme une distribution de ressorts surfaciques.

### I.2.3.3. Prise en compte d'une charge extérieure appliquée au sol

Il s'agit de traiter le cas d'une charge extérieure s'appliquant directement au sol (voir figure 12 ci-dessous). Un cas typique est celui d'un remblai voisin qui vient perturber l'interaction sol plaque. Ceci peut être pris en compte en adaptant la relation (6) :

$$\underline{\underline{S}} = \underline{\underline{T}}_{\text{inf}} \cdot (\underline{\underline{P}}^s) + \underline{\underline{s}}^{ext} \tag{10}$$

Où  $\underline{\underline{s}}^{ext}$  désigne le tassement produit en chaque nœud par la charge extérieure ainsi considérée.

Cette fonctionnalité n'est utilisable que sur un support défini en tant que massif multicouche élastique.

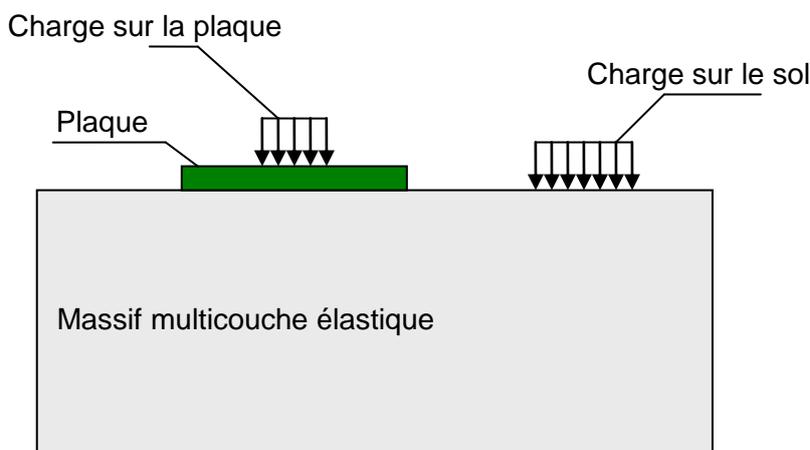


Figure I.13 : Prise en compte d'une charge extérieure s'appliquant directement au sol

### I.2.3.4. Prise en compte d'une contrainte initiale dans le sol

Il s'agit de traiter les cas d'ouvrages placés au fond d'une excavation (voir figure 13 ci-dessous). L'hypothèse adoptée consiste à négliger le tassement de "recompression" sous les charges inférieures ou égales au poids des terres initial. Ceci peut être pris en compte en adaptant la relation (6) :

$$\underline{\underline{S}} = \underline{\underline{T}}_{\text{inf}} \cdot (\underline{\underline{P}}^s - \sigma_v^0) \tag{11}$$

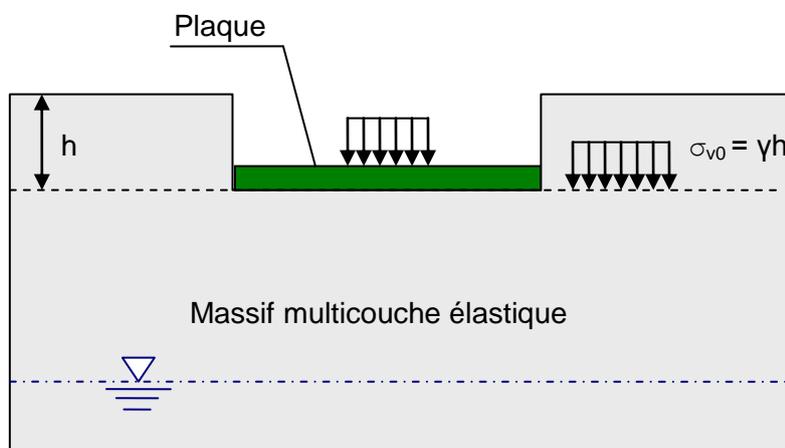


Figure I.14 : Prise en compte d'une contrainte initiale en surface - Exemple

Cette fonctionnalité n'est utilisable que sur un support défini en tant que massif multicouche élastique.

### 1.2.4. Prise en compte des symétries

Toute condition de symétrie est implicitement supposée valable à la fois pour la plaque, pour le sol ainsi que pour le chargement.

#### 1.2.4.1. Cas d'une symétrie par rapport à un ou deux plans

Il s'agit du cas où le système "plaque + sol + chargement" comporte un ou deux plans de symétrie verticaux.

Dans le cas d'une plaque sur appuis ou sur ressorts, une telle condition est gérée simplement en bloquant les rotations autour de l'axe horizontal générateur de chaque plan de symétrie.

En présence d'un massif élastique, le blocage des rotations au niveau de la plaque demeure nécessaire mais pas suffisant. Il convient, en plus, de tenir compte, dans la constitution de la matrice d'influence du sol, du fait que le tassement  $s_{ij}$  au nœud "i" sous l'effet de la charge "j" résulte en réalité du cumul de la charge "j" et de ses symétriques, comme le montre la figure ci-dessous.

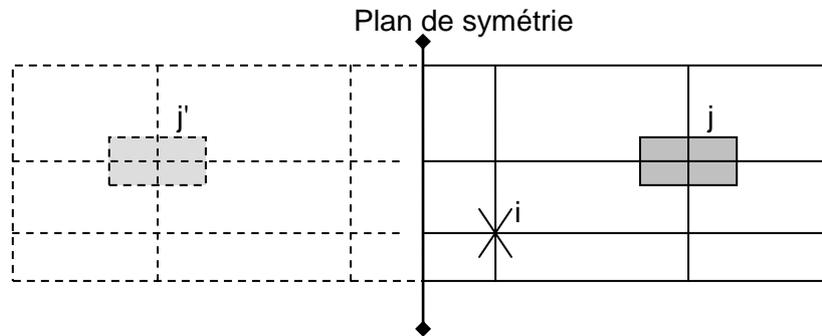


Figure 1.15 : Schématisation de la condition de symétrie par rapport à un plan

#### 1.2.4.2. Axisymétrie (ou symétrie par rapport à un axe)

Cette condition de symétrie s'adapte au cas d'une plaque circulaire soumise à un chargement axisymétrique. La prise en compte de cette condition nécessite d'adopter des modèles particuliers.

En coordonnées cylindriques, l'équilibre de la plaque est régi par l'équation suivante :

$$\frac{d^4 w}{dr^4} + \frac{2}{r} \frac{d^3 w}{dr^3} - \frac{1}{r^2} \frac{d^2 w}{dr^2} + \frac{1}{r^3} \frac{dw}{dr} = q(r) \frac{(1-\nu^2)}{EI} \tag{12}$$

La résolution de cette équation peut être menée en introduisant une discrétisation en éléments finis. On adopte pour cela le modèle de Kirchhoff pour les plaques circulaires avec des éléments "annulaires" à 2 nœuds et 4 degrés de liberté comme le montre la figure ci-dessous. Tout chargement extérieur est également de caractère axisymétrique : charges surfaciques uniformes annulaires comprises entre deux rayons donnés et charges linéiques annulaires à un rayon donné.

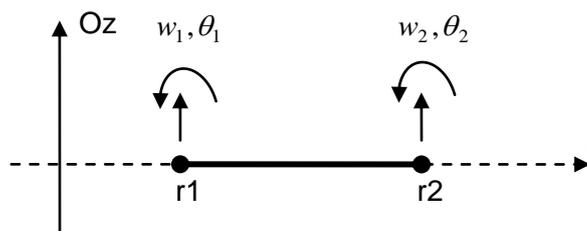


Figure 1.16 : Modèle de Kirchhoff pour les plaques circulaires avec des éléments "annulaires" à 2 nœuds et 4 degrés de liberté

Dans le cas où le sol support est introduit comme un massif multicouche élastique, on procède par intégration numérique directe des formules de Boussinesq pour l'évaluation des coefficients d'influence et la constitution de la matrice de souplesse du sol.

La mise en équation et le principe de résolution sont identiques à ce qui a été présenté pour le cas général 3D. La taille du système à résoudre est  $2n \times 2n$ , si l'on note  $n$  le nombre de nœuds "activés".

Toutes les fonctionnalités présentées précédemment sont également reprises en axisymétrie : décollement/plastification, désactivation (par zones annulaires), ressorts surfaciques/linéaires...

Ce calcul permet d'obtenir les résultats suivants :

- la flèche et le tassement exprimés en fonction de  $r$  (distance à partir de l'axe de symétrie Oz) ;
- la réaction du sol en fonction de  $r$  (définie par tronçons annulaires) ;
- les efforts dans la plaque : moment radial ( $M_r$ ), moment tangentiel ( $M_t$ ) et effort tranchant ( $T_r$ ).

Notons que le caractère unidimensionnel des efforts rend aisée leur évaluation directement par intégration des charges et réactions appliquées sur la plaque.

### 1.2.4.3. Déformations planes

Ce cadre de travail s'adapte au cas où la flexion de la plaque peut être négligée dans une direction. Cela nécessite d'adopter des modèles particuliers.

En déformations planes, l'équilibre de la plaque est régi par l'équation suivante :

$$\frac{d^4 w}{dx^4} = q(x) \frac{(1-\nu^2)}{EI} \tag{13}$$

La plaque est supposée infinie dans la direction (Oy). Son comportement peut être caractérisé par les lois relatives à la théorie des poutres minces. On introduit pour cela une discrétisation en éléments de poutre à 2 nœuds et 4 degrés de liberté comme le montre la figure ci-dessous. Tout chargement extérieur est également de caractère "infini" dans la direction (Oy) : charges surfaciques uniformes comprises entre deux abscisses données et charges linéiques à une abscisse donné.

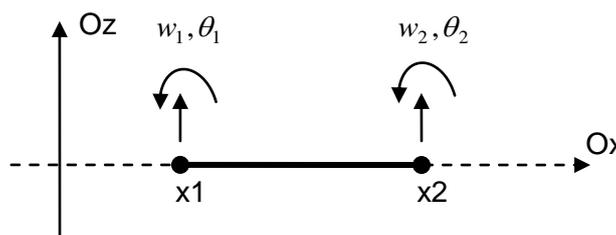


Figure 1.17 : Discrétisation en éléments de poutre à 2 nœuds et 4 degrés de liberté

Pour le sol support, dans le cas où celui-ci est introduit comme un multicouche élastique, on adapte le principe du modèle de Steinbrenner pour le cas d'une charge filante (selon Oy). On peut partir pour cela de la formule (2) en faisant tendre B vers l'infini. Ainsi, le tassement produit dans une couche comprise entre les profondeurs  $d_1$  et  $d_2$ , sous le bord d'une charge filante de largeur L, a pour expression :

$$\rho_{D_1-D_2} = \frac{qL}{E} \left( (1-\nu^2)(F_1(d_2) - F_1(d_1)) + (1-\nu-2\nu^2)(F_2(d_2) - F_2(d_1)) \right) \tag{14}$$

$$F_1(D) = \frac{1}{\pi} \ln \left( 1 + \frac{D^2}{L^2} \right) \quad \text{et} \quad F_2(D) = \frac{1}{\pi} \frac{D}{L} \arctan \left( \frac{L}{D} \right) \tag{15}$$

La mise en équation et le principe de résolution sont identiques à ce qui a été présenté pour le cas général 3D. La taille du système à résoudre est  $2n \times 2n$ , si l'on note  $n$  le nombre de nœuds "activés".

Toutes les fonctionnalités présentées précédemment sont également reprises en déformations planes : décollement/plastification, désactivation (par zones filantes), ressorts surfaciques/linéaires...

Ce calcul permet d'obtenir la flèche, tassement et réaction en tout point, ainsi que les efforts dans la plaque : un effort tranchant  $T_x$  et un moment fléchissant  $M_x$ .

Notons que le caractère unidimensionnel des efforts rend aisée leur évaluation directement par intégration des charges et réactions appliquées sur la plaque (ce qui limite l'influence de la précision liée à la densité du maillage).

### **1.2.5. Limites de validité**

Le module TASPLAQ a fait l'objet d'une étude de validation approfondie d'abord au niveau du modèle choisi pour la plaque, ensuite au niveau de l'approche générale considérée pour la prise en compte du sol support. Cette étude a montré que, dans le cadre du domaine de validité du modèle, les résultats obtenus sont très voisins de ceux issus d'un traitement éléments finis complet en trois dimensions.

#### **1.2.5.1. Validité du modèle de Kirchhoff**

L'équation de Lagrange régissant l'équilibre de la plaque découle du modèle de Kirchhoff qui suppose valable l'hypothèse des plaques minces. Il convient de souligner que cette hypothèse consiste à négliger les déformations dues aux efforts de cisaillement, ce qui demeure valable tant que l'épaisseur de la plaque est faible devant ses autres dimensions.

#### **1.2.5.2. Validité du modèle de Boussinesq**

Le calcul des déformations du sol support dans TASPLAQ est basé sur le modèle de Boussinesq généralisé. Celui-ci consiste à supposer que les contraintes se propagent de la même manière dans le cas d'un multicouche que dans le cas d'un massif semi infini homogène. La validité de cette hypothèse exige un faible contraste de rigidité entre les différentes couches, sachant qu'elle demeure toutefois valable dans le cas d'une couche déformable surmontant une couche plus raide. En revanche, le cas d'une couche relativement raide surmontant une couche déformable ne peut être traité de cette manière et est donc exclu dans le cadre du modèle à l'exception de certains cas particuliers qui seront abordés par la suite.

Les différents tests de validation, menés par rapport à des calculs éléments finis 3D complets, ont fait constater que la résistance propre à l'élément de structure (plaque) atténuée notablement l'incidence de la limitation du modèle de Boussinesq.

#### **1.2.5.3. Cas particulier d'une couche de forme en surface**

La présence d'une couche de forme peu déformable en surface peut paraître de nature à limiter la validité de la méthode TASPLAQ du fait de l'inadéquation du modèle de Boussinesq dans ce cas bien précis. Une des manières pour surmonter cette limitation, consiste à intégrer la couche de forme au corps de la plaque, en définissant une inertie équivalente de l'ensemble "plaque + couche de forme". Ceci permet d'aboutir à une déformée plus précise, et il est également possible de remonter aux sollicitations dans la plaque à partir de celles calculées dans le milieu équivalent (plaque + couche de forme) en effectuant une "dés-homogénéisation" de celui-ci.

## I.3. MANUEL D'UTILISATION

On présente dans ce chapitre :

- les paramètres d'entrée du module Tasplaq.  
Certaines zones ne peuvent recevoir que des données ayant une signification physique (par exemple, un module d'Young doit toujours être strictement positif).  
La fenêtre d'entrée des paramètres de calcul Tasplaq est constituée de 9 onglets distincts, dont un optionnel (Gestion manuelle du décollement/plastification des nœuds). Les données à compléter sur chaque onglet dépendent parfois de certains choix effectués par l'utilisateur : par exemple, les données à compléter pour un calcul en 2 dimensions avec une déformation plane ne seront pas strictement les mêmes que pour un calcul en 3 dimensions.
- les résultats fournis par le module Tasplaq. Là aussi, ils dépendent en partie des données saisies par l'utilisateur, et notamment du type de calcul.

Ce chapitre ne détaille pas l'interface utilisateurs proprement dite et ses manipulations (boutons, menus, etc) : ces aspects sont traités dans la partie C du manuel.

### I.3.1. Notations et unités

#### I.3.1.1. Notations et conventions de signe

Grandeur	Représentation	Convention de signe
Rotations et moments	$\theta, M$	Sens trigonométrique
Flèche de la plaque	$w$	Positive vers le bas
Tassement du sol	$T_{ass}$	Positif vers le bas
Efforts tranchants	$T$	Positifs vers le haut
Charge verticale (répartie ou concentrée)	$q, F$	Positive vers le bas
Réaction du sol, pression d'interaction	$r, p$	Positive vers le haut
Raideurs	$C, K$	Toujours positives
Contraintes	$\sigma$	Positives en traction

Tableau I.1 : Notations et conventions de signe

#### I.3.1.2. Unités

Grandeur	Unité
Longueurs et coordonnées	m
Effort vertical ponctuel F	kN
Moments M	kN.m/ml
Efforts tranchants T	kN/ml
Réaction du sol, charges surfaciques	kPa
Déplacements (flèche w, tassement s)	m
Rotations	rad
Module d'Young E	kPa
Raideur surfacique / coefficient de réaction	kPa/m
Raideur ponctuelle en translation	kN/m
Raideur ponctuelle en rotation	kN.m/rad

Tableau I.2 : Unités

### I.3.2. Onglet "Paramètres"

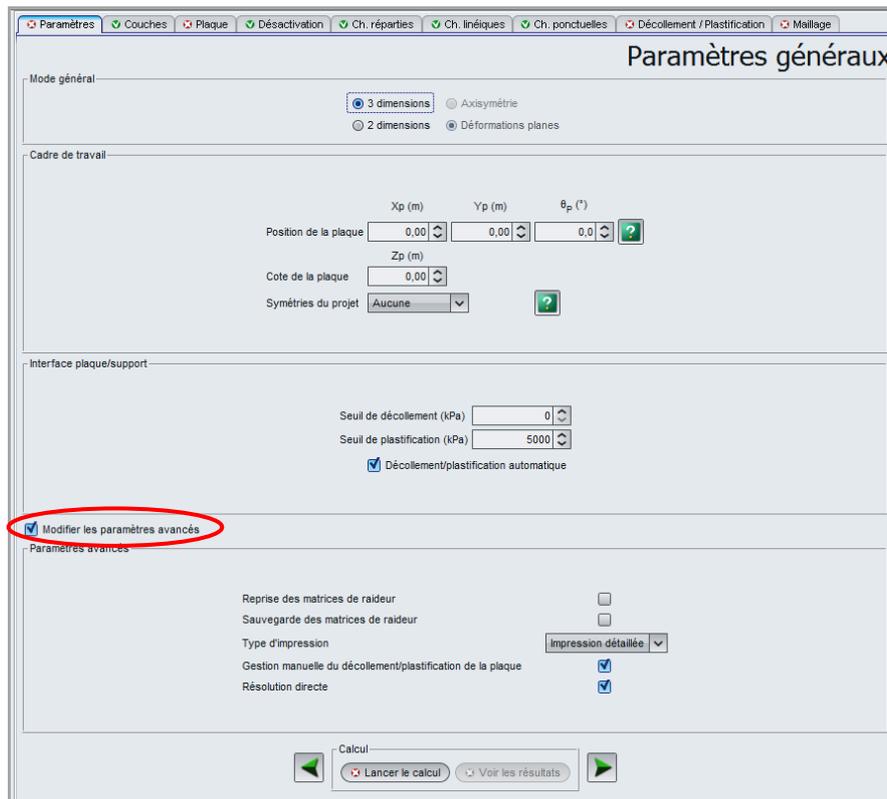


Figure I.18 : Onglet "Paramètres"

#### I.3.2.1. Cadre "Mode général"

- Indiquer s'il s'agit d'un calcul en trois dimensions ou en deux dimensions ;
- pour un calcul en 2 dimensions, préciser s'il s'agit d'un calcul axisymétrique ou en déformations planes.

En fonction du type de calcul choisi, Tasplaq demandera des paramètres différents dans les onglets suivants.

#### I.3.2.2. Cadre "Cadre de travail"

Il s'agit de définir le repère local de la plaque.

Le cas général comporte 2 repères :

- le repère de référence  $(O_0x_0, O_0y_0, O_0z_0)$ , dans lequel seront situées la plaque ainsi que les charges extérieures s'appliquant directement au sol ;
- le repère local  $(Ox, Oy, Oz)$  associé à la plaque, dans lequel seront définis le maillage ainsi que les différentes caractéristiques. Ce repère est tel que le plan  $(Ox, Oy)$  soit parallèle au plan  $(O_0x_0, O_0y_0)$ . Ainsi, il peut être parfaitement défini à l'aide de deux paramètres :
  - ✓ les coordonnées  $(x_p, y_p, z_p)$  du point O dans le repère de référence. Attention  $Z_p$  est la cote de référence du projet.
  - ✓ l'angle  $\theta_p$  de l'axe  $(Ox)$  par rapport à l'axe  $(O_0x_0)$ .

Notons que le point  $O_0$  sert aussi de référence pour la définition des pendages des couches quand le sol est défini comme un multicouche non horizontal.

Désignation	Unité	Valeur par défaut	Condition d'affichage	Valeur obligatoire	Contrôles locaux
$X_p, Y_p$ : coordonnées, dans le repère global, de l'origine du repère local de la plaque	m	0,00	Uniquement s'il n'y a pas de symétrie. Sinon, valeur fixée à 0 (pas de modification possible)	Oui	-
$Z_p$ : cote de référence du projet (cote de la base de la plaque)	m	0,00	Toujours	Oui	-
Téta ( $\theta$ )	°	0	Uniquement s'il n'y a pas de symétrie. Sinon, valeur fixée à 0 (pas de modification possible)	Oui	-
Symétries	-	Aucune	Toujours	Oui	Choix possible entre "Aucune", "Selon Ox", "Selon Oy", "Selon Ox et Oy"

Tableau I.3 : Onglet "Paramètres" : Cadre "Cadre de travail"

Les figures d'aide suivantes sont disponibles (cliquer sur les boutons ) pour illustrer la définition des coordonnées de la plaque et le choix des symétries applicables à chaque projet :

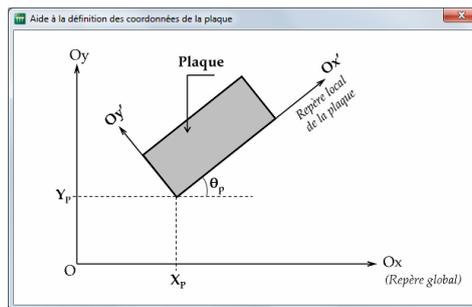


Figure I.19 : Figure d'aide à la définition des coordonnées de la plaque

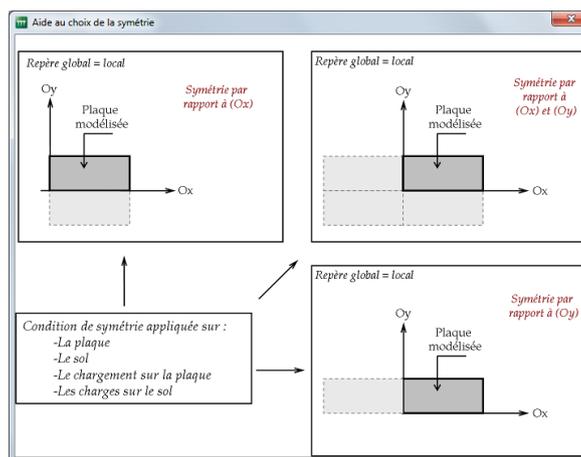


Figure I.20 : Figure d'aide au choix de la symétrie

### I.3.2.3. Cadre "Interface plaque/support"

Ce cadre contient les paramètres définissant le comportement du sol en surface, à l'interface plaque/support. Ils n'interviennent dans le calcul que dans le cas d'une plaque sur sol support et seulement si le calcul 'décollement/plastification automatique' a été demandé.

- Seuil de décollement : contrainte limite en **traction** à l'interface Sol-Plaque, au-delà de laquelle les nœuds correspondants seront considérés comme "décollés" (si le mode de calcul

"automatique" est coché). En cas de décollement, la réaction du sol au droit des nœuds "décollés" est nulle, et il n'y a plus d'égalité entre le tassement du sol et le déplacement vertical de la plaque en ces nœuds.

- Seuil de plastification : contrainte limite en **compression** à l'interface Sol-Plaque, au-delà de laquelle les nœuds correspondants seront considérés comme "plastifiés" (si le mode de calcul "automatique" est coché). En cas de plastification, la réaction du sol au droit des nœuds "plastifiée" est imposée (égale au seuil de plastification), mais l'égalité entre le tassement du sol et le déplacement vertical de la plaque est toujours assurée.

Dans le cas d'un calcul de type "plaque sur ressorts surfaciques", ces seuils sont automatiquement utilisés par le programme pour gérer le décollement/plastification des ressorts surfaciques. Dans ce cas, ces seuils sont définis comme suit :

- Seuil de décollement : contrainte limite en **traction** des ressorts surfaciques, au-delà de laquelle les éléments correspondants seront considérés comme "décollés" (si le mode de calcul "automatique" est coché). En cas de décollement, la raideur surfacique sous des éléments "décollés" est annulée.
- Seuil de plastification : contrainte limite en **compression** des ressorts surfaciques, au-delà de laquelle les éléments correspondants seront considérés comme "plastifiés" (si le mode de calcul "automatique" est coché). En cas de plastification, la raideur surfacique sous ces éléments est remplacée par une réaction constante égale au seuil de plastification.

Désignation	Unité	Valeur par défaut	Condition d'affichage	Valeur obligatoire	Contrôles locaux
<b>Seuil de décollement</b>	kPa	5	Toujours	Oui	$\geq 0$
<b>Seuil de plastification</b>	kPa	2000	Toujours	Oui	$> 10$
<b>Décollement/plastification automatique</b> (en fonction des critères de décollement et de plastification ci-dessus)	-	Décochée	Toujours	Oui	-

Tableau I.4 : Onglet "Paramètres" : Cadre "Interface plaque/support"

#### I.3.2.4. Cadre "Paramètres avancés"

La case "Modifier les paramètres avancés" est décochée par défaut. Si elle est cochée, le cadre "Paramètres avancés" apparaît (cf Figure I.18).

- Reprise des matrices de raideur : cette option permet de reprendre la matrice d'influence, (supposée pré-enregistrée) d'un calcul antérieur. Cette option permet un gain de temps important dans le cas d'un système avec plusieurs cas de chargement.
- Sauvegarde des matrices de raideur : permet de sauvegarder la matrice d'influence du sol pour un calcul ultérieur. Cette option est utile dans le cas d'un système avec plusieurs cas de chargement, par exemple.
- Type d'impression : contrôle l'impression du fichier de résultats. Ce choix concerne le récapitulatif des données uniquement :
  - ✓ impression réduite : récapitulatif sommaire des données ;
  - ✓ impression détaillée : récapitulatif détaillé des données.
- Gestion manuelle du décollement/plastification des nœuds : lorsque la case est cochée, un onglet supplémentaire "Décollement / Plastification" apparaît (cf chapitre I.3.9). Cet onglet permet de forcer le décollement/plastification d'une zone donnée à l'interface sol/plaque (définition manuelle par l'utilisateur des nœuds à déclarer comme décollés ou plastifiés).
- Résolution directe : cette option contrôle le mode de résolution, direct ou itératif, du système d'équations global dans le cas d'une plaque sur un massif multicouche.

Désignation	Unité	Valeur par défaut	Condition d'affichage	Valeur obligatoire	Contrôles locaux
Reprise des matrices de raideur	-	Décochée	Toujours	Oui	-
Sauvegarde des matrices de raideur	-	Décochée	Toujours	Oui	-
Type d'impression	-	Impression détaillée	Toujours	Oui	-
Gestion manuelle du décollement/plastification des nœuds	-	Décochée	Toujours (apparition d'un nouvel onglet si cochée)	Oui	-
Résolution directe	-	Cochée	Toujours	Oui	-

Tableau I.5 : Onglet "Paramètres" : Cadre "Paramètres avancés"

### I.3.3. Onglet "Couches"

Ce deuxième onglet permet la saisie des paramètres relatifs au comportement du sol quand celui-ci est défini en tant que multicouche élastique.

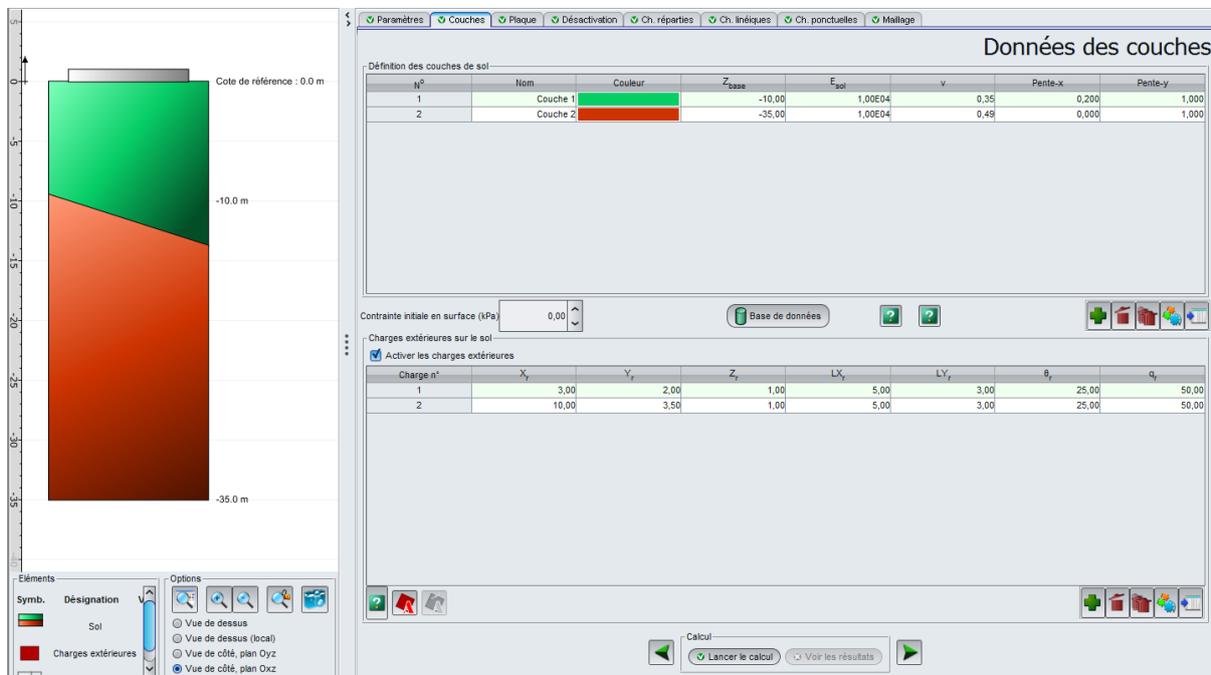


Figure I.21 : Onglet "Couches" : cas d'un modèle 3D

#### I.3.3.1. Cadre "Définition des couches de sol"

La définition de couches de sol ne constitue pas une étape obligatoire dans Tasplaq : dans le cas d'un calcul sur appuis élastiques uniquement par exemple, on ne définit pas de couches de sol (cf exemple 1 dans ce manuel).

Le tableau suivant décrit les paramètres de sol à définir pour chaque couche :

Désignation	Unité	Valeur par défaut	Condition d'affichage	Valeur obligatoire	Contrôles locaux
$Z_{base}$ : cote de la base de la couche	m	1 m sous la base de la couche au-dessus	Toujours	Oui	Valeurs strictement décroissantes
$E_{sol}$ : Module d'Young de la couche considérée	kPa	-	Toujours	Oui	$x > 0$
$\nu$ : coefficient de Poisson	-	-	Toujours	Oui	$0 \leq \nu < 0,5$

<b>Pente-x</b>	-	0,00	Toujours	Oui	-
<b>Pente-y</b>	-	0,00	Toujours	Oui	-

Tableau I.6 : Paramètres des couches de sol

Les paramètres de pendage « pente-x » et « pente-y » désignent le pendage de la base de la couche considérée selon X et Y. La cote de la base « Zbase » ainsi définie est prise à l'origine du repère de référence  $O_0$ . Ces conventions sont illustrées par deux figures d'aide ci-dessous :

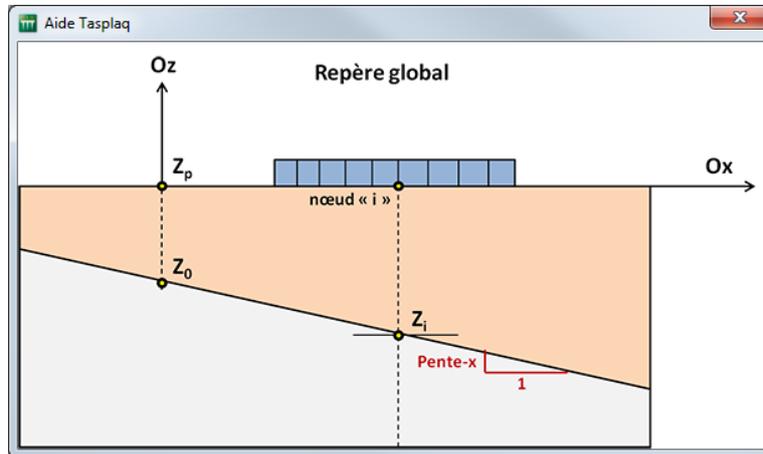


Figure I.22 : Figure d'aide pour le pendage des couches selon x

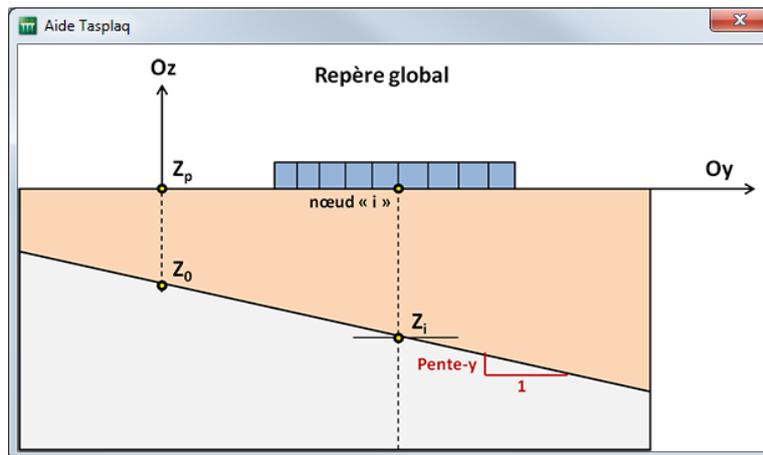


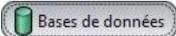
Figure I.23 : Figure d'aide pour le pendage des couches selon y

Il est important de noter que l'utilisation des symétries n'est pas compatible avec une valeur de pendage non nulle.

Sous le tableau de définition des couches de sol, il convient de saisir la contrainte initiale en surface pour le modèle :

Désignation	Unité	Valeur par défaut	Condition d'affichage	Valeur obligatoire	Contrôles locaux
<b>Contrainte initiale en surface</b>	kPa	0	Toujours	Oui	-

Tableau I.7 : Définition de la contrainte initiale en surface

Foxta offre la possibilité d'enregistrer les couches de sol dans la base de données des sols du projet et/ou dans la base de données globale des sols en cliquant sur le bouton .

Ceci permet d'enregistrer les couches de sol avec leurs paramètres et d'éviter de les saisir à nouveau lors de la création d'un nouveau module dans le projet en cours, ou d'un autre projet Foxta.

L'utilisation de la base de données des sols est décrite en détail dans la partie C du manuel.

### I.3.3.2. Cadre "Charges extérieures sur le sol"

Outre la (les) pression(s) exercée(s) par la plaque, le sol peut être soumis à des charges extérieures "directes". Ces charges sont supposées de forme rectangulaire, positionnées et orientées dans le repère global. La figure ci-dessous décrit la disposition globale du problème :

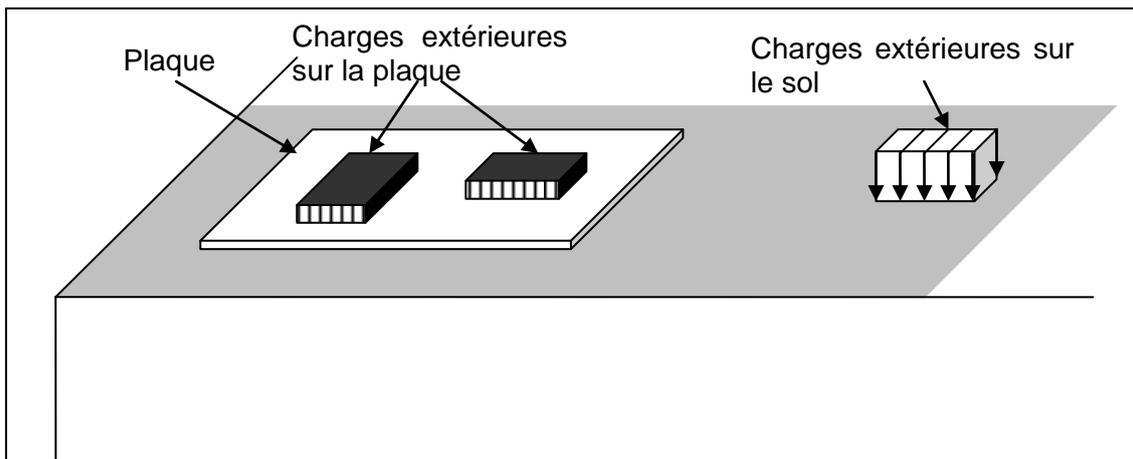


Figure I.24 : Disposition globale du problème {Plaque + Sol + Charges ext.}

La case à cocher "Activer les charges extérieures" est décochée par défaut. Si elle est cochée, le tableau de définition des charges extérieures s'affiche (cf Figure I.21).

#### I.3.3.2.1. Saisie des charges extérieures (pour les modèles 3D)

Les données à saisir varient selon le type de projet choisi sur le premier onglet :

- Pour un projet en 3 dimensions, chaque charge est caractérisée par les coordonnées de son sommet "bas – gauche" ( $X_r, Y_r, Z_r$ ), ses dimensions (largeur  $LX_r$  et longueur  $LY_r$ ), son orientation ( $\theta_r$ ), ainsi que par sa densité de charge ( $q_r$ ). La figure d'aide suivante, disponible dans le logiciel, illustre ces paramètres.

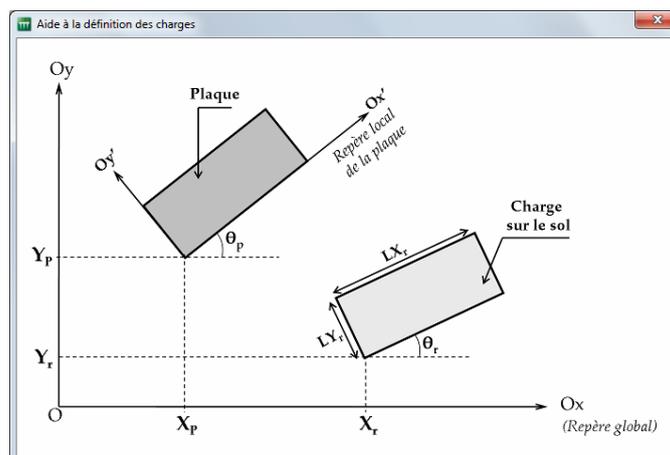


Figure I.25 : Figure d'aide pour la définition des charges extérieures en 3D

- Pour un projet 2D, chaque charge est caractérisée par les coordonnées de son extrémité dans le repère  $(X_r, Z_r)$ , sa largeur  $L_r$  et sa densité de charge ( $q_r$ ). Les figures d'aide suivantes, disponibles dans le logiciel, illustrent ces paramètres.

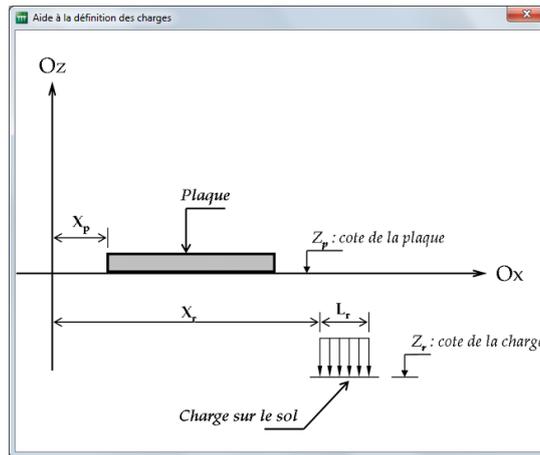


Figure 1.26 : Figure d'aide pour la définition des charges extérieures dans le cas d'un projet 2D en déformations planes

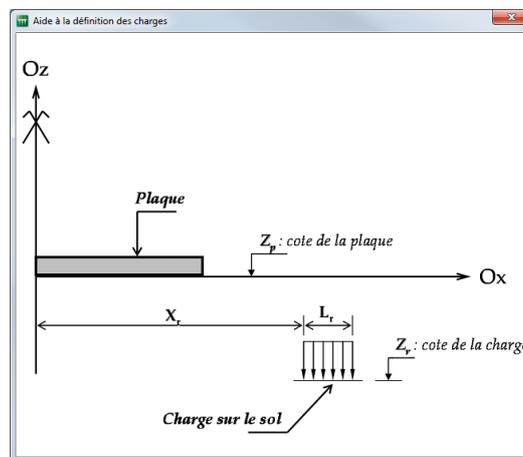


Figure 1.27 : Figure d'aide pour la définition des charges extérieures dans le cas d'un projet 2D axisymétrique

On note que les charges extérieures en 3D ne sont pas forcément orientées parallèlement aux axes Ox et Oy : elles peuvent être placées avec des angles quelconques par rapport à ces axes.

Les 2 tableaux suivants distinguent les données à saisir dans le cas des modèles 3D et 2D respectivement.

Désignation	Unité	Valeur par défaut	Condition d'affichage	Valeur obligatoire	Contrôles locaux
$X_r, Y_r, Z_r$ : coordonnées du coin de référence du rectangle dans le repère global	m	-	Toujours	Oui	-
$LX_r$	m	1,00	Uniquement en mode 3D	Oui	> 0
$LY_r$	m	1,00	Uniquement en mode 3D	Oui	> 0
Teta $\theta_r$	°	-	Uniquement en mode 3D	Oui	-
$q_r$	kPa	-	Toujours	Oui	-

Tableau 1.8 : Paramètres pour la définition des charges extérieures sur le sol dans le cas d'un modèle 3D

Désignation	Unité	Valeur par défaut	Condition d'affichage	Valeur obligatoire	Contrôles locaux
$X_r, Z_r$ : coordonnées du coin de référence du rectangle dans le repère global	m	-	Toujours	Oui	-
$L_r$ :	m	1,00	Toujours	Oui	> 0
$q_r$	kPa	-	Toujours	Oui	-

Tableau I.9 : Paramètres pour la définition des charges extérieures sur le sol dans le cas d'un modèle 2D

Cet onglet dispose d'un bouton Assistant  pour faciliter la définition des chargements pour les modèles 3D (voir le chapitre I.3.3.2.2).

Pour visualiser un chargement particulier, sélectionner une ligne dans le tableau des charges : le chargement correspondant est alors encadré en vert sur la représentation graphique dans la partie gauche de la fenêtre.

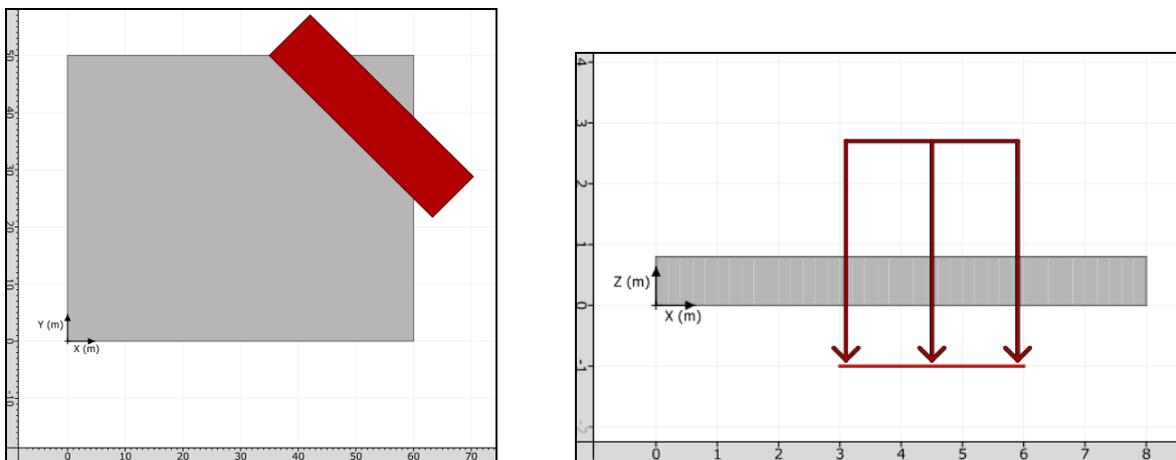


Figure I.28 : Exemples de visualisation d'une charge extérieure sur le sol

### I.3.3.2.2. Assistants pour la définition des charges extérieures (pour les modèles 3D)

Lors de la définition d'un projet en 3 dimensions et pour faciliter la définition de chargements "courants", cet onglet dispose d'un bouton "Assistant charges extérieures"  qui permet de définir simplement :

- un chargement circulaire uniforme ;
- ou un chargement annulaire uniforme ;
- ou un chargement de type talus 3D.

La Figure I.29 illustre les différents assistants disponibles :

- choisir le type de chargement ;
- renseigner les différents champs de saisie ;
- cliquer sur le bouton **Transférer**.

La description du fonctionnement des fenêtres des différents chargements est expliquée dans les sous-chapitres suivants.

Nota : il est possible d'utiliser plusieurs assistants, ou plusieurs fois le même assistant Charges dans le cadre du même calcul Tasplaq.

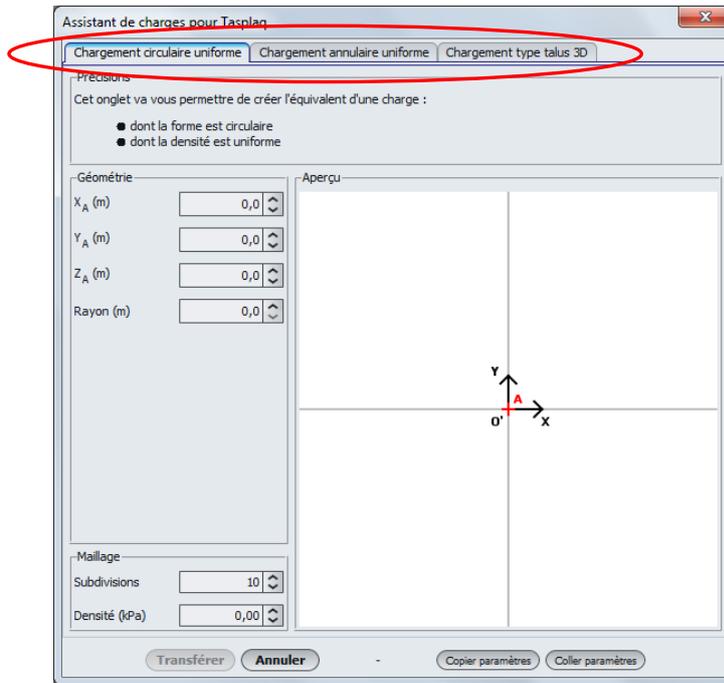


Figure I.29 : Chargements automatiques (assistants)

**Assistant : "Chargement circulaire uniforme"**

Cet assistant permet de générer un groupe de charges rectangulaires équivalent à une charge circulaire uniforme.

Les données à introduire sont les suivantes :

Désignation	Unité	Valeur par défaut	Condition d'affichage	Valeur obligatoire	Contrôles locaux
<b>Point A (X<sub>A</sub>, Y<sub>A</sub>, Z<sub>A</sub>) :</b> coordonnées du centre du disque	m	(0,0,0)	Toujours	Oui	-
<b>Rayon</b> du disque chargé	m	-	Toujours	Oui	> 0
<b>Subdivisions</b>	-	10	Toujours	Oui	> 0
<b>Densité</b> de la charge	kPa	-	Toujours	Oui	> 0

Tableau I.10 : Paramètres pour l'assistant "Chargement circulaire uniforme"

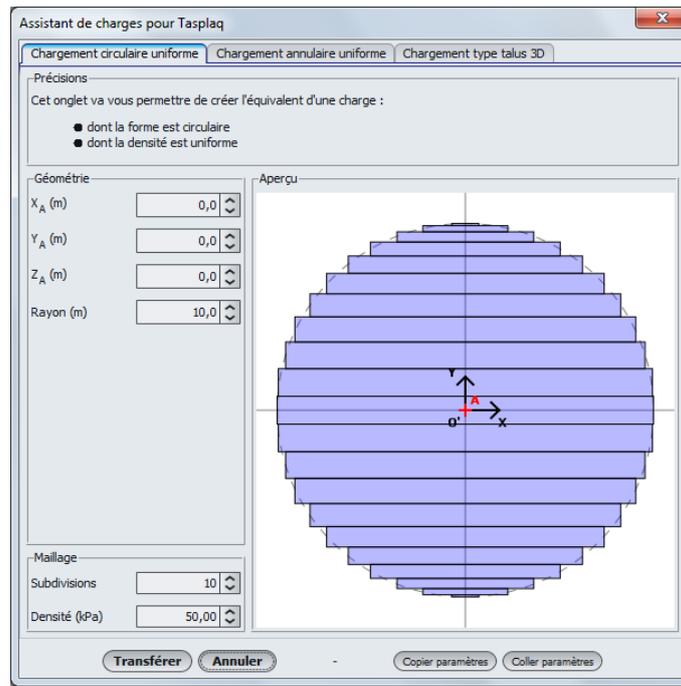


Figure I.30 : Assistant : "Chargement circulaire uniforme"

La génération de charges rectangulaires représentant le chargement circulaire et le calcul de leurs propriétés  $X_r$ ,  $Y_r$ ,  $Z_r$ ,  $L_x$ ,  $L_y$ ,  $\theta_r$  et  $q_r$ , sont activés par un clic sur le bouton **Transférer** :

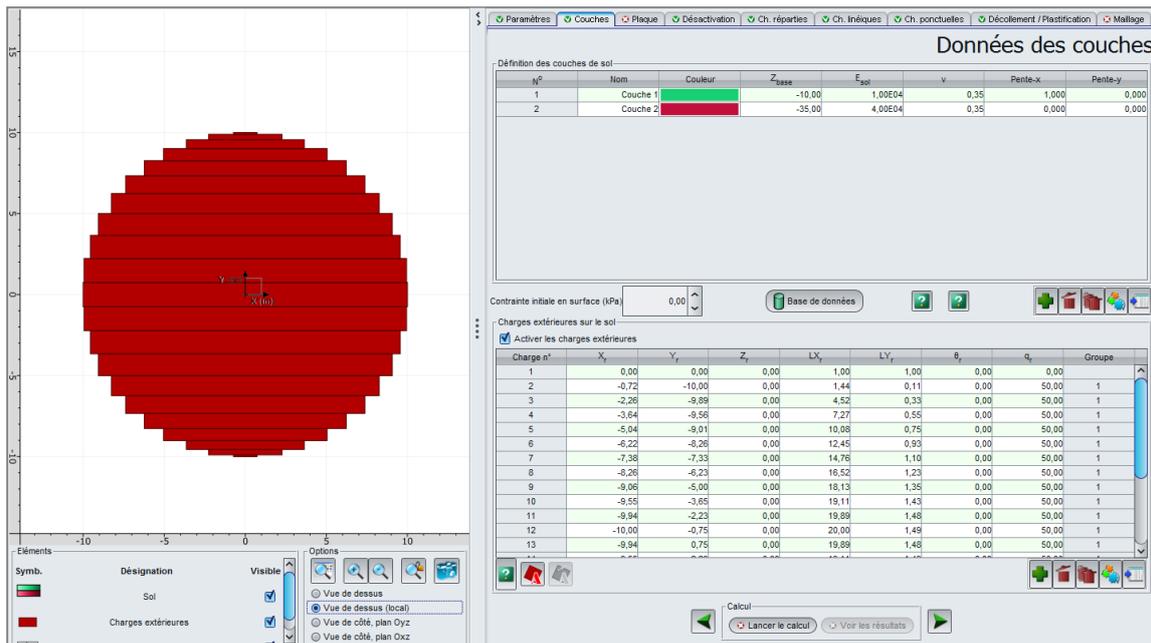


Figure I.31 : Onglet "Couches" - Charges extérieures – Après assistant "Chargement circulaire uniforme"

## Assistant : Chargement annulaire uniforme

Cet assistant permet de générer un groupe de charges rectangulaires équivalent à une charge annulaire uniforme.

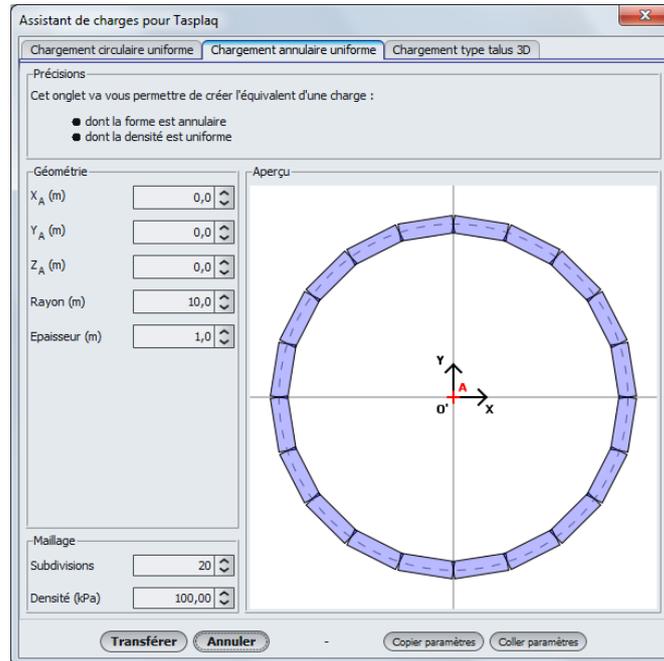


Figure I.32 : Assistant : "Chargement annulaire uniforme"

Les données à introduire sont les suivantes :

Désignation	Unité	Valeur par défaut	Condition d'affichage	Valeur obligatoire	Contrôles locaux
<b>Point A (<math>X_A, Y_A, Z_A</math>) :</b> coordonnées du centre de l'anneau	m	(0,0,0)	Toujours	Oui	-
<b>Rayon</b> moyen de l'anneau	m	-	Toujours	Oui	> 0
<b>Epaisseur</b> de l'anneau	m	-	Toujours	Oui	> 0
<b>Subdivisions</b>	-	20	Toujours	Oui	$\geq 3$
<b>Densité</b> de la charge	kPa	-	Toujours	Oui	> 0

Tableau I.11 : Paramètres pour l'assistant "Chargement annulaire uniforme"

La génération de charges rectangulaires représentant le chargement annulaire et le calcul de leurs propriétés  $X_r, Y_r, Z_r, L_x, L_y, \theta_r$  et  $q_r$ , sont activés par un clic sur le bouton **Transférer** :

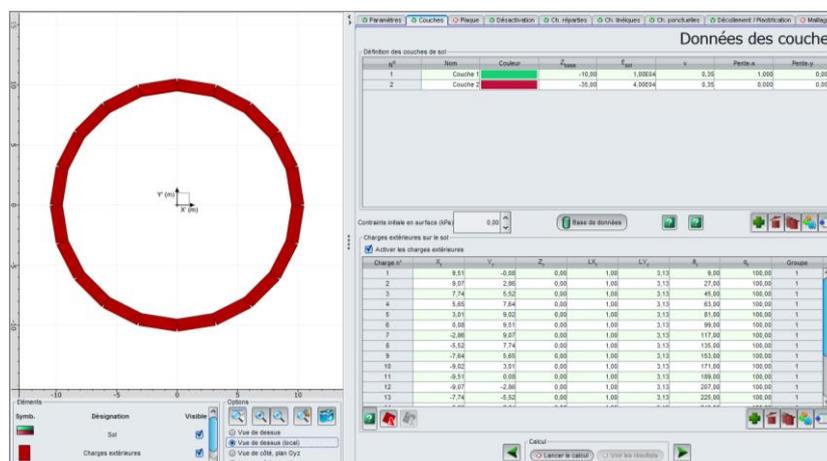


Figure I.33 : Onglet "Couches" - Charges extérieures - Après assistant "Chargement annulaire uniforme"

### Assistant : Chargement type Talus 3D

Cet assistant permet de générer un groupe de charges rectangulaires équivalent à un talus tri-dimensionnel.

Ci-après un exemple de chargement de ce type illustrant le cas général (valeur de charge différente en chacun des 4 points A, B, C et D).

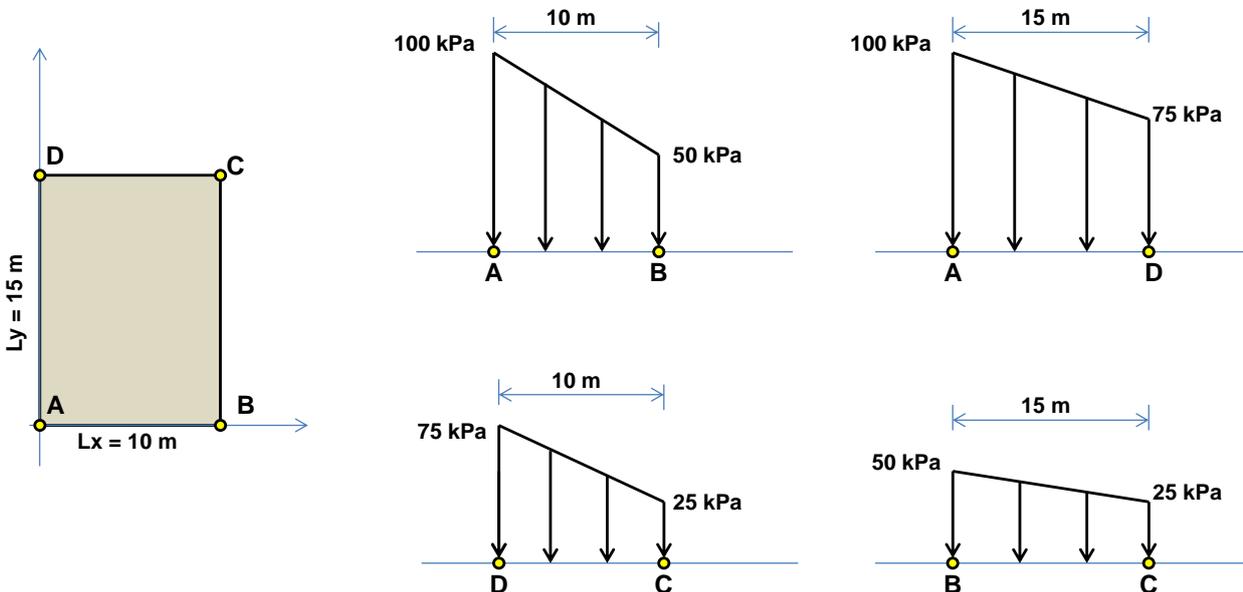


Figure 1.34 : Exemple de chargement de type Talus 3D

La définition correspondante dans l'assistant est la suivante :

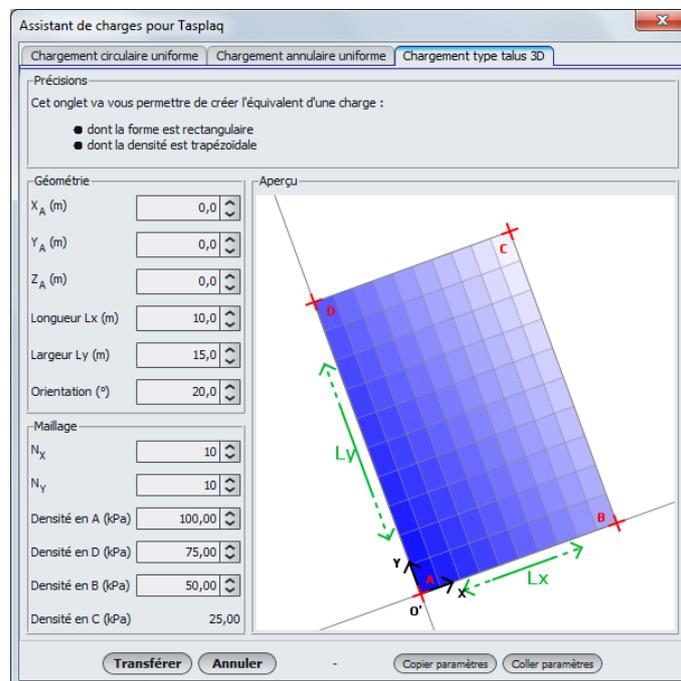


Figure 1.35 : Assistant : "Chargement type talus 3D"

Les données à introduire sont les suivantes :

Désignation	Unité	Valeur par défaut	Condition d'affichage	Valeur obligatoire	Contrôles locaux
<b>Point A (<math>X_A, Y_A, Z_A</math>) :</b> Coordonnées du coin inférieur gauche du talus	m	-	Toujours	Oui	-
<b><math>L_x</math> :</b> Longueur du talus	m	-	Toujours	Oui	> 0
<b><math>L_y</math> :</b> Largeur du talus	m	-	Toujours	Oui	> 0
<b><math>\theta</math> :</b> Orientation	°	-	Toujours	Oui	-
<b><math>N_x</math> :</b> Subdivisions suivant X	--	10	Toujours	Oui	$\geq 2$
<b><math>N_y</math> :</b> Subdivisions suivant Y	--	10	Toujours	Oui	$\geq 2$
<b>Densité de charge en A</b>	kPa	-	Toujours	Oui	Au moins l'une des 3 valeurs doit être non nulle
<b>Densité de charge en B</b>	kPa	-	Toujours	Oui	
<b>Densité de charge en D</b>	kPa	-	Toujours	Oui	
<b>Densité de charge en C</b>	kPa	-	Toujours	Oui	Calculée automatiquement à partir des 3 valeurs précédentes

Tableau I.12 : Paramètres pour l'assistant "Chargement de type Talus 3D"

La génération des rectangles de chargement représentant le chargement de type "Talus 3D" et le calcul de leurs propriétés  $X_r, Y_r, Z_r, L_x, L_y, \theta_r$  et  $q_r$ , sont activés par un clic sur le bouton **Transférer** :

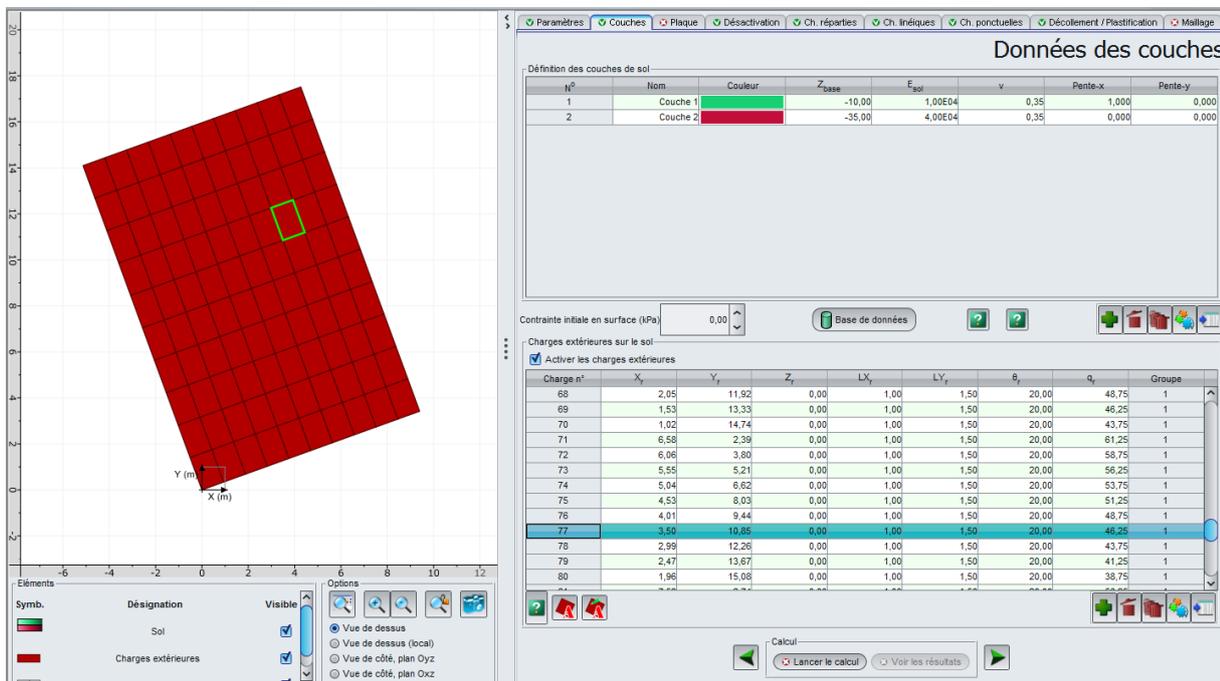


Figure I.36 : Onglet "Couches - Charges extérieures – Après assistant "Chargement de type talus 3D"

### Modification d'un groupe de charge

La sélection d'une ligne dans la liste entoure d'un liseré vert la représentation graphique sur la partie gauche de l'écran et rend accessible l'assistant de modification du groupe de charge sélectionné :

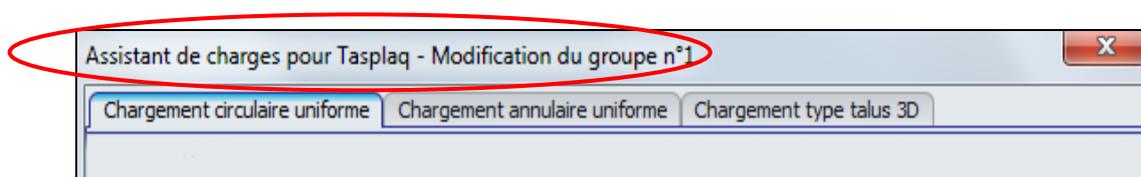


Figure I.37 : Assistant de charges pour Tasplaq – Exemple de modification du groupe n°1

### I.3.4. Onglet "Plaque"

Les propriétés de la plaque sont affectées par zones rectangulaires. Chaque zone est caractérisée par son module d'Young " $E_{\text{plaque}}$ ", son coefficient de Poisson " $\nu$ " ainsi que par son épaisseur " $h$ ".

Cette étape est obligatoire. Il faut définir au moins une zone dans le cas d'une plaque de caractéristiques homogènes.

#### I.3.4.1. Définition des propriétés de la plaque

Les zones créées sont délimitées par un trait rouge sur le graphique de l'application.

Lorsque l'on veut définir une petite zone de caractéristiques différentes à l'intérieur d'une zone plus importante, on définit d'abord la zone la plus grande puis on définit la zone plus petite avec ses caractéristiques différentes. Les caractéristiques de la petite zone "écrasent" et remplacent celles définies précédemment.

D'autre part, le fait d'affecter des caractéristiques à une zone désactivée (voir "Onglet "Désactivation") est sans incidence sur le calcul, puisque la zone est désactivée.

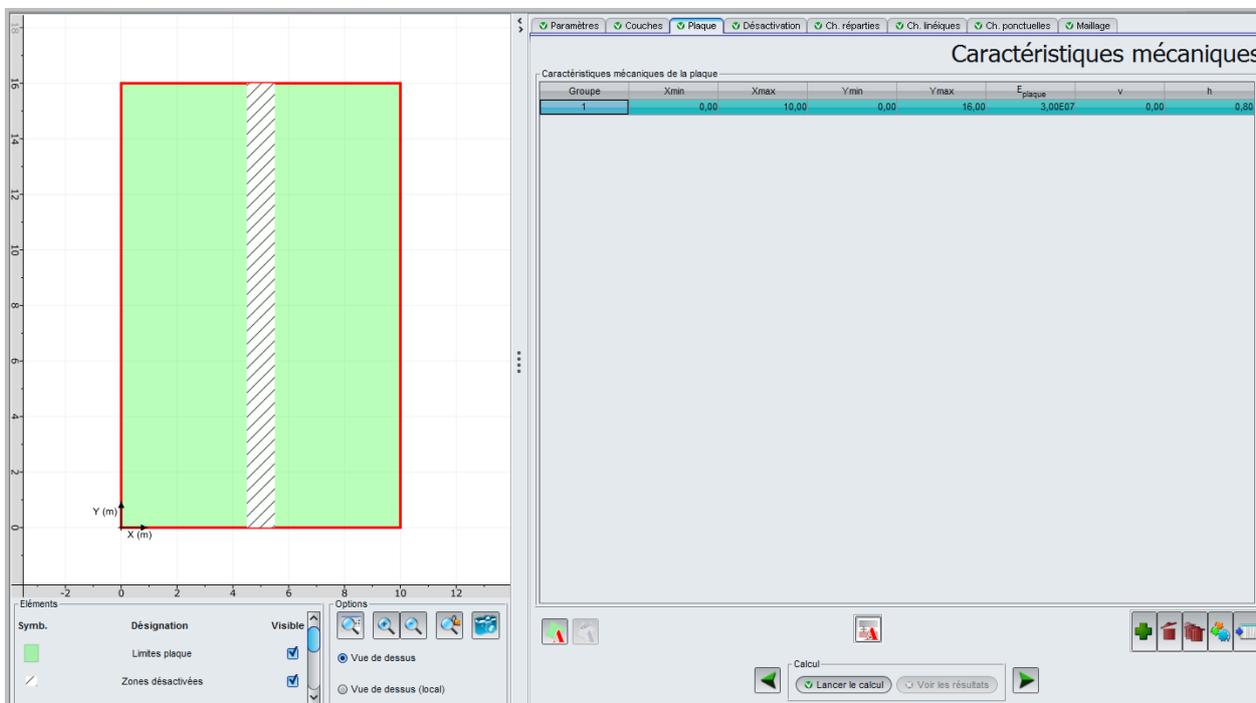


Figure I.38 : Onglet "Plaque"

Ci-dessous un récapitulatif des paramètres à saisir :

Désignation	Unité	Valeur par défaut	Condition d'affichage	Valeur obligatoire	Contrôles locaux
<b>Xmin</b> : abscisse du début de zone	m	Couvrent l'ensemble de la plaque	Toujours	Oui	$\geq 0$
<b>Xmax</b> : abscisse de fin de zone	m		Toujours	Oui	$> Xmin$
<b>Ymin</b> : ordonnée de début de zone	m		Uniquement en mode 3D	Oui	$\geq 0$
<b>Ymax</b> : ordonnée de fin de zone	m		Uniquement en mode 3D	Oui	$> Ymin$
<b>E<sub>plaque</sub></b> : module d'Young de la plaque	kPa	-	Toujours	Oui	$> 0$
<b>v</b> : coefficient de Poisson	-	-	Toujours	Oui	$0 \leq v < 0,5$
<b>h</b> : épaisseur de la plaque	m	-	Toujours	Oui	$> 0$

Tableau I.13 : Définition des caractéristiques mécaniques de la plaque

L'onglet "Plaque" comporte plusieurs assistants : 2 assistants pour aider l'utilisateur dans la création de zones de plaque de formes géométriques (assistant "Plaque circulaire" et assistant "Plaque quelconque", disponibles en 3D seulement), et 1 assistant pour la définition du module de la plaque dans le cas d'une section mixte.

### I.3.4.2. Assistants "Plaque circulaire" et "Plaque quelconque"

Pour les projets 3D, l'assistant de création de plaque est disponible en cliquant sur le bouton . Cet assistant permet de définir une ou plusieurs zones de plaque supplémentaires, circulaires ou de formes quelconques, et de les transférer dans le projet.

Cet assistant est composé de deux onglets, décrits ci-dessous.

#### Onglet "Plaque circulaire"

Cet assistant permet de générer un groupe de zones rectangulaires équivalent à une zone de plaque circulaire uniforme.

Les données à introduire sont les suivantes :

Désignation	Unité	Valeur par défaut	Condition d'affichage	Valeur obligatoire	Contrôles locaux
<b>Point A (X<sub>A</sub>, Y<sub>A</sub>)</b> : coordonnées du centre du cercle	m	(0,0)	Toujours	Oui	-
<b>Rayon</b> de la zone de plaque	m	0	Toujours	Oui	$> 0$
<b>Subdivisions</b> *	-	10	Toujours	Oui	$> 0$
<b>E<sub>plaque</sub></b> : Module de Young	kPa		Toujours	Oui	$> 0$
<b>v</b> : coefficient de poisson	-		Toujours	Oui	$0 \leq v < 0,5$
<b>h</b> : épaisseur de la plaque	m		Toujours	Oui	$> 0$

Tableau I.14 : Paramètres pour l'assistant "Désactivation circulaire"

\* Subdivisions : Constante N. Le nombre de subdivisions sera  $Nr = 2 \times N + 1$

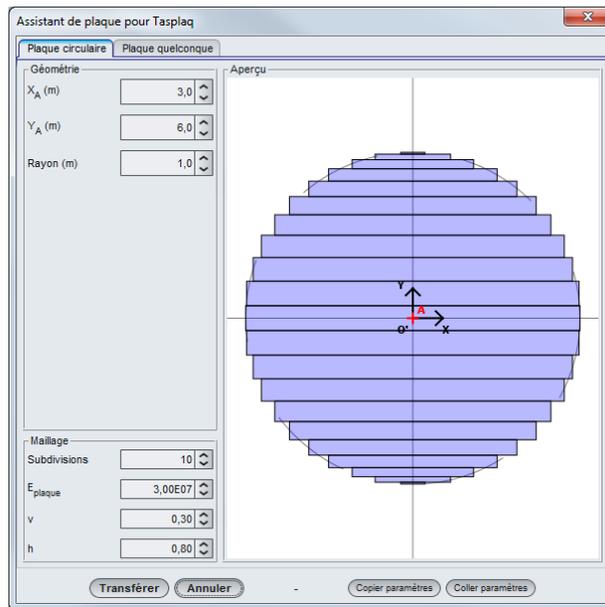


Figure I.39 : Assistant pour une plaque circulaire

### Onglet "Plaque quelconque"

Cet assistant permet de générer un groupe de zones rectangulaires équivalent à une plaque de la forme configurée.

Les données à introduire sont les suivantes :

Désignation	Unité	Valeur par défaut	Condition d'affichage	Valeur obligatoire	Contrôles locaux
Coordonnées des points ( $X_A, Y_A, X_B, Y_B, X_C, Y_C, X_D, Y_D$ )	M	(0,0,0,0)	Toujours	Oui	-
Nombre d'éléments sur X	-	7	Toujours	Oui	-
Nombre d'éléments sur Y	-	7	Toujours	Oui	-
$E_{\text{plaque}}$ : Module de Young	kPa	0	Toujours	Oui	$> 0$
$\nu$ : coefficient de poisson	-	0	Toujours	Oui	$0 \leq \nu < 0,5$
$h$ : épaisseur de la plaque	m	0	Toujours	Oui	$> 0$

Tableau I.15 : Paramètres pour l'assistant "Plaque quelconque"

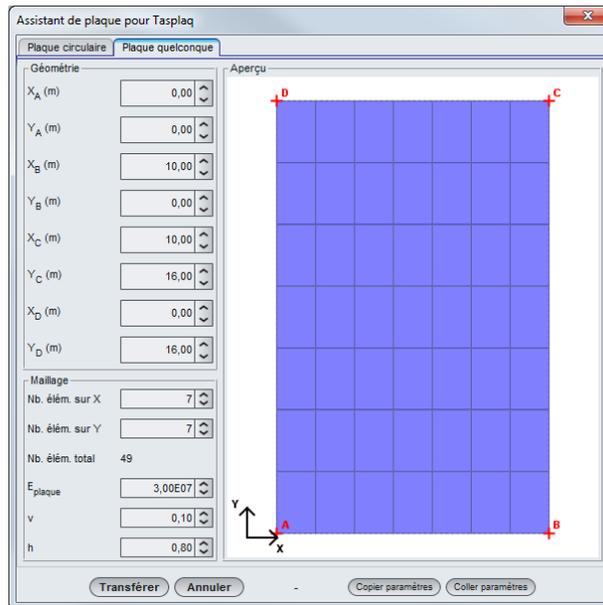


Figure I.40 : Assistant pour une plaque de forme quelconque

Un clic sur le bouton **Transférer** permet d'importer l'ensemble des données correspondantes dans le projet, et ferme l'assistant.

### **Modification d'un groupe de zones de plaque**

La sélection d'une ligne dans la liste entoure d'un liseré vert la représentation graphique sur la partie gauche de l'écran et rend accessible l'assistant de modification du groupe de la zone de plaque sélectionné  :

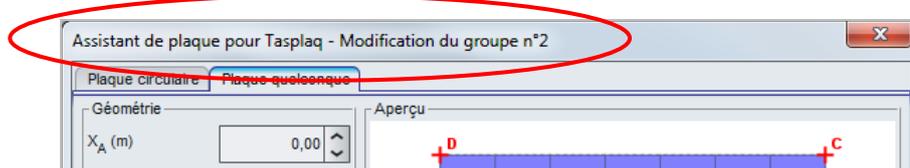


Figure I.41 : Assistant de Plaque pour Tasplaq – Exemple de modification du groupe n°3

### **I.3.4.3. Assistant "Paramètres équivalents d'une section mixte"**

Le bouton "Assistant pour le calcul des sections mixtes" est accessible par le bouton .

Cet assistant permet de définir des propriétés mécaniques équivalentes, ou ce que l'on peut appeler des "paramètres homogénéisés", dans le cas où la section de la plaque n'est pas homogène. Il est à noter que le recours à cette technique peut s'avérer utile dans certains cas spécifiques :

- Modélisation d'une dalle stratifiée constituée d'une succession de couches en béton de caractéristiques mécaniques différentes ;
- Prise en compte d'une couche de forme très raide (par ex. graves cimentées) par homogénéisation avec la couche en béton.

Dans cet assistant, deux conditions de contact sont proposées, au choix :

- Contact parfait (collé) : cela se traduit par une continuité des déformations sur la hauteur de la section. Le produit d'inertie équivalent est obtenu par intégration par rapport au plan neutre global ;
- Contact glissant: dans ce cas, il n'y a pas de continuité des déformations à l'interface des couches, en revanche les courbures sont parallèles et le produit d'inertie équivalent est obtenu comme la somme des deux produits d'inertie « propres » à chaque section.

