

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE & POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR & DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



Université El Hadj Lakhdar  BATNA
Faculté des Sciences de l'Ingénieur
Département de Génie Civil

MÉMOIRE

Présenté pour obtenir le diplôme de

MAGISTER

EN GENIE CIVIL

OPTION : CONSTRUCTION EN ZONES SISMIQUES

Thème :

ÉTUDE DE COMPORTEMENT DES COLONNES BALLASTÉES SOUMISES Á UN CHARGEMENT EXCENTRÉ

Présenté par :

REFFAS Brahim

Soutenu le : 01 /03 /2012

Devant le jury composé de :

M.ABBECKhelifa	Professeur	Université de Batna	Président
M.KARECH Toufik	Maître de Conférences Classe A	Université de Batna	Rapporteur
M.BAHEDDI Mohamed	Maître de Conférences Classe A	Université de Batna	Examineur
M.BEROUEL Ahmed	Maître de Conférences Classe A	Université de Constantine	Examineur

Dédicaces

« Je dédie ce modeste travail :

à toute la famille, mon père, ma mère, ma femme,

et ma fille « Malek Tessnime » et mes frères et

sœurs, à toute les amis et proches et à tous

personne ayant contribué à ce travail de près ou

de loin. »

Remerciements

« Je remercie en premier Dieu pour tout.

Je remercie en second mes parents, qui ont sacrifiés
leur vie pour notre bien.

En fin, mes sincères reconnaissances et gratitudes à
tous mes enseignants, et en particulier le directeur de
ce mémoire Mr : KARECHE Toufik : Professeur à
l'université de BATNA.

Je remercie également le président et les membres de
jury d'avoir accepter et d'examiner mon travail. »

SOMMAIRE

<i>Introduction générale</i>	1
<i>Problématique</i>	2

Chapitre I : Synthèse Bibliographique

<i>I.1. Introduction</i> :	3
<i>I.2. Définition des colonnes ballastées</i> :	3
<i>I.3. Choix de la méthode d'amélioration des sols</i> :	4
<i>I.4. Objectif de la technique du renforcement par colonne ballastées</i> :	5
<i>I.5. Domaine d'application des colonnes ballastées</i> :	5
<i>I.6. Procédés d'exécution des colonnes ballastées</i> :	7
<i>I.6.1. Colonne ballastée par voie sèche et alimentation du ballast par le haut</i> :	7
<i>I.6.2. Colonne ballastée par voie humide et alimentation du ballast par le haut</i> :	9
<i>I.6.3. Colonne ballastée par vibreur a sas ,voie sèche où humide et alimentation par la base</i> :	10
<i>I.6.4. Colonne ballastée pilonnée</i> :	11
<i>I.7. Techniques d'amélioration des sols</i> :	12
<i>I.7.1. Techniques de renforcement par colonnes ballastées</i>	12
<i>I.7.2. Comportement d'une colonne isolé</i> :	13
<i>I.7.3. Mécanismes & modes des ruptures des colonnes ballastées</i> :	14
<i>I.7.3.1. Rupture par expansion latérale de la colonne</i> :	15
<i>I.7.3.2. Rupture par cisaillement généralisé du sol traité:</i>	15
<i>I.7.3.3. Rupture par poinçonnement</i> :	15
<i>I.7.4. Contraintes maximales admissibles dans les colonnes</i> :	15
<i>I.7.4.1. Mise en équation de la rupture par expansion latérale</i> :	16
<i>I.7.4.2. Mise en équation de la rupture par cisaillement généralisé:</i>	17
<i>I.7.4.3. Mise en équation de la rupture par poinçonnement d'une colonne flottante</i> :	18
<i>I.7.5. Contraintes admissibles dans les colonnes à l'état limite de service L'ELS</i> :	19
<i>I.7.6. Contraintes admissibles dans les colonnes à l'état limite ultime L'ELU</i> :	20
<i>I.8. Conclusion:</i>	20

Chapitre II : Lois de comportement des sols

II.1. Les modèles de comportements :	21
II.2. Comportements des sols saturés :	21
II.2.1. Comportement élastoplastique :	22
II.2.2. Modèle élastique linéaire :	24
II.2.3. Modèle de Mohr-Coulomb :	24
II.2.3.1. Module d'Young :	25
II.2.3.2. Coefficient de poisson :	26
II.2.3.3. Angle de frottement :	26
II.2.3.4. Cohésion :	27
II.2.3.5. L'angle de dilatance :	27
II.2.4. Modèle de sol avec écrouissage (Hardening Soil Model) :	27
II.2.4.1. Les paramètres du HSM :	28
II.2.4.2. Les modules :	28
II.2.4.3. Surface de charge :	30
II.2.4.4. Surface de rupture :	30
II.2.5. Modèle pour les sols mous (Soft Soil model):	31
II.2.5.1. Les paramètres de compressibilité :	31
II.2.5.2. Paramètre de contrainte K_0 :	33
II.2.5.3. Coefficient de Poisson :	33
II.2.5.4. Prise en compte de la surconsolidation :	33
II.2.6. Modèle pour sols « mous » avec effet du temps (Soft Soil Creep Model) :	34
II.2.7 : Modèles Cam-Clay :	36
II.2.7.1. Etude de l'essai de compression isotrope :	36
II.2.7.2. Notion d'état critique :	37
II.2.7.3. Équations des modèles Cam-Clay :	37
II.2.8. Conclusion :	39

Chapitre III : Modélisations numériques

III.1. Généralités et principe sur la pratique des éléments finis :	40
III.2. Application des éléments finis aux sols renforcés :	40
III.3. Modélisation d'un réseau de colonnes ballastées :	41
III.3.1. Hypothèse de calcul et modélisation :	41
III.3.2. Modélisation d'un réseau de colonnes ballastées par homogénéisation :	42
III.4. Géométrie du modèle numérique et les caractéristiques des matériaux utilisés :	43
III.4.1. Introduction :	43
III.4.2. Géométrie du modèle numérique :	43
III.4.3. Caractéristiques des matériaux utilisés dans la modélisation numérique:	45
III.4.3.1. Propriétés de la couche d'argile molle :	45
III.4.3.2. Propriétés des colonnes ballastées :	46
III.4.3.3. Propriétés du matelas de transferts de charge :	47
III.4.3.4. Propriétés de la fondation circulaire (radier) :	47
III.4.4. Génération du maillage :	48
III.4.4.1. Conditions initiales :	48

Chapitre IV : Expérimentations – Résultats et Discussions-

IV.1. Résultats et discussions :	50
IV.1.1. Influence de la variation du point d'application de la charge (excentricité) sur le comportement des colonnes ballastées :	51
IV.1.1.1. Analyse et interprétation des résultats de la colonne 2:	51
IV.1.1.2. Analyse et interprétation des résultats de la colonne 1:	58
IV.1.1.3. Conclusion des résultats des colonnes 1 et 2 et leurs interprétations :	66
IV.1.1.4. Analyse & Interprétation des Résultats de la Colonne 4 :	67

<i>IV.1.1.5. Analyse et interprétation des résultats de la colonne 3 :</i>	75
<i>IV.1.1.6. Conclusion des résultats des colonnes 3 et 4 et leurs interprétations :</i>	83
<i>IV.1.1.7. Analyse et interprétation des résultats de la colonne 5:</i>	84
<i>IV.1.1.8. Analyse et interprétation des résultats de la colonne 6:</i>	91
<i>IV.1.1.9. Conclusion des résultats des colonnes 5 et 6 et leurs interprétations :</i>	99
<i>IV.1.1.10. Conclusion :</i>	100
<i>IV.1.2. Influence de la variation du point d'application de la charge (excentricité) avec augmentation de l'épaisseur de radier de 0,25 m à 0,50 m sur le comportement des colonnes ballastées :</i>	101
<i>IV.1.2.1. Analyse et interprétation des résultats de la colonne 2:</i>	101
<i>IV.1.2.2. Analyse & Interprétation des Résultats de la Colonne 1:</i>	108
<i>IV.1.2.3. Conclusion des résultats des colonnes 1 et 2 et leurs interprétations :</i>	116
<i>IV.1.2.4. Analyse et interprétation des résultats de la colonne 4:</i>	118
<i>IV.1.2.5. Analyse et interprétation des résultats de la colonne 3:</i>	125
<i>IV.1.2.6. Conclusion des résultats des colonnes 3 et 4 et leurs interprétations :</i>	134
<i>IV.1.2.7. Analyse et interprétation des résultats de la colonne 5:</i>	135
<i>IV.1.2.8. Analyse et interprétation des résultats de la colonne 6:</i>	143
<i>IV.1.2.9. Conclusion des résultats des colonnes 5 et 6 et leurs interprétations :</i>	151
<i>IV.1.2.10. Conclusion:</i>	153
<i>IV.1.3. Influence de la variation du point d'application de la charge (excentricité) avec diminution de la cohésion du sol de 75 KN/m² à 70 KN/m² sur le comportement des colonnes ballastées :</i>	154
<i>IV.1.3.1. Analyse et interprétation des résultats de la colonne 2:</i>	154
<i>IV.1.3.2. Analyse et interprétation des résultats de la colonne 1:</i>	161
<i>IV.1.3.3. Conclusion des résultats des colonnes 1 et 2 et leurs interprétations :</i>	169
<i>IV.1.3.4. Analyse et interprétation des résultats de la colonne 4:</i>	171
<i>IV.1.3.5. Analyse et interprétation des résultats de la Colonne 3:</i>	178
<i>IV.1.3.6. Conclusion des résultats des colonnes 3 et 4 et leurs interprétations :</i>	186
<i>IV.1.3.7. Analyse et interprétation des résultats de la colonne 5:</i>	188

<i>IV.1.3.8. Analyse et interprétation des résultats de la colonne 6:</i>	195
<i>IV.1.3.9. Conclusion des résultats des colonnes 5 et 6 et leurs interprétations :</i>	203
<i>IV.1.3.10. Conclusion:</i>	205
<i>III.7.4. Influence de la variation du point d'application de la charge (excentricité) avec augmentation de rayon de radier de 2,00 m à 2,50 m sur le comportement des colonnes ballastées :</i>	207
<i>IV.1.4.1. Analyse et interprétation des résultats de la colonne 2:</i>	207
<i>IV.1.4.2. Analyse et interprétation des résultats de la colonne 1:</i>	215
<i>IV.1.4.3. Conclusion des résultats des colonnes 1 et 2 et leurs interprétations :</i>	223
<i>IV.1.4.4. Analyse et interprétation des résultats de la colonne 4:</i>	225
<i>IV.A.4.5. Analyse et interprétation des résultats de la colonne 3:</i>	233
<i>IV.1.4.6. Conclusion des résultats des colonnes 3 et 4 et leurs interprétations :</i>	241
<i>IV.1.4.7. Analyse et interprétation des résultats de la Colonne 5:</i>	243
<i>IV.1.4.8. Analyse et interprétation des résultats de la Colonne 6:</i>	251
<i>IV.1.4.9. Conclusion des résultats des colonnes 5 et 6 et leurs interprétations :</i>	259
<i>IV.1.4.10. Conclusion :</i>	261
<i>Conclusion Générale :</i>	262

LISTES DES FIGURES :

<i>Figure I.1. Applicabilité des techniques d'amélioration des sols en place en fonction de la granulométrie du sol initial :.....</i>	<i>4</i>
<i>Figure I.2 : Domaines d'application des techniques d'amélioration de sol.....</i>	<i>7</i>
<i>Figure I.3 : Schéma de réalisation des colonnes ballastées par voie sèche:.....</i>	<i>7</i>
<i>Figure I.4 : Séquences de réalisation :vibreux pendulaire (voie humide) :.....</i>	<i>8</i>
<i>Figure I.5 : étapes de réalisation d'une colonne ballastées par voie sèche.....</i>	<i>9</i>
<i>Figure I.6 : étapes d'exécution d'une colonne ballastées par voie humide</i>	<i>10</i>
<i>Figure I.7 : Séquence de réalisation : vibreur à sas.....</i>	<i>11</i>
<i>Figure I.8 : principe de réalisation d'une colonne ballastée pilonnée.</i>	<i>12</i>
<i>Figure I.9 : exemples de mailles pour un réseau de colonnes ballastées.....</i>	<i>13</i>
<i>Figure I.10 : Types de rupture d'une colonne isolée chargée en tête exécutée dans une couche compressible homogène</i>	<i>15</i>
<i>Figure I.11: caractérisation de la surface de rupture</i>	<i>17</i>
<i>Figure I.12 : Détermination pratique de δ</i>	<i>18</i>
<i>Figure I.13 : Définition des longueurs L_{min} et L_{max} d'une colonne ballastée vis-à-vis de la rupture par poinçonnement</i>	<i>19</i>
<i>Figure II. 1 : Modèle monodimensionnel du comportement élastoplastique.....</i>	<i>22</i>
<i>Figure II. 2 : Représentation du comportement élastique-parfaitement plastique.....</i>	<i>23</i>
<i>Figure II.3 : Représentation du comportement élastoplastique avec écrouissage.....</i>	<i>23</i>
<i>Figure II.4 : Courbe intrinsèque du modèle Mohr-Coulomb.....</i>	<i>25</i>
<i>Figure II.5 - Pyramide de Mohr-Coulomb tracée pour $C=0$.....</i>	<i>25</i>
<i>Figure II.6. Définition du module à 50 % de rupture.....</i>	<i>26</i>

<i>Figure II.7 :Représentation du HSM dans le repère contrainte-déformation</i>	<i>29</i>
<i>Figure II.8: Définition du module oedométrique tangent</i>	<i>29</i>
<i>Figure II.9 :Définition de l'angle de dilatance.....</i>	<i>30</i>
<i>Figure II.10 : Forme des surfaces de charge du HSM</i>	<i>30</i>
<i>Figure II.11 :Surface de rupture pour le HSM cas d'un sol non cohérent.....</i>	<i>31</i>
<i>Figure II.12 :Différentes représentations lors d'un essai oedométrique</i>	<i>32</i>
<i>Figure II.13 : Effet du temps sur les essais oedométriques.....</i>	<i>34</i>
<i>Figure II.14 : Diagramme des cercles p_{eq} dans le plan $p-q$</i>	<i>35</i>
<i>Figure II.15 :Représentation d'un essai de compression isotrope</i>	<i>36</i>
<i>Figure II.16. Représentation de l'écroutissement pour le modèle Cam-Clay</i>	<i>38</i>
<i>Figure III.1 :Répartition des contraintes en surface à long terme.....</i>	<i>43</i>
<i>Figure III .2 :Modèle numérique de comportement des colonnes ballastées soumises à un chargement excentré</i>	<i>45</i>
<i>Figure III.3 : Génération de maillage du modèle géométrique</i>	<i>48</i>
<i>Figure III.4 :Génération des pressions interstitielles initiales</i>	<i>49</i>
<i>Figure III.5 : Génération des contraintes initiales.....</i>	<i>49</i>
<i>Figure IV.1 : Schéma explicatif des parties: supérieure, intermédiaire et inférieure de la colonne.....</i>	<i>50</i>

INTRODUCTION GENERALE

Introduction Générale :

Le renforcement des sols par colonnes ballastées est envisagé pour les ouvrages à grande surface d'appui (remblais, routes, autoroutes, ouvrages d'arts et bâtiments). Cette technique est utilisée pour résoudre certains problèmes de construction d'ouvrages sur sols compressibles de faibles caractéristiques mécaniques.

Cette technique de renforcement par colonnes ballastées a connue un essor primordial en raison des avantages qu'elle garantit. D'une part, la rapidité de réalisation, et d'autre part leurs prix compétitifs par rapport aux autres techniques existantes. Cette méthode consiste à incorporer un matériau granulaire (ballast) dans le sol. Pour réaliser des colonnes, on peut recourir à plusieurs techniques et procédés d'exécutions sur le terrain. Les avantages de l'amélioration de sol par colonnes ballastées permettent : d'augmenter les caractéristiques mécaniques du sol et sa capacité portante, de diminuer les tassements sous les charges appliquées, d'accélérer et diminuer le temps de consolidation, contribuer à la stabilité des ouvrages et réduire les risques de liquéfaction du sol dans les zones sismiques.

L'objet de ce travail est de voir l'influence d'une charge excentrée sur le comportement des colonnes ballastées ancrées dans un sol à faible caractéristiques mécaniques, tout en tenant compte des paramètres mécanique du sol, géométrique de la fondation c'est-à-dire l'augmentation des dimensions de radier tel que l'épaisseur et le rayon.

Le travail est présenté en trois chapitres, le premier chapitre comporte une synthèse bibliographique sur le renforcement du sol par colonnes ballastées. Il présente également une technologie sur la technique, les procédés de renforcement des sols par colonnes ballastées, leurs mécanismes et les modes de ruptures. Le second chapitre comporte une présentation des lois de comportement des sols et les modèles utilisés dans l'étude et les applications géotechniques. Le troisième chapitre est consacré à l'étude de comportements des colonnes ballastées. Il comprend une généralité sur la pratique des éléments finis et leurs utilisations en géotechnique. Enfin, le dernier chapitre aborde l'étude proprement dite des semelles rigides sur sol compressible renforcé par colonne, tout en tenant compte des différents paramètres qui influent sur leurs comportements tel que la géométrie du modèle numérique et les caractéristiques des matériaux utilisés, suivi par une analyse des résultats (déplacements, déformations, contraintes, pressions actives).

Problématique

Le renforcement des sols à faibles caractéristiques par colonnes ballastées a vu ces dernières années une évolution tangible dans le domaine de la construction en Génie Civil. Sa valeur ajoutée est manifestée notamment par une réduction considérable des tassements, une accélération de consolidation du sol, une augmentation de la force portante du sol ainsi que la diminution des risques de liquéfaction du sol en zone sismique [Douib & Blondeau 2005]. Conduisant ainsi à une meilleure protection de nos constructions, en l'occurrence : les ouvrages de grandes surfaces d'appui (remblais, routes et autoroutes, pistes d'atterrissage, barrages, radiers et dallages, etc.) [Bouassida & al 2005].

Souvent, les colonnes ballastées reçoivent diverses charges verticales : concentrées, uniformément réparties et des charges de trafic à l'instar d'un tablier du pont qui subissent des charges mobiles sur sa largeur. La pile du pont transmet la charge aux fondations du sol renforcé par colonnes ballastées. Notre problématique appréhende la mobilité de la charge et son influence sur les colonnes ballastées. Est-ce que cette mobilité influe t'elle sur le comportement des colonnes ballastées ? En d'autres termes, est-ce que le point d'application de la charge influe t-il sur le comportement des colonnes ballastées ? Sur la même pile, on prévoit les sollicitations telles que : le moment fléchissant avec une charge verticale qui demeure constante N c'est-à-dire charge excentrée, et de la on essaye de voir de quelle manière le paramètre d'excentricité agit sur le comportement des colonnes ballastées par une modélisation numérique bidimensionnelle.

CHAPITRE I :
SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1. Introduction :

Afin de construire une infrastructure, il est indispensable d'effectuer une étude géotechnique du sol composant le futur site d'implantation de l'infrastructure et certains paramètres sont déterminés pour évaluer la capacité portante des sols en présence. Les sols rencontrés ne peuvent pas constituer une assise de fondation superficielle, à cause d'une capacité portante insuffisante et de tassements excessifs entraînant des désordres inadmissibles. Alors il est nécessaire d'améliorer ces sols soit par renforcement ou par la mise en œuvre de fondations profondes. Néanmoins, du point de vue économique on peut choisir une solution qui est généralement la moins coûteuse parmi elle les colonnes ballastées surtout dans les zones sismique. Ces considérations ne sont validés que dans le domaine d'application des méthodes de renforcement. [Chardigny et al, 2010]

I.2. Définition des colonnes ballastées :

Les colonnes ballastées constituent une méthode de renforcement des sols par l'incorporation de colonnes de gravier compactées dans le sol. Ce procédé convient à des sols argileux ou limoneux contenant plus de 10% à 15% de limons et d'argiles. [Chardigny et al, 2010]

Les colonnes ballastées sont constituées de matériaux granulaires enfoncés par refoulement et compactés dans les sols de mauvaises caractéristiques géotechniques (module de Young E , angle de frottement φ et la cohésion C) sous formes des fûts cylindriques à l'aide d'un vibreur radial, placé à la pointe d'un tube sert du support. [Douib et Blondeau, 2005]. Avec des diamètres variables dépendent de l'outil utilisé, des terrains traversés et leurs caractéristiques, la puissance de mise en œuvre et de la poussée verticale [Recommandations DTU 13.2, 2004].

Les colonnes ballastées ne sont pas un des éléments de fondation. Leur but est de conférer au sol de nouvelles caractéristiques, générales et/ou locales sous l'ouvrage à construire, afin que les différents éléments d'infrastructures de celui-ci (semelles isolées ou filantes, radiers, dallages, ouvrages en terre,...) aient un comportement prévisible, justifiable et compatible avec les règlements et tolérances s'appliquant à la structure de l'ouvrage et à son exploitation. Elles permettent la maîtrise du comportement des fondations superficielles du futur ouvrage. Le matériau de la colonne ballastée est un matériau pulvérulent de forte portance, la colonne constitue donc un drain et permet donc en plus de l'augmentation de la capacité portante du sol existante d'augmenter la vitesse de consolidation du sol. [Chardigny et al, 2010]. Les

colonnes ballastées mises en place dans différents types de sols cohérents et pulvérulent sous des fondations souples ou rigides (Remblais, Radiers) soumises à un chargement concentrées ou uniformément réparties [Douib et Blondeau, 2005]. Elles peuvent être réalisées en maillage réguliers ou variable, en ligne, en groupe ou même de manière isolé selon la nature du sol à traiter, le type d'ouvrage à réaliser, de la nature des charges appliquées ainsi que les tassements absolus et différentiels [Recommandations DTU 13.2, 2004].

I.3.Choix de la méthode d'amélioration des sols :

La méthode de renforcement utilisée dépend des caractéristiques du sol en état. La plupart du temps le sol initial, donc dans son état non amélioré, est identifié par sa couche granulométrique qui demeure un facteur primordial en vue de choisir une technique d'amélioration a ce sol. En effet, compte tenu des deux principales classes de sols connues, sols pulvérulent et sols fins, on comprend du point de vue de leur propriétés et comportement différents que les techniques d'améliorations considérées seront différentes selon la classe d'appartenance du sol. [Chardigny et al, 2010]

Donc le choix d'une technique de renforcement dépend largement du type de sol à améliorer et également de sa granulométrie. Une différence propre entre les techniques d'amélioration exécutables dans les sols fins, d'une part, et dans les sols grenus, d'autre part, est illustrée par la figure I.1. [bouaâssida M,]

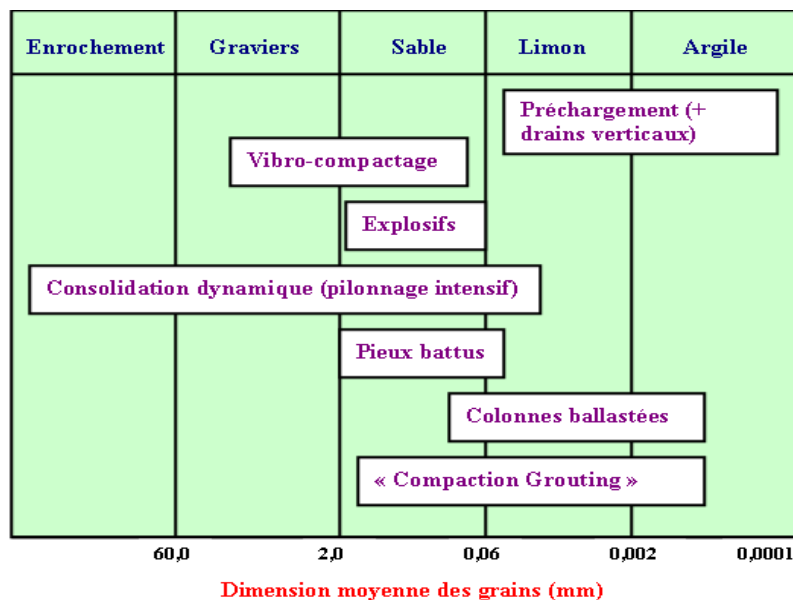


Figure I.1. Applicabilité des techniques d'amélioration des sols en place en fonction de la granulométrie du sol initial [Gambin, 2000].

I.4. Objectif de la technique du renforcement par colonnes ballastées :

La technique de renforcement par colonne ballastées est une technique de traitement des sols de mauvaises caractéristiques géotechniques et rendant un milieu composite (matériau composite =sol +ballast) ayant des caractéristiques meilleures que le sol non traité aptes à reprendre les charges issues de fondations souples et rigides et permettant de :

1. Augmenter la capacité portante du sol ;
2. Diminuer les tassements (tassements totaux et différentiels) ;
3. Diminuer le temps de consolidation par la création d'éléments drainantes ;
4. Augmenter les caractéristiques du sol traité (la résistance au cisaillement horizontale et l'angle de frottement interne) ;
5. Diminuer les risques de liquéfaction dans les zones sismiques . [Douib et Blondeau, 2005]

I.5. Domaine d'application des colonnes ballastées :

L'utilisation des colonnes ballastées dépend de la nature du sol ainsi que du type d'ouvrage à réaliser. Les utilisations les plus fréquentes des traitements par colonnes ballastées concernent des ouvrages où ils existent des dallages et radiers recevant des charges surfaciques et susceptibles d'accepter des tassements (halls de stockage, bâtiments industriels et commerciaux, silos et réservoir de toute nature, ouvrages hydrauliques étanches (réservoir, station d'épuration)). L'objet de cette partie le recensement des utilisations possibles de la méthode des colonnes ballastées. Elles peuvent être utilisées sous d'autres ouvrages dans la mesure où la déformation résiduelles du sol traité et du sol sous-jacent sont compatible avec la structure de l'ouvrage tel que: En génie civil (routes, remblais, ouvrages d'art, murs de soutènement) ou maritime (renforcement de fonds marins, fluviaux), sous fondations superficielles de bâtiments individuels ou collectifs [Recommandations DTU 13.2, 2004].

Les colonnes ballastées ne doivent pas être utilisées dans certains terrains tels que les décharges d'ordures ménagères, les tourbes. C'est-à-dire les sols présentant des risques de pertes dans le temps des caractéristiques volumétriques et mécaniques. Par contre, peuvent être utilisées dans tout type de sol. Leur hauteur usuelle est comprise entre 2m et 20m tandis que leur diamètre, dépendant de la résistance mécanique visée, est compris entre 0,8 et 1,2 m.

En outre, il est possible d'utiliser les colonnes ballastées en zones sismiques ou elles peuvent contribuer à la diminution du potentiel de liquéfaction des sols. [Chardigny et al, 2010]

D'après [Dhouib et Blondeau, 2005] les tableaux (tableau I.1 et tableau I.2) ci-dessous indiquent le domaine d'application des colonnes ballastées en France successivement dans les ouvrages et les sols concernés.

Tableau I.1-champ d'application des colonnes ballastées en France [Dhouib et Blondeau 2005]

Domaine d'application	Degré d'utilisation
Remblais (d'accès et surélévation)	Très fréquente
Radiers et dallages (station d'épuration et bâtiments industriels)	
Fondations superficielles de bâtiments logistiques	fréquente
Fondations superficielles de bâtiments d'habitation	Rare

Tableau I.2. Sols concernées par la réalisation des colonnes ballastées [Dhouib et Blondeau 2005]

Sols concernées	Commentaire
Sols mous non organiques (argile, limon et sable fin lâche à forte proportion de fines) et remblais inertes	Tolérance pour de faibles épaisseurs défavorables (sols organiques, déchets ménagers)
Sols organiques (tourbe, argile et vase organique) et matériaux de décharge	Colonnes ballastées proscrites

Les domaines d'application des techniques d'amélioration de sol sont représentés sur la Figure I. 2 [KELLER, 2008].

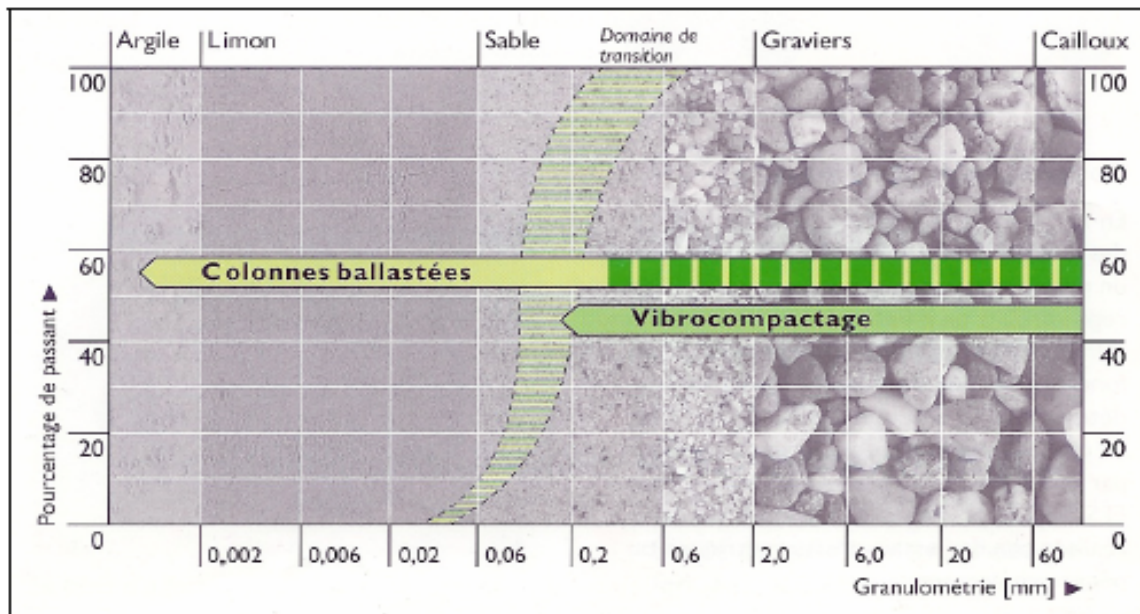


Figure I.2 : Domaines d'application des techniques d'amélioration de sol [KELLER, 2008].

I.6. Procédés d'exécution des colonnes ballastées :

On distingue plusieurs modes de réalisation des colonnes ballastées en utilisant un fluide de lançage, air ou eau en tenant compte l'alimentation du ballast, lors de la réalisation soit par le haut soit par la base du vibreur [Dhouib et Blondeau, 2005]

I.6.1. Colonne ballastée par voie sèche et alimentation du ballast par le haut :

Dans cette procédé le vibreur est enfoncé dans le sol par l'utilisation de jets d'air, l'alimentation du matériau (Ballast) s'effectuant par le haut du forage, refoulé et compacté par passes successives remontantes par le vibreur [Dhouib et Blondeau, 2005]

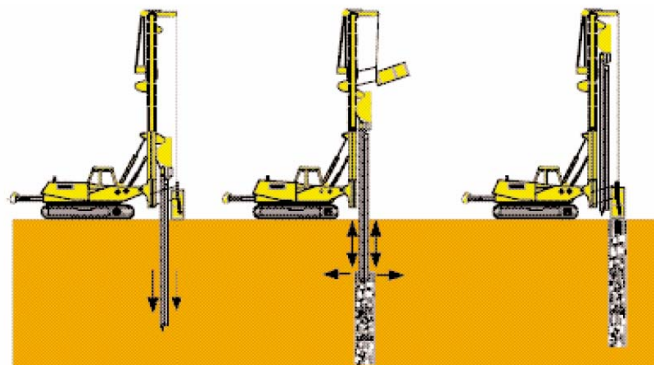


Figure I.3 : Schéma de réalisation des colonnes ballastées par voie sèche [KELLER, 2008]

Les séquences de réalisation d'une colonne ballastées par vibreur pendulaire sont représentées sur la *Figure I.4* [KELLER, 2008]

On distingue à partir de la figure (*I.4a*), le vibreur s'enfonce au préalable dans le sol par refoulement. Par l'effet conjugué du poids, de la vibration et du fluide de lancement, sa descente s'effectue progressivement.

Le vibreur est remonté après avoir été maintenu en place un court instant. Une partie du matériau de remplissage est mise par gravité dans le forage. figure (*I.4 b*)

Par la suite, la figure (*I.4 c*) la façon dont le sol ambiant est un plus refoulé en réintroduisant le vibreur et en compactant le ballast.

On est en mesure de réaliser après une colonne composée d'un matériau de remplissage très compact jusqu'au niveau du sol par introductions successives de ballast, chacune suivie d'un compactage. figure (*I.4 d*)

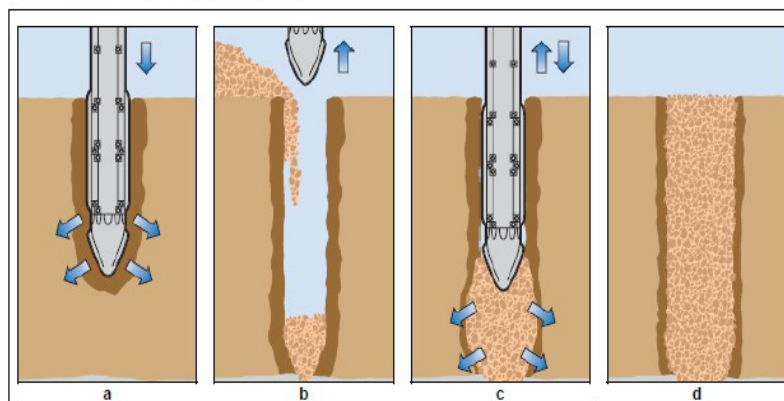


Figure I.4 : Séquences de réalisation :vibreur pendulaire (voie humide)[Vincent Six 2006]

D'après (Dhouib et Blondeau 2005) les étapes d'exécution des colonnes ballastées par voie sèche sont représentées comme suit :

1-Forage (pénétration) : Le vibreur pénètre jusqu'à la profondeur souhaitée sous l'effet des vibrations et du lancement à l'air.