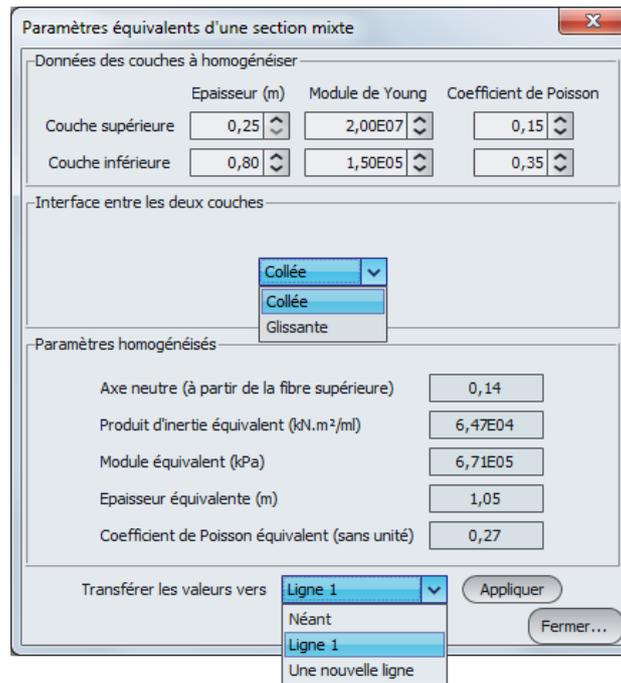


Figure I.42 : Assistant : Paramètres équivalents d'une section mixte

Les données à saisir sont les suivantes :

Désignation	Unité	Valeur par défaut	Condition d'affichage	Valeur obligatoire	Contrôles locaux
<b>Epaisseur</b>	m	-	Toujours	Oui, pour la couche supérieure et la couche inférieure	> 0
<b>Module d'Young</b>	kPa	-	Toujours		> 0
<b>Coefficient de poisson <math>\nu</math></b>	-	-	Toujours		$0 \leq \nu < 0,5$
<b>Interface entre les 2 couches</b>	-	Collée	Toujours	Oui	Valeurs possibles : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Collée</li> <li>• Glissante</li> </ul>
<b>Axe neutre (à partir de la fibre sup.)</b>	m		Seulement si "Interface entre les couches" collée	-	Valeurs calculées automatiquement (non modifiables)
<b>Produit d'inertie équivalent</b>	kN.m <sup>2</sup> /ml		Toujours	-	
<b>Module équivalent</b>	kPa		Toujours	-	
<b>Epaisseur équivalente</b>	m		Toujours	-	
<b>Coefficient de poisson équivalent</b>	-		Toujours	-	

Tableau I.16 : Paramètres de l'assistant "Section mixte"

Si **Transférer les valeurs** est configuré sur "Une nouvelle ligne" ou sur une ligne préalablement créée et sélectionnée, le bouton **Appliquer** permet d'importer les données dans le projet.

Cliquer sur le bouton **Fermer** pour fermer l'assistant.

### I.3.5. Onglet "Désactivation"

Cet onglet permet la désactivation d'un groupe de zones rectangulaires dans les plaques ainsi définies. Cela permet notamment la définition de joints, de plaques non rectangulaires, de plaques multiples disjointes, etc.

Cette étape n'est pas obligatoire.

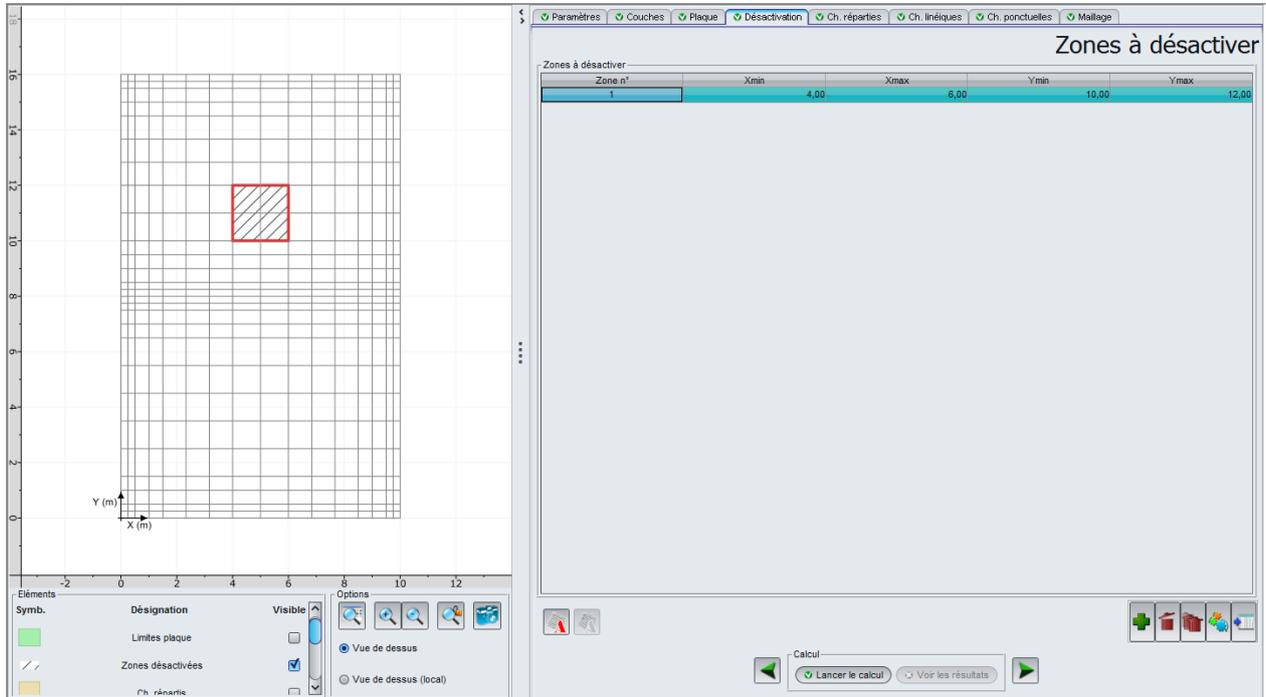


Figure I.43 : Onglet "Désactivation"

#### I.3.5.1. Définition des zones désactivées

Chaque zone désactivée est supposée de forme rectangulaire et définie à l'aide de quatre paramètres : Xmin, Xmax, Ymin et Ymax. Ceux-ci permettent de délimiter l'emprise de la zone selon X et Y. L'utilisateur peut facilement se repérer à l'aide de la représentation graphique (Figure I.43).

Ci-dessous les paramètres de désactivation à définir pour chaque zone désactivée :

Désignation	Unité	Valeur par défaut	Condition d'affichage	Valeur obligatoire	Contrôles locaux
<b>Xmin</b> : abscisse du début de zone	m	0,00	Toujours	Oui	$\geq 0$
<b>Xmax</b> : abscisse de la fin de zone	m	0,00	Toujours	Oui	$> Xmin$
<b>Ymin</b> : ordonnée du début de zone	m	0,00	Uniquement en mode 3D	Oui	$\geq 0$
<b>Ymax</b> : ordonnée de fin de zone	m	0,00	Uniquement en mode 3D	Oui	$> Ymin$

Tableau I.17 : Paramètres de désactivation

La représentation graphique de la plaque tient compte à présent des zones désactivées. Celles-ci sont blanches et hachurées. Lors de la sélection d'une zone dans la liste, elle est délimitée par un liseré rouge dans l'interprétation graphique.

L'onglet "Désactivation" comporte 1 assistant pour aider l'utilisateur dans la définition de zones géométriques de forme quelconques et circulaires.

### I.3.5.2. Assistant "Désactivation"

Pour les projets 3D, l'assistant de désactivation est disponible en cliquant sur le bouton . Cet assistant permet de définir les zones à désactiver et de transférer ces zones sélectionnées dans le projet. Cet assistant est composé de deux onglets, décrits ci-dessous.

#### I.3.5.2.1. Désactivation d'une zone circulaire

Cet assistant permet de générer un groupe de zones rectangulaires équivalent à une désactivation circulaire uniforme.

Les données à introduire sont les suivantes :

Désignation	Unité	Valeur par défaut	Condition d'affichage	Valeur obligatoire	Contrôles locaux
<b>Point A (X<sub>A</sub>, Y<sub>A</sub>) :</b> coordonnées du centre du cercle	m	(0,0)	Toujours	Oui	-
<b>Rayon</b> de la zone désactivée	m	0	Toujours	Oui	> 0
<b>Subdivisions</b> *	-	10	Toujours	Oui	> 0

Tableau I.18 : Paramètres pour l'assistant "Désactivation circulaire"

\* Subdivisions : Constante N. Le nombre de subdivisions sera  $Nr = 2 \times N + 1$

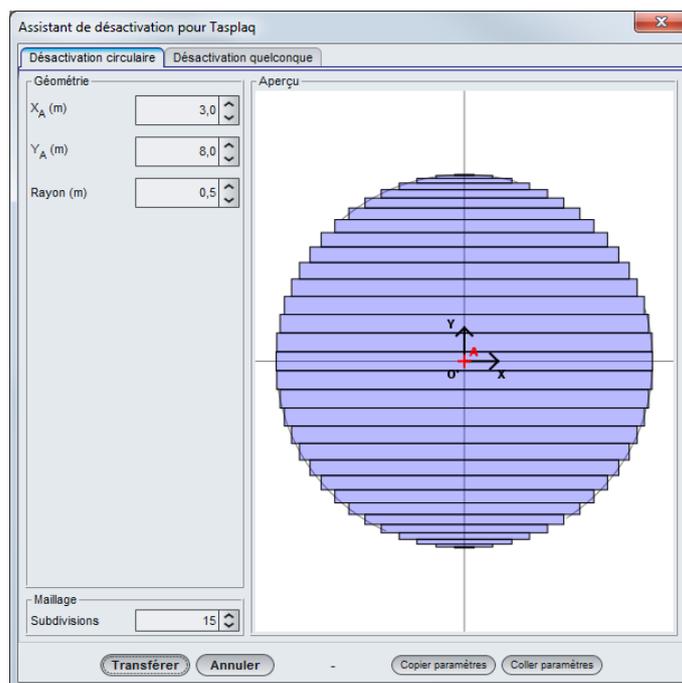


Figure I.44 : Assistant de désactivation circulaire

Un clic sur le bouton **Transférer** permet d'importer l'ensemble des données correspondantes dans le projet, et ferme l'assistant.

#### I.3.5.2.2. Désactivation d'une zone de forme quelconque

Cet assistant permet de générer un groupe de zones rectangulaires équivalent à une désactivation de la forme configurée.

Les données à introduire sont les suivantes :

Désignation	Unité	Valeur par défaut	Condition d'affichage	Valeur obligatoire	Contrôles locaux
Coordonnées des points ( $X_A, Y_A, X_B, Y_B, X_C, Y_C, X_D, Y_D$ )	m	(0,0,0,0)	Toujours	Oui	-
Nombre d'éléments sur X	-	7	Toujours	Oui	-
Nombre d'éléments sur Y	-	7	Toujours	Oui	-

Tableau I.19 : Paramètres pour l'assistant "Désactivation quelconque"

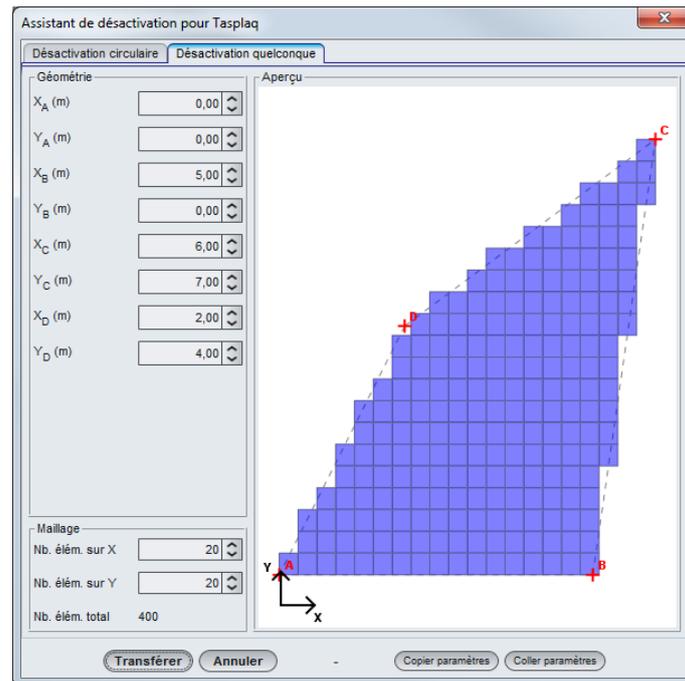


Figure I.45 : Assistant de désactivation quelconque

Un clic sur le bouton **Transférer** permet de saisir l'ensemble des données correspondantes dans le projet.

### Modification d'un groupe de désactivation

La sélection d'une ligne dans la liste entoure d'un liseré vert la représentation graphique sur la partie gauche de l'écran et rend accessible l'assistant de modification du groupe de désactivation sélectionné  :

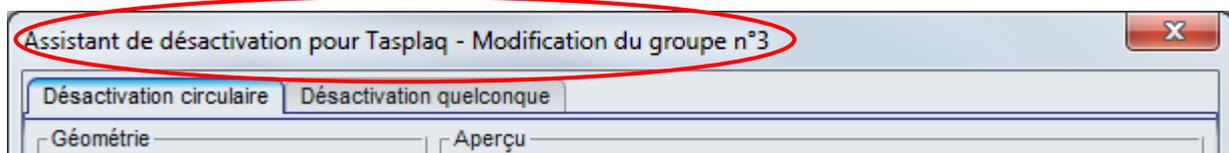


Figure I.46 : Assistant de désactivation pour Tasplaq – Exemple de modification du groupe n°3

### Gestion des paramètres

Pour ces deux assistants, deux boutons permettent la gestion des paramètres saisis, utiles pour une géométrie complexe :

- Le bouton **Copier paramètres** permet d'exporter la configuration de l'assistant dans le presse-papiers Windows®, en vue d'une importation ultérieure.

Le bouton **Coller paramètres** permet d'importer depuis le presse-papiers la configuration d'assistant précédemment exporté.

### I.3.6. Onglet "Charges réparties"

Cet onglet permet la définition (dans le repère local de la plaque) d'une ou plusieurs charges réparties appliquées sur la plaque, ainsi que d'une ou plusieurs éventuelles raideurs surfaciques sous la plaque. Cette option est disponible pour les projets 3D et 2D.

Ces charges sont définies, comme précédemment, par zones rectangulaires.

Les informations à saisir sont différentes en fonction du type de calcul choisi.

Cette étape n'est pas obligatoire.

#### I.3.6.1. Charges réparties dans le cas de projets 3D

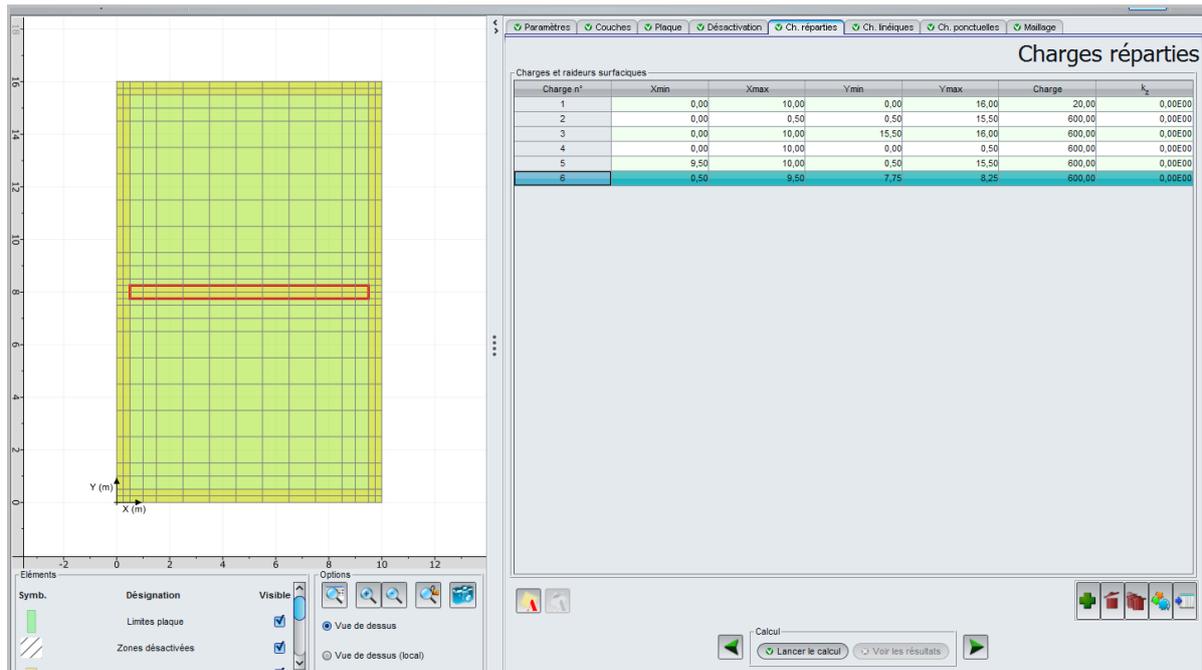


Figure I.47 : Onglet "Charges réparties" - projets 3D

Ci-dessous le tableau récapitulatif des paramètres des charges réparties en 3D :

Désignation	Unité	Valeur par défaut	Condition d'affichage	Valeur obligatoire	Contrôles locaux
<b>Xmin</b> : abscisse de début de zone	m	Couvrent l'ensemble de la plaque	Toujours	Oui	≥ 0
<b>Xmax</b> : abscisse de fin de zone	m		Toujours	Oui	> Xmin
<b>Ymin</b> : ordonnée de début de zone	m		Toujours	Oui	≥ 0
<b>Ymax</b> : ordonnée de fin de zone	m		Toujours	Oui	> Ymin
<b>Charge</b> : densité uniforme de la charge répartie	kPa	0	Toujours	Oui	L'une des 2 valeurs doit être non nulle
<b>k<sub>z</sub></b> : raideur* surfacique sous la plaque	kPa/m	0-	Toujours		

Tableau I.20 : Paramètres pour les charges réparties en 3D

k<sub>z</sub> est une raideur surfacique en déplacement vertical sous la plaque (coefficient de réaction), représentative d'une distribution de ressorts juxtaposés par exemple. Cela peut constituer par

exemple une manière alternative de représenter le sol support au lieu d'une représentation par un massif multicouche élastique.

**Attention**, si plusieurs chargements sont définis sur la même zone, ils s'additionnent. Le fonctionnement est le même pour les raideurs.

### 1.3.6.2. Charges réparties dans le cas de projets 2D

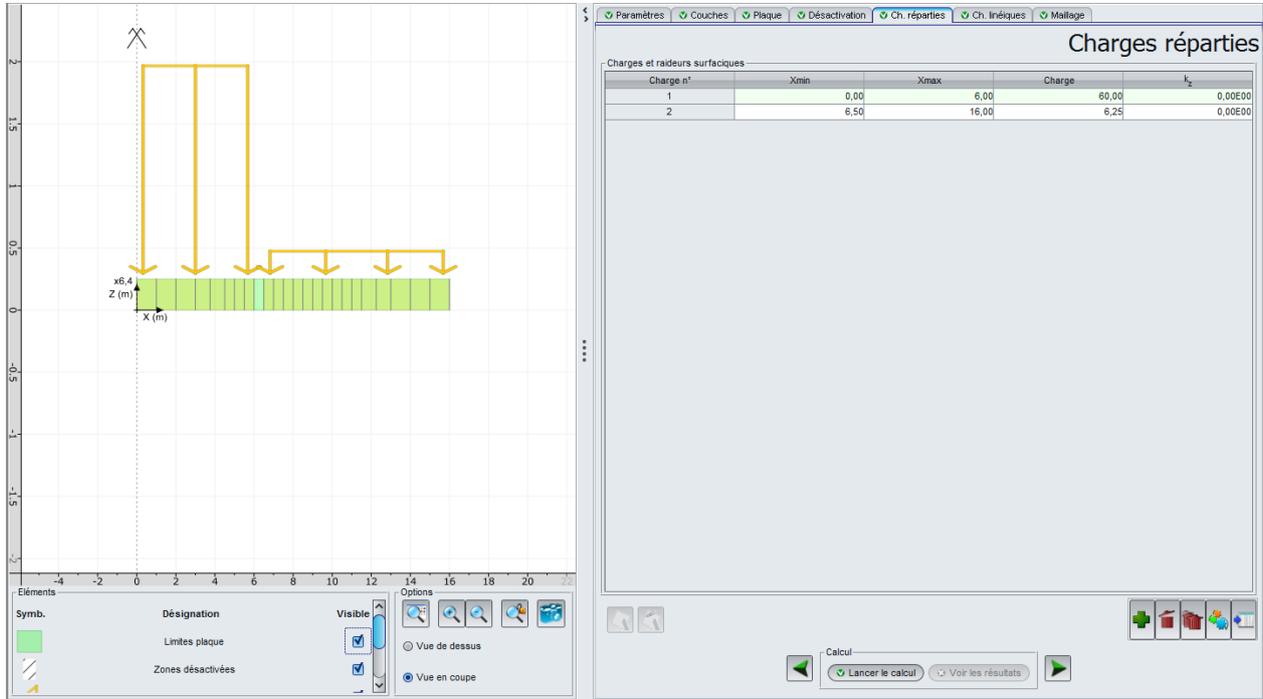


Figure I.48 : Onglet "Charges réparties" - projets 2D

Ci-dessous le tableau récapitulatif des paramètres des charges réparties en 2D :

Désignation	Unité	Valeur par défaut	Condition d'affichage	Valeur obligatoire	Contrôles locaux
<b>Xmin</b> : abscisse du début de zone	-	Couvrent l'ensemble de la plaque	Toujours	Oui	$\geq 0$
<b>Ymin</b> : abscisse de fin de zone	-		Toujours	Oui	$> Xmin$
<b>Charge<sub>deb</sub></b> : valeur de la charge répartie au début de la zone)	kPa	-	Uniquement en déformations planes	-	Une au moins des valeurs affichées doit être non nulle
<b>Charge<sub>fin</sub></b> : valeur de la charge répartie à la fin de la zone	kPa	-	Uniquement en déformations planes	-	
<b>Charge</b> : densité uniforme de la charge répartie	kPa	-	Uniquement en axisymétrie	-	
<b>K<sub>z</sub></b> : raideur* surfacique sous la plaque	kPa/m	-	Toujours	-	

Tableau I.21 : Paramètres pour les charges réparties en 2D

Comme ci-dessus, si plusieurs chargements sont définis sur la même zone, ils s'additionnent. Le fonctionnement est le même pour les raideurs.

### I.3.6.3. Assistants de définition des charges

Ces assistants ne sont accessibles que pour les projets 3D, définis en 2 dimensions (x, y) - dans les projets 2D, les charges sont définies sur une seule dimension.

Pour faciliter la définition de chargements "courants", cet onglet dispose d'un bouton Assistant  qui permet de définir simplement :

- une charge répartie circulaire ;
- une charge répartie quelconque ;

La Figure I.49 illustre les différents assistants disponibles :

- Choisir le type de chargement ;
- Renseigner les différents champs de saisie ;
- Cliquer sur le bouton **Transférer** .

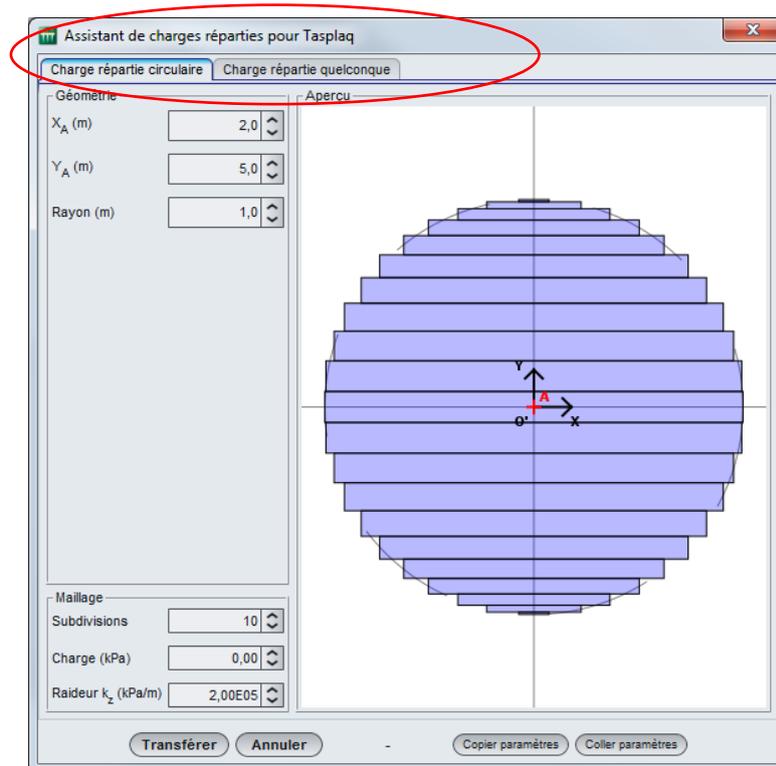


Figure I.49 : Assistant de charges réparties

La description du fonctionnement des fenêtres des différents chargements est expliquée dans les sous-chapitres suivants.

Nota : il est possible d'utiliser plusieurs assistants, ou plusieurs fois le même assistant Charges dans le cadre du même calcul Tasplaq.

### I.3.6.3.1. Assistant : "Charge répartie circulaire"

Cet assistant permet de générer un groupe de charges rectangulaires équivalent à une charge circulaire uniforme.

Les données à introduire sont les suivantes :

Désignation	Unité	Valeur par défaut	Condition d'affichage	Valeur obligatoire	Contrôles locaux
<b>Point A (X<sub>A</sub>, Y<sub>A</sub>) :</b> coordonnées du centre du disque	m	(0,0,)	Toujours	Oui	-
<b>Rayon</b> du disque chargé	m	-	Toujours	Oui	>0
<b>Subdivisions</b>	-	10	Toujours	Oui	>0
<b>Raideur k<sub>z</sub></b>	kPa/m	-	Toujours	Oui	-

Tableau I.22 : Paramètres pour le chargement circulaire uniforme

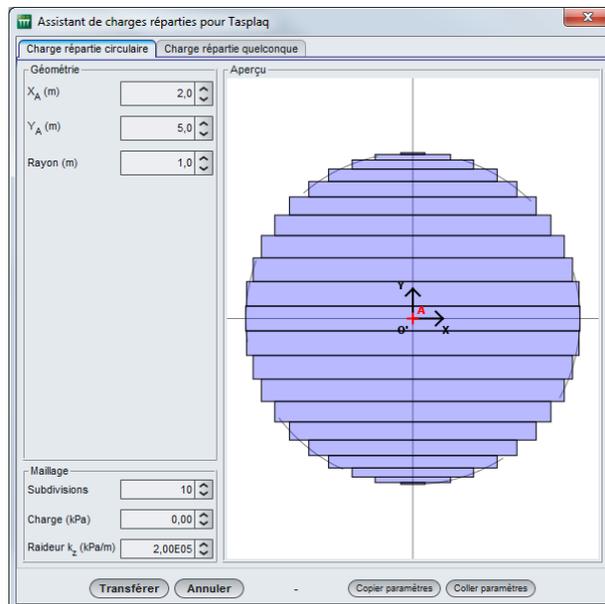


Figure I.50 : Assistant "Charge répartie circulaire"

### I.3.6.3.2. Assistant : "Charge répartie quelconque"

Cet assistant permet de générer un groupe de charges rectangulaires équivalent à une charge répartie quelconque.

Les données à introduire sont les suivantes :

Désignation	Unité	Valeur par défaut	Condition d'affichage	Valeur obligatoire	Contrôles locaux
<b>Point A (X<sub>A</sub>, Y<sub>A</sub>, X<sub>B</sub>, Y<sub>B</sub>, X<sub>C</sub>, Y<sub>C</sub>, X<sub>D</sub>, Y<sub>D</sub>) :</b> coordonnées des 4 points	m	(0, 0, 0, 0,)	Toujours	Oui	-
<b>Nb d'éléments sur X et sur Y</b>	-	(7, 7)	Toujours	Oui	-
<b>Densité</b> (en A, B, C D)	kPa	0	Toujours	Oui	-
<b>Raideur k<sub>z</sub></b>	kPa/m	0	Toujours	Oui	-

Tableau I.23 : Paramètre pour une charge répartie quelconque

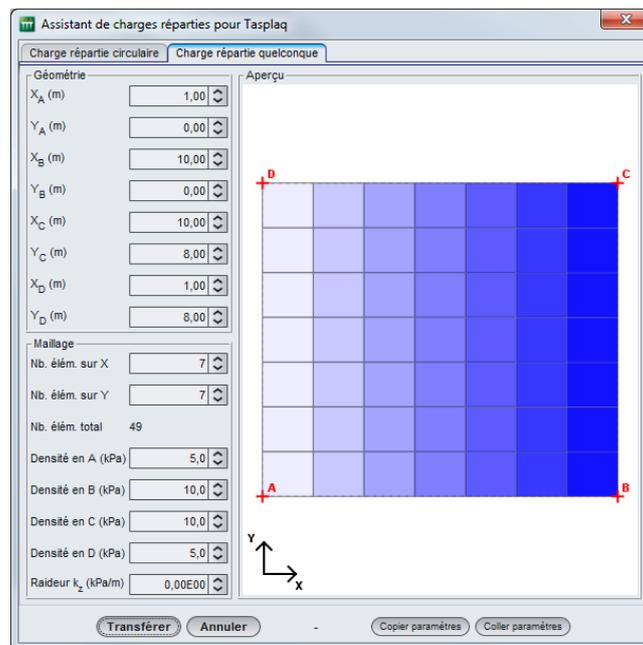


Figure I.51 : Assistant "Charge répartie quelconque"

La génération de charges rectangulaires, représentant la charge circulaire ou la charge quelconque, et le calcul de leurs propriétés  $X_{min}$ ,  $X_{max}$ ,  $Y_{min}$ ,  $Y_{max}$ , la charge et la raideur  $k_z$ , sont activés par un clic sur le bouton **Transférer**.

### I.3.7. Onglet "Charges linéiques"

Cet onglet permet de définir (dans le repère local de la plaque) les charges linéiques pour les projets 2D et 3D. Les informations seront différentes en fonctions du type de calcul choisi.

Cette étape n'est pas obligatoire.

#### I.3.7.1. Charges et raideurs linéiques dans le cas de projets 3D

La plaque peut être soumise à une ou plusieurs charges linéiques selon l'axe  $Ox$ , définies chacune sur un segment  $[X_{min}, X_{max}]$ . Chaque surcharge est caractérisée par une densité de charge linéique (kN/m) une raideur en translation linéique éventuelle  $k_z$ .

Une charge linéique selon  $Ox$  est en effet parallèle à l'axe  $Ox$ , placée le long de la ligne d'ordonnée  $Y$ , et délimitée par 2 nœuds d'abscisses  $X_{min}$  et  $X_{max}$  : le principe de repérage de chaque zone est ainsi similaire à celui utilisé pour les zones rectangulaires, sauf que l'on prend ici  $Y_{min} = Y_{max} = Y$ . La charge et/ou la raideur  $k_z$  sont appliquées au segment ainsi défini

La plaque peut également être soumise à une ou plusieurs charges linéiques selon l'axe  $Oy$ , caractérisées de façon analogue par une abscisse fixe égal à  $X$  et deux ordonnées  $Y_{min}$  et  $Y_{max}$ .

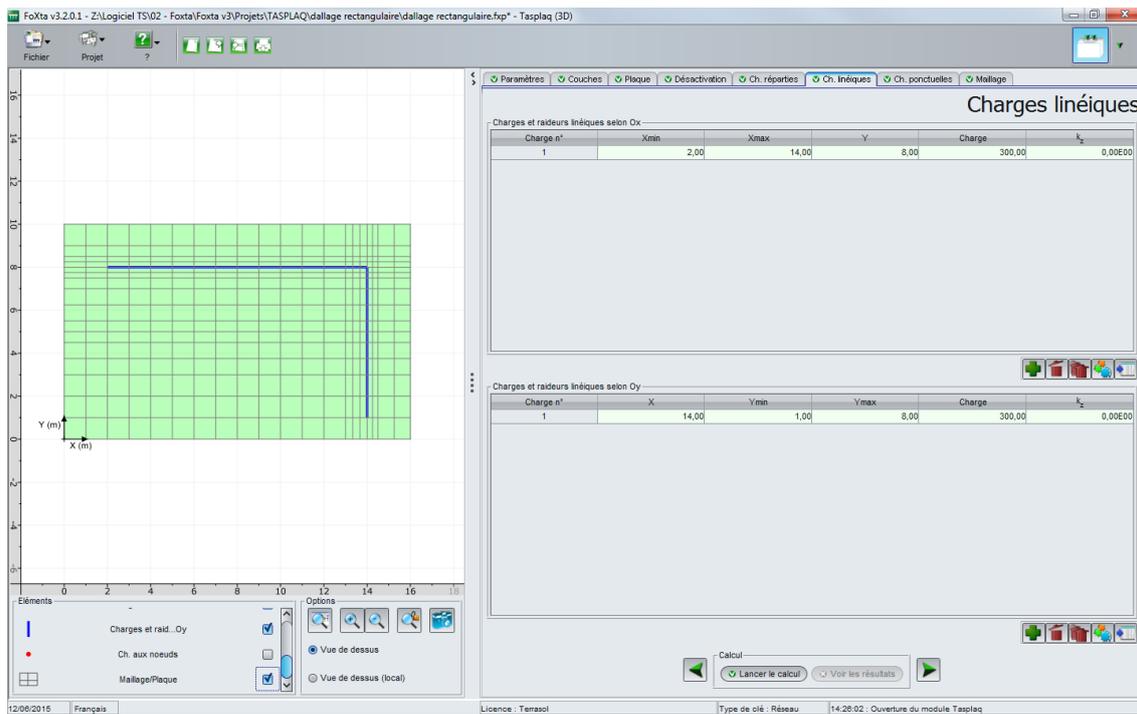


Figure I.52 : Onglet "Charges linéiques" - Projet 3D

Ci-dessous le tableau récapitulatif des paramètres des charges linéiques en 3D :

Désignation	Unité	Valeur par défaut	Condition d'affichage	Valeur obligatoire	Contrôles locaux
<b>Xmin</b> : abscisse du début de la zone	m	0	Selon Ox	Oui	$\geq 0$
<b>Xmax</b> : abscisse de la fin de zone	m	0		Oui	$> Xmin$
<b>Y</b> : Ordonnée de la charge	m	0		Oui	$\geq 0$
<b>X</b> : abscisse de la charge linéique	m	0	Selon Oy	Oui	$\geq 0$
<b>Ymin</b> : ordonnée de début de zone	m	0		Oui	$\geq 0$
<b>Ymax</b> : ordonnées de fin de zone	m	1		Oui	$> Ymin$
<b>Charge</b> : densité uniforme de la charge linéique	kN/ml	-	Toujours	Oui	Une de ces 2 valeurs doit être non nulle
<b>k<sub>z</sub></b> : raideur linéique sous la plaque	kN/m/ml	-	Toujours	Oui	

Tableau I.24 : Paramètres pour les charges linéiques en 3D

### I.3.7.2. Charges et raideurs linéiques dans le cas de projets 2D

Pour un projet 2D, la plaque peut être soumise à une ou plusieurs charges linéiques, appliquées chacune en un X donné.

Les propriétés d'une charge linéique sont les suivantes : la raideur linéique sous la plaque  $k_z$ , l'effort linéique par nœud  $F_z$ , le moment fléchissant linéique par nœud  $M_x$  (ou  $M_y$ ) et la raideur linéique en rotation par nœud  $C_x$  (ou  $C_y$ ).

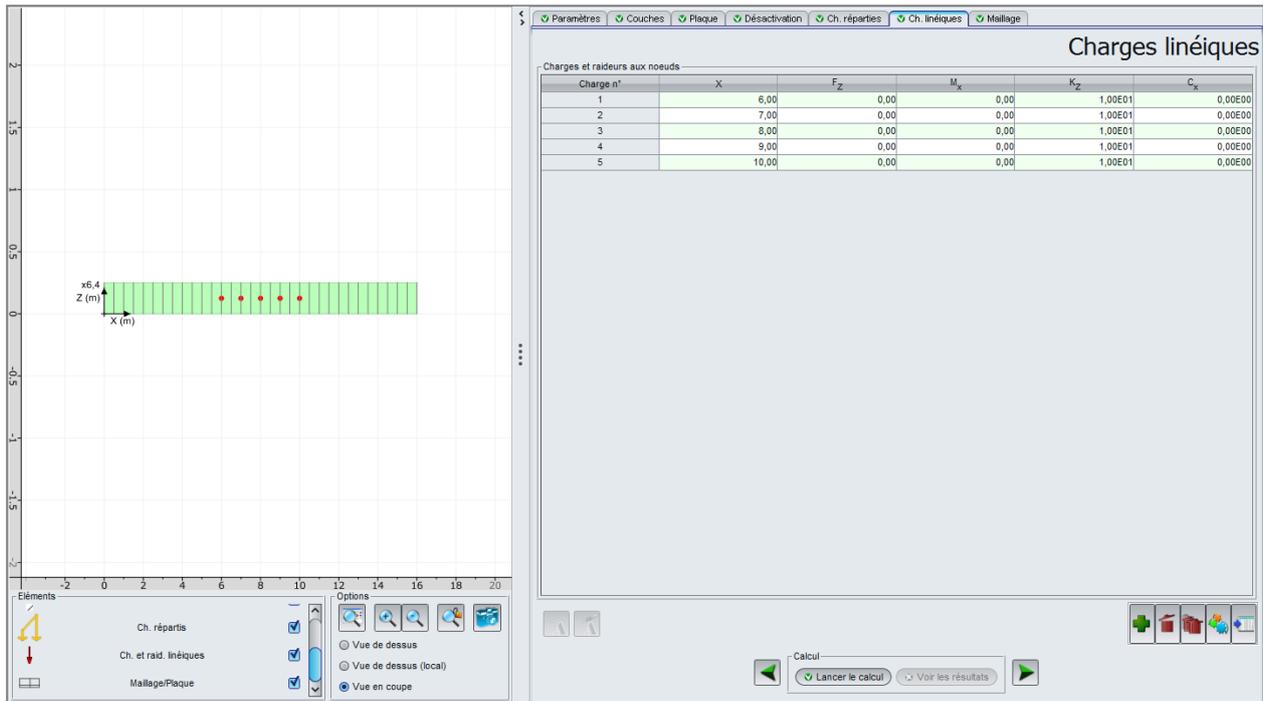


Figure I.53 : Onglet "Charges linéiques" - Projet 2D

Ci-dessous le tableau récapitulatif des paramètres des charges linéiques en 2D :

Désignation	Unité	Valeur par défaut	Condition d'affichage	Valeur obligatoire	Contrôles locaux
<b>X</b> : abscisse dans le repère local	m	0	Toujours	Oui	$\geq 0$
<b>F<sub>z</sub></b> : effort linéique par nœud	kN/ml	-	Toujours	Oui	L'une au moins des 4 valeurs affichées doit être non nulle
<b>M<sub>x</sub></b> : moment fléchissant linéique par nœud	kN.m/ml	-	En déformations planes	Oui	
<b>M<sub>r</sub></b> : moment fléchissant linéique radial par nœud	kN.m/ml	-	En axisymétrie	Oui	
<b>K<sub>z</sub></b> : raideur linéique par nœud	kN/m/ml	-	Toujours	Oui	
<b>C<sub>x</sub></b> : raideur linéique en rotation par nœud	kN.m/rad/ml	-	En déformations planes	Oui	
<b>C<sub>r</sub></b> : raideur linéique en rotation par nœud	kN.m/rad/ml	-	En axisymétrie	Oui	

Tableau I.25 : Paramètres pour les charges linéiques en 2D

### I.3.8. Onglet "Charges ponctuelles"

Cet onglet n'est visible que pour les projets 3D. Cette étape n'est pas obligatoire.

Chaque chargement ponctuel est constitué par : un effort ponctuel  $F_z$ , deux moments de flexion  $M_x$  et  $M_y$ , une raideur ponctuelle par nœud  $k_z$ , deux raideurs en rotations  $C_x$  et  $C_y$ . Ces données sont affectées à un nœud (X, Y) donné.

Les valeurs saisies s'appliquent sur chacun des nœuds du groupe défini.

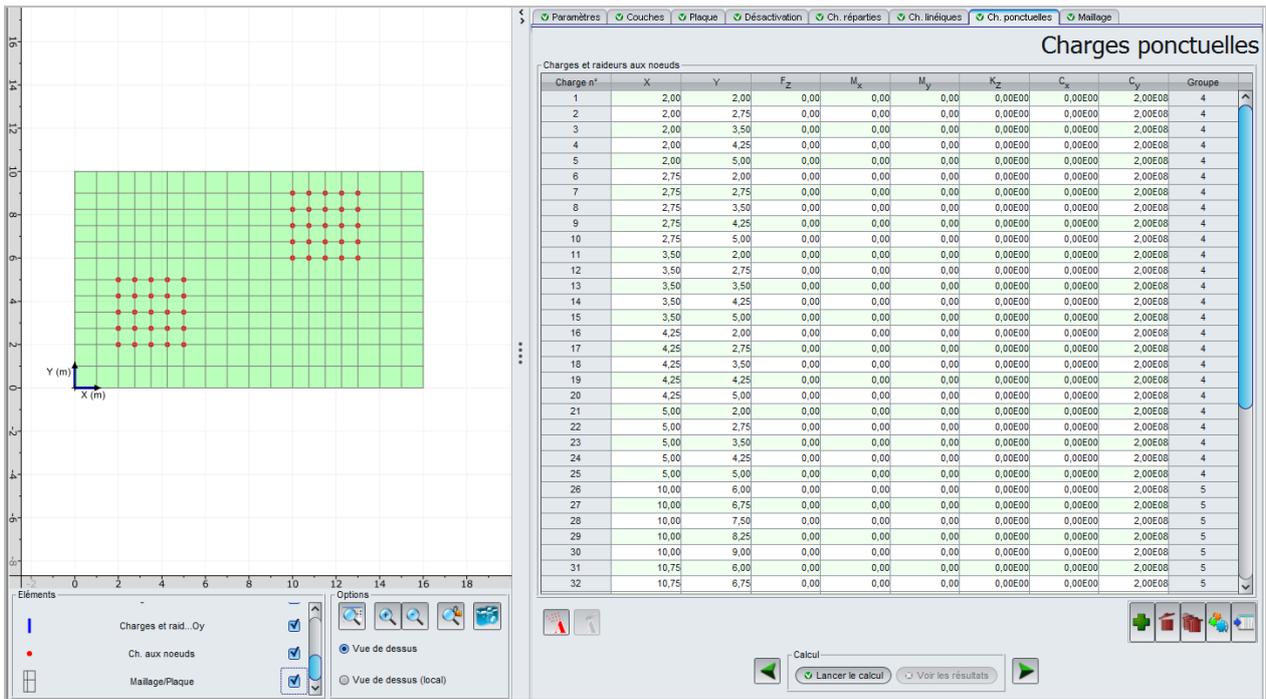


Figure I.54 : Onglet "Charges ponctuelles"

Ci-dessous un récapitulatif des paramètres à saisir :

Désignation	Unité	Valeur par défaut	Condition d'affichage	Valeur obligatoire	Contrôles locaux
X : abscisse de la charge	m	0	Toujours (3D)	Oui	$\geq 0$
Y : ordonnée de la charge	m	0	Toujours (3D)	Oui	$\geq 0$
F <sub>z</sub> : effort ponctuel	kN	-	Toujours (3D)	Oui	Au moins une de ces données doit être non nulle
M <sub>x</sub> : moment autour de l'axe (-Oy)	kN.m	-	Toujours (3D)	Oui	
M <sub>y</sub> : moment autour de l'axe (Ox)	kN.m	-	Toujours (3D)	Oui	
K <sub>z</sub> : raideur ponctuelle par nœud	kN/m	-	Toujours (3D)	Oui	
C <sub>x</sub> : raideur en rotation par rapport à (-Oy)	kN.m/rad	-	Toujours (3D)	Oui	
C <sub>y</sub> : raideur en rotation par rapport à Ox	kN.m/rad	-	Toujours (3D)	Oui	

Tableau I.26 : Paramètres pour les charges ponctuelles

### I.3.8.1. Assistants "Charges ponctuelles"

Ces assistants permettent de générer automatiquement des points alignés ou répartis selon des géométries prédéfinies. Ils sont accessibles par un clic sur le bouton .

Il est possible d'utiliser les deux assistants, ou plusieurs fois le même assistant de points de calcul dans le cadre du même calcul Tasseldo.

Après utilisation d'au moins un assistant "Charges ponctuelles", le bouton  devient accessible : il permet de modifier le groupe de points de calcul sélectionné.

### I.3.8.1.1. Charges ponctuelles réparties le long d'un segment

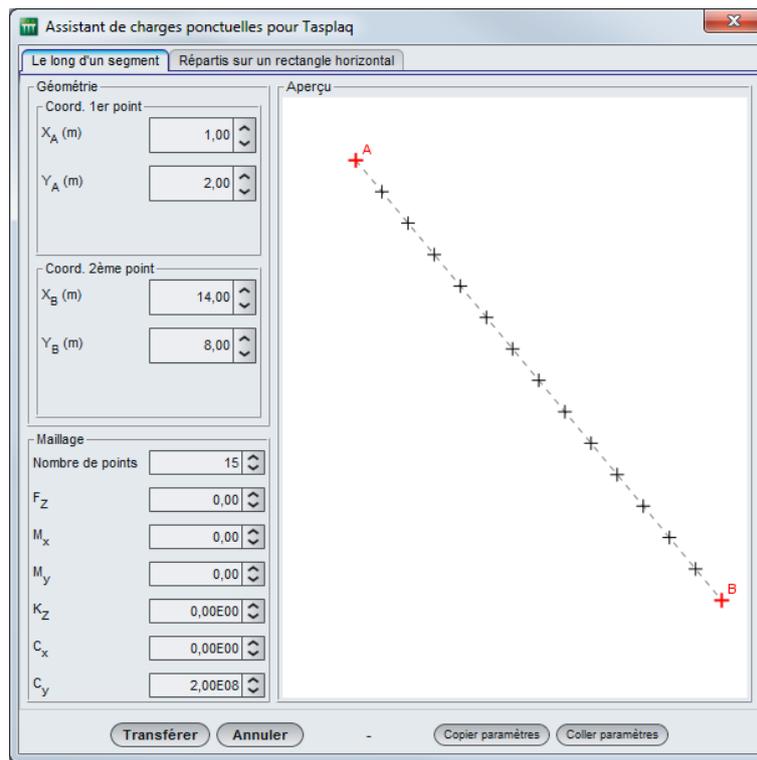


Figure I.55 : Assistant de charges ponctuelles le long d'un segment

Les paramètres à compléter sont les suivants :

Désignation	Unité	Valeur par défaut	Condition d'affichage	Valeur obligatoire	Contrôles locaux
$X_A$ et $Y_A$ : coordonnées du point A	m		Toujours (3D)	Oui	$\geq 0$
$X_B$ et $Y_B$ : coordonnées du point B	m		Toujours (3D)	Oui	$\geq 0$
<b>Nombre de points</b>	-	10	Toujours (3D)	Oui	-
$F_z$ : effort ponctuel	kN	-	Toujours (3D)	Oui	Au moins une de ces données doit être non nulle
$M_x$ : moment autour de l'axe (-Oy)	kN.m	-	Toujours (3D)	Oui	
$M_y$ : moment autour de l'axe (Ox)	kN.m	-	Toujours (3D)	Oui	
$K_z$ : raideur ponctuelle par nœud	kN/m	-	Toujours (3D)	Oui	
$C_x$ : raideur en rotation par rapport à (-Oy)	kN.m/rad	-	Toujours (3D)	Oui	
$C_y$ : raideur en rotation par rapport à Ox	kN.m/rad	-	Toujours (3D)	Oui	

Tableau I.27 : Paramètre pour l'assistant de charges ponctuelles le long d'un segment

### 1.3.8.1.2. Charges ponctuelles réparties sur un rectangle horizontal

Cet assistant permet de définir automatiquement un maillage de points de calcul répartis sur un rectangle horizontal [A, B, C, D].

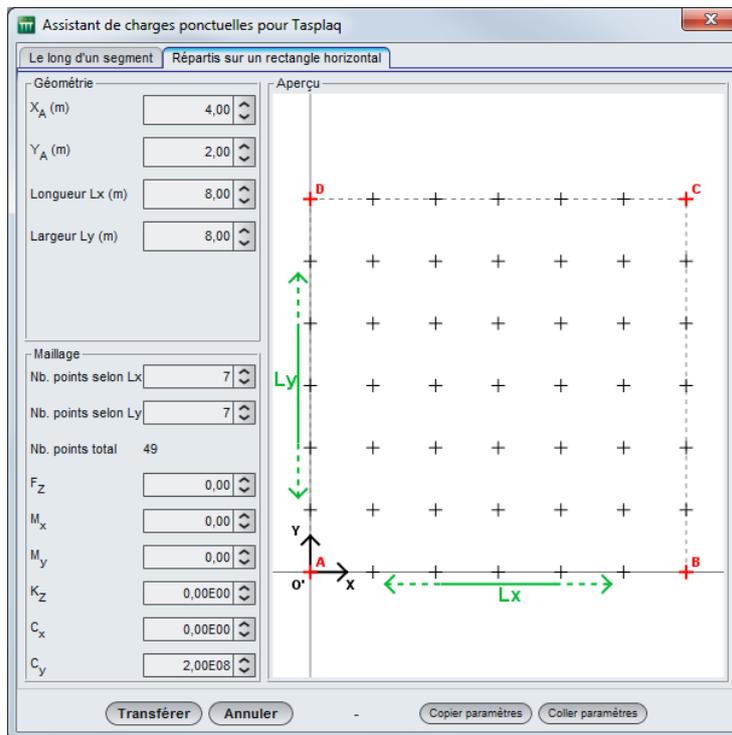


Figure 1.56 : Assistant de charges répartie sur un rectangle horizontal

Les paramètres à compléter sont les suivants :

Désignation	Unité	Valeur par défaut	Condition d'affichage	Valeur obligatoire	Contrôles locaux
$X_A$ et $Y_A$ : coordonnées du point A	m	0	Toujours	Oui	-
<b>Longueur Lx</b> : longueur du rectangle	m	0	Toujours	Oui	-
<b>Largeur Ly</b> : largeur du rectangle	m	0	Toujours	Oui	-
<b>Nb de points selon Lx</b>	-	0	Toujours	Oui	-
<b>Nb de point selon Ly</b>	-	0	Toujours	Oui	-
$F_z$ : effort ponctuel	kN	-	Toujours (3D)	Oui	Au moins une de ces données doit être non nulle
$M_x$ : moment autour de l'axe (-Oy)	kN.m	-	Toujours (3D)	Oui	
$M_y$ : moment autour de l'axe (Ox)	kN.m	-	Toujours (3D)	Oui	
$K_z$ : raideur ponctuelle par nœud	kN/m	-	Toujours (3D)	Oui	
$C_x$ : raideur en rotation par rapport à (-Oy)	kN.m/rad	-	Toujours (3D)	Oui	
$C_y$ : raideur en rotation par rapport à Ox	kN.m/rad	-	Toujours (3D)	Oui	

Lorsque les données de l'assistant sont complétées, cliquer sur le bouton **Transférer** : les points générés sont alors automatiquement copiés dans le tableau des charges ponctuelles.

### I.3.9. Onglet "Décollement/Plastification"

Cet onglet apparaît si l'option "Gestion manuelle du décollement/plastification" est cochée dans le cadre "Paramètres avancés" de l'onglet "Paramètres", quel que soit le type de projet (2D ou 3D).

Cet onglet permet d'imposer manuellement :

- Le décollement de certaines zones : la réaction du sol (massif multicouche) est alors égale à 0 et le tassement du sol n'est plus égal au déplacement vertical de la plaque. D'une manière générale, cette option permet de supprimer le contact entre la plaque et le sol sous une zone prédéfinie. Cela peut être utile dans la simulation de certains particuliers, comme celui où la plaque n'est que partiellement appuyée sur le sol support comme le schématise la figure ci-dessous.

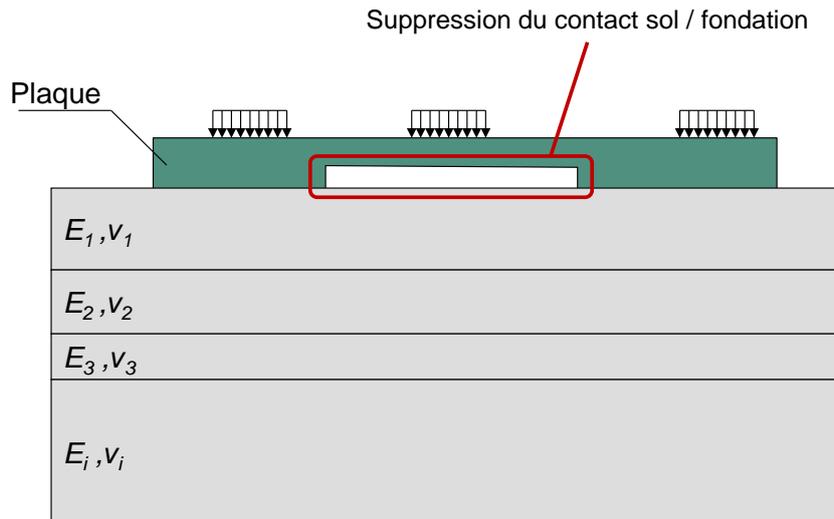
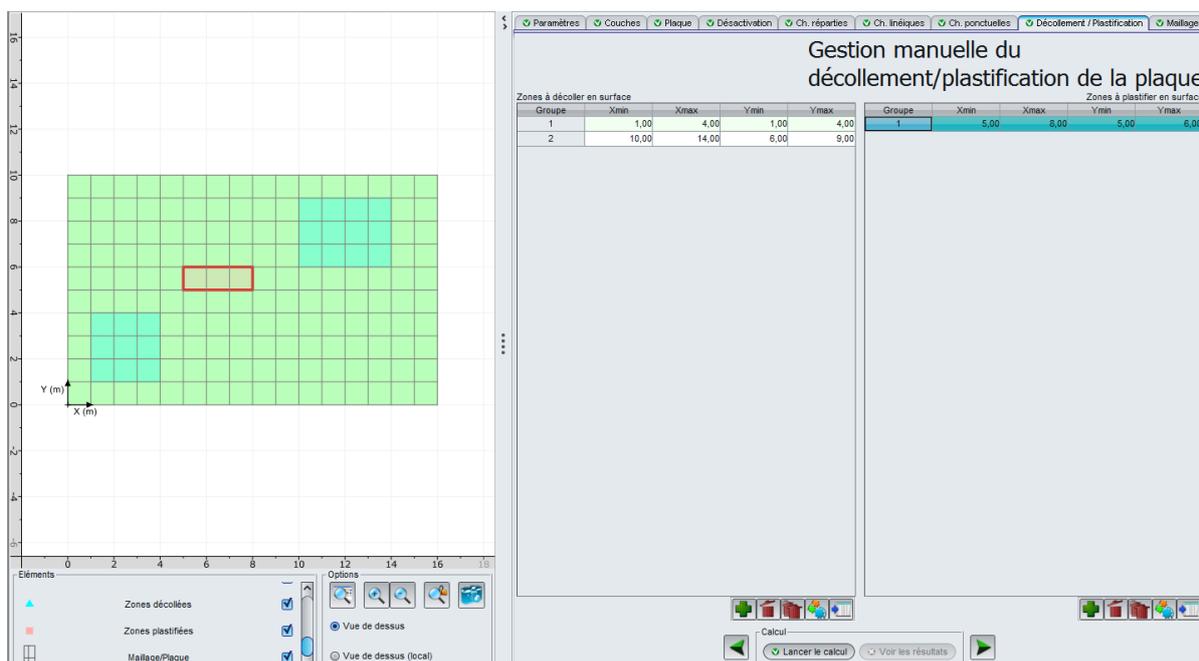


Figure I.57 : Cas d'une plaque partiellement appuyée sur le sol

- La plastification de certaines zones : la réaction du sol (massif multicouche) imposée est égale au seuil de plastification défini dans l'onglet "Paramètres". L'égalité entre le tassement du sol et le déplacement vertical de la plaque est toujours assurée.

Il est possible de combiner la gestion "manuelle du décollement/plastification" avec l'option "Calcul automatique" : en effet, dans le cas où l'option "Calcul automatique" est activée, TASPLAQ contrôle le décollement/la plastification au droit de tous les nœuds, sauf ceux qui sont situés dans les zones ayant été déclarées comme décollées/plastifiées manuellement par l'utilisateur.



Zones à décoller en surface					Zones à plastifier en surface				
Groupe	Xmin	Xmax	Ymin	Ymax	Groupe	Xmin	Xmax	Ymin	Ymax
1	1,00	4,00	1,00	4,00	1	5,00	8,00	5,00	6,00
2	10,00	14,00	6,00	9,00					

Figure I.58 : Onglet "Décollement/plastification"

Cette option correspond à une utilisation avancée de Tasplaq.

Cette étape n'est pas obligatoire.

Les types de données à compléter sont les mêmes pour les 2 cadres : zones à décoller en surface et zones à plastifier en surface. Par contre, les zones définies dans les 2 cadres peuvent être différentes.

Désignation	Unité	Valeur par défaut	Condition d'affichage	Valeur obligatoire	Contrôles locaux
<b>Xmin</b> : abscisse du début de zone	m	0	Toujours	Oui	$\geq 0$
<b>Xmax</b> : abscisse de fin de zone	m	0	Toujours	Oui	$> Xmin$
<b>Ymin</b> : ordonnée de début de zone	m	0	Uniquement en mode 3D	Oui	$\geq 0$
<b>Ymax</b> : ordonnée de fin de zone	m	0	Uniquement en mode 3D	Oui	$> Ymin$

Tableau I.28 : Paramètres de gestion manuelle du décollement/plastification de la plaque

### I.3.10. Onglet "Maillage"

L'onglet "Maillage" permet de définir le maillage sur l'ensemble de la zone de travail, en repère local. 3 cadres permettent de saisir les paramètres de ce maillage.

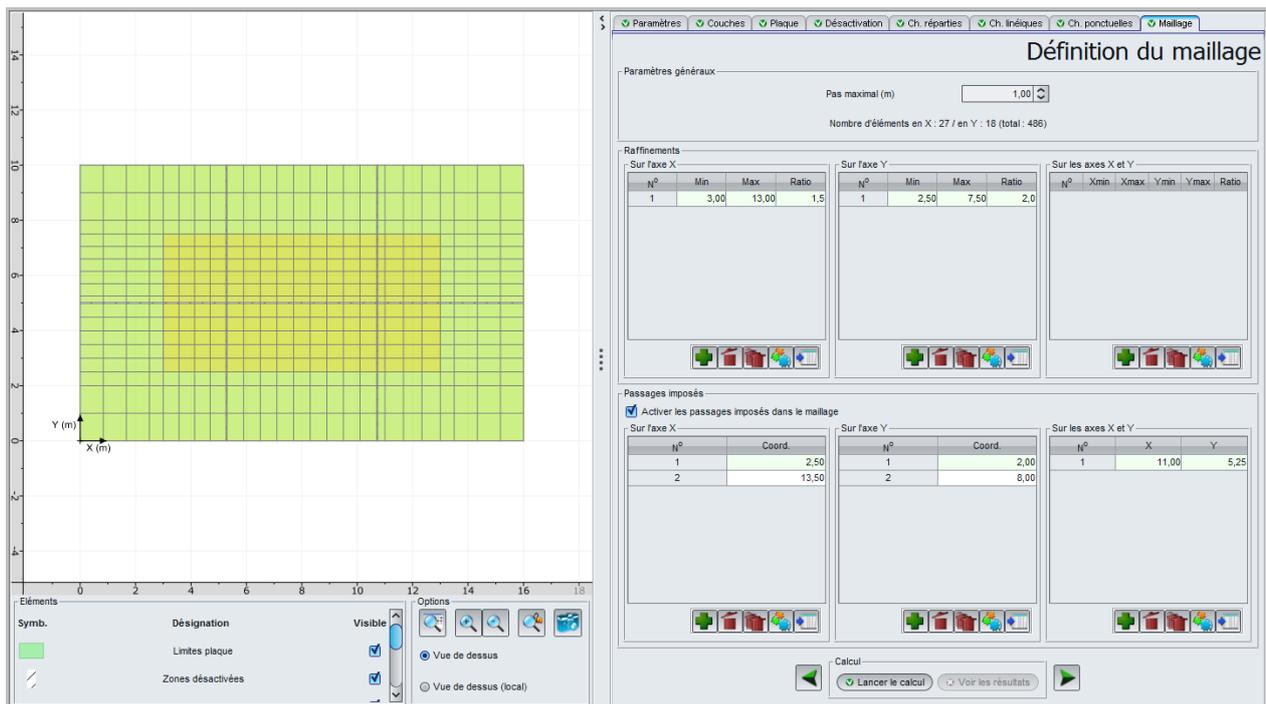


Figure I.59 : Onglet "Maillage"

#### I.3.10.1. Cadre "Paramètres généraux"

- Pas maximal = 1 par défaut (en mètres)

Tasplaq affiche automatiquement le nombre d'éléments en X et en Y, et calcule le total.

À l'issue de la saisie de ce paramètre, Tasplaq calcule le maillage automatiquement en prenant en compte tout ce qui a été défini dans le projet (zones de plaque, désactivations, charges, etc...).

Si l'utilisateur souhaite davantage de précision, il est possible de raffiner le maillage calculé automatiquement.

### I.3.10.2. Cadre "Raffinements"

Tasplaq propose trois possibilités pour raffiner le maillage :

- sur l'axe X ;
- sur l'axe Y ;
- sur les axes X et Y simultanément.

Les données à renseigner "Sur l'axe X" et "Sur l'axe Y" sont les suivantes :

Désignation	Unité	Valeur par défaut	Condition d'affichage	Valeur obligatoire	Contrôles locaux
<b>Min</b> : coordonnée minimale à laquelle le raffinement s'applique	m	0	Toujours	Oui	$\geq 0$
<b>Max</b> : coordonnée maximale à laquelle le raffinement s'applique	m	0	Toujours	Oui	$\geq 0$
<b>Ratio*</b>	-	0	Toujours	Oui	$> 0$

Tableau I.29 : Paramètres pour le raffinement du maillage "Sur l'axe X" et "Sur l'axe Y"

Les données à saisir "Sur les axes X et Y" sont les suivantes :

Désignation	Unité	Valeur par défaut	Condition d'affichage	Valeur obligatoire	Contrôles locaux
<b>Xmin</b> : abscisse minimale à laquelle le raffinement s'applique	m	0	Toujours	Oui	$\geq 0$
<b>Xmax</b> : abscisse maximale à laquelle le raffinement s'applique	m	0	Toujours	Oui	$\geq 0$
<b>Ymin</b> : ordonnée minimale à laquelle le raffinement s'applique	m	0	Toujours	Oui	$\geq 0$
<b>Ymax</b> : ordonnée maximale à laquelle le raffinement s'applique	m	0	Toujours	Oui	$\geq 0$
<b>Ratio*</b>	-	-	Toujours	Oui	$> 0$

Tableau I.30 : Paramètres pour le raffinement du maillage "sur les axes X et Y"

(\*) Le ratio sert à déterminer le pas maximal appliqué localement dans la zone raffinée. Ce pas maximal local est égal au pas maximal général divisé par le ratio. Il est important de noter que les ratios se multiplient si plusieurs zones raffinées se superposent.

### I.3.10.3. Cadre "Passages imposés"

Pour encore plus de précision dans le maillage, Tasplaq permet de forcer le maillage à passer par des endroits imposés. Pour ceci, cocher la case "Activer les passages imposés dans le maillage".

Ceux-ci peuvent être activés

- sur l'axe X ;
- sur l'axe Y ;
- sur les axes X et Y simultanément.

Les données à renseigner "Sur l'axe X" et "Sur l'axe Y" sont les suivantes :

Désignation	Unité	Valeur par défaut	Condition d'affichage	Valeur obligatoire	Contrôles locaux
Coordonnée : à imposer	m	-	Toujours	Oui	$\geq 0$

Tableau I.31 : Paramètres pour le passage imposé sur "Sur l'axe X" et "Sur l'axe Y"

Les données à saisir "Sur les axes X et Y" sont les suivantes :

Désignation	Unité	Valeur par défaut	Condition d'affichage	Valeur obligatoire	Contrôles locaux
X : abscisse à imposer	m	-	Toujours	Oui	$\geq 0$
Y : ordonnée à imposer	m	-	Toujours	Oui	$\geq 0$

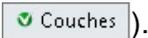
Tableau I.32 : Paramètres pour le passage imposé "Sur les axes X et Y"

La coordonnée à imposer peut se situer en-dehors du cadre de travail. Tasplaq étendra le maillage automatique en conséquence afin d'englober cette coordonnée imposée.

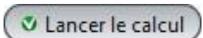
### I.3.11. Calcul et résultats

#### I.3.11.1. Calcul

Le calcul peut se lancer depuis n'importe quel onglet à partir du moment où les onglets sont correctement renseignés, c'est-à-dire lorsqu'ils sont tous marqués d'une croix verte (par exemple :



Ceux-ci sont marqués d'une croix rouge (par exemple : ) tant qu'ils ne sont pas complétés correctement (données manquantes ou non conformes aux valeurs attendues).

Pour lancer le calcul, cliquer sur le bouton .

Aucune limite numérique sur la taille du modèle n'est considérée dans le programme. Cependant, on peut être limité par la taille maximale de mémoire pouvant être alloué au programme sous Microsoft Windows® : on estime cette limite à 4000 éléments activés.

Le processus général de calcul est mené selon les étapes suivantes :

1. Lecture des données – Ouverture des fichiers ;
2. Initialisation des variables ;
3. Construction du maillage ;
4. Assemblage du vecteur chargement extérieur ;
5. Assemblage de la matrice de rigidité de la plaque ;
6. Calcul de la matrice de souplesse du sol (si massif multicouche il y a) ;
7. Constitution du système d'équations global ;
8. Résolution matricielle ;
9. Calcul des déplacements et des efforts dans la plaque ;
10. Calcul des tassements et des réactions en tout point (si massif multicouche élastique il y a) ;
11. Contrôle du décollement/plastification en surface (si positif retour à l'étape 4) ;
12. Génération des fichiers de sortie (résultats, graphiques) ;
13. Fin du programme.

L'utilisateur est informé du déroulement et de l'avancement des différentes étapes du calcul dans la fenêtre suivante :

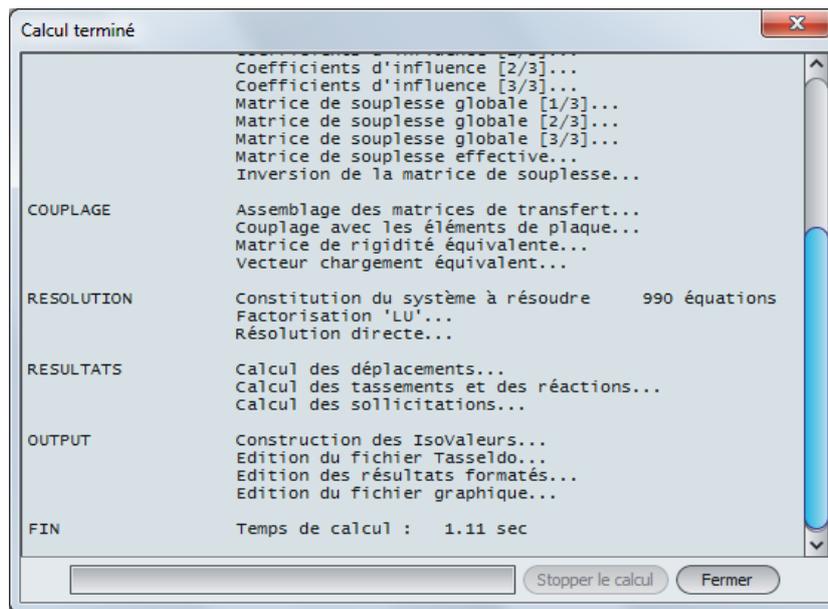


Figure I.60 : Fenêtre de calcul en cours/terminé

Pour afficher les résultats du calcul, cliquer sur le bouton **Fermer** puis **Voir les résultats**.

### I.3.11.2. Résultats disponibles pour les projets 3D

La fenêtre ci-dessous permet de choisir le type de résultats à afficher. En effet, différents types de résultats sont accessibles en 3D :

- résultats numériques : résultats formatés et tableau de résultats ;
- résultats graphiques : coupes graphiques, nuage de points (en 3D seulement), graphiques 3D (en 3D seulement) ;
- assistants externes : déshomogénéisation (en 3D seulement), exportation vers Tasseldo.



Figure I.61 : Fenêtre des résultats – Projet 3D

### I.3.11.2.1. Résultats numériques : résultat formatés

Les résultats numériques formatés contiennent :

- Un rappel des données : paramètres généraux, données de sol, géométrie et décomposition de la plaque, caractéristiques de la plaque, points de calcul, charges appliquées (et leur décomposition).
- Les résultats :
  - Les déplacements et rotations aux nœuds activés (coordonnées **locales**) : pour chaque nœud (x, y), Tasplaq indique :
    - le déplacement  $w$  (m), positif vers le bas ;
    - les rotations  $\theta_x$  et  $\theta_y$  (°).

Sous ce tableau, il est précisé les valeurs maximales et minimales  $w_{\max}$  et le  $w_{\min}$  (m), et les coordonnées des nœuds auxquels elles sont obtenues.

- La réaction du sol et le tassement sous les nœuds (coordonnées **globales**) : pour chaque nœud, Tasplaq indique :
  - ses coordonnées dans le repère global ;
  - son statut (plastifié ou décollé) ;
  - la pression (kPa) : réaction du sol sous la plaque ;
  - le tassement (m) : positif vers le bas ;
  - la flèche (m) : positive vers le bas.

En bas de ce tableau, il est précisé :

- les valeurs maximales et minimales  $w_{\max}$  et  $w_{\min}$  (m) avec les coordonnées des nœuds auxquels elles sont obtenues ;,
- les valeurs maximales et minimales du tassement (m) avec les coordonnées des nœuds auxquels elles sont obtenues ;
- les valeurs maximales et minimales de la pression (kPa) avec les coordonnées des nœuds auxquels elles sont obtenues ;
- la charge totale transmise au sol (kN).

```

PROGRAMME TASPLAQ v2.4.8 (c) TERRASOL 2011
File : E:\Users\mto\Documents\Foxtav3\Manuel\Tasplaq\MTO\TEST - DALLAGE CONTINU COUCHE ELASTIQUE\test - dallage continu couche elastique[TQ].resu
calcul réalisé le : 11/09/2012 à 18h27
par : Terrasol
Impression détaillée : Oui

Itération : 01

OPTIONS DU CALCUL
Chargement des coeff. d'influence : Non
Sauvegarde des coeff. d'influence : Non
Calcul automatique : Non
Plans de symétrie : Pas de symétries
Seuil de décollement : 0.000
Seuil de compression : 5000.000
contrainte initiale 0.000

CARACTERISTIQUES DES COUCHEs
couche base module coef. Poisson
01 -10.000 0.100E+05 0.350
02 -35.000 0.400E+05 0.350

MODELISATION DES CHARES SUR LE SOL
Charge XR YR ZR DLX DLY teta qr
001 0.00 0.00 0.00 1.00 1.00 0.00 0.00

GEOMETRIE DE LA PLAQUE
Cadre du travail
XP YP LX LY ZP teta
0.00 0.00 16.00 10.00 0.00 0.00
    
```

\*\*\*\*\*  
 \*\*\*\*\*SOLUTION\*\*\*\*\*  
 \*\*\*\*\*

DEPLACEMENT(W) ET ROTATIONS AUX NOEUDS ACTIVÉS (COORDONNEES LOCALES)

X	Y	W	ThetaX	ThetaY
0.000	0.000	0.192163E-02	-0.165122E-02	-0.149313E-02
1.000	0.000	0.351561E-02	-0.150458E-02	-0.172876E-02
2.000	0.000	0.492604E-02	-0.132263E-02	-0.212766E-02
3.000	0.000	0.615943E-02	-0.114545E-02	-0.261104E-02
3.667	0.000	0.687849E-02	-0.101034E-02	-0.293907E-02
4.333	0.000	0.750271E-02	-0.880530E-03	-0.324526E-02
5.000	0.000	0.802304E-02	-0.699609E-03	-0.351204E-02
5.667	0.000	0.843465E-02	-0.535515E-03	-0.372950E-02
6.333	0.000	0.873782E-02	-0.375016E-03	-0.389328E-02
7.000	0.000	0.893615E-02	-0.221120E-03	-0.400222E-02
7.667	0.000	0.903394E-02	-0.729660E-04	-0.405651E-02
8.333	0.000	0.903394E-02	0.729660E-04	-0.405651E-02
9.000	0.000	0.893615E-02	0.221120E-03	-0.400222E-02
9.667	0.000	0.873782E-02	0.375016E-03	-0.389328E-02
10.333	0.000	0.843465E-02	0.535515E-03	-0.372950E-02
11.000	0.000	0.802304E-02	0.699609E-03	-0.351204E-02
11.667	0.000	0.750271E-02	0.880530E-03	-0.324526E-02
12.333	0.000	0.687849E-02	0.101034E-02	-0.293907E-02
13.000	0.000	0.615943E-02	0.114545E-02	-0.261104E-02
14.000	0.000	0.492604E-02	0.132263E-02	-0.212766E-02
15.000	0.000	0.351561E-02	0.150458E-02	-0.172876E-02
16.000	0.000	0.192163E-02	0.165122E-02	-0.149313E-02
0.000	0.833	0.312221E-02	-0.183182E-02	-0.135671E-02
1.000	0.833	0.494116E-02	-0.179235E-02	-0.166919E-02
2.000	0.833	0.669523E-02	-0.170924E-02	-0.210241E-02
3.000	0.833	0.834325E-02	-0.157157E-02	-0.262468E-02
3.667	0.833	0.934387E-02	-0.142179E-02	-0.297947E-02
4.333	0.833	0.102295E-01	-0.122850E-02	-0.330563E-02
5.000	0.833	0.109758E-01	-0.100713E-02	-0.358391E-02
5.667	0.833	0.115701E-01	-0.775181E-03	-0.380598E-02
6.333	0.833	0.120099E-01	0.545114E-03	-0.397028E-02
7.000	0.833	0.122986E-01	0.322390E-03	-0.407817E-02
7.667	0.833	0.124413E-01	-0.106558E-03	-0.413151E-02
8.333	0.833	0.124413E-01	0.106558E-03	-0.413151E-02
9.000	0.833	0.122986E-01	0.322390E-03	-0.407817E-02
9.667	0.833	0.120099E-01	0.545114E-03	-0.397028E-02
10.333	0.833	0.115701E-01	0.775181E-03	-0.380598E-02
11.000	0.833	0.109758E-01	0.100713E-02	-0.358391E-02
11.667	0.833	0.102295E-01	0.122850E-02	-0.330563E-02
12.333	0.833	0.934387E-02	0.142179E-02	-0.297947E-02
13.000	0.833	0.834325E-02	0.157157E-02	-0.262468E-02
14.000	0.833	0.669523E-02	0.170924E-02	-0.210241E-02
15.000	0.833	0.494116E-02	0.179235E-02	-0.166919E-02
16.000	0.833	0.312221E-02	0.183182E-02	-0.135671E-02
0.000	1.667	0.416163E-02	-0.208959E-02	-0.113364E-02
1.000	1.667	0.626804E-02	-0.212178E-02	-0.149904E-02
2.000	1.667	0.840275E-02	-0.214018E-02	-0.197642E-02
3.000	1.667	0.118313E-01	-0.205401E-02	-0.256877E-02
3.667	1.667	0.118313E-01	-0.187875E-02	-0.297258E-02
5.667	10.000	0.843465E-02	-0.535515E-03	0.372950E-02
6.333	10.000	0.873782E-02	-0.375016E-03	0.389328E-02
7.000	10.000	0.893615E-02	-0.221120E-03	0.400222E-02
7.667	10.000	0.903394E-02	-0.729660E-04	0.405651E-02
8.333	10.000	0.903394E-02	0.729660E-04	0.405651E-02
9.000	10.000	0.893615E-02	0.221120E-03	0.400222E-02
9.667	10.000	0.873782E-02	0.375016E-03	0.389328E-02
10.333	10.000	0.843465E-02	0.535515E-03	0.372950E-02
11.000	10.000	0.802304E-02	0.699609E-03	0.351204E-02
11.667	10.000	0.750271E-02	0.880530E-03	0.324526E-02
12.333	10.000	0.687849E-02	0.101034E-02	0.293907E-02
13.000	10.000	0.615943E-02	0.114545E-02	0.261104E-02
14.000	10.000	0.492604E-02	0.132263E-02	0.212766E-02
15.000	10.000	0.351561E-02	0.150458E-02	0.172876E-02
16.000	10.000	0.192163E-02	0.165122E-02	0.149313E-02
Wmax	7.667	5.000	0.246851E-01	
Wmin	0.000	0.000	0.192163E-02	

Figure I.62 : Résultats numériques formatés – Projet 3D

- Les moments fléchissants et les moments de torsion (coordonnées **locales**) : pour chaque point  $X_m$  et  $Y_m$ , Tasplaq indique :
  - le moment fléchissant  $M_x$  (kN.m/ml) ;
  - le moment fléchissant  $M_y$  (kN.m/ml) ;
  - le moment de torsion  $M_{xy}$  (kN.m/ml).

En bas de ce tableau, il est précisé les valeurs maximales et minimales de chaque moment, avec les coordonnées des points auxquels elles ont été obtenues.

- Les efforts tranchants (coordonnées **locales**) : pour chaque point  $X_t$  et  $Y_t$ , Tasplaq indique :
  - l'effort tranchant  $T_x$  selon x (kN/ml)
  - l'effort tranchant  $T_y$  selon y (kN/ml).

En bas de ce tableau, il est précisé les valeurs maximales et minimales de chaque effort tranchant, avec les coordonnées des points auxquels elles ont été obtenues.

- Les réactions des appuis surfaciques (coordonnées **locales**) : pour chaque point  $X_t$  et  $Y_t$ , Tasplaq indique :
  - la réaction surfacique  $r_z$  (kPa).

En bas de ce tableau, il est précisé la résultante (kN) des réactions surfaciques mobilisées au droit de chacune des zones rectangulaires (groupes d'éléments) définies par l'utilisateur.

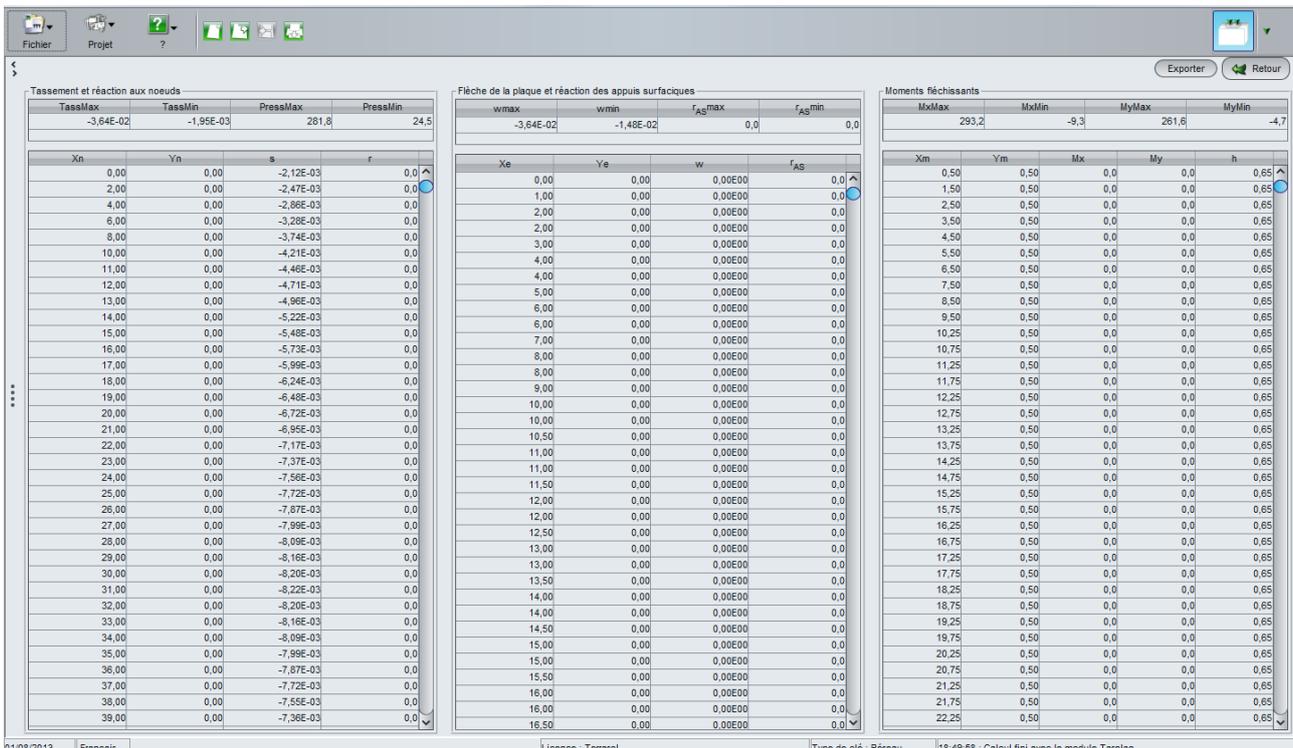
- Les réactions des appuis ponctuels : il est précisé la résultante (kN) des réactions linéiques mobilisées au droit de chacune des zones linéiques (groupes d'éléments) définies par l'utilisateur.

Réaction dans les appuis surfaciques				
Elément	Xt	Yt	Réaction	Statut
0001	0.150	0.200	0.000	****
0002	0.450	0.200	0.000	****
0003	0.750	0.200	0.000	****
0004	1.050	0.200	0.000	****
0005	1.350	0.200	0.000	****
0006	1.650	0.200	0.000	****
0007	1.950	0.200	0.000	****
0008	2.250	0.200	0.000	****
0009	2.550	0.200	0.000	****
0010	2.850	0.200	0.000	****
0021	4.650	0.200	0.000	****
0022	4.950	0.200	0.000	****
0023	5.250	0.200	0.000	****
0024	5.550	0.200	0.000	****
0025	5.850	0.200	0.000	****
0026	6.150	0.200	0.000	****
0027	6.450	0.200	0.000	****
0028	6.750	0.200	0.000	****
0029	7.050	0.200	0.000	****
0030	7.350	0.200	0.000	****

Figure I.63 : Résultats numériques formatés : Réaction dans les appuis surfaciques

### I.3.11.2.2. Résultats numériques : tableaux de résultats

Il s'agit globalement des mêmes résultats que ceux détaillés pour les résultats formatés au chapitre précédent mais présentés cette fois sous la forme de tableaux, et sans la partie de rappel des données. Certains résultats ne sont toutefois pas affichés dans ces tableaux (comme les rotations et les efforts tranchants par exemple).



The screenshot displays three data tables from the software interface:

- Tassement et réaction aux nœuds:** A table with columns for TassMax, TassMin, PressMax, and PressMin. It lists values for various nodes (Xn, Yn, s, r).
- Flèche de la plaque et réaction des appuis surfaciques:** A table with columns for wmax, wmin, r<sub>AS</sub>max, and r<sub>AS</sub>min. It lists values for various nodes (Xe, Ye, w, r<sub>AS</sub>).
- Moments fléchissants:** A table with columns for MxMax, MxMin, MyMax, and MyMin. It lists values for various nodes (Xm, Ym, Mx, My, h).

Figure I.64 : Résultats numériques : Tableau de résultats

- Le premier tableau (à gauche) contient les "tassements et réactions aux nœuds" au droit des points de calcul en fonction de  $X_n$  et  $Y_n$  (m).  
La première ligne indique les valeurs extrêmes des tassements et de la réaction aux nœuds.

Désignation	Unité	Condition d'affichage
<b>TassMax</b> : valeur maximum du tassement (négatif vers le bas)	m	Toujours
<b>TassMin</b> : valeur minimum du tassement (négatif vers le bas)	m	Toujours
<b>Press<sub>max</sub></b> : valeur maximum de la réaction aux nœuds	kPa	Toujours
<b>Press<sub>min</sub></b> : valeur minimum de la réaction aux nœuds	kPa	Toujours
<b>X<sub>n</sub></b> : abscisse du point de calcul	m	Toujours
<b>Y<sub>n</sub></b> : ordonnée du point de calcul	m	Toujours
<b>s</b> : tassement du sol (négatif vers le bas)	m	Toujours
<b>r</b> : réaction au nœud	kPa	Toujours

Tableau I.33 : Détail des résultats numériques (tassement et réaction aux nœuds)

- Le deuxième tableau (au milieu) contient la flèche de la plaque et les réactions des appuis surfaciques en fonction de  $X_e$  et  $Y_e$  (m).  
La première ligne indique les valeurs extrêmes de la flèche de la plaque.

Désignation	Unité	Condition d'affichage
<b>w<sub>max</sub></b> : valeur maximum de la flèche (négative vers le bas)	m	Toujours
<b>w<sub>min</sub></b> : valeur minimum de la flèche (négative vers le bas)	m	Toujours
<b>r<sub>ASmax</sub></b> : valeur maximum de la réaction des appuis surfaciques	kPa	Toujours
<b>r<sub>ASmin</sub></b> : valeur minimum de la réaction des appuis surfaciques	kPa	Toujours
<b>X<sub>e</sub></b> : abscisse du point de calcul	m	Toujours
<b>Y<sub>e</sub></b> : ordonnée du point de calcul	m	Toujours
<b>w</b> : flèche de la plaque (négative vers le bas)	m	Toujours
<b>r<sub>AS</sub></b> : réaction des appuis surfaciques	kPa	Toujours

Tableau I.34 : Détail des résultats numériques (flèche de la plaque)

- Le troisième tableau (à droite) contient les moments fléchissants au droit des points de calcul en fonction de  $X_m$  et  $Y_m$  (m).  
La première ligne indique les valeurs extrêmes de la flèche de la plaque.

Désignation	Unité	Condition d'affichage
$M_{xmax}$ : moment fléchissant maximal suivant x	kN.m/ml	Toujours
$M_{xmin}$ : moment fléchissant minimal suivant x	kN.m/ml	Toujours
$M_{ymax}$ : moment fléchissant maximal suivant y	kN.m/ml	Toujours
$M_{ymin}$ : moment fléchissant minimal suivant y	kN.m/ml	Toujours
$X_m$ : abscisse du point de calcul	m	Toujours
$Y_m$ : ordonnée du point de calcul	m	Toujours
$M_x$ : moment en x	kN.m/ml	Toujours
$M_y$ : moment en y	kN.m/ml	Toujours
$h$ : épaisseur de la plaque au point de calcul	m	Toujours

Tableau I.35 : Détail des résultats numériques (moment fléchissant)

### I.3.11.2.3. Résultats graphiques : coupes graphiques

Les coupes graphiques permettent de présenter des coupes dans la plaque avec affichage de l'une des 6 grandeurs suivantes au choix : flèche de la plaque, tassements du sol (massif multicouche), moments  $M_x$  et  $M_y$ , réaction du sol, ou réaction des appuis surfaciques.

- Sélectionner dans les listes déroulantes la grandeur à présenter, la direction de la coupe (suivant X ou suivant Y), et sa position. Le tracé de la courbe se met automatiquement à jour. Une dernière liste déroulante permet de sélectionner une 2<sup>ème</sup> coupe (même grandeur, même direction de coupe, mais position différente), ce qui permet de comparer facilement les coupes obtenues en 2 positions différentes.
- Pour afficher les valeurs maximales et minimales obtenues pour les 6 grandeurs pour l'ensemble du modèle (indépendamment des coupes sélectionnées), cliquer sur le bouton **Voir** dans le cadre "Valeurs extrêmes globales" (le bouton **Masquer** permet ensuite de les cacher le cas échéant).
- Pour afficher le détail de chaque point de calcul pour les 2 coupes sélectionnées, cliquer sur le bouton **Voir** dans le cadre "Détail des coupes" (le bouton **Masquer** permet ensuite de les cacher le cas échéant).

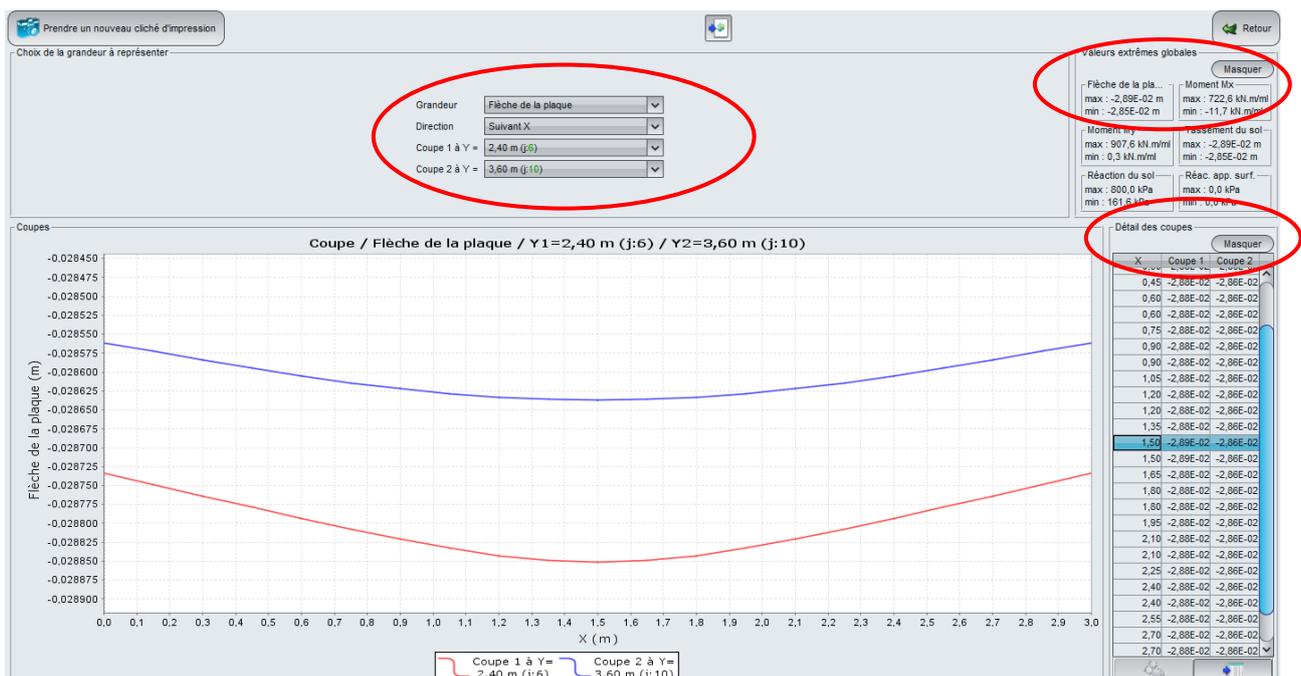


Figure I.65 : Coupe graphique – Projet 3D – Flèche de la plaque – Exemple de coupe suivant x

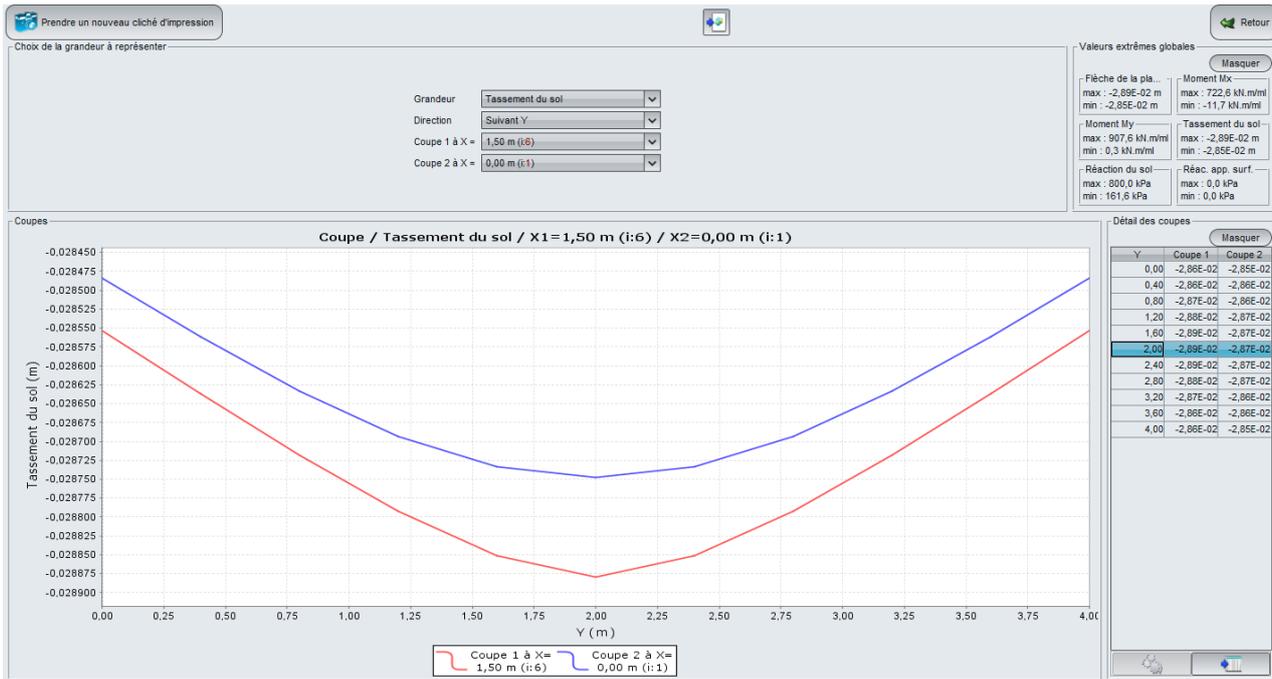


Figure I.66 : Coupe graphique – Projet 3D – Tassement du sol – Exemple de coupe suivant y

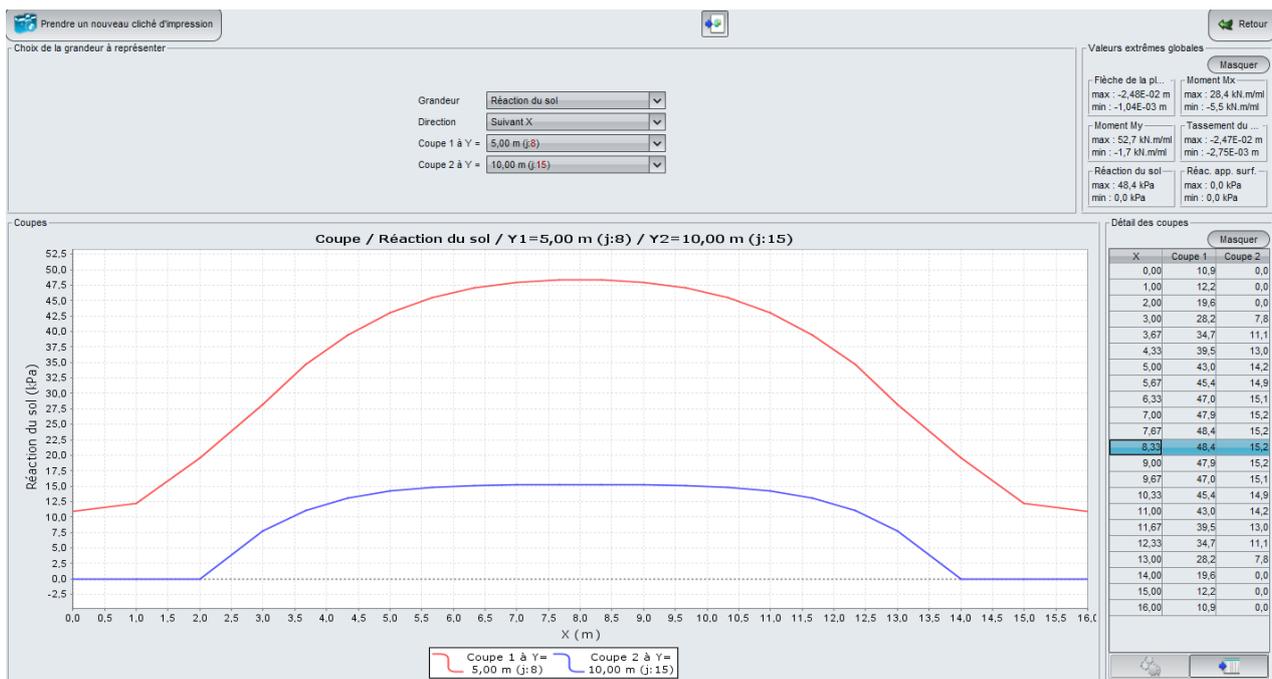


Figure I.67 : Coupe graphique – Projet 3D – Réaction du sol – Exemple de coupe suivant x

### I.3.11.2.4. Résultat graphique : nuage de points

Cette option permet d'afficher différents types de résultats sous forme de nuages de points. Les grandeurs disponibles sont les mêmes que pour les coupes : flèche de la plaque, tassements du sol, moments  $M_x$  et  $M_y$ , réaction du sol, ou réaction des appuis surfaciques.

L'intérêt de cette fenêtre est d'aider l'utilisateur à visualiser la distribution d'une grandeur donnée, ce qui permet notamment de choisir les coupes les plus pertinentes.

La légende (à droite du nuage de points) détaille les différentes plages de valeurs correspondant à chaque couleur.

Cliquer sur le bouton **Modifier le dégradé...** pour modifier les bornes du dégradé :

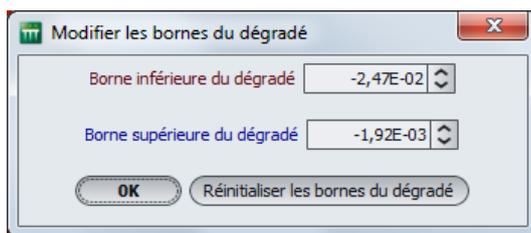


Figure I.68 : Nuage de points : Modifier les bornes du dégradé



Figure I.69 : Nuage de points – Projet 3D – Moment  $M_x$

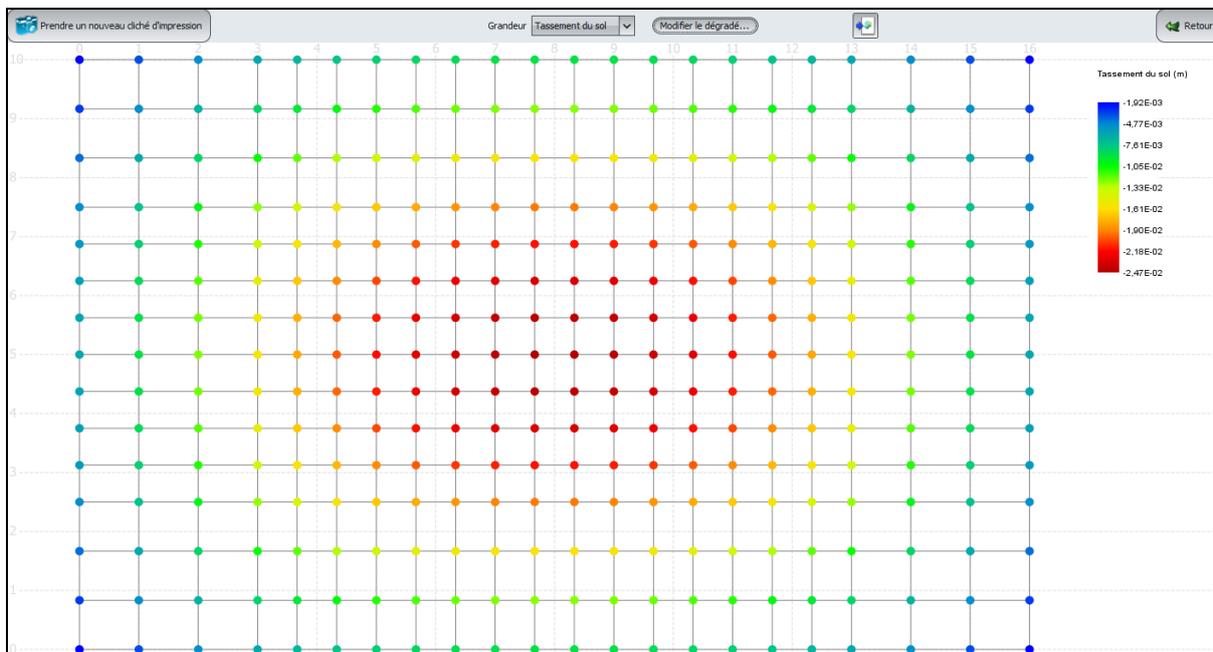


Figure I.70 : Nuage de points – Projet 3D – Tassement du sol

### I.3.11.2.5. Résultats graphiques : graphiques 3D

Cette option permet d'afficher différents types de résultats sous forme de surface tridimensionnelle. Les grandeurs disponibles sont les mêmes que pour les coupes et les nuages de points : flèche de la plaque, tassements du sol, moments  $M_x$  et  $M_y$ , réaction du sol, ou réaction des appuis surfaciques.

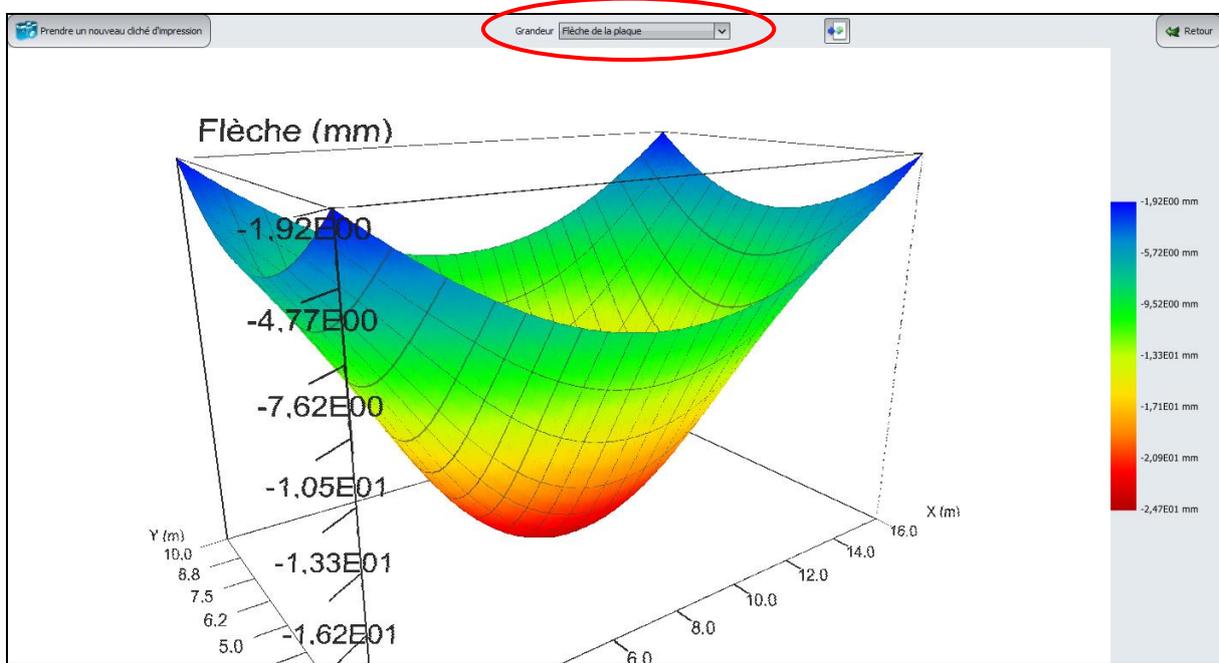


Figure I.71 : Graphique 3D – Flèche de la plaque

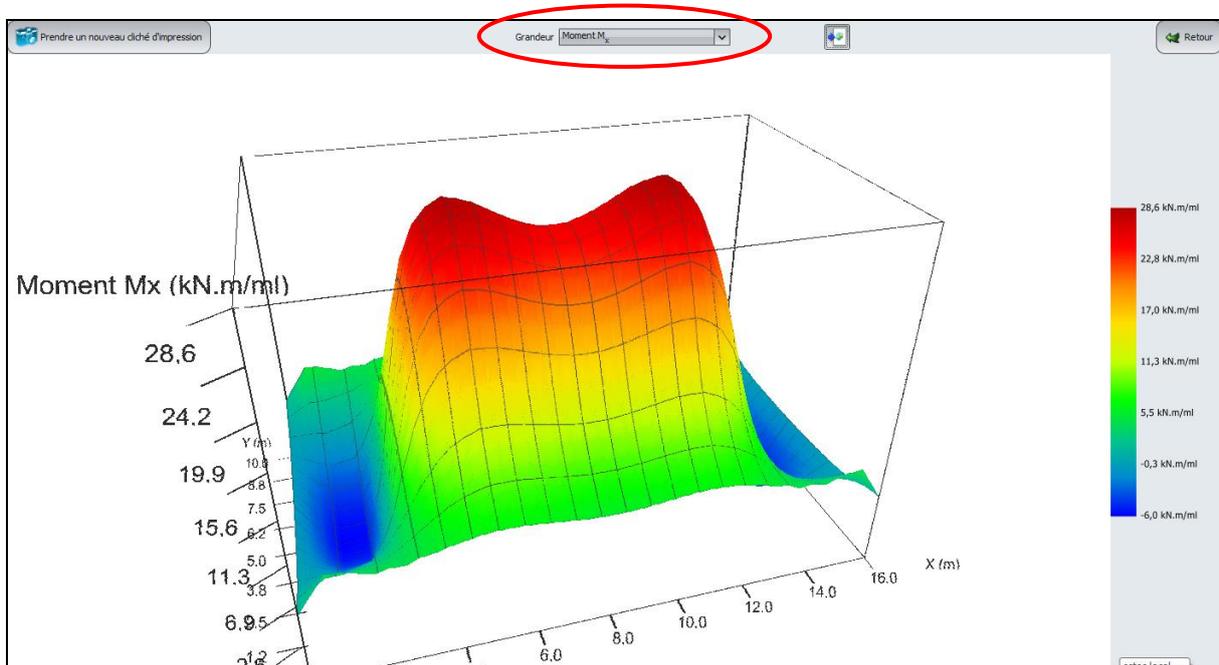


Figure I.72 : Graphique 3D – Moment  $M_x$

### I.3.11.2.6. Déshomogénéisation

Cliquer sur le bouton  pour lancer l'assistant "Déshomogénéisation".

Dans le cas où l'utilisateur a fait appel dans l'étape de définition des propriétés de la plaque à l'assistant "Section mixte" (cf chapitre I.3.4.3), l'assistant "Déshomogénéisation" permet de retrouver des efforts déshomogénéisés.

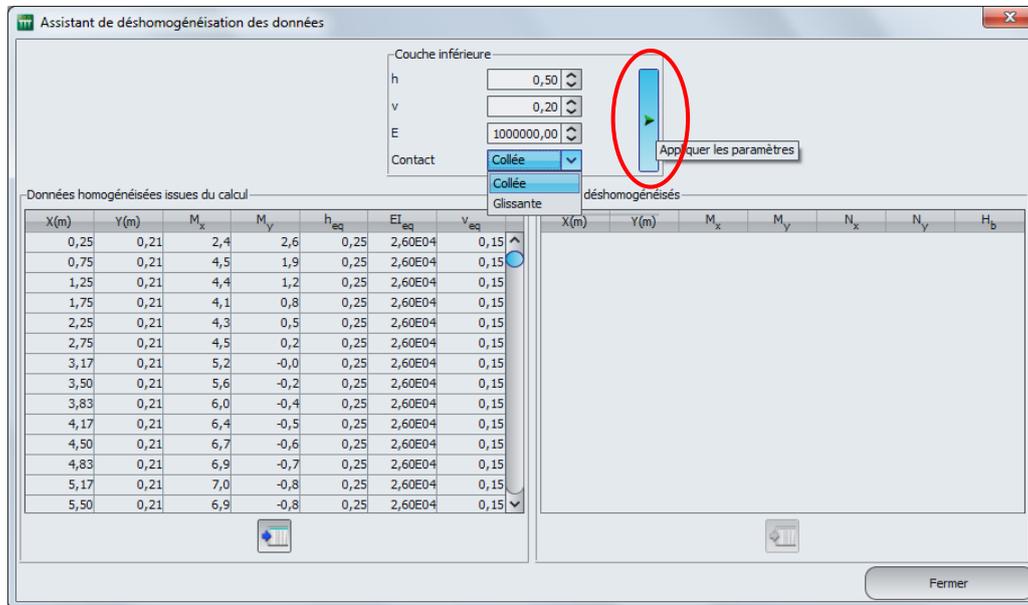


Figure I.73 : Assistant de déshomogénéisation des données

La fenêtre qui s'affiche comporte trois cadres différents :

#### Cadre "Couche inférieure" :

Les données proposées ici correspondent à celles saisies par l'utilisateur dans l'assistant "Section Mixte". Il est possible de les modifier.

Désignation	Unité	Valeur par défaut	Condition d'affichage	Valeur obligatoire	Contrôles locaux
<b>h</b> : épaisseur	m	Issues de l'assistant "Section Mixte"	Toujours	Oui	$> 0$
<b>v</b> : coefficient de Poisson	-		Toujours	Oui	$0 \leq v < 0,5$
<b>E</b> : module d'Young	kPa		Toujours	Oui	$> 0$
<b>Contact</b>	-		Toujours	Oui	Choix possibles : • Collée • Glissante

Tableau I.36 : Assistant de déshomogénéisation : cadre "Couche inférieure"

#### Cadre "Données homogénéisées issues du calcul" :

Tasplaq reprend ici les résultats issus du calcul. Ils ne sont pas modifiables :

- **X** : abscisse du point (m) ;
- **Y** : ordonnée du point (m) ;
- **M<sub>x</sub>** : moment autour de l'axe -Oy (kN.m/ml) ;
- **M<sub>y</sub>** : moment autour de l'axe Ox (kN.m/ml) ;
- **h<sub>eq</sub>** : hauteur équivalente de la plaque homogénéisée (m) ;

- $EI_{eq}$  : produit d'inertie équivalent de la plaque homogénéisée (kN.m<sup>2</sup>/ml) ;
- $\nu_{eq}$  : coefficient de Poisson équivalent de la plaque homogénéisée.

Cliquer sur le bouton  "Appliquer les paramètres" afin de calculer les "Efforts déshomogénéisés" :

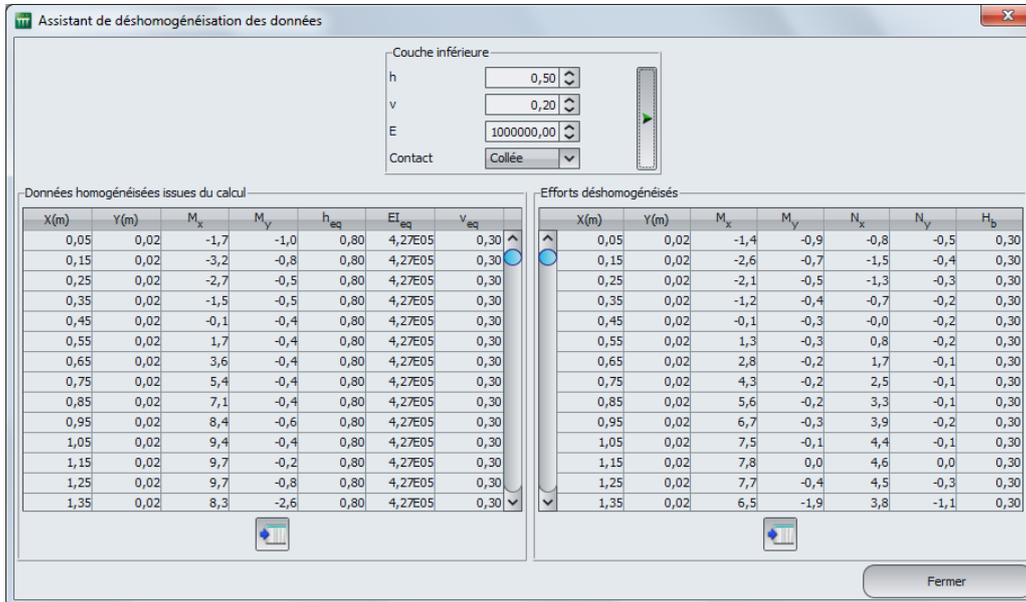


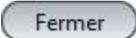
Figure I.74 : Assistant de déshomogénéisation des données : résultats

**Cadre "Efforts déshomogénéisés" :**

Tasplaq affiche les valeurs déshomogénéisées calculées, non modifiables : moments de flexion et efforts normaux dans la couche supérieure.

- **X** : abscisse du point (m) ;
- **Y** : ordonnée du point (m) ;
- **M<sub>x</sub>** : moment autour de l'axe -(Oy) (kN.m/ml) ;
- **M<sub>y</sub>** : moment autour de l'axe (Ox) (kN.m/ml) ;
- **N<sub>x</sub>** : effort normal suivant x (kN/ml) ;
- **N<sub>y</sub>** : effort normal suivant y (kN/ml) ;
- **H<sub>b</sub>** : épaisseur de la couche supérieure (m).

Ces données peuvent être exportées vers MS-Excel© pour analyse en cliquant sur le bouton . L'utilisation de cet assistant à l'export est détaillée dans la partie C du manuel.

Cliquer sur le bouton  pour fermer la fenêtre.

### I.3.11.3. Résultats disponibles pour les projets 2D



Figure I.75 : Fenêtre des résultats – Projet 2D

#### I.3.11.3.1. Résultats numériques : résultat formatés

PROGRAMME TASPLAQ 2D v2.4.8				(C) TERRASOL 2011																																																																																																																																	
File : E:\Users\mto\Documents\Foxtav3\Manuel\Tasplaq\MT0\DEFORMATIONS PLANES\Déformations planes[TQ].resu																																																																																																																																					
Déformations planes																																																																																																																																					
Calcul réalisé le : 10/09/2012 à 18h39																																																																																																																																					
par : Terrasol																																																																																																																																					
Itération : 11 OPTIONS DU CALCUL Chargement des coeff. d'influence : Non Calcul itératif automatique : Oui Sauvegarde des coeff. d'influence : Non Seuil de décollement : -1.000 Seuil de compression : 1000.000 contrainte initiale : 0.000 cote de référence : 0.00				***SOLUTION*** ***** DEPLACEMENT ET ROTATION AUX NOEUDS ACTIVÉS																																																																																																																																	
CARACTERISTIQUES DES COUCHES couche base module coef. Poisson 01 -5.000 0.150E+05 0.330 02 -15.000 0.800E+05 0.330 03 -50.000 0.120E+06 0.250				<table border="1"> <thead> <tr> <th>Noeud</th> <th>W</th> <th>Thetax</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>001</td><td>0.536944E-01</td><td>-0.797461E-02</td></tr> <tr><td>002</td><td>0.521003E-01</td><td>-0.796300E-02</td></tr> <tr><td>003</td><td>0.505104E-01</td><td>-0.793379E-02</td></tr> <tr><td>004</td><td>0.489277E-01</td><td>-0.789147E-02</td></tr> <tr><td>005</td><td>0.473545E-01</td><td>-0.783858E-02</td></tr> <tr><td>006</td><td>0.457928E-01</td><td>-0.777696E-02</td></tr> <tr><td>007</td><td>0.442442E-01</td><td>-0.770805E-02</td></tr> <tr><td>008</td><td>0.427100E-01</td><td>-0.763304E-02</td></tr> <tr><td>009</td><td>0.411913E-01</td><td>-0.755298E-02</td></tr> <tr><td>010</td><td>0.396891E-01</td><td>-0.746880E-02</td></tr> <tr><td>011</td><td>0.382040E-01</td><td>-0.738138E-02</td></tr> <tr><td>012</td><td>0.367367E-01</td><td>-0.729155E-02</td></tr> <tr><td>013</td><td>0.352875E-01</td><td>-0.720009E-02</td></tr> <tr><td>014</td><td>0.338567E-01</td><td>-0.710779E-02</td></tr> <tr><td>015</td><td>0.324444E-01</td><td>-0.701544E-02</td></tr> <tr><td>016</td><td>0.310505E-01</td><td>-0.692382E-02</td></tr> <tr><td>017</td><td>0.296748E-01</td><td>-0.683372E-02</td></tr> <tr><td>018</td><td>0.283169E-01</td><td>-0.674595E-02</td></tr> <tr><td>019</td><td>0.269762E-01</td><td>-0.666135E-02</td></tr> <tr><td>020</td><td>0.256521E-01</td><td>-0.658077E-02</td></tr> <tr><td>021</td><td>0.243436E-01</td><td>-0.650509E-02</td></tr> <tr><td>022</td><td>0.230496E-01</td><td>-0.643522E-02</td></tr> <tr><td>023</td><td>0.217690E-01</td><td>-0.637203E-02</td></tr> <tr><td>024</td><td>0.205003E-01</td><td>-0.631631E-02</td></tr> <tr><td>025</td><td>0.192419E-01</td><td>-0.626877E-02</td></tr> <tr><td>026</td><td>0.179922E-01</td><td>-0.623002E-02</td></tr> <tr><td>027</td><td>0.167496E-01</td><td>-0.619708E-02</td></tr> <tr><td>028</td><td>0.155132E-01</td><td>-0.616686E-02</td></tr> <tr><td>029</td><td>0.142826E-01</td><td>-0.613972E-02</td></tr> <tr><td>030</td><td>0.130571E-01</td><td>-0.611590E-02</td></tr> <tr><td>031</td><td>0.118360E-01</td><td>-0.609535E-02</td></tr> <tr><td>032</td><td>0.106187E-01</td><td>-0.607865E-02</td></tr> <tr><td>033</td><td>0.940433E-02</td><td>-0.606509E-02</td></tr> <tr><td>034</td><td>0.819242E-02</td><td>-0.605453E-02</td></tr> <tr><td>035</td><td>0.698235E-02</td><td>-0.604659E-02</td></tr> <tr><td>036</td><td>0.577363E-02</td><td>-0.604090E-02</td></tr> <tr><td>037</td><td>0.456586E-02</td><td>-0.603709E-02</td></tr> <tr><td>038</td><td>0.335870E-02</td><td>-0.603478E-02</td></tr> <tr><td>039</td><td>0.215187E-02</td><td>-0.603359E-02</td></tr> <tr><td>040</td><td>0.945210E-03</td><td>-0.603315E-02</td></tr> <tr><td>041</td><td>-0.261411E-03</td><td>-0.603309E-02</td></tr> </tbody> </table>				Noeud	W	Thetax	001	0.536944E-01	-0.797461E-02	002	0.521003E-01	-0.796300E-02	003	0.505104E-01	-0.793379E-02	004	0.489277E-01	-0.789147E-02	005	0.473545E-01	-0.783858E-02	006	0.457928E-01	-0.777696E-02	007	0.442442E-01	-0.770805E-02	008	0.427100E-01	-0.763304E-02	009	0.411913E-01	-0.755298E-02	010	0.396891E-01	-0.746880E-02	011	0.382040E-01	-0.738138E-02	012	0.367367E-01	-0.729155E-02	013	0.352875E-01	-0.720009E-02	014	0.338567E-01	-0.710779E-02	015	0.324444E-01	-0.701544E-02	016	0.310505E-01	-0.692382E-02	017	0.296748E-01	-0.683372E-02	018	0.283169E-01	-0.674595E-02	019	0.269762E-01	-0.666135E-02	020	0.256521E-01	-0.658077E-02	021	0.243436E-01	-0.650509E-02	022	0.230496E-01	-0.643522E-02	023	0.217690E-01	-0.637203E-02	024	0.205003E-01	-0.631631E-02	025	0.192419E-01	-0.626877E-02	026	0.179922E-01	-0.623002E-02	027	0.167496E-01	-0.619708E-02	028	0.155132E-01	-0.616686E-02	029	0.142826E-01	-0.613972E-02	030	0.130571E-01	-0.611590E-02	031	0.118360E-01	-0.609535E-02	032	0.106187E-01	-0.607865E-02	033	0.940433E-02	-0.606509E-02	034	0.819242E-02	-0.605453E-02	035	0.698235E-02	-0.604659E-02	036	0.577363E-02	-0.604090E-02	037	0.456586E-02	-0.603709E-02	038	0.335870E-02	-0.603478E-02	039	0.215187E-02	-0.603359E-02	040	0.945210E-03	-0.603315E-02	041	-0.261411E-03	-0.603309E-02
Noeud	W	Thetax																																																																																																																																			
001	0.536944E-01	-0.797461E-02																																																																																																																																			
002	0.521003E-01	-0.796300E-02																																																																																																																																			
003	0.505104E-01	-0.793379E-02																																																																																																																																			
004	0.489277E-01	-0.789147E-02																																																																																																																																			
005	0.473545E-01	-0.783858E-02																																																																																																																																			
006	0.457928E-01	-0.777696E-02																																																																																																																																			
007	0.442442E-01	-0.770805E-02																																																																																																																																			
008	0.427100E-01	-0.763304E-02																																																																																																																																			
009	0.411913E-01	-0.755298E-02																																																																																																																																			
010	0.396891E-01	-0.746880E-02																																																																																																																																			
011	0.382040E-01	-0.738138E-02																																																																																																																																			
012	0.367367E-01	-0.729155E-02																																																																																																																																			
013	0.352875E-01	-0.720009E-02																																																																																																																																			
014	0.338567E-01	-0.710779E-02																																																																																																																																			
015	0.324444E-01	-0.701544E-02																																																																																																																																			
016	0.310505E-01	-0.692382E-02																																																																																																																																			
017	0.296748E-01	-0.683372E-02																																																																																																																																			
018	0.283169E-01	-0.674595E-02																																																																																																																																			
019	0.269762E-01	-0.666135E-02																																																																																																																																			
020	0.256521E-01	-0.658077E-02																																																																																																																																			
021	0.243436E-01	-0.650509E-02																																																																																																																																			
022	0.230496E-01	-0.643522E-02																																																																																																																																			
023	0.217690E-01	-0.637203E-02																																																																																																																																			
024	0.205003E-01	-0.631631E-02																																																																																																																																			
025	0.192419E-01	-0.626877E-02																																																																																																																																			
026	0.179922E-01	-0.623002E-02																																																																																																																																			
027	0.167496E-01	-0.619708E-02																																																																																																																																			
028	0.155132E-01	-0.616686E-02																																																																																																																																			
029	0.142826E-01	-0.613972E-02																																																																																																																																			
030	0.130571E-01	-0.611590E-02																																																																																																																																			
031	0.118360E-01	-0.609535E-02																																																																																																																																			
032	0.106187E-01	-0.607865E-02																																																																																																																																			
033	0.940433E-02	-0.606509E-02																																																																																																																																			
034	0.819242E-02	-0.605453E-02																																																																																																																																			
035	0.698235E-02	-0.604659E-02																																																																																																																																			
036	0.577363E-02	-0.604090E-02																																																																																																																																			
037	0.456586E-02	-0.603709E-02																																																																																																																																			
038	0.335870E-02	-0.603478E-02																																																																																																																																			
039	0.215187E-02	-0.603359E-02																																																																																																																																			
040	0.945210E-03	-0.603315E-02																																																																																																																																			
041	-0.261411E-03	-0.603309E-02																																																																																																																																			
DECOMPOSITION DE LA PLAQUE Elément DLX EI 001 0.200 0.427E+06 002 0.200 0.427E+06 003 0.200 0.427E+06 004 0.200 0.427E+06 005 0.200 0.427E+06 006 0.200 0.427E+06 007 0.200 0.427E+06				Wmax= 0.536944E-01 en x= 0.000 Wmin= -0.261411E-03 en x= 8.000																																																																																																																																	
REACTION DU SOL ET TASSEMENT SOUS LES NOEUDS																																																																																																																																					
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Noeud</th> <th>statut</th> <th>Pression</th> <th>Tassement</th> <th>Flèche</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>001</td><td>Plastifié</td><td>1000.000</td><td>0.536944E-01</td><td>0.536944E-01</td></tr> <tr><td>002</td><td>***</td><td>445.258</td><td>0.521003E-01</td><td>0.521003E-01</td></tr> <tr><td>003</td><td>***</td><td>292.926</td><td>0.505104E-01</td><td>0.505104E-01</td></tr> <tr><td>004</td><td>***</td><td>240.404</td><td>0.489277E-01</td><td>0.489277E-01</td></tr> <tr><td>005</td><td>***</td><td>208.241</td><td>0.473545E-01</td><td>0.473545E-01</td></tr> </tbody> </table>								Noeud	statut	Pression	Tassement	Flèche	001	Plastifié	1000.000	0.536944E-01	0.536944E-01	002	***	445.258	0.521003E-01	0.521003E-01	003	***	292.926	0.505104E-01	0.505104E-01	004	***	240.404	0.489277E-01	0.489277E-01	005	***	208.241	0.473545E-01	0.473545E-01																																																																																																
Noeud	statut	Pression	Tassement	Flèche																																																																																																																																	
001	Plastifié	1000.000	0.536944E-01	0.536944E-01																																																																																																																																	
002	***	445.258	0.521003E-01	0.521003E-01																																																																																																																																	
003	***	292.926	0.505104E-01	0.505104E-01																																																																																																																																	
004	***	240.404	0.489277E-01	0.489277E-01																																																																																																																																	
005	***	208.241	0.473545E-01	0.473545E-01																																																																																																																																	

Figure I.76 : Résultats numériques formatés – Exemple pour un projet 2D en déformations planes

De manière analogue au cas de projets 3D, les résultats numériques formatés contiennent :

- Un rappel des données : paramètres généraux, données de sol, géométrie et décomposition de la plaque, caractéristiques de la plaque, points de calcul, charges appliquées (et leur décomposition).
- Les résultats :
  - Les déplacements et rotations aux nœuds activés : pour chaque nœud (défini par son numéro), Tasplaq indique le déplacement :
    - le déplacement  $w$  (m), positif vers le bas ;
    - la rotation  $\theta_x$  (2D déformations planes) ou  $\theta_R$  (2D axisymétrique) (en radians).

Sous ce tableau, il est précisé les valeurs maximales et minimales  $w_{max}$  et le  $w_{min}$  (m), et l'abscisse (2D déformations planes) ou la distance à l'axe (2D axisymétrique) pour lesquelles elles sont obtenues.

- La réaction du sol et le tassement sous les nœuds : pour chaque nœud (défini par son numéro), Tasplaq indique :
  - son statut (plastifié ou décollé) ;
  - la pression (kPa) : réaction du sol sous la plaque ;
  - le tassement (m), positif vers le bas ;
  - la flèche (m), positive vers le bas.

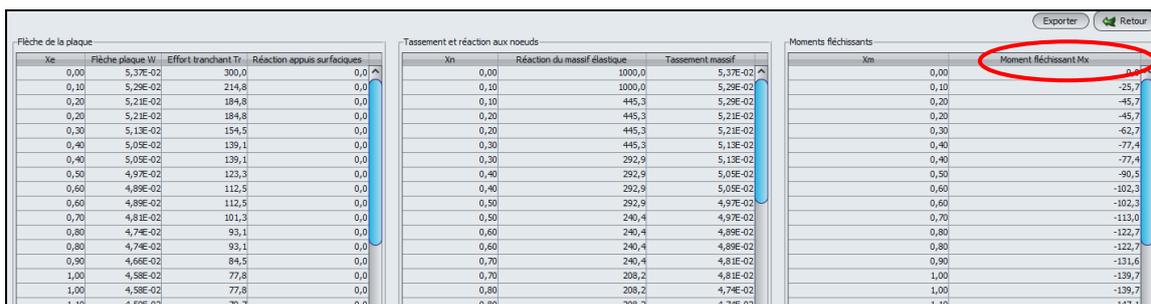
Sous ce tableau, il est précisé les valeurs maximales et minimales du tassement (m), et l'abscisse (2D déformations planes) ou la distance à l'axe (2D axisymétrique) pour lesquelles elles sont obtenues..

- Pour les modèles 2D en déformations planes :
 

Pour chaque point de calcul (3 points par élément), Tasplaq indique :

  - le numéro de l'élément et son abscisse  $X_m$  (m) ;
  - le moment fléchissant  $M_x$  (kN.m/ml) ;
  - l'effort tranchant  $T_x$  (kN/ml).
- Pour les modèles 2D axisymétriques :
  - ✓ Les moments fléchissants : pour chaque point de calcul (2 points par élément), Tasplaq indique :
    - le numéro de l'élément et la distance  $X_m$  du point à l'axe (m) ;
    - le moment fléchissant radial  $M_r$  (kN.m/ml) ;
    - le moment fléchissant tangentiel  $M_t$  (kN.m/ml) ;
  - ✓ Les efforts tranchants : pour chaque point de calcul (3 points par élément), Tasplaq indique :
    - le numéro de l'élément et la distance  $X_t$  du point à l'axe (m) ;
    - l'effort tranchant  $T_r$  (kN/ml).

### 1.3.11.3.2. Résultats numériques : tableau des résultats



Flèche de la plaque				Tassement et réaction aux nœuds			Moments fléchissants	
Xe	Flèche plaque W	Effort tranchant Tr	Réaction appuis surfaciques	Xn	Réaction du massif élastique	Tassement massif	Xm	Moment fléchissant Mx
0,00	5,37E-02	300,0	0,0	0,00	1000,0	5,37E-02	0,00	0,00
0,10	5,29E-02	214,8	0,0	0,10	1000,0	5,29E-02	0,10	-25,7
0,20	5,21E-02	184,8	0,0	0,10	445,3	5,29E-02	0,20	-45,7
0,20	5,21E-02	184,8	0,0	0,20	445,3	5,21E-02	0,20	-45,7
0,30	5,13E-02	154,5	0,0	0,20	445,3	5,21E-02	0,30	-62,7
0,40	5,05E-02	139,1	0,0	0,30	445,3	5,13E-02	0,40	-77,4
0,40	5,05E-02	139,1	0,0	0,30	292,9	5,13E-02	0,40	-77,4
0,50	4,97E-02	123,3	0,0	0,40	292,9	5,05E-02	0,50	-90,5
0,60	4,89E-02	112,5	0,0	0,40	292,9	5,05E-02	0,60	-102,3
0,60	4,89E-02	112,5	0,0	0,50	292,9	4,97E-02	0,60	-102,3
0,70	4,81E-02	101,3	0,0	0,50	240,4	4,97E-02	0,70	-113,0
0,80	4,74E-02	93,1	0,0	0,60	240,4	4,89E-02	0,80	-122,7
0,80	4,74E-02	93,1	0,0	0,60	240,4	4,89E-02	0,80	-122,7
0,90	4,66E-02	84,5	0,0	0,70	240,4	4,81E-02	0,90	-131,6
1,00	4,58E-02	77,8	0,0	0,70	208,2	4,81E-02	1,00	-139,7
1,00	4,58E-02	77,8	0,0	0,80	208,2	4,74E-02	1,00	-139,7
1,10	4,50E-02	70,7	0,0	0,80	208,2	4,74E-02	1,10	-147,1

Figure I.77 : Résultats numériques : Tableau des résultats – Projets 2D en déformations planes

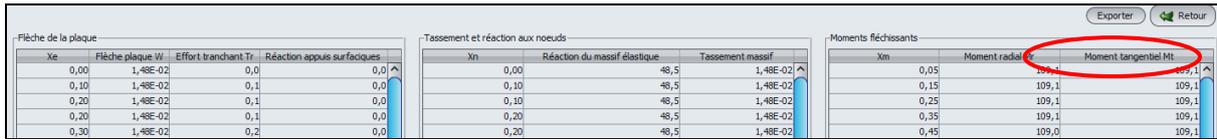


Figure I.78 : Résultats numériques : Tableau des résultats – Projets 2D axisymétriques

Comme en 3D, il s'agit globalement des mêmes résultats que ceux détaillés pour les résultats formatés, mais présentés cette fois sous la forme de tableaux, et sans la partie de rappel des données. Certains résultats ne sont toutefois pas affichés dans ces tableaux (comme les rotations par exemple).

- Le premier tableau (à gauche) contient la flèche de la plaque, l'effort tranchant, et la réaction des appuis surfaciques au droit des points de calcul en fonction de  $X_e$  (m). La première ligne indique les valeurs extrêmes des tassements et de la réaction aux nœuds.

Désignation	Unité	Condition d'affichage
$X_e$ : abscisse du point de calcul	m	Toujours
w : flèche de la plaque (positive vers le bas)	m	Toujours
Effort tranchant	kN/ml	Toujours
Réact app surf : réaction des appuis surfaciques	kPa	Toujours

Tableau I.37 : Détail des résultats numériques relatifs à la plaque (projets 2D)

- Le deuxième tableau (au milieu) contient le tassement et la réaction du sol au droit des points de calcul en fonction de  $X_n$  (m). La première ligne indique les valeurs extrêmes de la flèche de la plaque.

Désignation	Unité	Condition d'affichage
$X_n$ : abscisse du point de calcul	m	Toujours
Réaction du massif élastique	kPa	Toujours
Tassement massif	m	Toujours

Tableau I.38 : Détail des résultats numériques - Tassement et réaction du sol (projets 2D)

- Le troisième tableau (à droite) contient les moments fléchissants au droit des points de calcul en fonction de  $X_m$  (m). La première ligne indique les valeurs extrêmes de la flèche de la plaque.

Désignation	Unité	Condition d'affichage
$X_m$ : abscisse du point de calcul	m	Toujours
$M_x$ : moment fléchissant	kN.m/ml	Toujours

Tableau I.39 : Détail des résultats numériques - Moments fléchissants (projets 2D en déformations planes)

Désignation	Unité	Condition d'affichage
$X_m$ : abscisse du point de calcul	m	Toujours
$M_r$ : moment radial	kN.m/ml	Toujours
$M_t$ : moment tangentiel	kN.m/ml	Toujours

Tableau I.40 : Détail des résultats numériques - Moments fléchissants (projets 2D axisymétriques)

### I.3.11.3.3. Résultats graphiques : coupes graphiques

Comme en 3D, les coupes graphiques permettent de présenter des coupes dans la plaque avec affichage de l'une des grandeurs suivantes au choix :

- flèche de la plaque et tassements du sol (représentés sur le même graphique) ;
- moments radial et tangentiel (représentés sur le même graphique) dans le cas des projets 2D axisymétriques, et moment fléchissant  $M_x$  dans le cas des projets 2D en déformations planes ;
- réaction du sol et réaction des appuis surfaciques (représentés sur le même graphique) ;
- effort tranchant.

Le fonctionnement de cet écran est analogue à celui décrit en 3D (cf chapitre I.3.11.2.3).

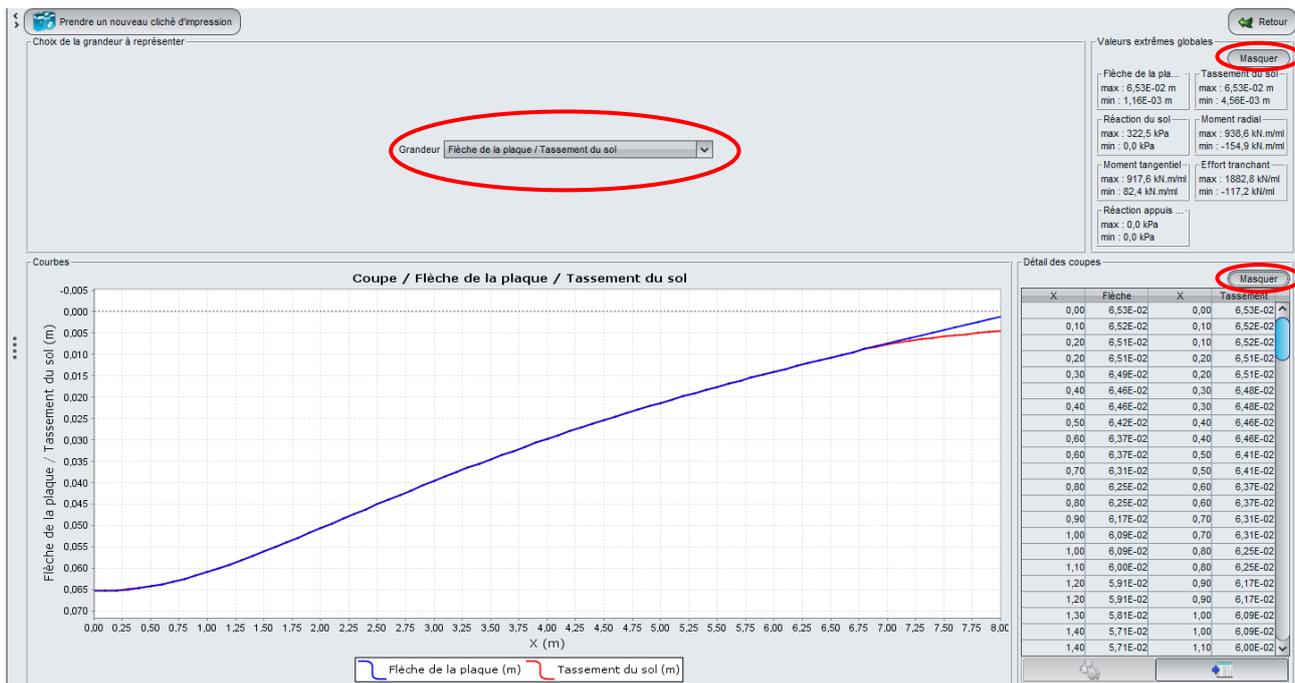


Figure I.79 : Coupe graphique : exemple de projet 2D axisymétrique - Flèche de la plaque/tassement du sol

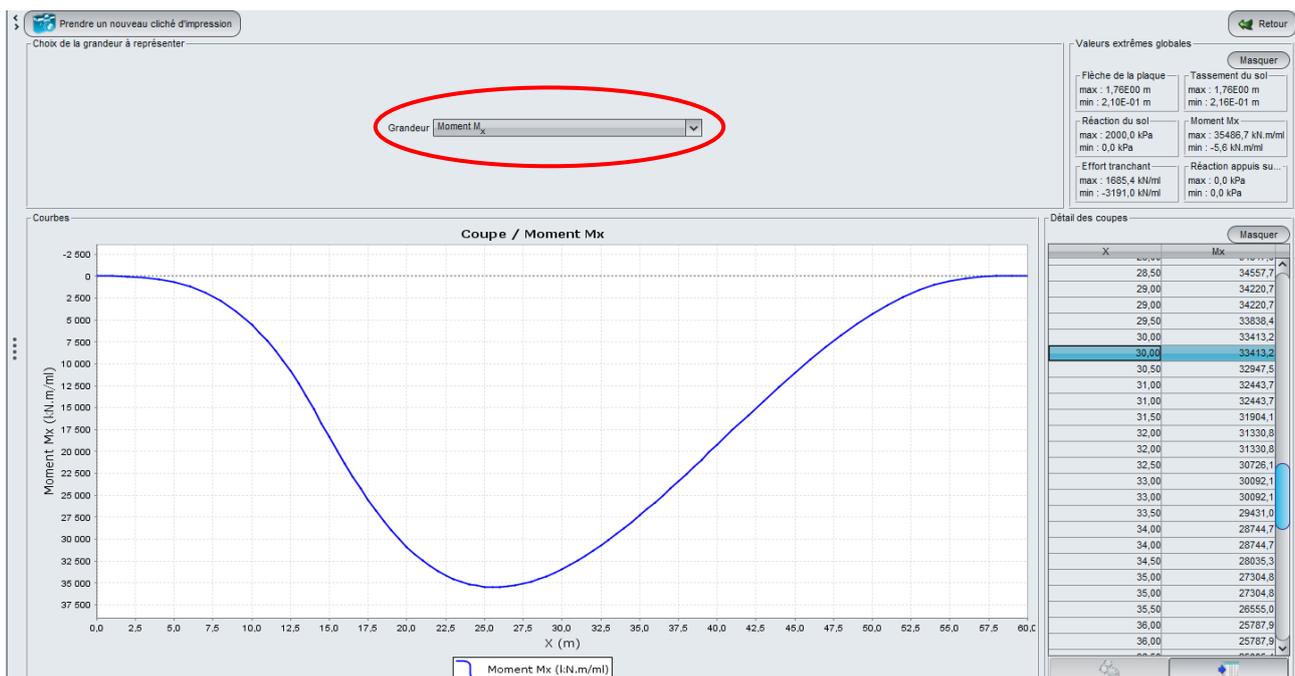


Figure I.80 : Coupe graphique : exemple de projet 2D en déformations planes - Moment  $M_x$

#### I.3.11.4. Assistant externe d'exportation vers Tasseldo

L'assistant "Exportation vers Tasseldo", accessible par le bouton , permet d'exporter l'ensemble des réactions calculées sous la plaque pour pouvoir effectuer un calcul sous Tasseldo. Cet assistant est disponible pour les projets 2D et 3D.

Le passage par Tasseldo permet de compléter les enseignements pouvant être tirés d'un modèle Tasplaq :

- Tassements en profondeur et en tout point de la surface (en particulier, en dehors du modèle Tasplaq) ;
- Distribution des contraintes en profondeur.

Le fichier Tasseldo généré comporte les éléments suivants :

- la définition des couches de sol (propriétés élastiques) ;
- charges exercées sur le sol :
  - charges extérieures sur le sol ;
  - pression nette exercée par la plaque de chaque nœud (réaction du sol);
- les points de calcul (nœuds).

L'assistant génère ce fichier de données, et ouvre aussitôt le module Tasseldo.

Les modules Tasplaq et Tasseldo sont alors tous deux activés dans le projet (les boutons des deux modules s'affichent) et le module actif est surligné en bleu :

- soit en haut à droite de la fenêtre :  ou . En passant la souris sur l'un ou l'autre bouton, le nom du module s'affiche dans une info-bulle ;
- soit dans le bandeau à droite de la fenêtre :



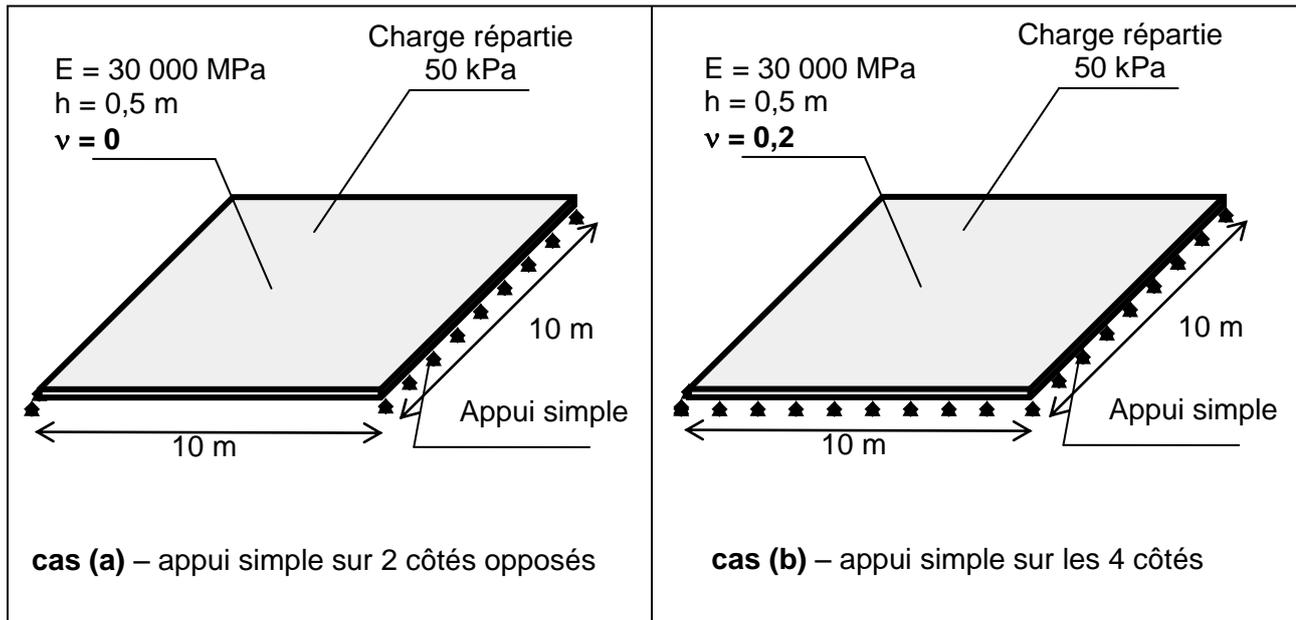
## I.4. EXEMPLES DE CALCUL TASPLAQ

### I.4.1. Exemple 1 : Dalle sur appuis rigides

L'exemple concerne l'étude d'une dalle carrée homogène de 10 m de côté sous une charge répartie de 50 kPa. Pour les conditions aux limites, nous allons étudier deux cas :

- Cas d'une plaque appuyée sur 2 côtés opposés (schéma a ci-dessous) ;
- Cas d'une plaque appuyée sur ses 4 côtés (schéma b ci-dessous).

Les données du problème sont détaillées sur le schéma ci-dessous :



#### I.4.1.1. Etape 1 : Dalle appuyée sur deux côtés opposés

- Choisir de créer un nouveau projet en sélectionnant le radio-bouton  Nouveau projet ;
- Cliquer sur le bouton .

Si Foxta est déjà ouvert, cliquer sur le menu "Fichier", "Nouveau projet".

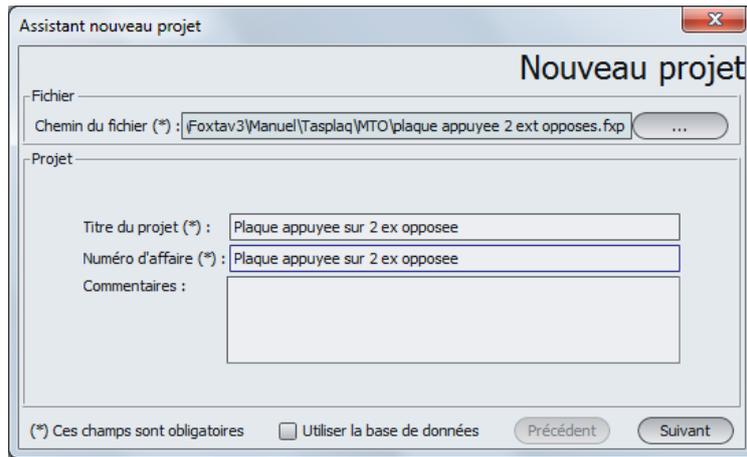
##### I.4.1.1.1. Assistant Nouveau projet

Cadre "Fichier" :

- Renseigner le chemin du fichier en cliquant sur le bouton  ;
- Donner un nom au fichier et l'enregistrer.

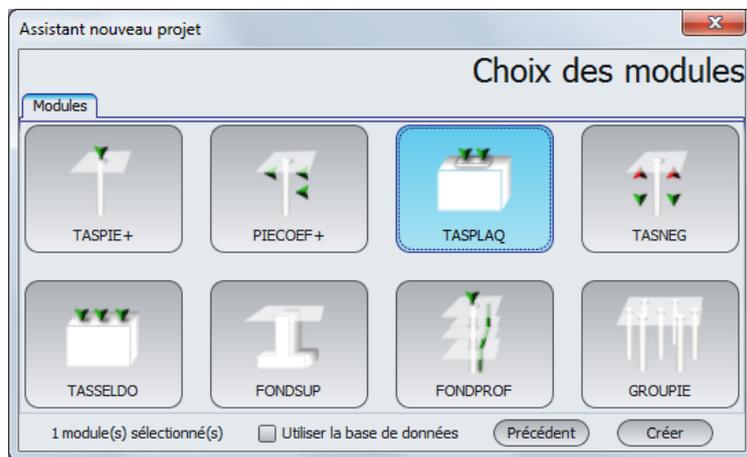
Cadre "Projet" :

- Donner un titre au projet ;
- Saisir un numéro d'affaire ;
- Compléter avec un commentaire si besoin ;
- Laisser la case "Utiliser la base de données" décochée (nous n'utiliserons pas la base de données pour cet exemple), et cliquer sur le bouton .



**Assistant Nouveau projet : Choix du module**

- Dans la fenêtre "Choix des modules", sélectionner le module TASPLAQ puis cliquer sur le bouton **Créer**.



La fenêtre de saisie des données TASPLAQ apparaît.

Il convient à présent de compléter les différents onglets de données, dans la zone droite de l'écran.

**I.4.1.1.2. Onglet "Paramètres"**

Cadre "Mode général" :

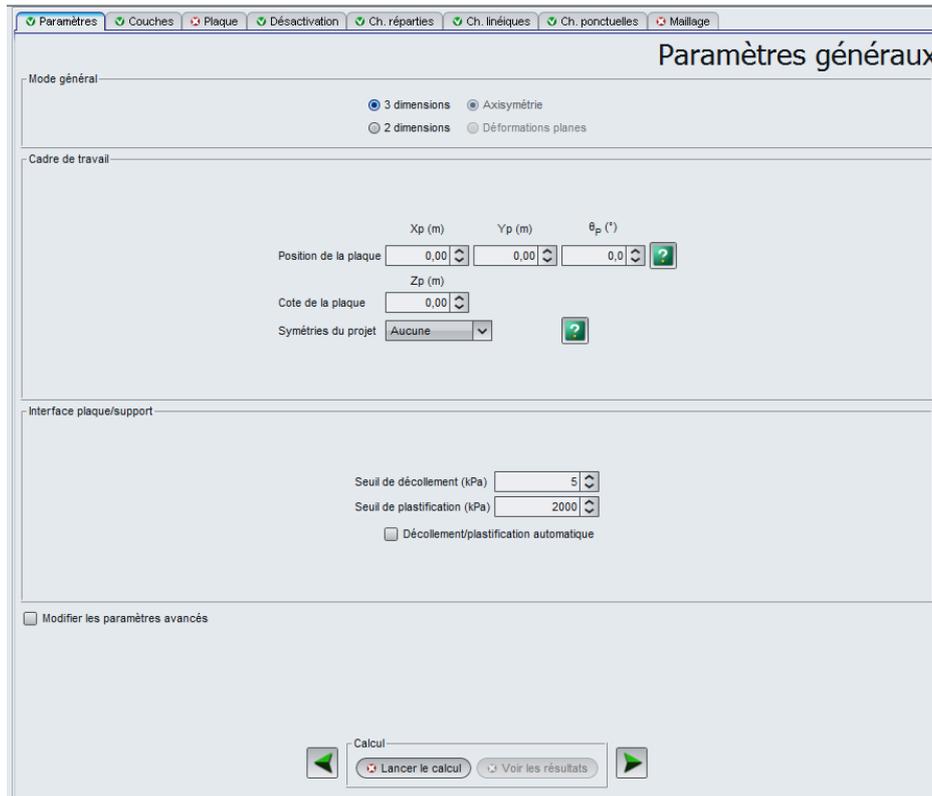
Le modèle étudié est tridimensionnel (plaque carrée), et on sélectionne donc ici "3 dimensions".

Cadre "Cadre de travail" :

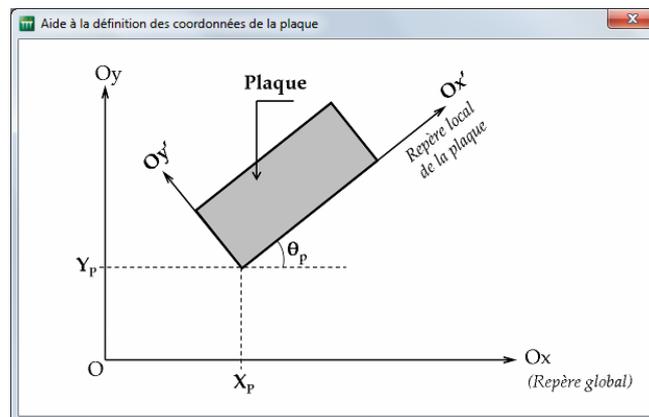
Dans cet exemple, le repère local de la plaque représentative de la dalle est pris identique au repère global du modèle. Le point (0,0) représente le coin "bas – gauche" de la plaque en vue de dessus.

- Position de la plaque :

$X_p$ (m)	$Y_p$ (m)	$\theta_p$ (°)
0,0	0,0	0

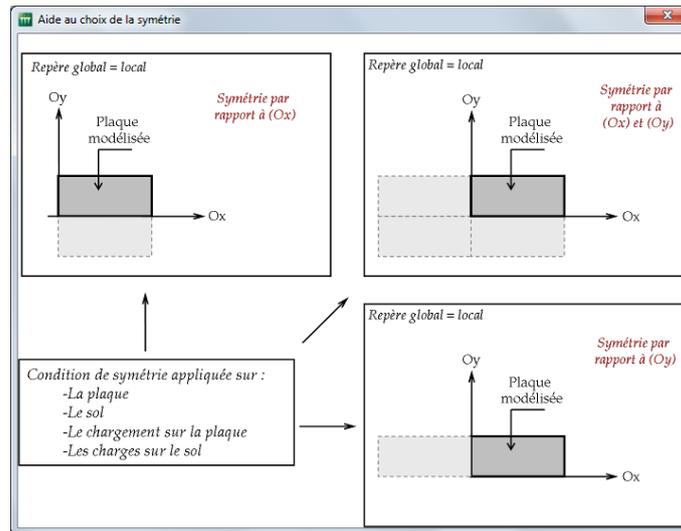


La figure d'aide suivante est disponible pour la définition des coordonnées de la plaque :



- Cote de la plaque :  $Z_p = 0,0$  m (cote de référence = cote de la sous-face de la dalle).
- Symétrie de projet : Aucune (on choisit ici de traiter le modèle entier)

Nota : il est possible dans Tasplaq de définir des axes de symétrie afin de simplifier certaines modélisations. La figure d'aide suivante illustre les différents cas possibles.



### Cadre "Interface plaque/support" :

Ce cadre permet d'activer la gestion automatique des critères de décollement et de plastification à l'aide de critères définis par l'utilisateur.

- Les valeurs par défaut sont conservées dans cet exemple.

Seuil de décollement	5 kPa
Seuil de plastification	2000 kPa

- Décollement/plastification automatique : Décochée
- Modifier les paramètres avancés : Décochée

Pour passer à l'onglet suivant, cliquer soit sur le nom de l'onglet "Couches", soit sur le bouton .

#### I.4.1.1.3. Onglet "Couches"

Cet onglet contient deux cadres différents :

##### Cadre "Définition des couches de sol" :

- Aucune couche de sol n'est à définir, il s'agit d'un calcul pur RDM, de type plaque sur appuis.
- Contrainte initiale en surface : 0 kPa.

##### Cadre "Charge extérieure sur le sol" :

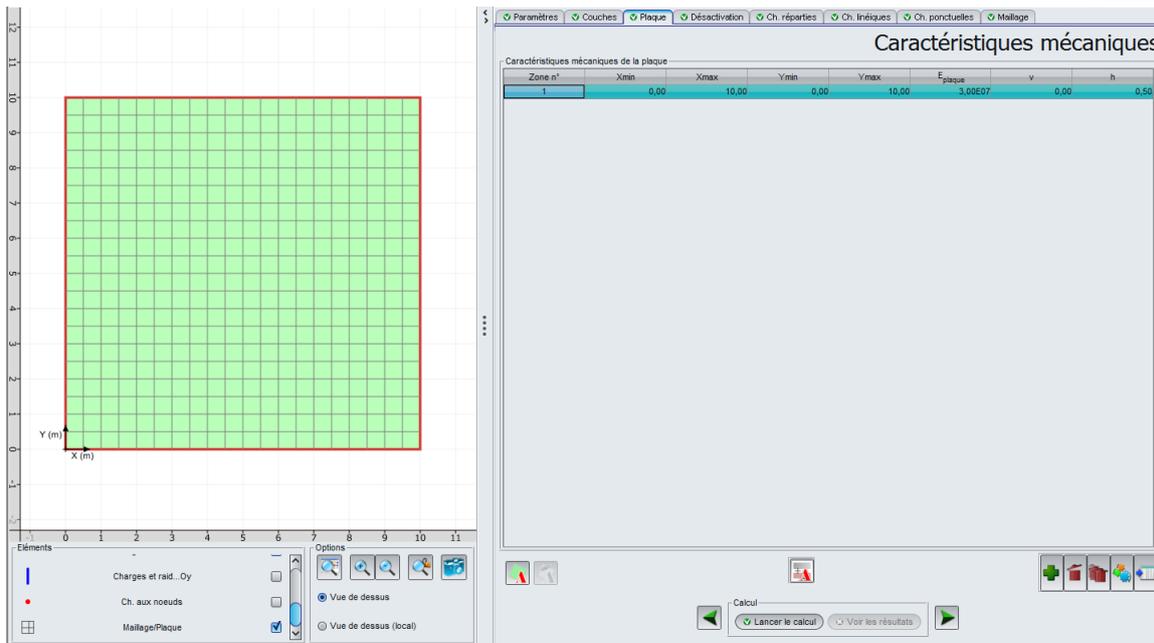
Nous n'avons pas dans cet exemple de charges appliquées sur le sol à l'extérieur de la plaque.

- Activer les charges extérieures : décochée (cette option n'est d'ailleurs pas disponible dans le cas de cet exemple, car aucune couche de sol n'a été définie).

#### I.4.1.1.4. Onglet "Plaque"

Dans cet exemple, la plaque est homogène et continue. Pour définir ses caractéristiques, il suffit donc de définir une seule zone avec  $X_{min} = 0$  m,  $X_{max} = 10$  m,  $Y_{min} = 0$  m et  $Y_{max} = 10$  m.

Cliquer sur le bouton  sous le tableau pour créer une ligne dans le tableau.