2-Installation et Compactage : La colonne est construite par apport de ballast via un tube latéral longeant le vibreur.

3-Colonne terminée (Résultat) : Le diamètre des colonnes varie selon la résistance du sol. Finition par nivellement et compactage en surface.

Les étapes de réalisation d'une colonne ballastées par voie sèche (lançage à l'air) sont représentées sur la *Figure I.5* [KELLER 2008]

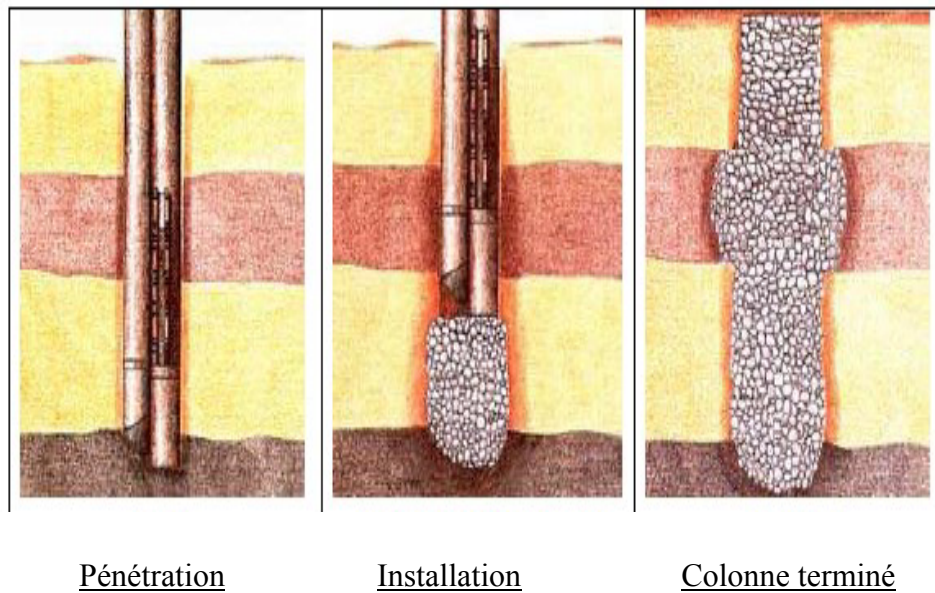


Figure I.5 : étapes de réalisation d'une colonne ballastées par voie sèche [KELLER 2008]

I.6.2. Colonne ballastée par voie humide et alimentation du ballast par le haut :

Dans cette procédé on utilise l'eau comme un fluide de lançage, le matériau et le matériel reste le même procédé par voie sèche selon les étapes d'exécution suivantes :

1-Forage (enfoncement du vibreur) : Le dispositif de forage est composé d'un tube prolongé en partie inférieure par un vibreur électrique ou hydraulique. Ce dispositif est foncé dans le sol à l'aide du vibreur et crée par lançage à l'eau un espace annulaire autour de l'aiguille vibrante.

2-Remplissage : Ce remplissage est effectué par passes successives tout en maintenant la vibration afin de compacter le ballast par refoulement du sol environnant. L'expansion latérale du ballast à la base du vibreur est réalisée par voie gravitaire (mouvements verticaux successifs).

3-Remontée du vibreur : Cette phase marque la fin de mise en place de la colonne ballastée par voie humide.

Les étapes d'exécution d'une colonne ballastées par voie humide (lançage à l'eau) sont représentées sur la *Figure I.6* [Debats, 2006]

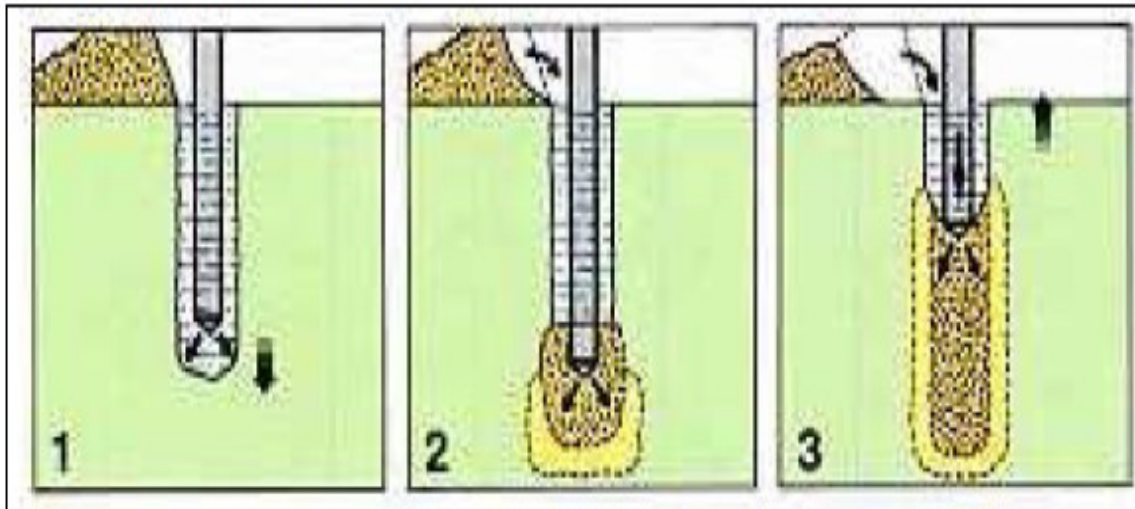


Figure I.6 : étapes d'exécution d'une colonne ballastées par voie humide [Debats, 2006]

I.6.3. Colonne ballastée par vibreur à sas ,voie sèche où humide et alimentation par la base :

Lors de la réalisation des colonnes ballastées par vibreur à sas l'enfoncement du matériau s'effectuant par la base du vibreur, ce dernier est en introduit dans le sol sous l'action des vibrations, de son poids propre et du fluide de lancement (eau ou air), le sol se déplace latéralement. Cette action produit une densification du sol selon sa nature cohérent ou pulvérulent.

Pour contrôler la verticalité de la colonne et de mobiliser des efforts de poussée sur l'outil pouvant dépasser 250kN, les vibreurs à sas de type KELLER sont guidés le long d'un mât. la continuité de la colonne est assurée par l'arrivée directe du matériau d'apport à l'orifice de sortie. On remarque qu'il n'y a pas de risque d'éboulement du forage dans les sols instables.

La figure (I.7) tirée d'un document KELLER démontre les étapes de réalisation d'une colonne ballastée par vibreur à sas.

Dès lors que la machine est stabilisée sur ses vérins, le vibreur est placé à l'endroit de la future colonne. L'approvisionnement en agrégats est effectué par un chargeur à godet. figure (I.7a)

Ensuite la benne est hissée le long du mât. Dans un sas fixé au sommet du vibreur, elle déverse automatiquement son contenu. figure (I.7b). En refermant le sas, un flux continu de matériau est maintenu par l'effet de l'air comprimé jusqu'à l'orifice de sortie.

A l'aide de la vibration, à l'insufflation d'air comprimé et à la poussée sur l'outil, on observe une descente du vibreur en reoulant latéralement au passage du sol jusqu'à la profondeur espérée. figure (I.7c).

Arrivé à la profondeur espérée, le matériau d'apport se met en place par gravité et par pression d'air, une fois le vibreur légèrement remonté. L'expansion latérale du matériau dans le sol et ensuite son compactage sont effectués par l'effet de la redescente du vibreur. figure (I.7d)

Par passes successives de l'ordre de 0,5 m, la colonne est exécutée ainsi jusqu'au niveau souhaité. figure (I.7e)

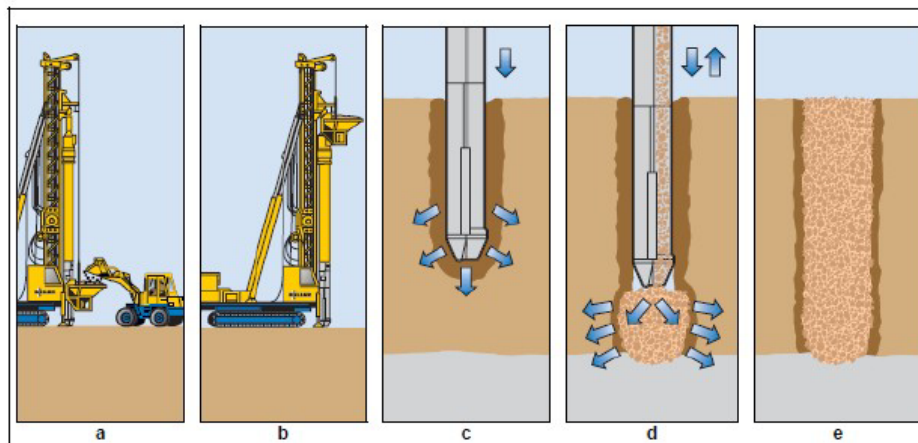


Figure I.7 : Séquence de réalisation : vibreur à sas [Vincent Six 2006]

I.6.4. Colonne ballastée pilonnée :

La technique de construction de ce type de colonne consiste à introduire le matériau (mélange sable et ballast) par petites quantités en tête de tube obturé à sa base et enfoncer jusqu'à l'atteinte de la profondeur souhaitée dans le sol par battage, ensuite à compacter en utilisant un pilon après le tube est remonté petit à petit d'une manière que le volume de matériau incorporé qui est toujours supérieur au gabarit du tube est conforme au diamètre de calcul.

Le diamètre du tube est choisi selon les caractéristiques du sol et de la colonne. Le poids du pilon est adapté à ce tube. Ce type de colonne est utilisé pour les colonnes de sable, largement employées dès leur origine au Japon. Le principe de réalisation d'une colonne ballastée pilonnée est illustré dans la figure I.8.[Corneille Sébastien, 2007] et [E. Chardigny et al, 2010]

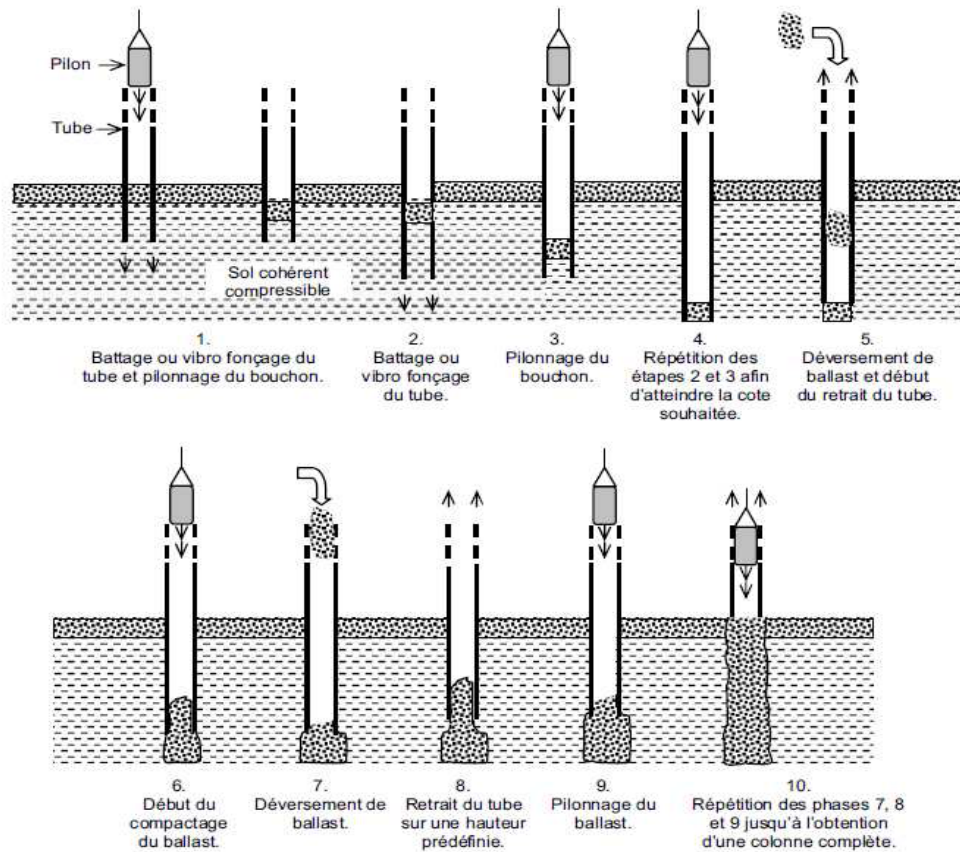


Figure I.8 : principe de réalisation d'une colonne ballastée pilonnée. [Sébastien Corneille, 2007]

I.7. Techniques d'amélioration des sols :

I.7.1. Techniques de renforcement par colonnes ballastées

Lorsque la portance d'un sol est insuffisante pour supporter les charges prévues, il existe plusieurs techniques qui permettent de réduire les tassements des sols fortement compressibles (argiles molles), d'accélérer la consolidation primaire, d'augmenter la capacité portante des sols de fondation et diminuer les risques de liquéfaction dans les zones sismiques. Parmi ces techniques: la construction d'un réseau de colonnes ballastées qui consiste à réaliser un réseau de pieux en sable ou en gravier (colonnes ballastées) au sein d'un sol mou par l'utilisation d'un vibreur, d'un tube vibrant ou d'un tube battu. Les colonnes ainsi créées à la place d'une partie du sol, sont disposées selon un réseau ou « maillage » régulier, souvent triangulaire, carré ou hexagonal (voir la *figure I.9*). Le diamètre des colonnes ballastées (environ 0,60 à 1,20m) et leurs espacements sont faibles comparativement aux

dimensions des structures qu'elles vont aider à supporter. La profondeur de la colonne est limitée à 15 m. Cette procédé est utilisée pour les structures de grandes surfaces chargées comme les remblais, les réservoirs de stockage et les fondations sur radiers. [P. Mestat et al, 1999]

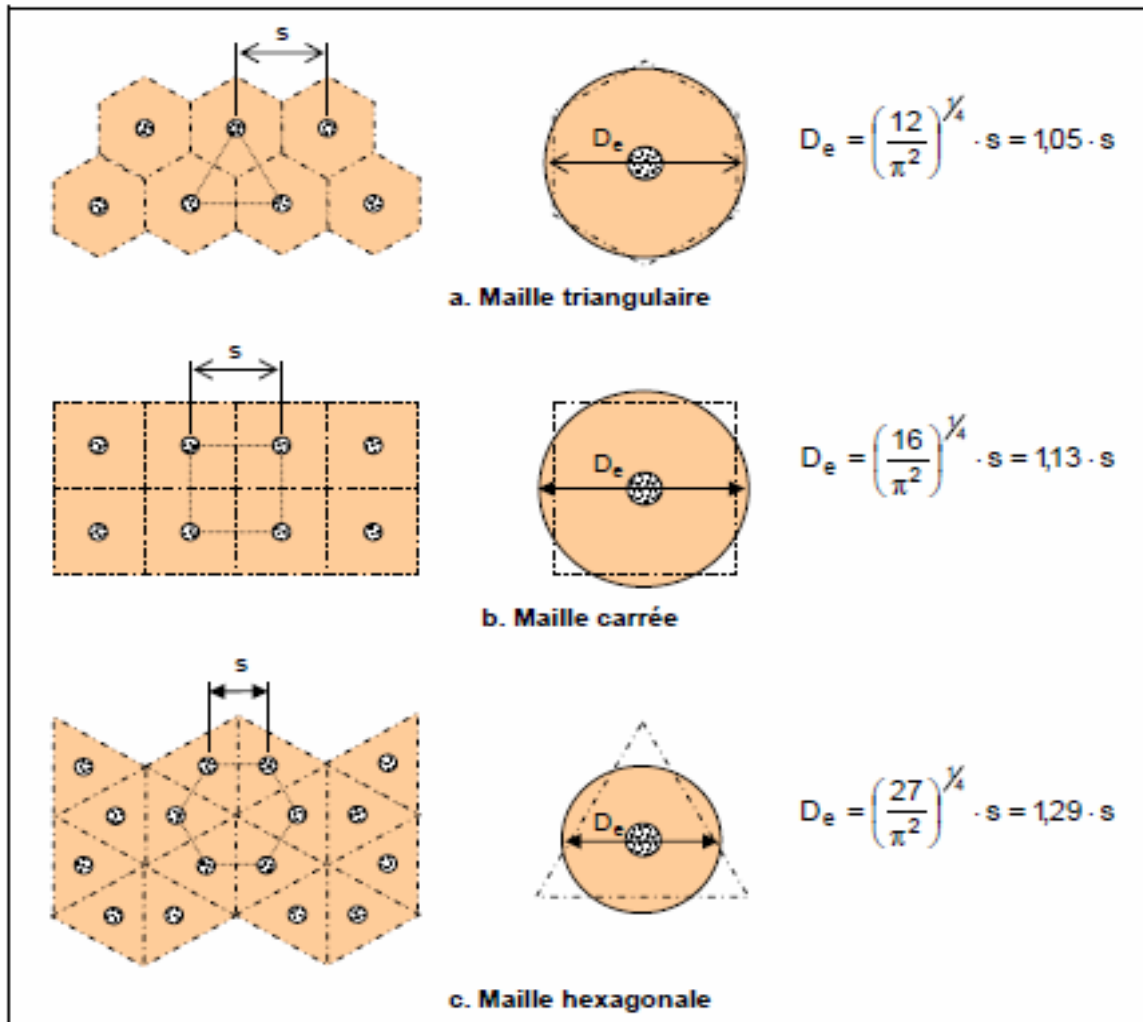


Figure 1.9 : exemples de mailles pour un réseau de colonnes ballastées [Vincent Six,2006]

I.7.2. Comportement d'une colonne isolé :

Le comportement des colonnes ballastées varie si elles sont isolées ou en groupe ainsi du sol environnant, on parle de milieu composite (sol + colonne). Quand une charge verticale est appliquée à la colonne ballastée cette dernière se tasse, transférant des contraintes verticales au sol. En outre, sous la conséquence de cette charge et se tassement verticale, une expansion latérale de colonne ballastée due au phénomène de conservation de volume. En effet, la perte de volume provoqué par le tassement vertical et compensé par une augmentation du volume

latéral. Cette expansion permet également un transfert de contrainte de la colonne au sol environnant. On a ainsi un confinement latéral de la colonne. Ce confinement est augmenté par le groupage de la colonne, car une extension latérale entraîne une amplification des contraintes horizontales du sol à son voisinage.[Barkadele et Bachu, 1983].

Due à ces interactions entre le sol et la colonne des auteurs, au moment de l'application de la charge les contraintes se répartissent de manière équivalente entre le sol et la colonne. Puis au cours des phénomènes de consolidation due à la dissipation des pressions interstitielle due à l'écoulement de l'eau vers les colonnes ballastées de perméabilité très importantes en comparaison des sols cohérents, une partie des contraintes reprise par les sols et transmise au colonne ballastées. Le rapport entre les contraintes reprise par la colonne et celle du sol peut est compris entre 3 et 6 après consolidation. Ces rapports varient selon le sol. L'argile par exemple reprendre des contraintes plus importantes que celles reprise par le sol environnent après consolidation. Ce ci est dû à la modification des propriétés importantes, notamment de la rigidité, au cours de la consolidation.[Sébastien Corneille, 2007], [Chardigny et al, 2010]

I.7.3. Mécanismes & modes des ruptures des colonnes ballastées :

Le renforcement par colonnes ballastées représente essentiellement la substitution d'une partie du sol mou par un matériau possédant de meilleures caractéristiques mécaniques. Il assure également une concentration sur les colonnes des chargements transmis par l'ouvrage.

Les types de mécanismes de fonctionnement des colonnes ballastées dépendent de la disposition des colonnes (colonne isolée ou en groupe), le mode de chargement (fondation rigide ou souple) et le type de colonne (ancrée ou flottante).

D'après [Dayte, 1982], [Soyez, 1985] les mécanismes de rupture d'une colonne ballastée, isolée et chargée en tête par une sollicitation verticale et exécutée dans une couche homogène de sol compressible sont de trois types :

1. Rupture par expansion latérale de la colonne;
2. Rupture par cisaillement généralisé du sol traité ;
3. Rupture par poinçonnement.

I.7.3.1. Rupture par expansion latérale de la colonne :

Ce mode de rupture concerne les colonnes dont la base se repose sur un substratum rigide et la longueur est de l'ordre de trois (03) à quatre (04) fois leur diamètre ($>4 D$) (voir la figure I.10.a). Ces observations ont été enregistrées sur des colonnes réelles ainsi que sur des modèles physiques réduits.

I.7.3.2. Rupture par cisaillement généralisé du sol traité :

Ce second mode de rupture est relatif aux colonnes munies d'une base qui se repose sur un substratum rigide et la longueur est inférieure à quatre (04) fois leur diamètre (voir la figure I.10.b).

I.7.3.3. Rupture par poinçonnement :

A l'instar du cas des pieux, ce troisième mode de rupture correspond aux colonnes flottantes (voir la figure I.10.c).

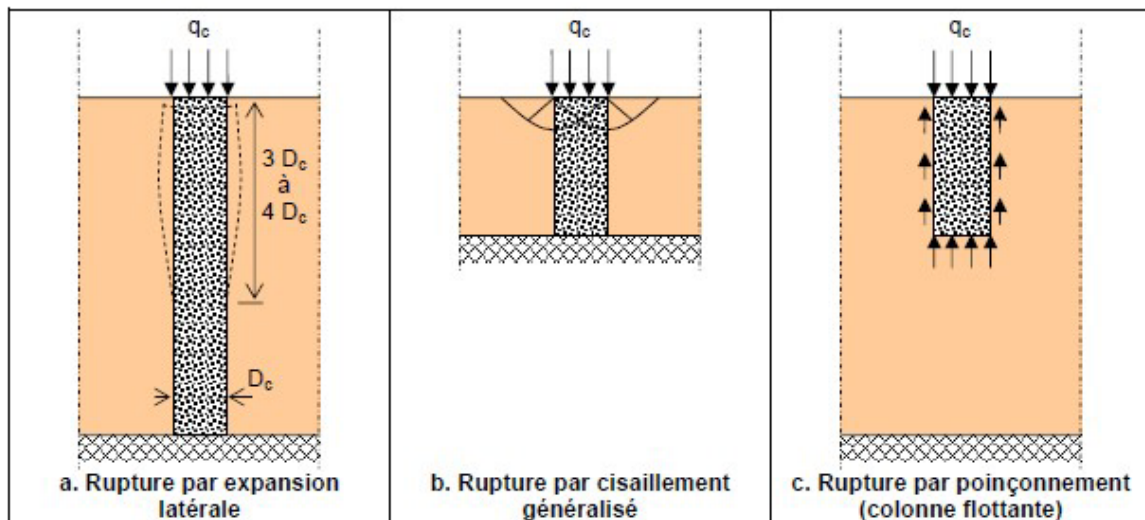


Figure I.10 : Types de rupture d'une colonne isolée chargée en tête exécutée dans une couche compressible homogène (d'après Dayte, 1982) [Vincent six, 2006]

I.7.4. Contraintes maximales admissibles dans les colonnes :

Le calcul de la contrainte maximale admissible consiste d'abord à déterminer la contrainte verticale de rupture d'une colonne isolée à partir des caractéristiques des colonnes et du sol après traitement. Et ce, selon les schémas de rupture possibles ci-dessus (voir la figure I.10).

I.7.4.1. Mise en équation de la rupture par expansion latérale :

La mise en équation de la rupture par expansion latérale est basée sur la théorie de Greenwood (1970), cette dernière repose sur une analogie entre la colonne et une éprouvette de matériau pulvérulent (de même angle de frottement φ_{col} que le ballast) subissant une compression triaxiale sous une contrainte de confinement égale à la résistance latérale maximale offerte par le sol entourant la colonne, à la profondeur où ses caractéristiques mécaniques sont minimales. La colonne ballastée est un élément drainant car le matériau constituant la colonne a une propriété de drainage. Pour cela, on raisonne en contraintes effectives à l'intérieur de la colonne, ce qui permet d'écrire l'équation suivante :

$$\sigma'_{v,lim} = \operatorname{tg}^2 \left[\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_{col}}{2} \right] \sigma'_{hmax} = K_{pcol} \sigma'_{hmax} \quad \text{I.1 Greenwood (1970)}$$

Où

$\sigma'_{v,lim}$, K_{pcol} et σ'_{hmax} sont respectivement la contrainte verticale agissant sur la colonne à l'instant de la rupture, le coefficient de butée du ballast et la contrainte effective maximale que le sol peut supporter autour de la colonne.

Donc :

on peut dire une analogie aux conditions triaxiales, la contrainte de rupture effective $\sigma'_{v,lim}$ par expansion latérale est donnée en fonction de l'étreinte maximale latérale σ'_{hmax} .

La valeur de l'étreinte latérale σ'_{hmax} résulte du rapport géotechnique, elle est déterminée à partir d'essais de laboratoire (essais triaxiaux) ou d'essais in situ (préssiomètre, pénétromètre statique, scissomètre, etc.). Dans le cas du préssiomètre, on retient :

$$\sigma'_{hmax} = P_{lim} - u$$

Si on a en outre φ_c de l'ordre de 38 degrés, il vient alors : $\sigma'_{v,lim} = 4P_{lim}$

p_{lim} : la pression limite du sol ambiant (environnant) ;

u : Pression interstitielle à la périphérie de la colonne.

I.7.4.2. Mise en équation de la rupture par cisaillement généralisé:

Brauns (1978 a, 1978 b et 1980) a envisagé le cas de la rupture axisymétrique d'un volume de matériau composite (sol-ballast) limité par une surface tronconique centrée sur l'axe de la colonne et développée sur une profondeur h en référence à la figure I.11.

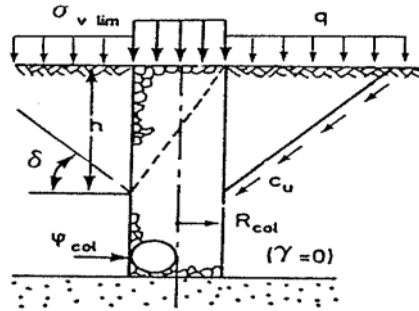


Figure I.11: caractérisation de la surface de rupture [Brauns, 1978]

La contrainte $\sigma'_{v,lim}$ appliquée à la surface du sol, autour de la fondation placée en tête de la colonne vérifie l'équation I.2.

$$h = 2R_{col} \operatorname{tg} \left[\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_{col}}{2} \right] \quad \text{I.2}$$

On prend en compte quelques hypothèses simplificatrices en particulier l'absence de cisaillement à l'intérieur de la surface de rupture et la conservation de volume. La cohésion non drainée du sol C_u est supposée constante sur toute la profondeur, la contrainte verticale limite $\sigma_{v,lim}$ en tête de la colonne vérifie l'équation :

$$\frac{\sigma_{v,lim}}{C_u} = \left[\frac{q}{C_u} + \frac{2}{\sin(2\delta)} \right] \left[1 + \frac{\operatorname{tg} \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_{col}}{2}}{\operatorname{tg} \delta} \right] \left[\operatorname{tg}^2 \left[\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_{col}}{2} \right] \right] \quad \text{I.3}$$

Avec :

C_u : la cohésion non drainée du sol, supposée constante sur toute la profondeur du traitement;

q : étant la surcharge appliquée à la surface du sol;

δ : l'angle que fait la génératrice de cône avec l'horizontale, déterminée à partir de l'abaque de la figure (I.12-a), si q est égale à zéro la courbe de la figure (I.12-b) donne l'angle δ en fonction de l'angle de frottement de la colonne φ_{col} .

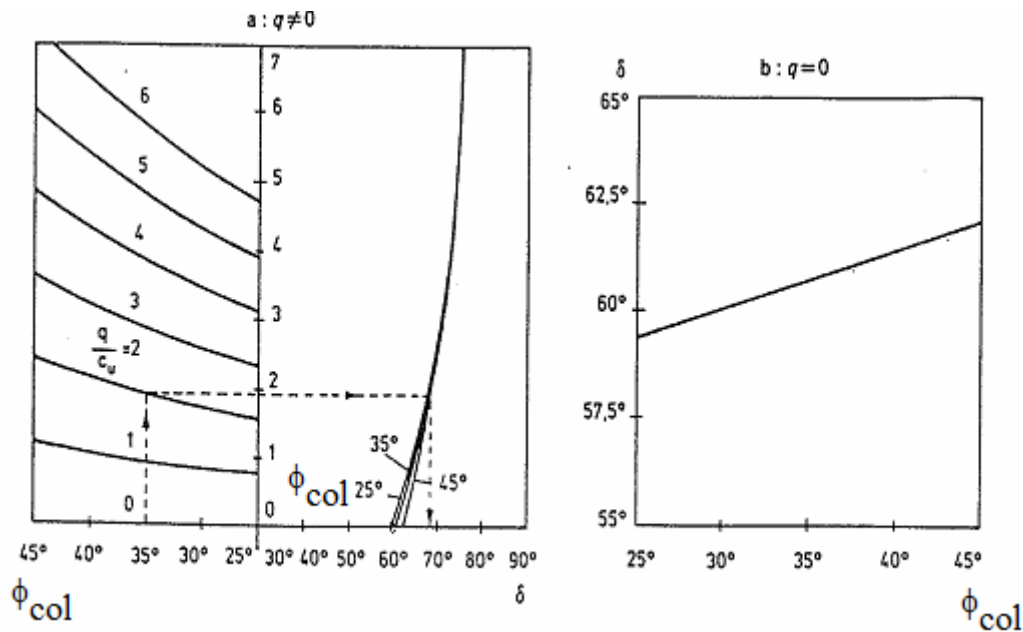


Figure I.12 : Détermination pratique de δ [d'après Brauns,1978]

I.7.4.3. Mise en équation de la rupture par poinçonnement d'une colonne flottante :

Pour éviter la rupture par poinçonnement d'une colonne flottante sous une charge donnée, Hughes et al (1975) et Brauns (1980) ont supposée que la colonne travaillait comme un pieux rigide avec un développement d'un effort de pointe, un frottement latéral positif et la résistance au cisaillement mobilisée sur la périphérie de la colonne est égale à la résistance au cisaillement non drainée C_u du sol. Considérons que la colonne est caractérisée par un poids volumique γ et un rayon initial R_{col} , la contrainte verticale régnant à la profondeur z à l'intérieur de la colonne est :

$$\sigma_{v,z} = \sigma_{v,0} + z \left[\gamma - 2 \frac{C_u}{R_{col}} \right] \tag{I.4}$$

$\sigma_{v,0}$: La contrainte verticale appliquée.

Pour que tout poinçonnement soit évité la longueur minimale L_{min} est déterminée en considérant que la contrainte correspondante $\sigma_{v,lim}$ est égale à l'effort limite σ^* en pointe mobilisable par la couche d'argile, donc la valeur de $9 C_u$ admise dans les dimensionnements des pieux traditionnels.

Le poids propre est négligé, la valeur L_{min} est donné par la formule :

$$L_{\min} = \frac{R_{\text{col}}}{2} \left[\frac{\sigma_{v,0}}{C_u} - 9 \right] \quad \text{I.5}$$

Le traitement est inutile dans le cas la longueur L_{\max} est caractérisée par $\sigma_{v,L_{\max}} = 0$, le poids propre du ballast est négligé, la longueur L_{\max} est donnée par la relation :

$$L_{\max} = \frac{R_{\text{col}}}{2} \left[\frac{\sigma_{v,0}}{C_u} \right] \quad \text{I.6}$$

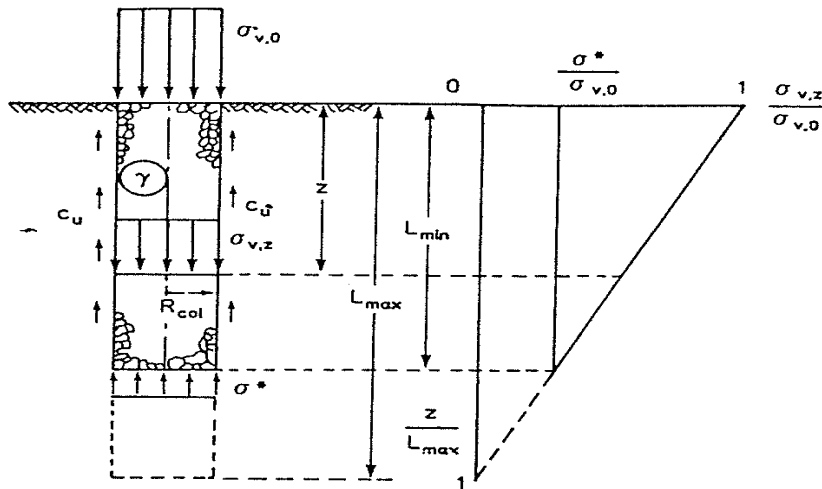


Figure I.13 : Définition des longueurs L_{\min} et L_{\max} d'une colonne ballastée vis-à-vis de la rupture par poinçonnement [d'après Brauns,1980]

I.7.5. Contraintes admissibles dans les colonnes à l'état limite de service L'ELS :

La contrainte verticale admissible σ_a dans la colonne est obtenue par application d'un coefficient de sécurité de 2 sur la contrainte verticale de rupture $\sigma_{v,\text{lim}}$.