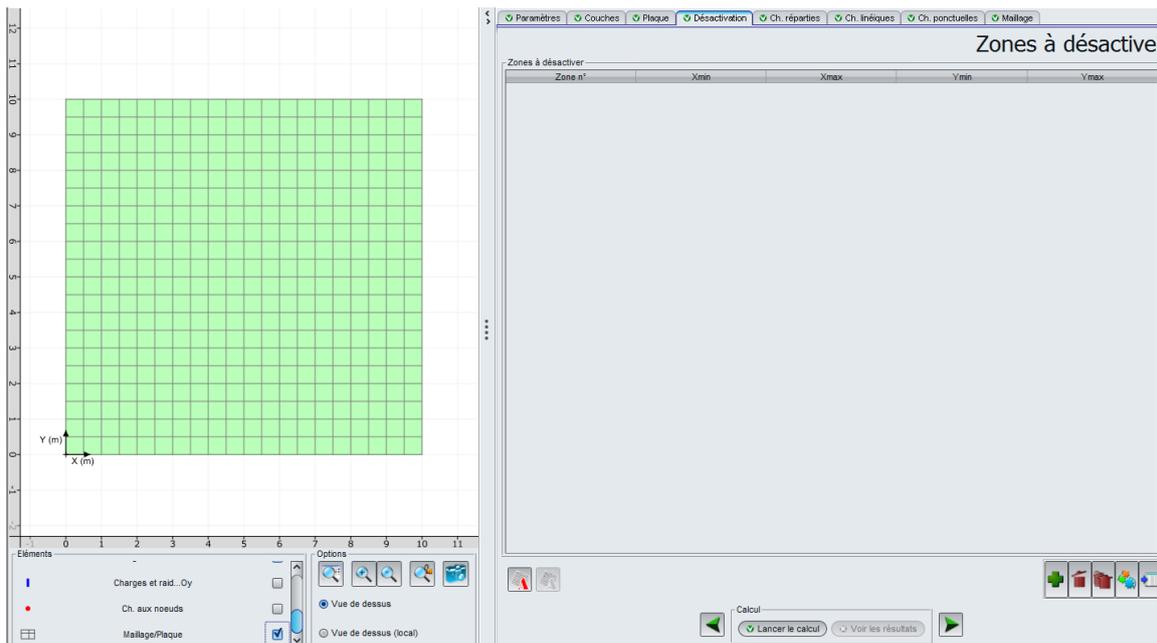
Les données à saisir sont les suivantes :

Zone n°	Xmin (m)	Xmax (m)	Ymin (m)	Ymax (m)	E <sub>plaque</sub> (kPa)	$\nu$	h (m)
1	0,00	10,00	0,00	10,00	3,00E+07	0,00	0,50

Le choix d'un coefficient de Poisson nul s'explique par l'hypothèse d'une plaque constituée en béton armé (une valeur de 0,2 est à considérer pour le cas d'un béton non armé ou fibré : ce sera le cas dans la 2<sup>ème</sup> étape de cet exemple).

#### 1.4.1.1.5. Onglet "Désactivation"

Dans cet exemple, il n'y a pas d'élément à désactiver, la plaque est pleine et rectangulaire. Le cadre "Désactivation" est laissé vide.



### I.4.1.1.6. Onglet "Charges réparties"

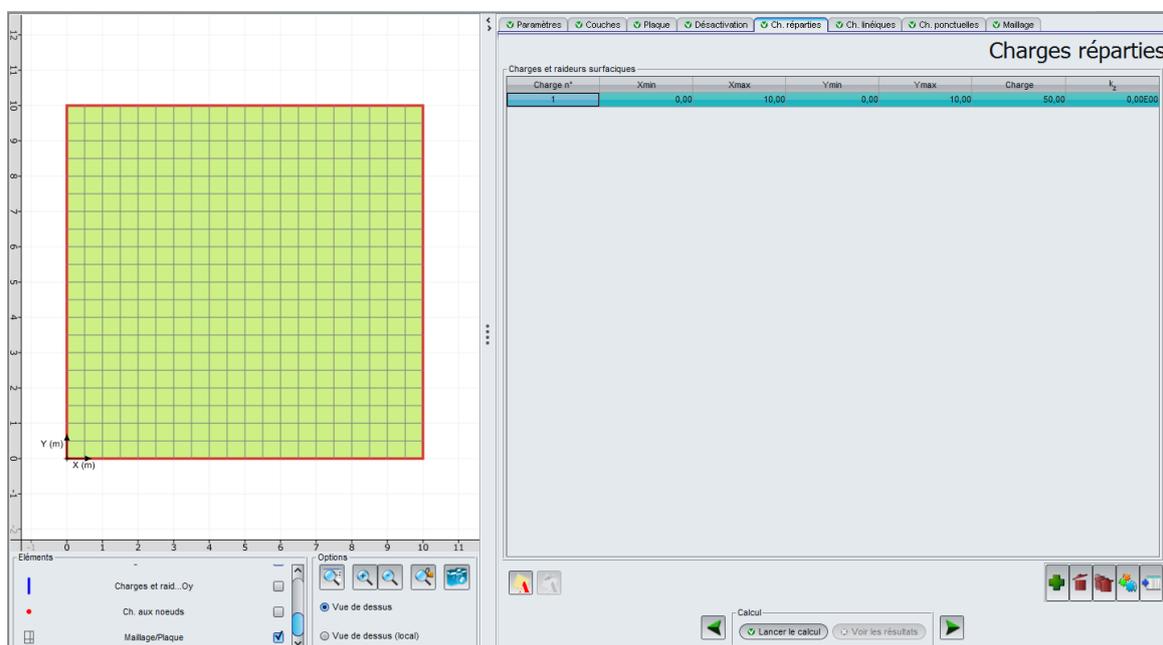
La plaque est soumise à une charge uniforme répartie de 50 kPa. Il convient donc de définir un chargement réparti sur une zone couvrant toute la plaque (de  $X_{min} = 0$  à  $X_{max} = 10$  m selon  $O_x$  et de  $Y_{min} = 0$  à  $Y_{max} = 10$  m selon  $O_y$ ).

Cliquer sur le bouton  sous le tableau pour créer une ligne dans le tableau.

La colonne "kz" (raideur surfacique) correspond au cas où une raideur continue élastique existe sous la plaque (ressorts surfaciques), ce qui permet donc de définir un appui continu élastique de raideur variable par zone. Dans le présent exemple, aucune raideur surfacique n'est à définir.

Saisir les caractéristiques du chargement :

Charge n°	Xmin (m)	Xmax (m)	Ymin (m)	Ymax (m)	Charge (kPa)	k <sub>z</sub> (kPa/m)
1	0,00	10,00	0,00	10,00	50	0

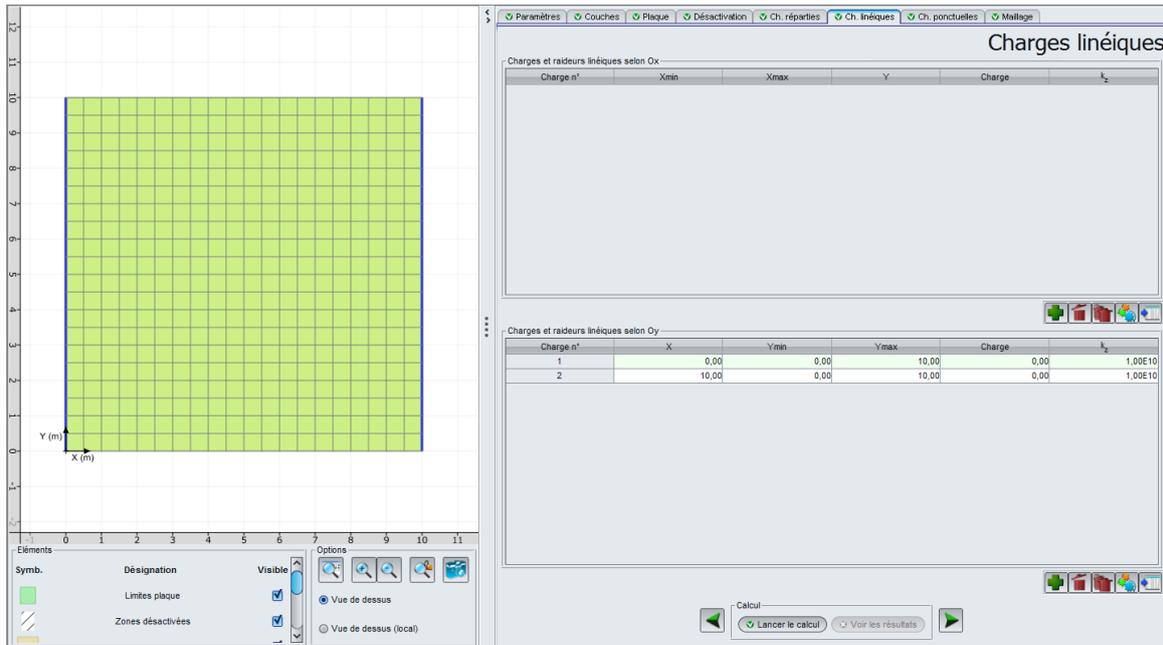


### I.4.1.1.7. Onglet "Charges linéiques"

L'option "charges linéiques" permet d'une part de définir des charges linéiques s'exerçant sur la plaque, mais également des raideurs linéiques qui permettent de simuler certains cas particuliers.

C'est cette dernière fonctionnalité que nous allons utiliser ici : en effet, le cas d'un appui simple sur certains côtés de la plaque (le cas de notre exemple) peut être simulé en considérant un appui linéique de raideur en translation suffisamment élevée ( $10^{10}$  kN/m/ml par exemple).

Dans notre cas, 2 appuis sont à définir sous 2 côtés opposés de la plaque, soit 2 charges linéiques à définir entre  $Y_{min} = 0$  et  $Y_{max} = 10$  m avec respectivement  $X = 0$  m et  $X = 10$  m (il s'agit donc de raideurs linéiques selon  $O_y$ ).



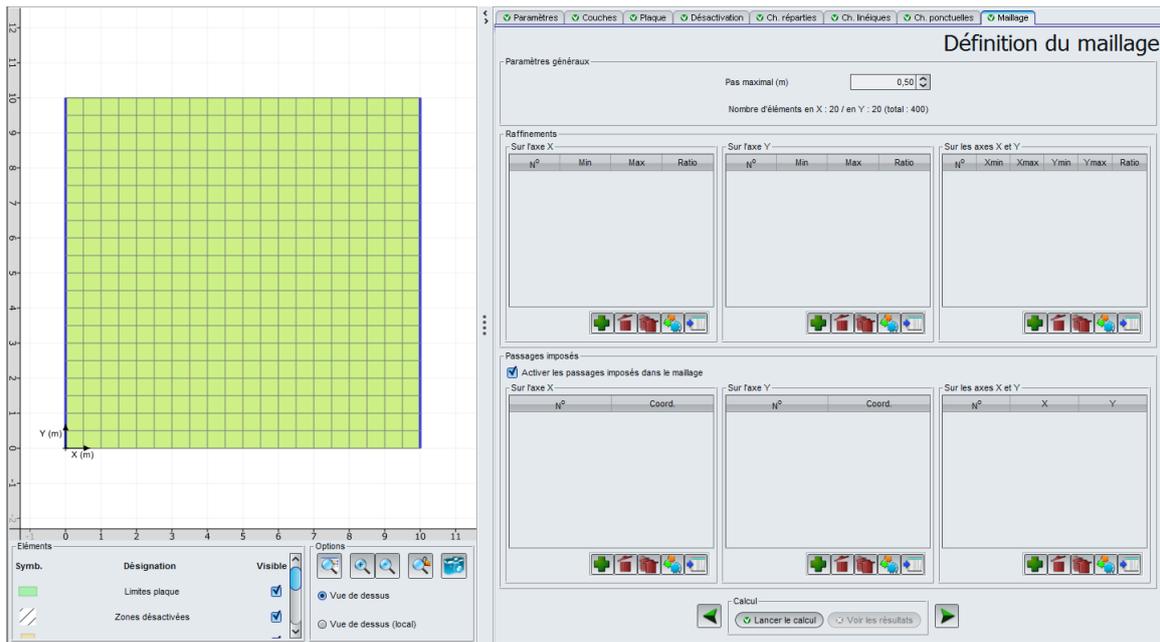
Charge n°	X (m)	Ymin (m)	Ymax (m)	Charge (kN/ml)	k <sub>z</sub> (kN/m/ml)
1	0,00	0,00	10,00	0,00	1,00E10
2	10,00	0,00	10,00	0,00	1,00E10

#### I.4.1.1.8. Onglet "Charges ponctuelles"

Il n'y a pas de charges ponctuelles dans cet exemple.

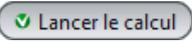
#### I.4.1.1.9. Onglet "Maillage"

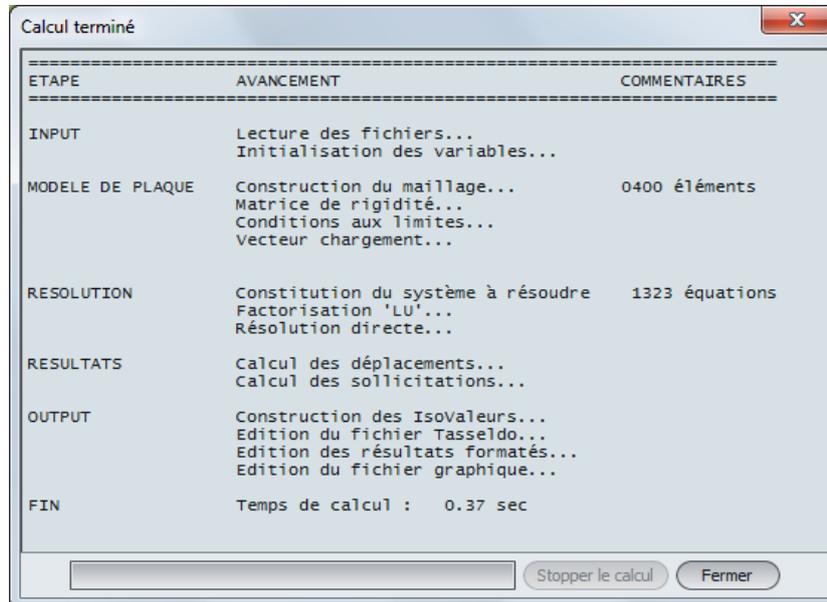
On opte ici pour un pas maximal de 0,50 m. Ceci conduit à un maillage de 20 éléments en X et 20 éléments en Y, soit un total de 400 éléments.



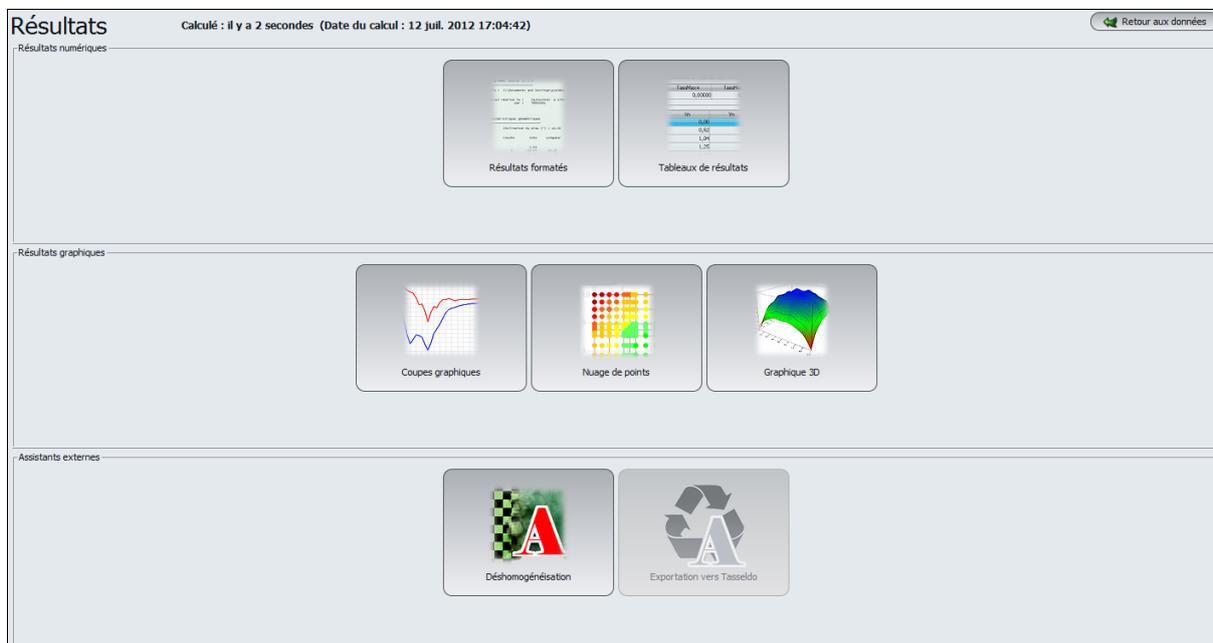
### I.4.1.1.10. Calcul et résultats

#### Calcul

Cliquer sur le bouton . Une fenêtre de calcul apparaît. Elle permet de visualiser ses différentes étapes et leur avancement. Ceci est particulièrement utile lorsque le calcul s'avère être un peu long.



Pour accéder aux résultats sous forme de tableaux et de graphiques, cliquer sur le bouton .



## Résultats

### Résultats numériques :

#### Tableau de résultats :

Cet affichage contient les résultats suivants :

- Tassement et réaction aux nœuds ;
- Flèche de la plaque (9 points par élément) ;
- Moments fléchissants (4 points par élément).

Cet écran comporte également des tableaux indiquant les valeurs maximales et minimales pour chaque type de résultat.

Les colonnes "Tassement et réaction aux nœuds" correspondent aux résultats obtenus en surface du sol support si celui-ci a été assimilé à un massif multicouche élastique (voir exemples 2 à 7). Si aucun massif multicouche n'a été défini dans le projet (cas du présent exemple), alors les valeurs affichées sont toutes nulles.

Tassement et réaction aux nœuds					Flèche de la plaque			Moments fléchissants				
TassMax+	TassMax-	rmax+	rmax-		Wmax+	Wmax-		MxMax+	MxMax-	MyMax+	MyMax-	
0,00E00	0,00E00	0,0	0,0	0,0	-2,08E-02	1,25E-08		624,6	30,7	1,2	-2,2	
Xn	Yn	s	r		Xe	Ye	w	Xm	Ym	Mx	My	h
0,00	0,00	0,00E00	0,0		0,00	0,00	-1,63E-07	0,12	0,12	30,7	-2,2	0,50
0,50	0,00	0,00E00	0,0		0,25	0,00	-1,66E-03	0,38	0,12	89,9	0,2	0,50
1,00	0,00	0,00E00	0,0		0,50	0,00	-3,32E-03	0,62	0,12	146,1	1,2	0,50
1,50	0,00	0,00E00	0,0		0,50	0,00	-3,32E-03	0,88	0,12	199,2	1,0	0,50
2,00	0,00	0,00E00	0,0		0,75	0,00	-4,94E-03	1,12	0,12	249,2	0,9	0,50
2,50	0,00	0,00E00	0,0		1,00	0,00	-6,54E-03	1,38	0,12	296,1	0,9	0,50
3,00	0,00	0,00E00	0,0		1,00	0,00	-6,54E-03	1,62	0,12	339,8	1,0	0,50
3,50	0,00	0,00E00	0,0		1,25	0,00	-8,08E-03	1,88	0,12	380,5	1,0	0,50
4,00	0,00	0,00E00	0,0		1,50	0,00	-9,58E-03	2,12	0,12	418,0	1,0	0,50
4,50	0,00	0,00E00	0,0		1,50	0,00	-9,58E-03	2,38	0,12	452,3	1,0	0,50
5,00	0,00	0,00E00	0,0		1,75	0,00	-1,10E-02	2,62	0,12	483,6	1,0	0,50
5,50	0,00	0,00E00	0,0		2,00	0,00	-1,24E-02	2,88	0,12	511,7	1,0	0,50
6,00	0,00	0,00E00	0,0		2,00	0,00	-1,24E-02	3,12	0,12	536,7	1,0	0,50
6,50	0,00	0,00E00	0,0		2,25	0,00	-1,36E-02	3,38	0,12	558,6	1,0	0,50
7,00	0,00	0,00E00	0,0		2,50	0,00	-1,48E-02	3,62	0,12	577,4	1,0	0,50
7,50	0,00	0,00E00	0,0		2,50	0,00	-1,48E-02	3,88	0,12	593,0	1,0	0,50
8,00	0,00	0,00E00	0,0		2,75	0,00	-1,59E-02	4,12	0,12	605,5	1,0	0,50
8,50	0,00	0,00E00	0,0		3,00	0,00	-1,69E-02	4,38	0,12	614,9	1,0	0,50
9,00	0,00	0,00E00	0,0		3,00	0,00	-1,69E-02	4,62	0,12	621,1	1,0	0,50
9,50	0,00	0,00E00	0,0		3,25	0,00	-1,78E-02	4,88	0,12	624,2	1,0	0,50
10,00	0,00	0,00E00	0,0		3,50	0,00	-1,86E-02	5,12	0,12	624,2	1,0	0,50
0,00	0,50	0,00E00	0,0		3,50	0,00	-1,86E-02	5,38	0,12	621,1	1,0	0,50
0,50	0,50	0,00E00	0,0		3,75	0,00	-1,93E-02	5,62	0,12	614,9	1,0	0,50
1,00	0,50	0,00E00	0,0		4,00	0,00	-1,98E-02	5,88	0,12	605,5	1,0	0,50
1,50	0,50	0,00E00	0,0		4,00	0,00	-1,98E-02	6,12	0,12	593,0	1,0	0,50
2,00	0,50	0,00E00	0,0		4,25	0,00	-2,03E-02	6,38	0,12	577,4	1,0	0,50
2,50	0,50	0,00E00	0,0		4,50	0,00	-2,06E-02	6,62	0,12	558,6	1,0	0,50
3,00	0,50	0,00E00	0,0		4,50	0,00	-2,06E-02	6,88	0,12	536,7	1,0	0,50
3,50	0,50	0,00E00	0,0		4,75	0,00	-2,08E-02	7,12	0,12	511,7	1,0	0,50
4,00	0,50	0,00E00	0,0		5,00	0,00	-2,08E-02	7,38	0,12	483,6	1,0	0,50
4,50	0,50	0,00E00	0,0		5,00	0,00	-2,08E-02	7,62	0,12	452,3	1,0	0,50
5,00	0,50	0,00E00	0,0		5,25	0,00	-2,08E-02	7,88	0,12	418,0	1,0	0,50
5,50	0,50	0,00E00	0,0		5,50	0,00	-2,06E-02	8,12	0,12	380,5	1,0	0,50
6,00	0,50	0,00E00	0,0		5,50	0,00	-2,06E-02	8,38	0,12	339,8	1,0	0,50
6,50	0,50	0,00E00	0,0		5,75	0,00	-2,03E-02	8,62	0,12	296,1	0,9	0,50

### Résultats graphiques :

#### Coupes graphiques :

Ce bouton permet d'effectuer des coupes dans la plaque.

La fenêtre inclut notamment des tableaux indiquant les valeurs extrêmes globales obtenues pour les tassements, les réactions, les moments et la flèche. Pour obtenir ce tableau, cliquer sur le bouton **Voir** dans le cadre "valeurs extrêmes globales".

En haut de la fenêtre se trouvent quatre listes déroulantes. Pour afficher 1 ou 2 coupes, choisir la grandeur, la direction des coupes, et leur localisation.

Un tableau comportant le détail des valeurs pour la ou les coupes définie(s) peut être affiché à droite de la zone graphique : dans le cadre "Détails des coupes", cliquer sur le bouton **Voir**.

Nota : les boutons **Voir** sont contextuels, ils changent de noms une fois qu'ils ont été activés et deviennent : **Masquer**.

Flèche de la plaque suivant X :

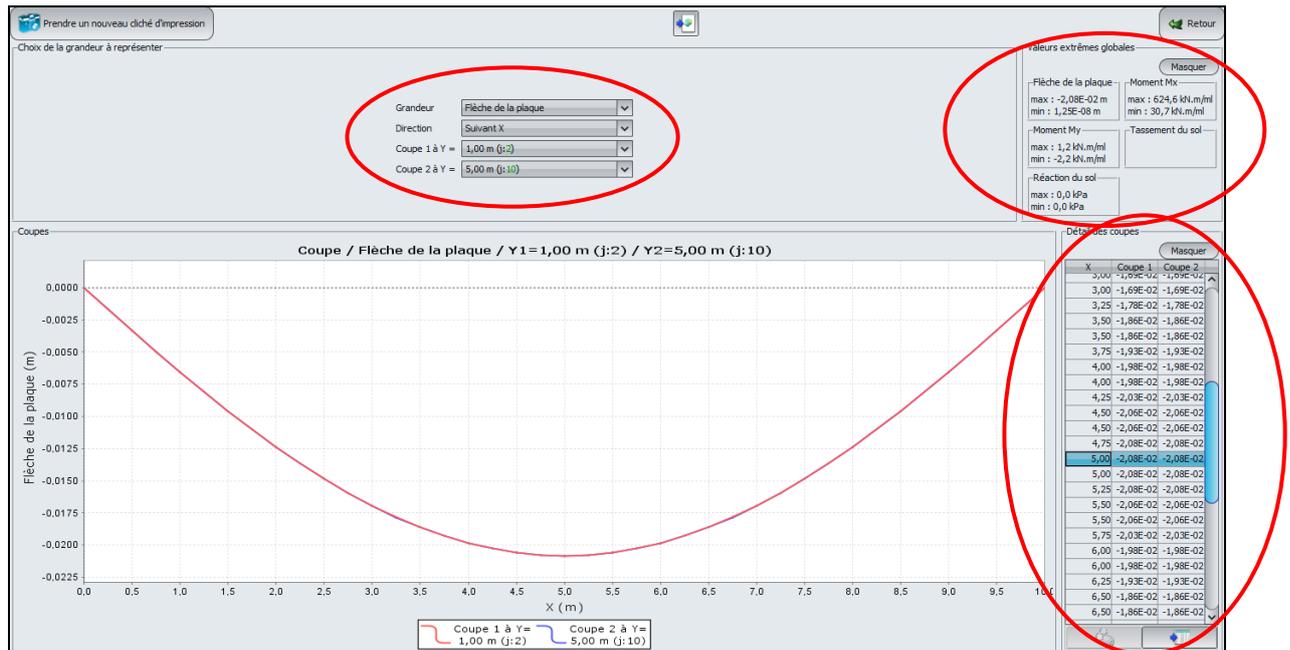
Valeurs extrêmes globales :

- Max :  $-2,08E-02$  m (soit -2,08 cm)
- Min :  $1,25E-08$  m (soit 0,00 cm)

Coupe 1 à Y = 1,00 m (j : 2)

Coupe 2 à Y = 5,00 m (j : 10)

En X = 5 m (milieu de la plaque), on relève pour les 2 coupes une flèche maximale identique de 2,08 cm. Les 2 courbes correspondant aux 2 coupes sont strictement identiques : cela s'explique par le choix des conditions aux limites qui empêchent toute flexion dans la direction Oy. Les coupes selon Oy donneraient alors toutes une flèche uniforme.



Nota : dans TASPLAQ, les déplacements sont pris positifs vers le haut. Ainsi, une flèche négative est synonyme d'un « tassement ». Une flèche positive correspondra à un soulèvement par rapport au niveau initial.

Moment  $M_x$  suivant X :

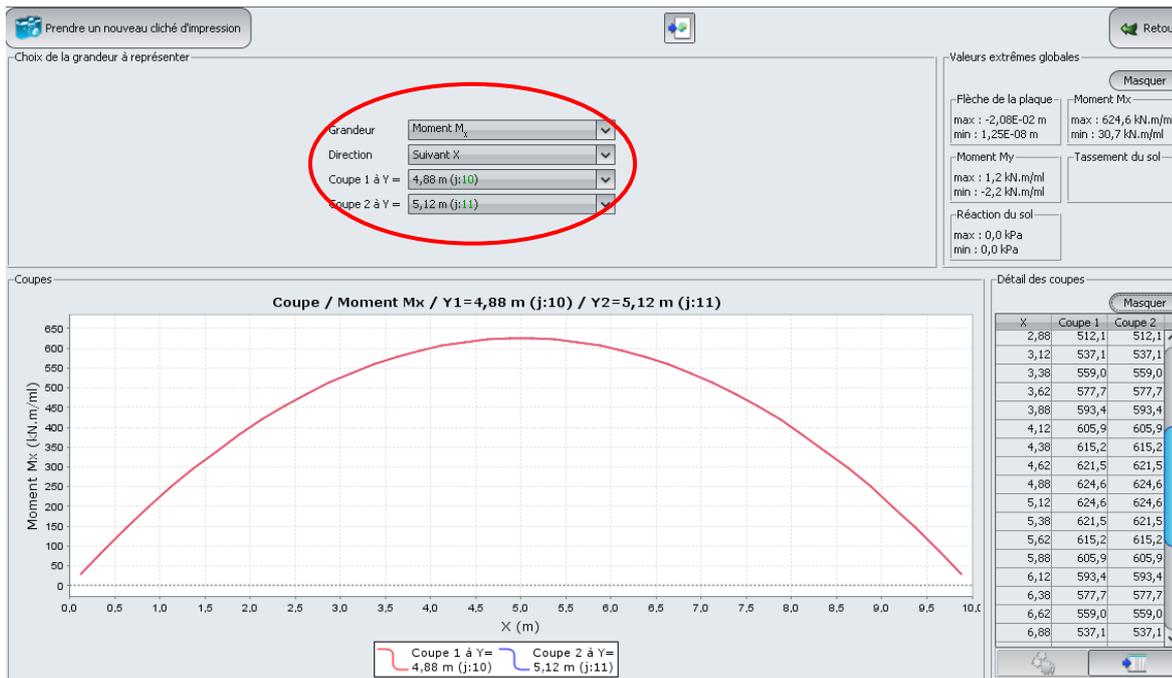
Valeurs extrêmes globales :

- Max : 625 kN.m/ml
- Min : 31 kN.m/ml

Coupe 1 à Y = 4,88 m (j : 10) : en X = 4,88 m / 5,12 m  $M_x$  de 624,6 kN.m/ml

Coupe 5 à Y = 5,12 m (j : 11) : en X = 4,88 m / 5,12 m  $M_x$  de 624,6 kN.m/ml

Les deux coupes sont strictement identiques, la valeur maximale obtenue (625 kN.m/ml) est à comparer à celle obtenue pour une poutre bi-appuyée chargée uniformément (voir §I.3.1.5).



Nota 1 : le moment  $M_x$  représente le moment de flexion autour de l'axe  $-Oy$ , tandis que le moment  $M_y$  représente le moment de flexion autour de l'axe  $+Ox$ .

Nota 2 : un moment positif signifie que la fibre inférieure est en traction.

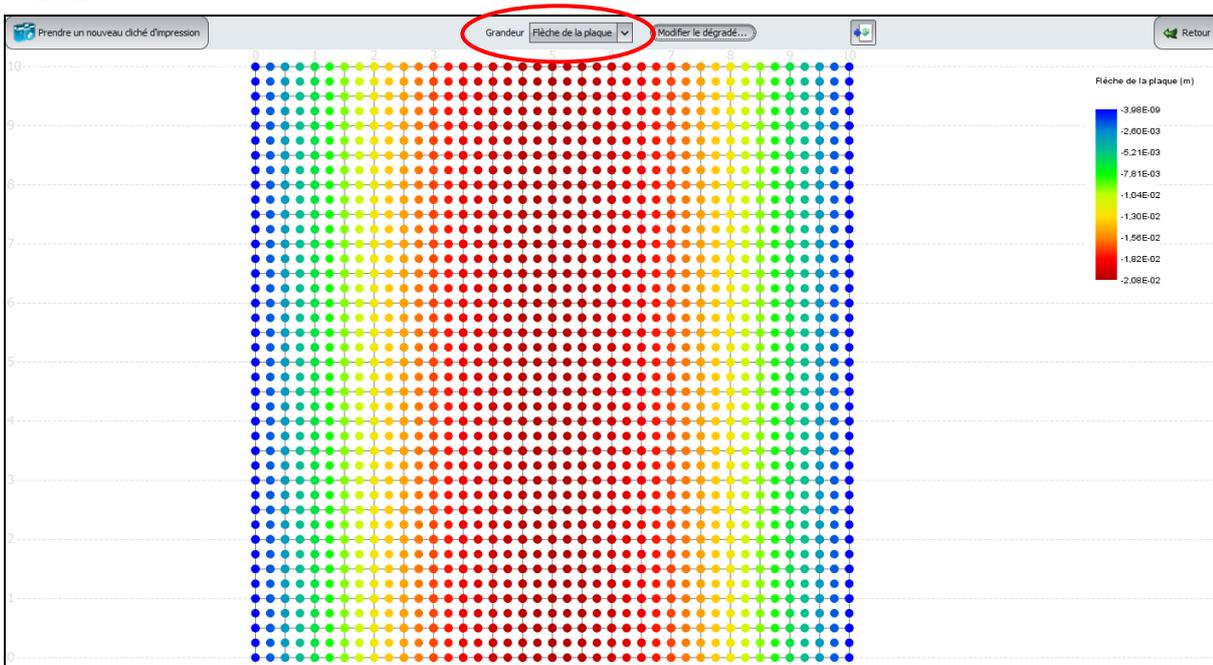
Nuage de points :

La fenêtre comporte en haut une liste déroulante qui permet de choisir la grandeur à visualiser en nuage de points.

L'intérêt de cette fenêtre est d'aider l'utilisateur à visualiser l'évolution d'une grandeur donnée, ce qui permet notamment de choisir les coupes les plus pertinentes.

La légende à droite du nuage de points présente une plage de couleurs qui renvoie chacune à un intervalle d'intensité pour la grandeur sélectionnée.

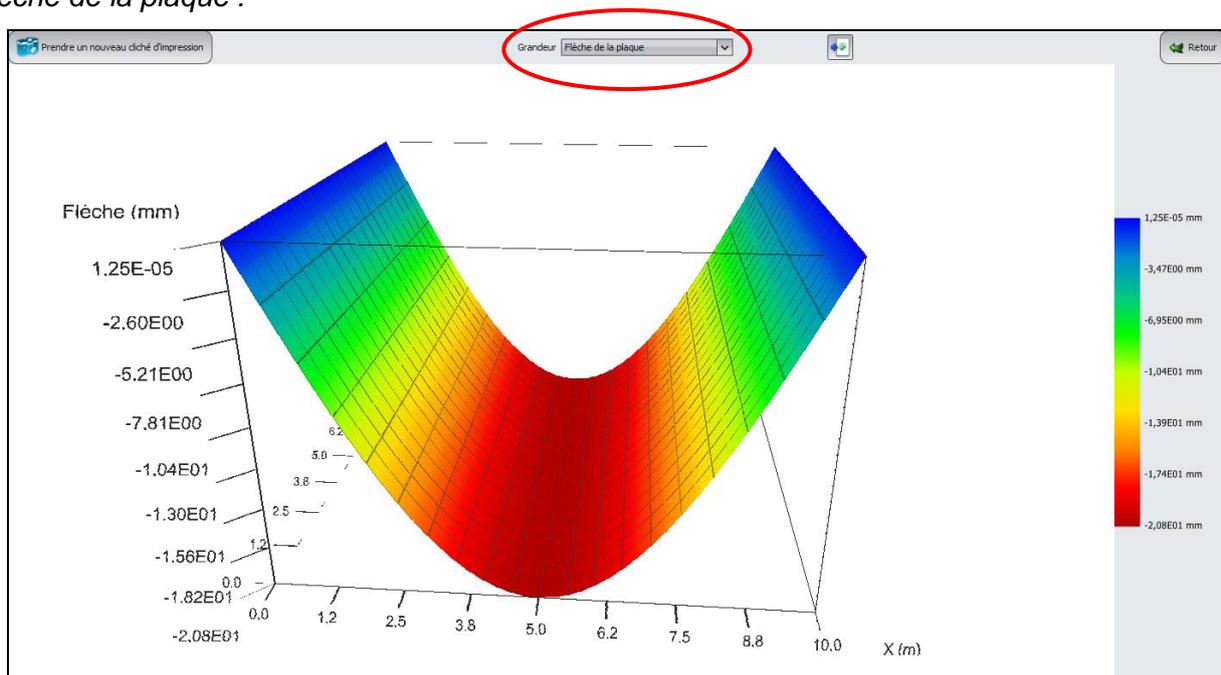
Un bouton **Modifier le dégradé...** permet de modifier le dégradé afin de mettre en valeur certaines caractéristiques.



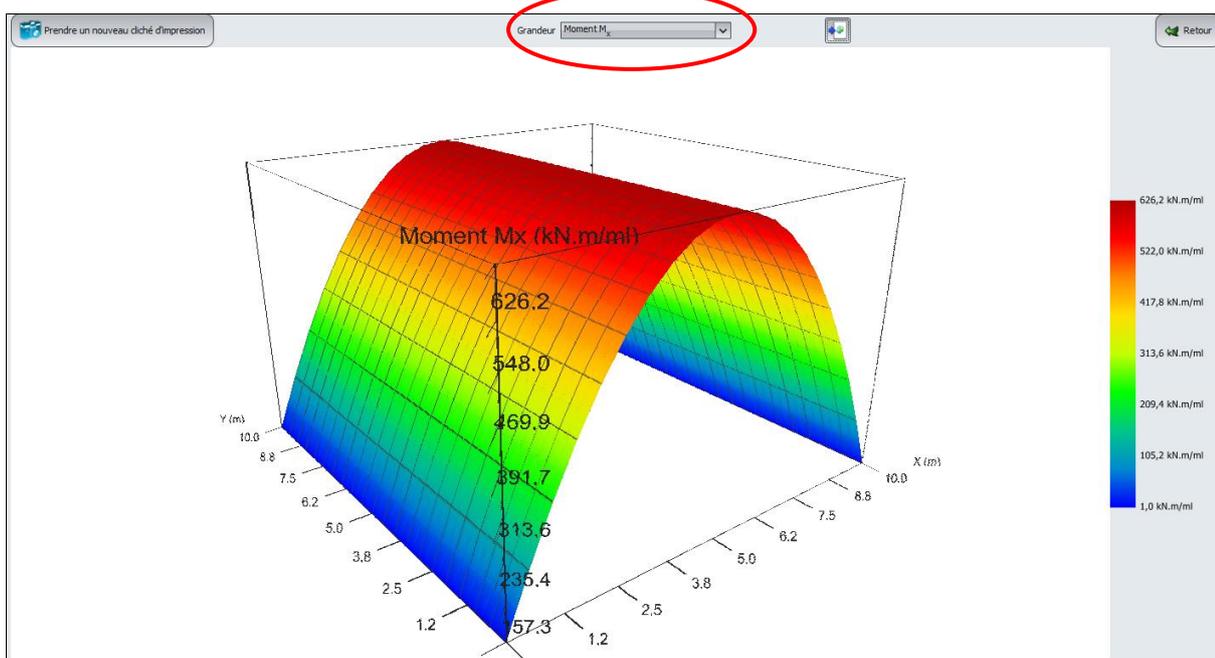
**Graphiques 3D :**

Ce bouton permet de représenter les résultats sous forme de surface tridimensionnelle. Sélectionner la grandeur souhaitée dans la liste déroulante disponible en haut de la fenêtre.

**Flèche de la plaque :**



Moment  $M_x$  :

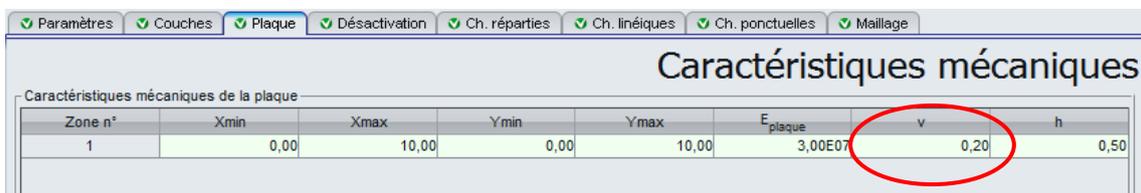


**I.4.1.2. Etape 2 : Plaque appuyée sur 4 côtés**

Pour revenir au mode données, cliquer sur le bouton  puis sur . Enregistrer votre projet sous un autre nom : "Plaque appuyée sur 4 côtés" par exemple.

**I.4.1.2.1. Onglet "Plaque"**

Nous allons modifier pour ce calcul le coefficient de poisson  $\nu$  :  $\nu = 0,2$  (pour l'ensemble de la plaque).



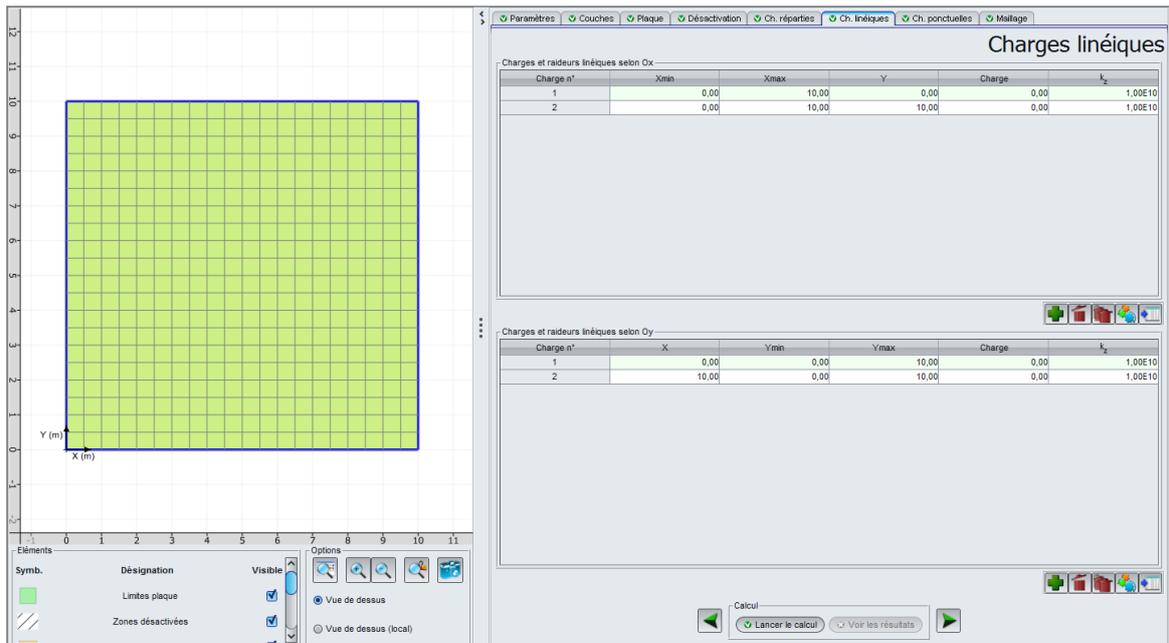
Zone n°	Xmin	Xmax	Ymin	Ymax	E <sub>plaque</sub>	$\nu$	h
1	0,00	10,00	0,00	10,00	3,00E07	0,20	0,50

**I.4.1.2.2. Onglet "Charges linéiques"**

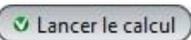
Il convient cette fois de définir des appuis simples sur les 4 côtés (au lieu de 2 dans la première étape).

On rajoute donc deux charges linéiques selon Ox :

Charge n°	X (m)	Ymin (m)	Ymax (m)	Charges (kN/ml)	$k_z$ (kN/m/ml)
1	0,00	0,00	10,00	0,00	1,00E10
2	10,00	0,00	10,00	0,00	1,00E10

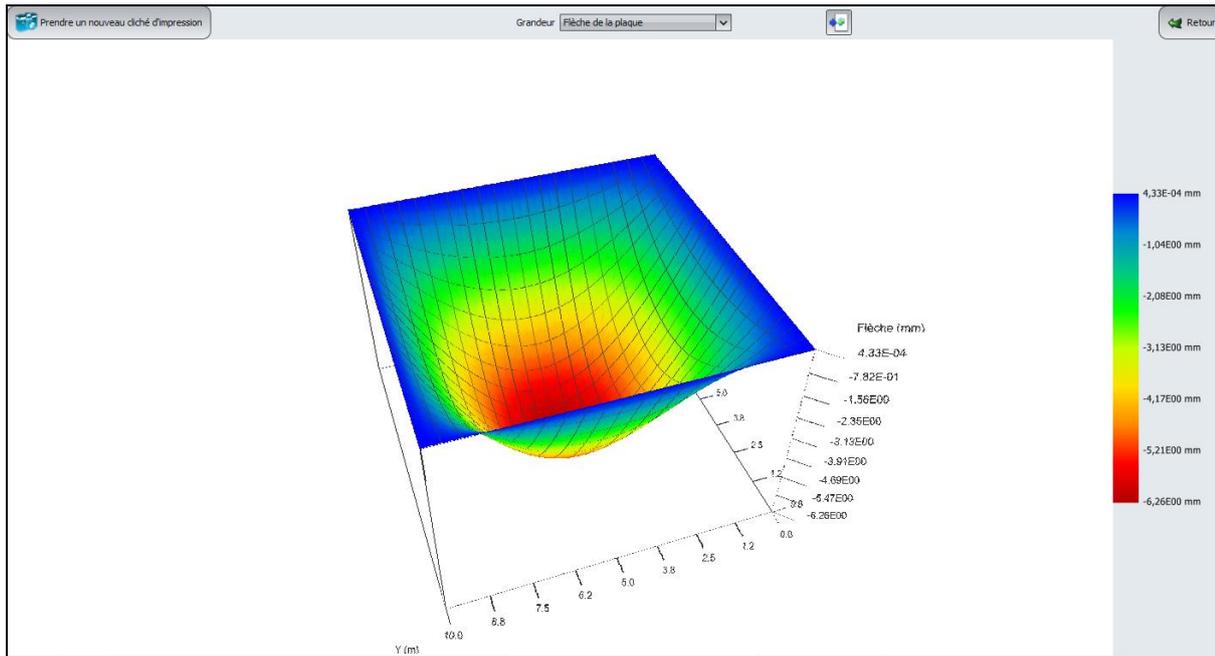


### I.4.1.2.3. Calcul et résultats

Relancer le calcul en cliquant sur le bouton .

- La flèche maximale de la plaque est de 6,3 mm (cf les valeurs extrêmes globales sur l'écran des coupes, par exemple). L'affichage de la flèche en 3D ci-dessous illustre que l'on retrouve bien le comportement d'une plaque sur 4 appuis (déplacements nuls sur les bords notamment).
- Les valeurs maximales des moments  $M_x$  et  $M_y$  sont égales (puisque la plaque est carrée et chargée de manière uniforme), avec un maximum de 221 kN.m/ml. On note que la valeur maximale de  $M_x$  et  $M_y$  donnée dans les valeurs extrêmes globales sur l'écran des coupes est de 220,8 kN.m/ml, tandis que la valeur maximale indiquée pour  $M_x$  et  $M_y$  sur les graphiques 3D est de 221,7 kN.m/ml : ce léger écart s'explique par l'interpolation effectuée pour l'affichage 3D (calcul de la valeur max en X (resp. Y) = 5,0 m), tandis que l'écran des coupes affiche les extrema obtenus parmi les valeurs exactes calculées, c'est-à-dire en l'occurrence en X (resp. Y)= 4,88 m et X (resp. Y)= 5,12 m.

### Résultat 3D : Flèche de la plaque



#### I.4.1.3. Comparaison des résultats

Comparaison des résultats :

	Flèche maximale (cm)		Moment fléchissant $M_x$ (kN.m/ml)	
	Min	Max	Min	Max
Plaque appuyée sur 2 côtés	0,0	-2,08	31	625
Plaque appuyée sur 4 côtés	0,0	-0,63	2,5	221

Le fait d'appuyer la plaque sur ses quatre côtés réduit par un facteur de 3 l'amplitude des moments et déplacements de la plaque par rapport au cas où on l'aurait simplement appuyée sur deux côtés opposés.

On peut comparer les résultats obtenus à ceux qu'on obtiendrait en se référant aux solutions analytiques fournies dans les Techniques de l'ingénieur (voir ci-après). Pour le premier cas, le modèle est celui d'une poutre bi-appuyée, le deuxième c'est celui d'une plaque carrée appuyée sur ses quatre côtés :

Une parfaite concordance est à souligner entre les deux résultats.

Tableau 1 : comparaison des résultats obtenus – cas de la poutre appuyée sur 2 côtés opposés :

	Moment maximal (kN.m/ml)	Flèche maximale (mm)
Résultat TASPLAQ	625	20,8
Valeur de référence (techniques de l'ingénieur)	625	20,8

Tableau 2 : comparaison des résultats obtenus – cas de la poutre appuyée sur 4 côtés :

	Moment maximal (kN.m/ml)	Flèche maximale (mm)
Résultat TASPLAQ	221	6,26
Valeur de référence (techniques de l'ingénieur)	221	6,24

Les deux figures ci-après rappellent les solutions analytiques fournies dans le formulaire de Techniques de l'ingénieur :

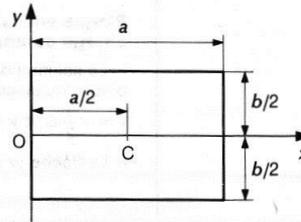
Type	Charges	Réactions	Éléments de réduction dans une		section tranchant	Ligne élastique. Flèches
			Moment	Effort		
			Diagramme	Équations	Équations	
		$R_A = p\ell$		$M = -\frac{px^2}{2}$ $M_B = 0$ $M_A = -\frac{p\ell^2}{2}$		$T = px_1$ $v = -\frac{px^2}{24EI} (6\ell^2 - 4\ell x + x^2)$ $v_A = 0$ $v_B = -\frac{p\ell^4}{8EI}$
		$R_A = P$		$M = -Px_1$ $M_B = 0$ $M_A = -P\ell$		$T = P$ $v = -\frac{P}{6EI} x^2 (3\ell - x)$ $v_A = 0$ $v_B = -\frac{P\ell^3}{3EI}$
I		$R_A = P$		B à C : $M = 0$ C à A : $M = P(x - a)$ $M_C = 0$ $M_A = -Pa$		$B \text{ à } C : T = 0$ $C \text{ à } A : T = P$ $A \text{ à } C : v = -\frac{P}{6EI} x^2 (3a - x)$ $C \text{ à } B : v = -\frac{P}{6EI} x^2 (3x - a)$ $v_B = -\frac{P}{6EI} a^2 (3\ell - a)$
		$R_A = \frac{p_1\ell}{2}$		$M = -\frac{p_1 x^2}{6\ell}$ $M_B = 0$ $M_A = -\frac{p_1 \ell^2}{6}$		$T = \frac{p_1 x^2}{2\ell}$ $v = -\frac{p_1 \ell^4}{120EI} \left[ 4 - 5\frac{x_1}{\ell} + \left(\frac{x_1}{\ell}\right)^5 \right]$ $v_A = -\frac{p_1 \ell^4}{120EI}$
II		$R_A = R_B = \frac{p\ell}{2}$		$M = \frac{pX}{2} (\ell - x)$ $M_0 = \frac{p\ell^2}{8}$		$T = p \left( \frac{\ell}{2} - x \right)$ $v = -\frac{p}{24EI} x (\ell - x) (\ell^2 + \ell x - x^2)$ $v_0 = -\frac{5}{384} \frac{p \ell^4}{EI}$

Form. C 2 061 - 6

Extrait du formulaire de Techniques de l'ingénieur – Cas d'une poutre bi appuyée

Tableau LI. – Plaques rectangulaires appuyées sur 4 côtés.

La plaque est simplement appuyée sur ses côtés  
 $x = 0, x = a, y = -\frac{1}{2}b, y = \frac{1}{2}b$   
 On pose:  $\rho = \frac{a}{b}$  et  $\lambda = \frac{m\pi b}{2a} = \frac{m\pi}{2\rho}$



**Plaque supportant une densité de charge constante  $p$  sur toute sa surface.**

• La flèche  $w$  au centre C de la plaque a pour valeur:

$$w = -\frac{5pa^2b^2}{384D} f(\rho) = -\frac{5pa^4}{384D} g(\rho) = -\frac{5pb^4}{384D} h(\rho)$$

avec:  $g(\rho) = 1 - \frac{768}{5} \sum_m \frac{1}{m^5 \pi^5} \left( \frac{2 + \lambda \operatorname{th} \lambda}{\operatorname{ch} \lambda} \right) \sin \frac{m\pi}{2}$

$$f(\rho) = \rho^2 g(\rho), \quad h(\rho) = \rho^2 f(\rho), \quad f\left(\frac{1}{\rho}\right) = f(\rho), \quad g\left(\frac{1}{\rho}\right) = h(\rho)$$

On peut donc supposer  $\rho < 1$ .

$\rho$	$f(\rho)$	$g(\rho)$	$h(\rho)$
0	0	1	0
0,1	0,01000	1,00000	0,00010
0,2	0,03985	0,99616	0,00159
0,3	0,08652	0,96135	0,00779
0,4	0,14126	0,88288	0,02260
0,5	0,19447	0,77788	0,04862
0,6	0,23963	0,66565	0,08627
0,7	0,27370	0,55857	0,13411
0,8	0,29624	0,46288	0,18959
0,9	0,30839	0,38073	0,24979
1	0,31199	0,31199	0,31199

• Les moments fléchissants au centre C de la plaque ont pour valeurs:

$$M_1 = pab [F(\rho) + \nu G(\rho)] \quad \text{et} \quad M_2 = pab [\nu F(\rho) + G(\rho)]$$

avec 
$$\begin{cases} F(\rho) = \rho \left[ \frac{1}{8} - \sum_m \frac{2}{m^3 \pi^3} \left( \frac{2 + \lambda \operatorname{th} \lambda}{\operatorname{ch} \lambda} \right) \sin \frac{m\pi}{2} \right] \\ G(\rho) = \sum_m \frac{1}{m^3 \pi^3} \left( \frac{\operatorname{th} \lambda}{\operatorname{ch} \lambda} \right) \sin \frac{m\pi}{2} \end{cases}$$

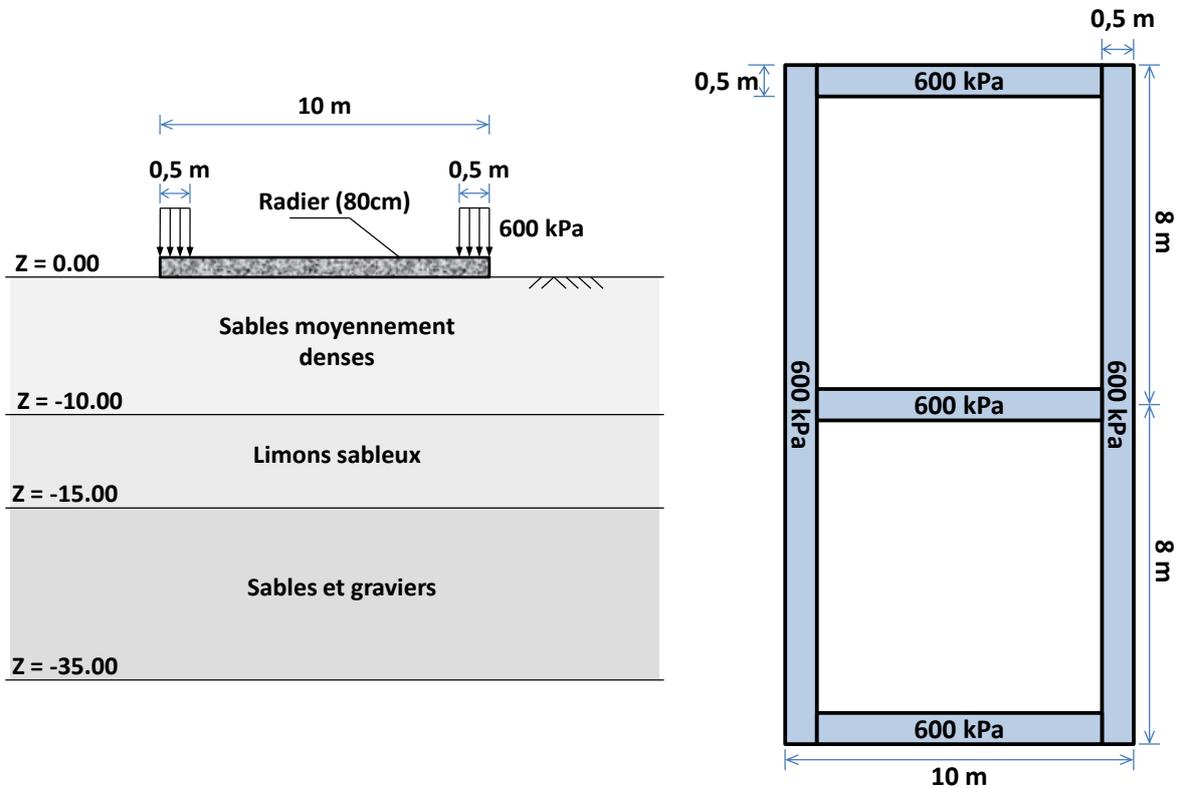
En permutant  $a$  et  $b$ , on voit que  $F\left(\frac{1}{\rho}\right) = G(\rho)$ ; on peut donc supposer  $\rho < 1$ .

$\rho$	$F(\rho)$	$G(\rho)$	$\rho$	$F(\rho)$	$G(\rho)$
0	0	0	0,55	0,049086	0,011532
0,05	0,006250	0,000000	0,60	0,049229	0,014540
0,10	0,012500	0,000000	0,65	0,048771	0,017638
0,15	0,018743	0,000006	0,70	0,047821	0,020749
0,20	0,024901	0,000079	0,75	0,046484	0,023805
0,25	0,030751	0,000378	0,80	0,044853	0,026755
0,30	0,036010	0,001078	0,85	0,043009	0,029557
0,35	0,040457	0,002277	0,90	0,041021	0,032183
0,40	0,043980	0,003988	0,95	0,039047	0,034619
0,45	0,046586	0,006159	1	0,036836	0,036836
0,50	0,048230	0,008706			

Extrait du formulaire de Techniques de l'ingénieur – cas d'une plaque appuyée sur ses 4 côtés

### I.4.2. Exemple 2 : Radiers sous chargements localisés

Cet exemple concerne l'étude d'un radier rectangulaire homogène de dimensions 10 m x 16 m soumis à un chargement localisé représentatif de voiles périphériques et d'un voile central de séparation. Les données du problème sont décrites dans la figure ci-dessous :



#### I.4.2.1. Etape 1 : Radier isolé

A l'ouverture de l'application, Foxta propose :

- de créer un nouveau projet
- d'ouvrir un projet existant
- d'ouvrir automatiquement le dernier projet utilisé.

Dans le cas de cet exemple :

- Choisir de créer un nouveau projet en sélectionnant le radio-bouton  Nouveau projet
- Cliquer sur le bouton .

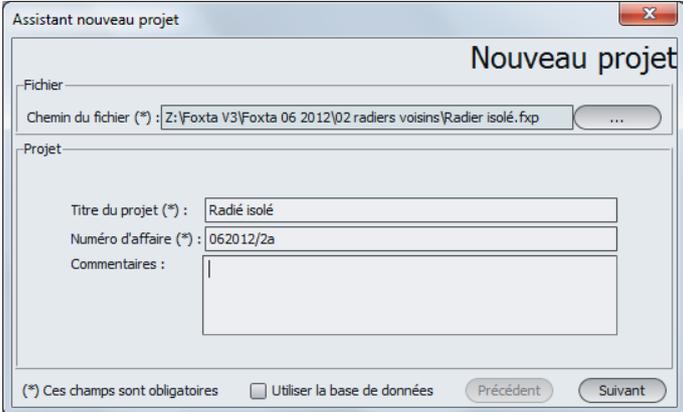
##### I.4.2.1.1. Assistant Nouveau projet

Cadre "Fichier" :

- Renseigner le chemin du projet en cliquant sur le bouton
- Donner un nom au fichier et l'enregistrer.

### Cadre "Projet" :

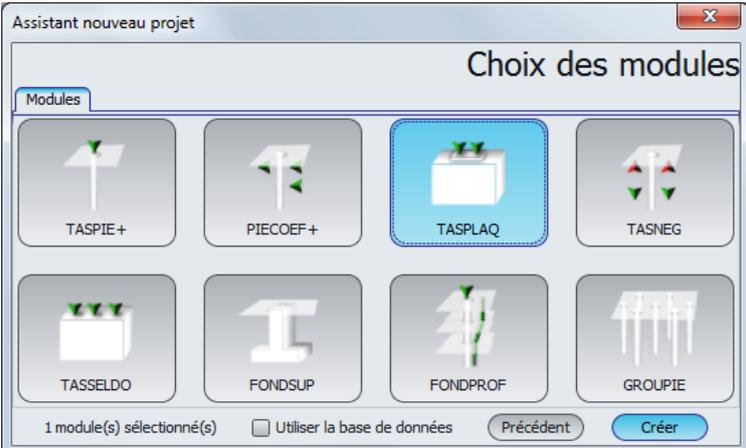
- Donner un titre au projet
- Saisir un numéro d'affaire
- Compléter avec un commentaire si besoin
- Laisser la case "Utiliser la base de données" décochée (nous n'utiliserons pas la base de données pour cet exemple), et cliquer sur le bouton **Suivant** .



The screenshot shows the 'Assistant nouveau projet' dialog box with the 'Nouveau projet' tab selected. The 'Fichier' section contains the file path 'Z:\Foxta V3\Foxta 06 2012\02 radiers voisins\Radier isolé.fxp'. The 'Projet' section has three input fields: 'Titre du projet (\*)' with 'Radié isolé', 'Numéro d'affaire (\*)' with '062012/2a', and an empty 'Commentaires' text area. At the bottom, there is a checkbox for 'Utiliser la base de données' which is unchecked, and buttons for 'Précédent' and 'Suivant'.

### Assistant Nouveau projet : Choix des modules

Sélectionner le module TASPLAQ puis cliquer sur le bouton **Créer** .

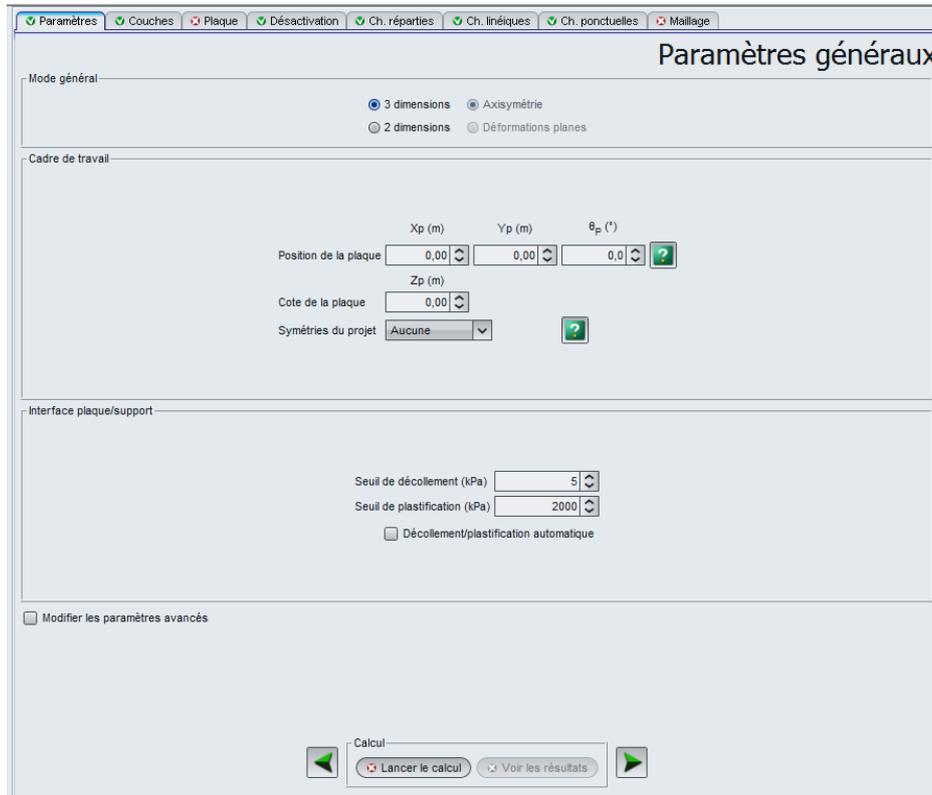


The screenshot shows the 'Assistant nouveau projet' dialog box with the 'Choix des modules' tab selected. It displays a grid of eight module icons: TASPIE+, PIECOEF+, TASPLAQ (highlighted with a blue border), TASNEG, TASSEDO, FONDSUP, FONDPROF, and GROUPIE. At the bottom, it shows '1 module(s) sélectionné(s)', an unchecked checkbox for 'Utiliser la base de données', and buttons for 'Précédent' and 'Créer'.

Ouvrir le module TASPLAQ puis compléter les différents onglets de données proposés.

### I.4.2.1.2. Onglet "Paramètres"

Cet onglet contient quatre cadres différents :



#### Cadre "Mode général" :

Le problème étudié étant tridimensionnel, cliquer sur le radio-bouton "3 dimensions".

#### Cadre "Cadre de travail" :

- Position de la plaque :  
Dans cet exemple, le repère local de la plaque représentative du radier est pris identique au repère global du modèle. Le point (0,0) représente le coin "bas-gauche" du modèle.

$X_p$ (m)	$Y_p$ (m)	$\theta_p$ (°)
0.0	0.0	0.0

- Cote de la plaque :  $Z_p = 0.0$  m (cote de référence = cote de la sous-face du radier).
- Symétrie de projet : Aucune

#### Cadre "Interface plaque/support" :

Ce cadre permet d'activer la gestion automatique des critères de décollement et de plastification à l'aide de critères définis par l'utilisateur. Les valeurs par défaut sont conservées dans cet exemple (option désactivée).

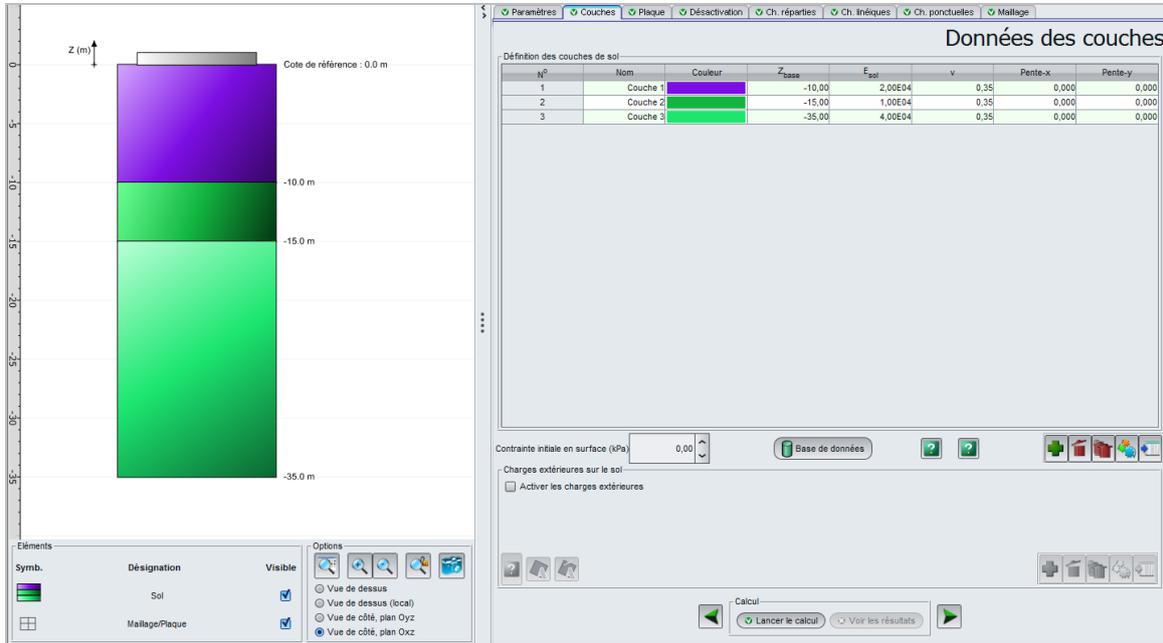
Seuil de décollement	5 kPa
Seuil de plastification	2000 kPa

- Décollement/plastification automatique : Décochée
- Modifier les paramètres avancés : Décochée

Pour passer à l'onglet suivant, cliquer soit sur le nom de l'onglet "Couches", soit sur le bouton .

### 1.4.2.1.3. Onglet "Couches"

Cet onglet contient deux cadres différents :



#### Cadre "Définition des couches de sol" :

Cliquer sur le bouton  pour créer chacune des 3 couches.

Le sol sera modélisé ici comme un massif multicouche élastique (3 couches). Les données à saisir pour les différentes couches de sol sont les suivantes :

Nom	Z <sub>base</sub> (m)	E <sub>sol</sub> (kPa)	v	Pente-x	Pente-y
Couche 1	-10,00	2,00E+04	0,35	0,00	0,00
Couche 2	-15,00	1,00E+04	0,35	0,00	0,00
Couche 3	-35,00	4,00E+04	0,35	0,00	0,00

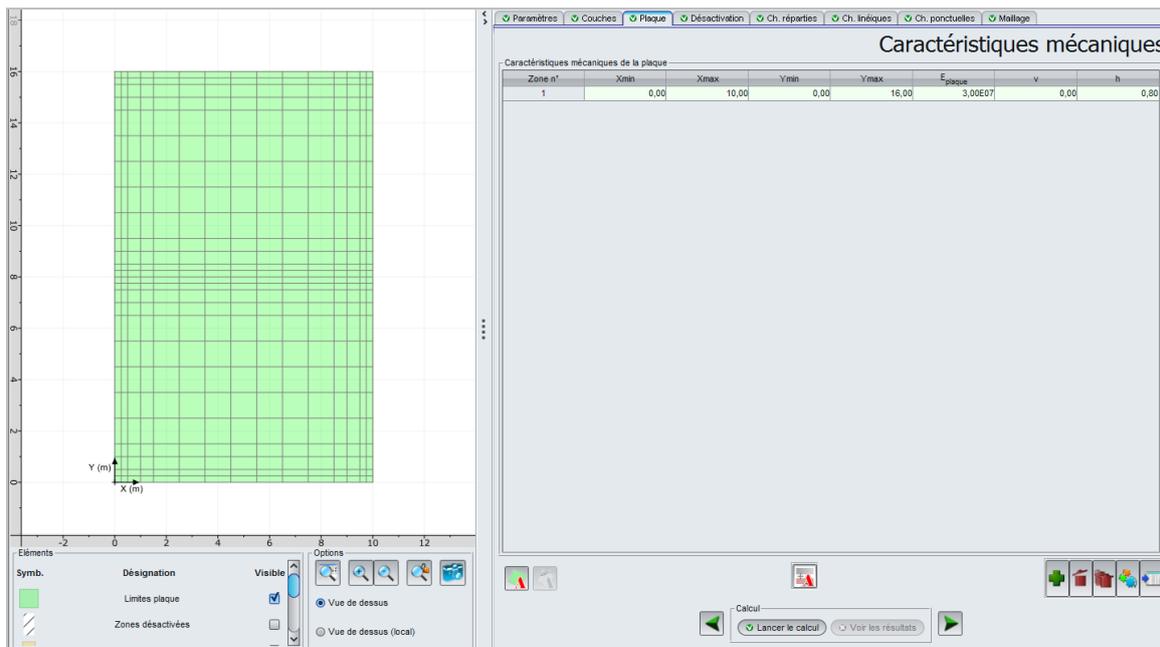
- Contrainte initiale en surface : 0 kPa

#### Cadre "Charge extérieure sur le sol" :

- Activer les charges extérieures : Décochée

### 1.4.2.1.4. Onglet "Plaque"

Dans cet exemple le radier est homogène et continu. Pour définir ses caractéristiques, il suffit donc de définir une seule zone avec X<sub>min</sub> = 0, X<sub>max</sub> = 10 m / Y<sub>min</sub> = 0, Y<sub>max</sub> = 16 m.



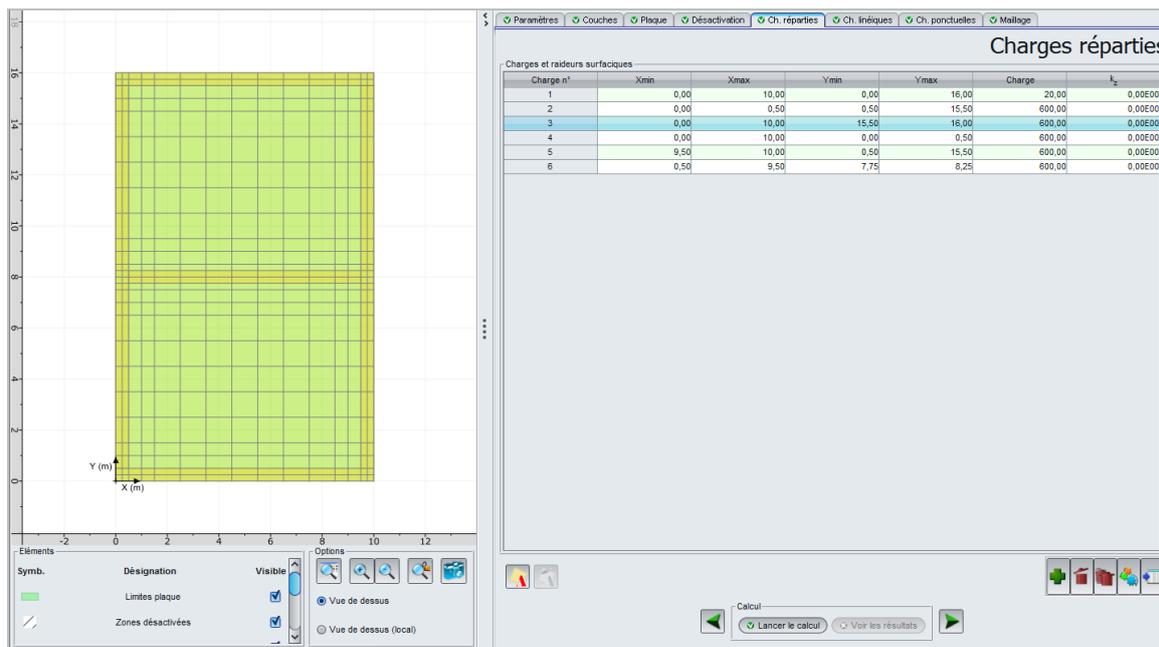
Les données à saisir sont les suivantes :

Zone n°	Xmin (m)	Xmax (m)	Ymin (m)	Ymax (m)	E <sub>plaque</sub> (kPa)	ν	h (m)
1	0,00	10,00	0,00	16,00	3,00E+07	0,00	0,80

Le choix d'un coefficient de Poisson nul s'explique par l'hypothèse d'un radier constitué en béton armé.

#### 1.4.2.1.5. Onglet "Charges réparties"

Le chargement inclut le poids propre du radier sur toute la surface (20 kPa) de la plaque et les charges amenées par les voiles (600 kPa sur des bandes de 50 cm de large).



- Renseigner manuellement la valeur de la charge sur chaque ligne (20 kPa pour la charge généralisée, et 600 kPa pour les zones correspondant aux voiles) :

Charge n°	Xmin (m)	Xmax (m)	Ymin (m)	Ymax (m)	Charge (kPa)	k <sub>z</sub> (kPa/m)
1	0,00	10	0,00	16,00	20	0
2	0,00	0,50	0,50	15,50	600	0
3	0,00	10,00	15,50	16,00	600	0
4	0,00	10,00	0,00	0,50	600	0
5	9,50	10,00	0,50	15,50	600	0
6	0,50	9,50	7,75	8,25	600	0

Nota : il convient de noter que si plusieurs chargements sont définis sur la même zone, alors ils s'additionnent. Ainsi, dans le calcul, les zones de chargement représentatives des voiles se voient au final attribuer une charge totale de 620 kPa.

#### 1.4.2.1.6. Onglet "Charges linéiques"

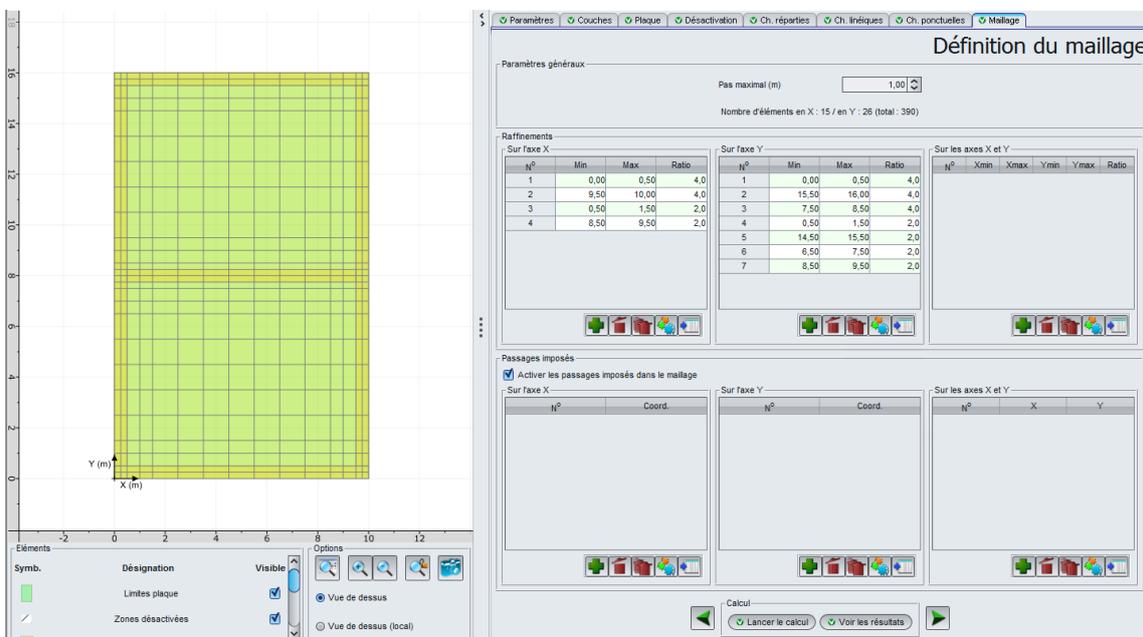
Il n'y a pas de charges linéiques dans cet exemple.

#### 1.4.2.1.7. Onglet "Charges ponctuelles"

Il n'y a pas de charges ponctuelles dans cet exemple.

#### 1.4.2.1.8. Onglet "Maillage"

Le maillage est défini ici avec un pas maximal de 1 mètre et un raffinement progressif autour des zones de chargement.



Le ratio est le taux de raffinement par rapport au pas maximal. Il sert à déterminer le pas maximal appliqué localement dans la zone raffinée.

Le fait, par exemple, d'imposer un ratio égal à 4 au droit des zones chargées implique un pas maximal de  $1 / 4 = 0,25$  m au droit de ces zones dans les directions considérées.