La contrainte admissible retenue est la plus petite des valeurs : 0,8 MPa (valeur plafonnée par la norme NF P 11 212, DTU 13.2) et la contrainte admissible calculée σ_a , soit :

$$\sigma_a = \left(0.8 \text{ MPa}; \frac{\sigma_{v,\text{lim}}}{2} \right) \quad \text{I.7}$$

I.7.6. Contraintes admissibles dans les colonnes à l'état limite ultime

L'ELU :

La contrainte maximale de calcul $\sigma_{a,ELU}$ dans la colonne est obtenue par application d'un coefficient de sécurité de 1,5 sur la contrainte verticale de rupture $\sigma_{v,lim}$.

$$\frac{\sigma_{v,lim}}{1,5} \quad \sigma_{a,ELU} = \frac{\sigma_{v,lim}}{1,5} \quad \text{I.8}$$

I.8. Conclusion:

Ce chapitre présente un état de l'art sur le renforcement de sol par colonnes ballastées. Après la définition d'une colonne ballastée, nous avons étudié le choix de la méthode d'amélioration des sols, l'intérêt et l'objectif de cette technique de renforcement, son champ d'application et quelques procédés d'exécutions sur le terrain. On a traité également le comportement d'une colonne isolé, les différents modes de rupture (rupture par expansion latéral, cisaillement généralisé et rupture par poinçonnement) des colonnes isolées chargées verticalement au sommet. Et enfin, on a présenté les contraintes maximales admissibles dans les colonnes avec la mise en équation des différents modes de ruptures (mise en équation de la rupture par expansion latéral, mise en équation de la rupture par cisaillement généralisé et mise en équation de la rupture par poinçonnement), ensuite les contraintes admissibles à l'état limite ultime ELU et à l'état limite de service ELS.

CHAPITRE II:

Lois de comportement des sols

II.1. Les modèles de comportements :

Les modèles de comportement de sols sont très nombreux depuis le modèle élastique-plastique de Mohr- Colomb jusqu'aux lois de comportement les plus améliorées permettant de décrire presque tous les aspects du comportement élasto-viscoplastique des sols, aussi bien sous sollicitation monotone que cyclique. Ces modèles ont été développés dans le but d'être intégrés dans des calculs par éléments finis afin de résoudre le problème aux limites en tenant compte, par une loi de comportement réaliste et du comportement réel du sol.

Pour traiter un problème de soutènement il est tout à fait adapté de considérer le sol comme élasto plastique et le modèle de Mohr-Coulomb sera bien adapté dans ce cas, on rejoint ici le calcul des soutènements par les méthodes élastoplastique de coefficient de raideur. Mais pour traiter d'une construction de remblais sur sol mous, avec chargement par étapes et consolidation, il faut tenir compte de l'écrouissage.

Le matériau se consolide et il est plus adapté d'utiliser le *Soft Soil Model* qui prend en compte cette évolution du matériau. Pour un calcul d'écoulement, il suffit de prendre un matériau élastique, mais on peut avoir à coupler écoulement et déformation dans ce cas un modèle élastoplastique peut être justifié.

Les règles d'or dans le domaine de la simulation du comportement d'un ouvrage sont :

1. Quel est le comportement principal à modéliser ?
2. Utiliser un modèle qui décrit ce comportement ?
3. Interpréter les résultats, notamment en fonction des paramètres de la modélisation.

En ce sens, la modélisation numérique ne fournit sous une autre forme que les données du problème posé.[M. Boulon et al, 2004]

II.2. Comportement des sols saturés.

Le comportement des sols en régit par les propriétés du squelette il est donc nécessaire d'utiliser des contraintes effectives et d'écrire les lois de comportement en contraintes effectives. La pression interstitielle générée dans les ouvrages est une conséquence de la non -variation de volume, celle-ci est elle-même dépendante de la perméabilité du sol. Un sable peut être non drainé in situ sous des sollicitations sismiques (rapides) de même qu'une argile est toujours non drainée à court terme, les variations de volume empêchés par les perméabilités créent des pressions interstitielles, en fait celle-ci dépendent des variations de volume, en élasticité si les grains de sols sont incompressible, on démontre que :

$$\sigma'_w = \frac{K_w}{n} \varepsilon_v \quad \text{II.1}$$

Où σ'_w est la surpression interstitielle, n la porosité, K_w le module volumique, ε_v la déformation volumique.

Des calculs en contraintes totales sont possibles. Ils permettent des calculs de tassements de stabilité de remblai après construction. Ces calculs ignorent la génération de pressions interstitielles. Ils présentent l'avantage d'être simple et de se recaler par rapport à des calculs plus classiques de stabilité à court terme.

Leur inconvénient majeur est d'ignorer les pressions interstitielles, quand on connaît leur rôle majeur sur la stabilité de remblai. [M. Boulon et al, 2004]

II.2.1. Comportement élastoplastique :

Le comportement élastoplastique peut être représenté par un modèle monodimensionnel, associant en série un ressort de raideur K , pour symboliser l'élasticité du matériau à un patin S_0 (voir figure1)

La courbe effort-déplacement ou contrainte-déformation que l'on trouve est présentée (figure II.2)

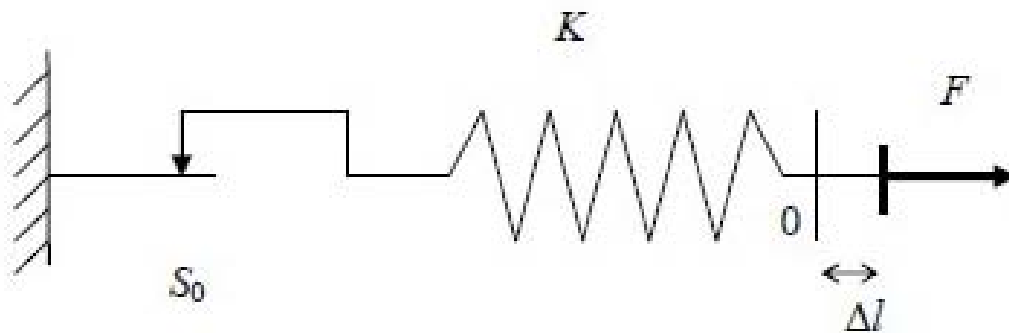


Figure II. 1 : Modèle monodimensionnel du comportement élastoplastique. [M. Boulon et al, 2004]

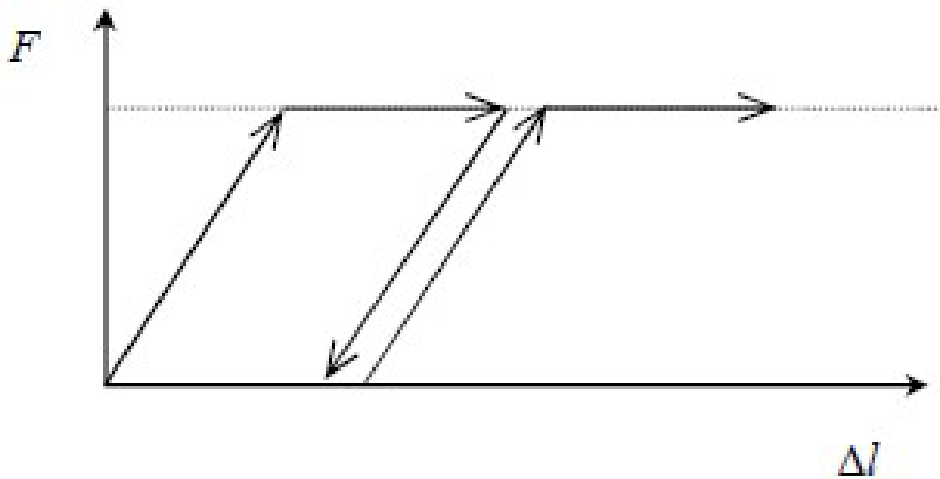


Figure II. 2 : Représentation du comportement élastique-parfaitement plastique.[M. Boulon et al, 2004]

Lors d'une décharge, le comportement est élastique et réversible, la longueur de la déformation plastique est a priori indéterminée.

Le type de comportement représentée par les figures II.1 et II. 2 est un comportement élastique-plastique sans écrouissage. La figure II.3 représente un comportement élastique-plastique avec écrouissage.[M. Boulon et al, 2004]

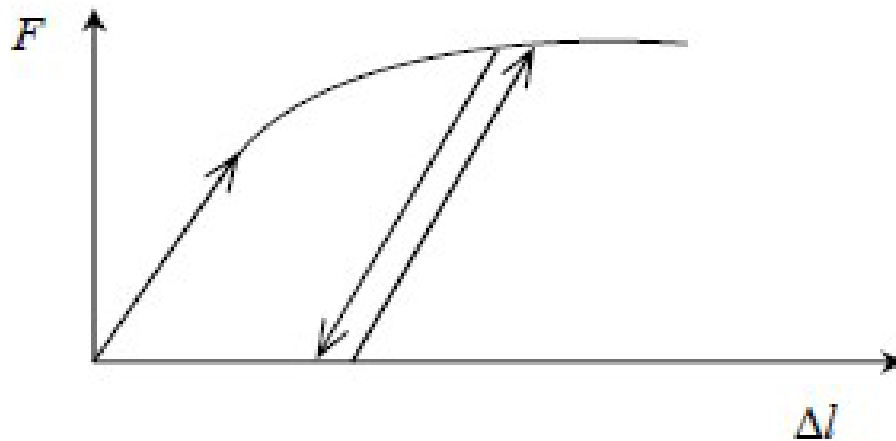


Figure II.3 : Représentation du comportement élastoplastique avec écrouissage.[M. Boulon et al, 2004]

II.2.2. Modèle élastique linéaire :

Le modèle élastique utilisé dans Plaxis est classique. Les tableaux de rentrée des données demandent le module de cisaillement G et le coefficient de poisson ν . L'avantage de G est d'être indépendant des conditions de drainage du matériau ($G_u = G$), ce qui ne pas le cas des modules d'Young, le module d'Young non drainé est supérieur au module d'Young drainé. Il aurait pu sembler logique, si G est utilisé comme paramètre élastique, d'utiliser K comme second paramètre. D'une part K_u est infini (correspondant à $\nu = 0,5$) et il est moins courant d'emploi.

G est en fait le module mesuré dans les essais préssiométriques. La relation entre le module d'Young E et le module de cisaillement est donnée par l'équation:

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

Le modèle élastique de Plaxis peut être employé surtout pour modéliser les éléments des structures en béton ou métal en interaction avec le sol. Il peut aussi être intéressant pour certains problèmes de mécanique des roches.

II.2.3. Modèle de Mohr-Coulomb :

Le modèle de Mohr-Coulomb est un modèle élastique parfaitement plastique (sans écrouissage).

Dans le plan de Mohr, la droite intrinsèque est représenté par :

$$\tau = \sigma_n \operatorname{tg} \varphi + c \quad \text{II.3}$$

où σ_n et τ sont respectivement les contraintes normales et de cisaillement, et c et φ respectivement la cohésion et l'angle de frottement du matériau (voir figure II.4)

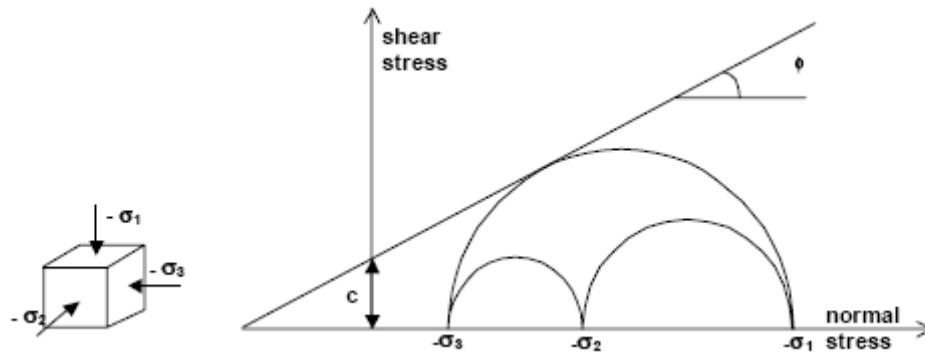


Figure II.4 : Courbe intrinsèque du modèle Mohr-Coulomb.[R.B.J. Brinkgreve, 2003]

Le critère de Coulomb à trois dimensions suppose que la contrainte intermédiaire n'intervient pas, la forme de critère est celle d'une pyramide irrégulière construite autour de la trisectrice (voir figure II.5) sur l'hexagone irrégulier de Mohr-Coulomb.

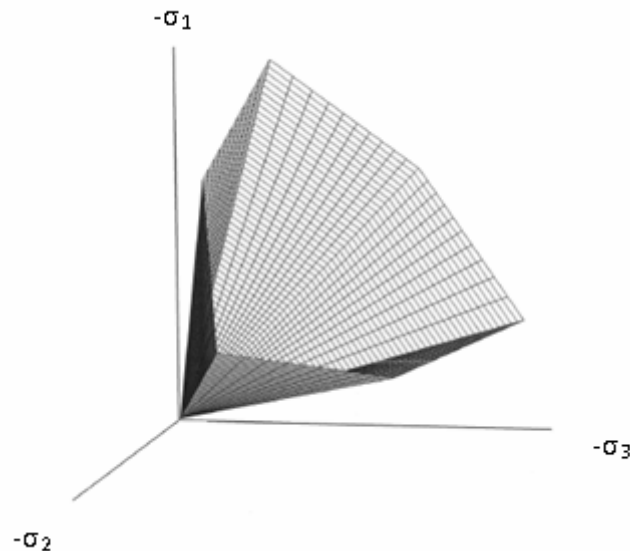


Figure II.5 - Pyramide de Mohr-Coulomb tracée pour $C=0$. [R.B.J. Brinkgreve, 2003]

Le modèle demande la détermination de cinq paramètres, les deux premiers sont E et ν (paramètres d'élasticité). Les deux autres sont c et ϕ , respectivement la cohésion et l'angle de frottement. Ce sont des paramètres classiques de la géotechnique, certes souvent fournis par des essais de laboratoire, mais nécessaires à des calculs de déformations ou stabilité.

II.2.3.1. Module d'Young :

Le choix d'un module de déformation est un des problèmes les plus difficiles en géotechnique. Le module de déformation varie en fonction de la déformation et en fonction de la contrainte moyenne. Dans le modèle Mohr-Coulomb, le module est constant. Il apparaît peu réaliste de

considérer un module tangent à l'origine ce qui correspondrait au G_{\max} mesuré dans des essais dynamiques ou en très faibles déformations. Il est conseillé de prendre un module moyen, celui correspondant à un niveau de 50% du déviateur de rupture (Figure II.6). L'utilisateur doit rester conscient de l'importance de choix du module qu'il prendra en compte. Il n'y a rien d'étonnant et la même question se trouve par exemple dans tout calcul classique de fondation, par exemple.

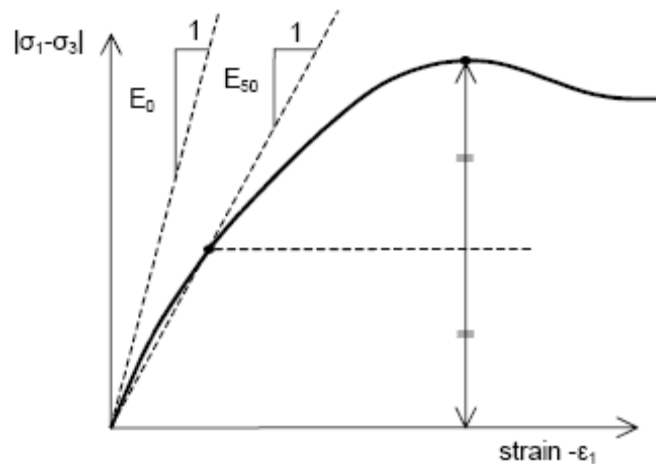


Figure II.6 : Définition du module à 50 % de rupture.[R.B.J. Brinkgreve, 2003]

II.2.3.2. Coefficient de poisson :

On conseille une valeur de 0,2 à 0,4 pour le coefficient de poisson. Celles-ci sont réalistes pour l'application du poids propre (procédure K_0 ou chargement gravitaire). Pour certains problèmes, notamment en décharge, on peut utiliser des valeurs plus faibles, pour des sols incompressibles, le coefficient de poisson s'approche de 0,5 sans que cette valeur soit utilisable.[M. Boulon et al, 2004]

II.2.3.3. Angle de frottement :

Le logiciel de calcul (Plaxis) ne prend en compte pas une variation d'angle de frottement avec la contrainte moyenne. L'angle de frottement à introduire est soit l'angle de frottement de pic soit l'angle de frottement de palier. On attire l'attention sur le fait que des angles de frottement supérieurs à 35° peuvent considérablement allonger les temps de calcul. Il peut être avisé de commencer des calculs avec des valeurs raisonnables d'angles de frottement, quitte à les augmenter dans la suite. Cette valeur de 35° est compatible avec les angles de frottement φ_{cv} (à volume constant au palier)

L'angle de frottement φ est déterminée à partir de la courbe intrinsèque de modèle Mohr-Coulomb (Figure II.4) [M. Boulon et al, 2004]

II.2.3.4. Cohésion :

Il peut être utile d'attribuer, même à des matériaux purement frottant, une très faible cohésion (0,2 à 1 kpa) pour des questions numériques.

Pour les analyses en non drainé avec $\varphi_u = 0$, le logiciel de calcul (Plaxis) offre l'option de faire varier la cohésion non drainé avec la profondeur, ceci correspond à la croissance linéaire de la cohésion en fonction de la profondeur observée dans des profils au scissomètre ou en résistance de pointe de pénétromètre. Une valeur nulle donne une cohésion constante.[M. Boulon et al, 2004]

II.2.3.5. L'angle de dilatance :

Le dernier paramètre est l'angle de dilatance noté Ψ , c'est le paramètre le moins courant il peut cependant être évalué par la règle suivante :

$$\Psi = \varphi - 30^\circ \text{ pour } \varphi > 30^\circ$$

$$\Psi = 0 \quad \text{pour } \varphi < 30^\circ$$

Le cas $\Psi < 0$ correspond à des sables très lâches (états souvent dit métastable, ou liquéfaction statique). La valeur $\Psi = 0$ correspond à un matériau élastique parfaitement plastique, ou il n'y a donc pas de dilatance lorsque le matériau atteint la plasticité. C'est souvent le cas pour les argiles ou pour les sables de densité faibles ou moyenne sous contraintes assez fortes.

II.2.4. Modèle de sol avec écouissage (Hardening Soil Model) :

C'est un modèle hyperbolique de type élastoplastique formulé dans le cadre de la plasticité avec écouissage en cisaillement. De plus, ce modèle prend en compte l'écouissage en compression pour simuler le compactage irréversible d'un sol sous son premier chargement en compression. Ce modèle permet de simuler le comportement des sables, des graves, mais aussi de sols plus mous comme les argiles et les limons.[R.B.J. Brinkgreve,2003]

L'objet de ce modèle d'améliorer le modèle de Mohr-Coulomb sur différents points, il s'agit particulièrement de:

1- Prendre en compte l'évolution du module de déformation lorsque la contrainte augmente les courbes oedométriques en contrainte-déformation ne sont pas des droites;

2-Prendre en compte l'évolution non linéaire du module lorsque le module de cisaillement augmente le module E_{50} n'est pas réaliste il y a une courbure des courbes effort-déformation avant d'atteindre la plasticité;

3- Distinguer entre une charge et décharge ;

4-Tenir en compte la dilatance qui non pas définie. [M. Boulon et al, 2004]

II.2.4.1. Les paramètres du HSM :

Les paramètres du *HSM* sont représentés ci-dessous :

Paramètres de Mohr-Coulomb :

C : cohésion (effective) ; [kN/m²]

φ : angle de frottement effectif ; [°]

Ψ : angle de dilatance ; [°]

Paramètres de rigidité:

E_{50}^{ref} : module sécant dans un essai triaxial ; [kN/m²]

E_{oed}^{ref} : module tangent dans un essai oedométriques ; [kN/m²]

m : Puissance (environ 0,58 pour les sables) [-]

Paramètres avancés:

E_{ur}^{ref} : module en décharge (par défaut $E_{ur}^{ref} = 3 \text{ à } 4 E_{50}^{ref}$) [kN/m²]

ν_{ur} : Coefficient de Poisson en charge décharge (par défaut $\nu_{ur} = 0,2$) [-]

p^{ref} : Contraintes de référence (par défaut $p^{ref} = 100s$) [kN/m²]

K_0^{NC} : K_0 -consolidation (par défaut $K_0^{NC} = 1 - \sin\Psi$) [-]

R_f : Coefficient à la rupture q_f/q_a (par défaut $R_f = 0,9$) [-]

$\sigma_{tension}$: Résistance à la traction (par défaut $\sigma_{tension} = 0$) [kN/m²]

$C_{increment}$: Coefficient modèle de Mohr-Coulomb (par défaut $C_{increment} = 0$) [kN/m³]

II.2.4.2. Les modules :

Le module sécant dans un essai triaxial est déterminé par la formule :

$$E_{50} = E_{50}^{ref} \left(\frac{c \cot \varphi - \sigma'_3}{c \cot \varphi + p^{ref}} \right)^m \quad \text{avec} \quad p^{ref} = 100 \text{ Kpa} \quad \text{II.4}$$

Pour la décharge on prend :

$$E_{ur} = E_{ur}^{ref} \left(\frac{c \cot \varphi - \sigma'_3}{c \cot \varphi + p^{ref}} \right)^m \quad \text{II.5}$$

La figure ci dessous redonne ces définitions :

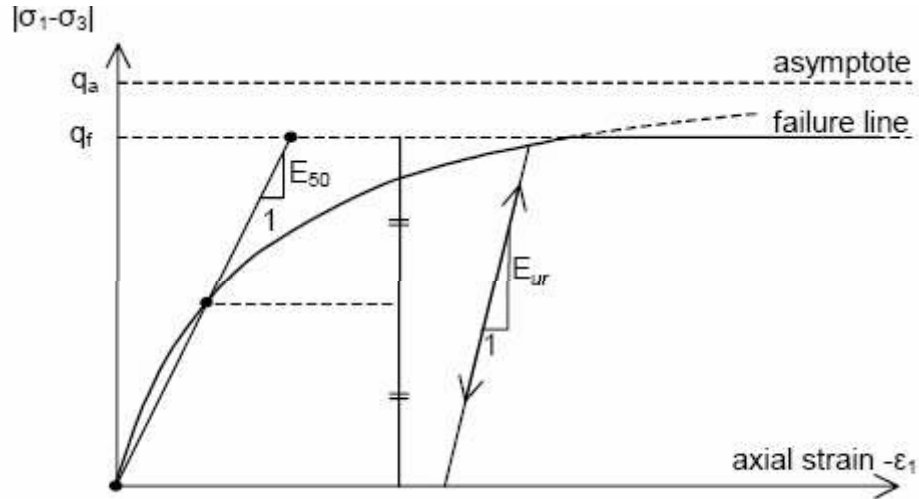


Figure II.7 : Représentation du HSM dans le repère contrainte-déformation

Le module oedométrique tangent est donné par :

$$E_{oed} = E_{oed}^{ref} \left(\frac{\sigma'_1}{p^{ref}} \right)^m \quad \text{II.6}$$

La définition du module oedométrique tangent est donnée sur la figure II.8 et celle de la dilataance (éventuellement) sur la figure II.9.

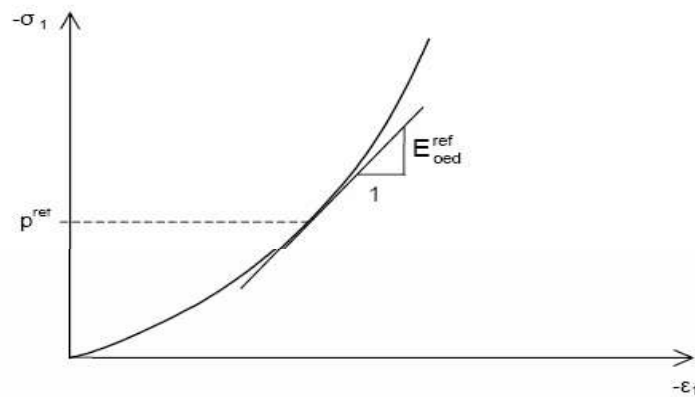


Figure II.8: Définition du module oedométrique tangent.

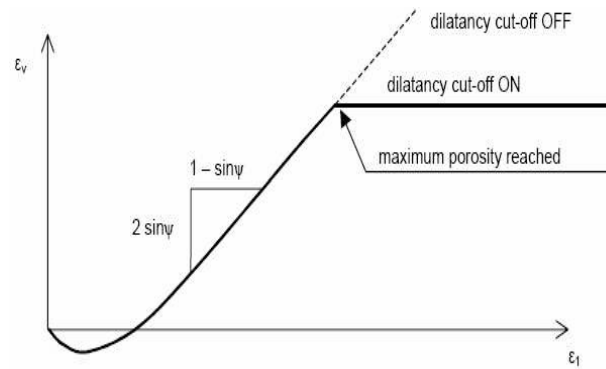


Figure II.9 : Définition de l'angle de dilatance.

II.2.4.3. Surface de charge :

En fonction du paramètre d'écroutissage, on obtient alors dans le plan $q-p$ la forme des surfaces de charge (figure ci-dessous).

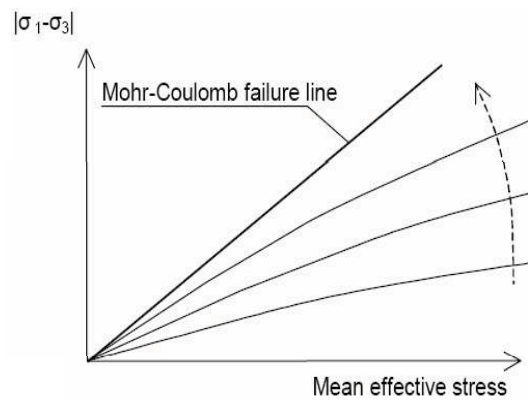


Figure II.10 : Forme des surfaces de charge du HSM.

II.2.4.4. Surface de rupture :

La surface de rupture est présentée sur la figure ci-dessous pour un sol non cohérent.

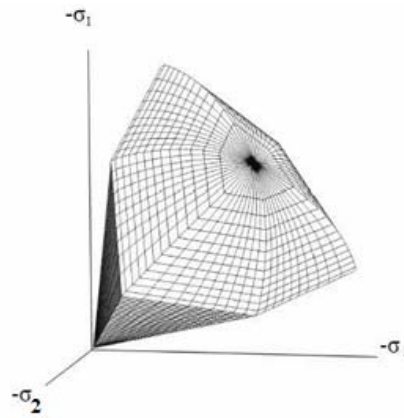


Figure II.11 :Surface de rupture pour le HSM cas d'un sol non cohérent.

II.2.5.Modèle pour les sols mous (Soft Soil model):

C'est un modèle qui permet de simuler le comportement de sols mous comme des argiles normalement consolidées ou de la tourbe. Ce modèle s'applique très bien aux situations où la consolidation primaire est prépondérante.[R.B.J. Brinkgreve,2003]

L'idée de base de ce modèle est de prendre en compte l'effet d'érouissage que provoque sur les argiles la pression moyenne. Sous l'effet d'une pression moyenne, la teneur en eau diminue et l'argile devient plus résistante. Il s'agit d'un modèle élastoplastique avec une surface de charge. Sous la surface de charge, le matériau reste élastique, tandis que si le point représentatif de l'état de contrainte effectif atteint non réversible. Une surface de plasticité, associée, limite l'espace entre les états admissibles et non admissibles.[M. Boulon et al, 2004]

II.2.5.1. Les paramètres de compressibilité :

Les deux paramètres C_c et C_s décrivent le comportement oedométrique ou isotrope observé dans des essais de laboratoires, ce seront les deux paramètres de base réglant la position des lignes de consolidation vierge ou des lignes de gonflement. L'axe des contraintes est tracé en logarithme naturel, ce qui conduit à modifier la définition de C_c et C_s en et dans ce cas l'axe des ordonnées est l'indice des vides. Il peut être judicieux de remplacer l'indice des vides par la déformation volumique (identique à la déformation axiale dans l'essai oedométrique).

On utilise alors λ^* et κ^* . Dans ce cas, l'indice des vides, variable, apparaît dans les expressions du tableau II.1. Il peut dans la majorité des cas être pris constant, et égal à la valeur initiale.[M. Boulon et al, 2004]

Les relations sont indiquées sur le tableau ci-dessous :

Tableau :II.1. SSM : Valeur des paramètres de compressibilité et de gonflement λ et κ

Relation avec l'indice des vides :	(1) $\lambda^* = \frac{\lambda}{1+e}$	(2) $\kappa^* = \frac{k}{1+e}$
Relation avec les paramètres Hollandsais	(3) $\lambda^* = \frac{1}{C_p}$	(4) $\kappa^* \approx \frac{1-v_{ur}}{1-v_{ur}} \frac{3}{C_p}$
Relation avec les indices de compressibilité et de gonflement	(5) $\lambda^* = \frac{C_c}{2,3(1+e)}$	(6) $\kappa^* \approx 1,3 \frac{1-v_{ur}}{1-v_{ur}} \frac{C_s}{1+e}$

La figure ci-dessous résume les différentes définitions des paramètres :

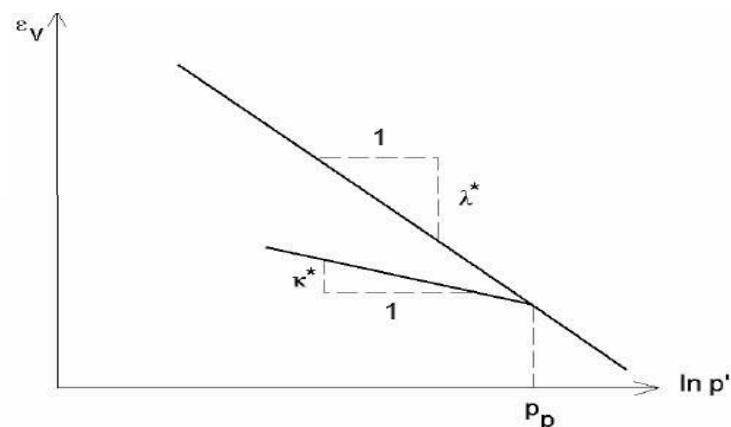


Figure II.12 : Différentes représentations lors d'un essai oedométrique.

En pratique, il suffit de tracer la déformation axiale en fonction du logarithme naturel de la contrainte axiale.

- Cohésion :

Une cohésion effective peut être introduite dans le SSM. Elle peut être nulle.

- Paramètre de frottement :

On rentre directement les valeurs de cohésion et d'angle de frottement.

II.2.5.2. Paramètre de contrainte K_0 :

Le paramètre M est calculé à partir de K_0 par la formule ci-dessous :

$$M = 3 \sqrt{\frac{(1 - K_0^{NC})^2}{(1 + 2K_0^{NC})^2} + \frac{(1 - K_0^{NC})(1 - 2\nu_{ur})(\lambda^* / K^* - 1)}{(1 + 2K_0^{NC})(1 - 2\nu_{ur})(\lambda^* / K^* - (1 - K_0^{NC})(1 + \nu_{ur}))}} \quad \text{II.7}$$

$$M \approx 3,0 - 2,8K_0^{NC}$$

Ceci permet de définir la forme de la surface d'érouissage dans le plan p - q .

II.2.5.3. Coefficient de Poisson :

Dans le modèle *SSM* le coefficient de Poisson est un paramètre élastique important. Dans une charge-décharge oedométrique, c'est ce paramètre qui fait que les contraintes horizontales diminuent moins vite que les contraintes verticales. Ce n'est donc pas le coefficient de Poisson qui pourrait être relié à une valeur de K_0 mais une valeur plus faible, typiquement 0,1 ou 0,2.

$$\frac{\nu_{ur}}{1 - \nu_{ur}} = \frac{\Delta\sigma_{xx}}{\Delta\sigma_{yy}} \quad \text{II.8}$$

« Le logiciel de calcul (Plaxis) prend par défaut la valeur de ν_{ur} est de 0,15. »

Remarques

-Le *SSM* n'est pas valable pour des interfaces : il est nécessaire d'utiliser un modèle de Mohr-Coulomb.

-Le *SSM* ne permet pas des analyses de stabilité par réduction de c et ϕ .

II.2.5.4. Prise en compte de la surconsolidation :

Le logiciel (Plaxis) calcul la pression de préconsolidation p_c à partir des données. Si un matériau est surconsolidé, il est possible de prendre en compte le degré de surconsolidation (OCR) ou le poids des terres de préconsolidation (POP (*Pre Overburden Pressure*)).

En résumé :

Les paramètres nécessaires au *SSM* sont les suivants :

λ^* : indice de compression;	[-]
κ^* : indice de gonflement;	[-]
c : cohésion ;	[K/m ²]

φ : angle de frottement [°]

Ψ : Angle de dilatance [°]

Par défaut, les paramètres avancés sont :

ν_{ur} : coefficient de Poisson en charge décharge (par défaut = 0,15); [-]

K_0^{NC} : $\sigma_{xx} / \sigma_{yy}$ coefficient K_0 relié à M [-]

II.2.6. Modèle pour sols « mous » avec effet du temps (*Soft Soil Creep Model*) :

C'est un modèle formulé dans le cadre de la viscoplasticité. Ce modèle permet de simuler le comportement des sols mous, comme les argiles ou les tourbes normalement consolidées, en fonction du temps. Ce modèle prend en compte la compression logarithmique.[R.B.J. Brinkgreve,2003]

Le *SSCM* permet de prendre en compte l'écroutissage des argiles molles mais pas la consolidation secondaire celle-ci traduit par une évolution de la déformation axiale dans un essai oedométrique en fonction du temps, après la fin de la consolidation primaire. Cette déformation évolue en fonction du logarithme du temps (au moins pour les échelles de temps observables). Elle est caractérisée par le paramètre C_α . Elle génère ce qui est appelé la quasipréconsolidation dans des sols déposés depuis longtemps.[M. Boulon et al, 2004]

La figure ci-dessous résume ce phénomène. Ces déformations secondaires se rencontrent dans les tassements différés, notamment sur sols argileux mous.

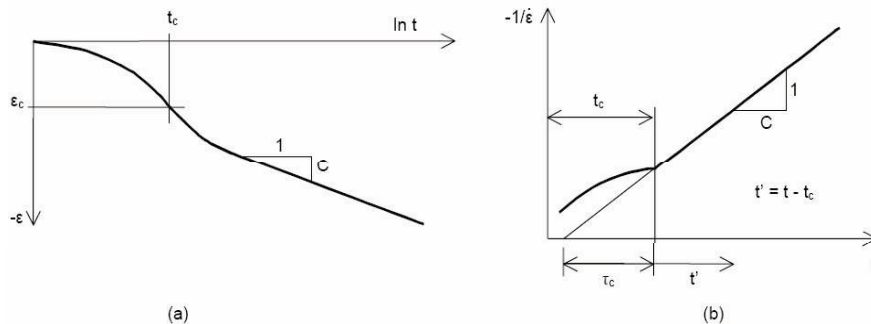


Figure II.13 : Effet du temps sur les essais oedométriques

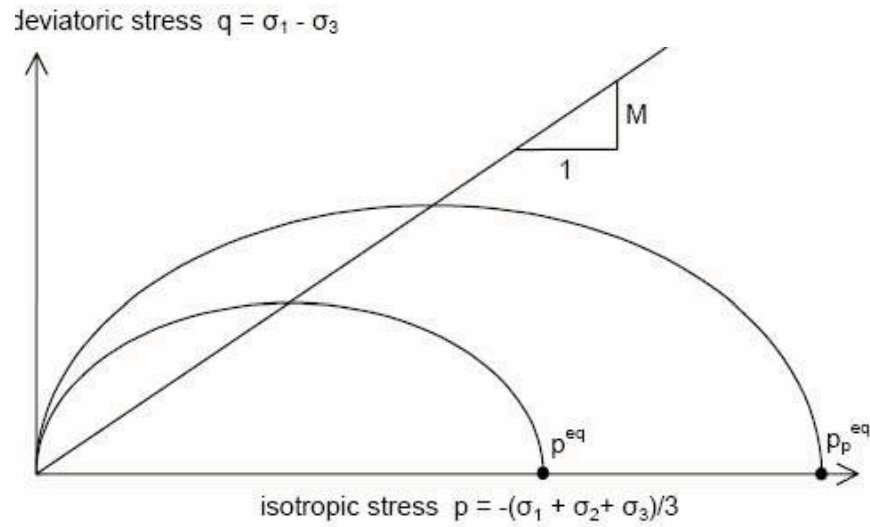


Figure II.14 : Diagramme des cercles p^{eq} dans le plan p - q .

Avec les définitions suivantes des paramètres:

$$M = \frac{6 \sin \varphi}{3 - \sin \varphi} \quad \text{II.9}$$

$$p^{eq} = \sigma \left[\frac{1 + 2K_0^{NC}}{3} + \frac{3(1 - K_0^{NC})^2}{M^2(1 + 2K_0^{NC})} \right] \quad \text{II.10}$$

Les paramètres du SSCM :

Le paramètre de fluage est μ^* défini par :

$$\mu^* = \frac{C_{\alpha_v}}{2,3(1 + e)} \quad \text{II.11}$$

Paramètre du modèle de Mohr-Coulomb :

c : cohésion ; [K/m²]

φ : angle de frottement ; [°]

Ψ : Angle de dilatance. [°]

Paramètre de consolidation :

κ^* : indice de gonflement; [-]

λ^* : indice de compression; [-]

μ^* : indice de fluage. [-]

Les paramètres avancés :

ν_{ur} : coefficient de Poisson en charge décharge (par défaut = 0,15) ; [-]

K_0^{NC} : $\sigma_{xx} / \sigma_{yy}$ coefficient K_0 relié à M . [-]

M : paramètre en fonction de K_0^{NC} . [-]

II.2.7 : Modèles Cam-Clay :

Roscoe et al furent les premiers à établir, à l’Université de Cambridge (Royaume-Uni), des relations générales de comportement des sols fondées sur la théorie de l’élastoplasticité avec écrouissage et sur l’analyse des résultats de différentes études expérimentales (essais oedométriques et triaxiaux). Les modèles développés, connus sous le nom de « modèles Cam-Clay », sont destinés essentiellement à décrire le comportement des argiles reconstituées en laboratoire. Ces modèles sont basés sur quatre éléments principaux l’étude de l’essai de compression isotrope, le concept d’état critique, une relation contrainte-dilatance et la règle de normalité pour la déformation plastique.

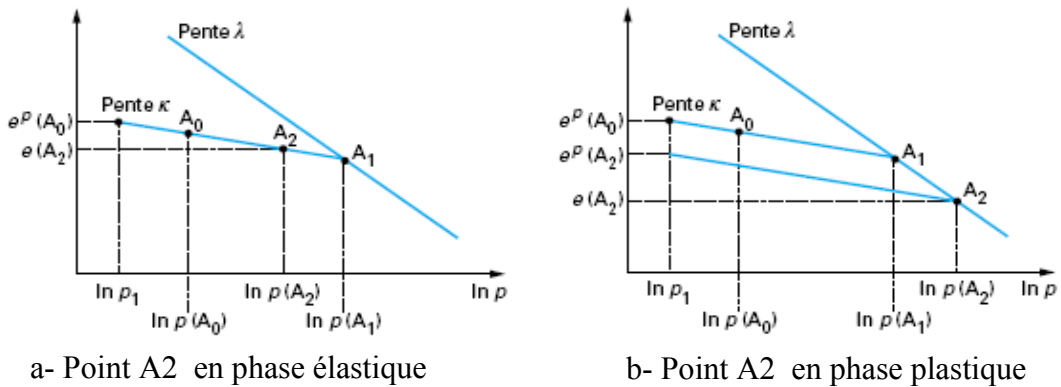


Figure II.15 : Représentation d’un essai de compression isotrope

II.2.7.1. Etude de l’essai de compression isotrope :

Dans le plan $(e, \ln p)$ [où e est l’indice des vides et p la pression moyenne $P = \frac{1}{3} \sigma_{ij}$], la représentation des résultats d’un essai de compression isotrope met en évidence des courbes qui peuvent être assimilées à des droites (figure II 15) :

- une courbe de consolidation vierge, dite courbe λ , qui décrit le chargement au cours de l’essai ;

-une courbe de déchargement-rechargement, dite courbe κ , qui schématise un cycle de déchargement-rechargement. Par construction, cette courbe représente le comportement élastique non linéaire au cours de l'essai.

Les courbes λ et k sont définies par les équations suivantes :

$$\text{Courbe } \lambda \quad e = e_1 - \lambda \ln \frac{p}{p_1} \quad \text{II.12}$$

et

$$\text{Courbe } \kappa \quad e = e^p - \kappa \ln \frac{p}{p_1} \quad \text{II.13}$$

où e_1 et e^p correspondent aux valeurs obtenues pour une pression de référence p_1 (en général égale à 1 kPa) ; λ et k sont deux paramètres du modèle.

La figure II.15 montre que la quantité e^p évolue au cours du chargement et qu'elle est liée à la limite du domaine d'élasticité actuel. Cette quantité peut donc être utilisée comme paramètre d'écrouissage dans la description de l'essai de compression isotrope.

II.2.7.2. Notion d'état critique :

L'analyse des résultats d'essais triaxiaux de cisaillement sur des argiles reconstituées a montré qu'au moment de la rupture (lorsque le palier d'écoulement est atteint), le matériau se trouve dans un état dit critique et caractérisé par :

- un rapport de contraintes constant : $M = q/p$;
- l'absence de variations de volume : $d\varepsilon_{\text{vol}} = 0$;
- une courbe d'état critique dans le plan $(e, \ln p)$ de pente λ ,

où M est un paramètre du modèle, p la contrainte moyenne et q le déviateur des contraintes.

L'étude expérimentale montre également que dans le plan $(e, \ln p)$, la courbe d'état critique est une droite approximativement parallèle à la courbe de consolidation isotrope.

II.2.7.3. Équations des modèles Cam-Clay :

La relation d'écrouissage liant l'indice e_p et la contrainte p_c s'obtient en considérant les courbes λ et k au point p_c (figure II.16).

Les points C_1 et C_2 appartiennent à la droite d'état critique et les points V_1 et V_2 à la droite de consolidation isotrope (figure II.16). Considérons un chemin de contraintes quelconque $A_0A_1A_2$,

où A_0 est un point initialement dans le domaine élastique, A_1 est sur la surface de charge initiale et A_2 sur la surface de charge qui évolue.

$$e(v_2) = e_1 - \lambda \ln \frac{p_c(v_2)}{p_1} \quad \text{II.14}$$

et

$$e(v_2) = e^p(v_2) - \kappa \ln \frac{p}{p_1} \quad \text{II.15}$$

D'où la relation d'écroissage : $e_1 - e^p = (\lambda - \kappa) \ln \frac{p_c}{p_1}$ II.16

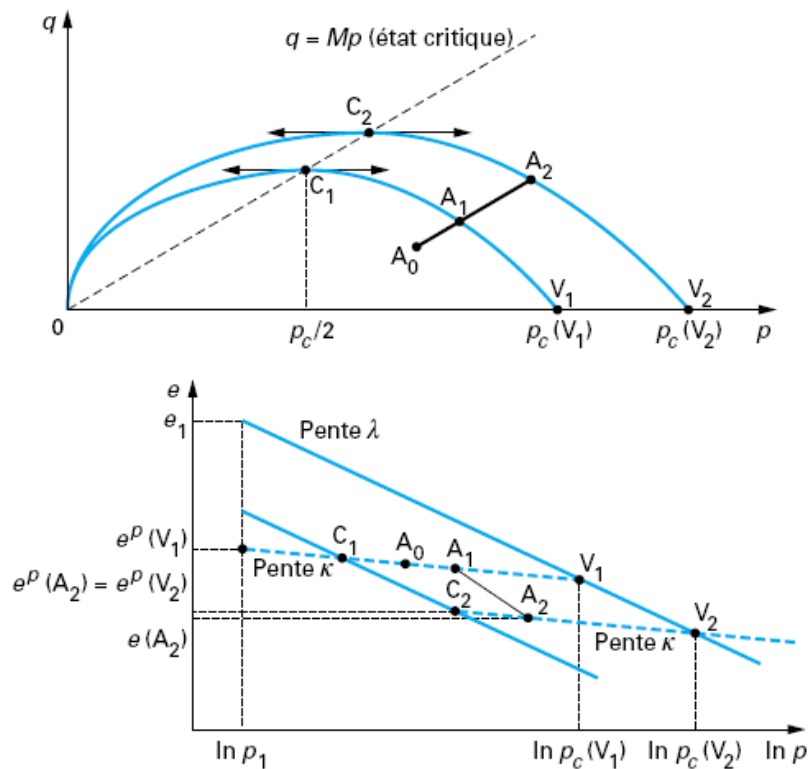


Figure III.16 : Représentation de l'écroissage pour le modèle Cam-Clay

II.3. Conclusion :

Ce tour d'horizon des différents modèles de comportement appliqués en géotechnique démontre qu'il s'agit plutôt de modèles suffisamment simples pour déterminer les paramètres avec une étude géotechnique. L'utilisateur doit se concentrer sur deux choix, l'un est inhérent à la géotechnique en général et l'autre concerne la simulation numérique.

La détermination des paramètres géotechniques n'est pas différente d'un choix de paramètres de calcul de tassement ou de stabilité à partir des essais. Il est indispensable d'arriver à ce que l'on pourrait appeler un modèle géotechnique de terrain. Certains des paramètres sont différents de leurs expressions, mais toujours reliés à des paramètres géotechniques classiques. Le paramètre le moins courant est vraisemblablement l'angle de dilatance.

Le choix du modèle de comportement dépend en fait du problème posé : soutènement, tassement de remblai, fondation sur sol en pente, tunnel. Quel modèle de comportement utilisé pour quel problème géotechnique ? la question n'est pas simple car il n'existe pas de modèle universel.

CHAPITRE III:

Modélisations numériques

III.1. Généralités et principe sur la pratique des éléments finis :

L'évolution de la technologie amène l'ingénieur à réaliser des projets de plus en plus complexes, coûteux et soumis à des contraintes de sécurité de plus en plus sévères. Pour réaliser ces projets et vu la complexité des méthodes analytiques de la résistance des matériaux, l'ingénieur a recours aux méthodes qui lui permettent de simuler le comportement des systèmes physiques complexes. Conditionnée par les progrès effectués dans le domaine de l'informatique et les acquis mathématiques dans la théorie de l'énergie, des méthodes de projection et des méthodes d'approximation, la méthode des éléments finis est devenue éventuellement la plus performante des méthodes numériques vu son grand champ d'application où elle est utilisée dans de nombreux secteurs de l'industrie : nucléaire, génie civil, construction navale, mécanique, etc. [J.F.Imbert]

[G.Dhatt, 2005]

La méthode des éléments finis est donc une technique récente à caractère pluridisciplinaire car elle met en œuvre les connaissances de trois disciplines de base :

1. La mécanique des structures : plasticité, résistance des matériaux, dynamique, élasticité
2. L'analyse numérique : méthodes d'approximations, résolution des systèmes linéaires, des problèmes aux valeurs propres, etc..
3. L'informatique appliquée : techniques de développement et de maintenance de grands logiciels.

La méthode des éléments finis (MEF) consiste à remplacer la structure physique étudiée par un nombre fini d'éléments ou de composants discrets qui représentent un maillage. Ces éléments sont liés entre eux par un nombre de points appelés nœuds. On considère d'abord le comportement de chaque partie indépendante, puis on assemble ces parties de telle sorte qu'on assure l'équilibre des forces et la compatibilité des déplacements réels de la structure en tant qu'objet continu. La méthode des éléments finis est extrêmement puissante puisqu'elle permet d'étudier correctement des structures continues ayant des propriétés géométriques et des conditions de charges compliquées. Elle nécessite un grand nombre de calculs qui, cause de leur nature répétitive, s'adaptent parfaitement à la programmation numérique.

III.2. Application des éléments finis aux sols renforcés :

La méthode des éléments finis consiste à discrétiser le modèle géométrique « fini » (sol + colonnes) en sous-ensembles de référence à partir de conditions aux limites en déplacement

et en contraintes. On calcule ensuite, pour une loi de comportement donnée et pour chaque cas de chargement étudié, les déplacements, les déformations et les contraintes en tout point du modèle défini. Cette méthode a l'avantage d'appréhender tous les paramètres du modèle retenu (déplacements, déformations, contraintes, les résultats des paramètres et zones de plastification préalable). Néanmoins, elle nécessite une attention particulière quant à la modélisation des colonnes et des conditions aux limites, les résultats dépendent fortement du modèle rhéologique et de ses paramètres géomécaniques (en particulier, module d'Young, coefficient de Poisson, ...), dont on rappelle qu'ils doivent être validés par le géotechnicien.[Recommandations DTU 13.2, 2004]

III.3. Modélisation d'un réseau de colonnes ballastées :

III.3.1.Hypothèse de calcul et modélisation :

Les hypothèses suivantes sont nécessaires pour une réalisation par éléments finis (d'après Schweiger et pade (1989)) :

- Aucun glissement ne se produit à l'interface sol-colonne;
- La colonne est assimilée à un matériau granulaire et une loi de comportement élastoplastique par exemple (loi de comportement Mohr-Coulomb avec un angle de frottement φ_{colonne} et une cohésion C_{colonne} quasiment nulle);
- Le sol naturel situé entre les colonnes est supposé peu affecter par la mise en place de celle-ci;
- Le sol est considéré comme un matériau cohérent et représenté par une loi de comportement élastoplastique (modèle Cam-Clay modifié).

Deux types d'analyse peuvent être effectués: l'analyse locale d'un volume élémentaire contenant une seule colonne et celle d'un réseau de colonnes. L'analyse locale d'une cellule cylindrique avec une colonne au centre du sol naturel autour aider à comprendre le fonctionnement de ce type de renforcement. Le volume du sol naturel dépend de la maille du réseau de colonne (arrangement triangulaire, hexagonale ou carrée, etc.), mais il est toujours possible de trouver une maille circulaire équivalente. L'influence des autres cellules est prise en compte par des conditions de symétrie et de continuité. Ce type d'analyse n'est valable que si les conditions de frontières n'ont pas d'influence et si le chargement est vertical. En outre, les problèmes d'interaction et de report de charges ne sont pas pris en compte. Le calcul peut

être réalisé en déformation axisymétrique ou tridimensionnelle. Pour la modélisation des réseaux de colonnes, deux approches sont possibles : l'homogénéisation et le modèle tridimensionnel. [P. Mestat, 1999]

III.3.2. Modélisation d'un réseau de colonnes ballastées par homogénéisation :

La structure d'un réseau de colonne étant périodique, une homogénéisation est justifiée. Pour des raisons de symétrie et pourvu que le massif soit homogène, l'étude d'un réseau à maille régulière uniformément chargée en surface et dont les colonnes reçoivent la même charge peut être réduite à celle des phénomènes intervenant dans le domaine d'influence d'une de ces colonnes. Un modèle simple de matériau composite a été proposé par plusieurs auteurs pour l'analyse des sols argileux renforcés par colonnes ballastées [Schweiger et Pande (1989) ; Ou et al. (1996)]. Le sol amélioré est considéré comme un milieu homogénéisé dont les paramètres globaux P_h sont une combinaison linéaire des paramètres du sol non traité P_{sol} et de ceux du matériau formant la colonne $P_{colonne}$ (sol traité et matériau d'apport) :

$$P_h = m P_{colonne} + (1-m) P_{sol};$$

m est un coefficient qui est en réalité une fonction très complexe des propriétés du sol à traiter et du matériau granulaire. Toutes fois, en pratique et notamment pour une étude à court terme, il est raisonnable de prendre :

$$m = \frac{A_{colonne}}{A}, \text{ ou } A_{colonne} \text{ est la surface de la section de la colonne et } A \text{ la surface plane de}$$

la partie de sol naturel rattaché à une colonne (figure III.1). Cette partie est limitée par la colonne et par un prisme à base triangulaire, hexagonale ou orthogonale dépendant de la maille choisie pour le renforcement. Le paramètre P_h peut être le poids volumique, le module de Young, la cohésion ou l'angle de frottement. Les formules d'équivalence utilisés couramment se mettent sous la forme :

$$\gamma_h = m \gamma_{colonne} + (1-m) \gamma_{sol}; \quad E_h = m E_{colonne} + (1-m) E_{sol}; \quad C'_h = m C'_{colonne} + (1-m) C'_{sol}$$

$$\tan \varphi'_h = m \tan \varphi'_{colonne} + (1-m) \tan \varphi'_{sol}$$

Un autre modèle de matériau composite peut être fondé sur le comportement orthotrope de révolution avec un plan d'isotropie perpendiculaire à l'axe des colonnes. Les paramètres élastiques ($E_1, E_2, \nu_1, \nu_2, G$) sont calculés à partir des résultats obtenus sur une cellule isolée ou sur un modèle local d'éléments finis qui tient compte du sol, des graviers et de leurs

conditions d'interface [Schweiger et pade (1989)]. Ces approches par homogénéisation supposent que toutes les colonnes exercent la même influence sur le sol et reçoivent la même charge répartie. Cette hypothèse est généralement justifiée par la faiblesse de l'espacement, comparé aux autres dimensions du problème, et notamment à celles de remblai. Le sol naturel et le sol amélioré sont supposés parfaitement collés. [P, Mestat, 1999]

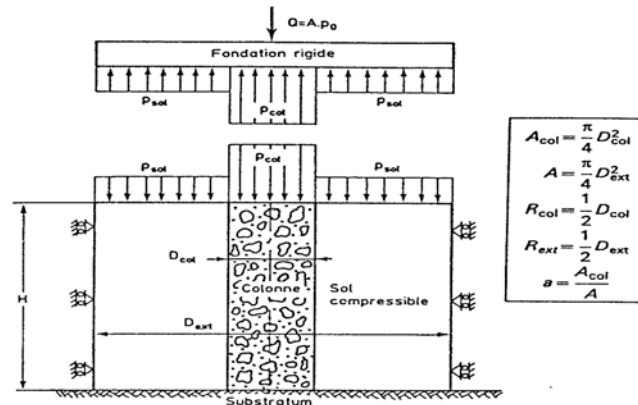


Figure III.1 : Répartition des contraintes en surface à long terme

(d'après Ghionna et Jamiolkwski) [B. Soyez, 1985]

III.4. Géométrie du modèle numérique et les caractéristiques des matériaux utilisés :

III.4.1. Introduction :

On fait une analyse numérique afin d'étudier le comportement des colonnes ballastées ancrées dans un sol mou (Argile molle) de faible caractéristiques géotechniques et leurs effet sous un chargement excentré.

III.4.2. Géométrie du modèle numérique :

Le problème est symétrique (modèle axisymétrique), il sera modélisé par un modèle géométrique plan (2D) de 20 m de large sur 10 m de profondeur, il est définie comme suit :

Une fondation circulaire (radier) de 4m de diamètre et de 0,25 m d'épaisseur, reposant sur une couche d'argile molle de 10 m d'épaisseur renforcés par des colonnes ballastées [06 colonnes : les colonnes 2,4,6 sont situées à droite de la charge appliquée et les colonnes 1,3,5 sont situées dans le sens opposée et font une symétrie successives par rapport aux colonnes 2,4,6 (à gauche de la charge appliquée)] et un matelas de transferts de charge disposée entre le réseau de colonnes et la fondation, comme le montre la figure III-2.

On suppose que la fondation circulaire est une fondation de pile d'un pont soumise à un moment fléchissant $M=343t.m$ et une force verticale $N=660 t=6600 KN$ (chargement couramment trouvée dans le cas des fondation sous piles de ponts) donc: l'excentricité est égale à $0 \leq e_x \leq M / N = 0,51 m$. Dans ce cas on prend la variation du point d'application de la charge (excentricité e_x) entre 0 et 0,50 m dont les valeurs sont : 0 ; 0,25 m et 0,50 m.

Les étapes de modélisation du modèle sont:

Phase 1 : Le traçage du contour en limitant la couche du sol (Argile molle) et leurs caractéristiques avec les conditions aux limites. Cette phase est caractérisé par le calcul de :

- Calcul de la consolidation ;
- Calcul au minimum pression (minimum pore pressure).

Phase 2: Mise en place des colonnes ballastées dans la couche du sol (Argile molle) avec leurs caractéristiques. Cette phase est caractérisé par le calcul de :

- Calcul de la consolidation ;
- Calcul au minimum pression (minimum pore pressure).

Phase 3: Mise en place d'un matelas de transferts de charge entre le réseau de colonnes et la fondation. Cette phase est caractérisé par le calcul de :

- Calcul de la consolidation ;
- Calcul au minimum pression (minimum pore pressure).

Phase 4: Construction de la fondation circulaire en béton (radier). Cette phase est caractérisé par le calcul de :

- Calcul de la consolidation ;
- Calcul au minimum pression (minimum pore pressure).

Phase 5: Application d'une charge ponctuelle d'une valeur 660 t qui demeure constante sur les valeurs d'excentricités suivantes : 0 ; 0,25 m et 0,50 m. Pour chaque excentricité cette phase est caractérisée par le calcul de :

- Calcul de la consolidation ;
- Calcul au minimum pression (minimum pore pressure).

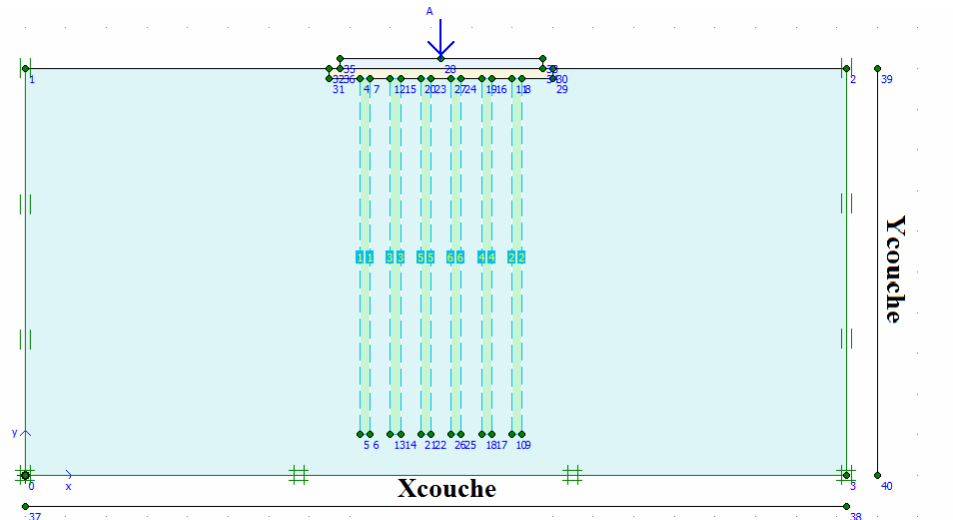


Figure III.2 : Modèle numérique de comportement des colonnes ballastées soumises à un chargement excentré-

III.4.3. Caractéristiques des matériaux utilisés dans la modélisation numérique:

III.4.3.1. Propriétés de la couche d'argile molle :

Les propriétés de la couche d'argile molle sont résumées dans le tableau III-1

Tableau III.1 : Propriétés de la couche d'argile molle

Paramètres	Nom	Argile molle	Unités
Modèle type	Model	Mohr-Coulomb	-
Type de comportement	Type	Drained	-
Poids volumique saturé	γ_{sat}	17	KN /m ³
Poids volumique un saturé	γ_{unsat}	20	KN /m ³
Perméabilité horizontale	k_x	10 ⁻⁵	m/day
Perméabilité verticale	k_y	10 ⁻⁵	m/day
Module d'Young	E_{ref}	100	KN/m ²
Coefficient de poisson	ν	0,35	
Cohésion	c	75	KN/m ²

Angle de frottement	φ	5°	°
Angle de dilatation	Ψ	0°	°
Facteur de rigidité de l'interface	R_{inter}	0,5	-
Largeur de la couche d'argile molle	X_{couche}	20	m
Profondeur de la couche d'argile molle	Y_{couche}	10	m

III.4.3.2. Propriétés des colonnes ballastées :

Les Propriétés des colonnes ballastées sont résumées dans le tableau III-2

Tableau III-2- Propriétés des colonnes ballastées.

Paramètres	Nom	Colonne ballastée	Unités
Modèle type	Modèl	Mohr-Coulomb	-
Type de comportement	Type	Drained	-
Poids volumique saturé	γ_{sat}	16	KN /m ³
Poids volumique un saturé	γ_{unsat}	18	KN /m ³
Perméabilité horizontale	k_x	10 ⁻³	m/day
Perméabilité verticale	k_y	10 ⁻³	m/day
Module d'Young	E_{ref}	1000	KN/m ²
Coefficient de poisson	ν	0,35	
Cohésion	c	1	KN/m ²
Angle de frottement	φ	38°	°
Angle de dilatation	Ψ	0°	°
Facteur de rigidité de l'interface	R_{inter}	0,5	-
Diamètre du colonne	$d_{colonne}$	0,25	m
Longueur d'ancrage de colonne où profondeur de la colonne $y_{profondeur}$	$L_{colonne}$ où $y_{profondeur}$	9,75	m
Espacement entre colonnes	$E_{colonne}$	0 ,50	m

III.4.3.3. Propriétés du matelas de transferts de charge :

Les propriétés du matelas de transferts de charge sont résumées dans le tableau III-3

Tableau III-3-Propriétés du matelas de transferts de charge.

Paramètres	Nom	matelas	Unités
Modèle type	Modèl	Linear-elastic	-
Type de comportement	Type	Non poreu	-
Poids volumique saturé	γ_{sat}	-	KN /m ³
Poids volumique un saturé	γ_{unsat}	22	KN /m ³
Perméabilité horizontale	k_x	-	m/day
Perméabilité verticale	k_y	-	m/day
Module d'Young	E_{ref}	50000	KN/m ²
Coefficient de poisson	ν	0,3	
Cohésion	c	-	KN/m ²
Angle de frottement	φ	-	°
Angle de dilatation	Ψ	-	°
Facteur de rigidité de l'interface	R_{inter}	0,5	-
Epaisseur du matelas	e_m	0 ,25	m

III.4.3.4. Propriétés de la fondation circulaire (radier) :

Les propriétés de la fondation sont résumées dans le tableau III-4.

Tableau III.4. propriétés de la fondation circulaire (radier)

Paramètres	Nom	fondation	Unités
Modèle type	Modèl	Linear elastic	-
Type de comportement	Type	Non poreu	-
Poids volumique saturé	γ_{sat}	-	KN /m ³
Poids volumique de béton	γ_{nsat}	24	KN /m ³
Perméabilité horizontale	k_x	-	m/day
Perméabilité verticale	k_y	-	m/day

Module d'Young	E_{ref}	$1,35 \times 10^6$	KN/m^2
Coefficient de poisson	ν	0,25	
Cohésion	c	-	KN/m^2
Angle de frottement	φ	-	°
Angle de dilatation	Ψ	-	°
Facteur de rigidité de l'interface	R_{inter}	0,5	-
Epaisseur de la fondation	e_f	0,25	m

III.4.4. Génération du maillage :

Le modèle de référence se fait par des éléments à 15 nœuds, il est préférable de choisir la finesse global (Global coarsness) sur < coarse> puis on le raffine localement aux niveaux des éléments structuraux (colonne ballastée, matelas et fondation) comme le indiqué dans la figure III.3.

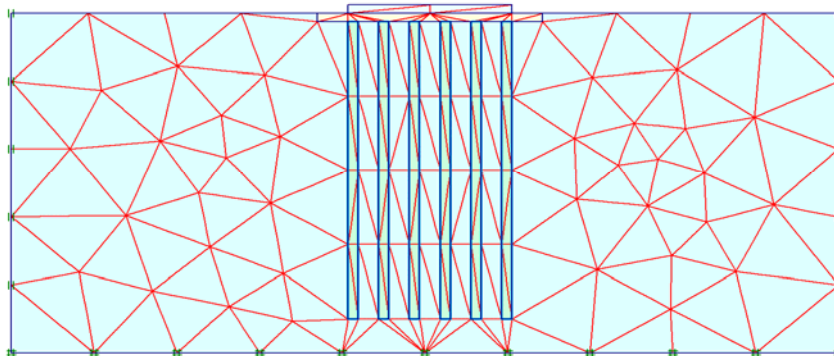


Figure III.3 : Génération de maillage du modèle géométrique.

III.4.4.1. Conditions initiales :

Les conditions initiales nécessitent la génération des pressions interstitielles initiales ainsi que la génération des contraintes initiales.

- **Conditions Hydrauliques :**

Le niveau de la nappe phréatique initiale est à la surface du sol.

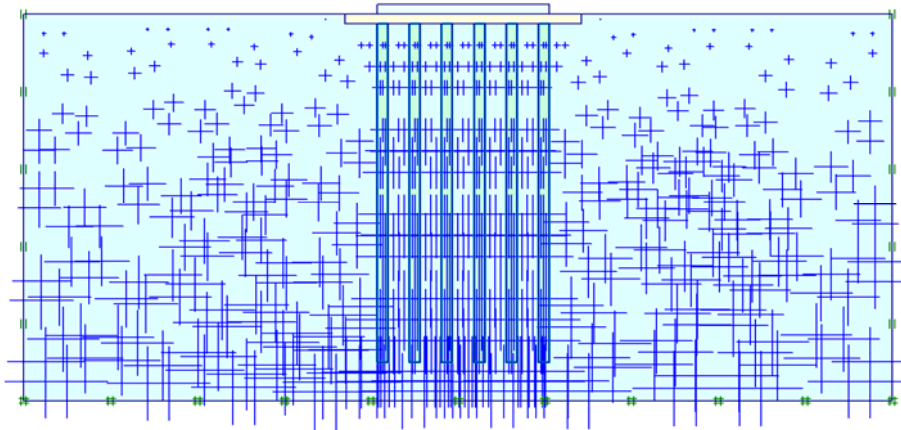


Figure III.4 : Génération des pressions interstitielles initiales.