Les données à saisir sont les suivantes :

- Pas maximal = 1 m

Raffinements sur l'axe X :

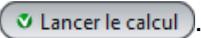
N°	Min (m)	Max (m)	Ratio
1	0,00	0,50	4,0
2	9,50	10,00	4,0
3	0,50	1,50	2,0
4	8,50	9,50	2,0

Raffinements sur l'axe Y :

N°	Min (m)	Max (m)	Ratio
1	0,00	0,50	4,0
2	15,50	16,00	4,0
3	7,50	8,50	4,0
4	0,50	1,50	2,0
5	14,50	15,50	2,0
6	6,50	7,50	2,0
7	8,50	9,50	2,0

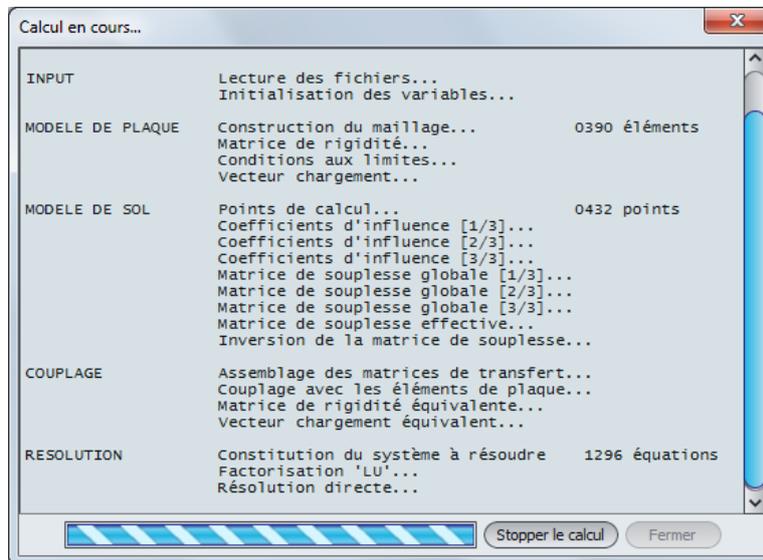
### I.4.2.1.9. Calcul et résultats

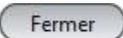
#### Calcul

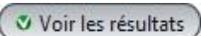
Cliquer sur le bouton .

Un clic sur ce bouton lancera le calcul et affichera la fenêtre suivante :

Cette fenêtre permet de visualiser l'avancement du moteur de calcul.



Cliquer sur le bouton  pour fermer la fenêtre à la fin du calcul.

Pour accéder aux résultats sous forme de tableaux et de graphiques, cliquer sur le bouton .

#### Résultats

Ci-dessous les différents types de résultats disponibles (numériques et graphiques) :



**Résultats numériques :**

**Résultats formatés :**

Cet affichage contient un récapitulatif des options de calcul, des données de départ et des résultats.

Efforts tranchants (COORDONNEES LOCALES)			
Xt	Yt	Tx	Ty
0.125	0.125	13.533	13.187
0.375	0.125	16.986	-15.437
0.750	0.125	44.136	-25.909
1.250	0.125	43.505	-19.295
2.000	0.125	32.417	-38.071
3.000	0.125	16.673	-30.722
4.000	0.125	6.896	-27.238
5.000	0.125	0.000	-26.640
6.000	0.125	-6.896	-27.238
7.000	0.125	-16.673	-30.722
8.000	0.125	-32.417	-38.071
8.750	0.125	-43.505	-19.295
9.250	0.125	-44.136	-25.909
9.625	0.125	-16.986	-15.437
9.875	0.125	-13.533	13.187
0.125	0.375	-15.132	14.737
0.375	0.375	23.781	21.397
0.750	0.375	53.775	48.917
1.250	0.375	60.003	59.801
2.000	0.375	37.401	77.110
3.000	0.375	18.229	78.640
4.000	0.375	7.302	80.623
5.000	0.375	0.000	81.482
6.000	0.375	-7.302	80.623
7.000	0.375	-18.229	78.640
8.000	0.375	-37.401	77.110
8.750	0.375	-60.003	59.801
9.250	0.375	-53.775	48.917
9.625	0.375	-23.781	21.397
9.875	0.375	15.132	14.737
0.125	0.750	-25.663	38.234
0.375	0.750	51.144	47.736
0.750	0.750	77.729	71.771
1.250	0.750	53.986	86.106
2.000	0.750	35.452	110.447
3.000	0.750	18.804	113.945
4.000	0.750	7.900	116.265
5.000	0.750	0.000	117.205
6.000	0.750	-7.900	116.265
7.000	0.750	-18.804	113.945
8.000	0.750	-35.452	110.447
8.750	0.750	-53.986	86.106
9.250	0.750	-77.729	71.771
9.625	0.750	-51.144	47.736
9.875	0.750	25.663	38.234
0.125	1.250	-19.372	32.151
0.375	1.250	62.002	48.165
0.750	1.250	92.083	42.289
1.250	1.250	63.298	51.630
2.000	1.250	38.812	66.268
3.000	1.250	20.576	74.699
4.000	1.250	8.831	78.030
5.000	1.250	0.000	78.976
6.000	1.250	-8.831	78.030
9.250	14.750	-92.083	-42.289
9.625	14.750	-62.002	-48.165
9.875	14.750	19.372	-32.151
0.125	15.250	-25.663	-38.234
0.375	15.250	51.144	-47.736
0.750	15.250	77.729	-71.771
1.250	15.250	53.986	-86.106
2.000	15.250	35.452	-110.447
3.000	15.250	18.804	-113.945
4.000	15.250	7.900	-116.265
5.000	15.250	0.000	-117.205
6.000	15.250	-7.900	-116.265
7.000	15.250	-18.804	-113.945
8.000	15.250	-35.452	-110.447
8.750	15.250	-53.986	-86.106
9.250	15.250	-77.729	-71.771
9.625	15.250	-51.144	-47.736
9.875	15.250	25.663	-38.234
0.125	15.625	-15.132	-14.737
0.375	15.625	23.781	-21.397
0.750	15.625	53.775	-48.917
1.250	15.625	60.003	-59.801
2.000	15.625	37.401	-77.110
3.000	15.625	18.229	-78.640
4.000	15.625	7.302	-80.623
5.000	15.625	0.000	-81.482
6.000	15.625	-7.302	-80.623
7.000	15.625	-18.229	-78.640
8.000	15.625	-37.401	-77.110
8.750	15.625	-60.003	-59.801
9.250	15.625	-53.775	-48.917
9.625	15.625	-23.781	-21.397
9.875	15.625	15.132	-14.737
0.125	15.875	13.533	-13.187
0.375	15.875	16.986	15.437
0.750	15.875	44.136	25.909
1.250	15.875	43.505	19.295
2.000	15.875	32.417	38.071
3.000	15.875	16.673	30.722
4.000	15.875	6.896	27.238
5.000	15.875	0.000	26.640
6.000	15.875	-6.896	27.238
7.000	15.875	-16.673	30.722
8.000	15.875	-32.417	38.071
8.750	15.875	-43.505	19.295
9.250	15.875	-44.136	25.909
9.625	15.875	-16.986	15.437
9.875	15.875	-13.533	-13.187
TxMax+	0.750	10.000	127.089
TxMax-	9.250	10.000	-127.089
TyMax+	8.000	8.375	144.787
TyMax-	2.000	7.625	-144.787

Tableaux de résultats :

Tassement et réaction aux noeuds				Flèche de la plaque			Moments fléchissants						
TassMax+	TassMax-	rmax+	rmax-	Wmax+	Wmax-	MxMax+	MxMax-	MyMax+	MyMax-	h			
-5,01E-02	-4,72E-02	4294,4	60,2			7,7	-196,4	287,6	-111,1				
Xn	Yn	s	r	Xe	Ye	w	Xm	Ym	Mx	My	h		
0,00	0,00	-4,82E-02	4294,4	0,00	0,00	-4,82E-02	0,06	0,06	-12,2	-12,2	0,80		
0,25	0,00	-4,82E-02	1168,1	0,12	0,00	-4,82E-02	0,19	0,06	-20,9	-7,7	0,80		
0,50	0,00	-4,81E-02	1213,0	0,25	0,00	-4,82E-02	0,31	0,06	-23,3	-4,6	0,80		
1,00	0,00	-4,79E-02	1067,5	0,25	0,00	-4,82E-02	0,44	0,06	-26,8	-2,9	0,80		
1,50	0,00	-4,77E-02	985,1	0,38	0,00	-4,81E-02	0,62	0,06	-35,1	-1,4	0,80		
2,50	0,00	-4,74E-02	901,7	0,50	0,00	-4,81E-02	0,88	0,06	-46,8	0,0	0,80		
3,50	0,00	-4,73E-02	859,2	0,50	0,00	-4,81E-02	1,12	0,06	-61,8	1,0	0,80		
4,50	0,00	-4,72E-02	839,3	0,75	0,00	-4,80E-02	1,38	0,06	-70,7	1,7	0,80		
5,50	0,00	-4,72E-02	839,3	1,00	0,00	-4,79E-02	1,75	0,06	-84,9	2,2	0,80		
6,50	0,00	-4,73E-02	859,2	1,00	0,00	-4,79E-02	2,25	0,06	-100,0	2,5	0,80		
7,50	0,00	-4,74E-02	901,7	1,25	0,00	-4,78E-02	2,75	0,06	-112,8	2,7	0,80		
8,50	0,00	-4,77E-02	985,1	1,50	0,00	-4,77E-02	3,25	0,06	-120,8	2,7	0,80		
9,00	0,00	-4,79E-02	1067,5	1,50	0,00	-4,77E-02	3,75	0,06	-126,4	2,7	0,80		
9,50	0,00	-4,81E-02	1213,0	2,00	0,00	-4,76E-02	4,25	0,06	-129,9	2,7	0,80		
9,75	0,00	-4,82E-02	1168,1	2,50	0,00	-4,74E-02	4,75	0,06	-131,5	2,7	0,80		
10,00	0,00	-4,82E-02	4294,4	2,50	0,00	-4,74E-02	5,25	0,06	-131,5	2,7	0,80		
0,00	0,25	-4,83E-02	1177,1	3,00	0,00	-4,73E-02	5,75	0,06	-129,9	2,7	0,80		
0,25	0,25	-4,82E-02	156,6	3,50	0,00	-4,73E-02	6,25	0,06	-126,4	2,7	0,80		
0,50	0,25	-4,81E-02	204,4	3,50	0,00	-4,73E-02	6,75	0,06	-120,8	2,7	0,80		
1,00	0,25	-4,79E-02	170,1	4,00	0,00	-4,72E-02	7,25	0,06	-112,8	2,7	0,80		
1,50	0,25	-4,77E-02	153,0	4,50	0,00	-4,72E-02	7,75	0,06	-100,0	2,5	0,80		
2,50	0,25	-4,73E-02	138,3	4,50	0,00	-4,72E-02	8,25	0,06	-84,9	2,2	0,80		
3,50	0,25	-4,73E-02	130,5	5,00	0,00	-4,71E-02	8,62	0,06	-70,7	1,7	0,80		
4,50	0,25	-4,72E-02	127,2	5,50	0,00	-4,72E-02	8,88	0,06	-61,8	1,0	0,80		
5,50	0,25	-4,72E-02	127,2	5,50	0,00	-4,72E-02	9,12	0,06	-46,8	0,0	0,80		
6,50	0,25	-4,73E-02	130,5	6,00	0,00	-4,72E-02	9,38	0,06	-35,1	-1,4	0,80		
7,50	0,25	-4,79E-02	138,3	6,50	0,00	-4,73E-02	9,56	0,06	-26,8	-2,9	0,80		
8,50	0,25	-4,77E-02	153,0	6,50	0,00	-4,73E-02	9,69	0,06	-23,3	-4,6	0,80		
9,00	0,25	-4,79E-02	170,1	7,00	0,00	-4,73E-02	9,81	0,06	-20,9	-7,7	0,80		
9,50	0,25	-4,81E-02	204,4	7,50	0,00	-4,74E-02	9,94	0,06	-12,2	-12,2	0,80		
9,75	0,25	-4,82E-02	156,6	7,50	0,00	-4,74E-02	0,06	0,19	-7,7	-20,8	0,80		
10,00	0,25	-4,83E-02	1177,1	8,00	0,00	-4,76E-02	0,19	0,19	-14,0	-13,8	0,80		
0,00	0,50	-4,83E-02	1227,0	8,50	0,00	-4,77E-02	0,31	0,19	-17,1	-8,5	0,80		
0,25	0,50	-4,82E-02	205,1	8,50	0,00	-4,77E-02	0,44	0,19	-23,3	-4,7	0,80		
0,50	0,50	-4,81E-02	227,5	8,75	0,00	-4,78E-02	0,62	0,19	-31,3	-1,1	0,80		

Résultats graphiques : flèche de la plaque

Coupe graphiques :

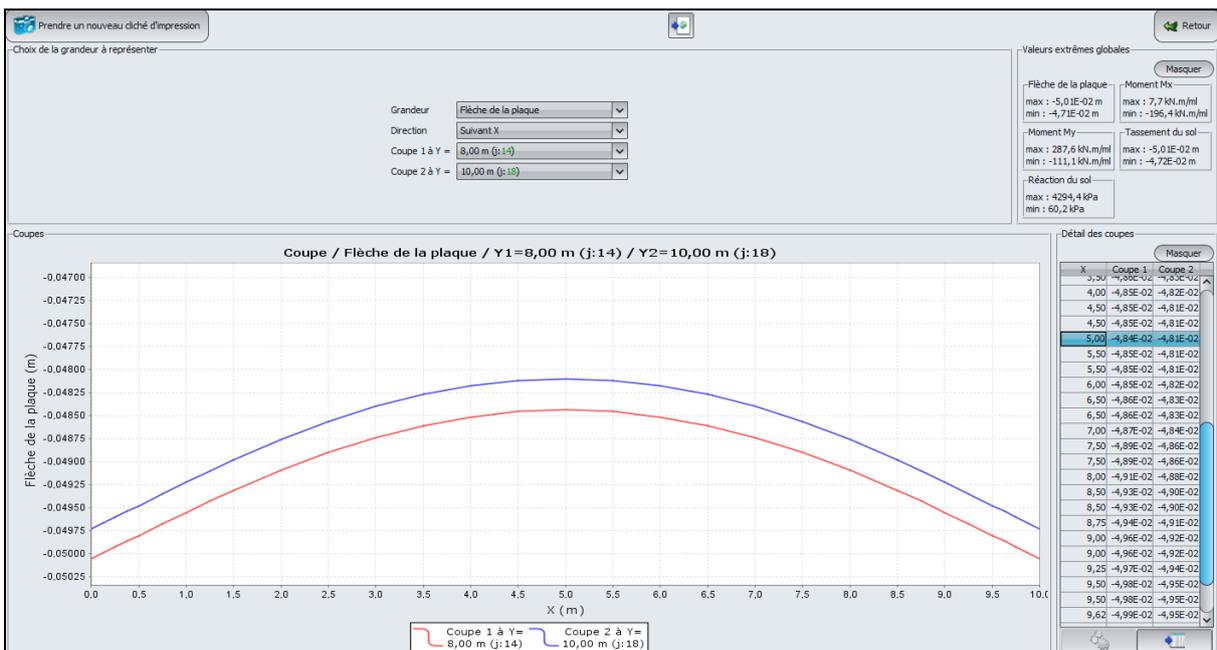
Valeurs extrêmes globales :

- Max : -5,01E-02 m (soit -5,01 cm)
- Min : -4,71E-02 m (soit -4,71 cm)

Coupe graphique suivant X avec :

Coupe 1 à Y = 8,00 m (j : 14) : en X = 5,00 m Flèche = - 4,84 cm

Coupe 2 à Y = 10,00 m (j : 18) : en X = 5,00 m Flèche = - 4,81 cm

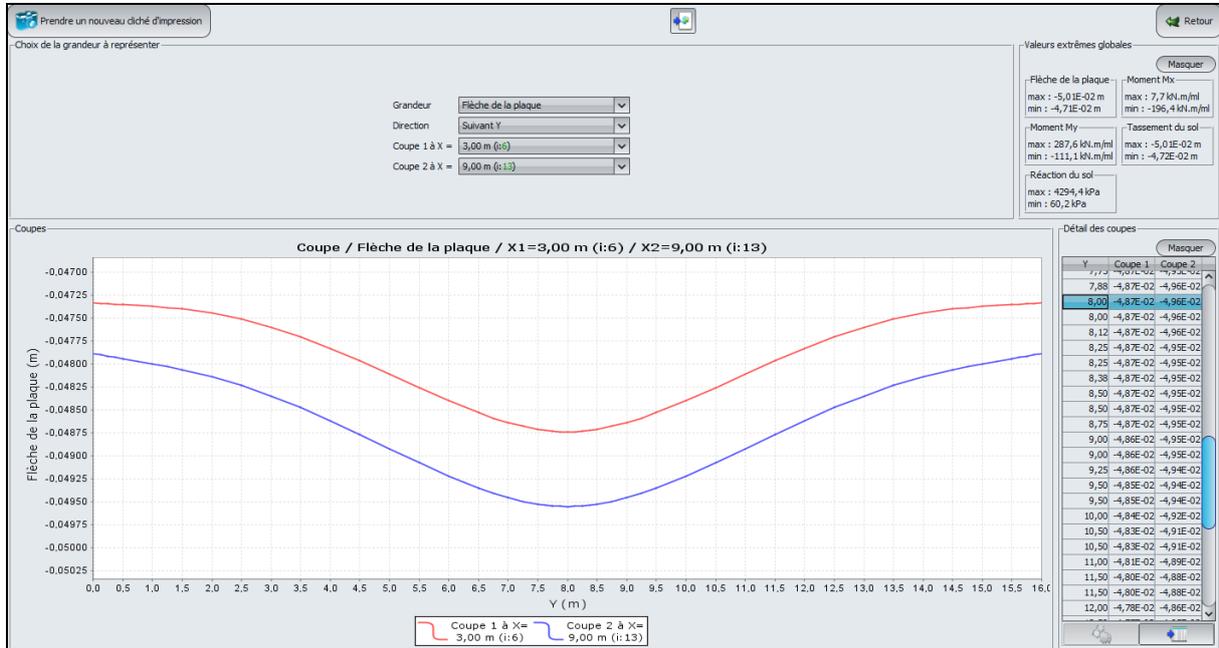


Rappel : dans TASPLAQ, les déplacements sont pris positifs vers le haut. Ainsi, une flèche négative est synonyme d'un tassement. Une flèche positive correspondra à un soulèvement par rapport au niveau initial.

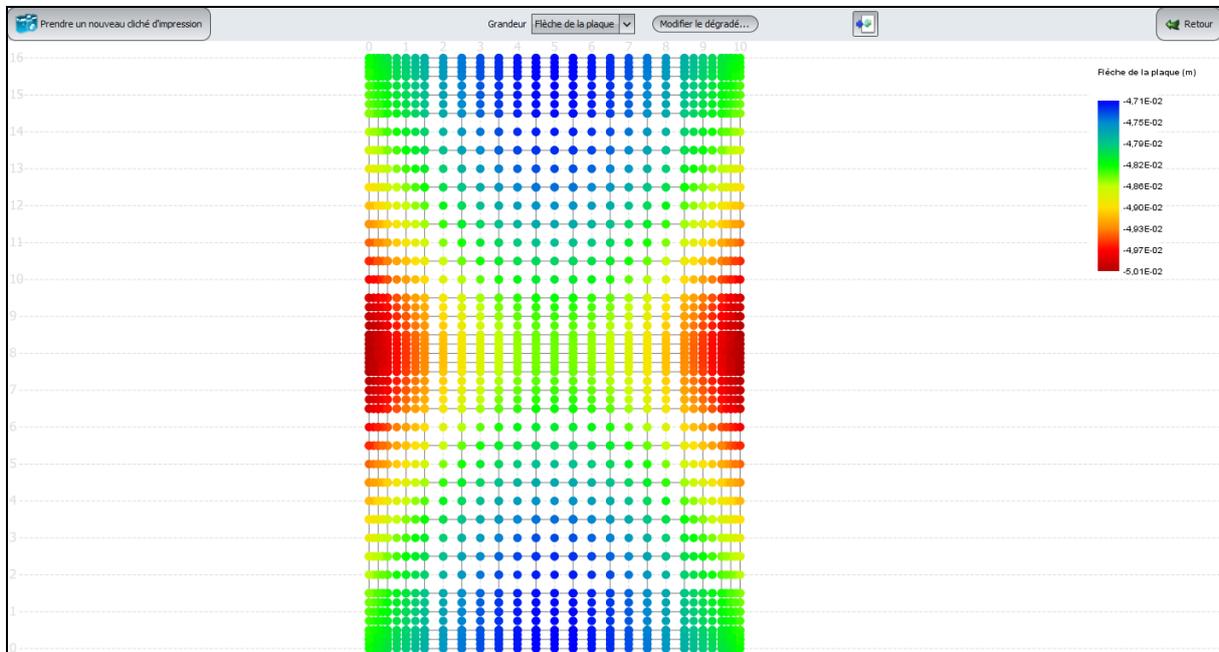
Coupe graphique suivant Y avec :

Coupe 1 à X = 3,00 m (i : 6) : en Y = 8,00 m Flèche = - 4,87 cm

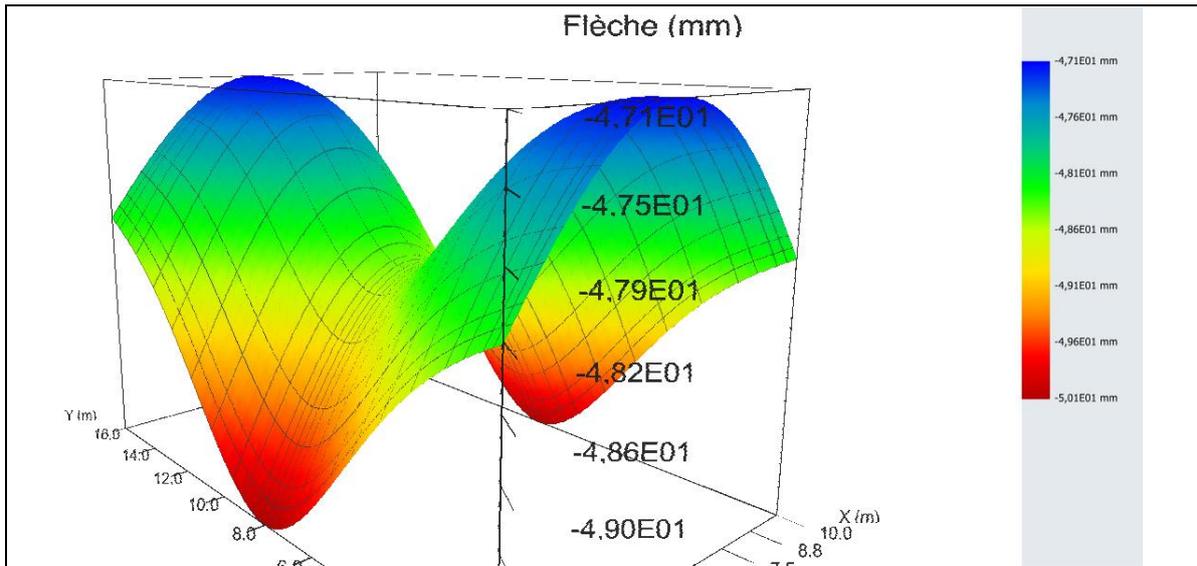
Coupe 2 à X = 9,00 m (i : 13) : en Y = 8,00 m Flèche = - 4,96 cm



### Nuage de points



Graphique 3D



La flèche maximale est obtenue au centre des voiles périphériques longitudinaux.

**Résultats graphiques : Moments  $M_y$**

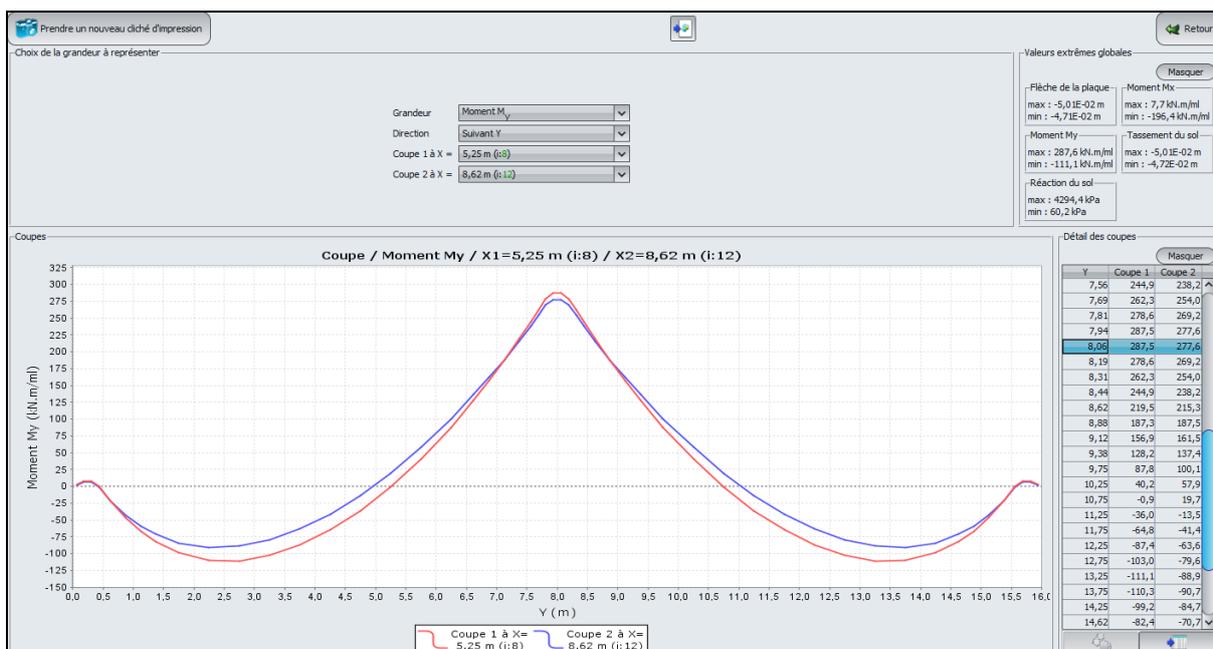
Coupes graphiques

Valeurs extrêmes globales :

- Max : 288 kN.m/ml
- Min : -111 kN.m/ml

Coupe graphique suyant Y avec :

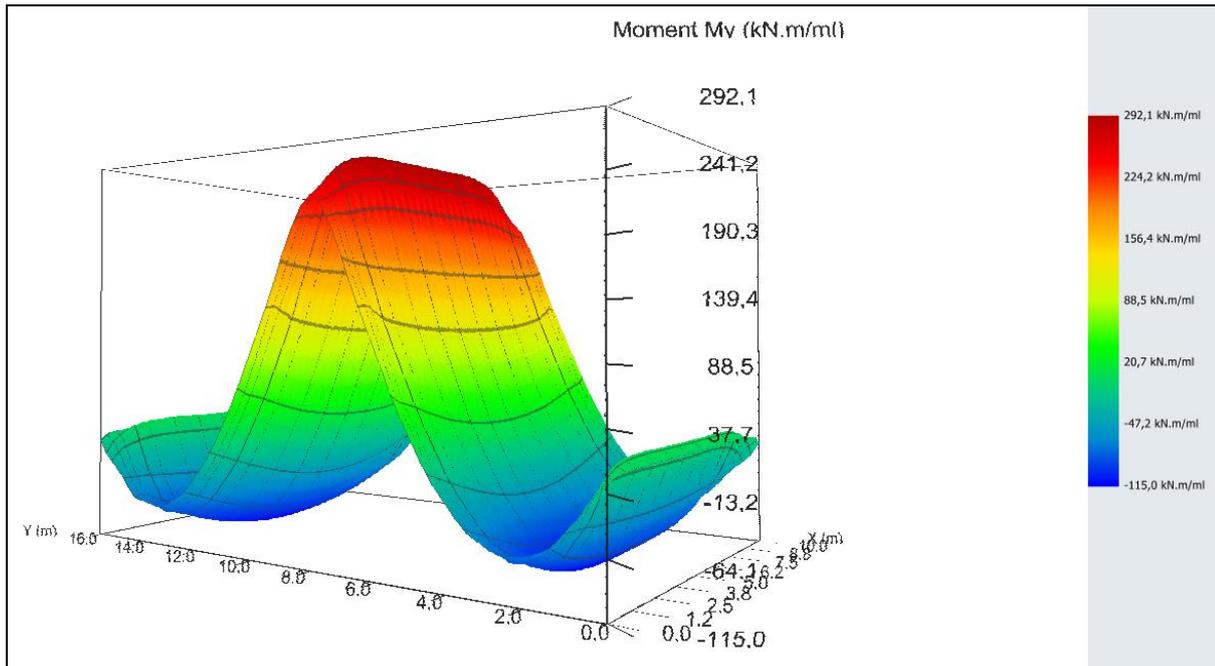
Coupe 1 à X = 5.25 m (i : 8) : en Y = 8,06 m  $M_y = 288$  kN.m/ml  
 Coupe 2 à X = 8.62 m (i : 12) : en Y = 8,06 m  $M_y = 278$  kN.m/ml



**Nota 1 :** le moment  $M_x$  représente le moment de flexion autour de l'axe -Oy, tandis que le moment  $M_y$  représente le moment de flexion autour de l'axe Ox.

**Nota 2 :** un moment positif signifie que la fibre inférieure est en traction.

**Graphique 3D :**



**Résultats graphiques : réaction du sol**

Réaction du sol :

**Coupes graphiques**

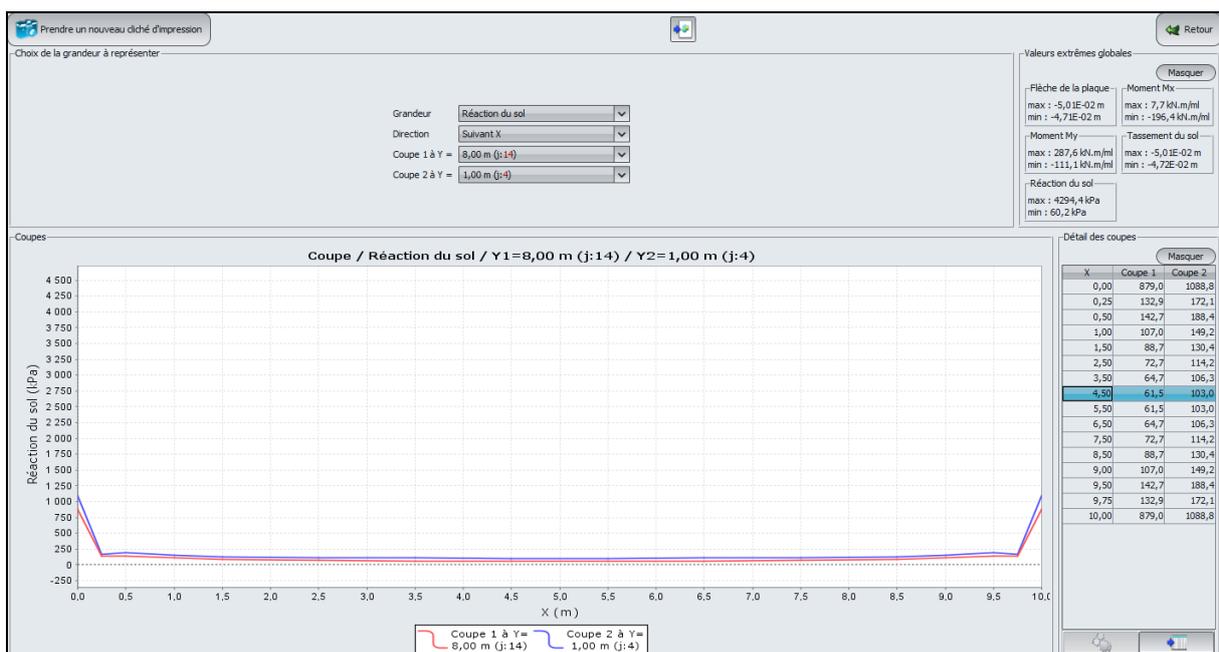
Valeurs extrêmes globales de la réaction du sol :

- Max : 4,3 MPa (effet de bord, pouvant être limité par déformations plastiques)
- Min : 0,06 MPa

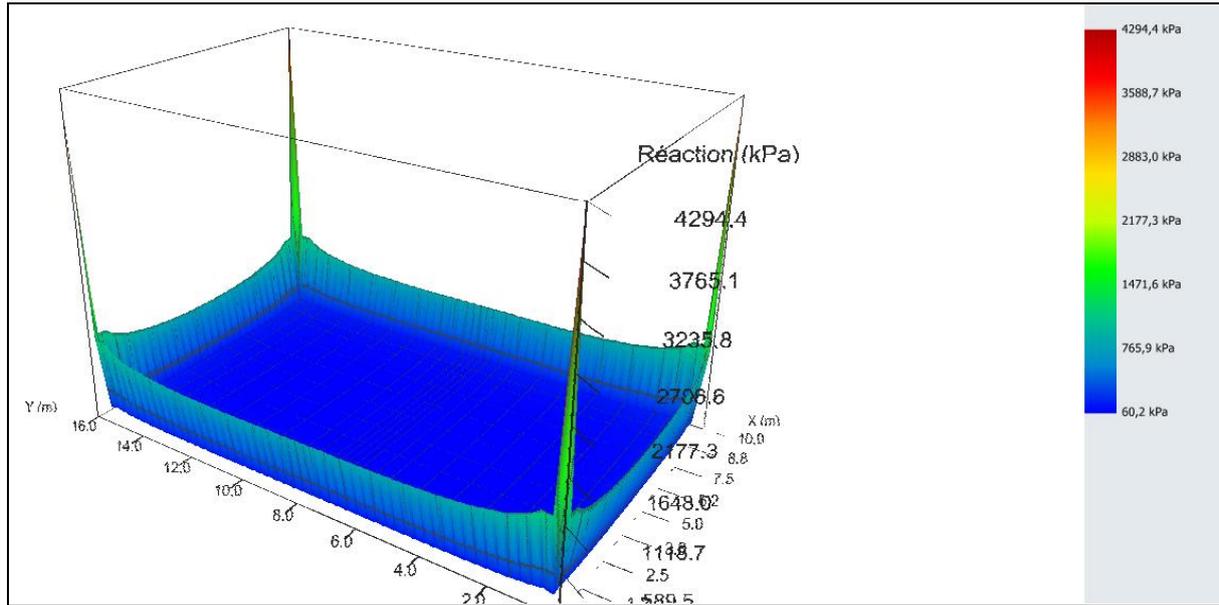
Coupe graphique suivant X avec :

Coupe 1 à Y = 8,00 m (j : 14) : à X = 4,50 m Réaction du sol = 61,5 kPa

Coupe 2 à Y = 1,00 m (j : 4) : à X = 4,50 m Réaction du sol = 103,0 kPa



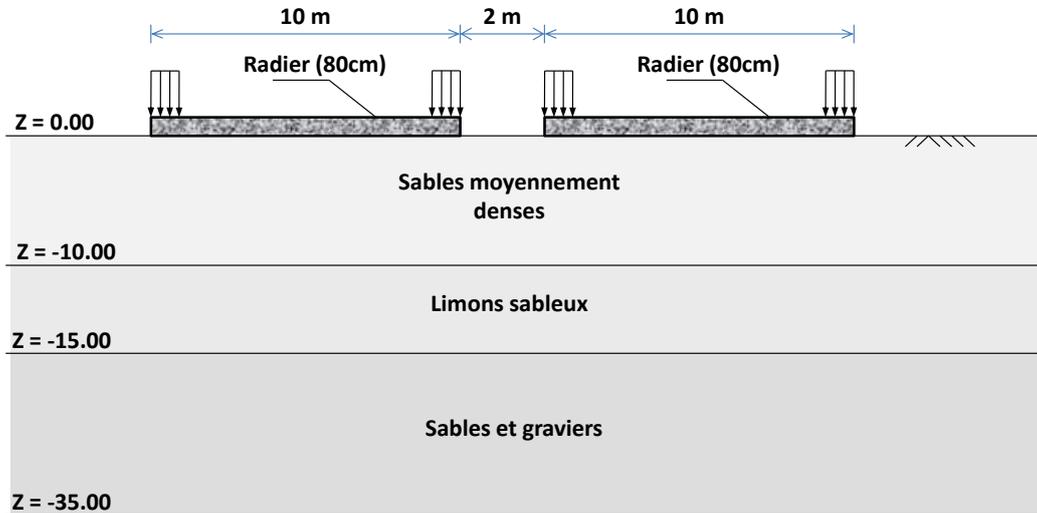
Graphique 3D



On observe cet effet de bord qui se traduit par un pic de réaction aux bords et aux coins du radier. Cet effet qui découle de la théorie de l'élasticité est d'autant plus important que le radier est rigide. Pour un sol réel, il y a limitation de cette réaction par déformations plastiques : cela peut être géré à l'aide de l'option "plastification automatique" en définissant un seuil de plastification correspondant par exemple soit à la pression de fluage, soit à la pression limite, en fonction du type de cas de charge.

### I.4.2.2. Etape 2 : Deux radiers identiques voisins

Nous allons reprendre le fichier du projet Radier isolé et modifier des données afin d'étudier l'interaction avec un second radier identique distant de 2,0 m, comme le schématise la figure suivante.



Pour cela, enregistrer votre projet sous un autre nom avant de poursuivre.

#### I.4.2.2.1. Onglet "Paramètres"

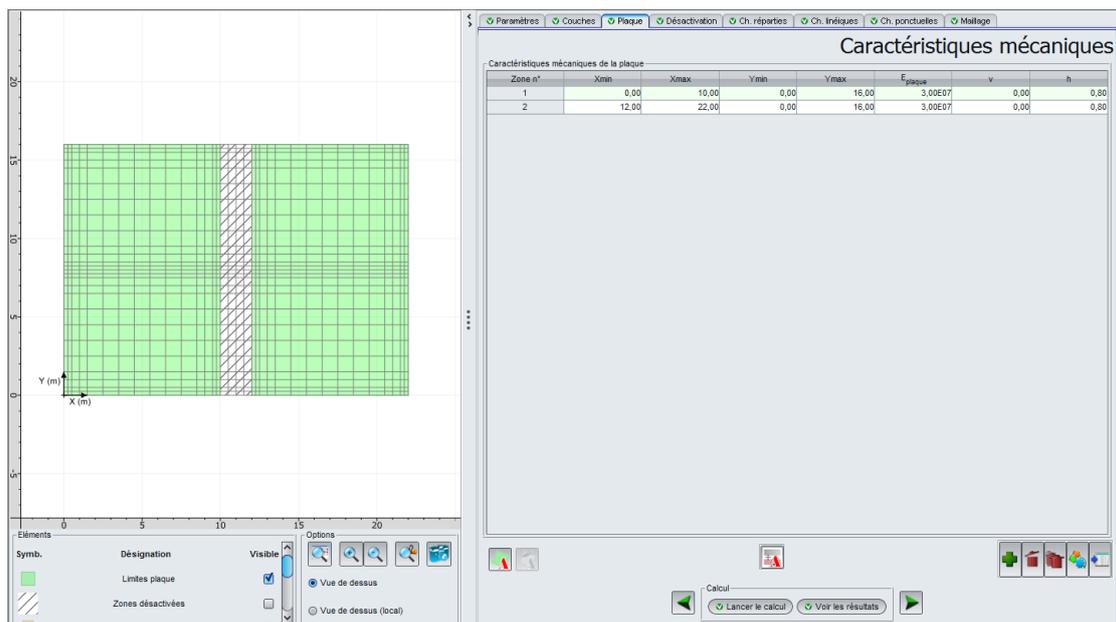
Aucune modification.

#### I.4.2.2.2. Onglet "Couches"

Aucune modification.

#### I.4.2.2.3. Onglet "Plaque"

Il suffit de définir une zone rectangulaire à côté de celle représentative du premier radier. La bande « vide » de 2 m laissée entre les deux zones sera automatiquement reconnue par l'interface comme une zone « désactivée ».

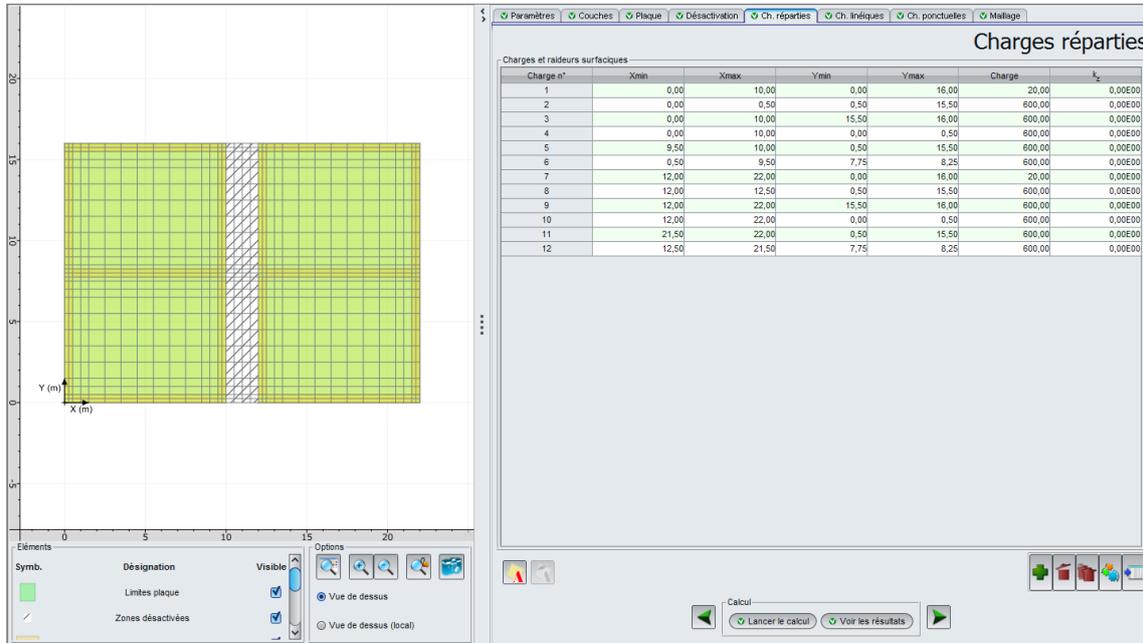


Zone n°	Xmin	Xmax	Ymin	Ymax	E <sub>plaque</sub>	v	h
1	0,00	10,00	0,00	16,00	3,00E07	0,00	0,80
2	12,00	22,00	0,00	16,00	3,00E07	0,00	0,80

Zone n°	Xmin (m)	Xmax (m)	Ymin (m)	Ymax (m)	E <sub>plaque</sub> (kPa)	ν	h (m)
1	0,00	10,00	0,00	16,00	3,00E+07	0,00	0,80
2	12,00	22,00	0,00	16,00	3,00E+07	0,00	0,80

**I.4.2.2.4. Onglet "Charges réparties"**

Les zones de chargement correspondant au 2<sup>nd</sup> radier sont définies de manière analogue à ce qui a été décrit pour le premier.



La nouvelle liste complète de charges est la suivante :

Charge n°	Xmin (m)	Xmax (m)	Ymin (m)	Ymax (m)	Charge (kPa)	k <sub>z</sub> (kPa/m)
1	0,00	<b>10,00</b>	0,00	16,00	20	0,00
2	0,00	0,50	0,50	15,50	600	0,00
3	0,00	10,00	15,50	16,00	600	0,00
4	0,00	10,00	0,00	0,50	600	0,00
5	9,50	10,00	0,50	15,50	600	0,00
6	0,50	9,50	7,75	8,25	600	0,00
7	<b>12,00</b>	<b>22,00</b>	<b>0,00</b>	<b>16,00</b>	<b>20</b>	<b>0,00</b>
8	<b>12,00</b>	<b>12,50</b>	<b>0,50</b>	<b>15,50</b>	<b>600</b>	<b>0,00</b>
9	<b>12,00</b>	<b>22,00</b>	<b>15,50</b>	<b>16,00</b>	<b>600</b>	<b>0,00</b>
10	<b>12,00</b>	<b>22,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,50</b>	<b>600</b>	<b>0,00</b>
11	<b>21,50</b>	<b>22,00</b>	<b>0,50</b>	<b>15,50</b>	<b>600</b>	<b>0,00</b>
12	<b>12,50</b>	<b>21,50</b>	<b>7,75</b>	<b>8,25</b>	<b>600</b>	<b>0,00</b>

**I.4.2.2.5. Onglet "Charges linéiques"**

Aucune modification.

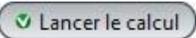
### I.4.2.2.6. Onglet "Charges ponctuelles"

Aucune modification.

### I.4.2.2.7. Onglet "Maillage"

Même principe que pour le cas d'un seul radier. Nous proposons d'appliquer un raffinement avec un ratio de 2 sur la zone située entre les deux radiers. Cela permet d'augmenter le nombre de points de calcul dans la zone d'interaction. On rappelle que Tasplaq calcule systématiquement les tassements du sol en surface en tout point du maillage, y compris au droit des zones désactivées.

### I.4.2.2.8. Calcul et résultats

Lancer le calcul en cliquant sur le bouton . Quand le calcul est fini, fermer la fenêtre de Calcul en cours puis cliquez sur le bouton .

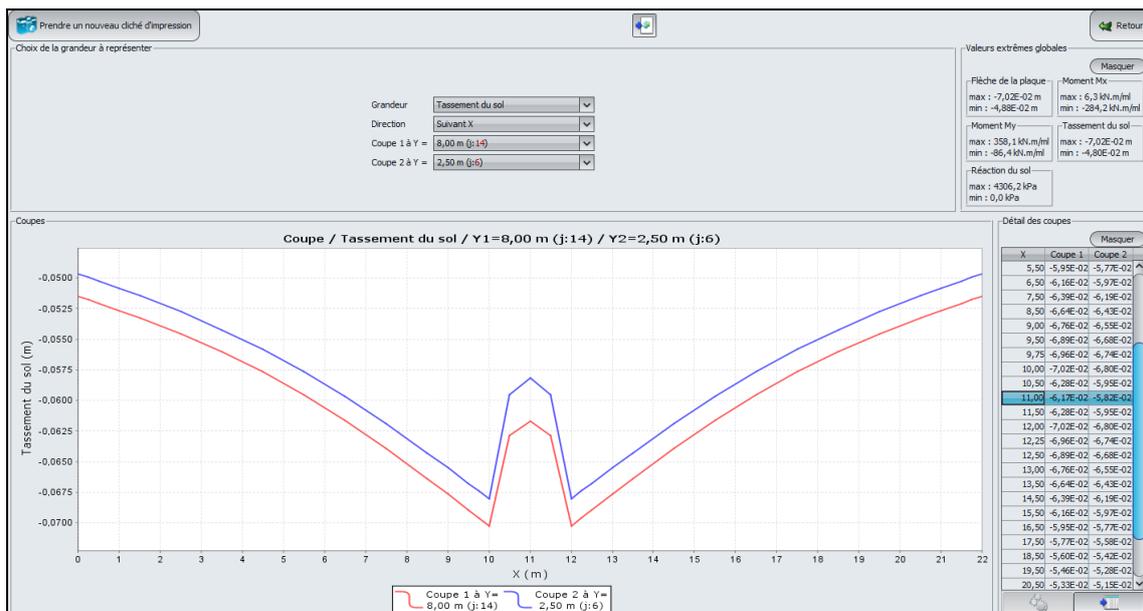
#### Tassement du sol

Valeurs extrêmes globales :

- Max :  $-7,02E-02$  m (soit -7,0 cm, donc 2 cm de plus que pour le cas d'un radier isolé)
- Min :  $-4,80E-02$  m (soit -4,8 cm)

Coupe suivant X :

Coupe 1 à Y = 8,00 m (j : 14) : à X = 11 m Tassement du sol = -6,17 cm  
 Coupe 2 à Y = 2,50 m (j : 6) : à X = 11 m Tassement du sol = -5,82 cm



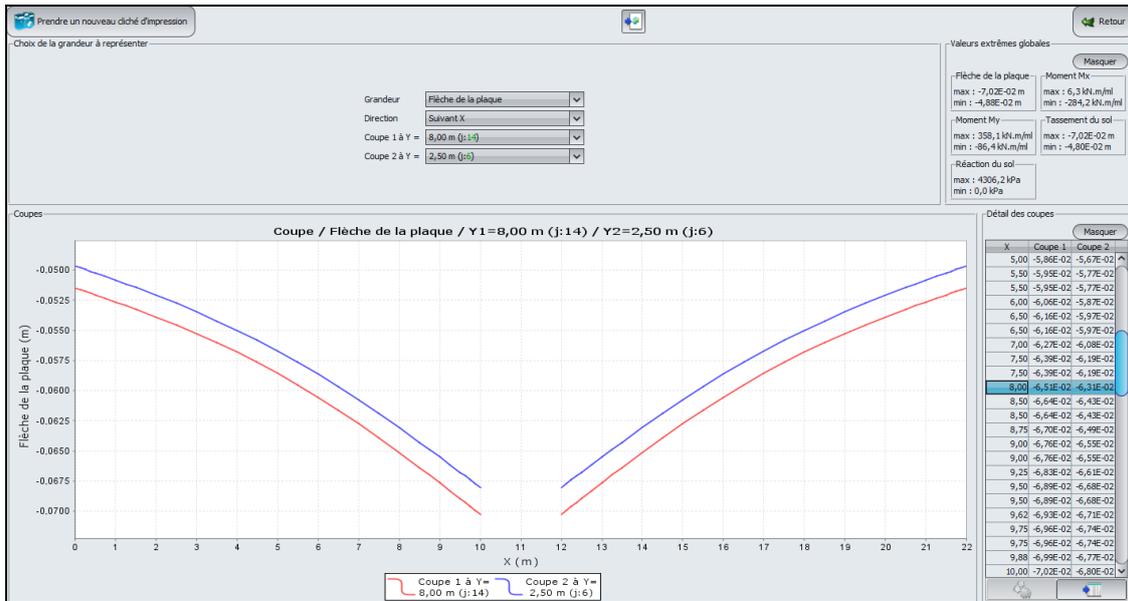
#### Flèche de la plaque

Valeurs extrêmes globales :

- Max :  $-7,02E-02$  m (soit -7,0 cm, valeur identique au tassement du sol = absence de décollement)
- Min :  $-4,88E-02$  m (soit -4,9 cm)

Coupe suivant X :

Coupe 1 à Y = 8,00 m (j : 14) : à X = 8 m Flèche = -6,51 cm  
 Coupe 2 à Y = 2,50 m (j : 6) : à X = 8 m Flèche = -6,31 cm



**Moment  $M_x$  :**

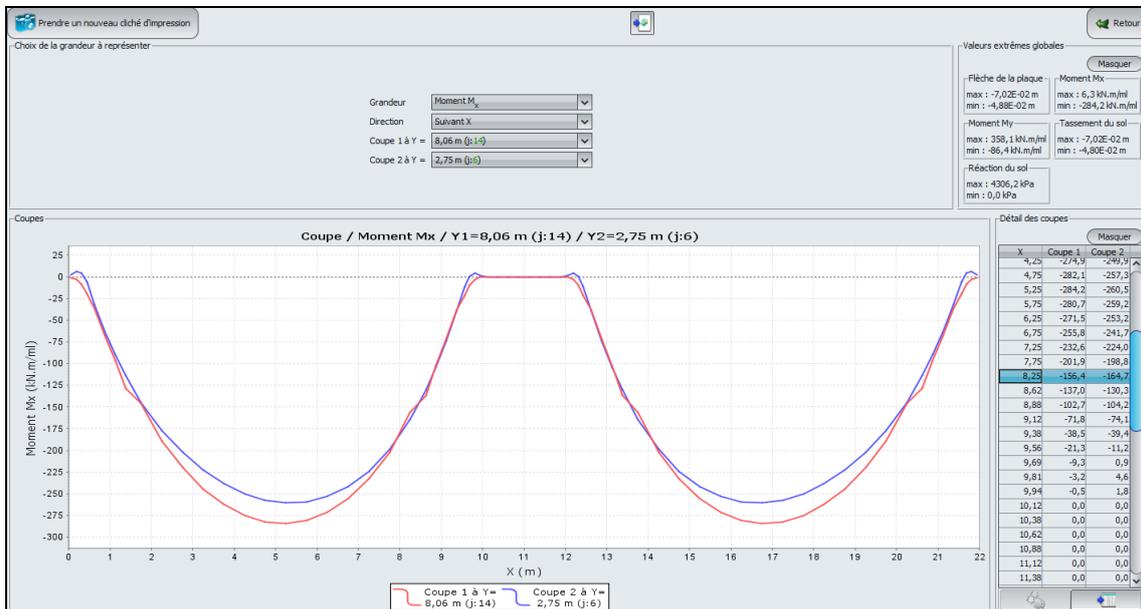
Valeurs extrêmes globales :

- Max : 6 kN.m/ml
- Min : -284 kN.m/ml

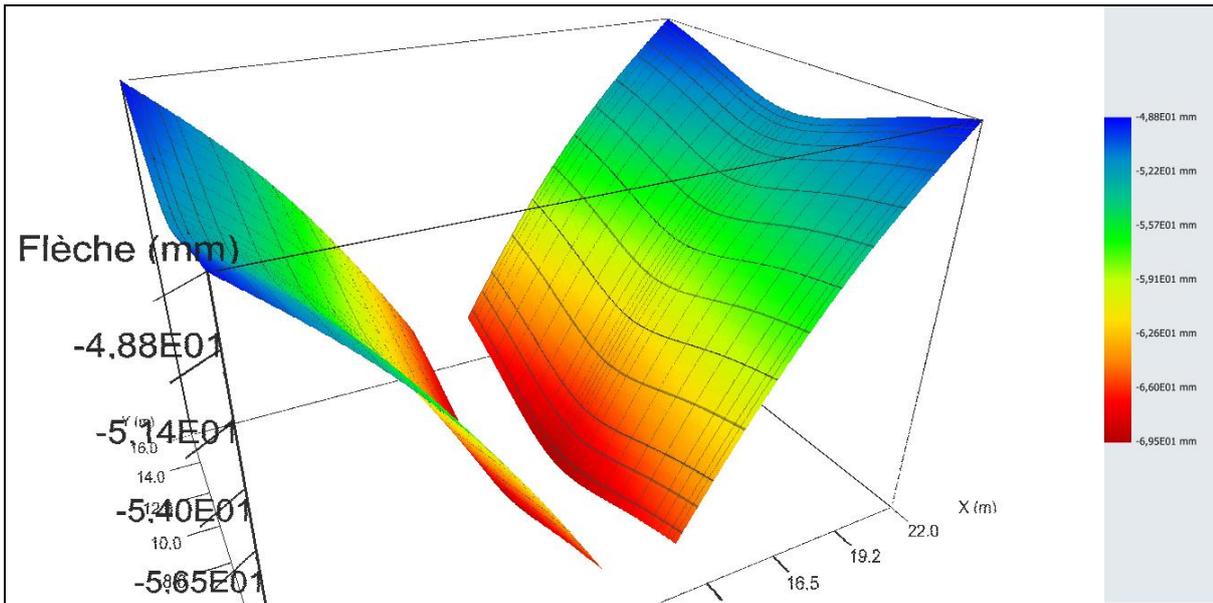
Coupe graphique suivant X :

Coupe 1 à Y = 8,06 m (j : 14) : à X = 8,25 m  $M_x = -156$  kN.m/ml.

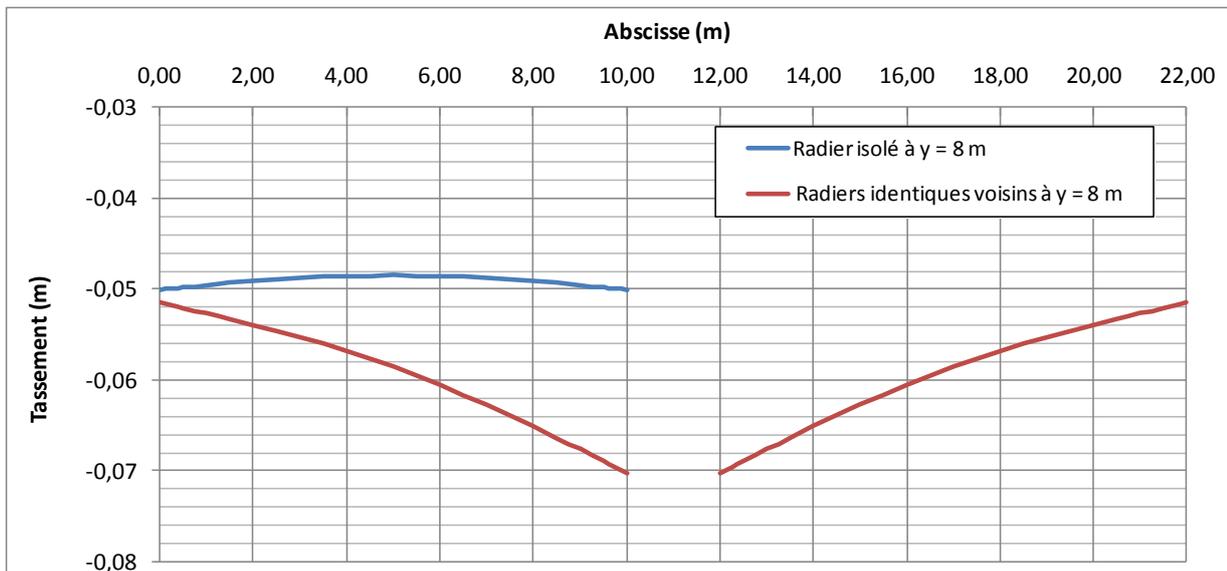
Coupe 2 à Y = 2,75 m (j : 6) : à X = 8,25 m  $M_x = -165$  kN.m/ml.



Graphique 3D (flèche de la plaque)



La figure suivante compare les tassements obtenus dans les deux situations étudiées (avec et sans interaction), et illustre une amplification notable des tassements sous l'effet de l'interaction entre les deux radiers. La simulation de ce phénomène n'aurait pas été possible si le sol avait été assimilé à une distribution de ressorts juxtaposés.

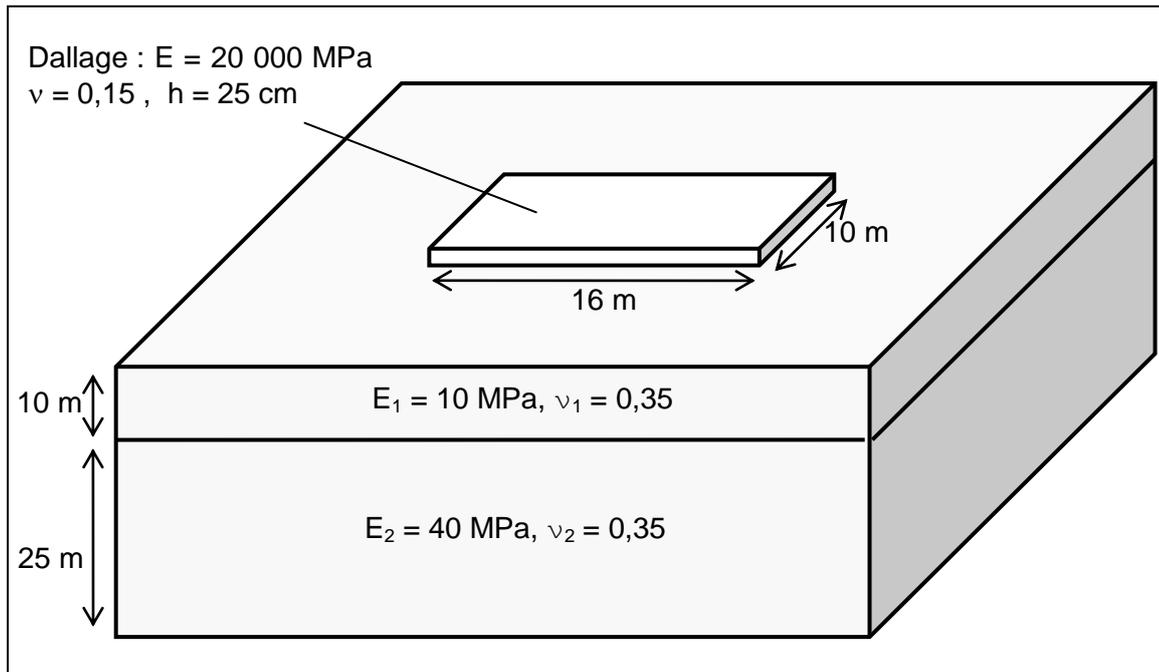


### I.4.3. Exemple 3 : Dallage avec différents systèmes de joints

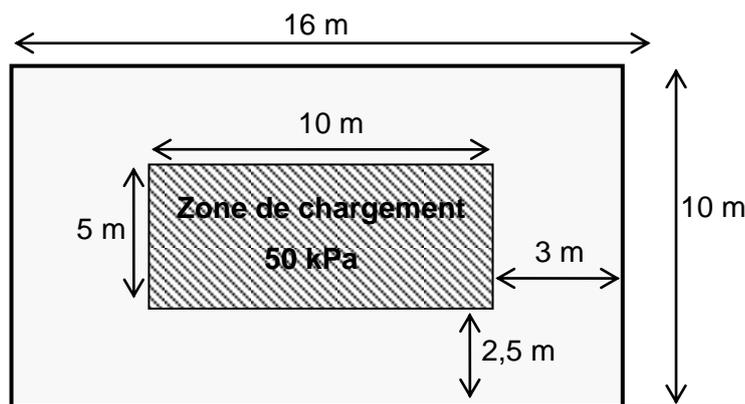
Un dallage rectangulaire de dimensions 16 m x 10 m est soumis en plus de son poids propre à une charge de 50 kPa répartie sur une surface de 10 m x 5 m en son centre.

Nous allons traiter dans cet exemple successivement 3 situations différentes, puis les comparer :

- Etape 1 : dallage supposé continu ;
- Etape 2 : dallage avec des joints partiels ;
- Etape 3 : dallage avec des joints francs.



Le schéma suivant illustre la localisation de la charge centrale (50 kPa) appliquée sur le dallage :



#### I.4.3.1. Etape 1 : Dallage continu sur sol multicouche élastique

- Choisir de créer un nouveau projet en sélectionnant le radio-bouton  Nouveau projet ;
- Cliquer sur le bouton .

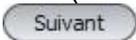
Si Foxta est déjà ouvert, cliquer sur le menu "Fichier", "Nouveau projet".

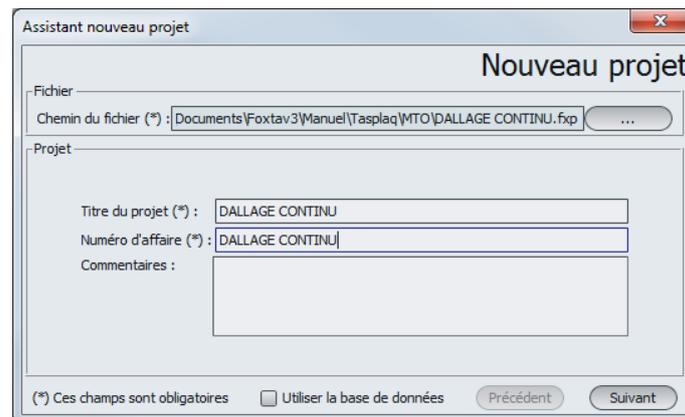
### I.4.3.1.1. Assistant Nouveau projet

#### Cadre "Fichier" :

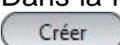
- Renseigner le chemin du fichier en cliquant sur le bouton  ;
- Donner un nom au fichier et l'enregistrer.

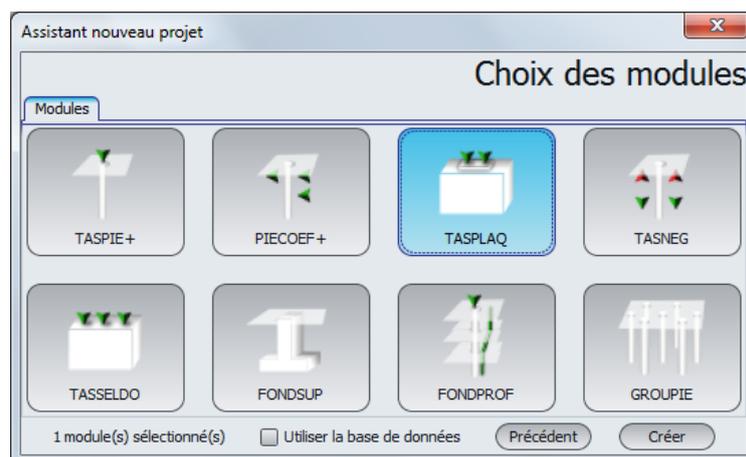
#### Cadre "Projet" :

- Donner un titre au projet ;
- Saisir un numéro d'affaire ;
- Compléter avec un commentaire si besoin ;
- Laisser la case "Utiliser la base de données" décochée (nous n'utiliserons pas la base de données pour cet exemple), et cliquer sur le bouton .



#### Assistant Nouveau projet : Choix du module

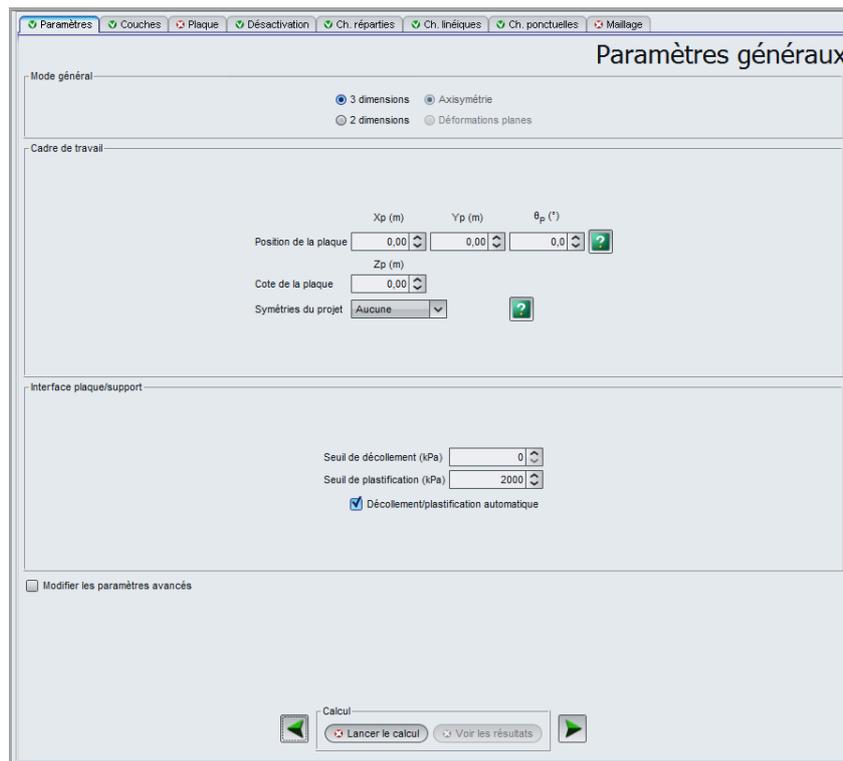
Dans la fenêtre "Choix des modules", sélectionner le module TASPLAQ puis cliquer sur le bouton  :



La fenêtre de saisie des données TASPLAQ apparaît.

Il convient à présent de compléter les différents onglets de données, dans la zone droite de l'écran.

### I.4.3.1.2. Onglet "Paramètres"



#### Cadre "Mode général" :

Le mode étudié étant tridimensionnel, cliquer sur le bouton "3 dimensions".

#### Cadre "Cadre de travail" :

Dans cet exemple, le repère local de la plaque représentative du radier est pris identique au repère global du modèle. Le point (0,0) représente le coin "bas – gauche" du modèle.

$X_p$ (m)	$Y_p$ (m)	$\theta_p$ (°)
0,00	0,00	0,00

- Cote de la plaque :  $Z_p = 0,0$  m (cote de référence = cote de la sous-face de la plaque),
- Symétrie de projet : Aucune

#### Cadre "Interface plaque/support" :

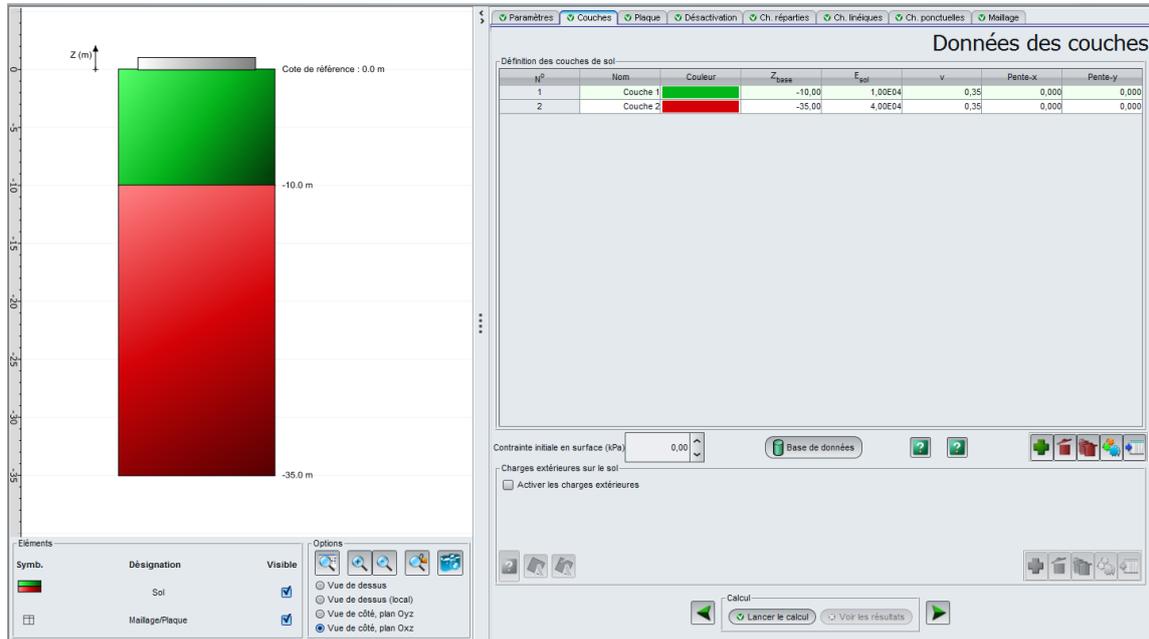
Ce cadre permet d'activer la gestion automatique des critères de décollement et de plastification à l'aide de critères définis par l'utilisateur.

Seuil de décollement	0 kPa (aucune contrainte de traction autorisée)
Seuil de plastification	2000 kPa

- Décollement/plastification automatique : Cochée
- Modifier les paramètres avancés : Décochée

Pour passer à l'onglet suivant, cliquer soit sur le nom de l'onglet "Couches", soit sur le bouton .

### I.4.3.1.3. Onglet "Couches"



Nous avons 2 couches de sol à définir pour cet exemple. Les valeurs à saisir sont les suivantes :

Nom	Z <sub>base</sub> (m)	E <sub>sol</sub> (kPa)	v	Pente-x	Pente-y
Couche1	-10	1,00E04	0,35	0,00	0,00
Couche 2	-35	4,00E04	0,35	0,00	0,00

Contrainte initiale en surface : 0 kPa.

Cadre "Charges extérieures sur le sol" :

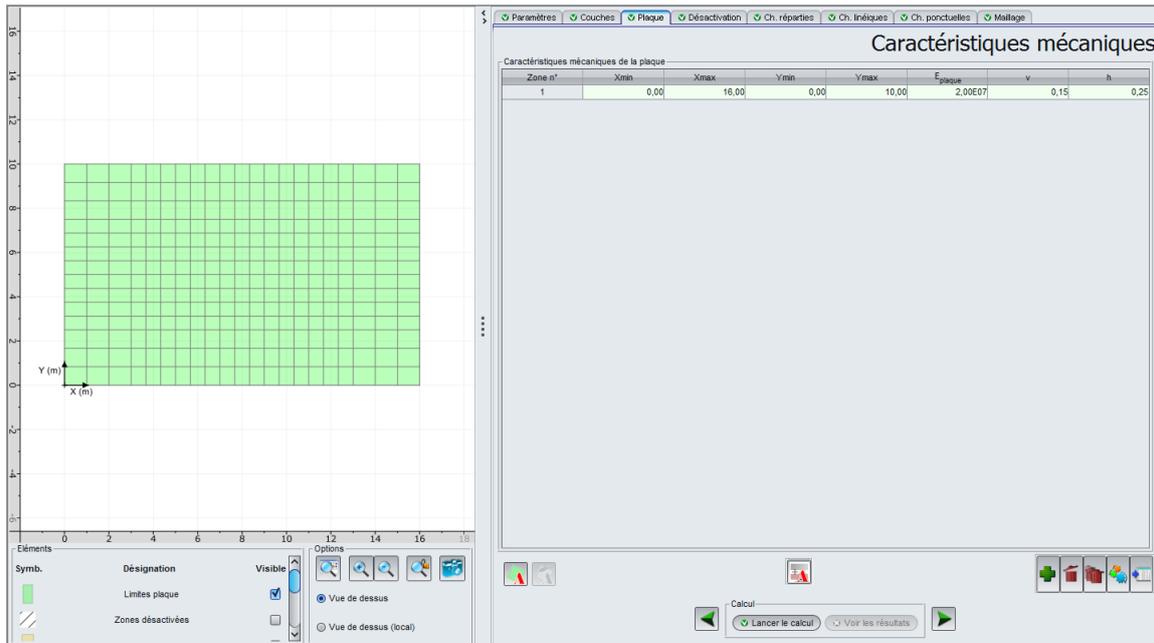
- Aucune charge extérieure n'est à définir, laisser décochée la case "Activer les charges extérieures"

### I.4.3.1.4. Onglet "Plaque"

Dans cette étape, la plaque est homogène. Une seule zone est à définir: Xmin = 0,00, Xmax = 16,00 m, Ymin = 0,00 et Ymax = 10,00 m.

Cadre "Caractéristiques mécaniques de la plaque" :

Zone n°	Xmin (m)	Xmax (m)	Ymin (m)	Ymax (m)	E <sub>plaque</sub> (kPa)	v	h (m)
1	0,00	16,00	0,00	10,00	2,00E+07	0,15	0,25



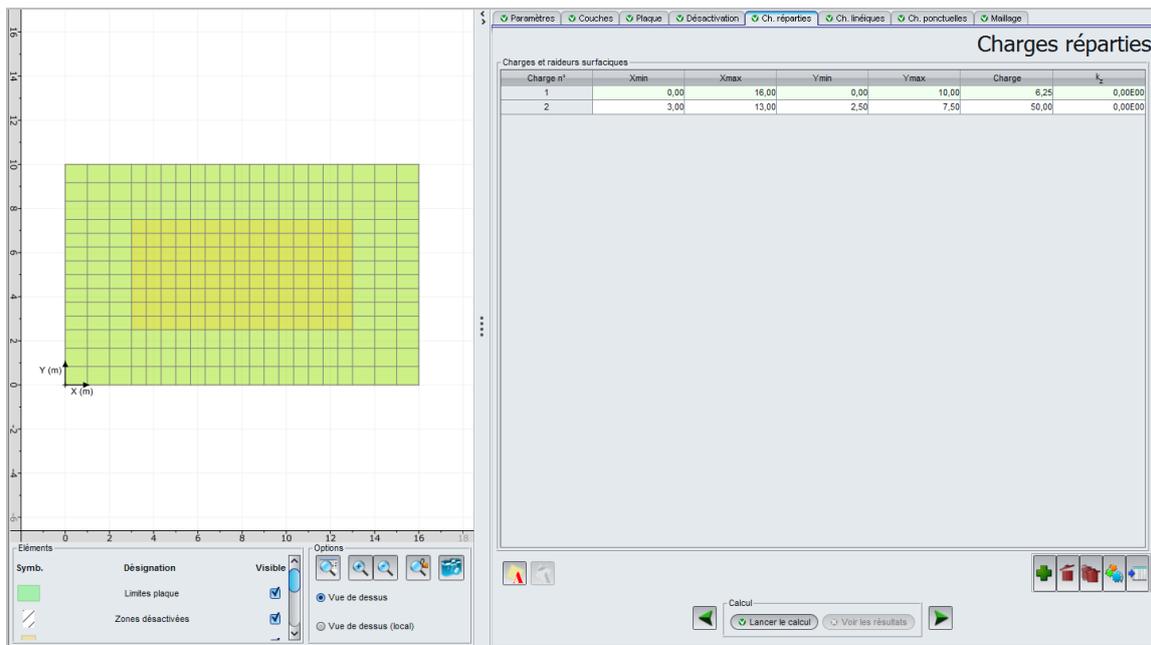
### I.4.3.1.5. Onglet "Désactivation"

Dans cette étape, il n'y a pas d'élément à désactiver, la zone représentative de la plaque est pleine et continue. Le cadre "Désactivation des éléments" est laissé vide.

### I.4.3.1.6. Onglet "Charges réparties"

Il convient de définir pour cet exemple 2 zones de chargement. En effet, on tient compte :

- D'une part du poids propre du dallage. Celui-ci correspond à une charge répartie de 6,25 kPa à appliquer sur toute la plaque,
- D'autre part de la charge de 50 kPa appliquée dans la zone centrale de la plaque (zone allant de Xmin = 3,00 à Xmax = 13,00 m et de Ymin = 2,50 à Ymax = 7,50 m).



N°	Xmin (m)	Xmax (m)	Ymin (m)	Ymax (m)	Charge (kPa)	k <sub>z</sub> (kPa/m)
1	0,00	16,00	0,00	10,00	6,25	0
2	3,00	13,00	2,50	7,5	50,00	0

**I.4.3.1.7. Onglet "Charges linéiques"**

Il n'y a pas de charges linéiques dans cet exemple.