- **contraintes initiales :**

On génère les contraintes initiales, Plaxis propose une valeur de K_0 par défaut basée sur la formule de jaky $K_0 = 1 - \sin\phi$ pour la fondation.

On modifie cette valeur pour prendre la valeur de $K_0 = 0,5$ et $0,485$ (qui est en fonction du coefficient de poisson) respectivement, les éléments : colonnes, matelas et sol. On accepte le poids du sol à $1 \sum M\text{-Weight} = 1$, ce qui correspond à une application totale de la gravité.

On ne retrouve pas la valeur exacte des contraintes car elles sont calculées au point de Gauss.

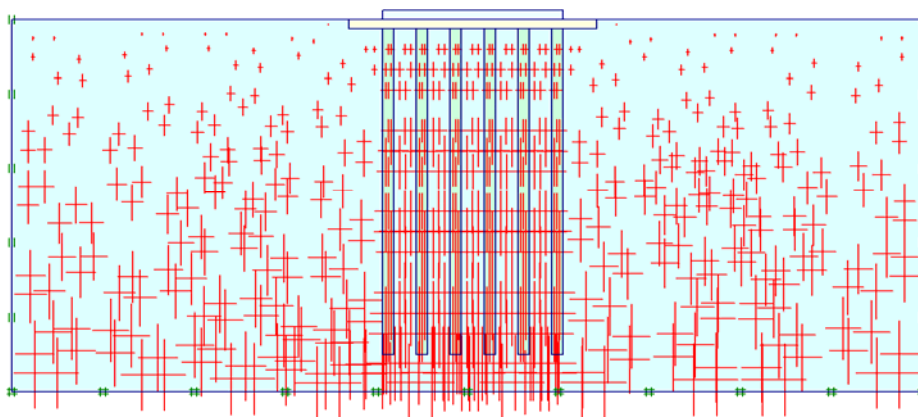


Figure III.5 : Génération des contraintes initiales.

Chapitre IV :

Expérimentations –résultats et discussions-

IV.1. Résultats et Discussions :

Dans ce chapitre, on a partagé la profondeur (y) de la colonne (9,50 m) en trois parties : une partie supérieure, intermédiaire et inférieure comme suit :

- La partie inférieure varie de : la côte 1,00 m à la côte 3,00 m
- La partie intermédiaire varie de : la côte 3,00 m à la côte 6,00 m
- La partie supérieure varie de : la côte 6,00 m à la côte 9,50 m

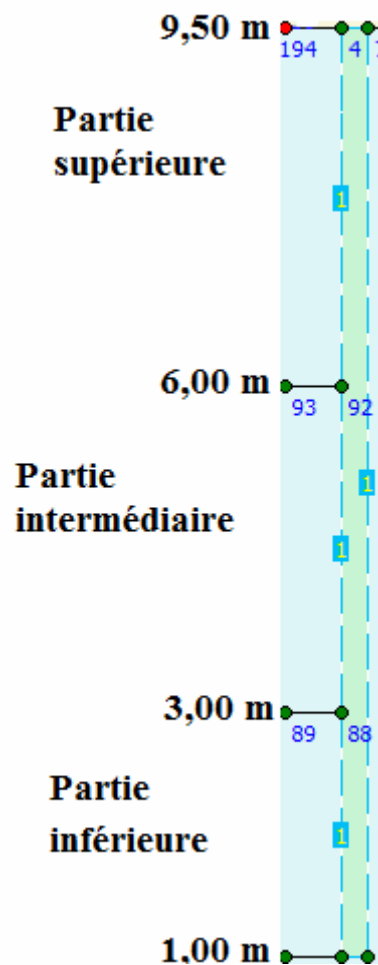


Figure IV.1 : Schéma explicatif des parties : supérieure, intermédiaire et inférieure de la colonne

IV.1.1. Influence de la variation du point d'application de la charge (excentricité) sur le comportement des colonnes ballastées :

IV.1.1.1. Analyse et interprétation des résultats de la colonne 2:

D'après les résultats issus des courbes des figures (IV.1a, IV.2a, IV.3a, IV.4a, IV.5a, IV.6a, IV.7a et IV.8a) représentant le comportement de la colonne 2 située à droite de la charge, on constate :

A. Déplacement :

A.1. Déplacement Total :

La variation du point d'application de la charge entre 0 et 0,50 m induit une augmentation des valeurs des déplacements sur toute la profondeur(y) de la colonne. Toutefois, on remarque d'après les résultats et les courbes de la *figure IV.1a* que les déplacements amplifient jusqu'à l'atteinte d'une valeur maximale, puis ils diminuent jusqu'à la base de la colonne.

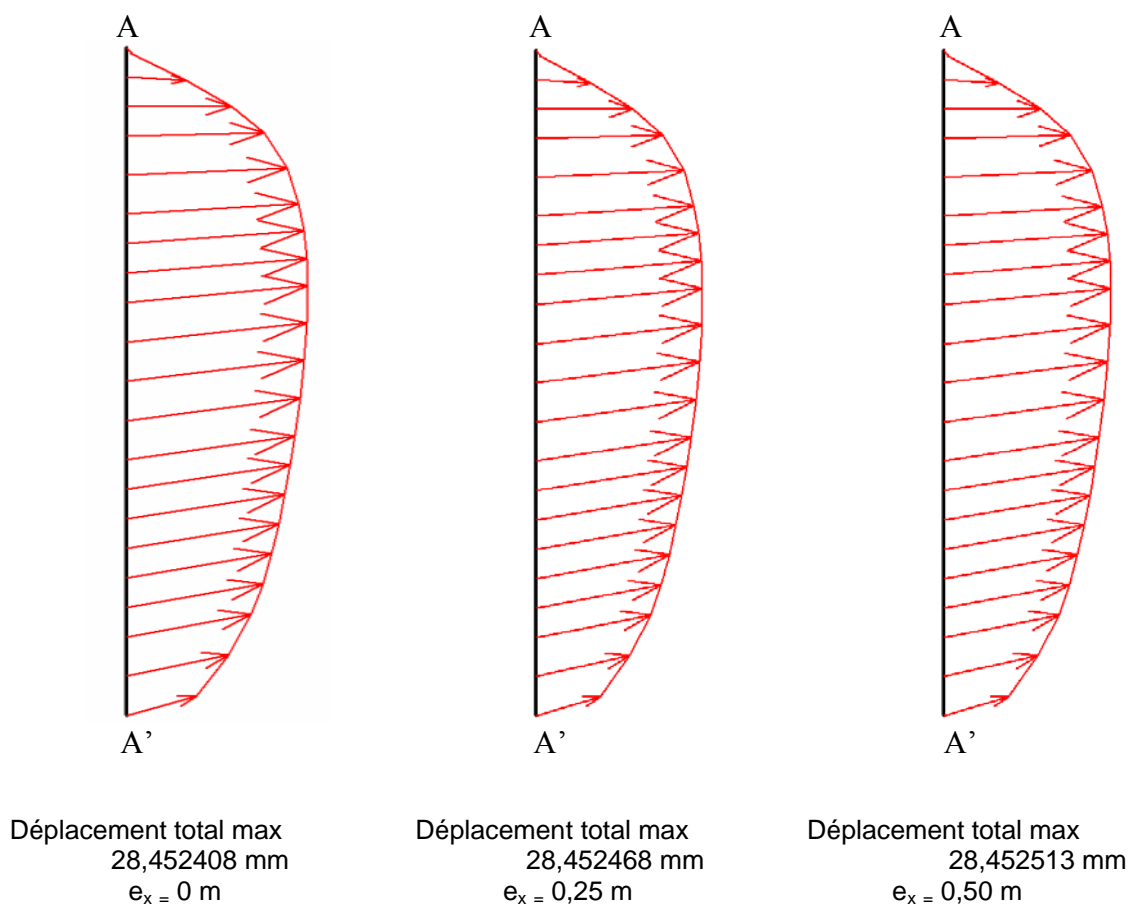


Figure IV.1a : Courbes de Déplacement dans la Colonne 2 selon le point d'application de la charge (excentricité e_x)

B. Déformations :

B.1. Déformations suivant l'axe des abscisses:

Selon la variation du point d'application de la charge entre 0 et 0,50 m, les déformations suivant l'axe des abscisses (ϵ_{xx}) augmentent de la côte 9.75 à la côte 8,0763739 m, ensuite à partir de cette dernière valeur (7.5625 m) ils diminuent jusqu'à la base de la colonne. On observe que la valeur maximale pour chaque point d'application de la charge (excentricité e_x) est enregistrée à la base de la colonne comme le montre la *figure IV.2a*.

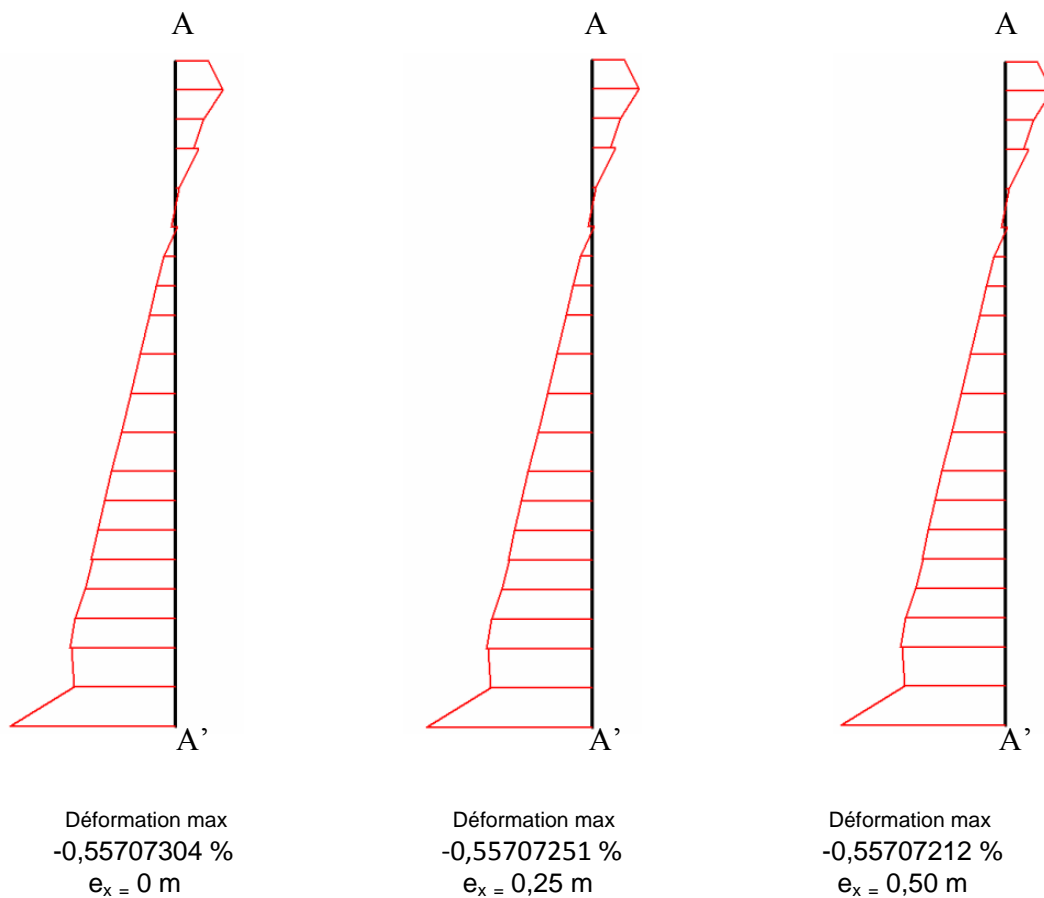


Figure IV. 2a : Courbes de Déformation dans la Colonne 2 suivant l'axe des abscisses selon le point d'application de la charge (excentricité e_x)

B.2. Déformations suivant l'axe des ordonnées:

Selon l'emplacement du point d'application de la charge entre 0 et 0,50m, les déformations suivant l'axe des ordonnées (ϵ_{yy}) augmentent de la côte 9.75 à la côte 3.5740841 m et réduisent à partir de la côte 3,1875 m jusqu'à la base de la colonne (la côte 1,00 m). La valeur maximale des déformations (ϵ_{yy}) est remarquée au sommet de la colonne. Ce constat est illustré dans la *figure IV.3a*.

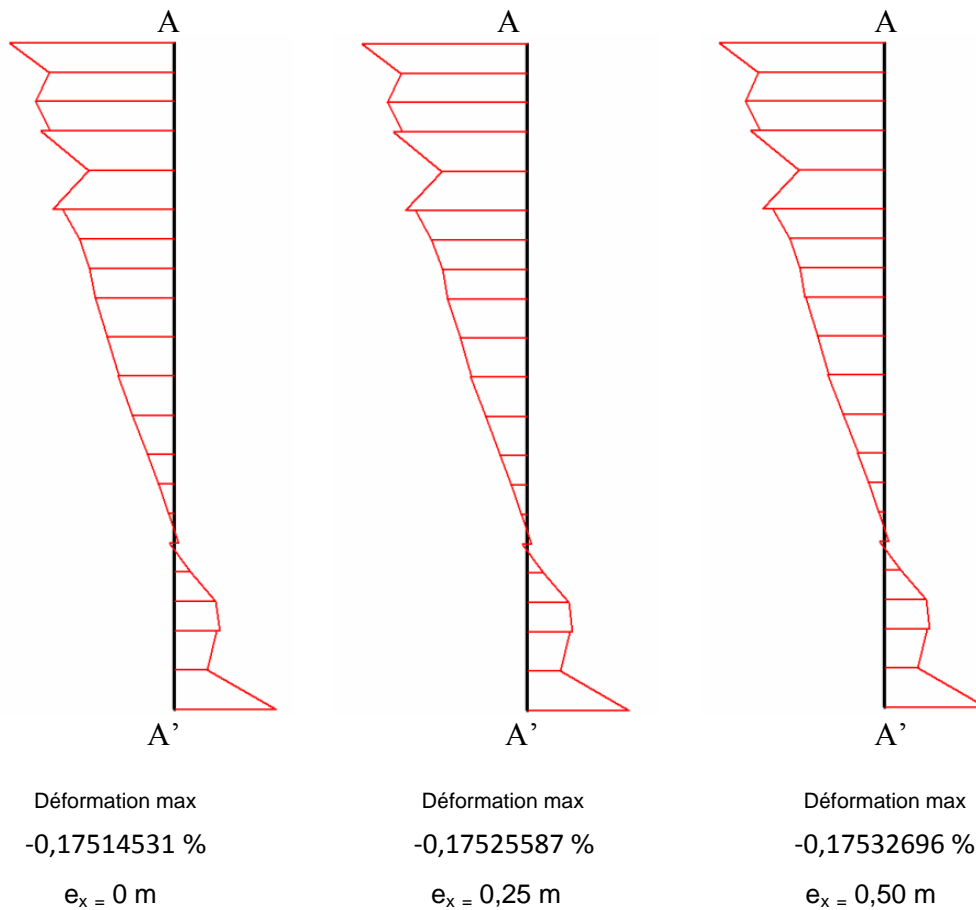


Figure IV. 3a : Courbes de Déformation dans la Colonne 2 suivant l'axe des ordonnées selon le point d'application de la charge (excentricité e_x)

B.3. Déformations dans le plan xy :

Suivant le changement du point d'application de la charge de 0 à 0,50 m, les déformations (ϵ_{xy}) diminuent de la côte 9,75m à la côte 8,0763739 m et augmentent sur l'intervalle de la côte 7,5625 m à la côte 1,00 m. Au sommet de la colonne les mêmes déformations (ϵ_{xy}) prennent des valeurs maximales pour les trois excentricités 0, 0,25m et 0,50 m. Ce constat est illustré dans la *figure IV.4a*.

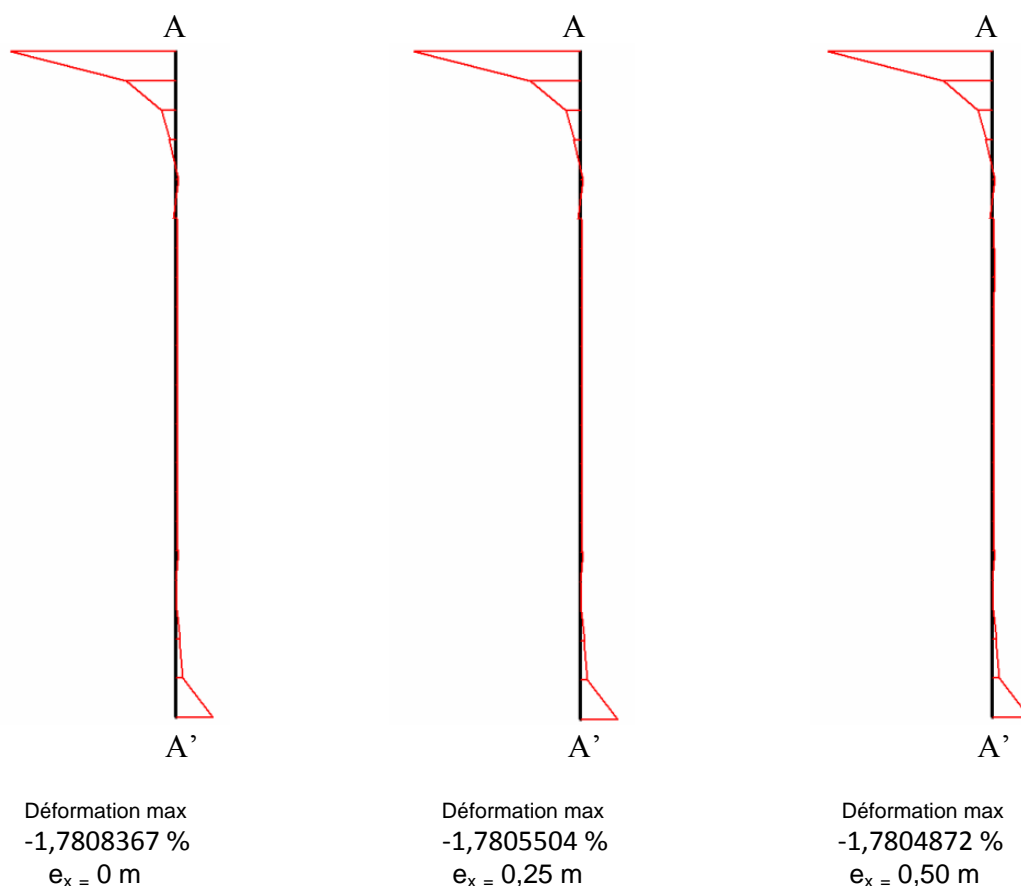


Figure IV.4a : Courbes de Déformation dans la Colonne 2 dans le plan xy selon le point d'application de la charge (excentricité e_x)

C. Contraintes :

C. 1. Contraintes effectives suivant l'axe des abscisses :

Lors de la variation du point d'application de la charge entre 0 et 0,50 m, on a enregistré une diminution des contraintes effectives (σ'_{xx}) sur la partie supérieure de la cote 9,75 m à la cote 6,7893319 m quelque soit la valeur de l'excentricité. Par contre, dans l'intervalle de la cote 6,4027478m à la cote 2,8009159 m, les contraintes effectives (σ'_{xx}) diminuent si l'excentricité est variée de 0 à 0,25 m, ensuite dans le même intervalle elles tiennent des valeurs similaires avec les valeurs de l'excentricité 0,25 m lorsque la charge appliquée est positionnée à 0,50 m. Sur la partie inférieure et notamment à l'intervalle [2,4143319 à 1,5138739 m], les contraintes effectives (σ'_{xx}) ont des valeurs identiques quelque soit la position de la charge appliquée entre 0 et 0,50m. Particulièrement, à la base de la colonne (la cote 1,00m) où les contraintes effectives (σ'_{xx}) atteignent des valeurs maximales, ces dernières sont semblables quand l'excentricité varie de 0 à 0,25 m et l'autre valeur diminue lorsque l'excentricité est égale à 0,50m. Les courbes de la *figure IV.5a* montrent que les contraintes effectives suivant l'axe des

abscisses (σ'_{xx}) évoluent d'une manière linéaire. Sa source est entamée à partir de la deuxième valeur (la côte 9,3634159 m) en fonction de la profondeur de la colonne.

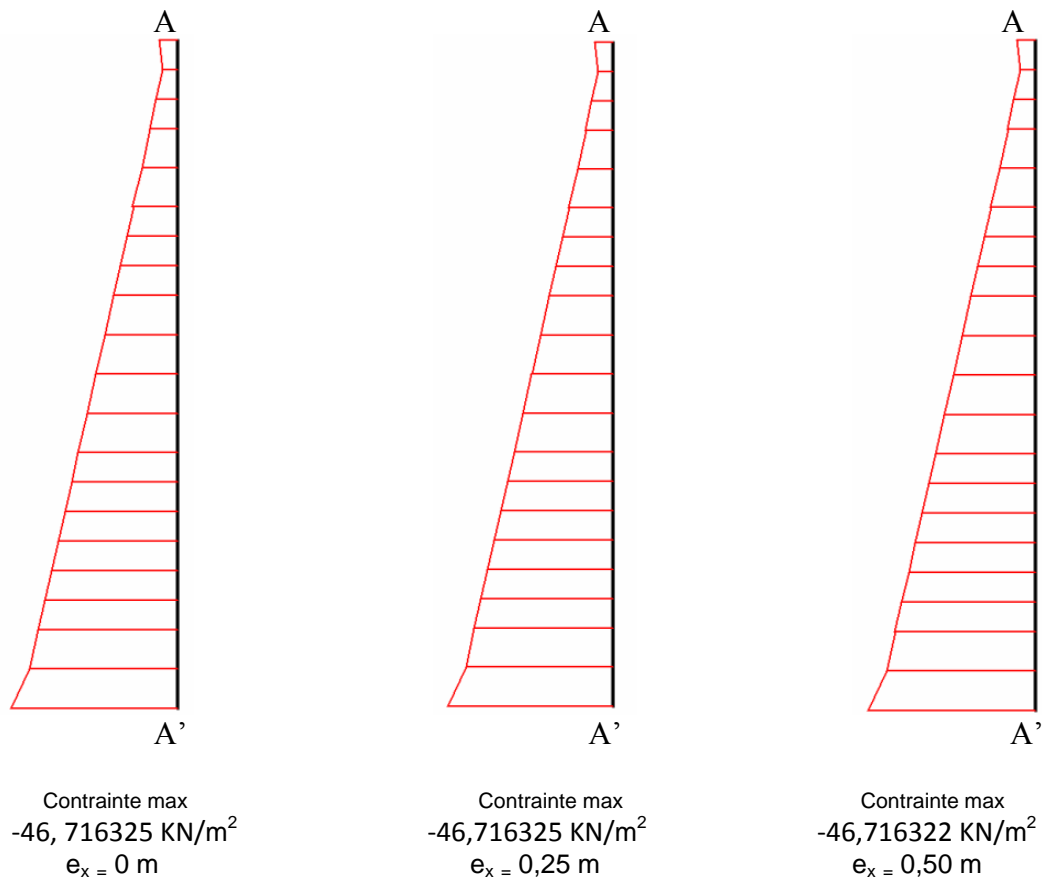


Figure IV.5a : Courbes des Contraintes dans la Colonne 2 suivant l'axe des abscisses selon le point d'application de la charge (excentricité e_x)

C. 2. Contraintes effectives suivant l'axe des ordonnées :

Selon le positionnement du point d'application de la charge entre 0 et 0,50m, les contraintes effectives suivant l'axe des ordonnées (σ'_{yy}) augmentent le long de la profondeur (y) de la colonne de la côte 9,75 m à la côte 1,00 m. Toutefois, on remarque bien que les contraintes effectives (σ'_{yy}) varient d'une manière linéaire suivant la variation de la profondeur (y) de la colonne. Ce constat est perçu dans la *figure IV.6a*.

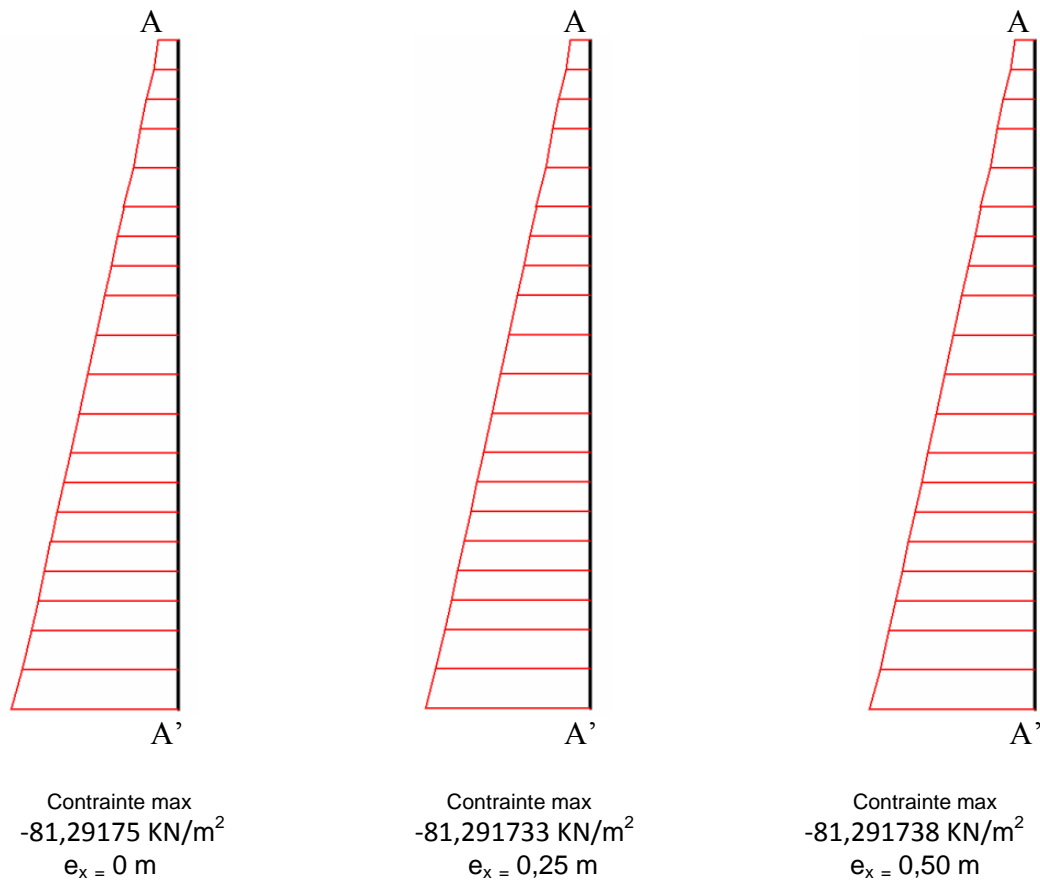
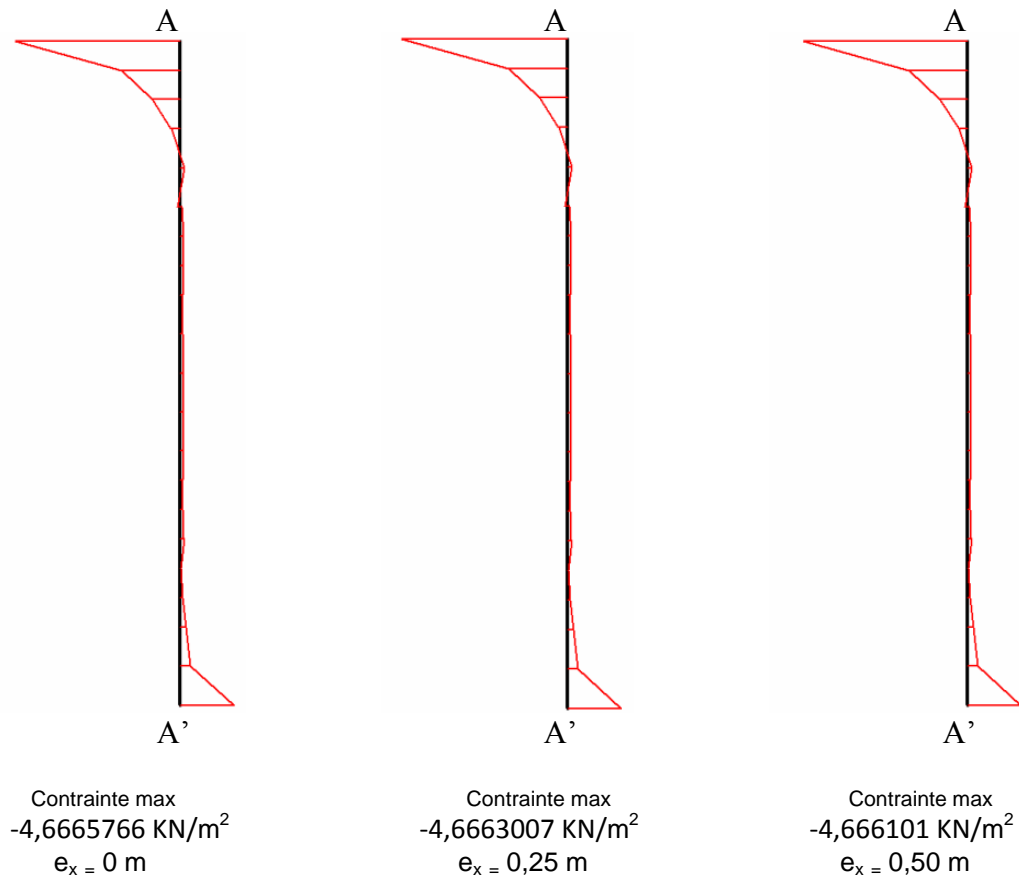


Figure IV.6a : Courbes des Contraintes dans la Colonne 2 suivant l'axe des ordonnées selon le point d'application de la charge (excentricité e_x)

C. 3. Contraintes dans le plan xy :

Le changement du point d'application de la charge entre 0 et 0,50 m, provoquant une diminution des contraintes effectives dans le plan xy ($\sigma'_{xy} = \sigma_{xy}$) sur la partie supérieure dans l'intervalle de la côte 9,75m à la côte 7,5625m, et une augmentation à partir de la valeur de la côte 7,1759159 m jusqu'à la base de la colonne (la côte 1,00 m). Dans cette variation les contraintes dans le plan xy aboutissent des valeurs maximales au sommet de la colonne (la côte 9,75m). Cette observation est montrée dans la *figure IV.7a*.



*Figure IV.7a : Courbes des Contraintes dans la Colonne 2 dans le plan xy
selon le point d'application de la charge (excentricité e_x)*

D. Pressions Actives :

Lors de la variation de la charge entre les trois excentricités on constate : une constante dans les valeurs des pressions actives quand l'excentricité varie de 0 à 0,25 m sur la majorité des sections réparties le long de la profondeur de la colonne. En revanche, lorsque l'excentricité est égale à 0,50 m, on distingue une modification sur les valeurs des pressions actives par une croissance où décroissance. En outre, dans certaines sections distribuées sur la profondeur de la colonne, on a enregistré des valeurs similaires des pressions actives quelque soit la variation de l'excentricité de 0 à 0,50 m. Néanmoins, on observe que les courbes de la *figure IV.8a* définissent une amplification des pressions actives le long de la profondeur de la colonne.

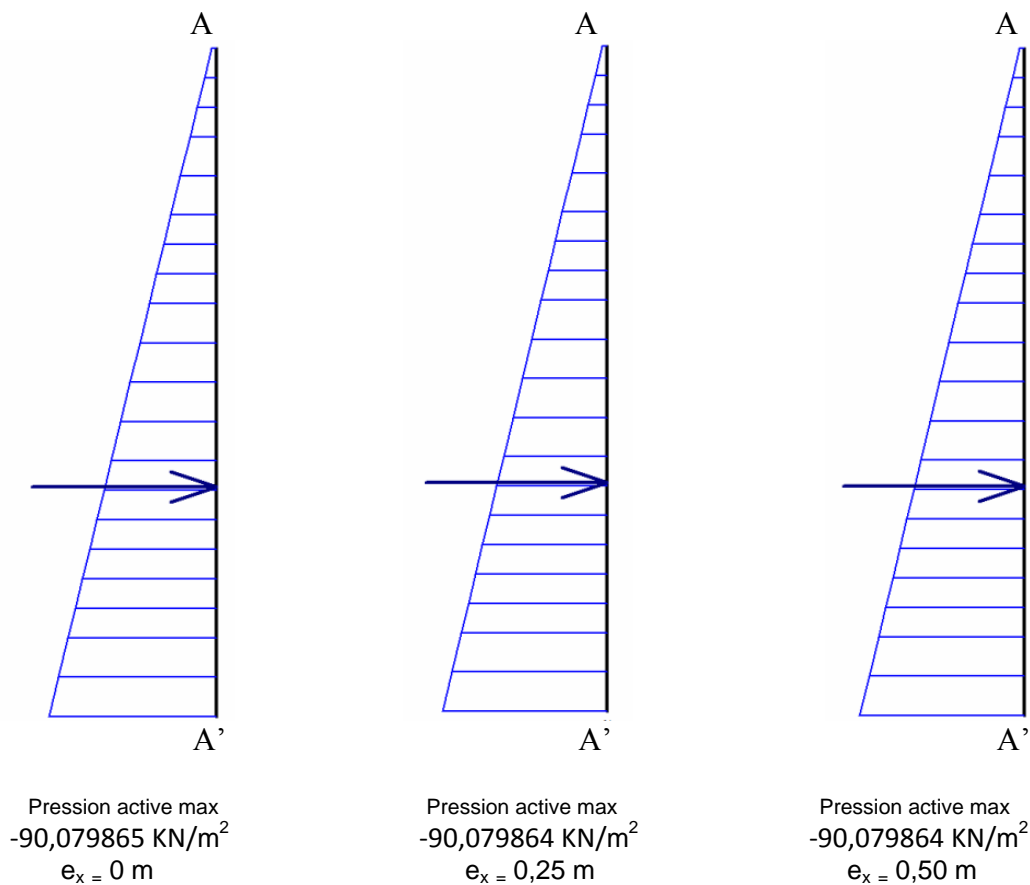


Figure IV.8a : Courbes des pressions actives dans la colonne 2
selon le point d'application de la charge (excentricité e_x)

IV.1.1.2. Analyse et interprétation des résultats de la colonne 1:

D'après les résultats issus les courbes des figures (IV.9a, IV.10a, IV.11a, IV.12a, IV.13a, IV.14a, IV.15a et IV.16a) représentant le comportement de la colonne 1 située à gauche de la charge on constate :

A. Déplacement :

A.1. Déplacement Total :

Suite au changement du point d'application de la charge entre 0 et 0,50 m, les déplacements diminuent sur la partie supérieure dans l'intervalle [9,75 m à 5,9382939 m], augmentent dans les trois côtes : la côte 3,1875 m, la côte 2,1265878 m et la côte 1,00 m et ont des valeurs analogues dans les deux côtes : la côte 5,375 m et la côte 4,8117061 m. Particulièrement, dans les trois côtes : la côte 4,2484122 m, la côte 3,7179561 m et la côte 2,6570439 m les

déplacements tiennent des valeurs identiques si l'excentricité est placée à 0 et 0,25 m et amplifient si l'excentricité est fixé à 0,50 m.