**I.4.3.1.8. Onglet "Charges ponctuelles"**

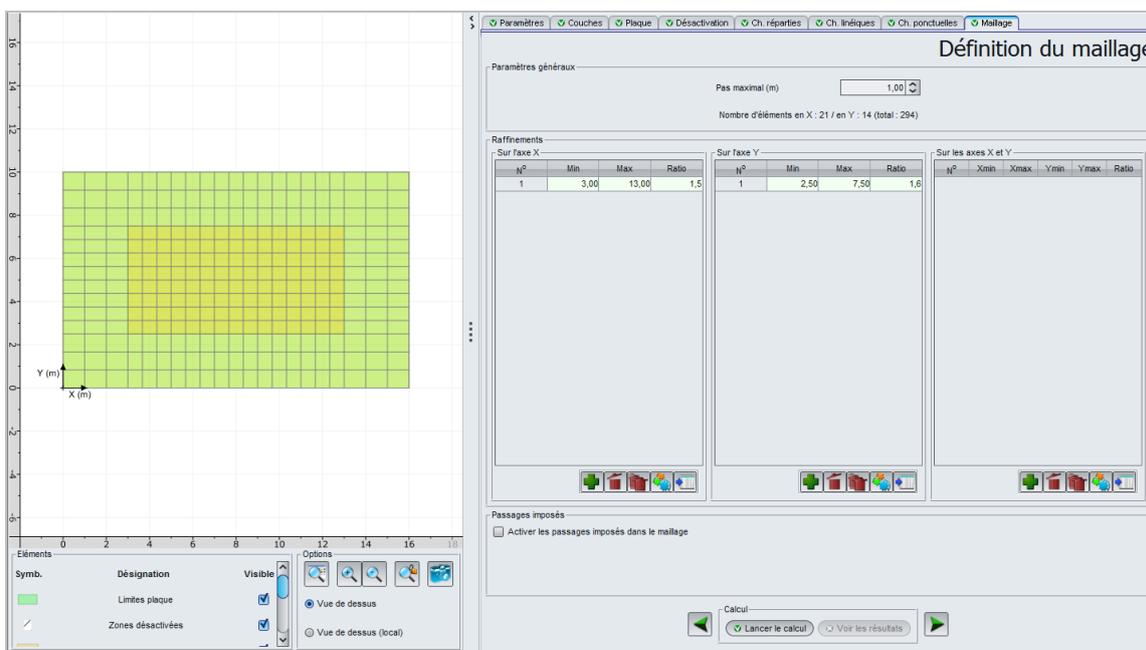
Il n'y a pas de charges ponctuelles dans cet exemple.

**I.4.3.1.9. Onglet "Maillage"**

Un pas maximal de 1 mètre est à définir.

Afin d'obtenir davantage de précision dans la zone centrale, on propose un raffinement au droit de la charge de 50 kPa, avec :

- un ratio de 1,5 selon X avec un Min = 3,00 et un Max = 13,00 m et
- un ratio de 1,6 selon Y avec un Min = 2,50 et un max = 7,50 m.



Les données à saisir sont les suivantes :

- Pas maximal = 1 (m)

Raffinements :

	Min (m)	Max (m)	Ratio
Sur l'axe X	3,00	13,00	1,50
Sur l'axe Y	2,50	7,50	1,60

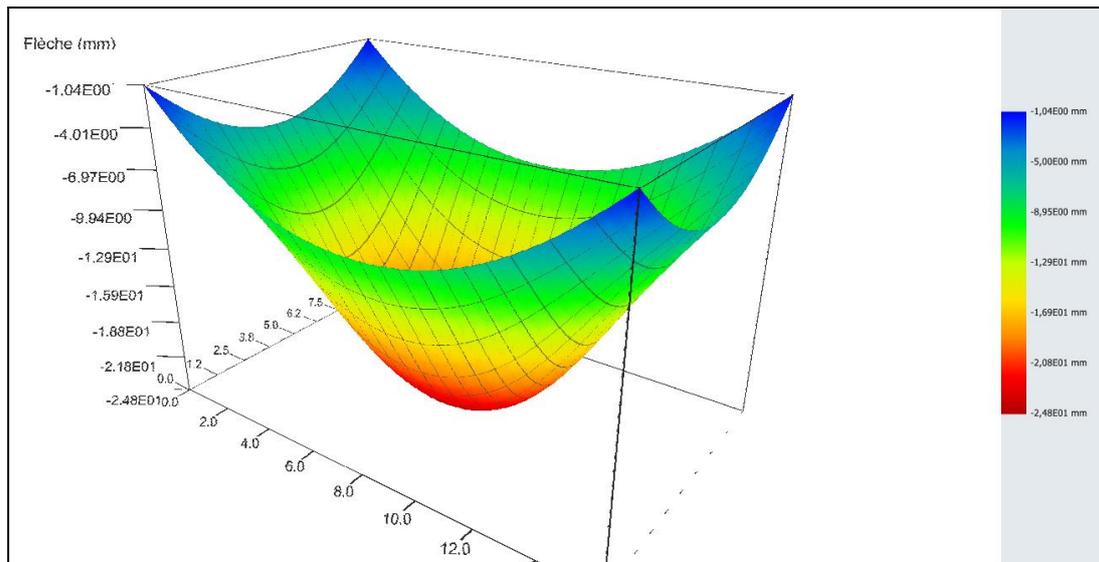
### I.4.3.1.10. Calcul et résultats

Cliquer sur le bouton

Pour accéder aux résultats sous forme de tableaux et de graphiques, cliquer sur le bouton

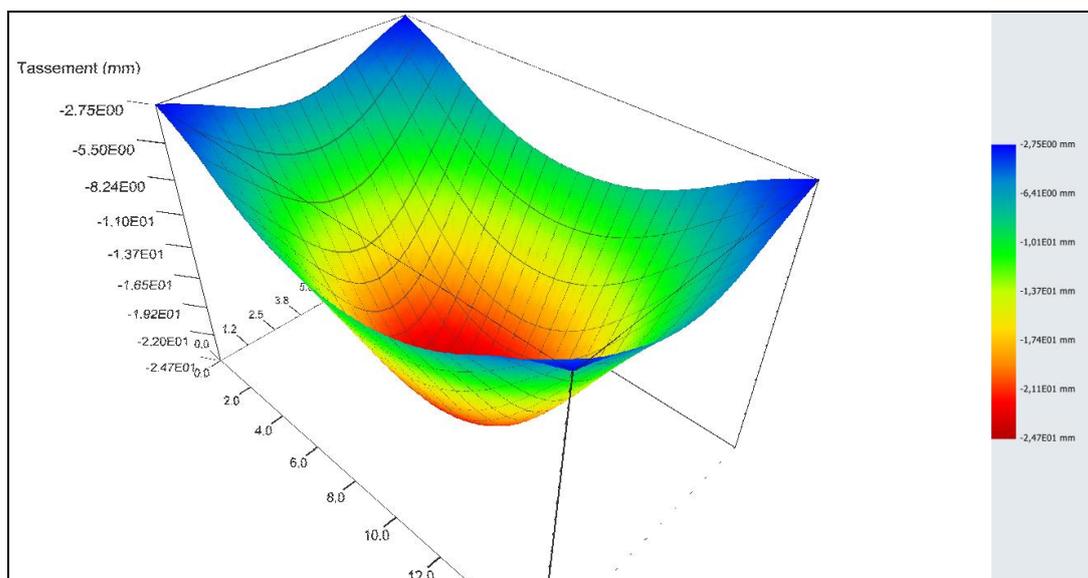
#### Graphiques 3D

Flèche de la plaque :



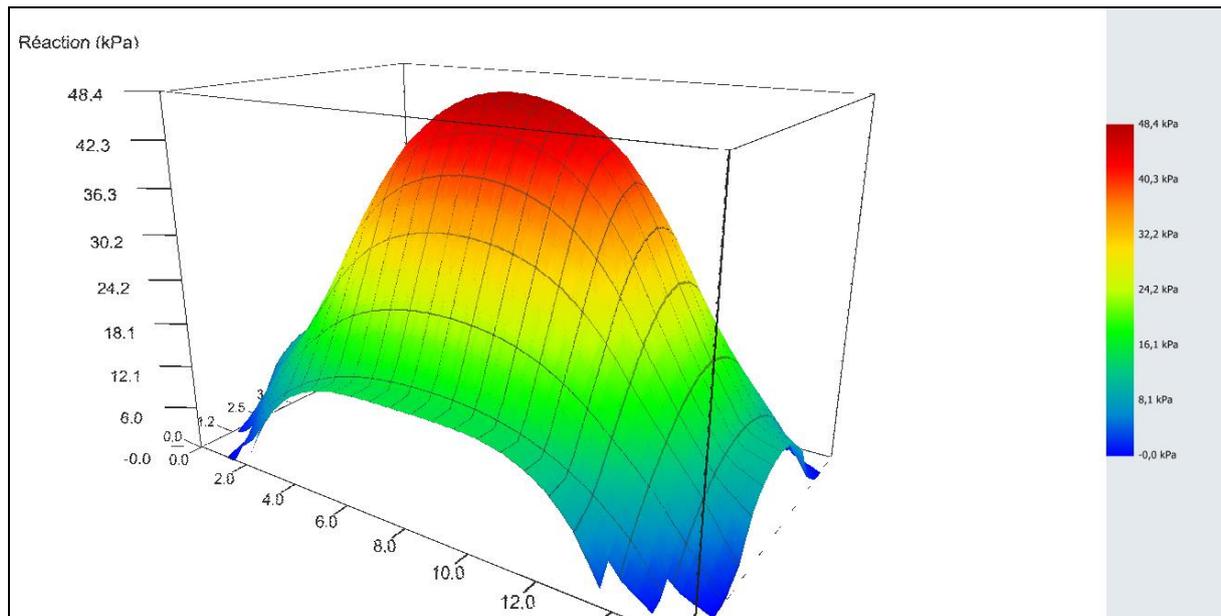
La flèche maximale, de l'ordre de 2,5 cm, est obtenue au centre du dallage.

Tassement du sol :



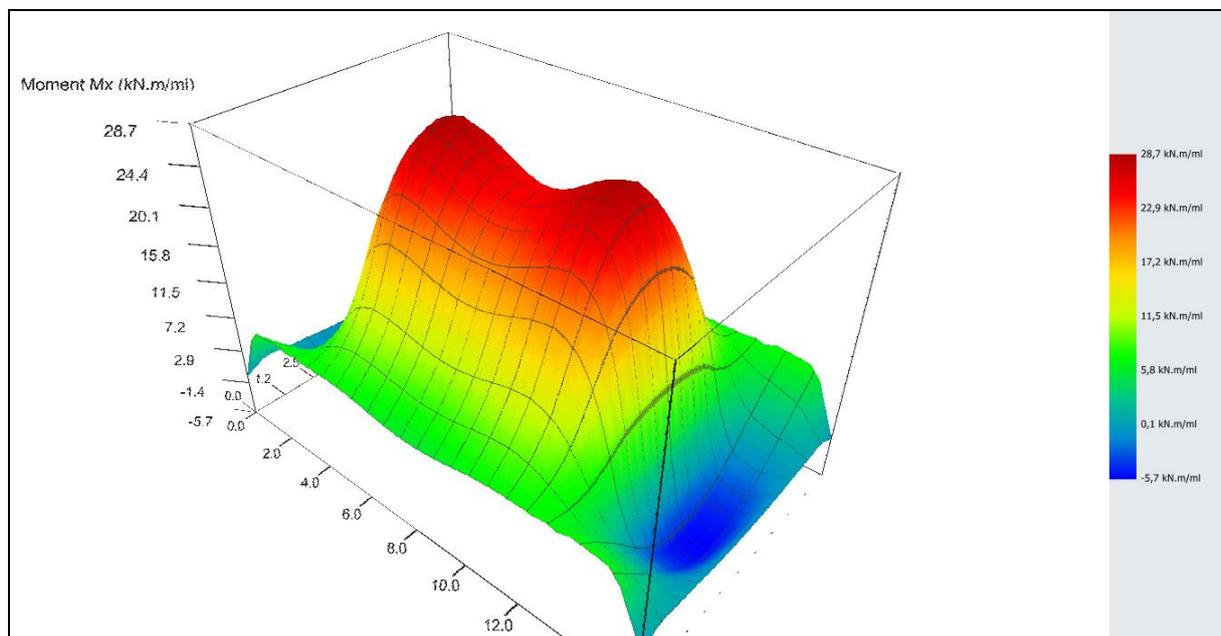
Le tassement maximal du sol, égal à la flèche maximale est également obtenu au centre du dallage.

Réaction du sol :

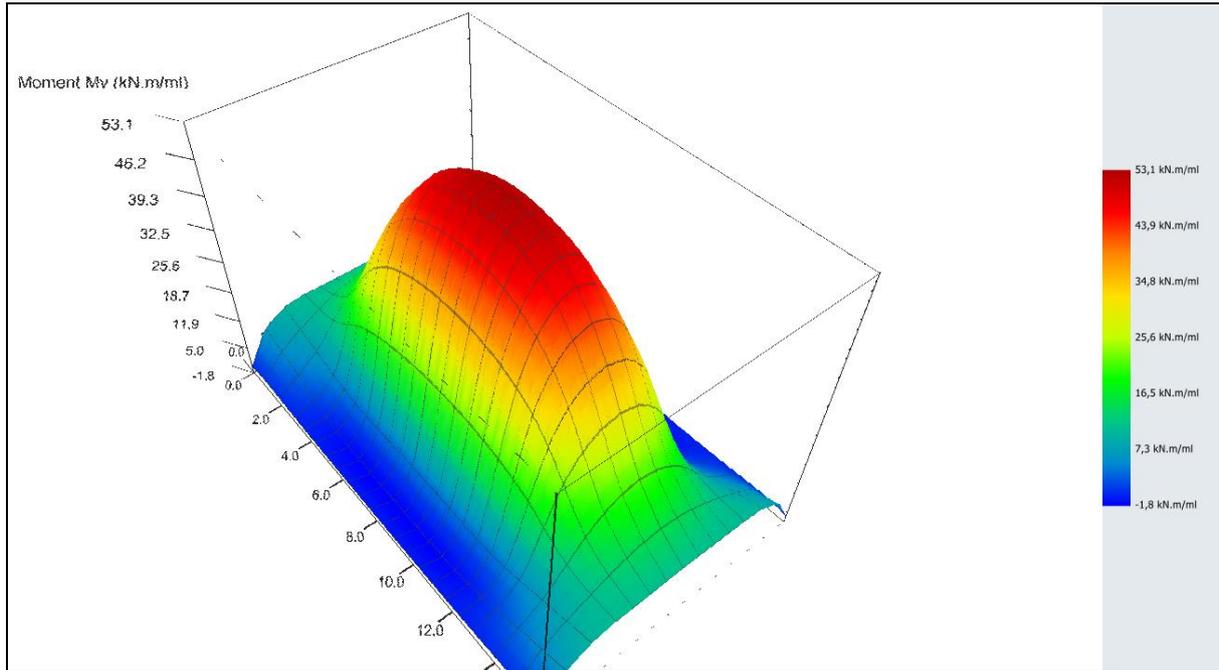


On voit apparaître des zones de "réaction nulle" au niveau des coins sortant du dallage. Ceci traduit le fait que le calcul ainsi mené a été sujet de décollement, ce qui explique la légère différence qu'on pourra observer entre l'allure des tassements et celle de la flèche de la plaque.

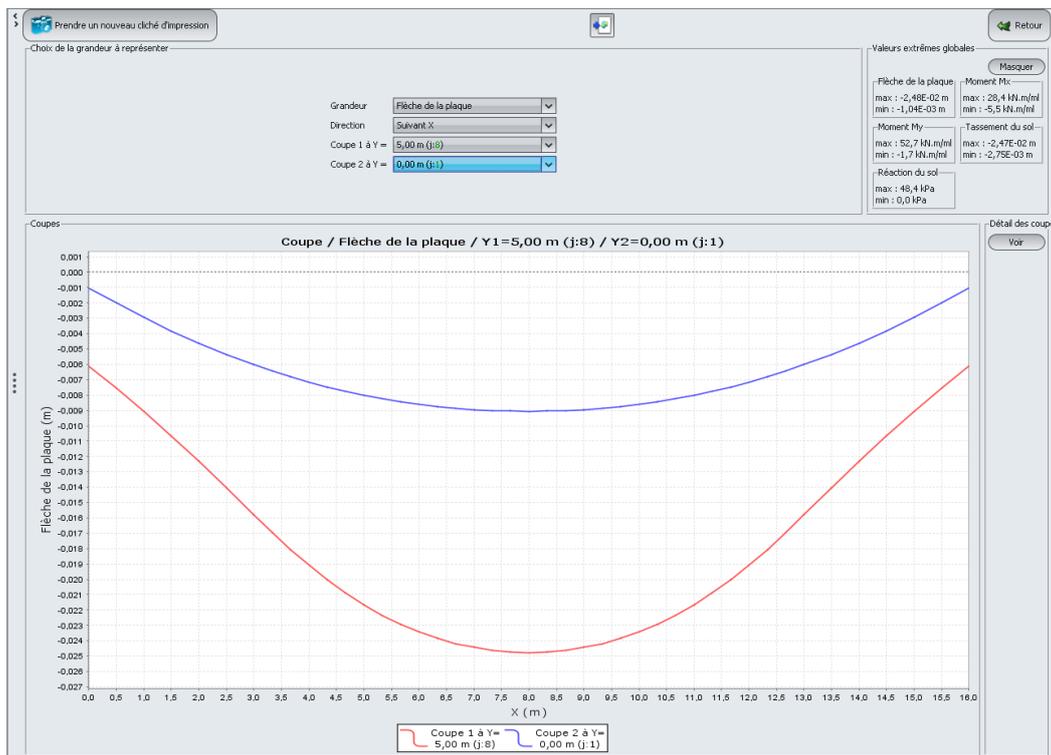
Moment  $M_x$  :

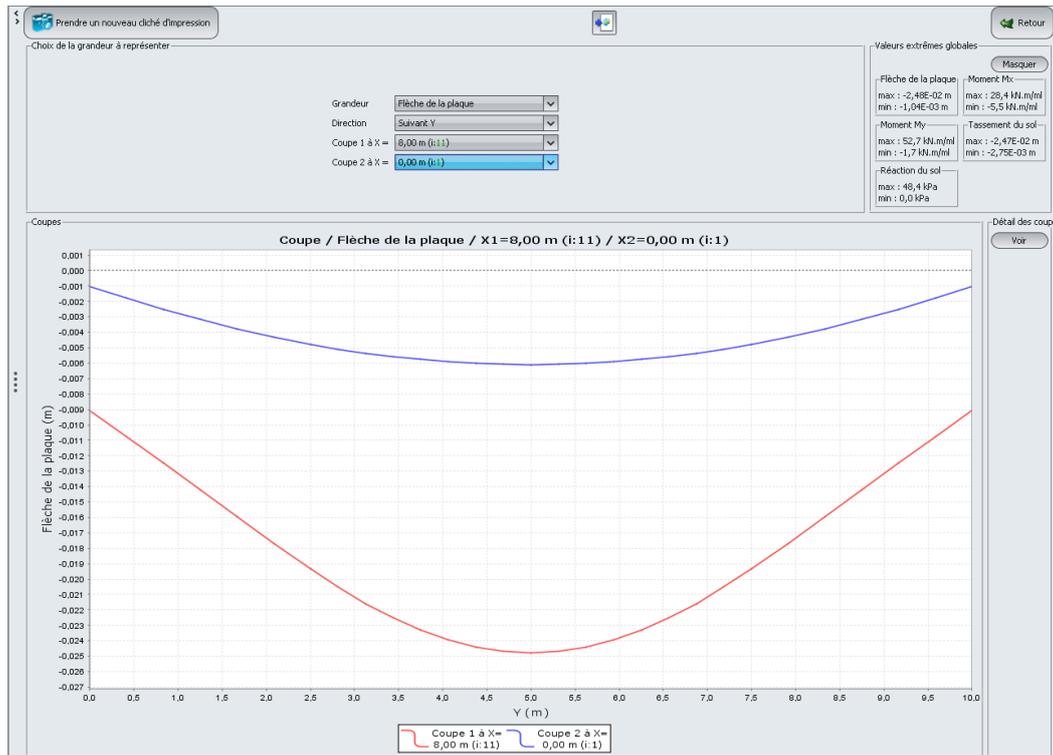


Moment  $M_y$  :



Coupes :





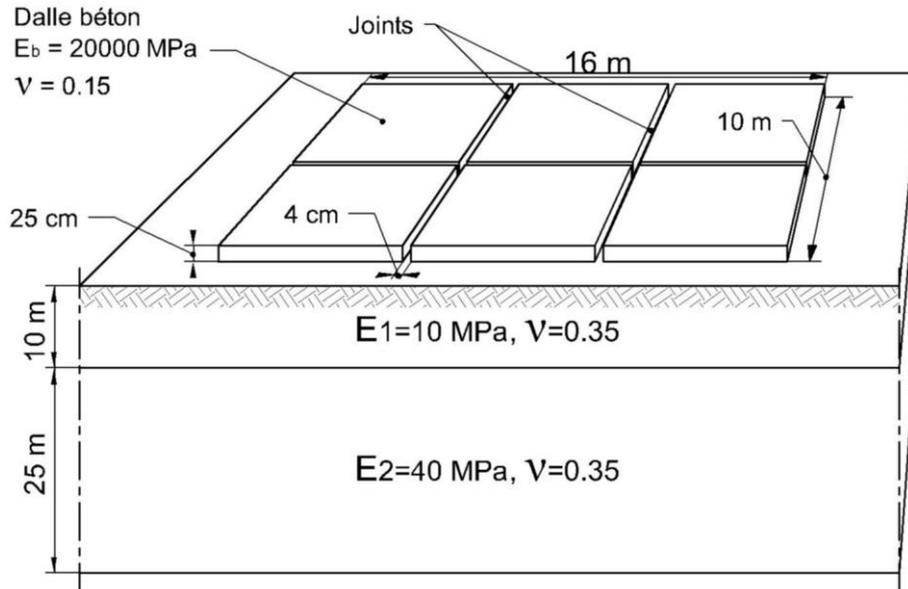
Les 2 coupes ci-dessus donnent l'amplitude des tassements du sol selon les axes X et Y respectivement, au centre et au bord de la plaque dans chaque cas.

Et on retient l'amplitude des moments fléchissants :

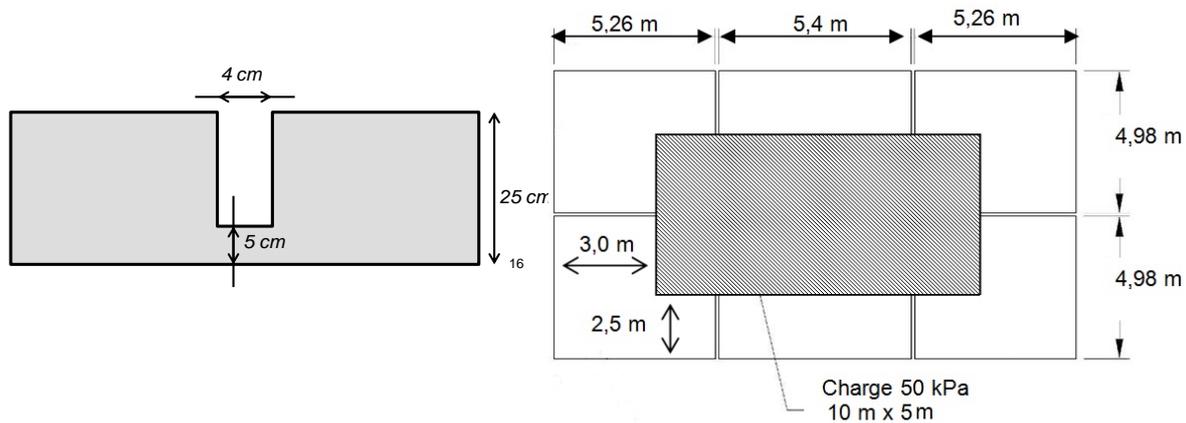
- $M_{x,max} = 28 \text{ kN.m/ml}$
- $M_{y,max} = 53 \text{ kN.m/ml}$

### I.4.3.2. Etape 2 : Dallage avec joints partiels sur sol multicouche élastique

On reprend le cas de l'étape 1 précédent. On considère cette fois la présence de joints partiels dans le dallage comme le montre la figure ci-dessous :



On suppose que ces joints partiels ont été obtenus en sciant le corps du dallage sur  $4/5^e$  de son épaisseur. Au droit de ces joints, le dallage a donc une épaisseur de 5 cm. Les joints sont supposés de 4 cm de largeur, leur espacement est illustré sur la figure ci-dessous.



Pour modifier des données, cliquer sur le bouton [Retour aux données](#).

Puis enregistrer le fichier sous un autre nom avant de démarrer cette nouvelle étape de l'exemple.

On détaille ici les données modifiées par rapport à l'étape 1 pour tenir compte de l'introduction des joints.

### I.4.3.2.1. Onglet "Plaque"

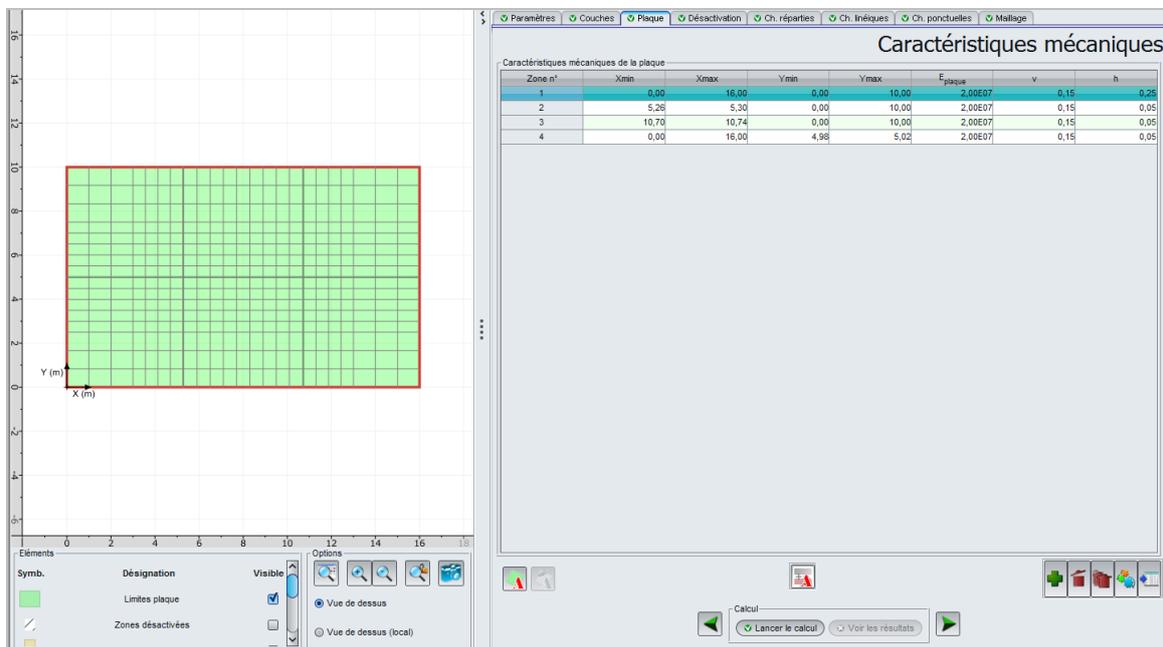
Dans cette étape, la plaque n'est plus homogène (elle est plus fine au niveau des joints). Il convient d'affecter aux zones représentatives des joints une épaisseur de 5 cm.

Il faut donc définir plusieurs zones permettant d'affecter des propriétés différentes à la plaque.

Nota : si un élément du maillage appartient à plus d'une zone, TASPLAQ affecte à cet élément les caractéristiques mécaniques de la dernière zone définie, ce qui explique l'ordre de définition considéré ci-dessus.

Nous procédons donc de la façon suivante :

- Définition d'une première zone couvrant toute la plaque, à laquelle on affecte les caractéristiques mécaniques du corps du dallage ( $E = 20\ 000\ \text{MPa}$ ,  $\nu = 0,15$  et  $h = 0,25\ \text{m}$ ),
- Puis définition de 3 zones représentatives des joints partiels, auxquelles on affecte les caractéristiques mécaniques des joints partiels ( $E = 20\ 000\ \text{MPa}$ ,  $\nu = 0,15$  et  $h = 0,05\ \text{m}$ ).

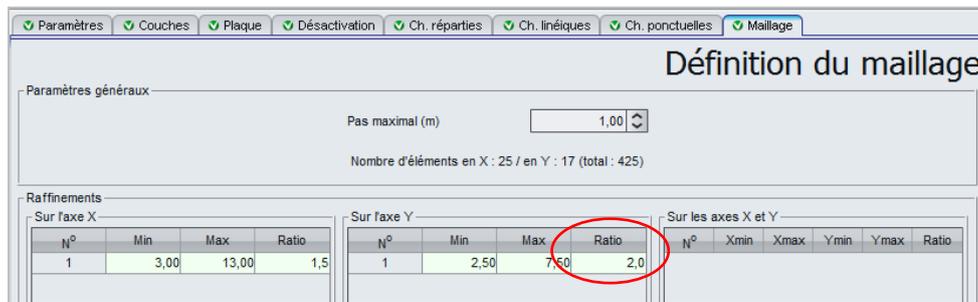


Les données à saisir sont les suivantes :

Zone n°	Xmin (m)	Xmax (m)	Ymin (m)	Ymax (m)	E <sub>plaque</sub> (kPa)	ν	h (m)
1	0,00	16,00	0,00	10,00	2,00E07	0,15	0,25
2	5,26	5,30	0,00	10,00	2,00E07	0,15	0,05
3	10,70	10,74	0,00	10,00	2,00E07	0,15	0,05
4	0,00	16,00	4,98	5,02	2,00E07	0,15	0,05

### I.4.3.2.2. Onglet "Maillage"

On propose de raffiner légèrement le maillage selon Oy : ratio = 2 (contre 1,6 précédemment) au droit de la zone chargée à 50 kPa.



### 1.4.3.2.3. Calcul et résultats

Relancer le calcul en cliquant sur le bouton .

#### Coupes graphiques

Flèche de la plaque :

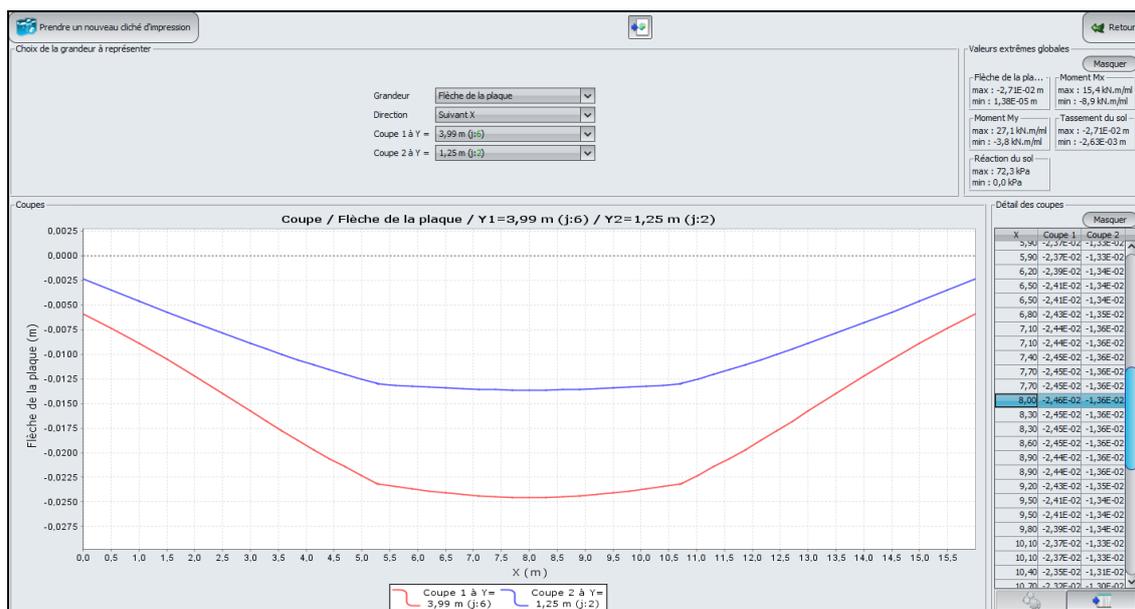
Valeurs extrêmes globales :

- Max : -2,71E-02 m (soit -2,7 cm)
- Min : 1,38E-05 m (soit 0,0 cm)

Coupe suivant X :

Coupe 1 à Y = 3,99 m (j : 6) : en X = 8 m Flèche = -2,46 cm.

Coupe 2 à Y = 1,25 m (j : 2) : en X = 8 m Flèche = -1,36 cm.



On voit apparaître un comportement en "rotule" au droit des joints, qui se traduit par une discontinuité des rotations, et une atténuation de l'allure générale des sollicitations dans le dallage (voir ci-après).

Moment  $M_x$  suivant X :

Valeurs extrêmes globales :

- Max : 15 kN.m/ml
- Min : -9 kN.m/ml

Coupe suivant X :

Coupe 1 à Y = 4,11 m (j : 7) : en X = 8,15 m  $M_x = 15$  kN.m/ml.

Coupe 2 à Y = 3,12 m (j : 5) : en X = 8,15 m  $M_x = 12$  kN.m/ml.

Moment  $M_y$  suivant Y :

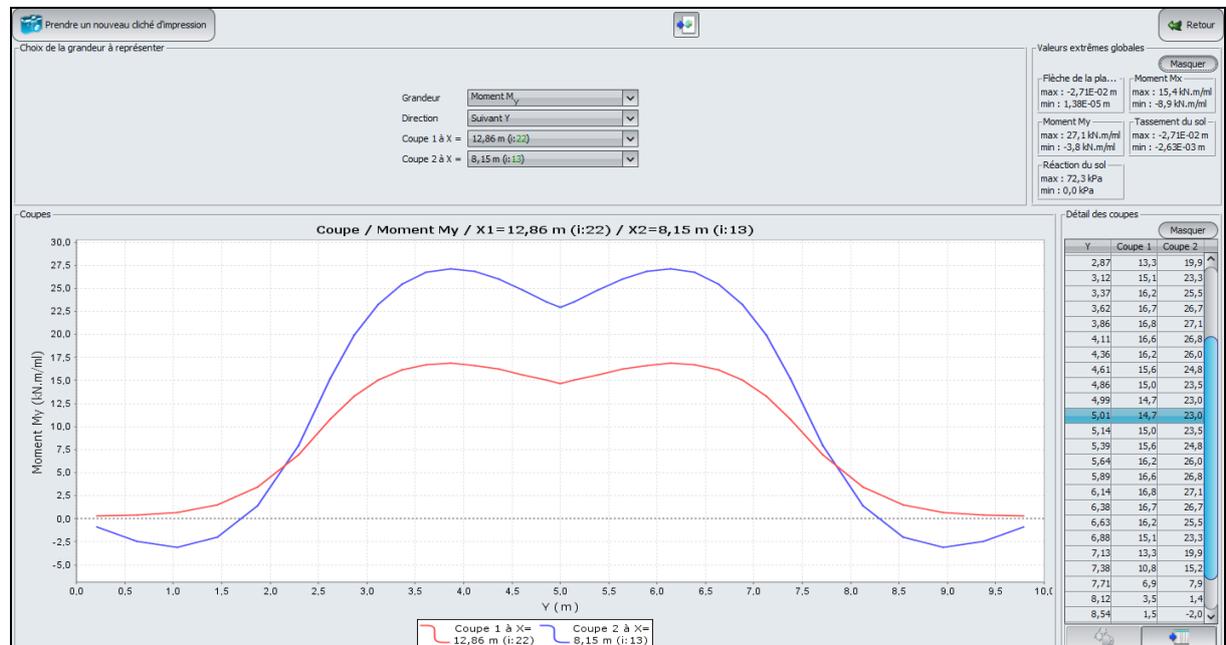
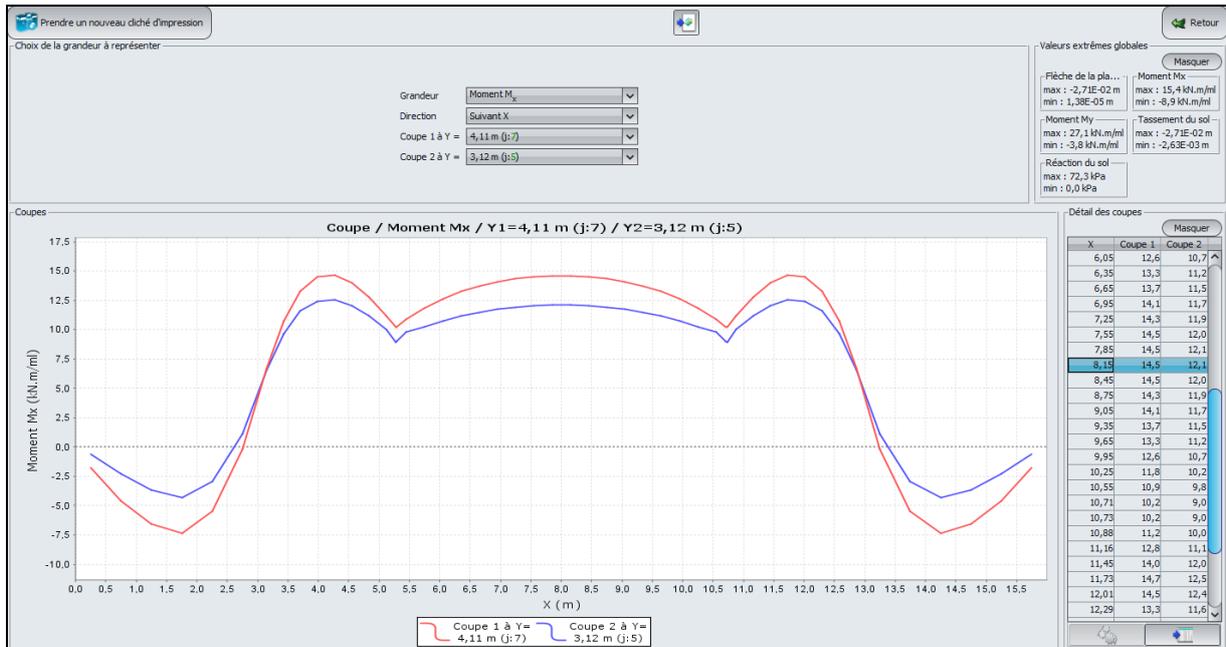
Valeurs extrêmes globales :

- Max : 27 kN.m/ml
- Min : -4 kN.m/ml

Coupe suivant Y :

Coupe 1 à X = 12,86 m (i : 22) : en Y = 5,01 m  $M_y = 15$  kN.m/ml.

Coupe 2 à X = 8,15 m (i : 13) : en Y = 5,01 m  $M_y = 23$  kN.m/ml.



On relève l'amplitude des moments fléchissants dans cet exemple :

- $M_{x, \max} = 15$  kN.m/ml < 28 kN.m/ml pour le cas du dallage continu (étape 1) ;
- $M_{y, \max} = 27$  kN.m/ml < 53 kN.m/ml pour le cas du dallage continu (étape 1).

### I.4.3.3. Etape 3 : Dallage avec joints francs sur sol multicouche élastique

On reprend le cas de l'étape 2 précédente. On suppose à présent que les joints considérés sont francs (dallage scié sur toute sa hauteur).

Les joints sont supposés de 4 cm de largeur, leur géométrie en plan est la même qu'à l'étape n° 2.

Pour modifier des données, cliquer sur le bouton .

Puis enregistrer à nouveau le fichier sous un autre nom avant de continuer.

Comme précédemment, on détaille ci-après uniquement les données modifiées par rapport à l'étape 2. La géométrie en plan des joints n'ayant pas changé, on peut notamment conserver le maillage défini à l'étape 2.

#### I.4.3.3.1. Onglet "Plaque"

On peut ici revenir à une définition homogène des caractéristiques de la plaque sur l'ensemble du maillage, sans faire de distinction entre joints et plaque. En effet, TASPLAQ n'affecte les caractéristiques de la plaque qu'aux zones activées et exclut par conséquent automatiquement les zones désactivées (en l'occurrence les joints).

Il suffit donc de conserver la première zone définie à l'étape 2, et de supprimer les 3 autres zones correspondant aux joints.

Nota : il aurait également été possible de conserver les 4 lignes définies à l'étape 2 (y compris les joints), car les zones de joints étant désactivées, les 3 dernières lignes ne seraient pas prises en compte.

Zone n°	Xmin (m)	Xmax (m)	Ymin (m)	Ymax (m)	$E_{\text{plaque}}$ (kPa)	$\nu$	h (m)
1	0,00	16,00	0,00	10,00	2,00E+07	0,15	0,25

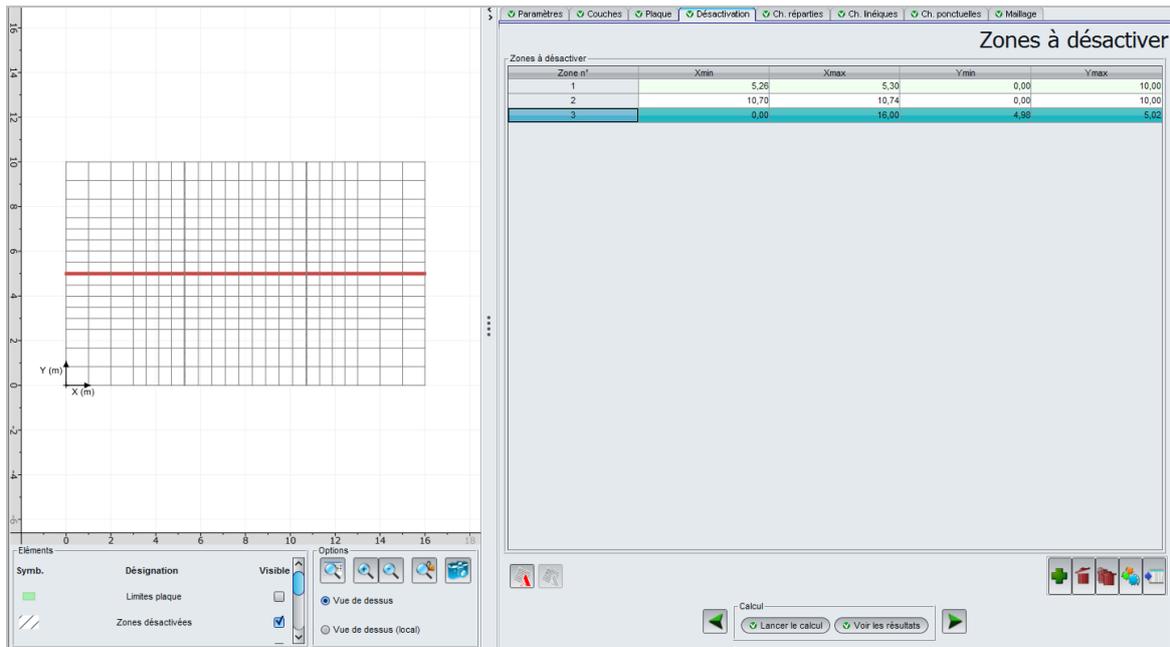
#### I.4.3.3.2. Onglet "Désactivation"

Il convient à présent de désactiver les zones correspondant aux joints francs.

Il s'agit pour cet exemple de définir six plaques désolidarisées les unes par rapport aux autres par le biais des joints.

Pour désactiver par exemple la zone correspondant au premier joint, définir une zone de  $X_{\min} = 5,26$  à  $X_{\max} = 5,30$  m et de  $Y_{\min} = 0,00$  à  $Y_{\max} = 10,00$  m.

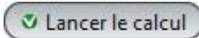
Procéder de même pour les 2 autres joints à définir.



Les données à saisir ici sont les suivantes :

Zone n°	Xmin (m)	Xmax (m)	Ymin (m)	Ymax (m)
1	5,26	5,30	0,00	10,00
2	10,70	10,74	0,00	10,00
3	0,00	16,00	4,98	5,02

#### 1.4.3.3. Calcul et résultats

Relancer le calcul en cliquant sur le bouton 

#### Coupes graphiques

On peut illustrer les résultats obtenus, notamment en termes d'influence des joints introduits, en effectuant des coupes dans la plaque.

#### Flèche de la plaque :

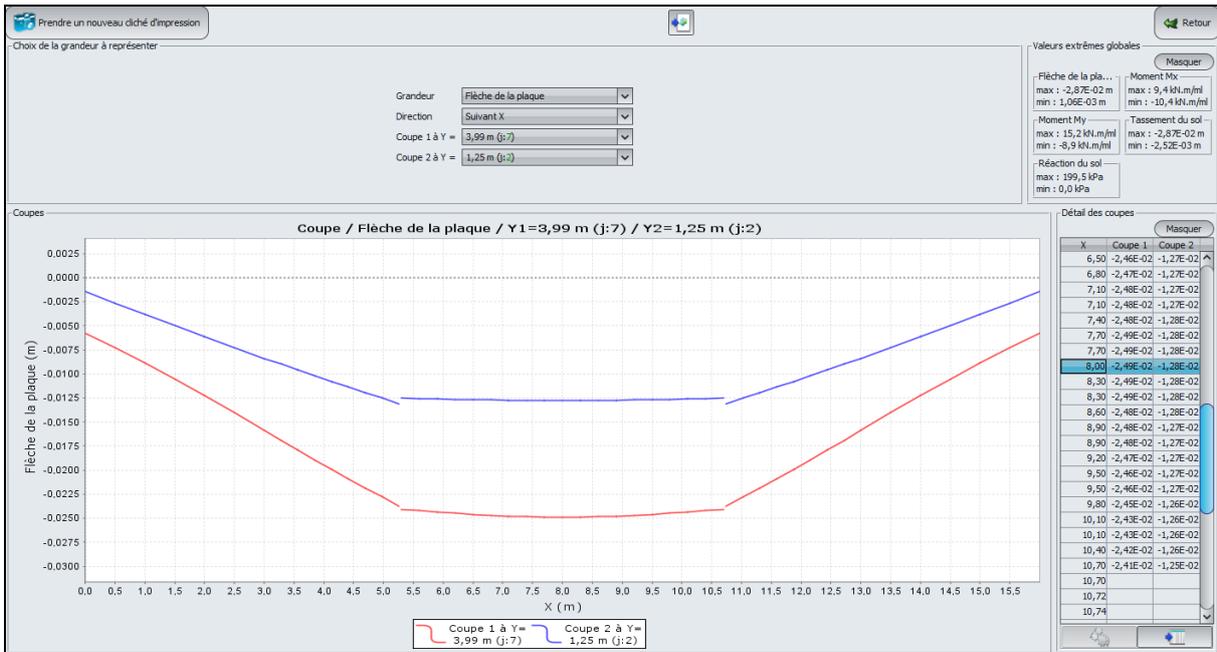
Valeurs extrêmes globales :

- Max :  $-2,87E-02$  m (soit -2,9 cm)
- Min :  $1,06E-03$  m (soit 0,1 cm)

Coupe suivant  $O_x$  :

Coupe 1 à  $Y = 3,99$  m (j : 7) : en  $X = 8$  m Flèche = -2,49 cm.

Coupe 2 à  $Y = 1,25$  m (j : 2) : en  $X = 8$  m Flèche = -1,28 cm.



**Moment  $M_x$  suivant X :**

Valeurs extrêmes globales :

- Max : 9 kN.m/ml
- Min : -10 kN.m/ml

Coupe suivant  $O_x$  :

Coupe 1 à Y = 4,11 m (j : 7) : en X = 8,15 m  $M_x = 9$  kN.m/ml.

Coupe 2 à Y = 3,12 m (j : 5) : en X = 8,15 m  $M_x = 8$  kN.m/ml.



**Moment  $M_y$  suivant Y :**

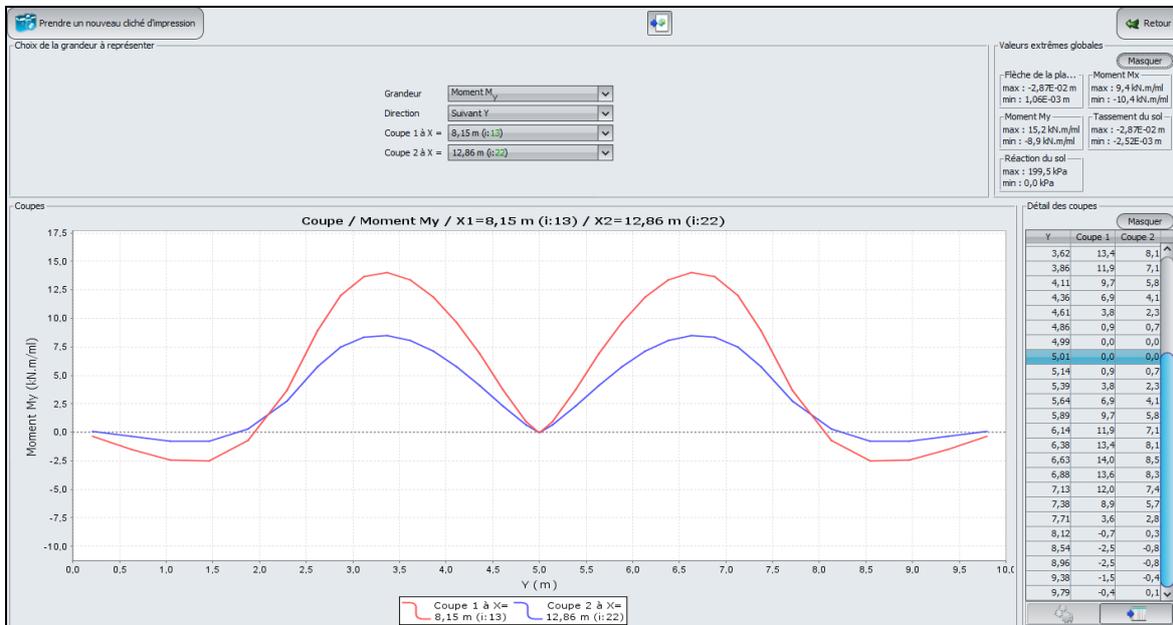
Valeurs extrêmes globales :

- Max : 15 kN.m/ml
- Min : -9 kN.m/ml

Coupe suivant  $O_y$  :

Coupe 1 à X = 8,15 m (i : 13) : en Y = 5,01 m  $M_y = 0$  kN.m/ml.

Coupe 2 à X = 12,86 m (i : 22) : en Y = 5,01 m  $M_y = 0$  kN.m/ml.

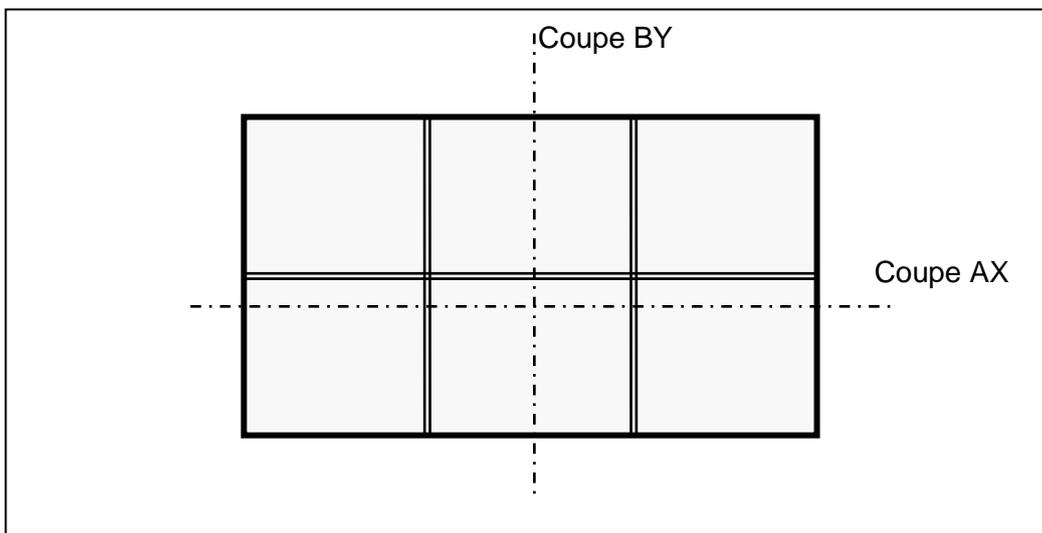


On relève l'amplitude des moments fléchissants dans cet exemple :

- $M_{x, \max} = 10$  kN.m/ml  $< 0,4 \times 28$  kN.m/ml pour le cas du dallage continu (étape 1) ;
- $M_{y, \max} = 15$  kN.m/ml  $< 0,3 \times 53$  kN.m/ml pour le cas du dallage continu (étape 1).

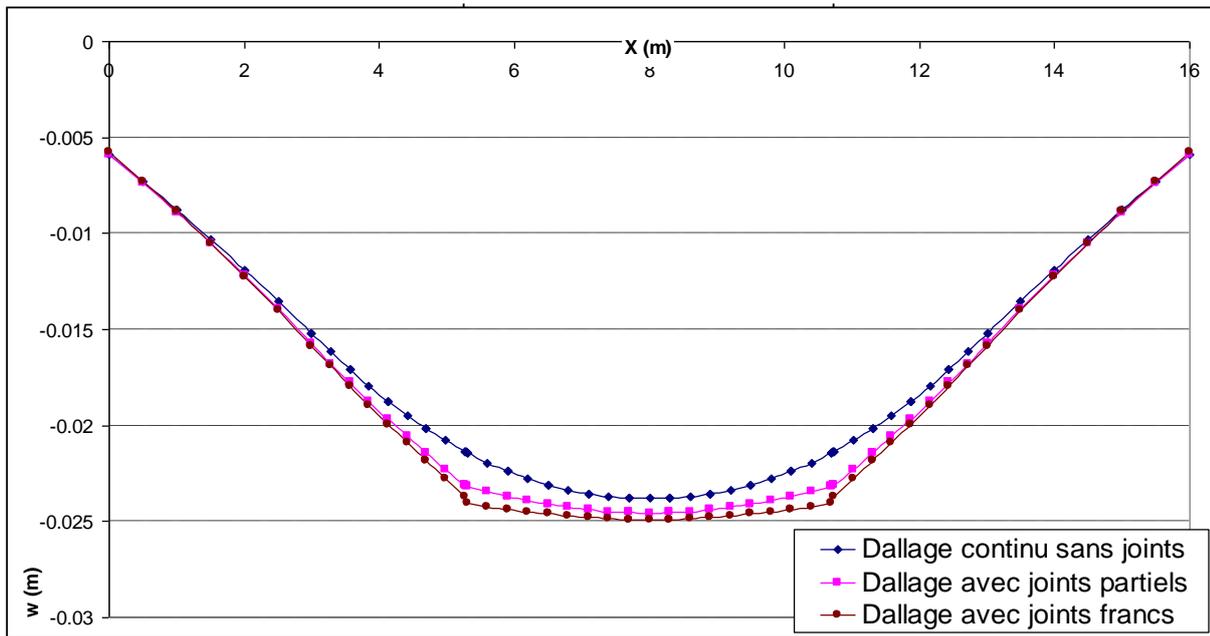
**I.4.3.4. Comparaison des trois situations étudiées**

Afin d'illustrer l'incidence des joints sur l'allure et l'amplitude des sollicitations dans le corps du dallage, on se propose de superposer les résultats obtenus pour les trois situations étudiées, à savoir, le premier cas d'un dallage continu, celui d'un dallage avec joints partiels, et enfin le cas d'un dallage avec joints francs. La comparaison est réalisée au droit des deux coupes représentées sur la figure ci-dessous :

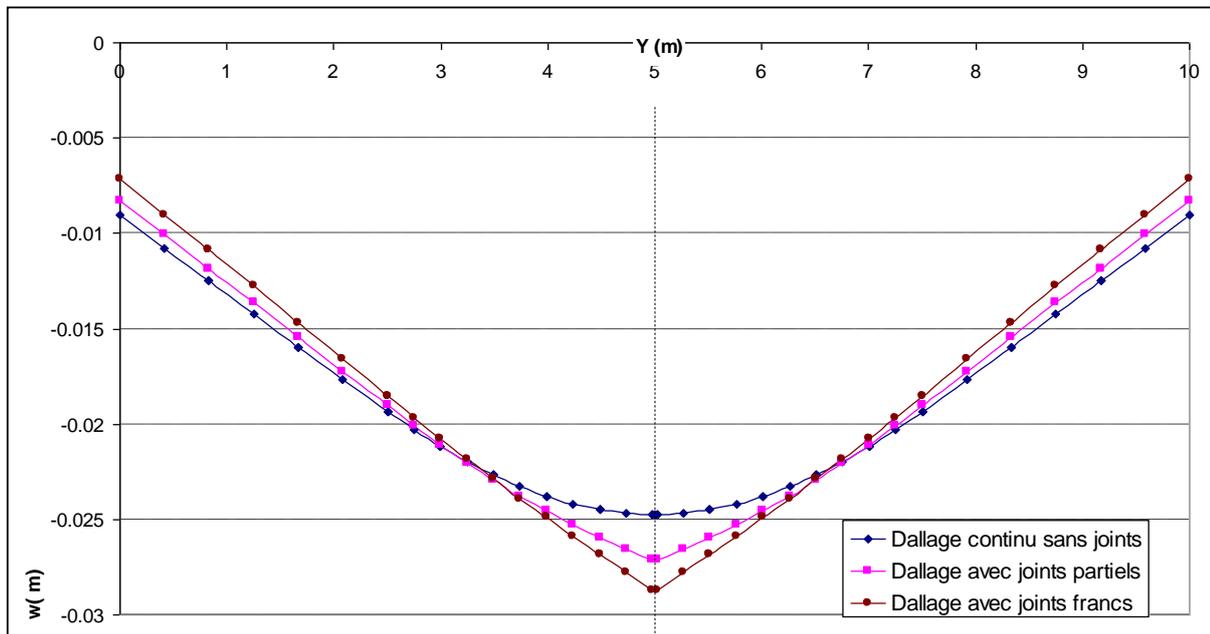


Ci-après les résultats obtenus :

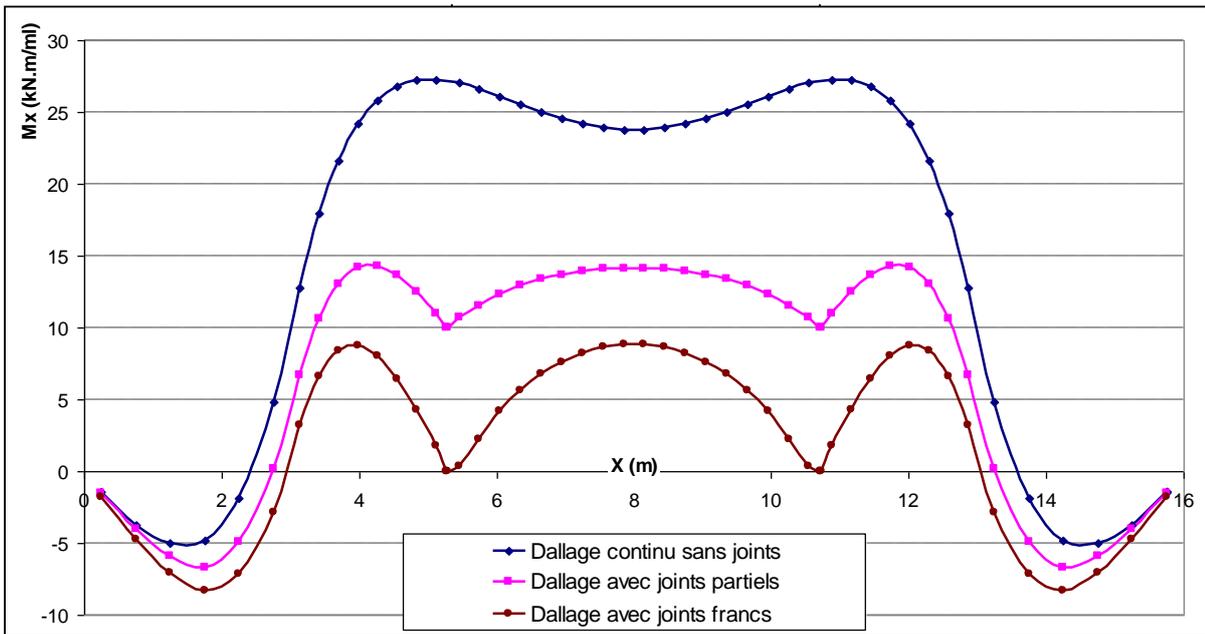
Tassement du corps du dallage suivant la coupe AX :



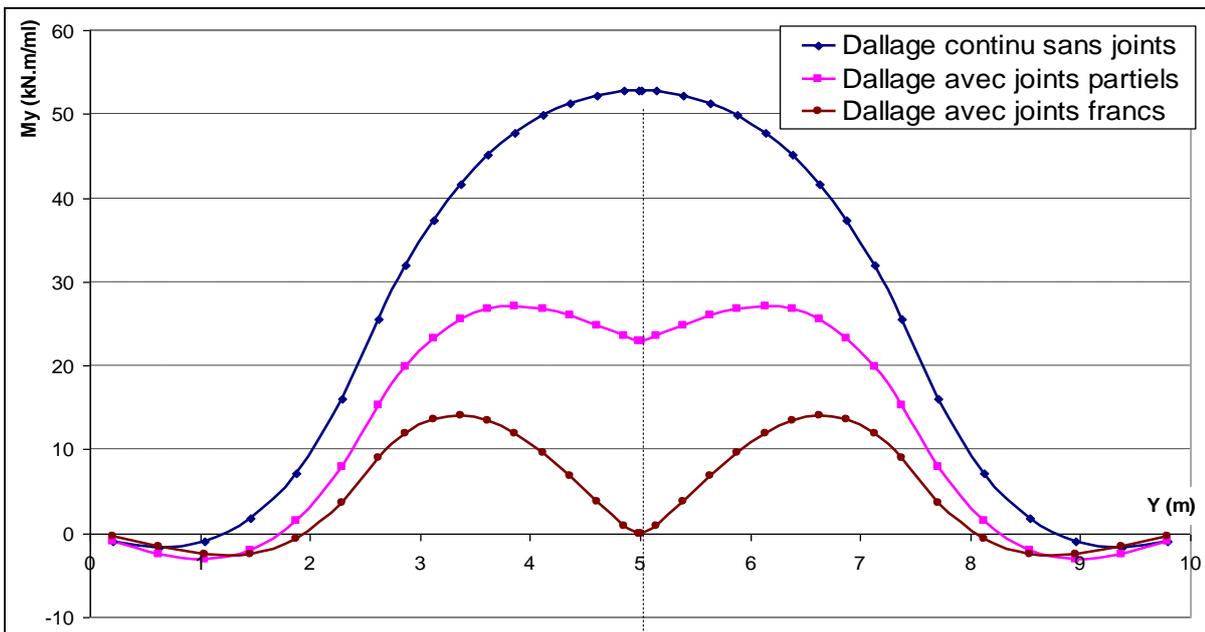
Tassement du corps du dallage suivant la coupe BY :



Moment  $M_x$  suivant la coupe AX :



Moment  $M_y$  suivant la coupe BY :



Au niveau des déformations, on observe qu'avec l'introduction des joints, le comportement du dallage ressemble de plus en plus à celui de 6 panneaux désolidarisés voisins interagissant via le massif support. Au niveau des sollicitations, on constate que la considération des joints permet d'atténuer considérablement l'amplitude et l'allure des moments dans le dallage.

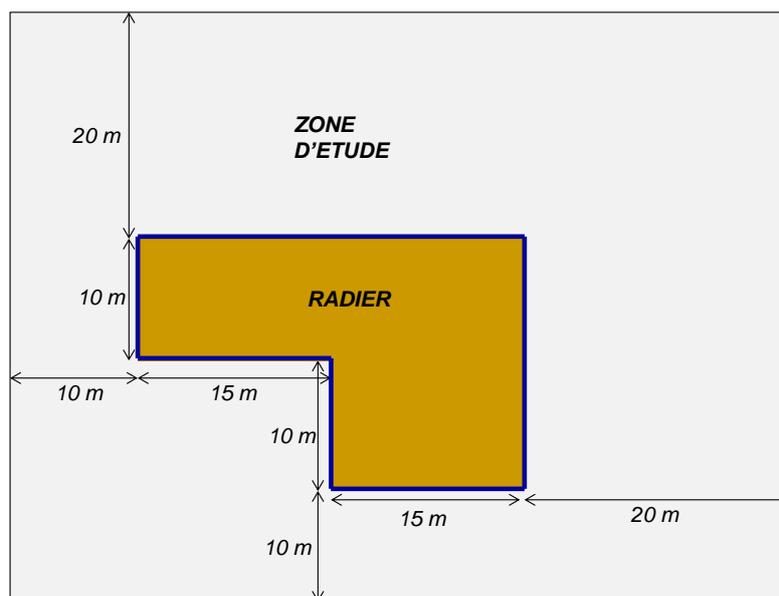
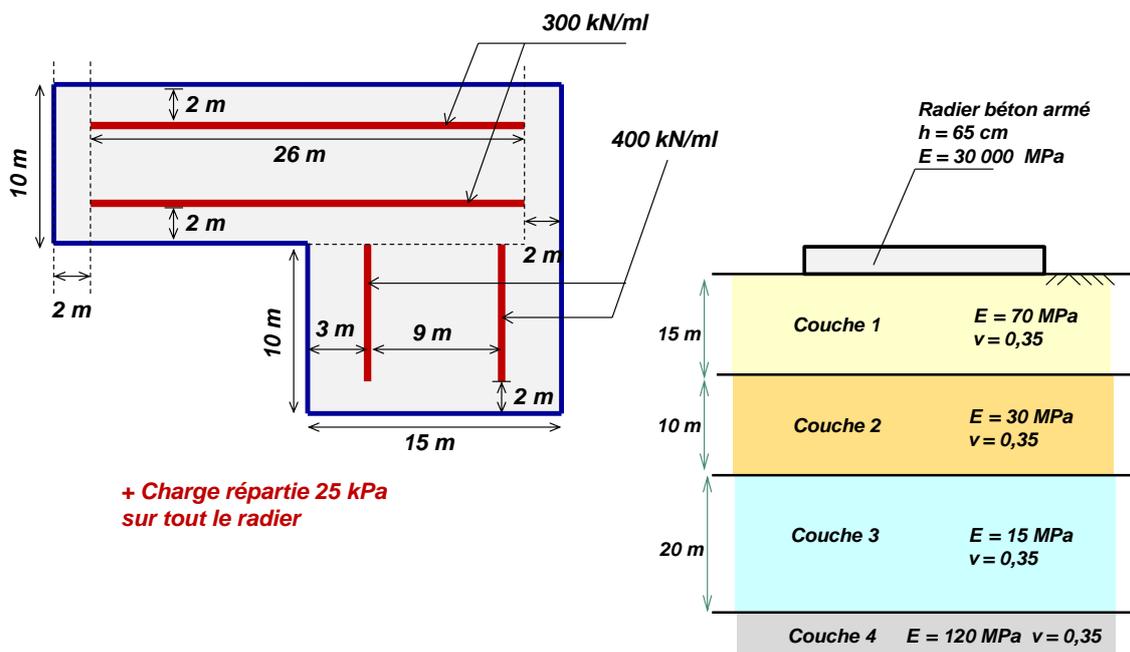
### I.4.4. Exemple 4 : Radier en L sous chargement linéique et interaction avec un remblai

#### I.4.4.1. Etape 1 : Radier en L sous chargement linéique

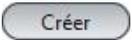
Un radier en forme de "L" est soumis, en plus de l'action d'une charge répartie de 25 kPa, à l'application de deux charges linéiques de 300 kN/ml selon l'axe Ox et de deux charges linéiques de 400 kN/ml selon l'axe Oy.

Le sol autour du radier a été pris en compte pour montrer l'effet du chargement sur le radier sur les ouvrages environnants éventuels.

Les figures suivantes représentent les données du projet traité.

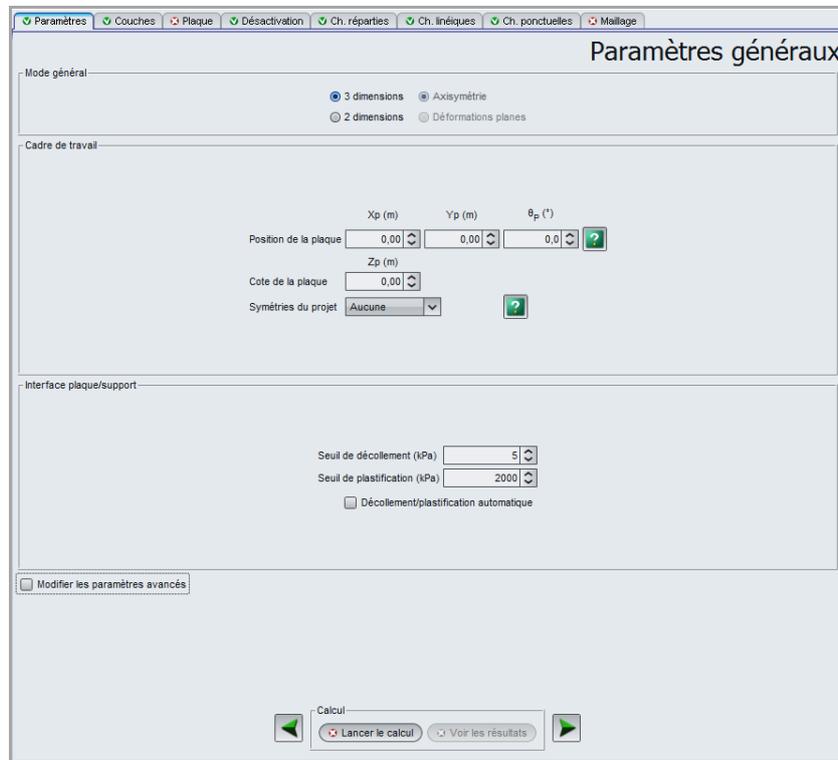


Créer un nouveau projet (en suivant la même procédure que pour les premiers exemples).

Sélectionner le module TASPLAQ puis cliquer sur le bouton .

#### 1.4.4.1.1. Onglet "Paramètres"

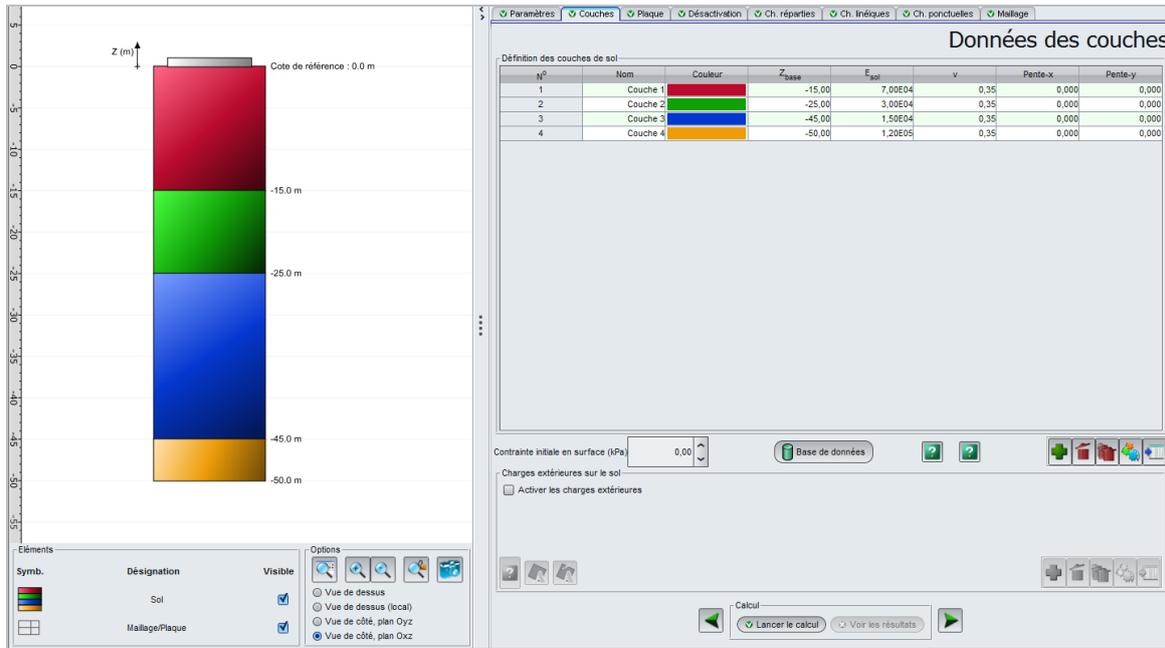
Compléter les données conformément à l'écran ci-dessous (on conserve ici les choix proposés par défaut).



#### 1.4.4.1.2. Onglet "Couches"

Compléter les données conformément à l'écran et au tableau ci-dessous.

Nom	Z <sub>base</sub> (m)	E <sub>sol</sub> (kPa)	ν	Pente-x	Pente-y
Couche 1	-15,0	7,00E+04	0,35	0,00	0,00
Couche 2	-25,0	3,00E+04	0,35	0,00	0,00
Couche 3	-45,0	1,50E+04	0,35	0,00	0,00
Couche 4	-50,0	1,20E+05	0,35	0,00	0,00

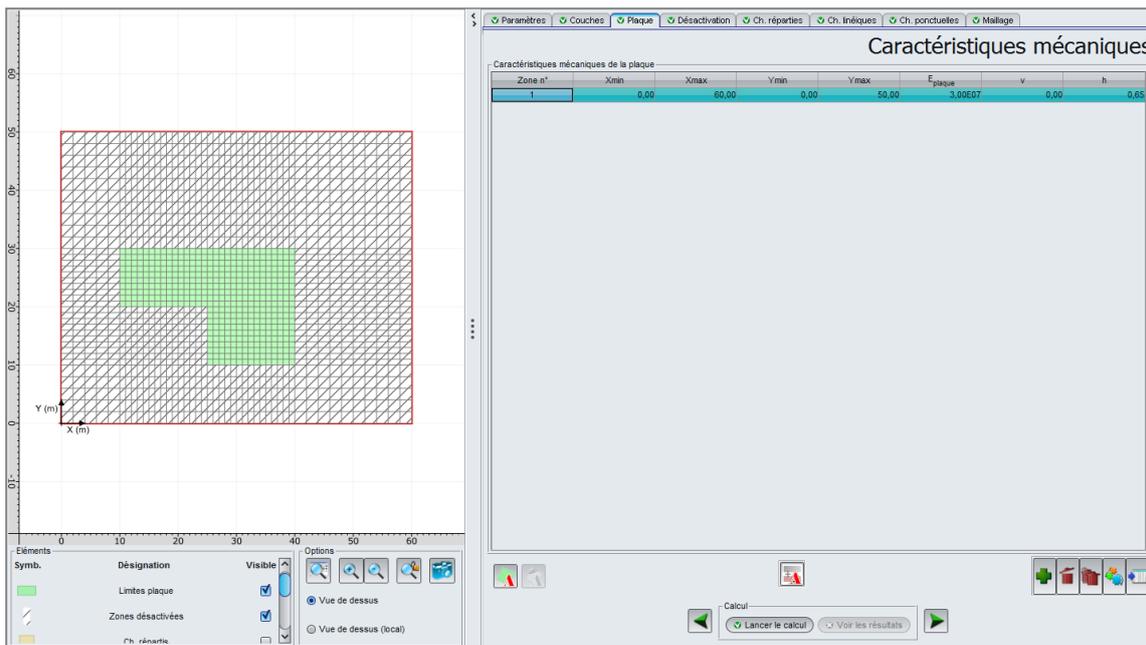


### I.4.4.1.3. Onglet "Plaque"

Dans cet exemple, le radier est homogène et continu. Pour définir ses caractéristiques, il suffit de définir une seule zone couvrant tout le modèle, sachant que seules les zones actives de la plaque se verront effectivement affecter ces caractéristiques.

Zone n°	Xmin (m)	Xmax (m)	Ymin (m)	Ymax (m)	E <sub>plaque</sub> (kPa)	v	h (m)
1	0,00	60,00	0,00	50,00	3,00E+07	0,00	0,65

Le choix d'un coefficient de Poisson nul s'explique par l'hypothèse d'un radier constitué en béton armé.

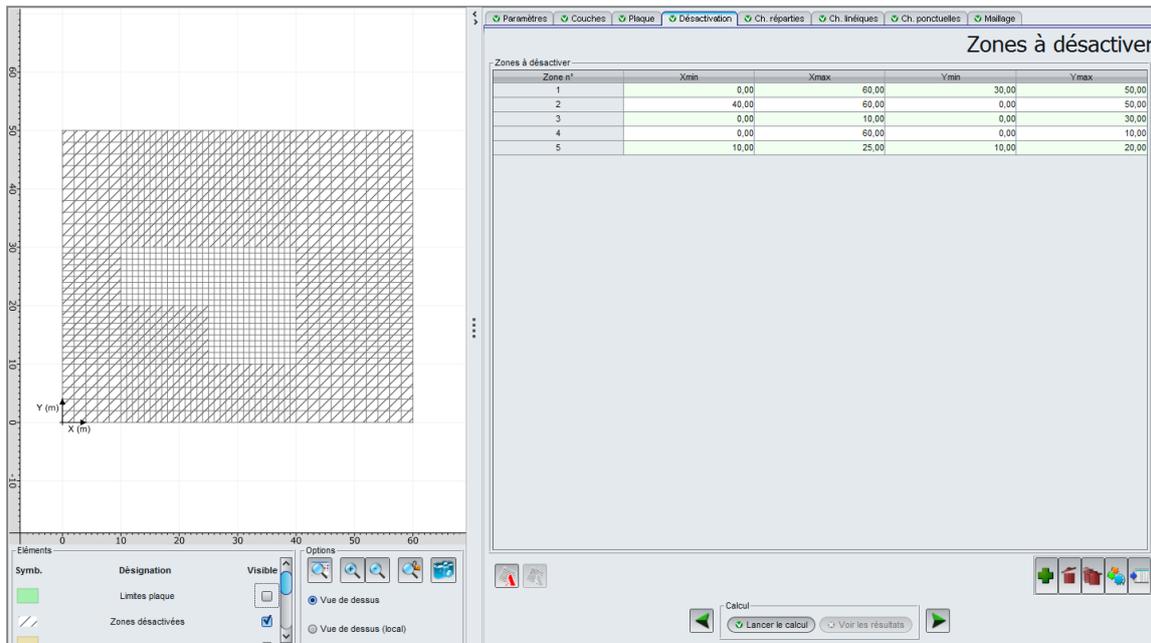


#### I.4.4.1.4. Onglet "Désactivation"

Il convient de désactiver les zones situées en dehors de l'emprise du radier la forme en L recherchée

Il y a plusieurs "solutions" de désactivation pour arriver au même résultat, sachant qu'un élément peut être désactivé plusieurs fois.

Ci-dessous les données correspondant à l'une de ces méthodes possibles.