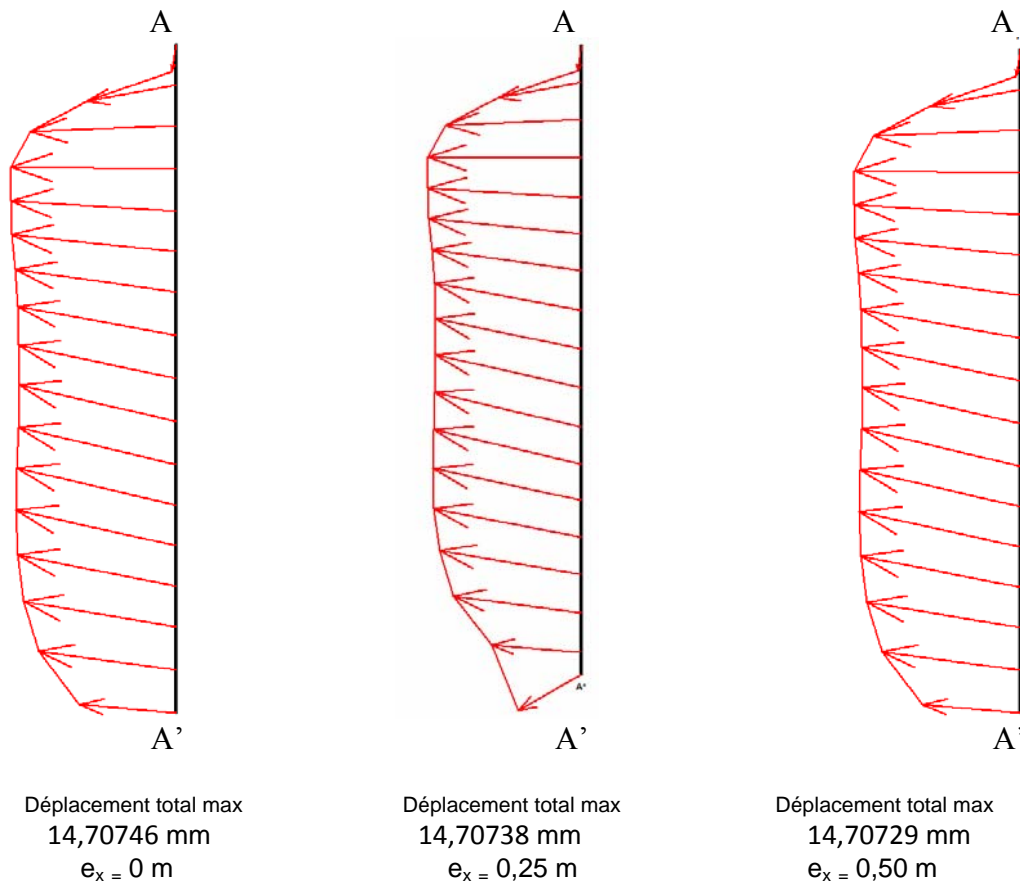


Figure IV.9a : Courbes de Déplacement de la Colonne 1 selon le point d'application de la charge (excentricité e_x)

B. Déformations :

B.1. Déformations suivant l'axe des abscisses :

Selon le positionnement du point d'application de la charge de 0 à 0,50 m, Les déformations suivant l'axe des abscisses (ϵ_{xx}) diminuent de la côte 9.75 à la côte 4.8117061 m et augmentent à partir de valeur de la côte 4,2484122 m jusqu'à la base de la colonne (la côte 1,00 m). La valeur maximale est enregistrée à la base de la colonne.

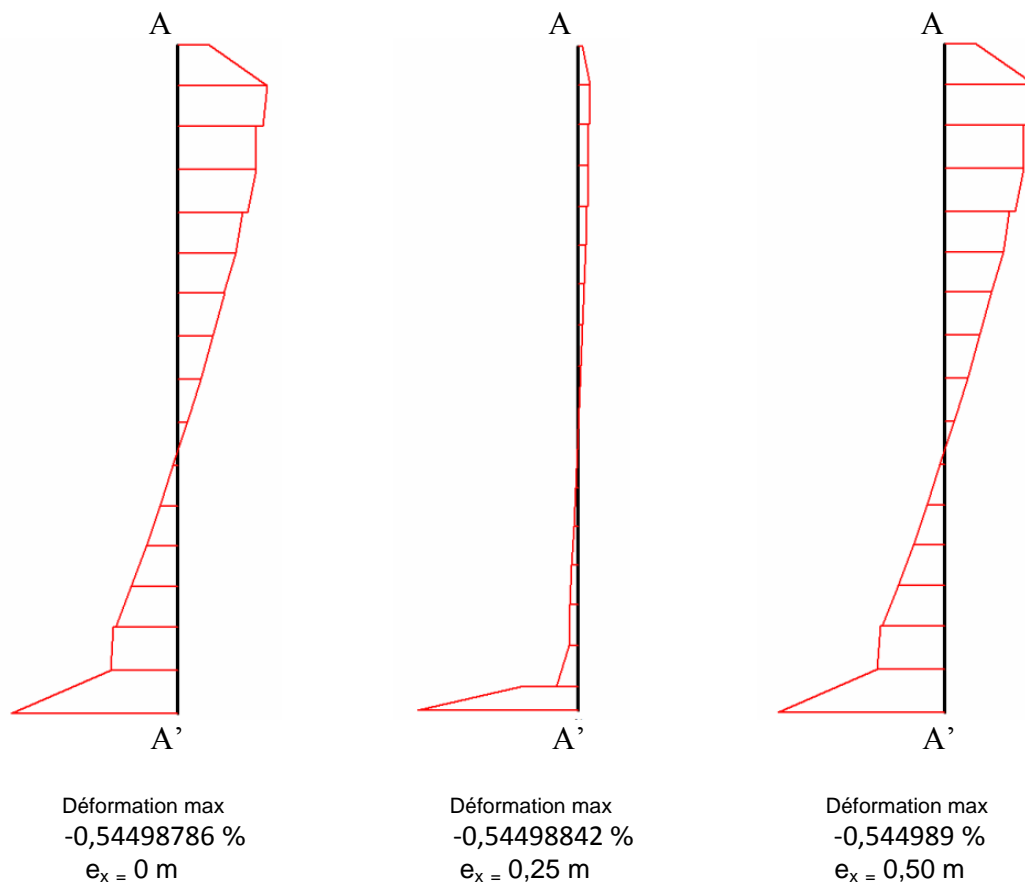


Figure IV.10a : Courbes de Déformation dans la Colonne 1 suivant l'axe des abscisses selon le point d'application de la charge (excentricité e_x)

B.2. Déformations suivant l'axe des ordonnées :

Suivant au changement du point d'application de la charge entre 0 et 0,50 m, les déformations suivant l'axe des ordonnées (ϵ_{yy}) diminuent de la côte 9.75 m à la côte 4,8117061 m, et augmentent à partir de la côte 4.2484122 m jusqu'à la base de la colonne. D'après la *figure VI.11a*, on a remarqué que les déformations (ϵ_{yy}) ont des valeurs maximales à la base de la colonne.

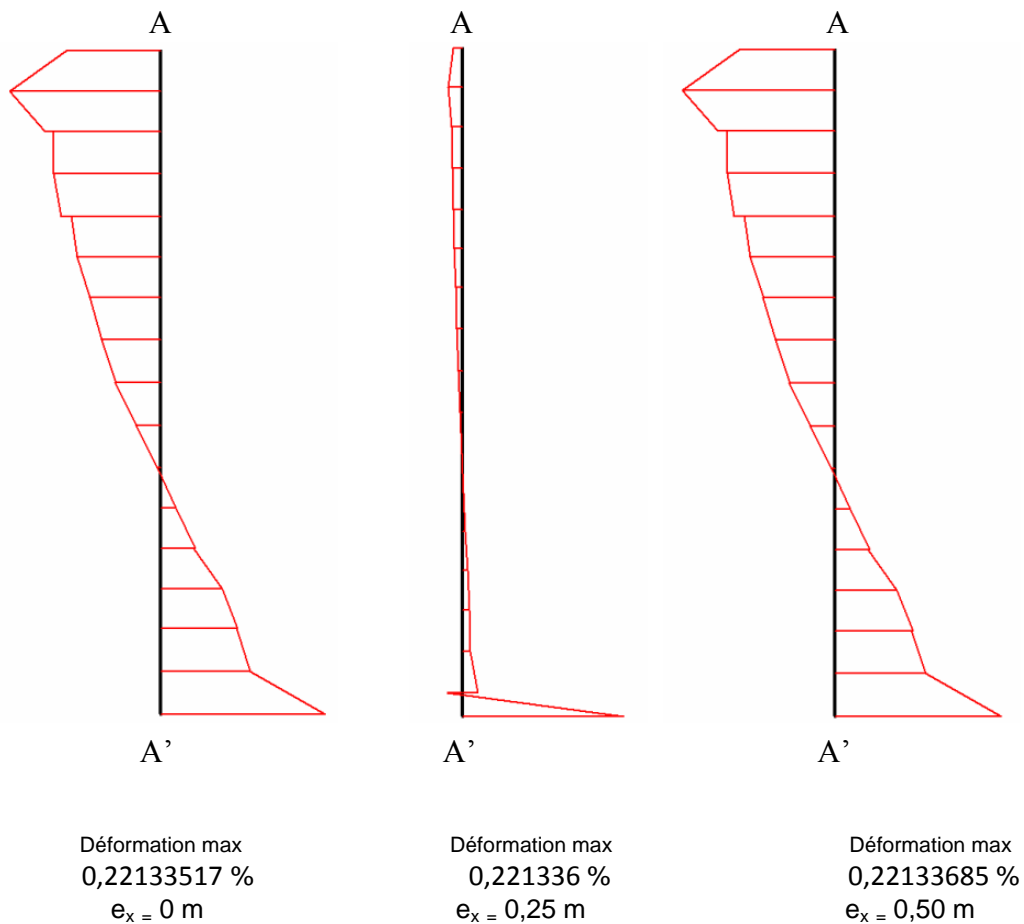


Figure IV.11a : Courbes de Déformation dans la Colonne 1 suivant l'axe des ordonnées selon le point d'application de la charge (excentricité e_x)

B.3. Déformations dans le plan xy :

Les déformations dans le plan xy (ϵ_{xy}) augmentent sur la partie supérieure à l'intervalle [9,75 m à 9,2195439 m] sur une partie de la partie intermédiaire et inférieure de la côte 4,2484122 m à la côte 2,1265878 m, et diminuent sur la partie supérieure et intermédiaire de la côte 8,6890878 m à la côte 4,8117061 m, puis sur la partie inférieure à l'intervalle [1,5632939 m à 1 m] quelque soit la variation de la charge appliquée entre 0 et 0,50 m. D'après la figure IV.12a, on a constaté que les valeurs maximales sont localisées au sommet de la colonne pour chaque excentricité.

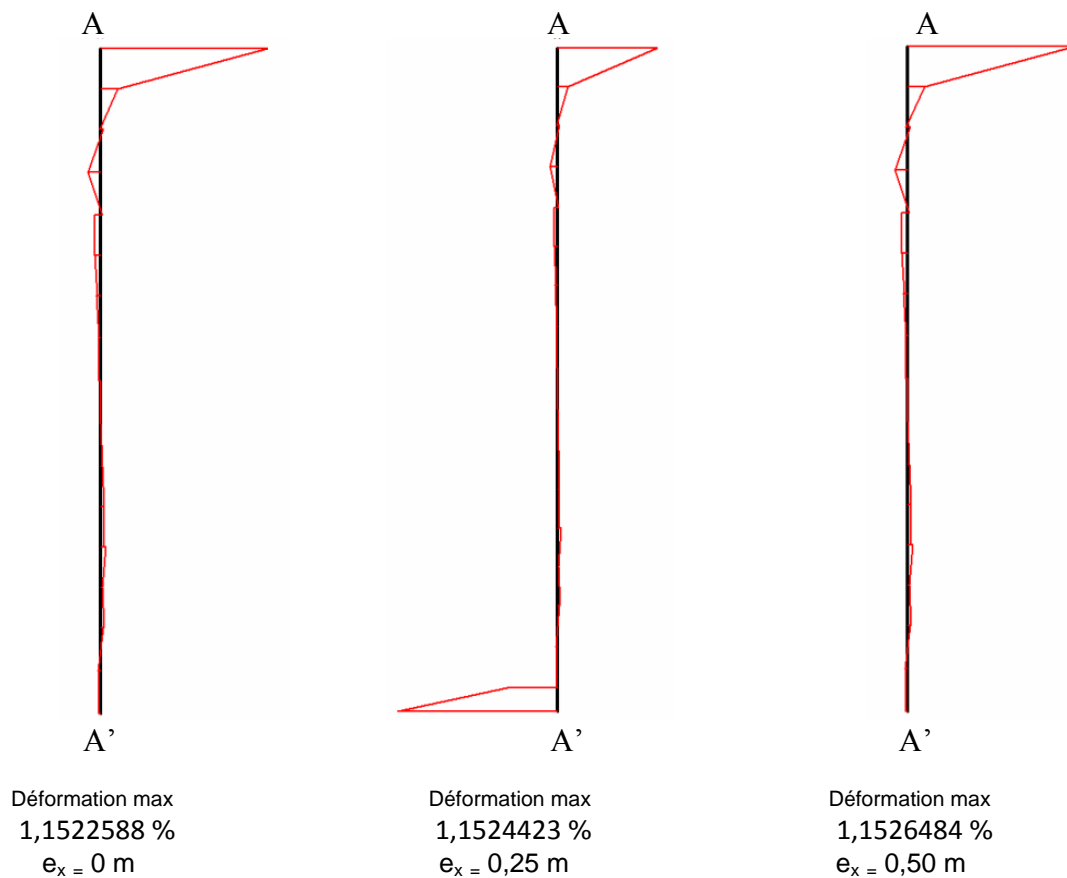


Figure IV.12a : Courbes de Déformation dans la Colonne 1 dans le plan xy selon le point d'application de la charge (excentricité e_x)

C. Contraintes :

C.1. Contraintes suivant l'axe des abscisses :

Les contraintes effectives suivant l'axe des abscisses (σ'_{xx}) amplifient le long de la profondeur de la colonne quand le point d'application de la charge varie de 0 à 0,50 m. Seulement, dans les quatre côtes : 3,7179561 m, 2,6570439 m, 2,1265878 m, 2,1265878 m on a enregistré des valeurs semblables lorsque la charge est apposée sur les deux excentricités 0 et 0,25 m. Si l'excentricité est égale à 0,50 m, les contraintes effectives augmentent. À la côte 1,5632939 m, elles ont des valeurs similaires quelque soit le point d'application de la charge.

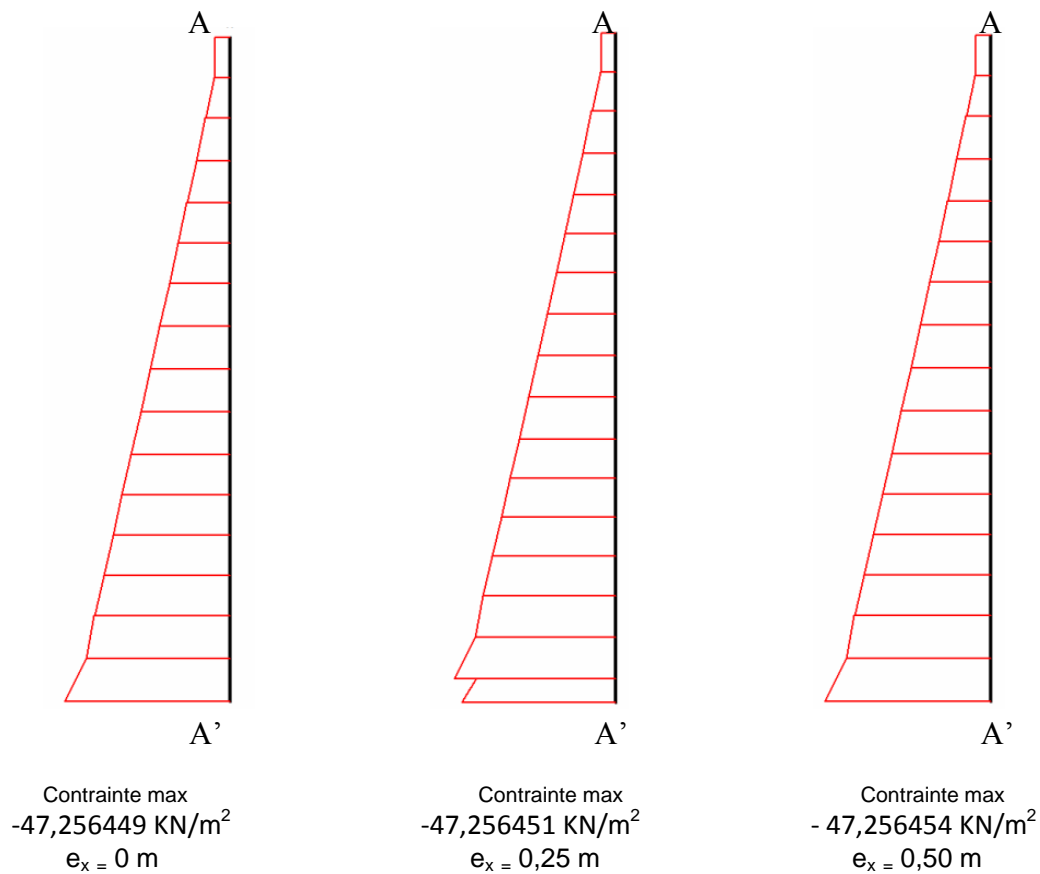


Figure IV.13a : Courbes des Contraintes dans la Colonne 1 suivant l'axe des abscisses selon le point d'application de la charge (excentricité e_x)

C.2. Contraintes suivant l'axe des ordonnées :

On a distingué une diminution des contraintes effectives suivant l'axe des ordonnées (σ'_{yy}) le long de la profondeur de la colonne suivant le positionnement du point d'application de la charge entre 0 et 0,50 m. Les résultats et les courbes de la figure IV.14a présentent une augmentation des contraintes effectives (σ'_{yy}) en fonction de la profondeur (y) de la colonne d'une manière linéaire.

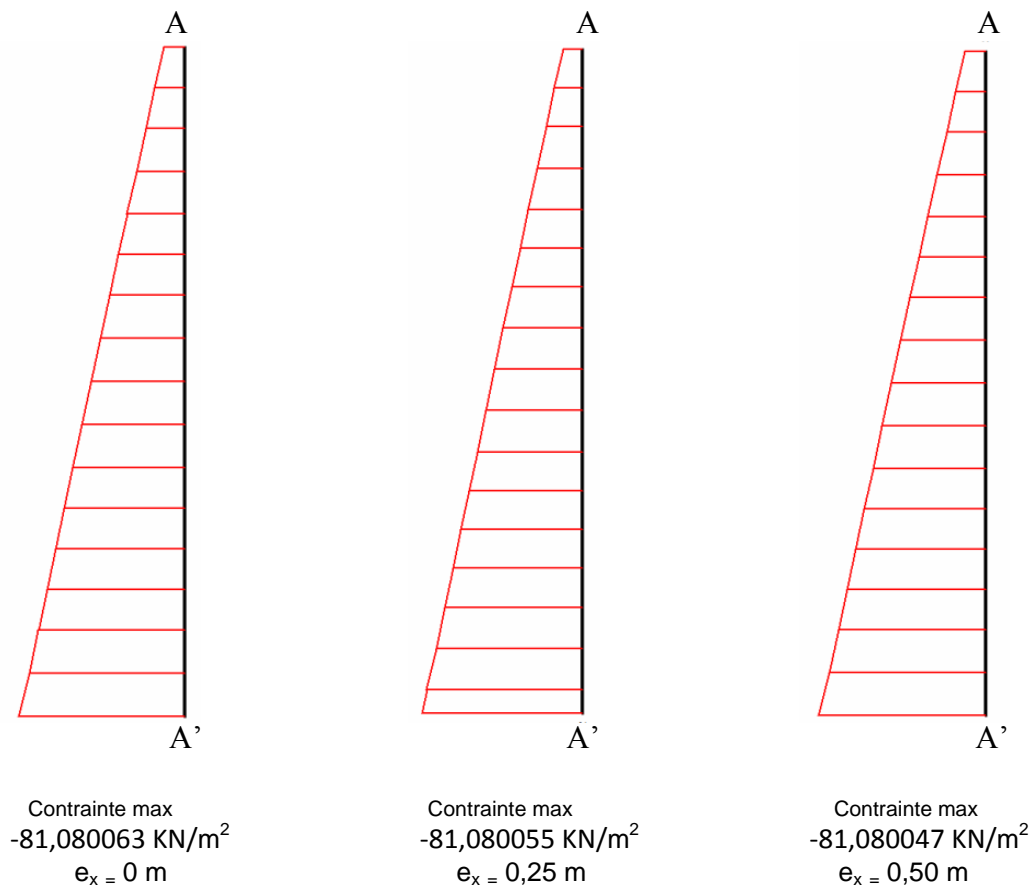


Figure IV.14a : Courbes des Contraintes dans la Colonne 1 suivant l'axe des ordonnées selon le point d'application de la charge (excentricité e_x)

C.3. Contraintes dans le plan xy :

La modification du point d'application de la charge entre 0 et 0,50 m, engendre une augmentation des contraintes effectives dans le plan xy ($\sigma'_{xy} = \sigma_{xy}$) au sommet, à la base de la colonne dans les trois côtes : 9,75 m, 9,2195439 m et la côte 1,00 m et sur la partie intermédiaire et inférieure dans l'intervalle [4,2484122 m à 2,1265878 m]. Néanmoins, une diminution est enregistrée sur les valeurs des contraintes effectives dans l'intervalle [8,6890878 m à 4,8117061m] et la côte 1,5632939 m situées sur la partie intermédiaire et inférieure.

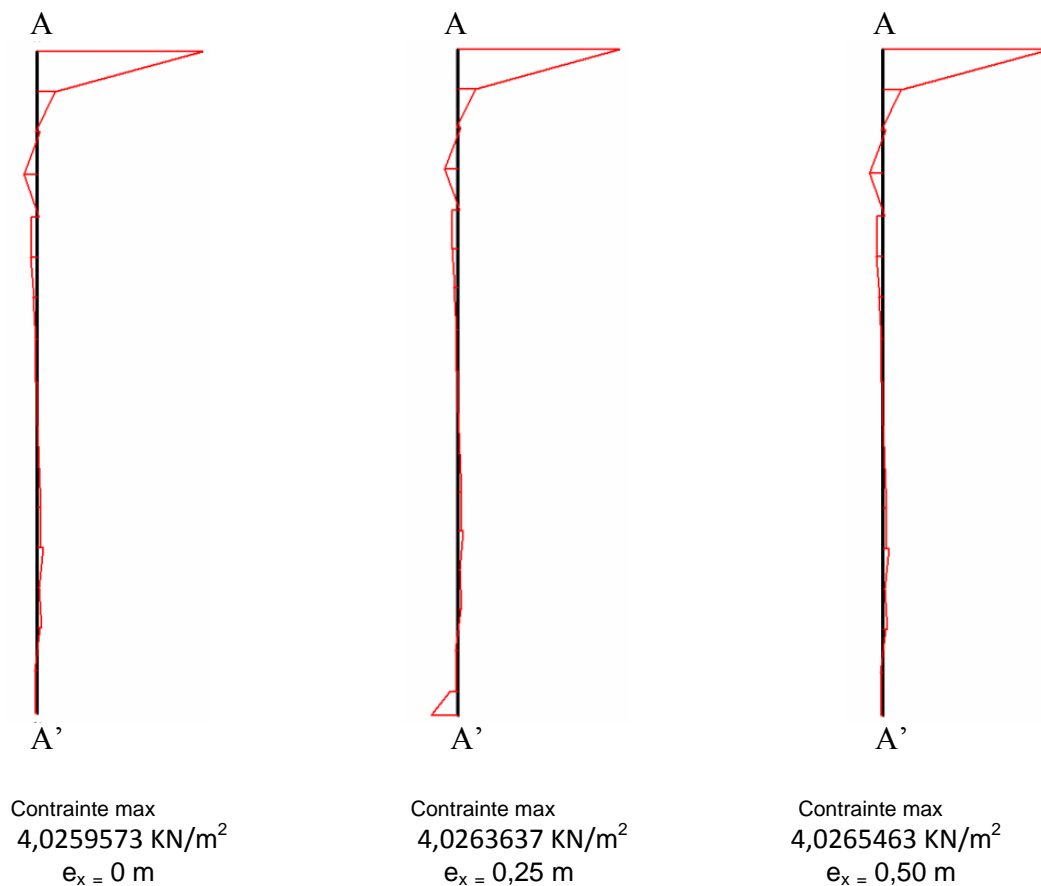


Figure IV.15a : Courbes des Contraintes dans la Colonne 1 dans le plan xy selon le point d'application de la charge (excentricité e_x)

D. Pressions Actives :

Lors de la variation du point d'application de la charge entre les trois excentricités : 0 ; 0,25 m et 0,50 m, on constate une constance sur les valeurs des pressions actives sur la majorité des sections de la colonne, et plus particulièrement une croissance de l'ordre 10^{-6} dans les cinq côtes: 7,0320439 m, 4,2484122 m, 3,7179561m, 3,1875m et la côte 2,1265878 m. Au sommet de la colonne et notamment dans les deux côtes : 9,75 m et 9,2195439 m, les pressions actives augmentent lorsque l'excentricité est variée de 0 à 0,50 m et diminuent quand l'excentricité est égale à 0,50 m. Les courbes de la *figure IV.16a* définissent une variation linéaire des pressions actives suivant l'évolution de la profondeur de la colonne.

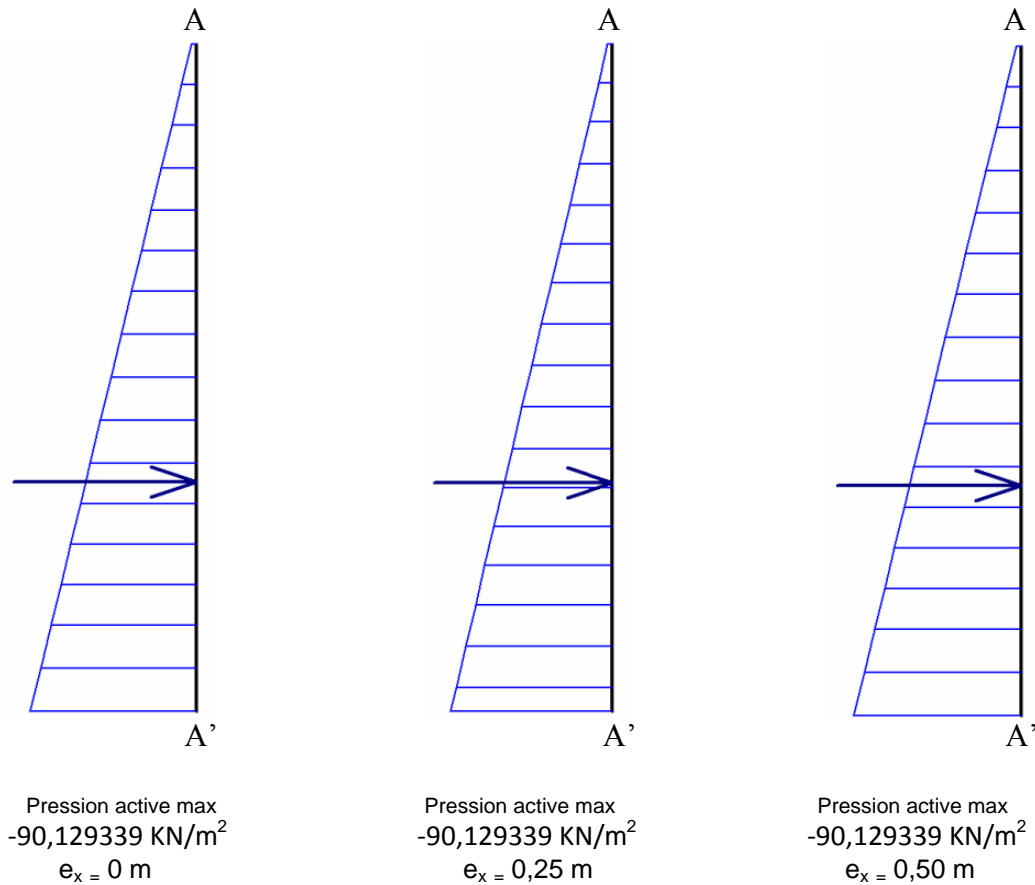


Figure IV.16a : Courbes des pressions actives dans la colonne 1 selon le point d'application de la charge (excentricité e_x)

IV.1.1.3. Conclusion des résultats des colonnes 1 et 2 et leurs interprétations :

La variation des résultats des (déplacements, déformations, pressions actives) entre la colonne 2 (figures : IV.1a, IV.2a, IV.3a, IV.4a, IV.5a, IV.6a, IV.7a et IV.8a) et la colonne 1 (figures : IV.9a, IV.10a, IV.11a, IV.12a, IV.13a, IV.14a, IV.15a et IV.16a) a permis de déduire les causes de changement du point d'application de la charge entre 0 et 0,5m suivantes :

1. La proximité de la charge appliquée à la colonne 2 par rapport à la colonne 1 : La charge appliquée converge vers la colonne 2 d'une distance de 0,50 m et diverge de la colonne 1 de la même distance (voir Figure III .2) ;
2. L'emplacement des deux colonnes 1 et 2 : la colonne 2 est positionnée à droite de la charge appliquée. Par contre, la colonne 1 est placée dans le sens opposée de la charge appliquée (à gauche de la charge), et sont les plus sollicitées car elles sont situées aux rives (voir Figure III .2);
3. La distribution de la charge appliquée est inéquitable entre les deux colonnes 1 et 2 et leurs sections : la répartition de la charge dans la colonne 2 est plus grande que celle de la colonne 1 ;

4. La force de poussée des terres : c'est une force active qui influe considérablement sur deux colonnes de rives.

IV.1.1.4. Analyse et interprétation des résultats de la colonne 4 :

D'après les résultats issus les courbes des figures (*IV.17a, IV.18a, IV.19a, IV.20a, IV.21a, IV.22a, IV.23a et IV.24a*) représentant le comportement de la colonne 4 située à droite de la charge on constate :

A. Déplacement :

A.1. Déplacement Total :

Au moment de changement du point d'application de la charge entre 0 et 0,50, les déplacements augmentent de la côte 8,7497113 m à la côte 4,5835258 m et diminuent sur la partie inférieure de la côte 3,1875 m jusqu'à la base de la colonne (la côte 1,00 m). Néanmoins, au sommet de la colonne dans la côte 9,75 m, ils amplifient si la charge est appliquée à 0 et 0,25 m et diminuent si la charge est apposée à 0,50 m. En revanche, dans la côte 9,2498557 m on a enregistré le cas contraire et particulièrement à la côte 4,1877887 m les valeurs sont similaires.

Les résultats enregistrés et les courbes de la *figure IV.17a* présentent une croissance sur les valeurs des déplacements jusqu'à l'atteinte d'une valeur maximale à la côte 6,1664742 m, puis ils diminuent d'une façon progressive jusqu'à la base de la colonne.