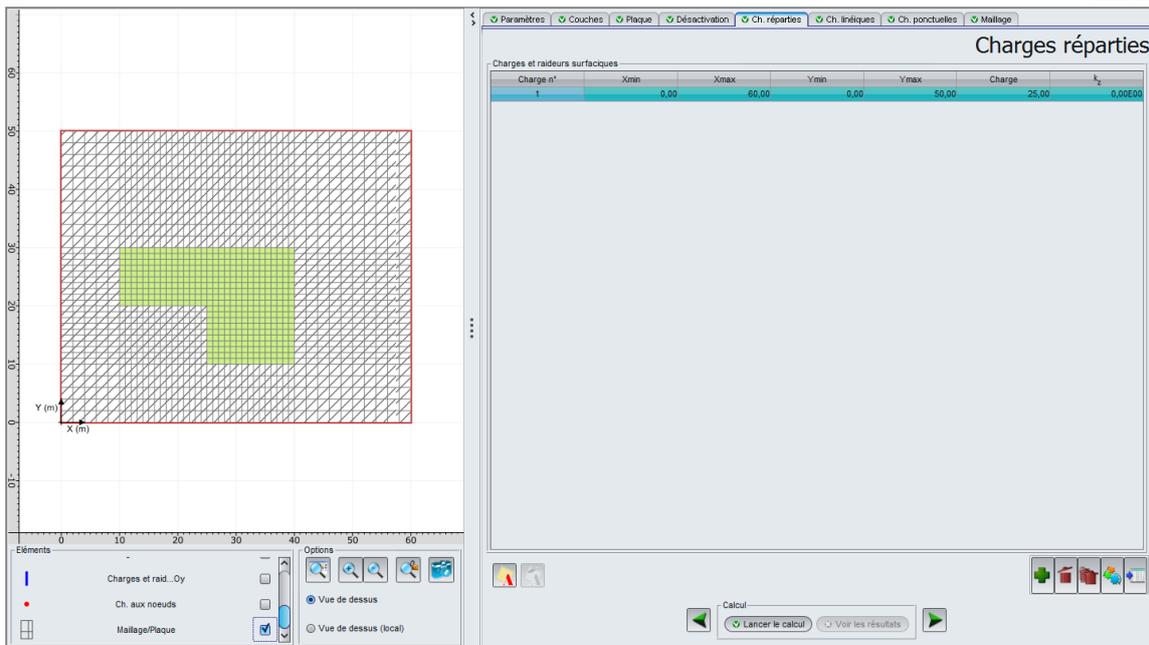


Zone n°	Xmin (m)	Xmax (m)	Ymin (m)	Ymax (m)
1	0,00	60,00	30,00	50,00
2	40,00	60,00	0,00	50,00
3	0,00	10,00	0,00	30,00
4	0,00	60,00	0,00	10,00
5	10,00	25,00	10,00	20,00

#### I.4.4.1.5. Onglet "Charges réparties"

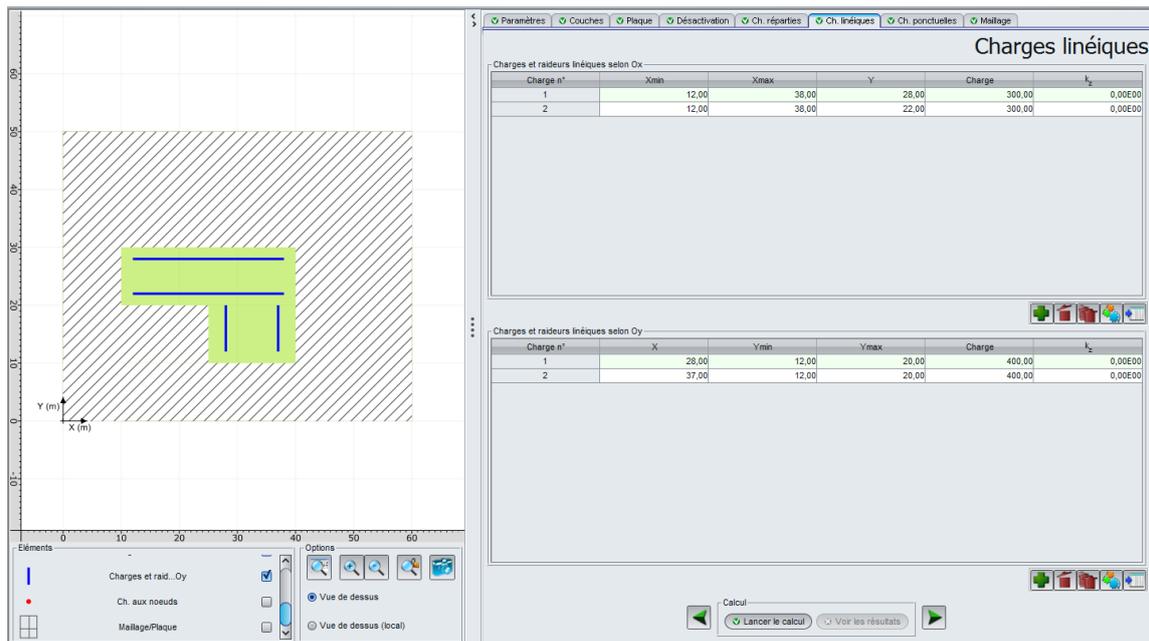
Nous devons définir une charge répartie de 25 kPa sur une zone couvrant toute la plaque : là aussi, nous pouvons la définir sur un rectangle couvrant tout le modèle ; elle ne sera effectivement appliquée que sur les éléments de plaque actifs.

Charge n°	Xmin (m)	Xmax (m)	Ymin (m)	Ymax (m)	Charge (kPa)	k <sub>z</sub> (kPa/m)
1	0,00	60,00	0,00	50,00	25	0



#### I.4.4.1.6. Onglet "Charges linéiques"

Deux charges linéiques selon Ox (300 kN/ml) et deux charges linéiques selon Oy (400 kN/ml) sont à définir sur le radier.



Charges selon X :

Charge n°	Xmin (m)	Xmax (m)	Y (m)	Charge (kPa)	k <sub>z</sub> (kPa/m)
1	12,00	38,00	28,00	300	0
2	12,00	38,00	22,00	300	0

Charges selon Y :

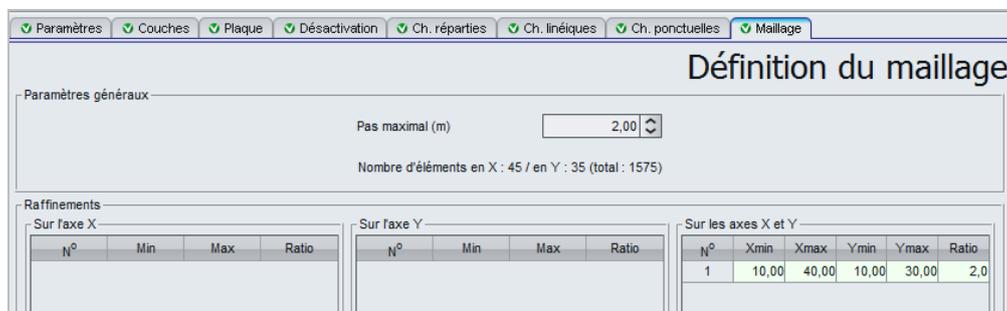
Charge n°	Ymin (m)	Ymax (m)	X (m)	Charge (kPa)	k <sub>z</sub> (kPa/m)
1	28,00	12,00	20,00	400	0
2	37,00	12,00	20,00	400	0

**I.4.4.1.7. Onglet "Charges ponctuelles"**

Il n'y a pas de charge ponctuelle dans cet exemple.

**I.4.4.1.8. Onglet "Maillage"**

Un pas maximal fixé à 2 m est à définir ainsi qu'un raffinement (x 2) au droit du radier, soit sur une zone rectangulaire de 30 m x 20 m située entre Xmin = 10,00 m, Xmax = 40,00 m et Ymin = 10,00 m Ymax = 30,00 m.



Les données à saisir sont les suivantes :

- Pas maximal = 2 m

Raffinements sur les axes X et Y :

N°	Xmin (m)	Xmax (m)	Ymin (m)	Ymax (m)	Ratio
1	10,00	40,00	10,00	30,00	2,0

**I.4.4.1.9. Calcul et résultats**

Lancer le calcul puis accéder aux résultats.

**Résultats numériques formatés**

Tout copier Copier uniquement la sélection

REACTION DU SOL ET TASSEMENT SOUS LES NOEUDS (COORDONNEES GLOBALES)

noeud	X	Y	statut	Pression	Tassement	Flèche
001,001	0.000	0.000	désactivé	0.000	0.219397E-02	0.000000E+00
002,001	2.000	0.000	désactivé	0.000	0.253939E-02	0.000000E+00
003,001	4.000	0.000	désactivé	0.000	0.291640E-02	0.000000E+00
004,001	6.000	0.000	désactivé	0.000	0.332331E-02	0.000000E+00
005,001	8.000	0.000	désactivé	0.000	0.375724E-02	0.000000E+00
006,001	10.000	0.000	désactivé	0.000	0.421389E-02	0.000000E+00
007,001	11.000	0.000	désactivé	0.000	0.444900E-02	0.000000E+00
008,001	12.000	0.000	désactivé	0.000	0.468748E-02	0.000000E+00
009,001	13.000	0.000	désactivé	0.000	0.492837E-02	0.000000E+00
010,001	14.000	0.000	désactivé	0.000	0.517058E-02	0.000000E+00
011,001	15.000	0.000	désactivé	0.000	0.541282E-02	0.000000E+00
012,001	16.000	0.000	désactivé	0.000	0.565376E-02	0.000000E+00
013,001	17.000	0.000	désactivé	0.000	0.589188E-02	0.000000E+00
014,001	18.000	0.000	désactivé	0.000	0.612553E-02	0.000000E+00
015,001	19.000	0.000	désactivé	0.000	0.635283E-02	0.000000E+00
016,001	20.000	0.000	désactivé	0.000	0.657179E-02	0.000000E+00
017,001	21.000	0.000	désactivé	0.000	0.678027E-02	0.000000E+00

Au droit des nœuds désactivés, la réaction du sol est nulle (absence de la plaque) mais un tassement est bien calculé, c'est l'intérêt d'étendre l'emprise du modèle au-delà de la zone occupée réellement par le radier.

### Résultats graphiques - Coupes

#### Tassement du sol :

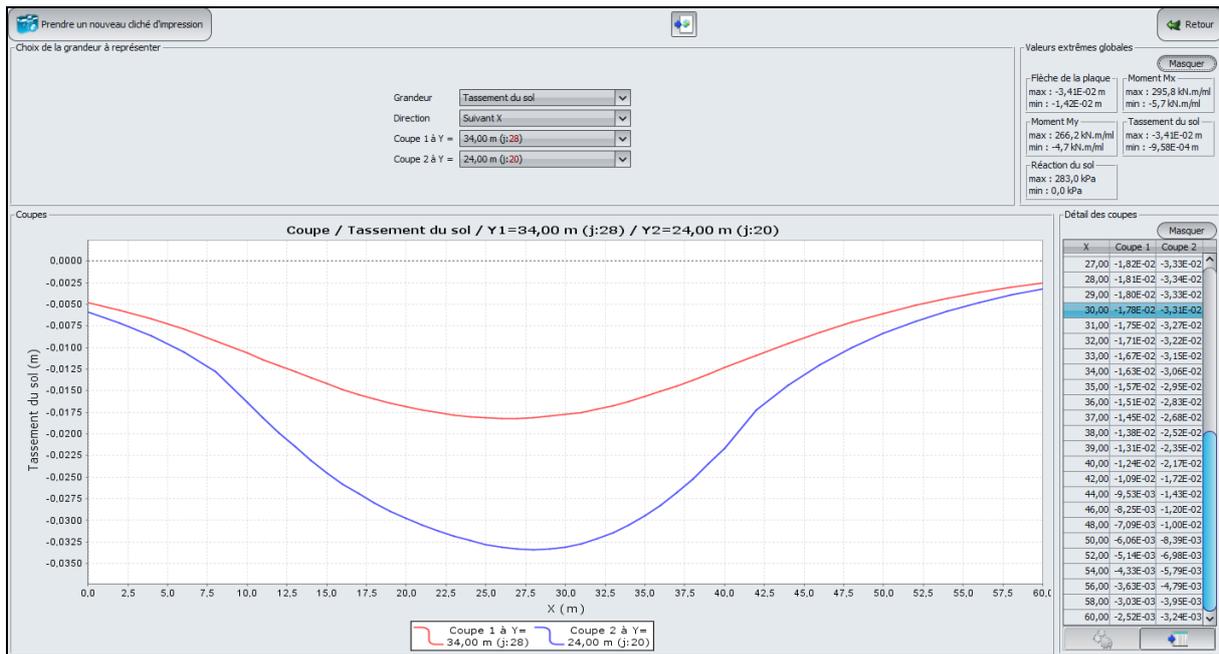
Valeurs extrêmes globales :

- Max : -3,41E-02 m (soit -3,4 cm)
- Min : -9,58E-04 m (soit -0,1 cm)

#### Coupe suivant X :

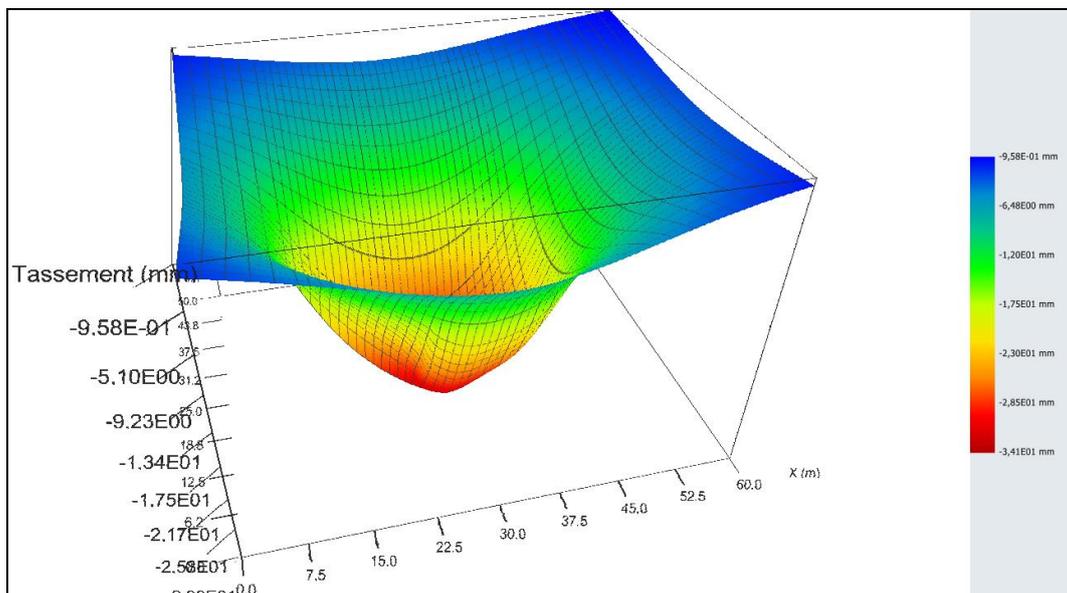
Coupe 1 à Y = 34 m (j : 28) : à X = 30 m Tassement du sol = -1,8 cm

Coupe 2 à Y = 24 m (j : 20) : à X = 30 m Tassement du sol = -3,3 cm



### Résultats graphiques 3D

#### Tassement du sol

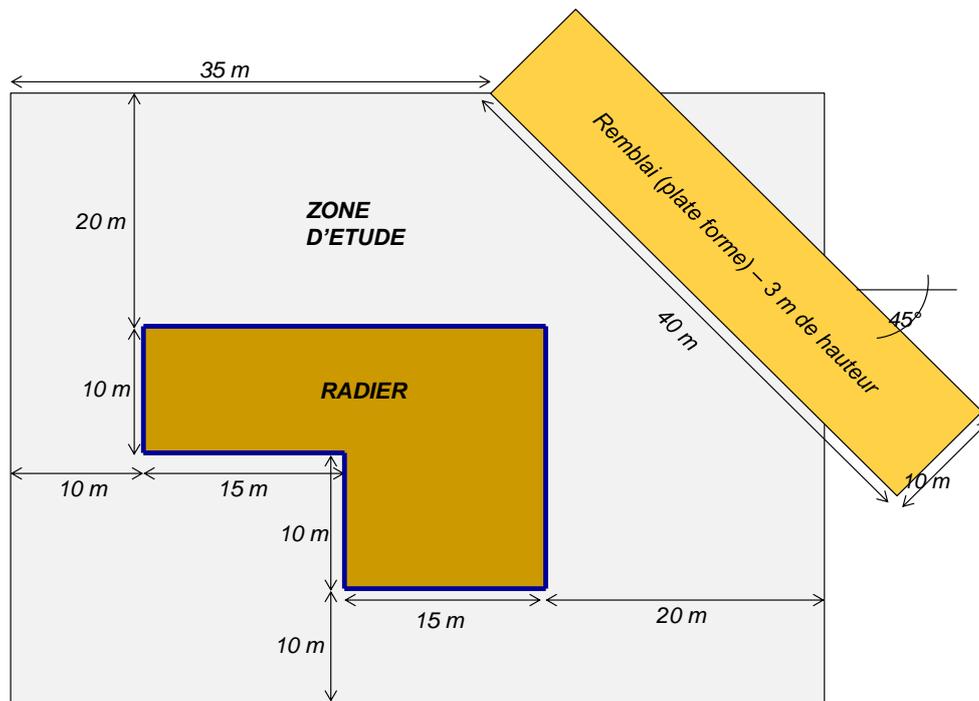


L'intérêt de cet exemple est d'illustrer l'aptitude de TASPLAQ à traiter non seulement le tassement engendré par le radier dans sa zone d'application mais également celui du massif autour.

Notons que ceci n'aurait pas été possible si on avait appliqué l'approche courante qui consiste à assimiler le sol à un des ressorts juxtaposés (indépendants par définition).

#### I.4.4.2. Etape 2 : Influence d'un remblai voisin

On cherche à présent à étudier l'influence d'un remblai de 3 m de hauteur apportant une surcharge au sol de 60 kPa au voisinage du radier. La géométrie en plan du remblai est donnée sur la figure ci-dessous.



Nous allons partir du projet précédent (étape 1) et ajouter une charge sur le sol à l'extérieur de la plaque. Ouvrir le projet précédent et l'enregistrer sous un nom différent.

##### I.4.4.2.1. Onglet "Couches"

L'ajout d'un remblai est simulé via la saisie d'une charge extérieure (à la plaque) de 60 kPa (appliquée directement sur le sol).

Nota : Tasplaq considère implicitement que la charge du remblai et celles du radier sont appliquées simultanément !

Charge n°	X <sub>r</sub> (m)	Y <sub>r</sub> (m)	Z <sub>r</sub> (m)	LX <sub>r</sub> (m)	LY <sub>r</sub> (m)	θ (°)	q <sub>r</sub> (kPa)
1	35,0	50,0	0,0	40	10	-45	60

**Données des couches**

N°	Nom	Couleur	Z <sub>base</sub>	E <sub>sol</sub>	v	Pente-x	Pente-y
1	Couche 1	Red	-15,00	7,00E04	0,35	0,000	0,000
2	Couche 2	Green	-25,00	3,00E04	0,35	0,000	0,000
3	Couche 3	Blue	-45,00	1,50E04	0,35	0,000	0,000
4	Couche 4	Orange	-50,00	1,20E05	0,35	0,000	0,000

**Charges extérieures**

Charge n°	X <sub>c</sub>	Y <sub>c</sub>	Z <sub>c</sub>	LX <sub>c</sub>	LY <sub>c</sub>	θ <sub>c</sub>	q <sub>c</sub>
1	35,00	50,00	0,00	40,00	10,00	-45,00	60,00

### 1.4.4.2. Résultats

On peut maintenant comparer les nouveaux résultats obtenus aux précédents, et visualiser l'influence du remblai sur les tassements.

#### Résultats graphiques - Coupes

Tassement du sol :

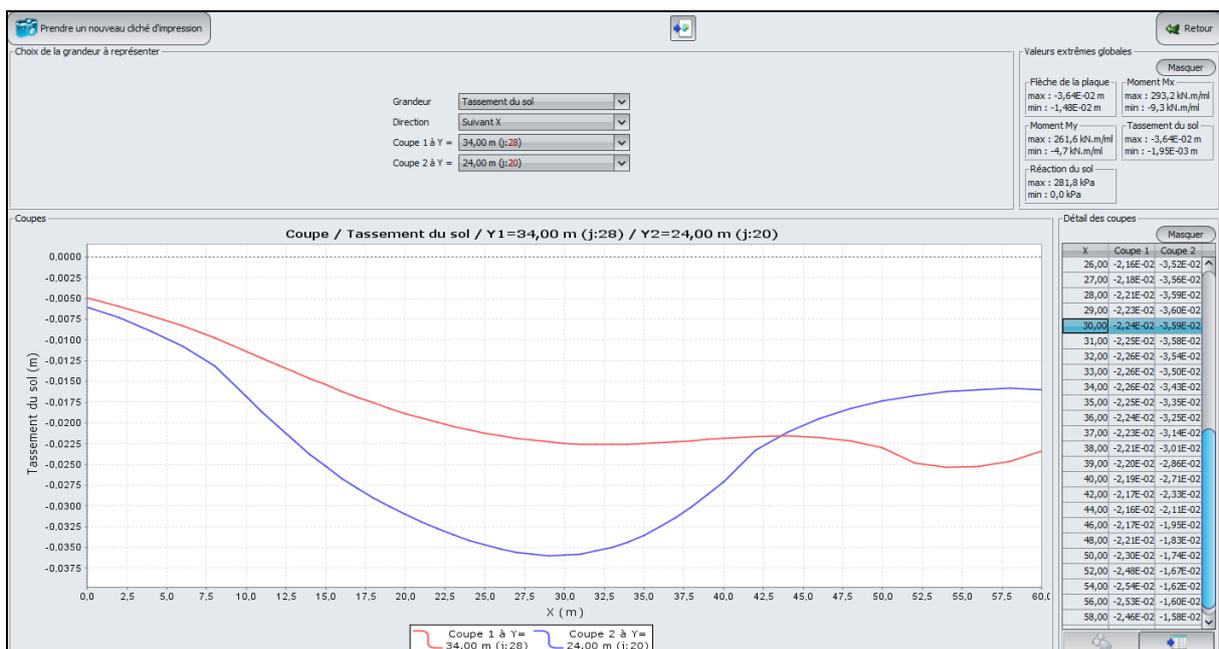
Valeurs extrêmes globales :

- Max : -3,64E-02 m (soit -3,6 cm)
- Min : -1,95E-03 m (soit -0,2 cm)

Coupe suivant X :

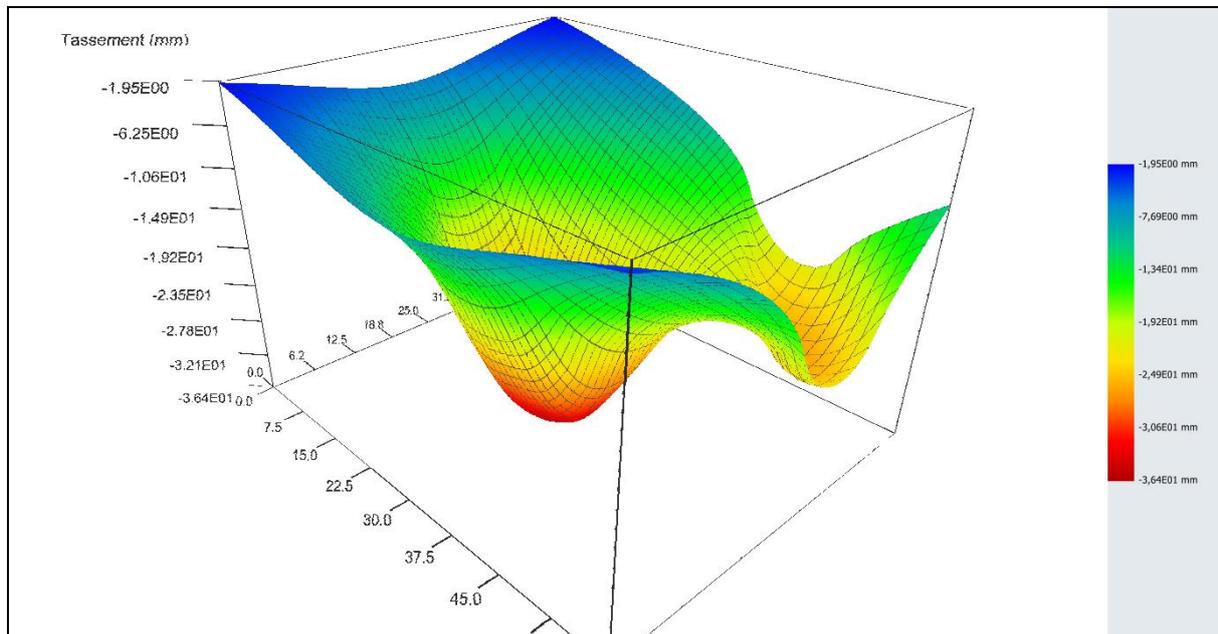
Coupe 1 à Y = 34,00 m (j : 28) : à X = 30 m Tassement du sol = -2,24 cm

Coupe 2 à Y = 24,00 m (j : 20) : à X = 30 m Tassement du sol = -3,59 cm

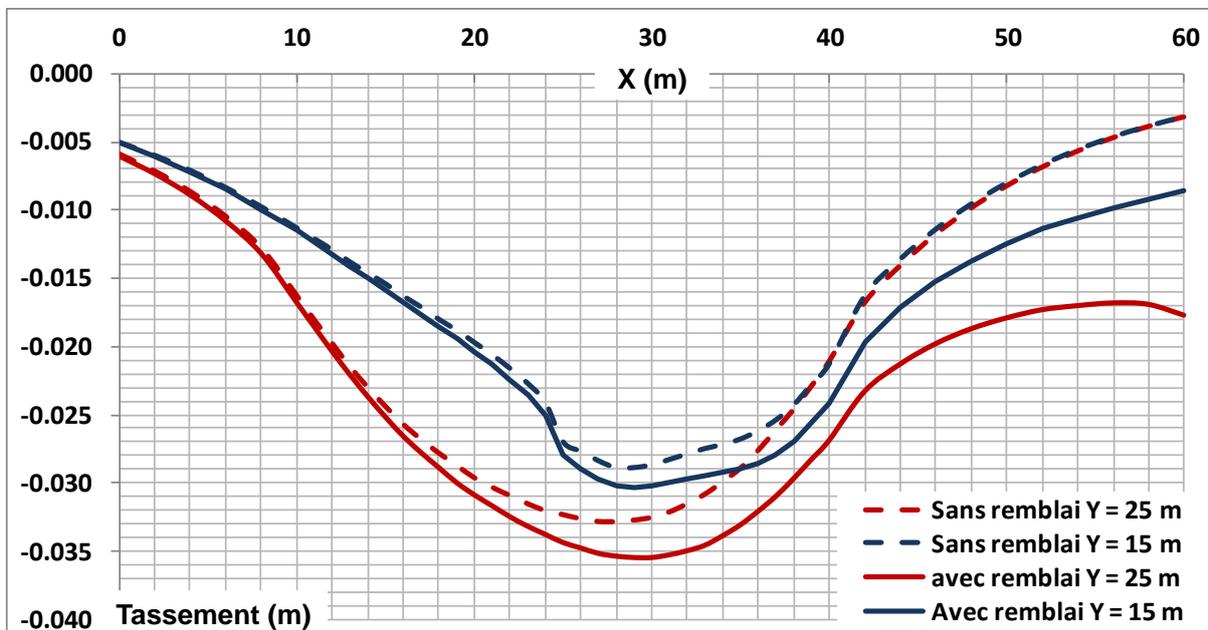


## Résultat graphique 3D

### Tassement du sol

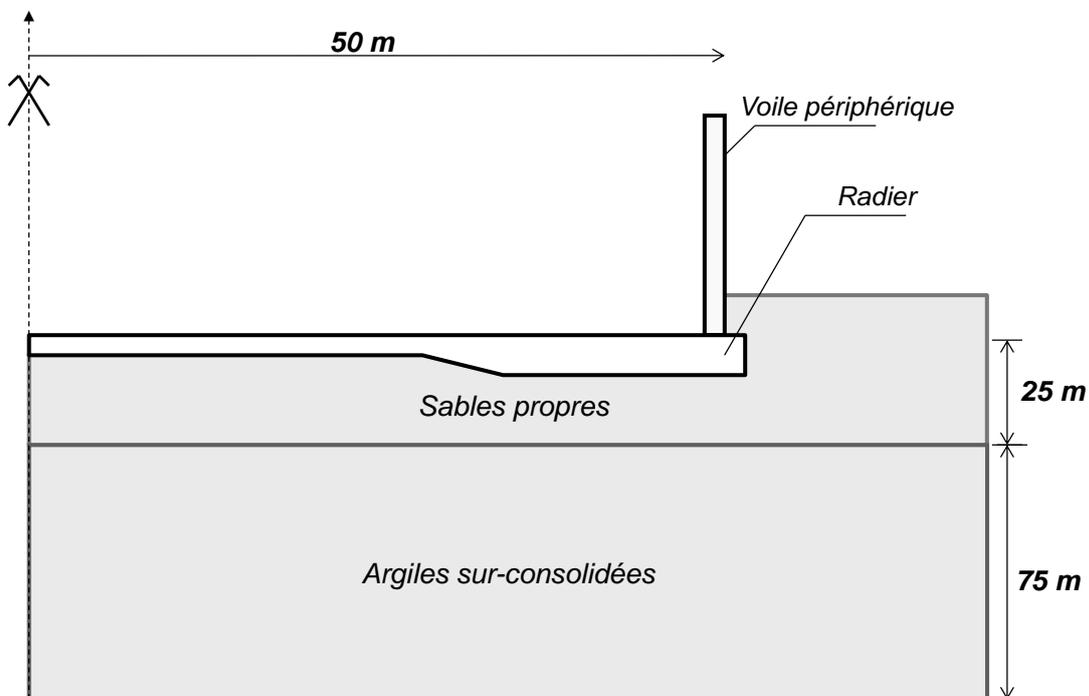


L'intérêt de la 2<sup>ème</sup> étape de cet exemple est d'illustrer l'aptitude de TASPLAQ à gérer les problèmes d'interaction entre un radier et un remblai voisin. Celui-ci, dans le présent exemple, tasse non seulement dans sa zone d'application mais produit également un effet d'entraînement du radier. Ce phénomène d'interaction est également illustré par le graphique ci-dessous.



### I.4.5. Exemple 5 : Calcul de tassements sous un réservoir circulaire

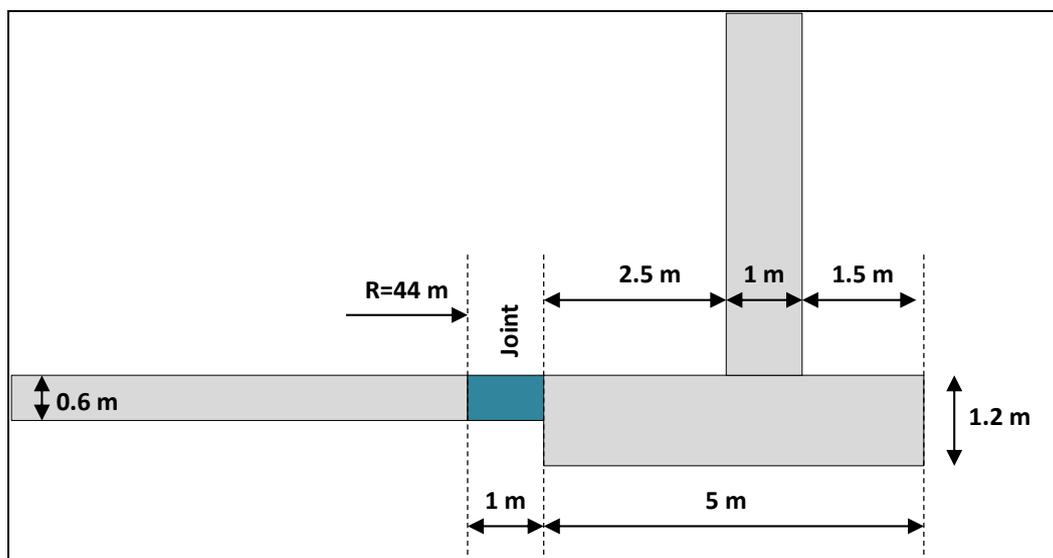
Cet exemple présente le calcul de tassements sous un réservoir circulaire de 100 m de diamètre. Le réservoir est construit sur un horizon sableux de 25 m d'épaisseur, reposant sur une couche d'argile très fortement sur-consolidée. Le substratum mécanique est rencontré à 100 m de profondeur.



Le radier comprend une zone centrale de 0,6 m d'épaisseur et une zone périphérique de 1,2 m. Il est partiellement ancré dans le sol.

La jonction entre les zones centrale et périphériques est faite par l'intermédiaire d'un joint de clavage de 1 m de largeur.

L'axe du voile périphérique est situé à 2 m du bord du patin. La géométrie exacte de la structure est donnée ci-dessous.



Géométrie de la partie périphérique de l'ouvrage

Le phasage de réalisation et de mise en service du réservoir est le suivant :

- Construction : coulage de la partie centrale et du patin et réalisation du voile périphérique et du dôme ;
- Clavage ;
- Hydrotest (remplissage et vidange complète du réservoir) ;
- Mise en service.

Lors de cette analyse, on s'intéresse aux tassements produits au droit du réservoir et au voisinage de celui-ci. Nous allons étudier successivement 2 conditions de chargement différentes, correspondant aux phases de construction et d'hydrotest respectivement.

### I.4.5.1. Etape 1 : Phase de construction du réservoir

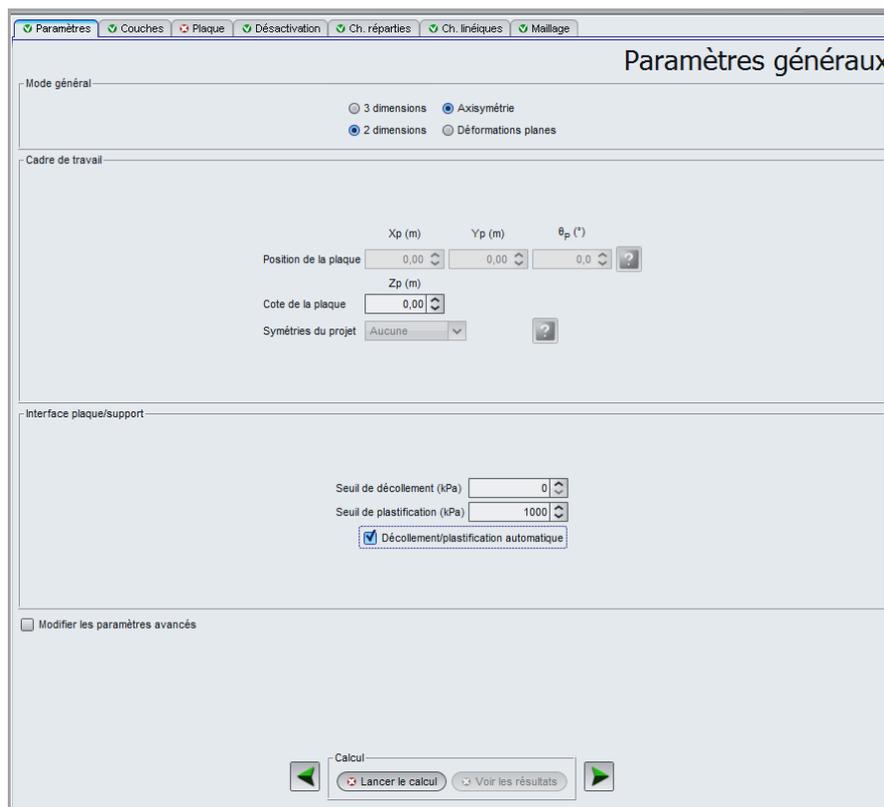
Créer un nouveau projet Foxta v3 et sélectionner le module TASPLAQ, puis cliquer sur le bouton



#### I.4.5.1.1. Onglet "Paramètres"

L'analyse peut être effectuée à l'aide d'un modèle axisymétrique.

Compléter cet onglet comme indiqué sur l'écran ci-dessous.

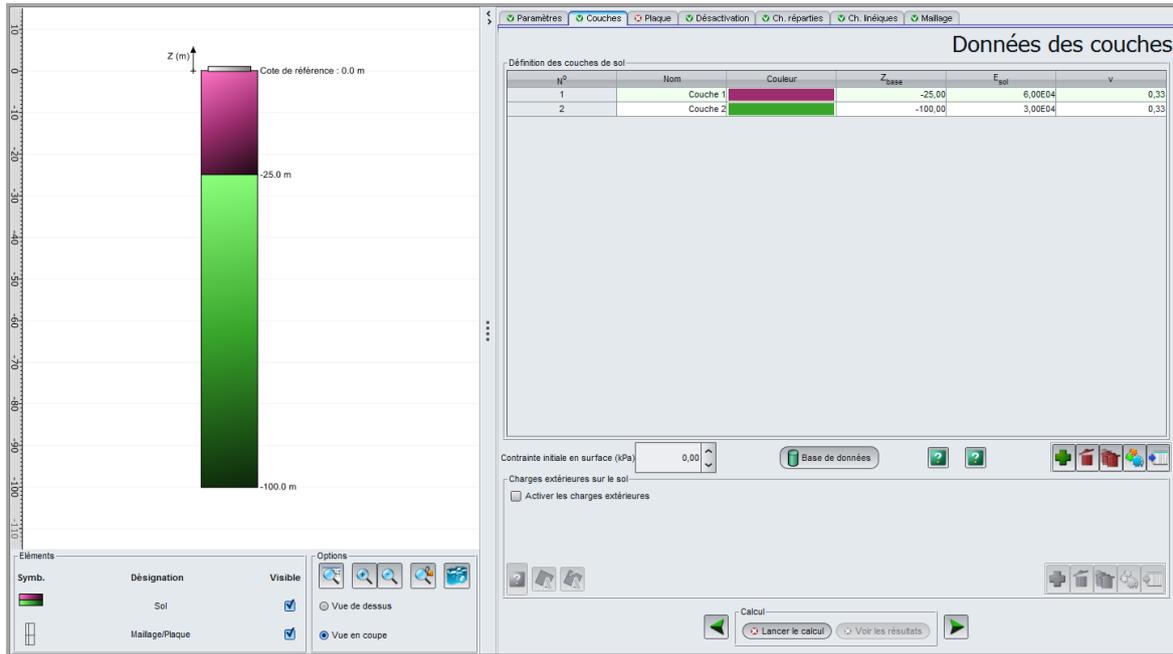


A noter que pour cet exemple, on coche la case "Décollement/plastification automatique", avec les valeurs de seuil suivantes :

- Décollement : 0 kPa
- Plastification : 1000 kPa

### I.4.5.1.2. Onglet "Couches"

Compléter cet onglet comme indiqué sur l'écran et dans le tableau ci-dessous.

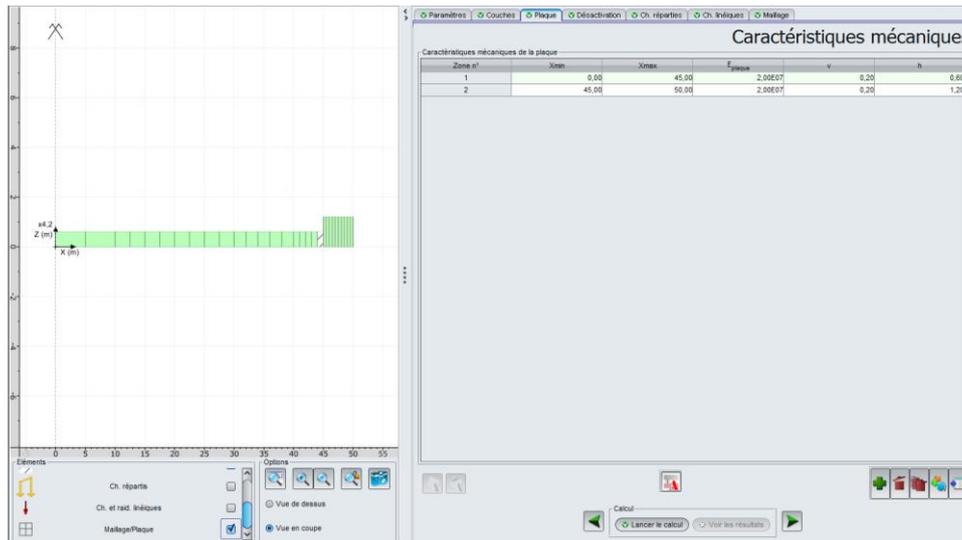


Nom	Z <sub>base</sub> (m)	E <sub>sol</sub> (kPa)	ν
Couche 1	-25	60 000	0,33
Couche 2	-100	30 000	0,33

### I.4.5.1.3. Onglet "Plaque"

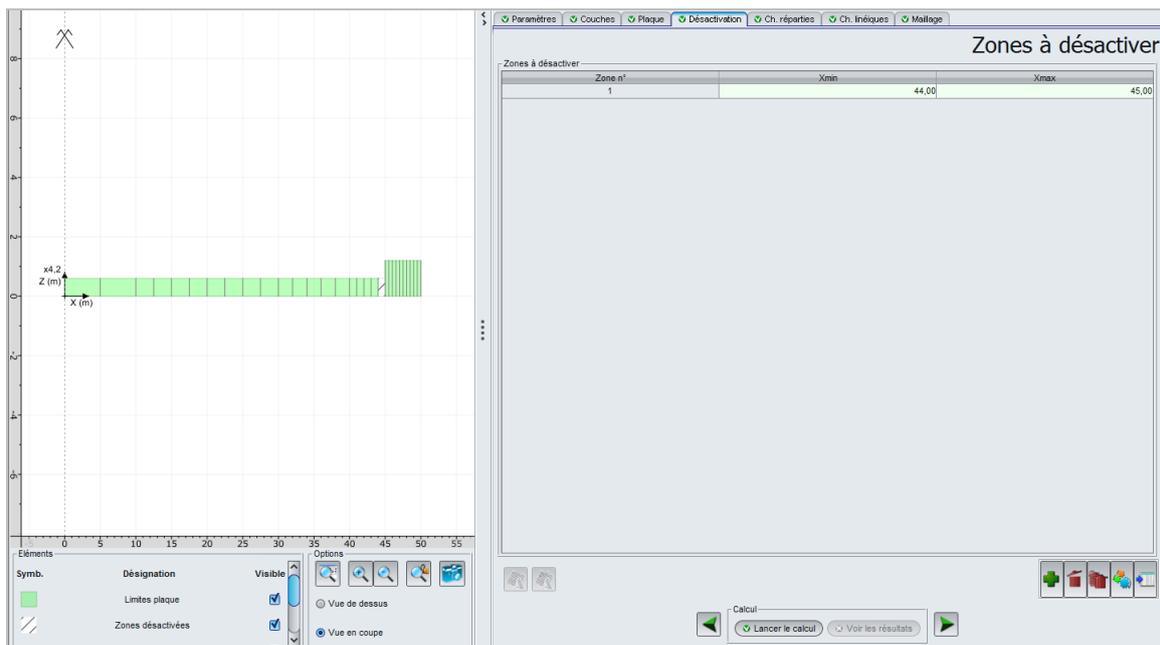
Compte-tenu de la variation d'épaisseur entre la zone centrale et le patin périphérique, on distingue deux zones différentes :

Zone n°	Xmin (m)	Xmax (m)	E <sub>plaque</sub> (kPa)	ν	h (m)
1	0,00	45,00	2,00E+07	0,20	0,60
2	45,00	50,00	2,00E+07	0,20	1,20



#### I.4.5.1.4. Onglet "Désactivation"

En phase de construction du radier, le joint assurant la liaison entre la partie centrale et la partie périphérique n'est pas réalisé. On utilise l'option "Désactivation" afin de prendre en compte cette discontinuité. Nous allons désactiver une zone bande annulaire située entre les rayons  $X_{min} = 44$  m et  $X_{max} = 45$  m à partir du centre du radier.



#### I.4.5.1.5. Onglet "Charges réparties"

En phase de construction le chargement ramené au sol correspond uniquement au poids propre de la structure (radier, voile et dôme).

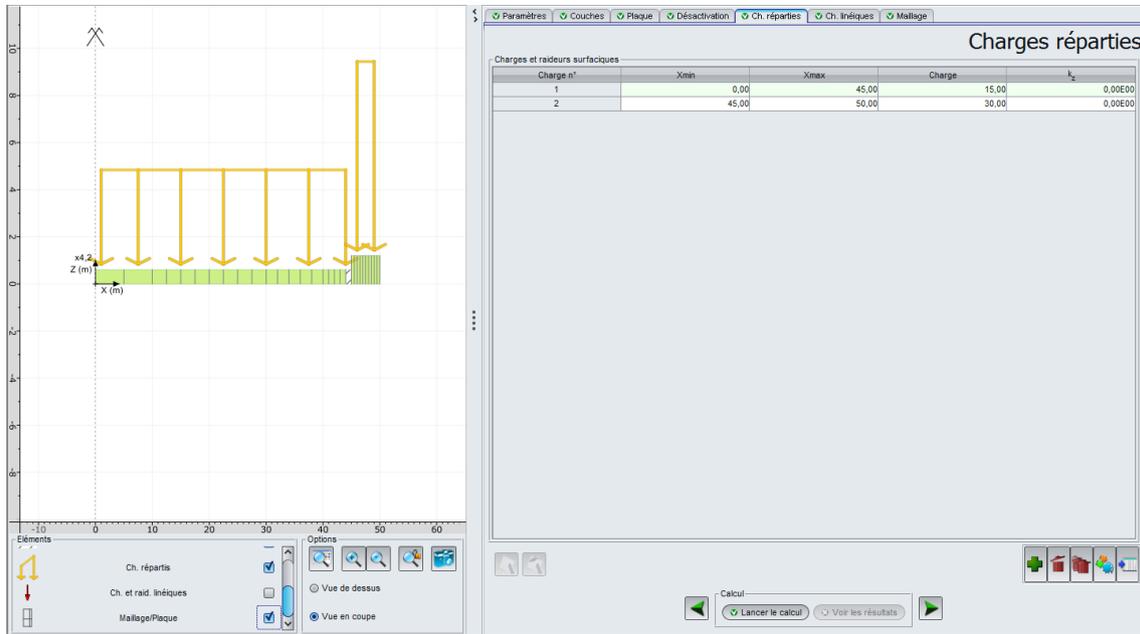
Le poids propre du radier est bien évidemment directement lié à l'épaisseur de ce dernier. Etant donné l'épaississement du radier en partie périphérique, la charge appliquée varie selon la zone étudiée :

- Charge en partie centrale : 15 kPa ;
- Charge en périphérie : 30 kPa.

On définit ainsi une charge pour la plaque n°1 et une charge pour la plaque n°2.

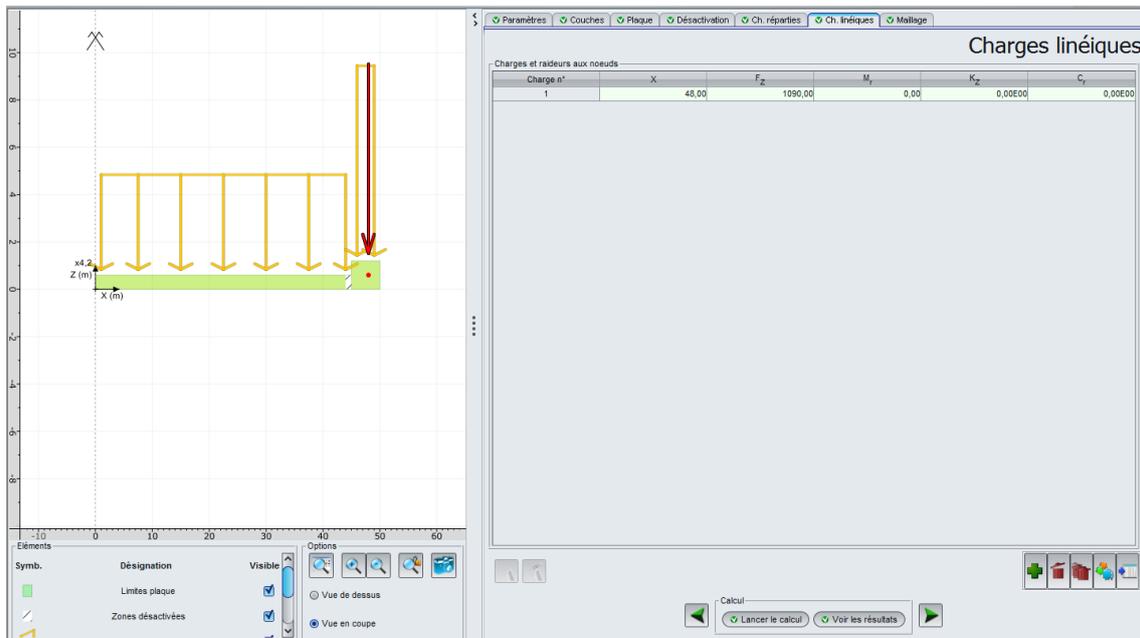
Les données à saisir sont les suivantes :

Charge n°	Xmin (m)	Xmax (m)	Charge (kPa)	$k_z$ (kPa/m)
1	0,00	45,00	15	0
2	45,00	50,00	30	0



#### I.4.5.1.6. Onglet "Charges linéiques"

La charge liée au poids propre de la superstructure (voile et dôme) est transmise au radier par le voile périphérique. Au droit de l'axe de ce dernier une charge linéique de 1090 kN/ml doit être introduite. L'axe du voile se situe à X = 48 m du centre du radier.

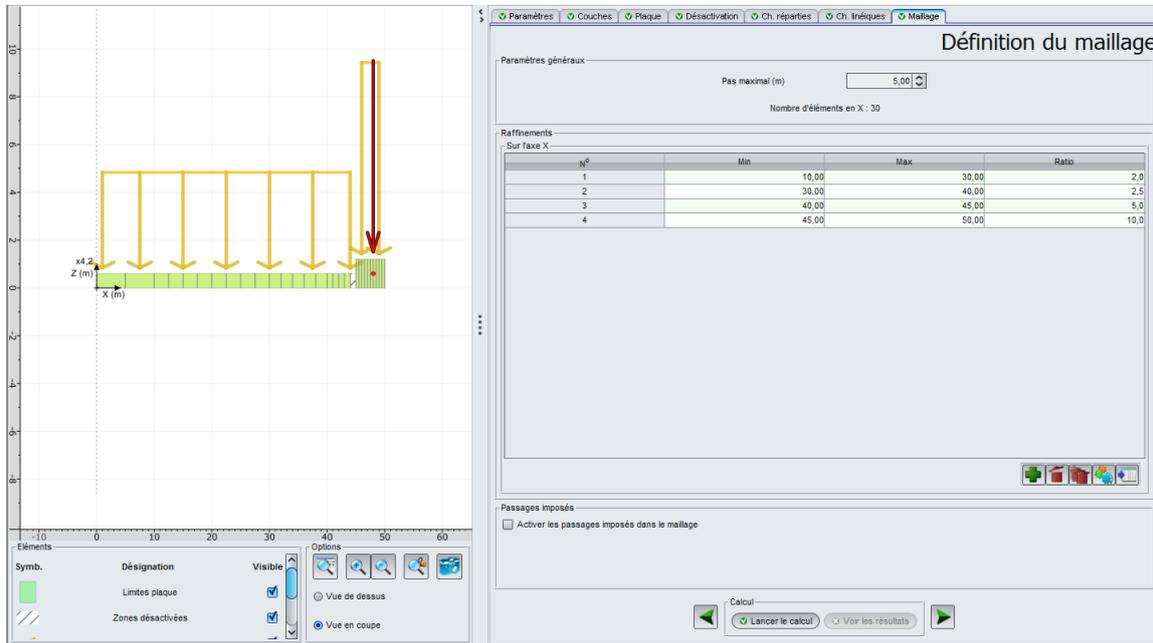


Les données à saisir sont les suivantes :

Charge n°	X (m)	$F_z$ (kN/ml)	$M_r$ (Kn.m/ml)	$K_z$ (kN/m/ml)	$C_r$ (kN.m/rad/ml)
1	48	1090	0	0	0

### I.4.5.1.7. Onglet "Maillage"

On propose un maillage avec un pas maximal de 5 mètres et un raffinement progressif en se rapprochant de la périphérie du radier.



Les données à saisir sont les suivantes :

- Pas maximal = 5 (m)

Raffinement sur l'axe X :

N°	Min (m)	Max (m)	Ratio
1	10,00	30,00	2,0
2	30,00	40,00	2,5
3	40,00	45,00	5,0
4	45,00	50,00	10,0

### I.4.5.1.8. Résultats graphiques - Coupes

Flèche de la plaque :

En utilisant la liste déroulante située au milieu du cadre, nous allons visualiser les résultats de flèche et de tassement.

Les résultats font observer une zone de décollement localisé, au voisinage du joint de clavage.



**Tassement du sol :**

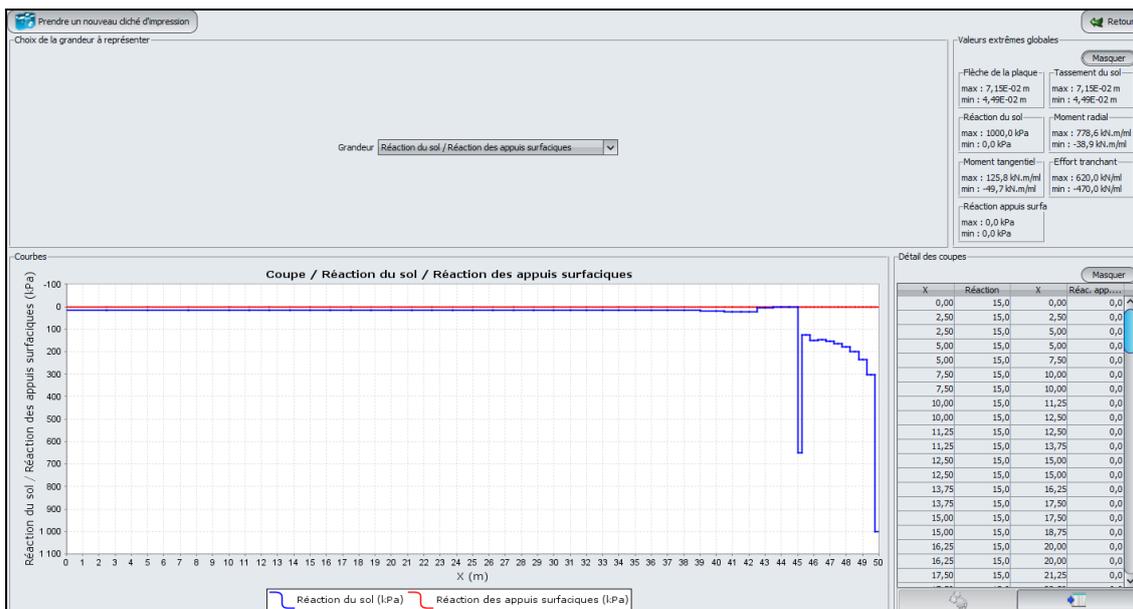
Valeurs extrêmes globales :

- Max : 7,15E-02 m (soit 7,2 cm)
- Min : 4,49E-02 m (soit 4,5 cm)

La lecture du diagramme de flèche obtenu de part et d'autre du joint permet de calculer la valeur de la contre-flèche à anticiper afin de faciliter le coffrage-bétonnage lors du clavage en phase ultérieure. La contre-flèche est d'ordre millimétrique dans le cas étudié.

**Réaction du sol/Réaction des appuis surfaciques :**

En utilisant la liste déroulante située au milieu du cadre, nous allons passer aux résultats de réactions.

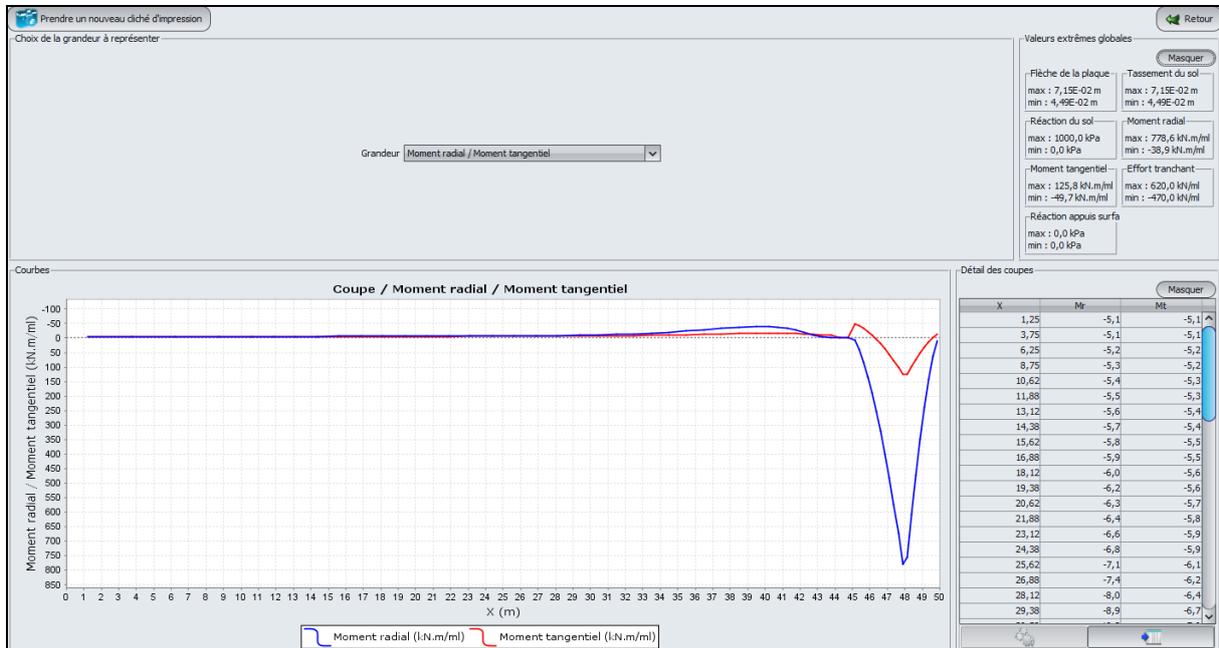


Les résultats obtenus illustrent un effet de bord se traduisant par des pics de réaction aux deux extrémités du patin. Ces pics seront d'autant plus importants que le radier est rigide. En partie centrale, la réaction de sol est quasi-constante et vaut 15 kPa, soit la charge appliquée en surface de la plaque.

Notons qu'au bord du réservoir la réaction obtenue vaut 1000 kPa (valeur maximale fixée par hypothèse), ce qui est synonyme d'une plastification localisée dans cette zone.

Moment radial / Moment tangentiel :

Enfin, nous pouvons afficher les diagrammes de moment radial et tangentiel.



Le moment radial s'avère prépondérant. Les valeurs extrêmes globales obtenues sont les suivantes :

Moment radial :

- Max = 779 kN.m/ml
- Min = -39 kN.m/ml

Moment tangentiel :

- Max = 126 kN.m/ml
- Min = -50 kN.m/ml

### I.4.5.2. Etape 2 : Phase "hydrotest"

On propose à ce stade, d'effectuer le même exercice pour la phase de remplissage maximal du réservoir (hydrotest).

Enregistrer votre fichier sous le nom "Réservoir circulaire2" par exemple.

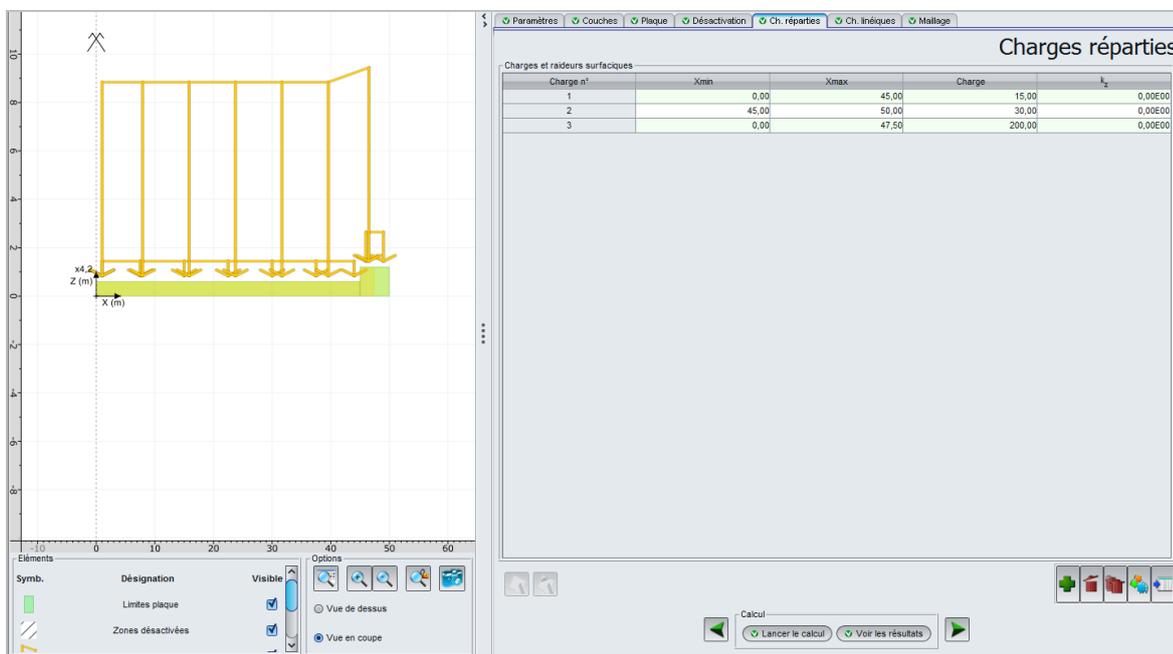
#### I.4.5.2.1. Onglet "Désactivation"

En phase d'hydrotest, le clavage sera déjà réalisé et donc le joint entre la partie centrale et la zone périphérique sera rempli. Aucune zone ne doit donc être désactivée.

- Sélectionner la ligne puis cliquer sur le bouton "Supprimer"  .

#### I.4.5.2.2. Onglet "Charges réparties"

Ajouter une troisième charge de 200 kPa, correspondant au chargement à l'hydrotest entre  $X_{min} = 0$  et  $X_{max} = 47,5$  m (intérieur du réservoir).



Charge n°	Xmin (m)	Xmax (m)	Charge (kPa)	$k_z$ (kPa/m)
1	0,00	45,00	15	0
2	45,00	50,00	30	0
3	0,00	47,50	200	0

#### I.4.5.2.3. Onglet "Charges linéiques"

Lors du remplissage du réservoir, une pression hydrostatique s'applique contre la face intérieure du voile périphérique. Ce chargement conduit au développement d'un moment fléchissant qui est transmis à la base du voile, au niveau de la jonction avec le patin. Cette action sera prise en compte en introduisant un moment linéique radial, appliqué en  $X = 48$  m. La valeur à appliquer est  $M_r = 270$  kN.m/ml.

The screenshot shows the 'Charges linéiques' (Linear Loads) window. On the left, a 2D cross-section of a plate on soil is shown with a coordinate system (X, Z) and a grid. The plate is supported by a soil layer. On the right, a table lists the linear loads applied to the nodes.

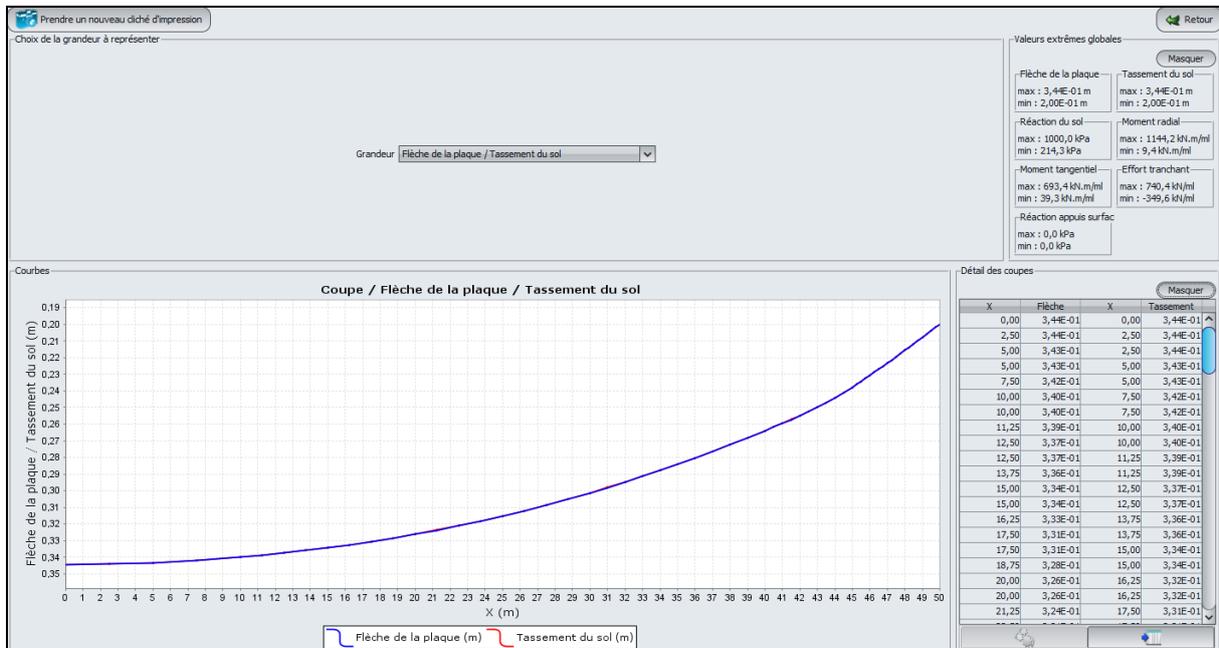
Charge n°	X	F <sub>z</sub>	M <sub>r</sub>	K <sub>z</sub>	C <sub>r</sub>
1	48,00	1090,00	270,00	0,00E00	0,00E00

Charge n°	X (m)	F <sub>z</sub> (kN/ml)	Mr (kN.m/ml)	K <sub>z</sub> (kN/m/ml)	C <sub>r</sub> (kN.m/rad/ml)
1	48	1090	270	0	0

#### I.4.5.2.4. Résultats graphiques - Coupes

Flèche de la plaque/Tassement du sol :

En utilisant la liste déroulante située au milieu du cadre, nous allons visualiser les résultats flèche-tassement.



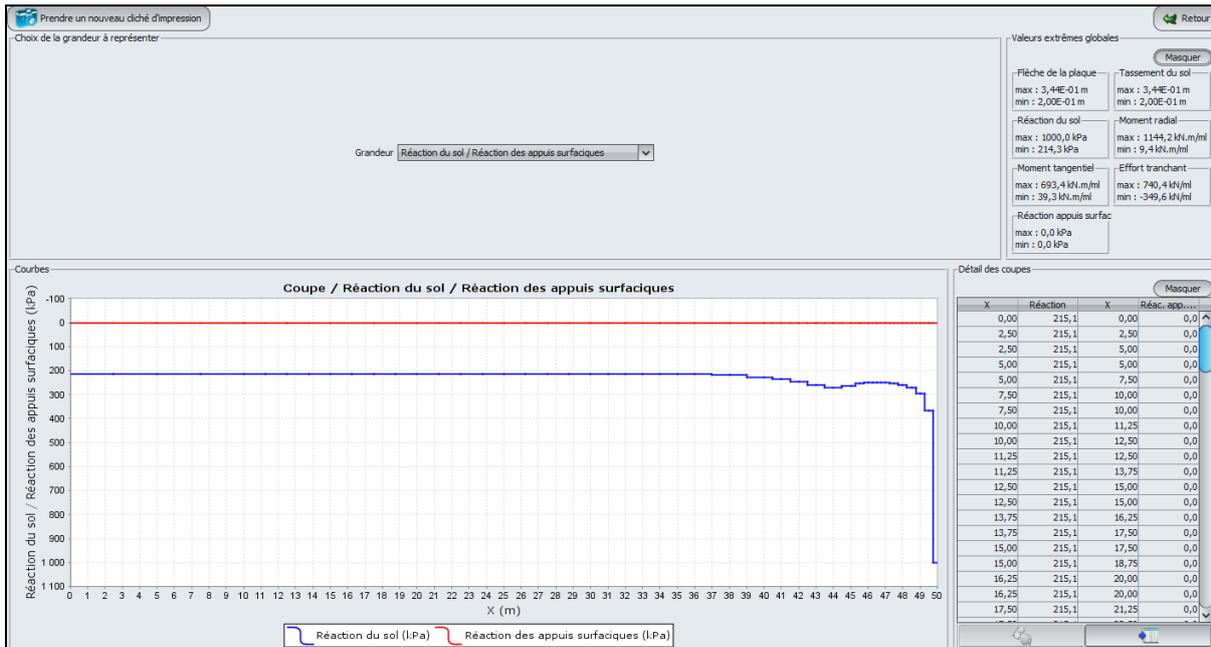
Les valeurs sont strictement identiques pour la flèche et pour le tassement, on peut en déduire qu'il n'y a pas de décollement. On résume ci-dessous les valeurs extrêmes globales (flèche et tassement du sol) :

- Max : 3,44E-01 m (soit 34,4 cm)
- Min : 2,00E-01 m (soit 20,0 cm)

On en déduit un tassement différentiel entre le centre et le bord du réservoir de l'ordre de 15 cm.

Réaction du sol / Réaction des appuis surfaciques :

En utilisant la liste déroulante située au milieu du cadre, nous allons passer aux résultats de réactions.



On constate que la réaction du sol a une valeur quasiment constante (de l'ordre de 215 kPa) sous la partie centrale. Les effets de bord à l'extrémité du patin conduisent à un pic de réaction, plafonné à 1000 kPa par hypothèse.

Les valeurs extrêmes globales obtenues sont données ci-après.

Réaction du sol :

- Max = 1000 kPa
- Min = 214 kPa

Réaction des appuis surfaciques : sans objet

Moment radial et moment tangentiel :

Enfin, nous affichons les diagrammes de moment radial et tangentiel.

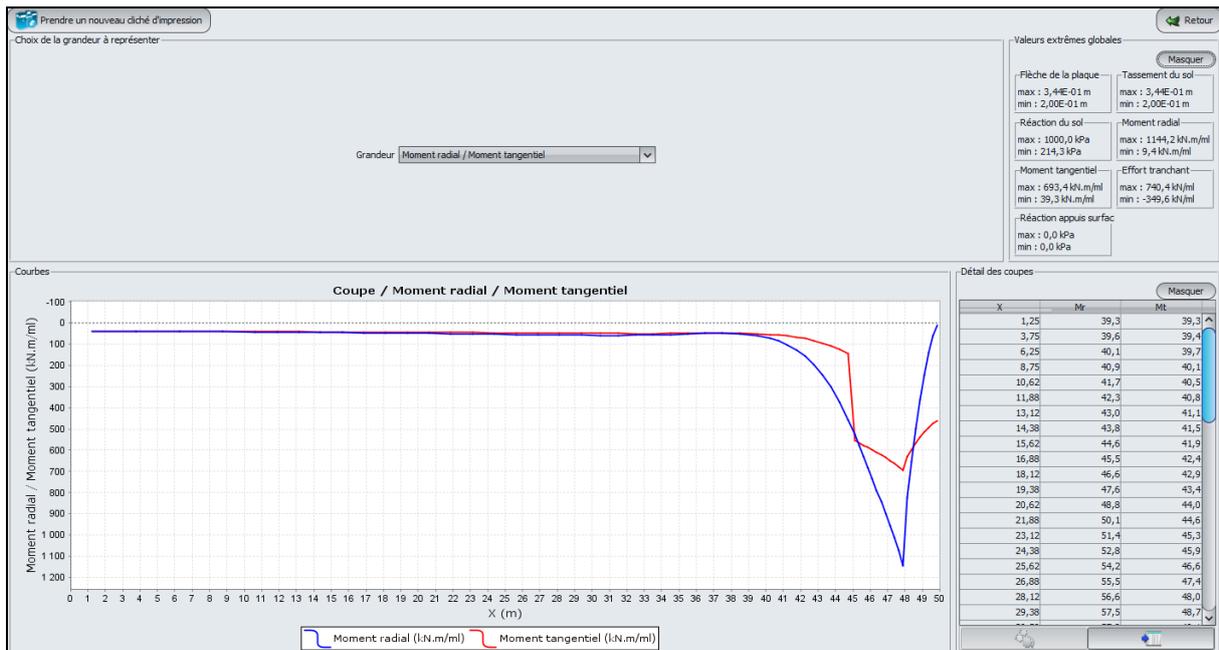
Les valeurs extrêmes globales sont les suivantes :

Moment radial :

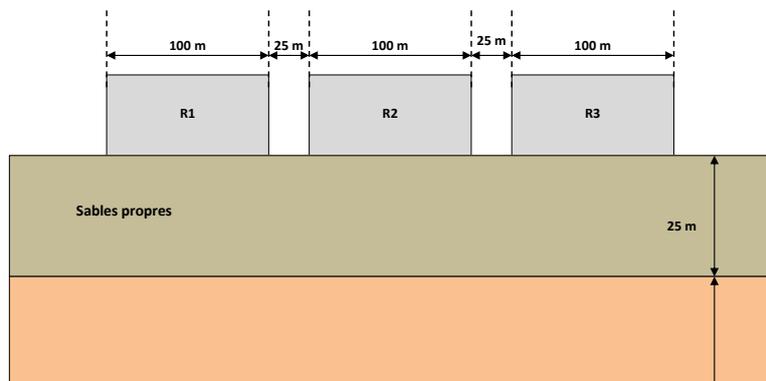
- Max = 1144 kN.m/ml
- Min = 9 kN.m/ml

Moment tangentiel :

- Max = 693 kN.m/ml
- Min = 39 kN.m/ml



Cet exemple pourrait être généralisé par exemple au calcul de tassements sous plusieurs réservoirs voisins, avec prise en compte de l'interaction entre les différents réservoirs en exportant les pressions d'interaction vers le module Tasseldo.

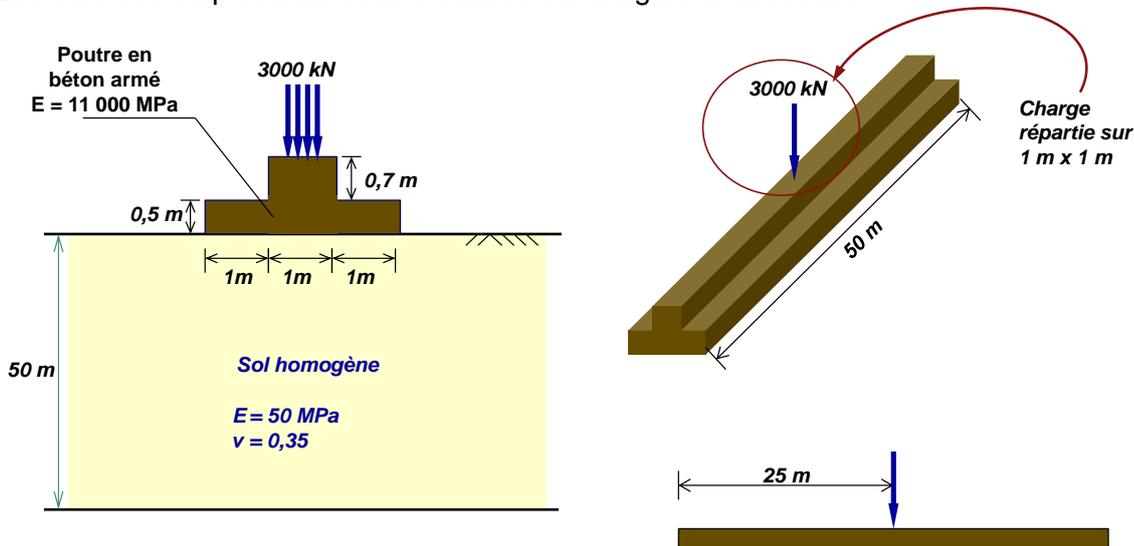


### I.4.6. Exemple 6 : Poutre de roulement et calage du coefficient de réaction

#### I.4.6.1. Etape 1 : Semelle chargée localement avec prise en compte du poids propre

On étudie ici le cas d'une semelle de 50 m de longueur et de 3 m de largeur, soumise à une charge de 3000 kN exercée sur la poutre centrale . La semelle repose sur un massif élastique homogène.

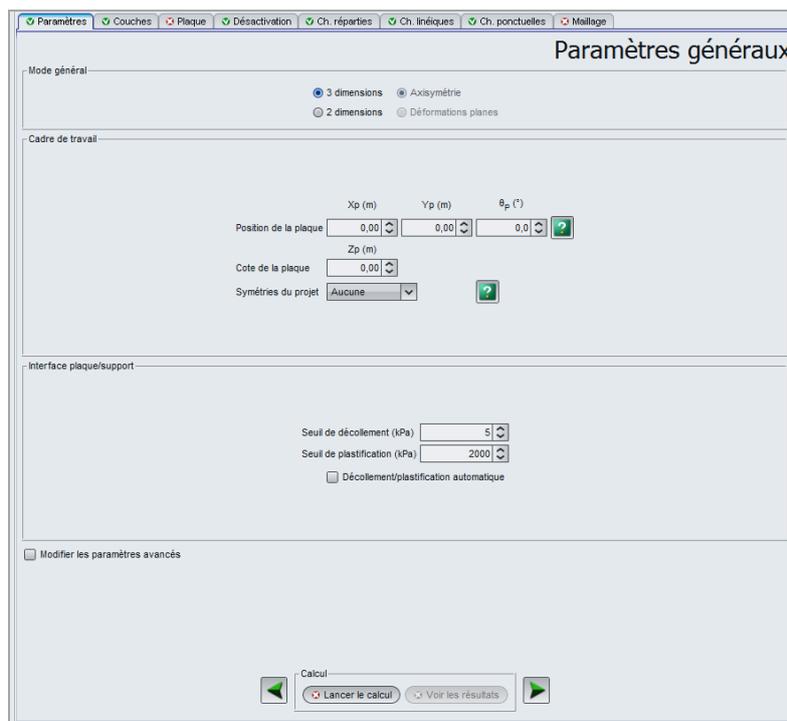
Les données du problème sont détaillées sur la figure ci-dessous :



Créer un nouveau projet Foxta v3 et sélectionner le module TASPLAQ.