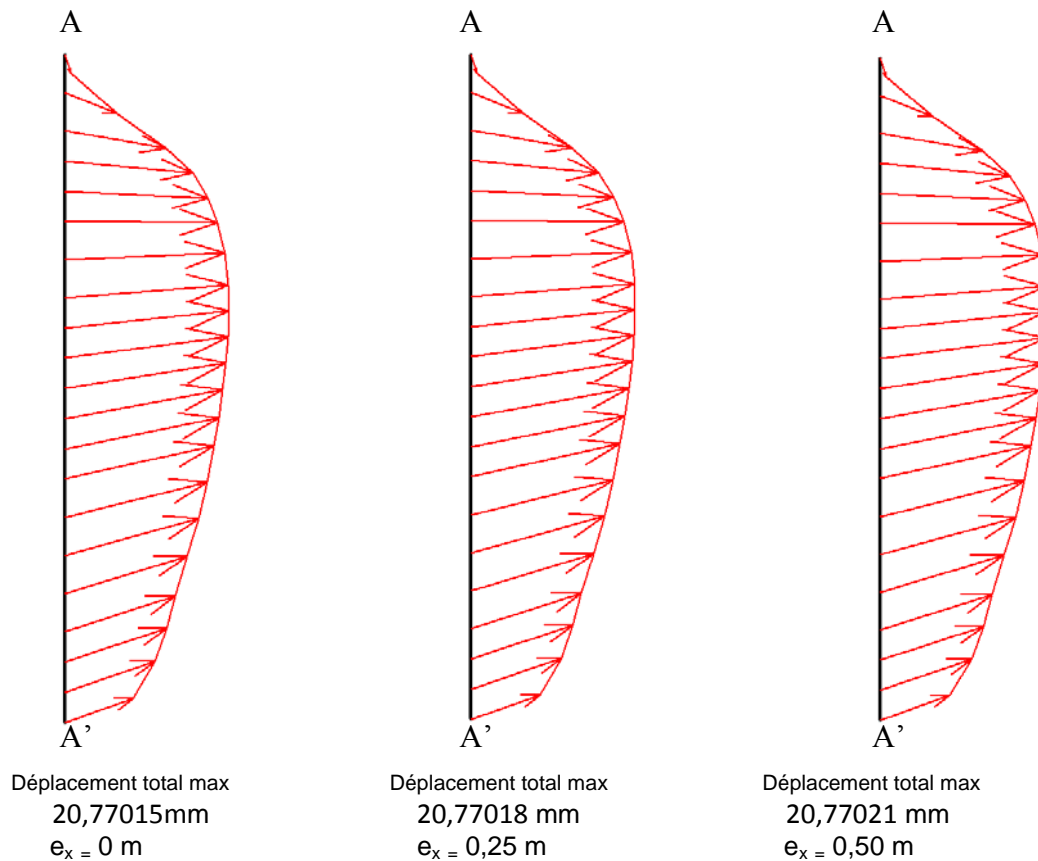


Figure IV.17a : Courbes de Déplacement dans la Colonne 4 selon le point d'application de la charge (excentricité e_x)

B. Déformations :

B.1. Déformations suivant l'axe des abscisses :

Lors de la variation de la charge appliquée entre les excentricités : 0 ; 0,25 m et 0,50 m, les déformations suivant l'axe des abscisses (ϵ_{xx}) diminuent sur la partie intermédiaire et inférieure de la côte 6,5622113 m à la côte 1,00 m et augmentent dans la côte 7,0623557 m. Toutefois, sur la partie supérieure de la côte 9.75 à la côte 7,5625 m, on a constaté un accroissement lorsque le point d'application de la charge est varié de 0 à 0,25 m, et une réduction quand le point d'application de la charge est égale à 0,50 m. On a perçu à partir des résultats et les courbes de la *figure IV.18a* de chaque excentricité une variation non uniforme des déformations sur la partie supérieure jusqu'à la côte 7,062355 m, ensuite ils changent le sens avec une croissance sur les valeurs des déformations jusqu'à la base de la colonne où ces dernières ont des valeurs maximales.

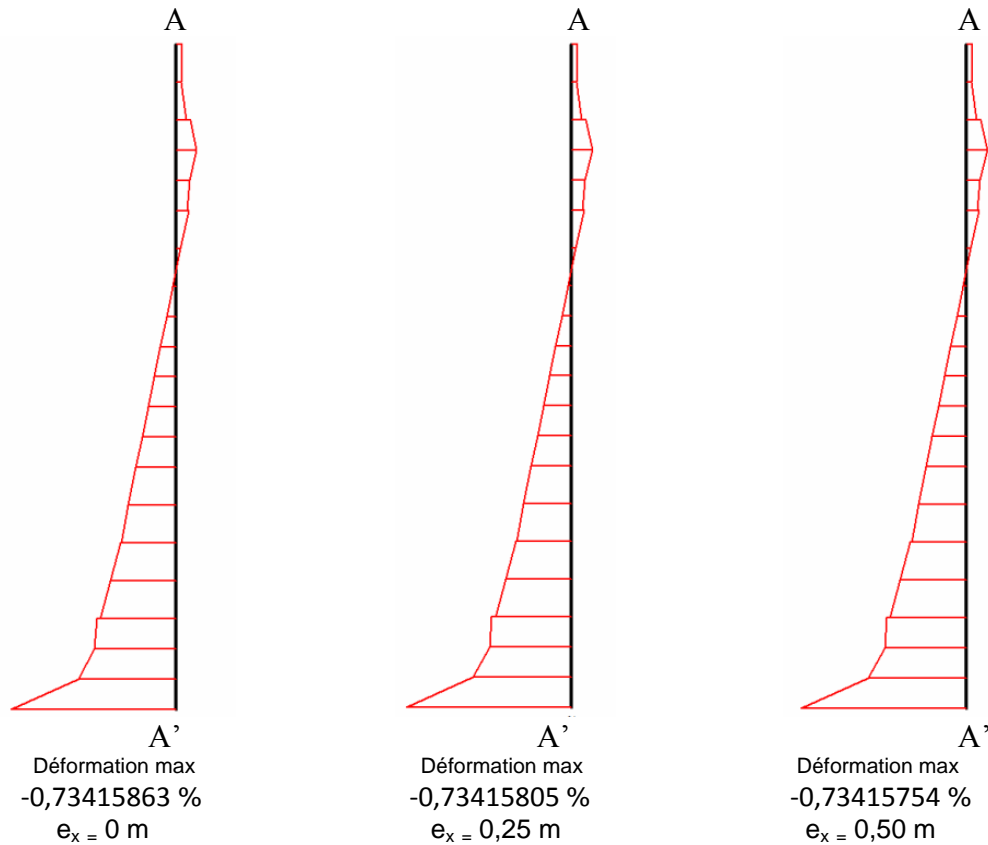


Figure IV.18a : Courbes de Déformation de la Colonne 4 suivant l'axe des abscisses selon le point d'application de la charge (excentricité e_x)

B.2. Déformations suivant l'axe des ordonnées :

Après le changement du point d'application de la charge entre 0 et 0,50 m, on distingue une augmentation des déformations (ϵ_{yy}) à la côte 8,7497113 m, une autre à l'intervalle de la côte 7.5625 à la côte 3.1875m et une diminution à partir de la côte 2,6873557 m jusqu'à la base de la colonne (la côte 1,00 m). Dans les trois côtes : 9,2498557 m, 8,3539742 m et la côte 7,9582371 m, les déformations (ϵ_{yy}) augmentent si l'excentricité est variée de 0 à 0,25 m et réduisent si l'excentricité est égale à 0,50 m. Par contre, le cas inverse est observé au sommet de la colonne à la côte 9,75 m. La *figure IV.19a* montre que la valeur maximale est enregistré à la base de la colonne.

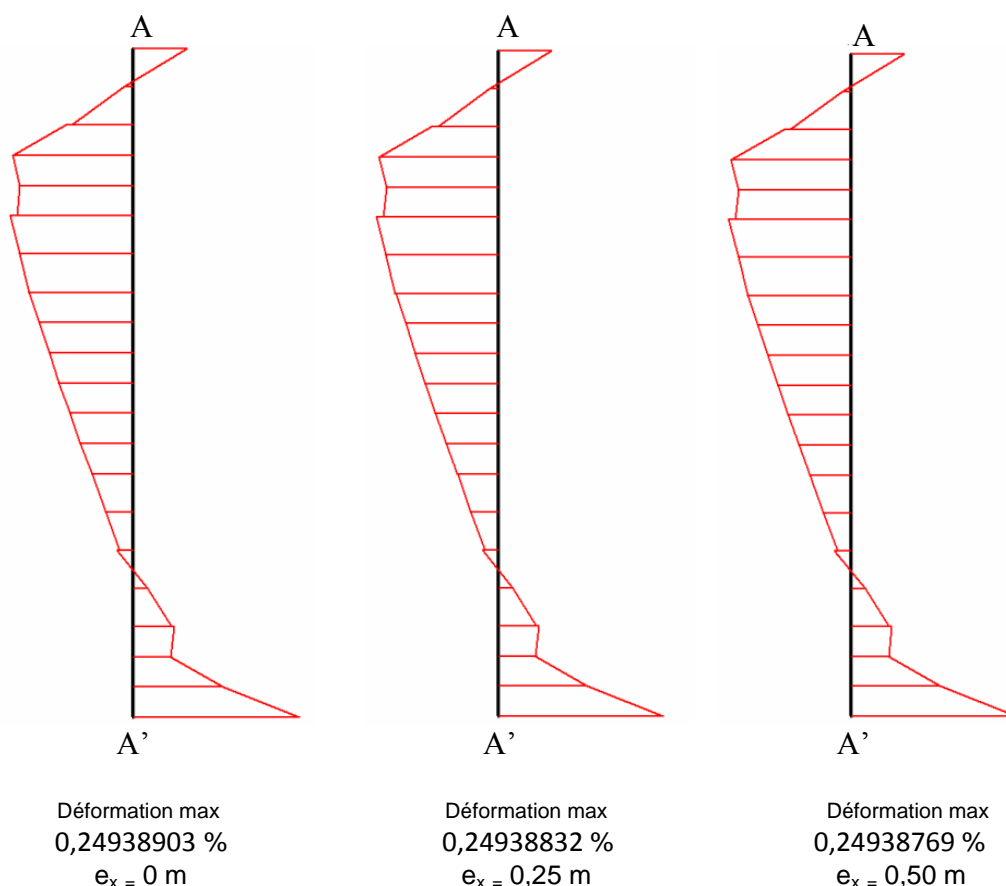


Figure IV.19a : Courbes de Déformation de la Colonne 4 suivant l'axe des ordonnées selon le point d'application de la charge (excentricité e_x)

B.3. Déformations dans le plan xy :

Suivant la position du point d'application de la charge entre 0 et 0,50 m, les déformations (ϵ_{xy}) augmentent dans les côtes : 9,75 m, 7,9582371 m, 7,5625 m et la côte 1,00 m et diminuent à la côte 8,3539742 m et à la côte 2,1872113 m. Néanmoins, aux côtes 9,2498557 m et 8,7497113 m, elles amplifient si l'excentricité est placée sur le point 0 et 0,25m et réduisent si l'excentricité est égale à 0,50 m. En revanche, dans l'intervalle [7,0623557 m à 2,1872113 m], les déformations affichent le cas contraire, ensuite elles prennent des valeurs similaires dans les deux côtes : 1,7914742 m et la côte 1,3957371 m quand le point d'application varie de 0,25 m à 0,50 m. Les courbes de la figure IV.20a localisent les valeurs maximales au sommet de la colonne.

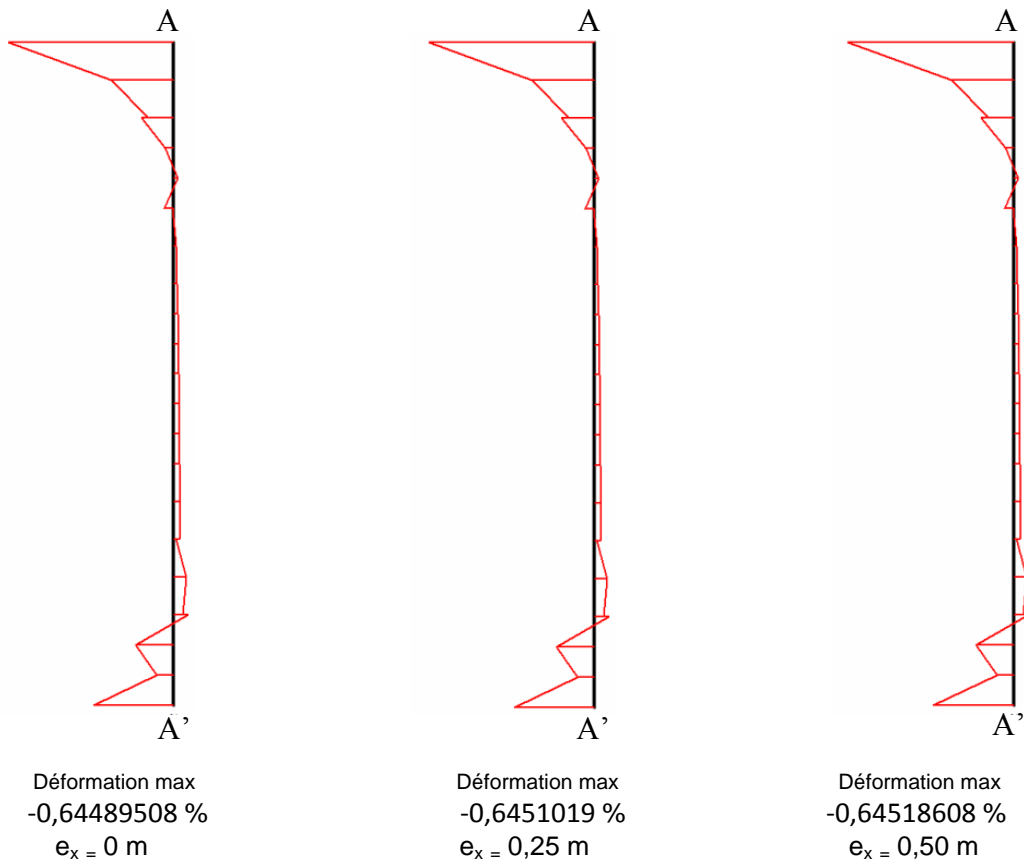


Figure IV.20a : Courbes de Déformation de la Colonne 4 dans le plan xy selon le point d'application de la charge (excentricité e_x)

C. Contraintes :

C.1. Contraintes suivant l'axe des abscisses :

Lors de la variation de la charge appliquée entre les valeurs d'excentricités (0 ; 0,25 m, 0,50 m), les contraintes effectives suivant l'axe des abscisses (σ'_{xx}) diminuent dans les côtes suivants: 8,3539742m, 2,6873557m, 1,00 m et à l'intervalle [6,5622113 m à 3,6876443 m], et augmentent à la côte 7,9582371 m. Par ailleurs, dans les deux côtes 9,2498557 m et 8,7497113 m, on a observé un accroissement sur les valeurs des contraintes quand la charge est appliquée sur les points: 0 et 0,25 m et une réduction si la charge est située sur le point 0,50 m, mais le cas inverse est enregistré dans les trois côtes de la partie supérieure :9,75 m, 7,5625 m et 7,0623557 m. En outre, sur la partie inférieure et dans les quatre dernières côtes à partir de la côte 3,1875 m, on a distingué des valeurs identiques si l'excentricité est variée de 0,25 m à 0,50 m et sur une seule côte (2,1872113m) lorsque l'excentricité est variée de 0 à 0,25 m. D'après la *figure IV.21a*, on a vu que les contraintes effectives (σ'_{xx}) prennent une augmentation d'une manière linéaire en fonction de la variation de la profondeur (y).

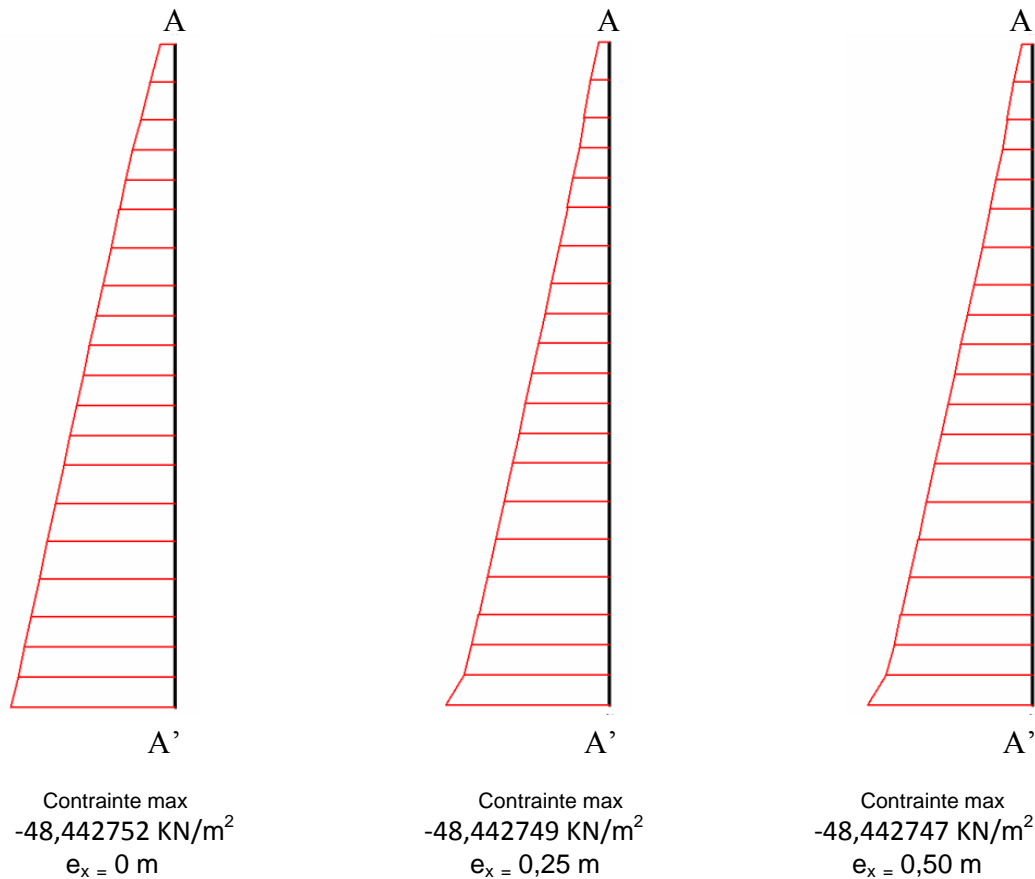


Figure IV.21a : Courbes des Contraintes dans la Colonne 4 suivant l'axe des abscisses selon le point d'application de la charge (excentricité e_x)

C.2. Contraintes suivant l'axe des ordonnées :

A partir de changement du point d'application de la charge appliquée entre les points d'excentricités, on a observé une amplification des contraintes effectives suivant l'axe des ordonnées (σ'_{yy}) si la charge est située sur les points : 0 et 0,25 m et une réduction si la charge est appliquée à 0,50 m à l'intervalle de la côte 9,75 m à la côte 7.5625. En contrepartie, ces dernières augmentent sur le restant de la profondeur et à partir de la côte 7.0623557 m jusqu'à la base de la colonne (la côte 1,00 m). D'après la *figure IV.22a*, on a constaté que les contraintes effectives (σ'_{yy}) évoluent d'une manière linéaire selon le changement de la profondeur de la colonne.

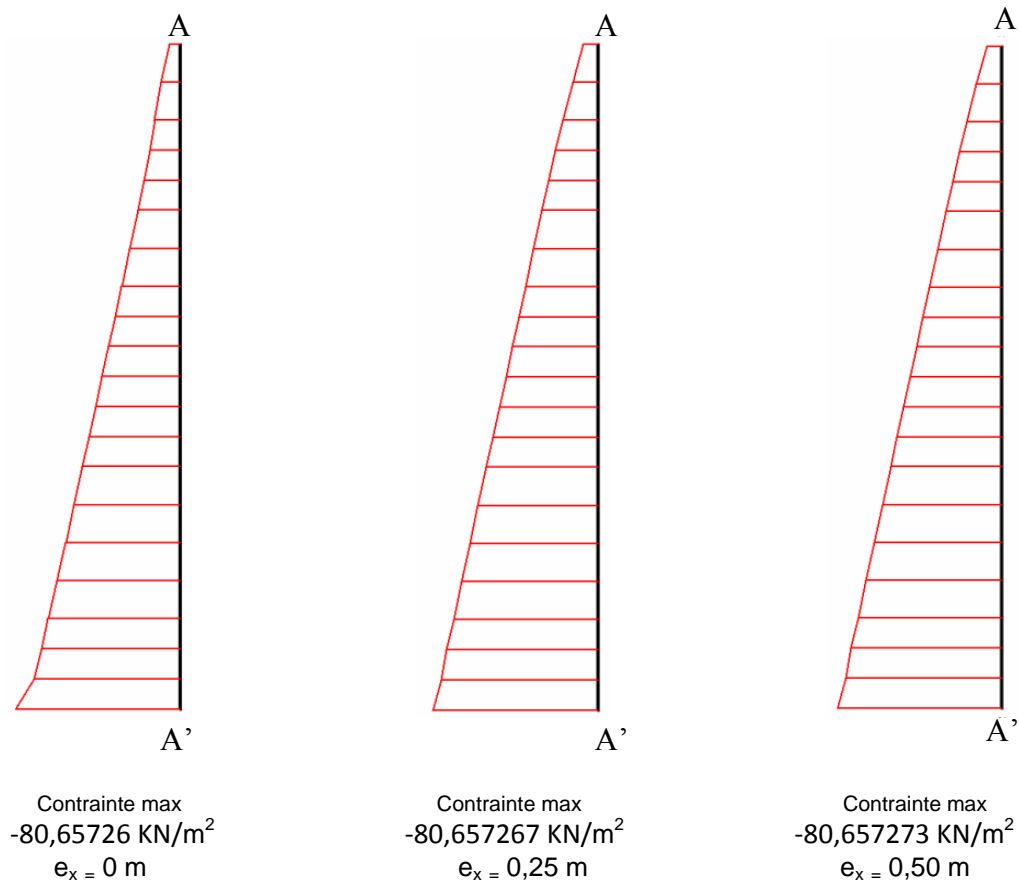


Figure IV.22a : Courbes des Contraintes dans la Colonne 4 suivant l'axe des ordonnées selon le point d'application de la charge (excentricité e_x)

C.3. Contraintes effectives dans le plan xy :

Les contraintes effectives dans le plan xy ($\sigma'_{xy} = \sigma_{xy}$) augmentent dans les côtes : 9,75 m, 7,9582371 m, 7,5625m et à l'intervalle [1,7914742m à 1,00 m] et diminuent à la côte 8,3539742 m quel que soit la position du point d'application de la charge entre 0 et 0,50 m. Par contre, dans l'intervalle de la côte 7,0623557 m à la côte 2,1872113 m, on a constaté une réduction des contraintes effectives dans le plan xy lorsque la charge est apposée sur les deux excentricités 0 et 0,25 m et une amplification si la charge appliquée est fixé à 0,50 m. Mais le cas contraire a été enregistré dans les deux côtes: la côte 9,2498557m et la côte 8,7497113 m. Les contraintes effectives dans le plan xy atteignent leurs valeurs maximales au sommet de la colonne comme le montre la *figure IV.23a*.

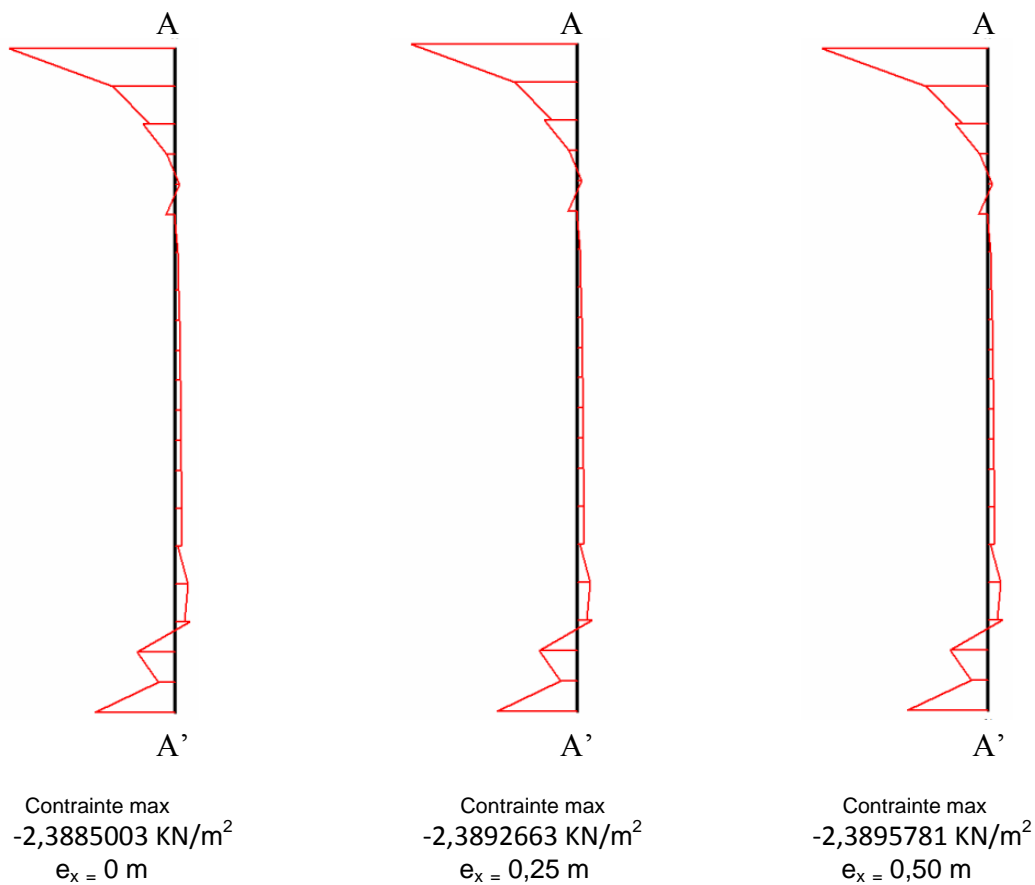


Figure IV.23a : Courbes des Contraintes dans la Colonne 4 dans le plan xy selon le point d'application de la charge (excentricité e_x)

D. Pressions Actives :

Lors de la variation de la charge appliquée entre 0 et 0,50 m, on remarque une constante des pressions actives le long de la profondeur de la colonne lorsque l'excentricité est variée de 0 à 0,25 m. En revanche, si le point d'application de la charge est égale à 0,50 m, on a enregistré une diminution sur les valeurs des pressions actives de l'ordre 10^{-6} dans la majorité des sections de la colonne. Néanmoins, on a observé une constante sur les valeurs des pressions actives dans quelques sections si la charge est située sur le même point d'application qui est 0,50m. On a perçu à partir de la *figure IV.24a* que les pressions actives augmentent d'une manière linéaire en fonction de l'évolution de la profondeur(y) de la colonne.

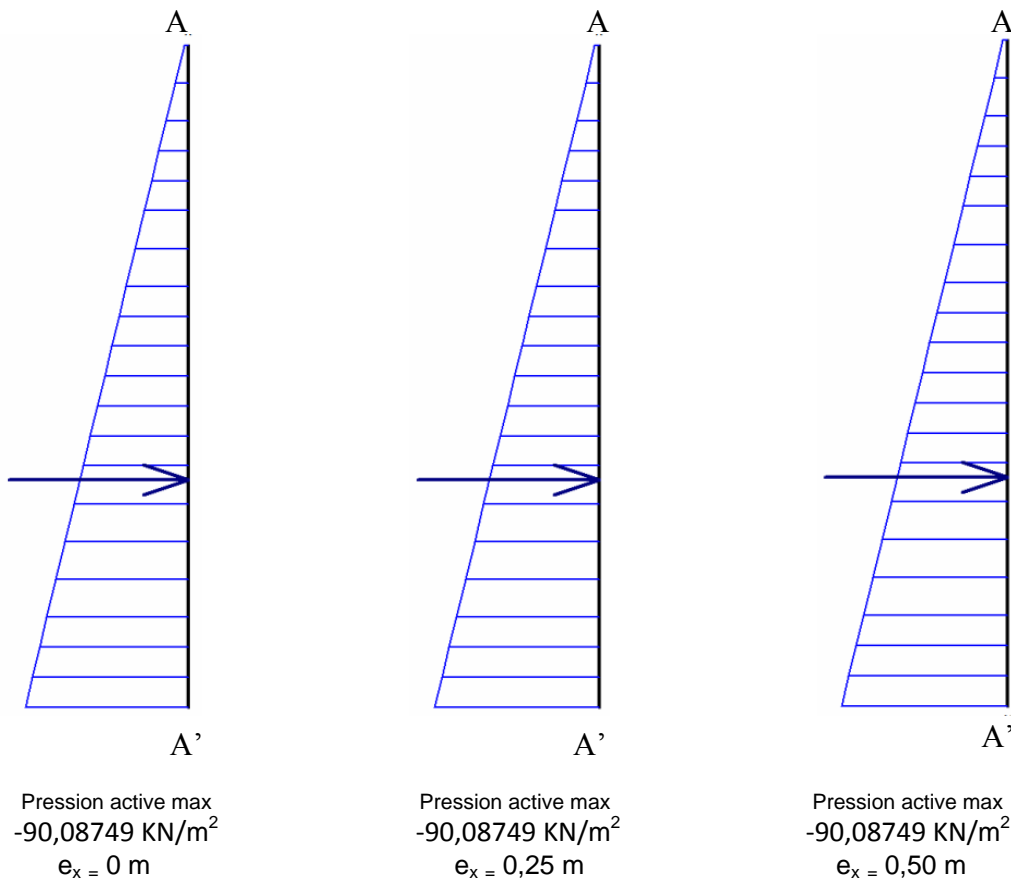


Figure IV.24a: Courbes des pressions actives dans la colonne 4 selon le point d'application de la charge (excentricité e_x)

IV.1.1.5. Analyse et interprétation des résultats de la colonne 3 :

D'après les résultats issus les courbes des figures (IV.25a, IV.26a, IV.27a, IV.28a, IV.29a, IV.30a, IV.31a et IV.32a) représentant le comportement de la colonne 3 située à gauche de la charge on constate :

A. Déplacement:

A.1. Déplacement Total :

Suite à la variation du point d'application de la charge entre 0 et 0,50 m, les déplacements diminuent à l'intervalle de la côte 9,2271218 m à la côte 7,0396218 m et augmentent dans l'intervalle de la côte 6,5167436 m à la côte 1,00 m. Néanmoins au sommet de la colonne à la côte 9,75 m, on a enregistré une réduction lorsque l'excentricité varie de 0 à 0,25m et un accroissement si l'excentricité est égale à 0,50 m.

Les résultats et les courbes de la figure IV.25a présentent une amplification de déplacement jusqu'à la côte 7,5625 m, puis elle fléchit sur trois sections dont les valeurs : 7,0396218 m, 6,5167436 m et 6,1361624 m, ensuite elle augmente jusqu'à l'atteinte d'une valeur maximale

à la côte 2,6646218 m et diminue à partir de cette dernière valeur jusqu'à la base de la colonne.

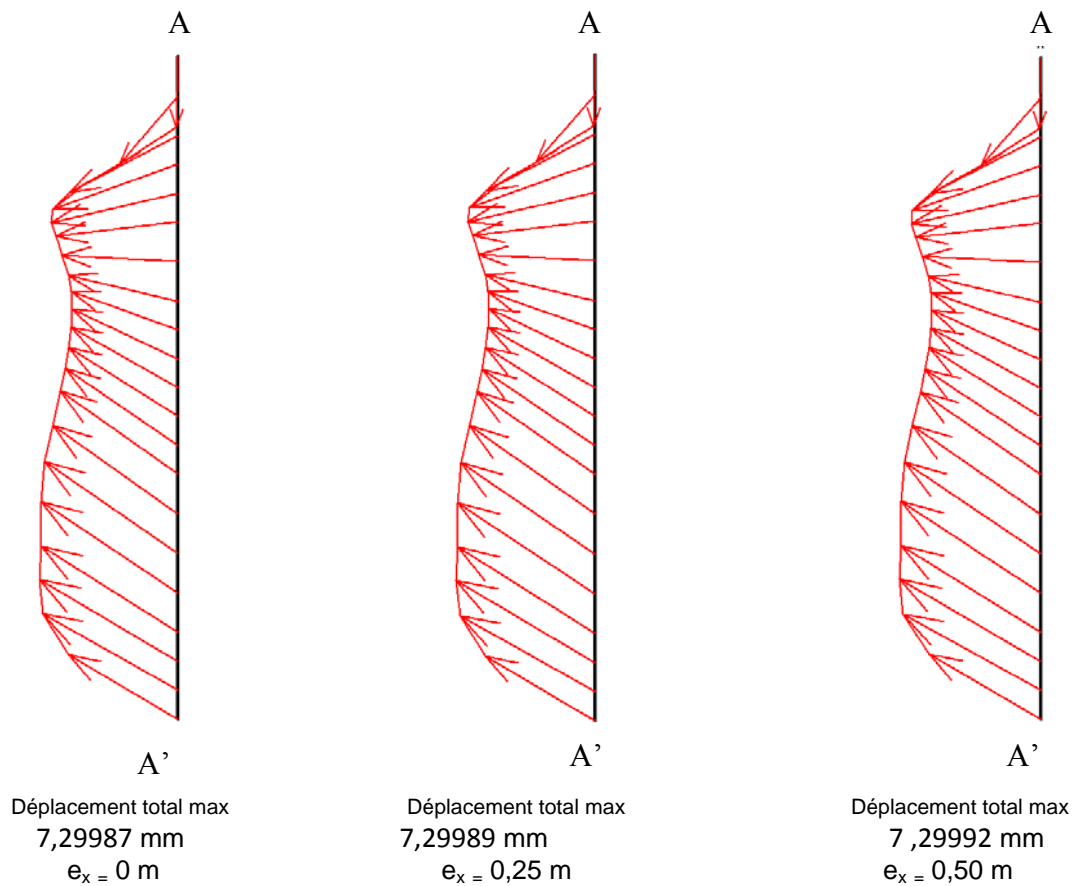


Figure IV.25a : Courbes de Déplacement dans la Colonne 3 selon le point d'application de la charge (excentricité e_x)

B. Déformations :

B.1. Déformations suivant l'axe des abscisses :

Selon le positionnement du point d'application de la charge entre 0 et 0,50m, les déformations suivant l'axe des abscisses (ϵ_{xx}) réduisent de la côte 9.75 à la côte 4,9944188 m et augmentent à partir de la côte 4,6138376 m jusqu'à la base de la colonne. Toutefois, on remarque que les valeurs maximales sont enregistrées à la base de la colonne. Ce constat a été illustré dans la figure IV.26a.