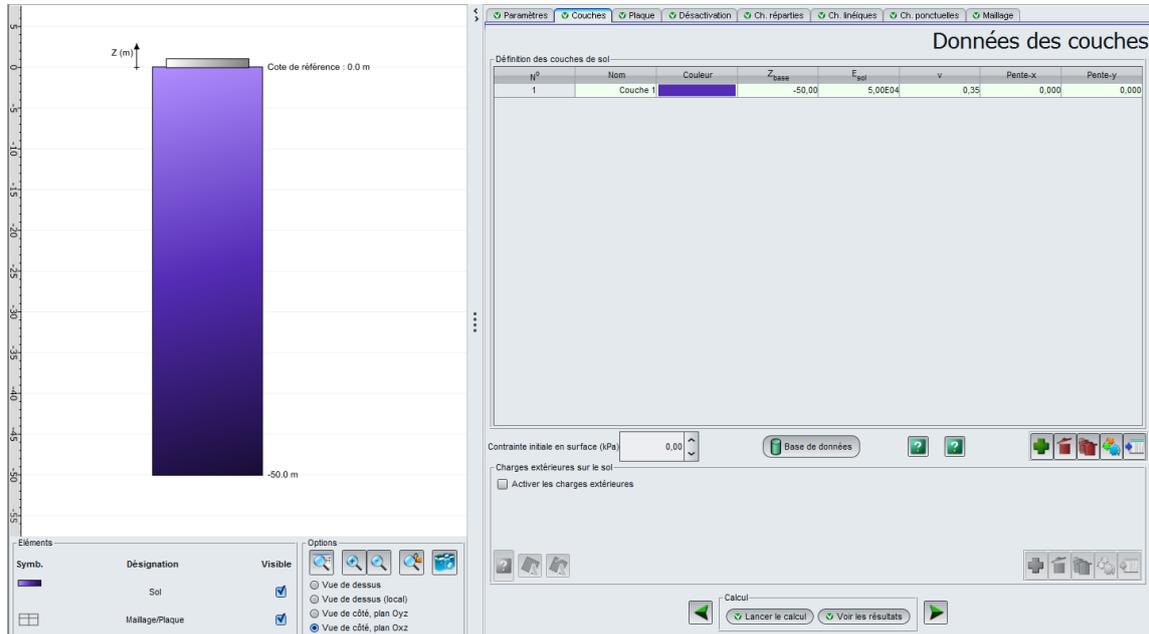
#### I.4.6.1.1. Onglet "Paramètres"

Compléter les données conformément à l'écran ci-dessous (on conserve ici les choix proposés par défaut).



### I.4.6.1.2. Onglet "Couches"

Compléter les données conformément à l'écran et au tableau ci-dessous.

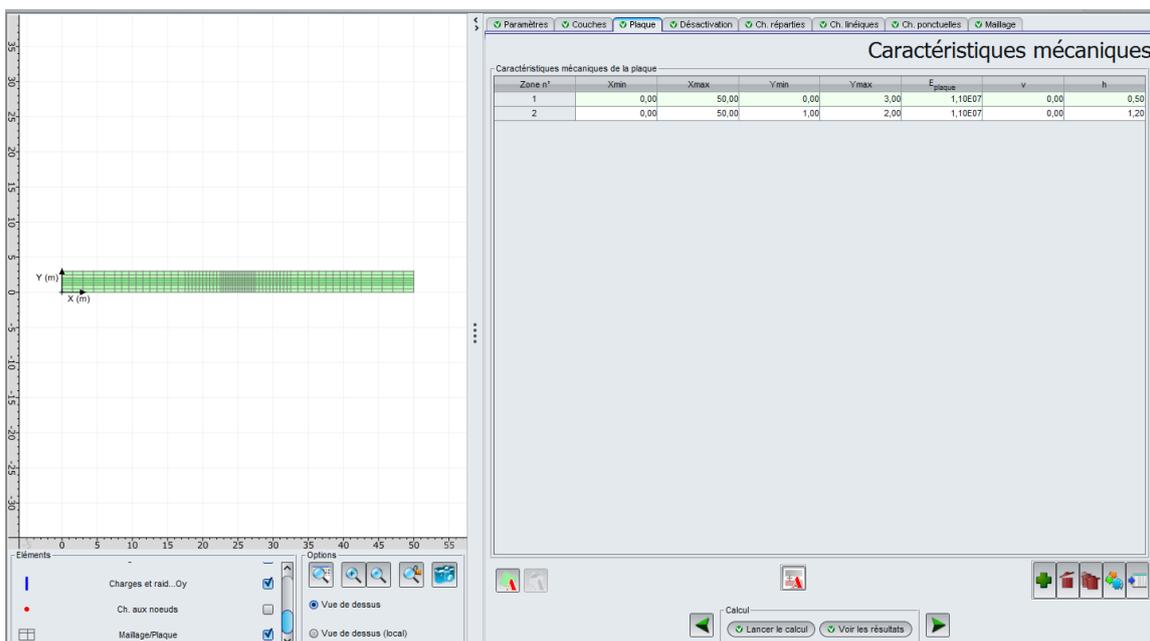


Les données à saisir sont les suivantes :

Nom	Z <sub>base</sub> (m)	E <sub>sol</sub> (kPa)	v	Pente-x	Pente-y
Couche1	-50	5,00E04	0,35	0,00	0,00

### I.4.6.1.3. Onglet "Plaque"

Plusieurs solutions sont possibles pour définir les caractéristiques mécaniques de la semelle en fonction des zones. La plus intuitive consiste ici à distinguer deux zones : on définit d'abord les caractéristiques de la plaque "fine", que l'on attribue à la plaque entière ; puis on écrase (remplace) ces caractéristiques dans la partie renforcée par celles de la zone centrale de la poutre "plaque "épaisse").



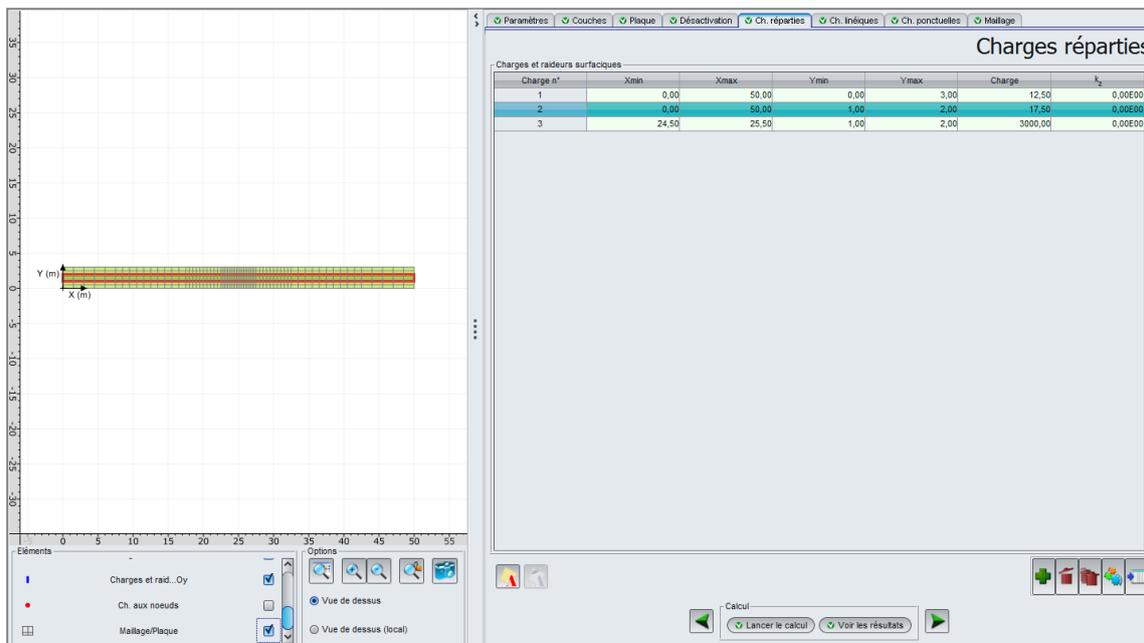
Zone n°	Xmin (m)	Xmax (m)	Ymin (m)	Ymax (m)	E <sub>plaque</sub> (kPa)	v	h (m)
1	0,00	50,00	0,00	3,00	1,10E+07	0,00	0,5
2	0,00	50,00	1,00	2,00	1,10E+07	0,00	1,2

#### 1.4.6.1.4. Onglet "Charges réparties"

Le poids propre de la poutre est à prendre en compte.

Trois zones de chargement sont à définir :

- la charge de 12,50 kPa, à affecter à une zone couvrant toute la plaque (Xmin = 0,00 à Xmax = 50,00 m et de Ymin = 0,00 à Ymax = 3,00 m) (poids propre de la poutre de 0,5 m d'épaisseur, appliqué à l'ensemble de la plaque) ;
- la charge de 17,50 kPa, à affecter à la zone centrale, soit de Xmin = 0 à Xmax = 50 m et de Ymin = 1 à Ymax = 2 m (supplément de poids propre dans la zone centrale, correspondant au supplément d'épaisseur de 0,7 m) ;
- la charge de 3000 kPa à affecter à la zone située entre Xmin = 24,50 à Xmax = 25,50 m et de Ymin = 1,00 à Ymax = 2,00 m (zone chargée de 1 m par 1 m, cf schéma au début de l'exemple).



Charge n°	Xmin (m)	Xmax (m)	Ymin (m)	Ymax (m)	Charge (kPa)	k <sub>z</sub> (kPa/m)
1	0,00	50,00	0,00	3,00	12,5	0
2	0,00	50,00	1,00	2,00	17,5	0
3	24,50	25,50	1,00	2,00	3000	0

#### 1.4.6.1.5. Onglet "Charges linéiques"

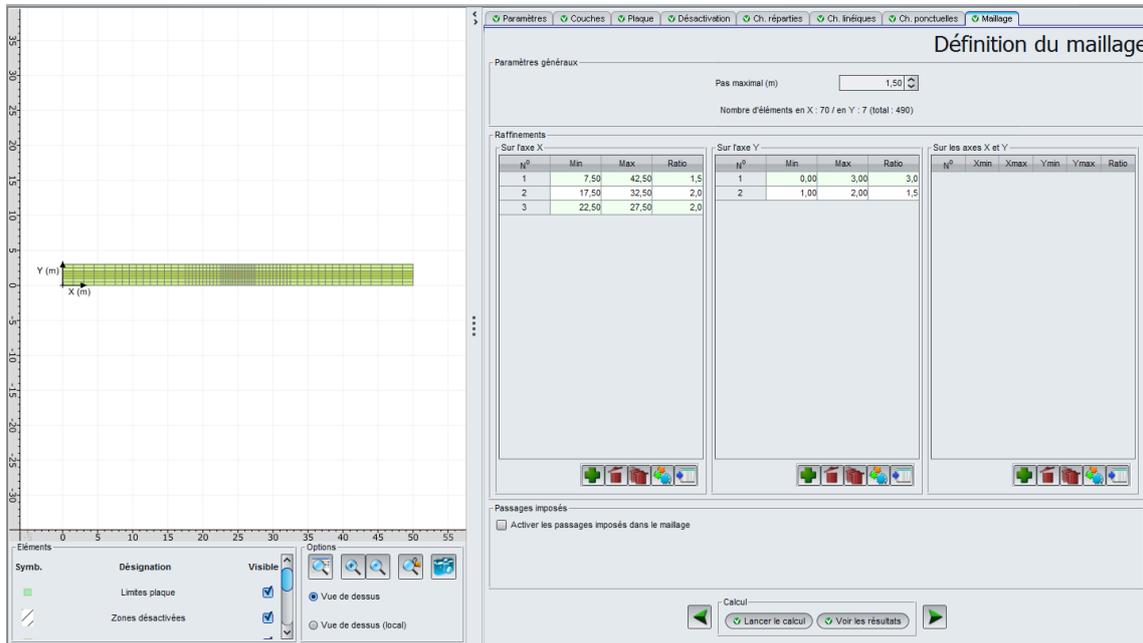
Il n'y a pas de charge linéique dans cet exemple.

#### 1.4.6.1.6. Onglet "Charges ponctuelles"

Il n'y a pas de charge ponctuelle dans cet exemple.

### I.4.6.1.7. Onglet "Maillage"

On propose un pas maximal de 1,50 mètre et un maillage raffiné progressivement autour de la charge localisée. Notons que la superposition de plusieurs zones de raffinement implique un ratio égal au produit des ratios définis dans chaque zone.



Les données à saisir sont les suivantes :

- Pas maximal = 1,50 (m)

Raffinements sur l'axe X :

N°	Min (m)	Max (m)	Ratio
1	7,50	42,50	1,5
2	17,50	32,50	2,0
3	22,50	27,50	2,0

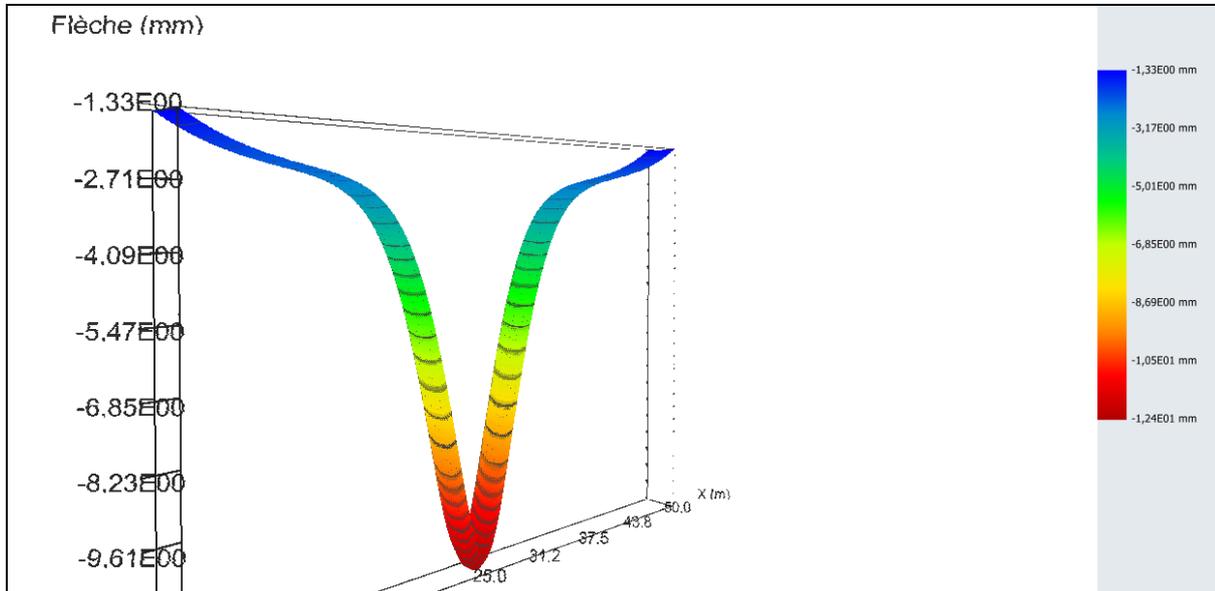
Raffinements sur l'axe Y :

N°	Min (m)	Max (m)	Ratio
1	0,00	3,00	3,0
2	1,00	2,00	1,5

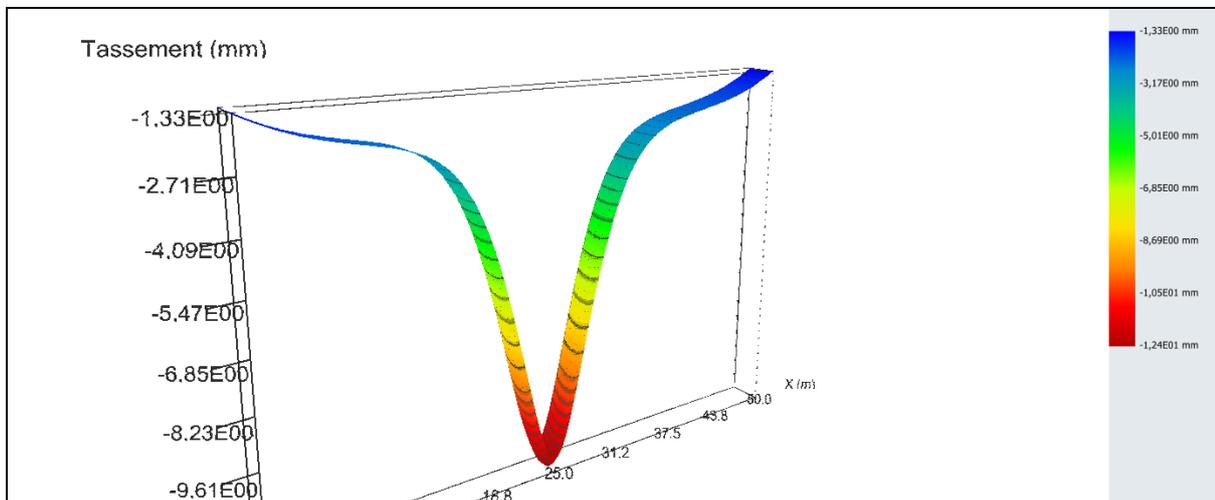
### I.4.6.1.8. Résultats

#### Résultats graphiques 3D

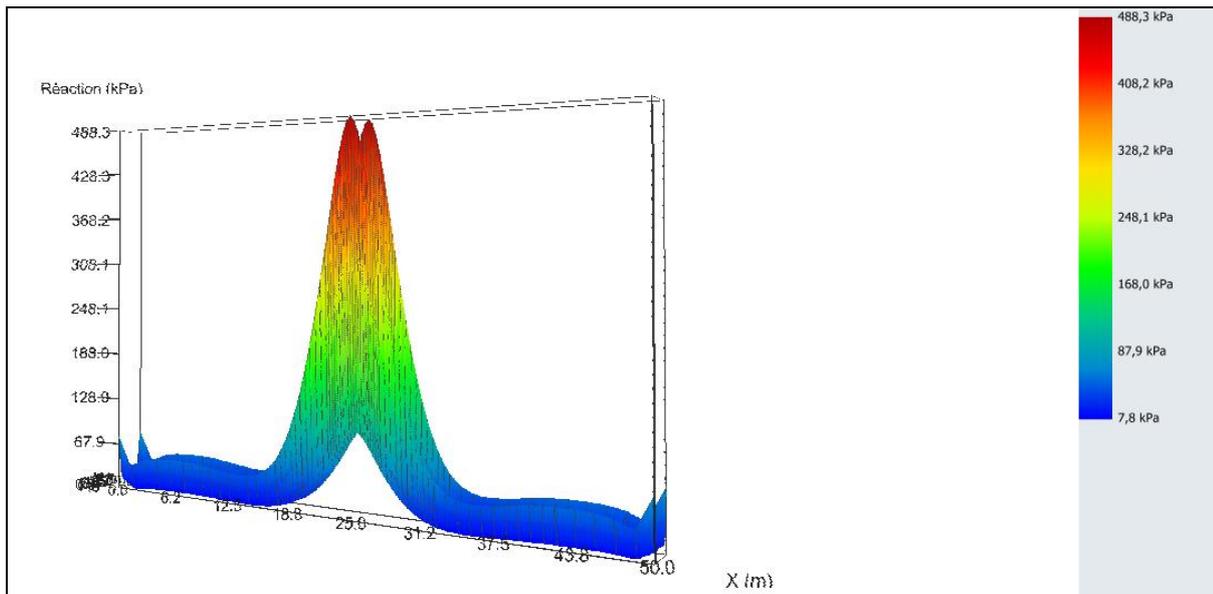
##### Flèche de la plaque



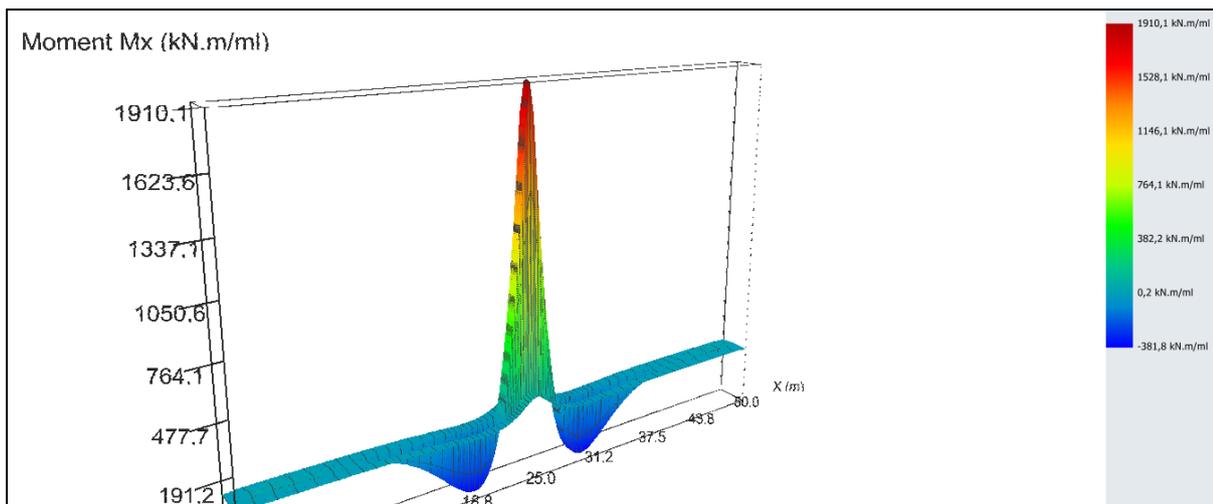
##### Tassement du sol (mm)



## Réaction du sol (kPa)



## Moment $M_x$ (kN.m/ml)



La représentation 3D du moment fléchissant  $M_x$  montre que celui-ci est repris principalement par la poutre centrale.

## Résultats graphiques - Coupes

### Moment $M_x$ :

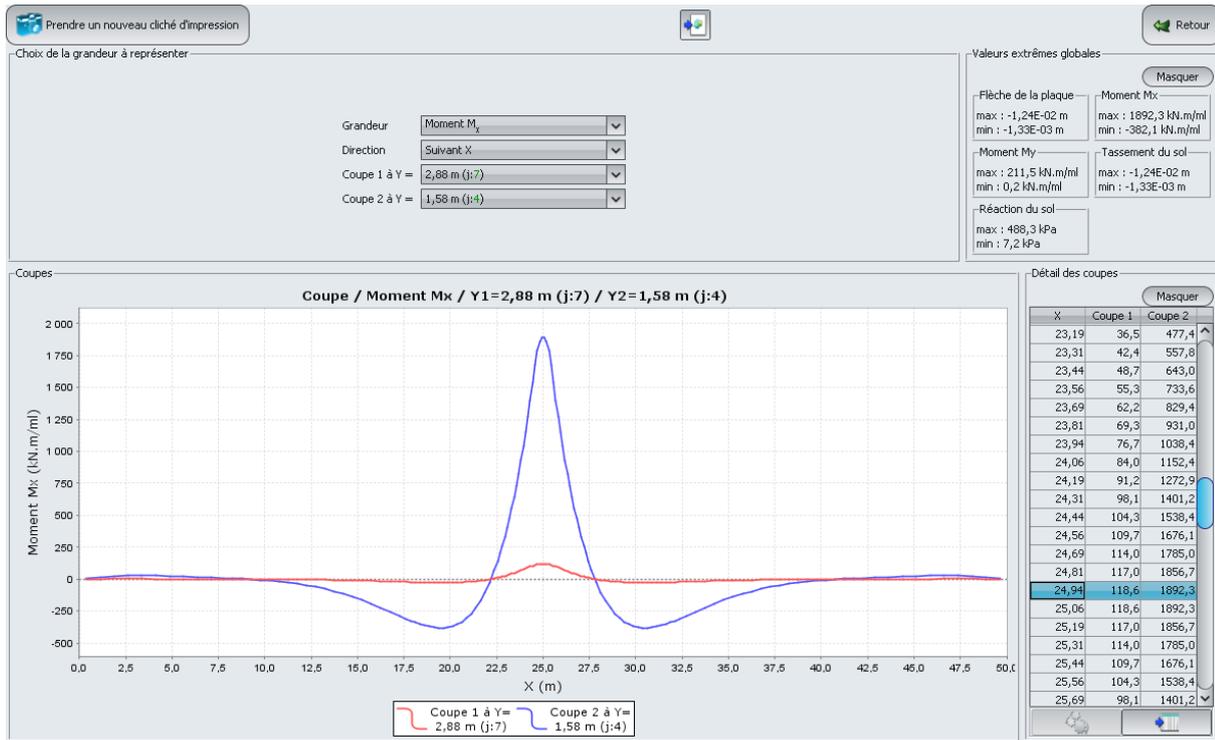
Valeurs extrêmes globales :

- Max : 1892 kN.m/ml
- Min : -382 kN.m/ml

Coupe graphique suivant X :

Coupe 1 à Y = 2,88 m (j : 7) : à X = 24,94 m  $M_x$  = 119 kN.m/ml.

Coupe 2 à Y = 1,58 m (j : 4) : à X = 24,94 m  $M_x$  = 1892 kN.m/ml.



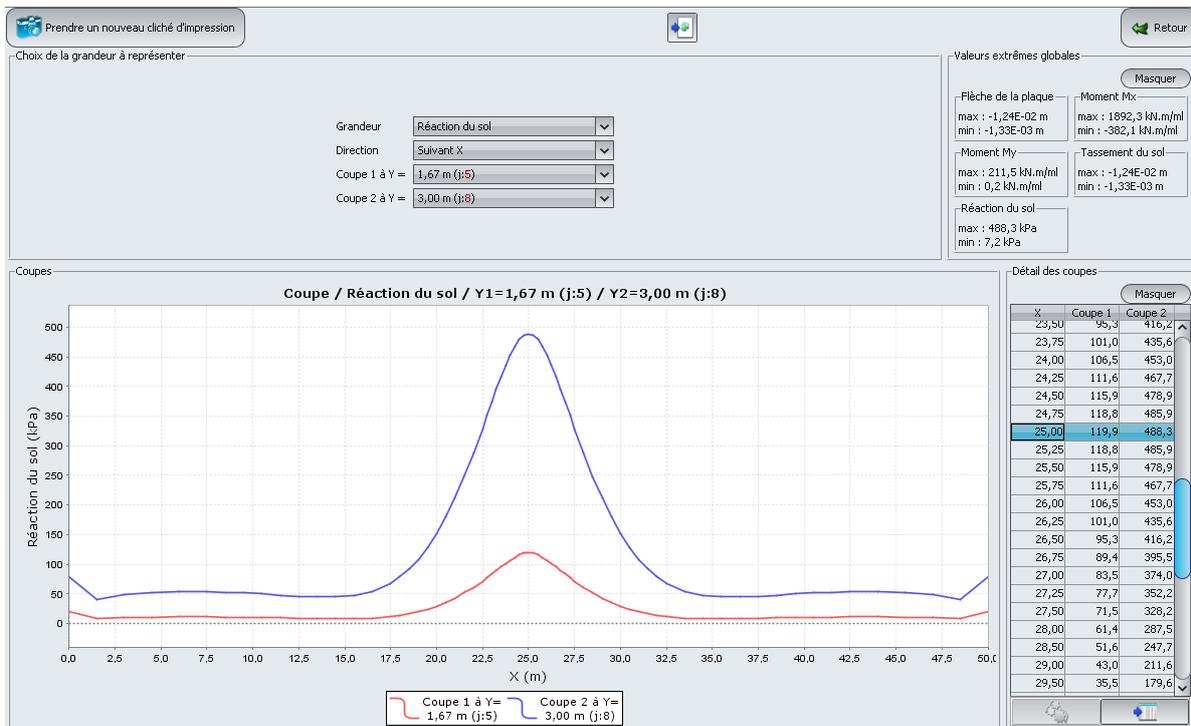
Réaction du sol suivant X

Valeurs extrêmes globales :

- Max : 488 kPa
- Min : 7 kPa

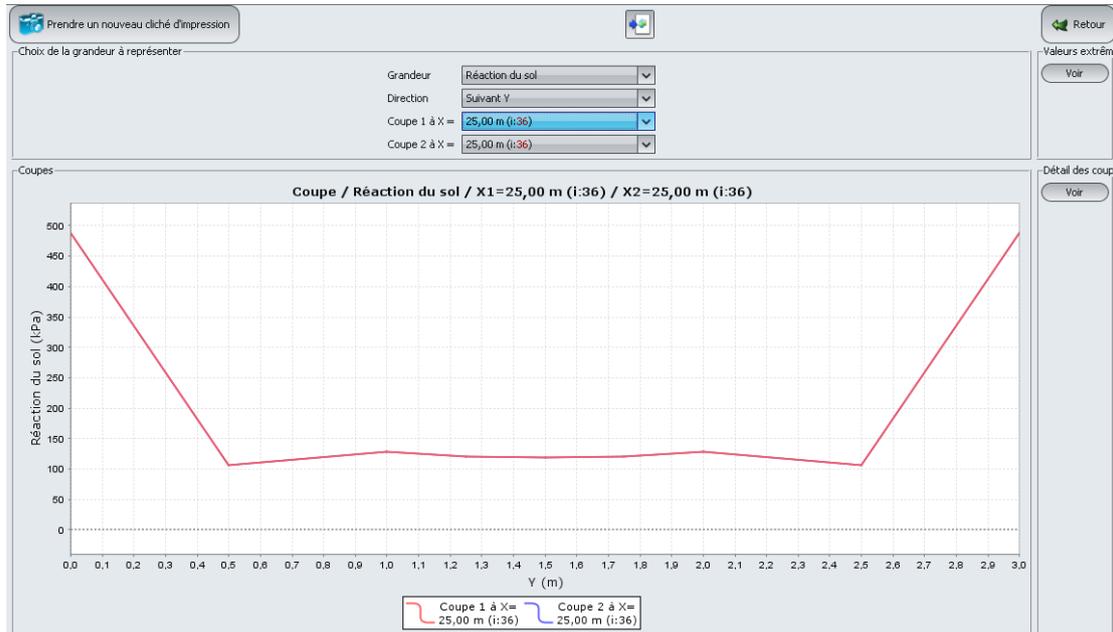
Coupe graphique suivant X :

Coupe 1 à Y = 1,67 m (j : 5) : à X = 25,0 m Réaction = 120 kPa.  
 Coupe 2 à Y = 3,00 m (j : 8) : à X = 25,0 m Réaction = 488 kPa.



### Réaction du sol suivant Y

On constate sur la coupe ci-dessus que la réaction du sol est quasiment constante entre Y = 0,5 m et Y = 2,5 m (on voit bien ici l'influence de la discrétisation du maillage selon Y).



### Résultats numériques formatés

Réaction et tassement au centre de la semelle :

REACTION DU SOL ET TASSEMENT SOUS LES NOEUDS (COORDONNEES GLOBALES)						
noeud	X	Y	statut	Pression	Tassement	Flèche
001,001	0.000	0.000	***	79.988	0.133234E-02	0.133234E-02
002,001	1.500	0.000	***	40.181	0.158784E-02	0.158784E-02
003,001	3.000	0.000	***	49.039	0.180975E-02	0.180975E-02
004,001	4.500	0.000	***	52.397	0.198536E-02	0.198536E-02
005,001	6.000	0.000	***	53.767	0.212375E-02	0.212375E-02
006,001	7.500	0.000	***	53.680	0.223636E-02	0.223636E-02
007,001	8.500	0.000	***	52.954	0.230297E-02	0.230297E-02
008,001	9.500	0.000	***	51.604	0.236639E-02	0.236639E-02
009,001	10.500	0.000	***	49.927	0.243294E-02	0.243294E-02
010,001	11.500	0.000	***	48.039	0.250948E-02	0.250948E-02
011,001	12.500	0.000	***	46.214	0.260576E-02	0.260576E-02
012,001	13.500	0.000	***	44.947	0.273552E-02	0.273552E-02
013,001	14.500	0.000	***	45.045	0.291772E-02	0.291772E-02
014,001	15.500	0.000	***	47.733	0.317730E-02	0.317730E-02
015,001	16.500	0.000	***	54.754	0.354535E-02	0.354535E-02
024,004	21.500	1.333	***	51.576	0.832465E-02	0.832465E-02
025,004	22.000	1.333	***	61.351	0.907370E-02	0.907370E-02
026,004	22.500	1.333	***	71.537	0.983265E-02	0.983265E-02
027,004	22.750	1.333	***	77.722	0.102070E-01	0.102070E-01
028,004	23.000	1.333	***	83.515	0.105721E-01	0.105721E-01
029,004	23.250	1.333	***	89.402	0.109228E-01	0.109228E-01
030,004	23.500	1.333	***	95.280	0.112530E-01	0.112530E-01
031,004	23.750	1.333	***	101.042	0.115559E-01	0.115559E-01
032,004	24.000	1.333	***	106.548	0.118242E-01	0.118242E-01
033,004	24.250	1.333	***	111.602	0.120491E-01	0.120491E-01
034,004	24.500	1.333	***	115.906	0.122213E-01	0.122213E-01
035,004	24.750	1.333	***	118.850	0.123301E-01	0.123301E-01
036,004	25.000	1.333	***	119.876	0.123673E-01	0.123673E-01
037,004	25.250	1.333	***	118.850	0.123301E-01	0.123301E-01
038,004	25.500	1.333	***	115.906	0.122213E-01	0.122213E-01
039,004	25.750	1.333	***	111.602	0.120491E-01	0.120491E-01
040,004	26.000	1.333	***	106.548	0.118242E-01	0.118242E-01
041,004	26.250	1.333	***	101.042	0.115559E-01	0.115559E-01
042,004	26.500	1.333	***	95.280	0.112530E-01	0.112530E-01
043,004	26.750	1.333	***	89.402	0.109228E-01	0.109228E-01
044,004	27.000	1.333	***	83.515	0.105721E-01	0.105721E-01
045,004	27.250	1.333	***	77.722	0.102070E-01	0.102070E-01
046,004	27.500	1.333	***	71.537	0.983265E-02	0.983265E-02
047,004	28.000	1.333	***	61.351	0.907370E-02	0.907370E-02
048,004	28.500	1.333	***	51.576	0.832465E-02	0.832465E-02
049,004	29.000	1.333	***	42.974	0.760671E-02	0.760671E-02
050,004	29.500	1.333	***	35.533	0.693423E-02	0.693423E-02
051,004	30.000	1.333	***	29.227	0.631610E-02	0.631610E-02
052,004	30.500	1.333	***	23.985	0.575686E-02	0.575686E-02
053,004	31.000	1.333	***	19.714	0.525781E-02	0.525781E-02
054,004	31.500	1.333	***	16.303	0.481783E-02	0.481783E-02
055,004	32.000	1.333	***	13.651	0.443407E-02	0.443407E-02
056,004	32.500	1.333	***	11.467	0.410261E-02	0.410261E-02
057,004	33.500	1.333	***	9.135	0.357739E-02	0.357739E-02
058,004	34.500	1.333	***	8.089	0.320244E-02	0.320244E-02
059,004	35.500	1.333	***	7.946	0.293983E-02	0.293983E-02
060,004	36.500	1.333	***	8.289	0.275690E-02	0.275690E-02
061,004	37.500	1.333	***	8.846	0.262766E-02	0.262766E-02
062,004	38.500	1.333	***	9.452	0.253247E-02	0.253247E-02
063,004	39.500	1.333	***	10.014	0.245712E-02	0.245712E-02
064,004	40.500	1.333	***	10.485	0.239157E-02	0.239157E-02

Moment maximal :

Moments Fléchissants & Moment de Torsion (COORDONNEES LOCALES)					
	Xm	Ym	Mx	My	Mxy
	40.750	2.625	-0.166	2.367	0.079
	40.750	2.875	-0.191	0.425	0.089
	41.250	2.625	0.137	2.405	0.069
	41.250	2.875	0.152	0.430	0.079
	41.750	2.625	0.494	2.437	0.000
	41.750	2.875	0.476	0.435	0.008
	42.250	2.625	1.030	2.465	0.274
	42.250	2.875	1.322	0.441	0.283
	42.875	2.625	0.627	2.489	0.190
	42.875	2.875	0.385	0.446	0.194
	43.625	2.625	1.215	2.510	-0.162
	43.625	2.875	1.222	0.451	-0.158
	44.375	2.625	1.567	2.489	-0.106
	44.375	2.875	1.536	0.447	-0.119
	45.125	2.625	1.780	2.426	-0.171
	45.125	2.875	1.769	0.436	-0.184
	45.875	2.625	2.061	2.380	-0.223
	45.875	2.875	2.048	0.431	-0.227
	46.625	2.625	2.152	2.349	-0.185
	46.625	2.875	2.189	0.434	-0.190
	47.375	2.625	2.341	2.406	-0.003
	47.375	2.875	2.439	0.493	0.041
	48.125	2.625	2.554	2.550	0.356
	48.125	2.875	2.695	0.609	0.399
	48.875	2.625	1.173	2.551	1.328
	48.875	2.875	1.343	0.514	1.254
	49.625	2.625	-1.465	2.409	0.121
	49.625	2.875	-2.439	0.209	0.046
-----					
MxMax+	24.938	1.583	1892.323		
MxMax-	30.375	1.583	-382.096		
-----					
MyMax+	24.938	1.583		211.516	
MyMax-	49.625	2.875		0.209	
-----					
MxyMax+	24.312	1.917			28.772
MxyMax-	25.688	1.917			-28.772

Tassement du sol :

REACTION DU SOL ET TASSEMENT SOUS LES NOEUDS (COORDONNEES GLOBALES)						
noeud	X	Y	statut	Pression	Tassement	Flèche
045,008	27.250	3.000	***	352.202	0.995250E-02	0.995250E-02
046,008	27.500	3.000	***	328.215	0.959439E-02	0.959439E-02
047,008	28.000	3.000	***	287.492	0.886637E-02	0.886637E-02
048,008	28.500	3.000	***	247.651	0.814663E-02	0.814663E-02
049,008	29.000	3.000	***	211.572	0.745529E-02	0.745529E-02
050,008	29.500	3.000	***	179.567	0.680645E-02	0.680645E-02
051,008	30.000	3.000	***	151.774	0.620900E-02	0.620900E-02
052,008	30.500	3.000	***	128.104	0.566762E-02	0.566762E-02
053,008	31.000	3.000	***	108.320	0.518377E-02	0.518377E-02
054,008	31.500	3.000	***	92.094	0.475653E-02	0.475653E-02
055,008	32.000	3.000	***	79.065	0.438316E-02	0.438316E-02
056,008	32.500	3.000	***	67.935	0.405935E-02	0.405935E-02
057,008	33.500	3.000	***	54.754	0.354535E-02	0.354535E-02
058,008	34.500	3.000	***	47.733	0.317730E-02	0.317730E-02
059,008	35.500	3.000	***	45.045	0.291772E-02	0.291772E-02
060,008	36.500	3.000	***	44.947	0.273552E-02	0.273552E-02
061,008	37.500	3.000	***	46.214	0.260576E-02	0.260576E-02
062,008	38.500	3.000	***	48.039	0.250948E-02	0.250948E-02
063,008	39.500	3.000	***	49.927	0.243294E-02	0.243294E-02
064,008	40.500	3.000	***	51.604	0.236639E-02	0.236639E-02
065,008	41.500	3.000	***	52.954	0.230297E-02	0.230297E-02
066,008	42.500	3.000	***	53.680	0.223636E-02	0.223636E-02
067,008	44.000	3.000	***	53.767	0.212375E-02	0.212375E-02
068,008	45.500	3.000	***	52.397	0.198536E-02	0.198536E-02
069,008	47.000	3.000	***	49.039	0.180975E-02	0.180975E-02
070,008	48.500	3.000	***	40.181	0.158784E-02	0.158784E-02
071,008	50.000	3.000	***	79.988	0.133234E-02	0.133234E-02
-----						
Wmax.	25.000	1.667				0.123673E-01
Wmin.	50.000	3.000				0.133234E-02
-----						
TassMax.	25.000	1.667			0.123673E-01	
TassMin.	50.000	3.000			0.133234E-02	
-----						
PressMax.	25.000	3.000		488.320		
PressMin.	48.500	2.500		7.158		

On obtient :

- Moment  $M_x$  maximal : 1892 kN.m/ml
- Tassement maximal : 1,24 cm
- Réaction du sol au centre : 120 kPa environ

Nota : la réaction devrait être relevée au centre de la semelle, c'est-à-dire en  $Y = 1,5$  m. Mais il aurait fallu pour cela définir une discrétisation en  $Y$  de 4 par exemple, au lieu de 3, pour la zone centrale de 1 m de la semelle. Du fait de cette discrétisation de 3, nous n'avons accès aux résultats qu'en  $Y = 1,33$  m ou  $Y = 1,67$  m (réaction de 119,9 kPa en  $X = 25$  m et pour ces valeurs de  $Y$ ). Mais nous avons vu précédemment que la réaction est quasiment constante dans cette zone de la semelle, et on peut donc se contenter de cette approximation.

Enregistrer votre projet, puis l'enregistrer à nouveau sous un nom différent avant de passer à l'étape 2.

### I.4.6.2. Etape 2 : Semelle chargée localement – Définition du coefficient de réaction équivalent

On se propose à présent, à partir des résultats de l'étape précédente, de définir le coefficient de réaction équivalent en se calant par rapport à l'amplitude du moment  $M_x$  relevé précédemment.

Le calcul qu'on se propose ainsi de mener est un calcul de type "Plaque sur appuis continus élastiques". Une première estimation du coefficient de réaction du sol apparent peut être faite en faisant le rapport :

$$k_{z0} = q / s$$

Où  $s$  désigne le tassement maximal de la semelle calculé dans l'exemple précédent (1,24 cm), et  $q$  la réaction du sol au centre la semelle (120 kPa) :  $k_{z0} = 9677$  kPa/m.

Nous allons donc reprendre les données de l'exemple précédent, avec les modifications décrites ci-dessous.

#### I.4.6.2.1. Onglet "Couches"

Il s'agit à présent d'un calcul de type "Plaque sur appuis continus élastiques", où le sol est introduit sous forme de ressorts équivalents et non plus comme massif élastique.

- Supprimer la couche de sol.

#### I.4.6.2.2. Onglet "Charges réparties"

En plus du chargement déjà prédéfini dans l'exemple précédent (poids propre de la semelle et chargement de 3000 kPa), il convient à présent d'introduire le coefficient de réaction du sol, sous la forme d'une raideur verticale répartie de 9677 kPa/m.

On affecte une raideur dans le groupe couvrant la totalité de la plaque :

- $k_z = 9677$  kPa/m.



Charges et raideurs surfaciques							
Charge n°	Xmin	Xmax	Ymin	Ymax	Charge	$k_z$	
1	0,00	50,00	0,00	3,00	12,50	9,68E03	
2	0,00	50,00	1,00	2,00	17,50	0,00E00	
3	24,50	25,50	1,00	2,00	3000,00	0,00E00	

#### I.4.6.2.3. Exploitation des résultats

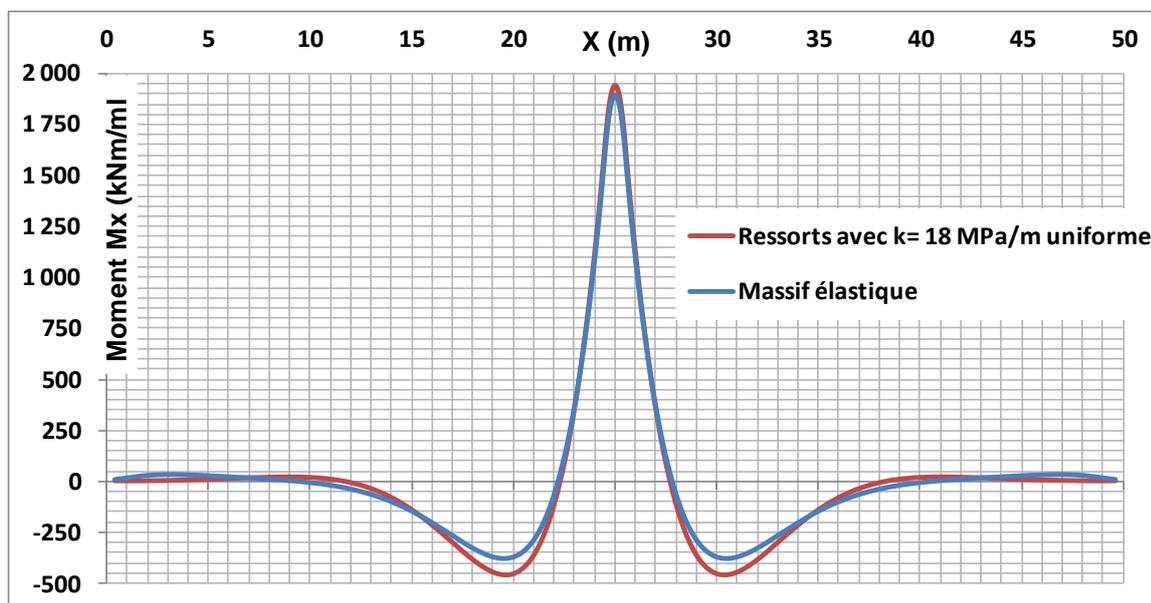
On s'intéresse uniquement à la valeur maximale du moment  $M_x$ , qu'on vise à caler par rapport à la valeur issue du calcul d'origine (1892 kN.m/ml). Cette valeur peut être relevée directement dans le fichier des résultats par exemple. On trouve :  $M_{x,max} = 2308$  kN.m/ml.

Cette valeur est supérieure à celle visée. Afin d'abaisser le moment maximal dans la semelle, il convient d'augmenter le coefficient de réaction du sol support. On propose donc de l'augmenter en première itération dans le rapport de 1,2 ( $\approx 2308/1892$ ) et donc de définir cette fois  $k_z \approx 12000$  kPa/m.

Le tableau ci-dessous récapitule les itérations successives effectuées permettant de converger vers la valeur cible pour  $M_x$  de 1892 kN.m/ml :

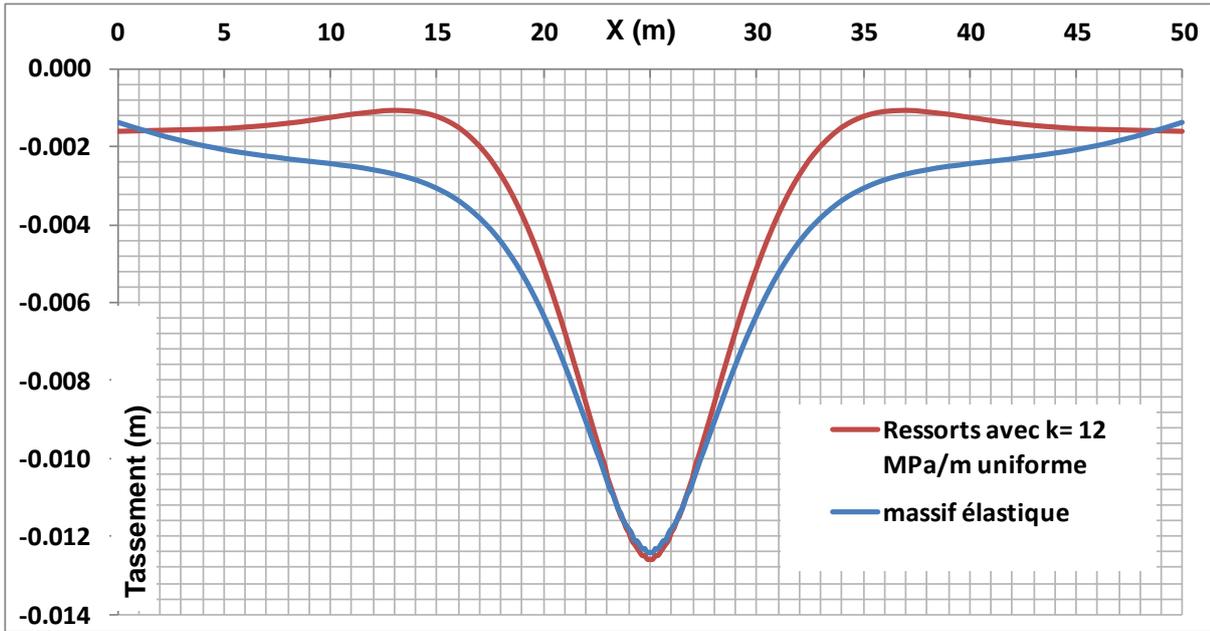
Itération	Coefficient de réaction $k_z$ (kPa/m)	Moment maximal obtenu (kN.m/ml)
1	9677	2308
2	12000	2173
3	14000	2081
4	16000	2004
5	18000	1938

La figure ci-dessous illustre l'allure du moment obtenu avec  $k_z = 18$  MPa/m comparée à celle de référence :



Ainsi, un coefficient de 18000 kPa/m apparaît le plus représentatif du massif support en termes de sollicitations maximales engendrées dans la poutre centrale.

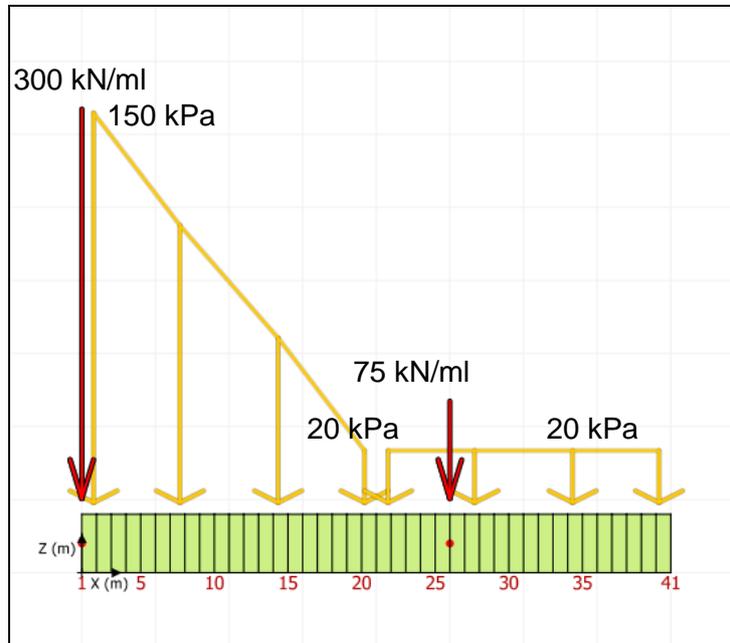
Il est à noter que le coefficient de réaction obtenu n'assurera pas forcément une cohérence en termes de déformations. Celle-ci nécessitera un autre calage spécifique, en visant cette fois-ci la valeur de tassement maximal : cela conduirait à un coefficient de réaction équivalent de 12 MPa/m comme le montre la figure suivante.



### I.4.7. Exemple 7 : Calcul d'une fondation en déformations planes

Cet exemple illustre le calcul d'une semelle de 80 cm d'épaisseur, de 8 m de largeur et de grande longueur L. La flexion de la semelle est supposée négligée selon L, ce qui permet un travail en déformations planes (calcul 2D)

Les conditions de chargement sont illustrées sur la figure ci-dessous.

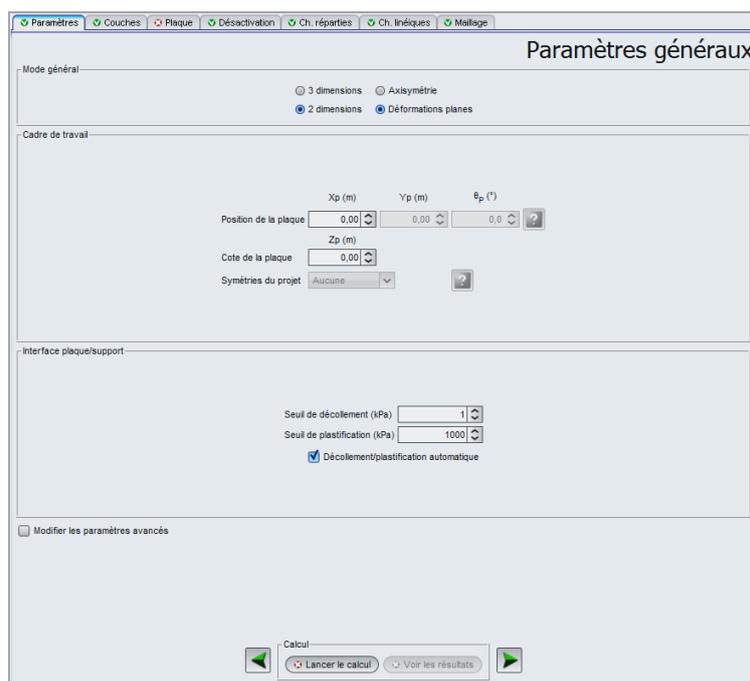


Créer un nouveau projet Foxta v3 et sélectionner le module TASPLAQ.

#### I.4.7.1. Saisie de données

##### I.4.7.1.1. Onglet "Paramètres"

Compléter les données conformément à l'écran ci-dessous.

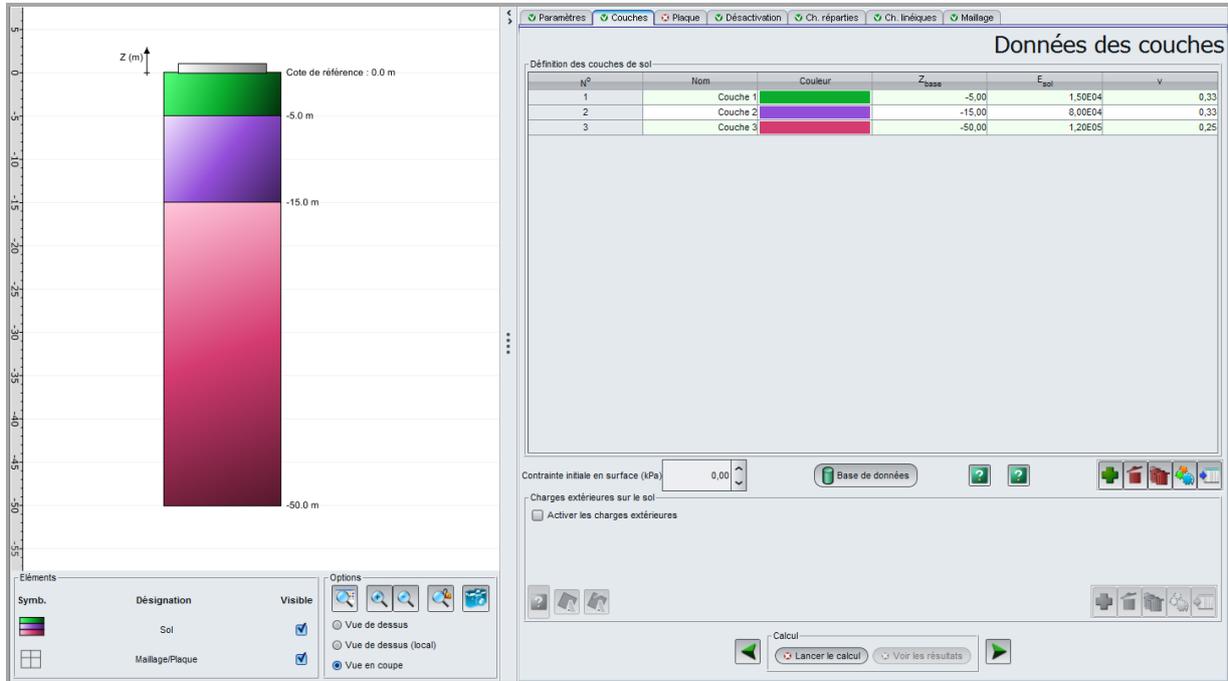


A noter que pour cet exemple, on coche la case "Décollement/plastification automatique", avec les valeurs de seuil suivantes :

- Décollement : 1 kPa (i.e. décollement à partir d'une contrainte de **traction** de 1 kPa)
- Plastification : 1000 kPa (i.e. plafonnement de la réaction du sol à 1000 kPa)

### 1.4.7.1.2. Onglet "Couches"

Compléter les données conformément à l'écran et au tableau ci-dessous.

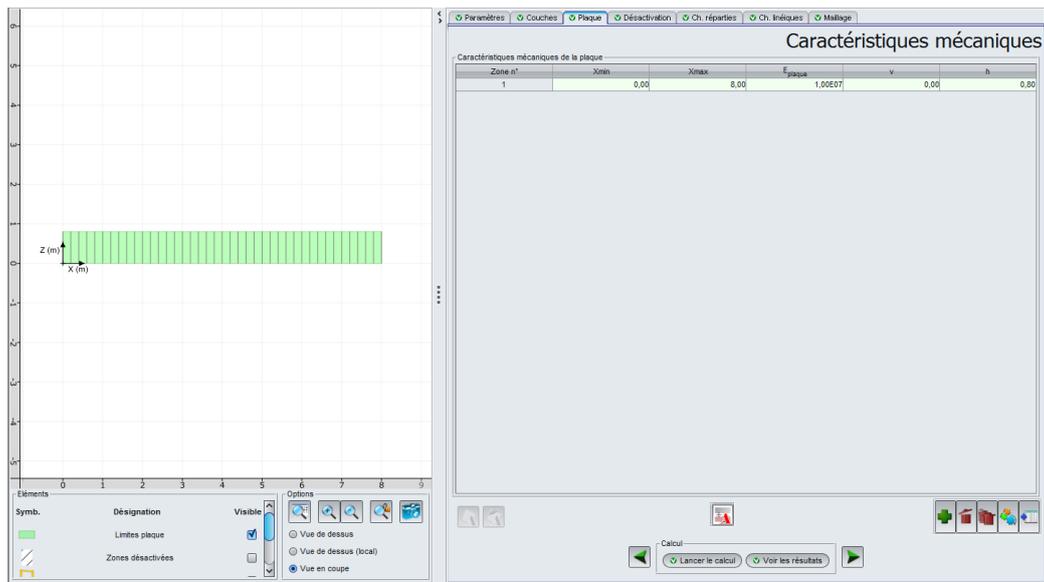


Nom	Z <sub>base</sub> (m)	E <sub>sol</sub> (kPa)	v
Couche1	-5,0	1,50E04	0,33
Couche 2	-15,0	8,00E04	0,33
Couche 3	-50,0	1,20E05	0,25

### 1.4.7.1.3. Onglet "Plaque"

Dans cet exemple, la plaque est homogène, avec une épaisseur de 0,8 m. Il suffit donc de définir une seule zone allant de Xmin = 0 à Xmax = 8 m.

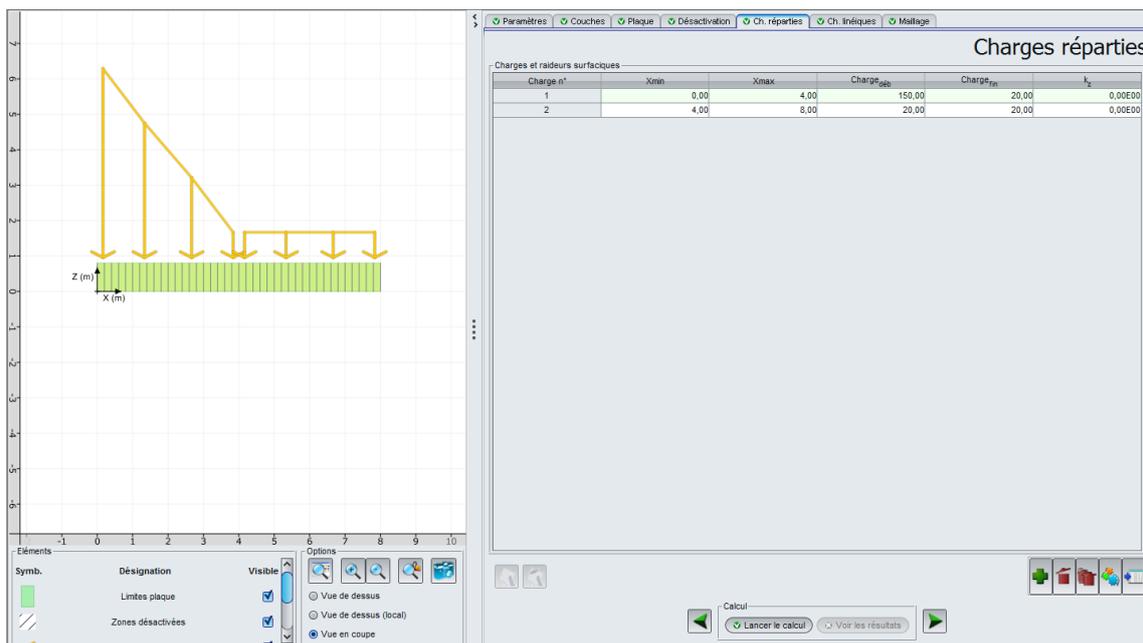
Zone n°	Xmin (m)	Xmax (m)	E <sub>plaque</sub> (kPa)	v	h (m)
1	0,00	8,00	1,00E+07	0,00	0,80



#### I.4.7.1.4. Onglet "Charges réparties"

Deux zones de chargement sont à définir :

- une première charge trapézoïdale sur la moitié "gauche" de la plaque (de 150 kPa en  $X_{min} = 0$  à 20 kPa en  $X_{max} = 4$  m) ;
- puis une seconde charge uniforme de 20 kPa sur l'autre moitié de la plaque (de  $X_{min} = 4$  m à  $X_{max} = 8$  m).



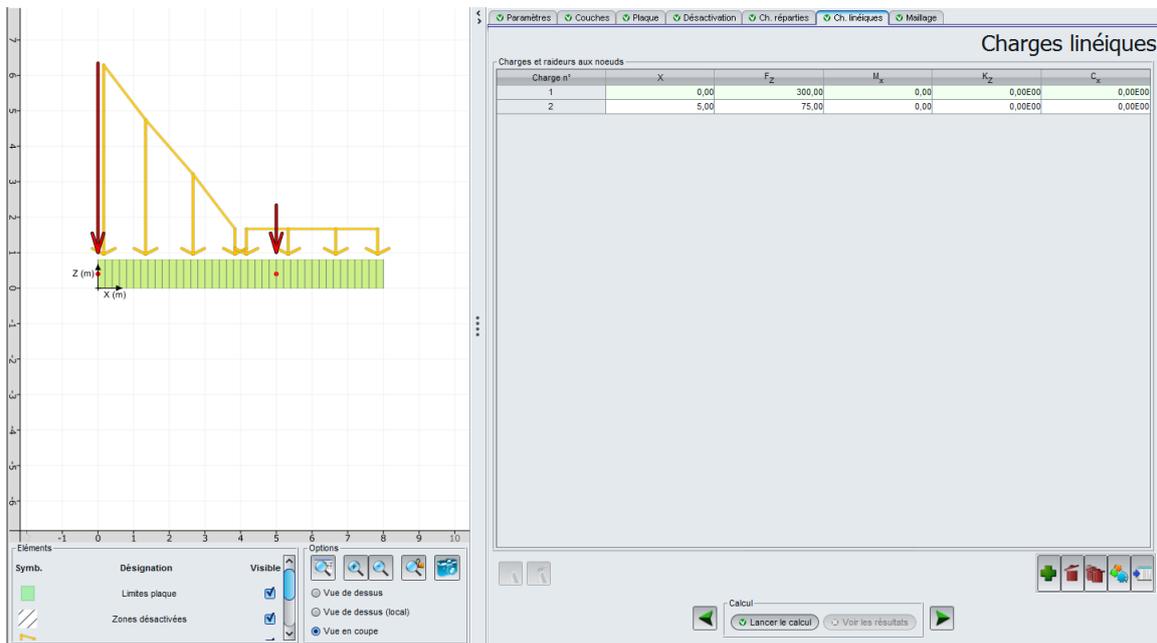
Charge n°	Xmin (m)	Xmax (m)	Charge <sub>déb</sub> (kPa)	Charge <sub>fin</sub> (kPa)	k <sub>z</sub> (kPa/m)
1	0,00	4,00	150	20	0
2	4,00	8,00	20	20	0

### I.4.7.1.5. Onglet "Charges linéiques"

Deux charges linéiques sont à définir pour cet exemple :

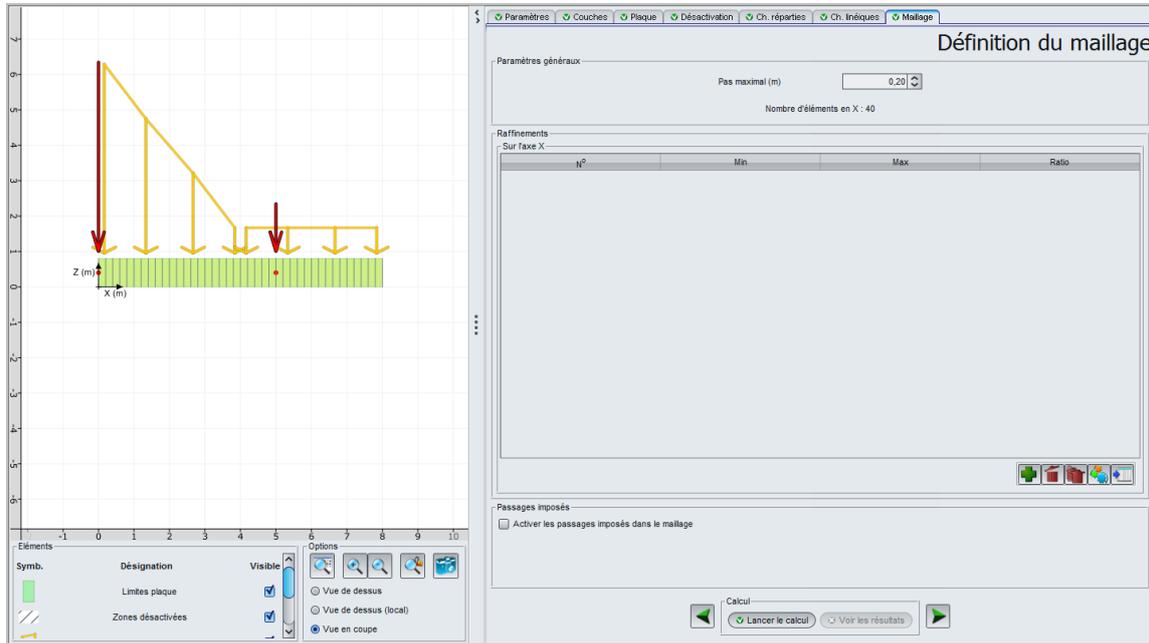
- Une charge  $F_z$  de 300 kN/ml en  $X = 0$  ;
- Une charge  $F_z$  de 75 kN/ml en  $X = 5$  m.

Charge n°	X (m)	$F_z$ (kN/ml)	$M_x$ (kN.m/ml)	$K_z$ (kN/m/ml)	$C_x$ (kN.m/rad/ml)
1	0,00	300	0	0	0
2	5,00	75	0	0	0



### I.4.7.1.6. Onglet "Maillage"

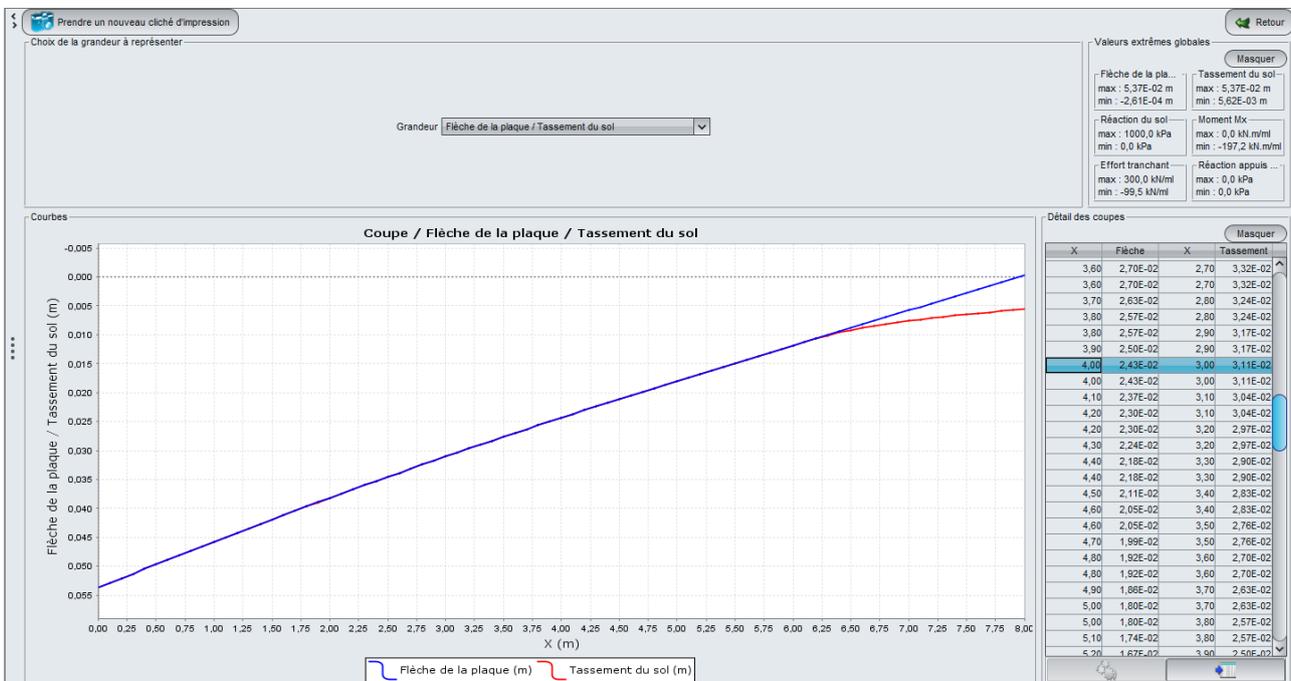
On propose de travailler avec une maille uniforme selon un pas de 0,2 m.



### I.4.7.2. Résultats graphiques - Coupes

#### Flèche de la plaque / Tassement du sol

On observe un soulèvement de l'extrémité droite de la semelle du fait du caractère dissymétrique du chargement qui lui est appliqué.

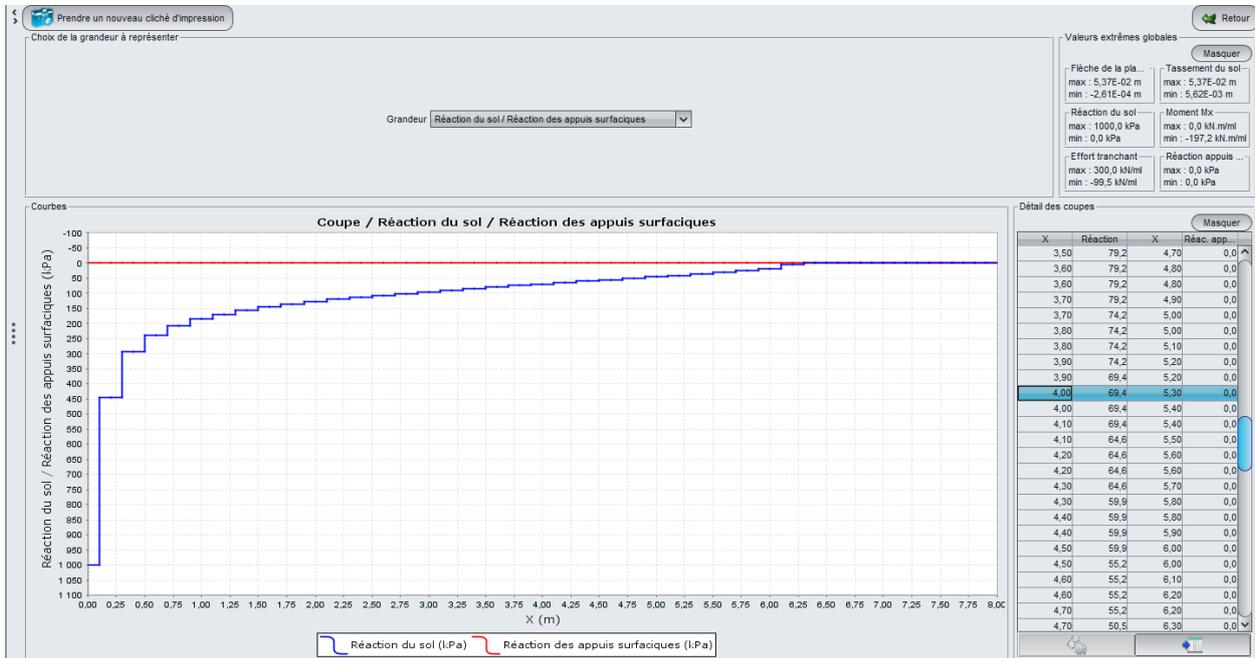


#### Réaction du sol

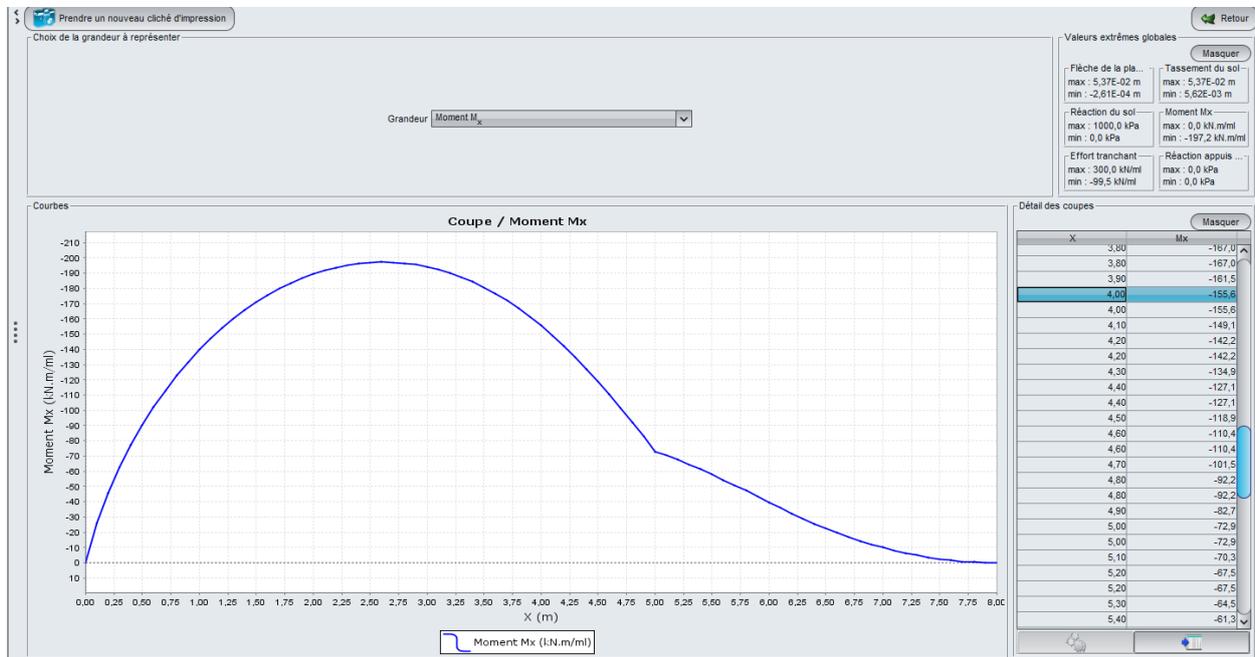
Valeurs extrêmes globales :

- Max : 1000 kPa
- Min : 0 kPa

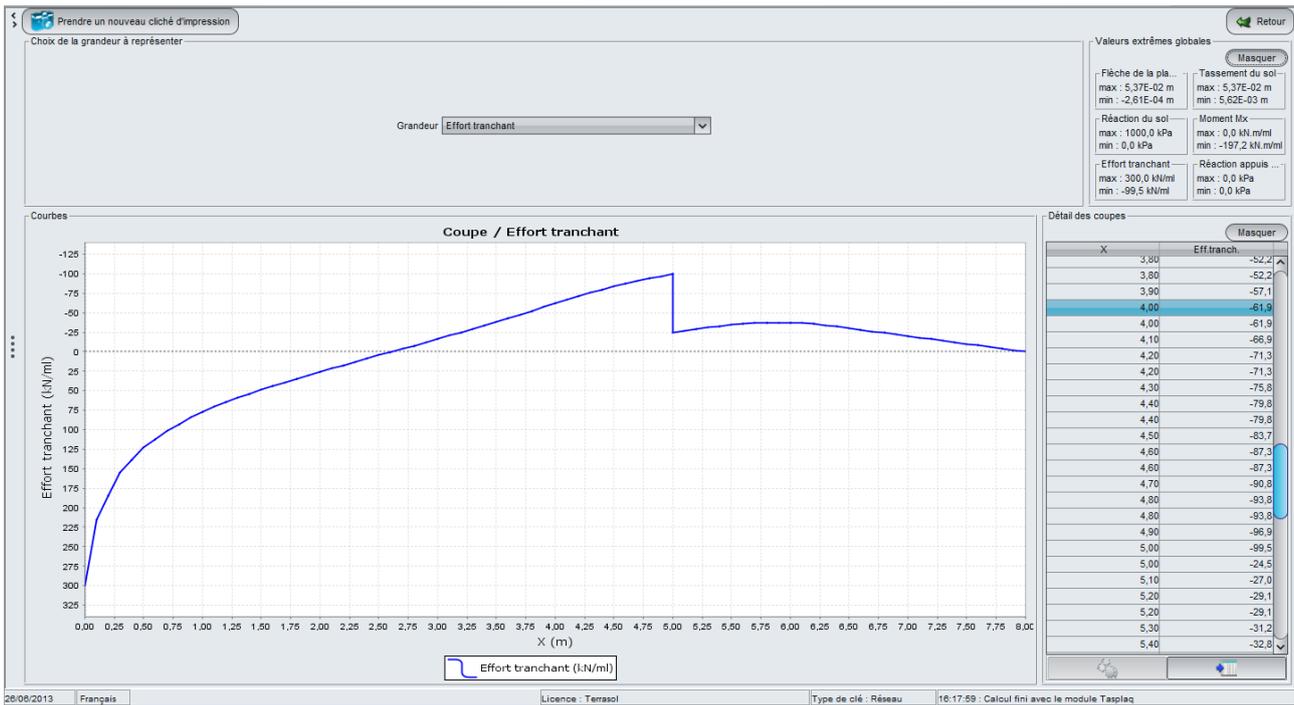
La réaction maximale est obtenue à l'extrémité gauche de la semelle (du côté où le chargement est le plus important). Cette valeur maximale est de 1000 kPa, valeur maximale fixée par hypothèse pour ce calcul : il y a donc plastification (qui a été gérée automatiquement par le logiciel). La zone de décollement peut également être observée ici comme étant la zone où la réaction du sol est nulle, soit graphiquement à partir de X = 6,50 m.



### Moment $M_x$



## Effort tranchant



L'effort tranchant maximal est obtenu en  $X = 0$  m (extrémité gauche de la semelle) : la valeur de 300 kN/ml est égale à la valeur de la charge linéique appliquée en  $X = 0$  m.

L'effort tranchant minimal est obtenu en  $X = 5$  m : on constate à cette position un saut d'effort tranchant de 75 kN/ml, égal à la valeur de la charge linéique appliquée en  $X = 5$  m.