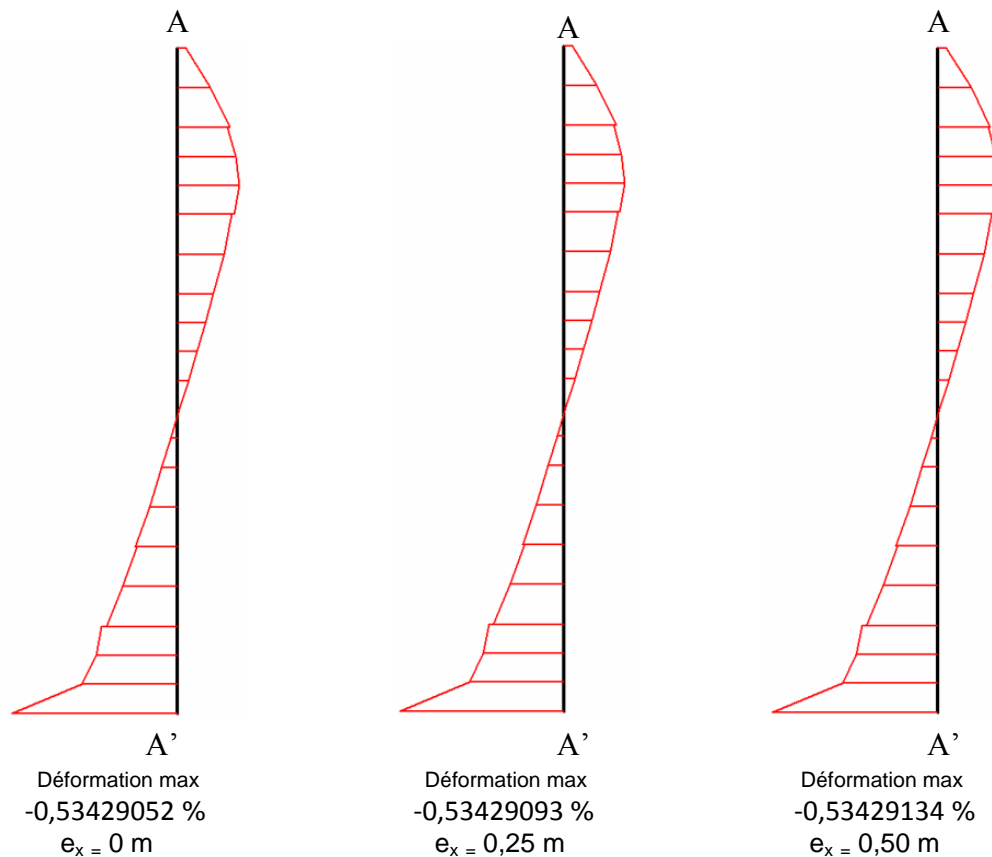


Figure IV.26a : Courbes de Déformation dans la Colonne 3 suivant l'axe des abscisses selon le point d'application de la charge (excentricité e_x)

B.2. Déformations suivant l'axe des ordonnées :

La position de la charge appliquée entre 0 et 0,50 m produit au sommet de la colonne à la cote 9,75 m et à l'intervalle de la cote 2,6646218 m à la cote 1,00 m une augmentation des déformations suivant l'axe des ordonnées (ϵ_{yy}), et une diminution à l'intervalle de la cote 9,2271228 m à la cote 3,1875 m. On observe à partir de la *figure IV.27a* que les déformations suivant l'axe des ordonnées (ϵ_{yy}) maintiennent leurs valeurs maximales à la base de la colonne.

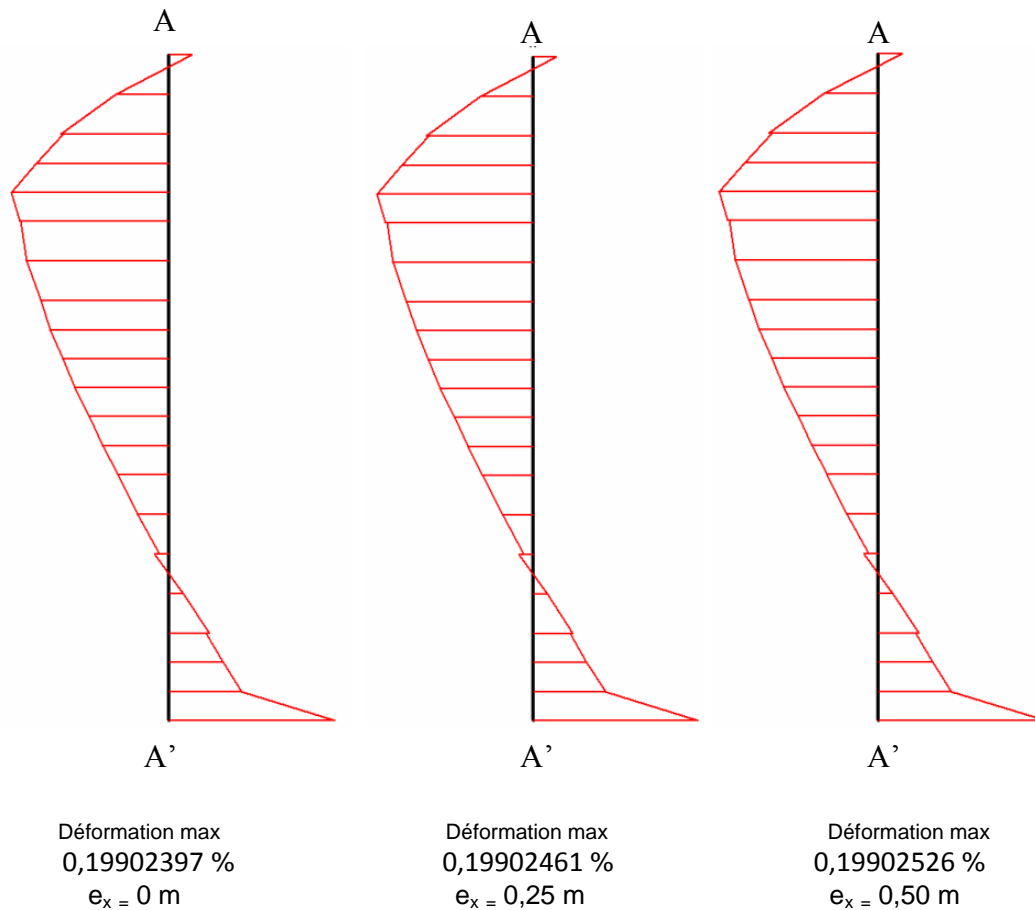


Figure IV.27a : Courbes de Déformation dans la Colonne 3 suivant l'axe des ordonnées selon le point d'application de la charge (excentricité e_x)

B.3. Déformations dans le plan xy :

Le changement du point d'application de la charge entre 0 et 0,50 m, crée une augmentation à l'intervalle de la côte 8,3236624 m à la côte 1,3805812 m sur les valeurs des déformations dans le plan xy (ϵ_{xy}), et une diminution à l'intervalle de la côte 9,2271218 m à la côte 8,7042436 m et à la côte 1,00 m la base de la colonne. Par contre, au sommet de la colonne (la côte 9,75 m) où les déformations dans le plan xy portent des valeurs maximales, amplifient si le point d'application de la charge est varié de 0 à 0,25 m et diminuent quand l'excentricité est égale à 0,50 m.

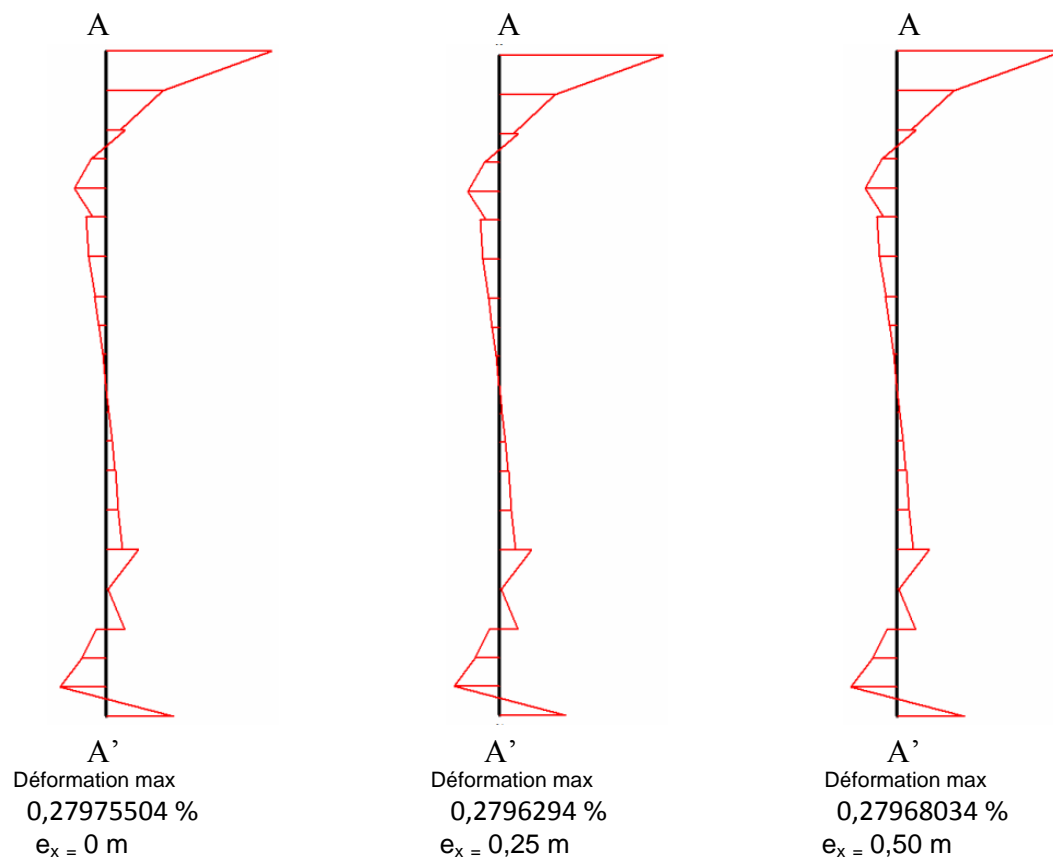


Figure IV.28a : Courbes de Déformation dans la Colonne 3 dans le plan xy
selon le point d'application de la charge (excentricité e_x)

C. Contraintes :

C. 1. Contraintes suivant l'axe des abscisses :

Lors de la variation de la charge appliquée entre 0 et 0,50 m, on a noté une augmentation des contraintes effectives suivant l'axe des abscisses (σ'_{xx}) au sommet de la colonne à la cote 9,75 m, à l'intervalle de la cote 8,7042436 m à la cote 4,2332564 m, et à la base de la colonne à la cote 1,00 m. Entre autre, on a enregistré une diminution à la cote 9,2271218 m et des valeurs constantes dans quelques sections si l'excentricité varie de 0 à 0,25 m. En revanche, sur la partie inférieure de la cote 3,1875 m à la cote 1,3805812 m, les contraintes ont des valeurs similaires quelque soit la valeur d'excentricité. La figure IV.29a définit une augmentation des contraintes effectives (σ'_{xx}) d'une manière linéaire en fonction de la variation de la profondeur (y) de la colonne.

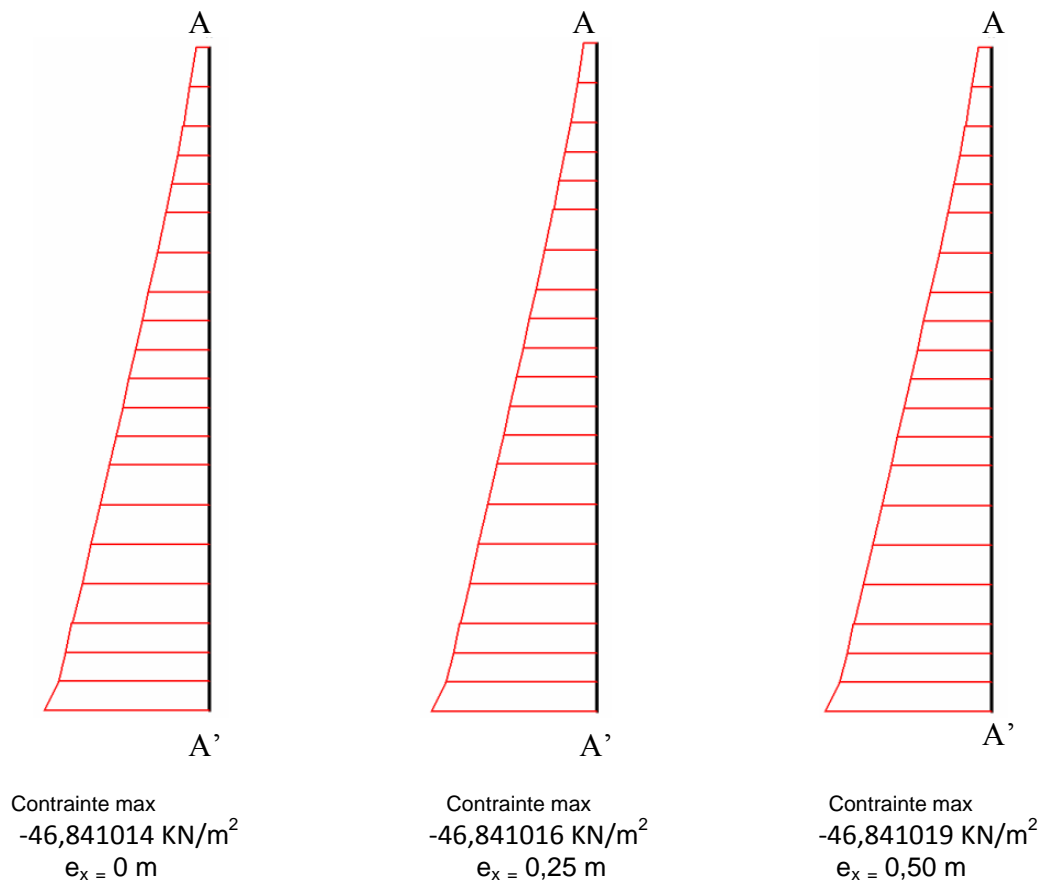


Figure IV.29a : Courbes des Contraintes dans la Colonne 3 suivant l'axe des abscisses selon le point d'application de la charge (excentricité e_x)

C. 1. Contraintes suivant l'axe des ordonnées :

On a différencié une diminution des contraintes effectives suivant l'axe des ordonnées (σ'_{yy}) le long de la profondeur de la colonne selon la modification du point d'application de la charge entre 0 et 0,50 m. Toutefois, on a constaté une amplification d'une manière linéaire des contraintes effectives (σ'_{yy}) jusqu'à la base de la colonne où les contraintes ont des valeurs maximales. Ce constat est illustré à la *figure IV.30a*.

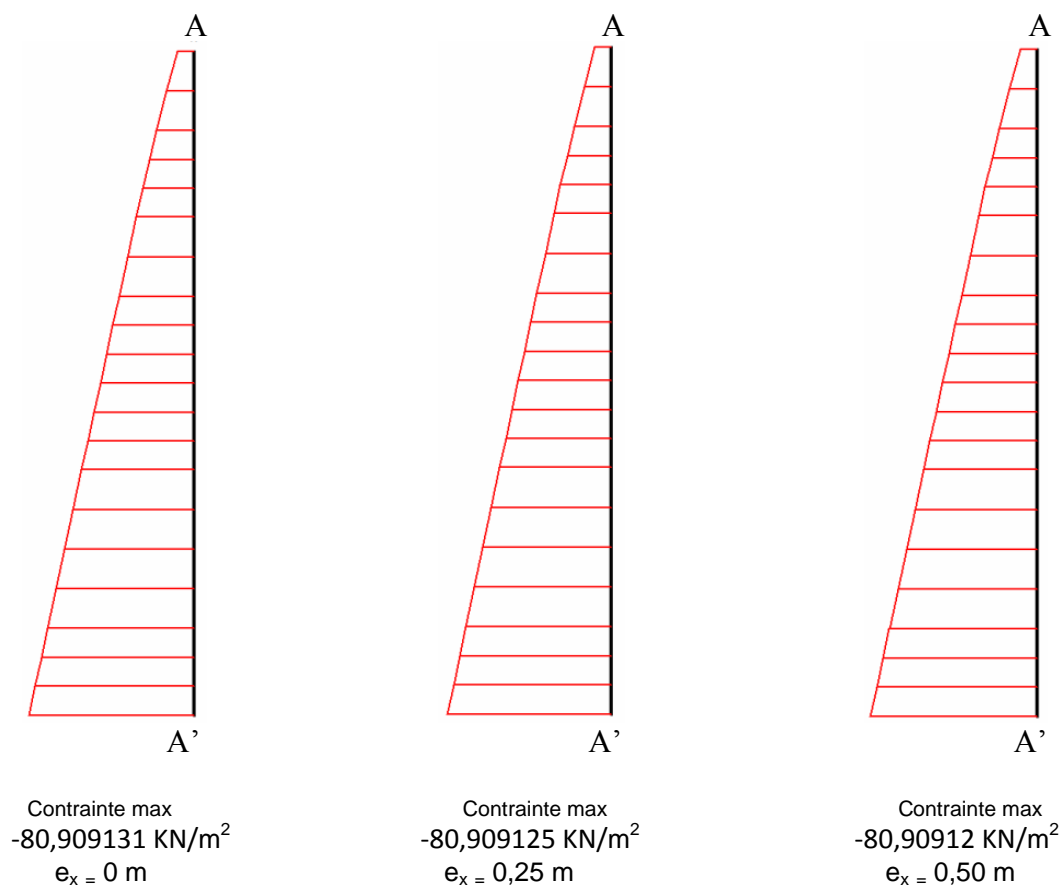


Figure IV.30a : Courbes des Contraintes dans la Colonne 3 suivant l'axe des ordonnées selon le point d'application de la charge (excentricité e_x)

C.3. Contraintes dans le plan xy:

Suite à la variation du point d'application de la charge entre 0 et 0,50m, les contraintes dans le plan xy ($\sigma'_{xy} = \sigma_{xy}$) augmentent à l'intervalle de la côte 8.3236624 m à la côte 1,3805812 m. Mais cet intervalle contient deux côtes : la côte 7.5625 m et la côte 4.2332564 m où les contraintes augmentent si l'excentricité est fixée à 0 et 0,25 m et diminuent lorsque l'excentricité est égale à 0,50 m et vice versa au sommet de la colonne à la côte 9,75 m. Néanmoins, une diminution sur les valeurs des contraintes est enregistré sur la partie supérieure de la côte 9.2271218 m à la côte 8.70422436 m et la base de la colonne à la côte 1,00m. Les résultats et les courbes de la *figure IV.31a* de chaque excentricité définissent une variation non uniforme des contraintes le long de la profondeur de la colonne et portent des valeurs maximales au sommet de la colonne.

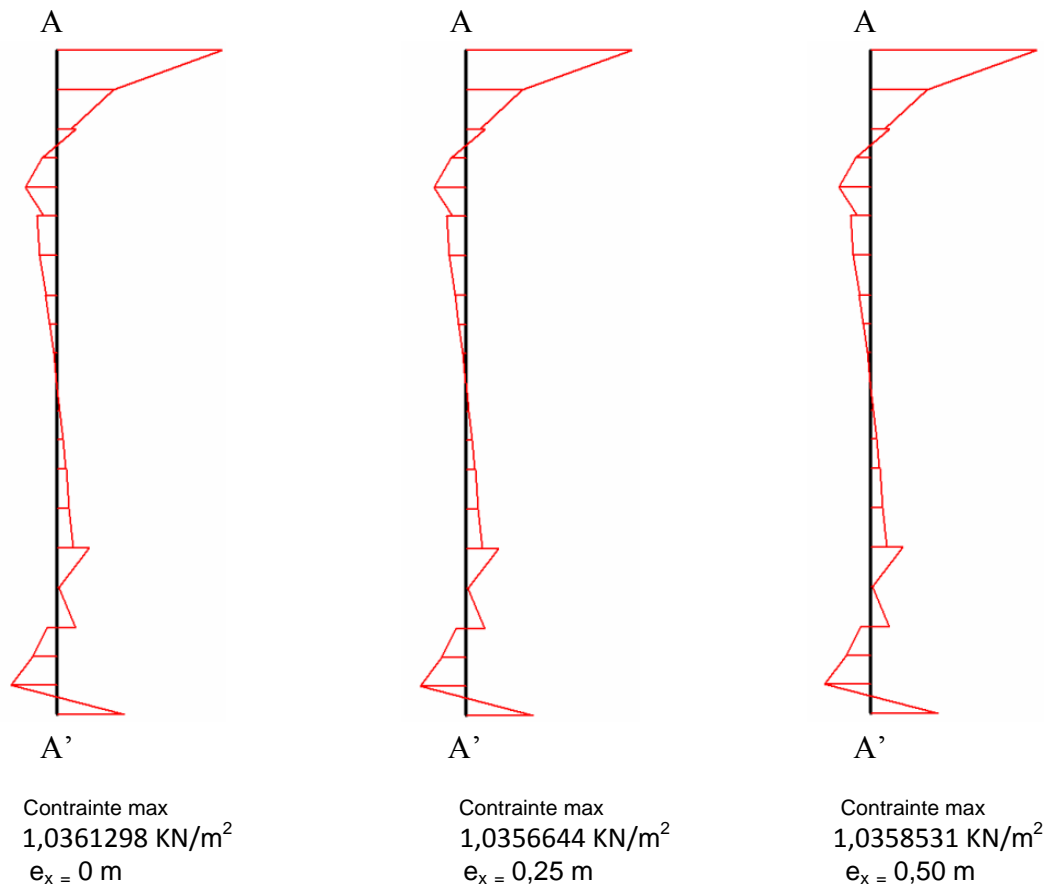
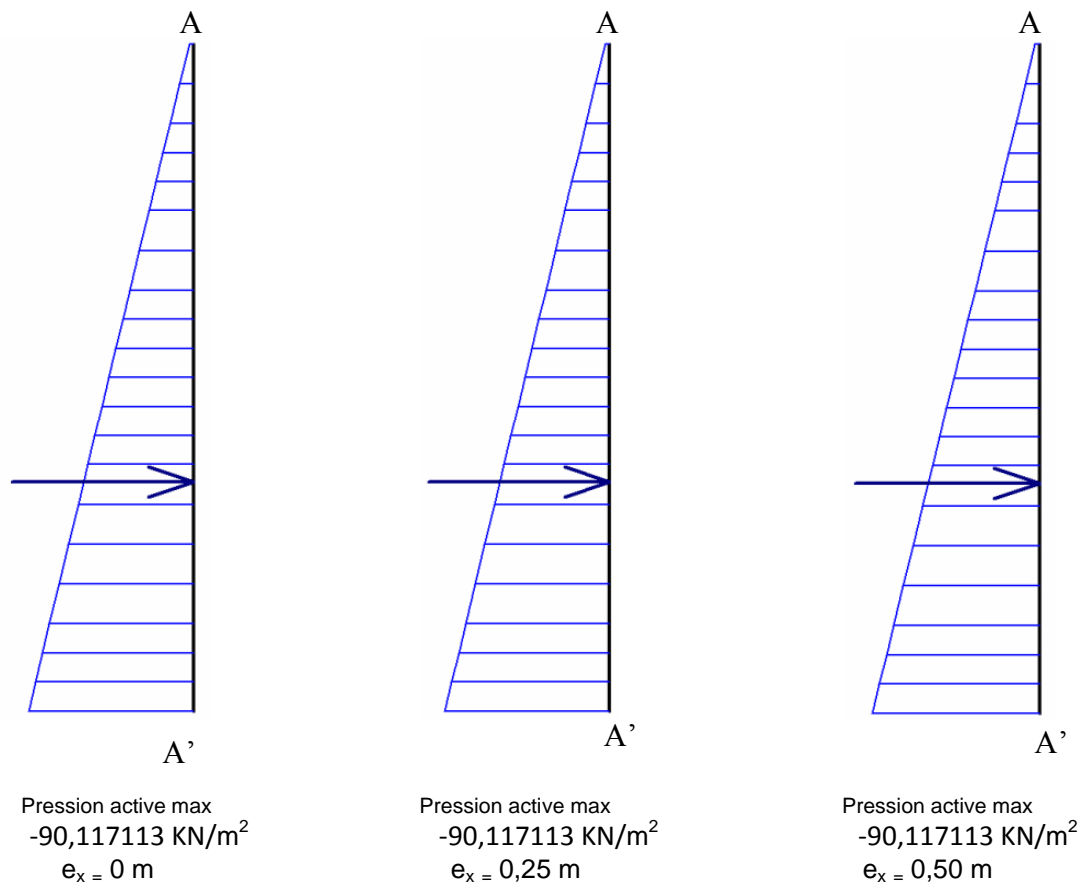


Figure IV.31a : Courbes des Contraintes dans la Colonne 3 dans le plan xy
selon le point d'application de la charge (excentricité e_x)

D. Pressions Actives :

Lors de la variation de point d'application de la charge entre 0 et 0,50 m, on distingue une valeur constante des pressions actives quand l'excentricité varie de 0 à 0.5m. Au sommet de la colonne à la côte 9,75 m et à la côte 9,2271218 m, les pressions actives augmentent lorsque la charge est située sur les points : 0 et 0,25m et diminuent si l'excentricité est fixé à 0,50 m. Les pressions prennent une augmentation suivant la variation de la profondeur (y) de la colonne d'une manière linéaire. Ce constat à été perçu dans la *figure IV.32a*.



*Figure IV.32a : Courbes des pressions actives dans la colonne 3
selon le point d'application de la charge (excentricité e_x)*

IV.1.1.6. Conclusion des résultats des colonnes 3 et 4 et leurs interprétations :

La variation des résultats des (déplacements, déformations, pressions actives) entre la colonne 4 (figures : IV.17a, IV. 18a, IV.19a, IV.20a, IV.21a, IV.22a, IV.23a et IV.24a) et la colonne 3 (figures : IV.25a, IV.26a, IV.27a, IV.28a, IV.29a, IV.30a, IV.31a et IV.32a) a permis de déduire les causes de changement du point d'application de la charge entre 0 et 0,5m suivantes :

1. La proximité de la charge appliquée à la colonne 4 par rapport à la colonne 3: la charge appliquée converge à la colonne 4 d'une valeur de 0,50 m (distance de 1,50 m), et diverge à la colonne 3 de la même valeur (distance de 2,50 m); (voir figure III.2)
2. L'emplacement des deux colonnes 3 et 4 : la colonne 4 est située à droite de la charge appliquée et la colonne 3 à gauche de la charge appliquée, et sont des colonnes plus proche de la charge appliquée que les colonnes 1 et 2 puisque elles sont des colonnes intermédiaires ; (voir figure III.2)
3. La répartition de la charge appliquée est inéquitable entre les deux colonnes 3 et 4 et leurs sections : La distribution de la charge dans la colonne 4 est élevée que celle de la colonne 3.

IV.1.1.7. Analyse et interprétation des résultats de la colonne 5:

D'après les résultats issus les courbes des figures (IV.33a, IV.34a, IV.35a, IV.36a, IV.37a, IV.38a, IV.39a et IV.40a) représentant le comportement de la colonne 5 située à gauche de la charge on constate :

A. Déplacements :

A.1. Déplacement Total :

La variation du point d'application de la charge entre 0 et 0,50 m, crée une augmentation des déplacements dans les trois côtes : la côte 8,92653 m, la côte 8,0386475 m et la côte 5,8511475 m. Néanmoins, une diminution est remarquée à l'intervalle de la côte 9,75 m à la côte 8,514795 m si l'excentricité est située sur les points : 0 et 0,25 m, et amplifie si l'excentricité est égale à 0,50 m et vice versa à l'intervalle de la côte 7,5625 m à la côte 6,73903 m. Par contre, sur la partie intermédiaire et inférieure à l'intervalle de la côte 6,327295 à la côte 1,00 m les déplacements détiennent des valeurs constantes quel que soit la position de la charge de 0 à 0,50 m, et parfois lorsque la charge est placée à 0 et à 0,50 m.

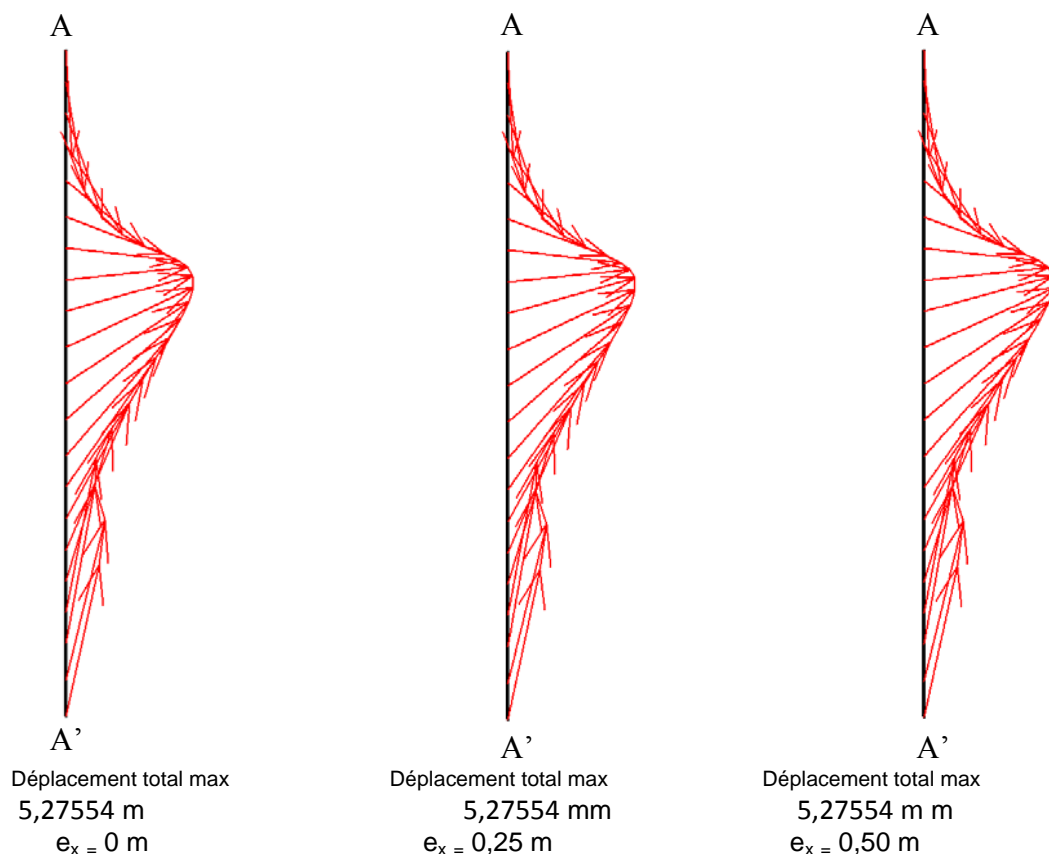


Figure IV.33a : Courbes de Déplacement dans la Colonne 5 selon le point d'application de la charge (excentricité e_x)

B. Déformations :

B.1. Déformations suivant l'axe des abscisses :

Suivant le positionnement du point d'application de la charge entre 0 et 0,50 m, les déformations selon l'axe des abscisses (ϵ_{xx}) augmentent dans l'intervalle de la côte 9.75m à la côte 5,8511475 m et diminuent à l'intervalle de la côte 5.375m à la côte 3.599235 m. Ensuite, elles ont des valeurs similaires lorsque le point d'application de la charge varie de 0 à 0,25 m et réduisent quand la charge est placée à 0,50 m à l'intervalle de la côte 3,1875 jusqu'à la base de la colonne (la côte 1,00 m) où les déformations accèdent à leurs valeurs maximales.

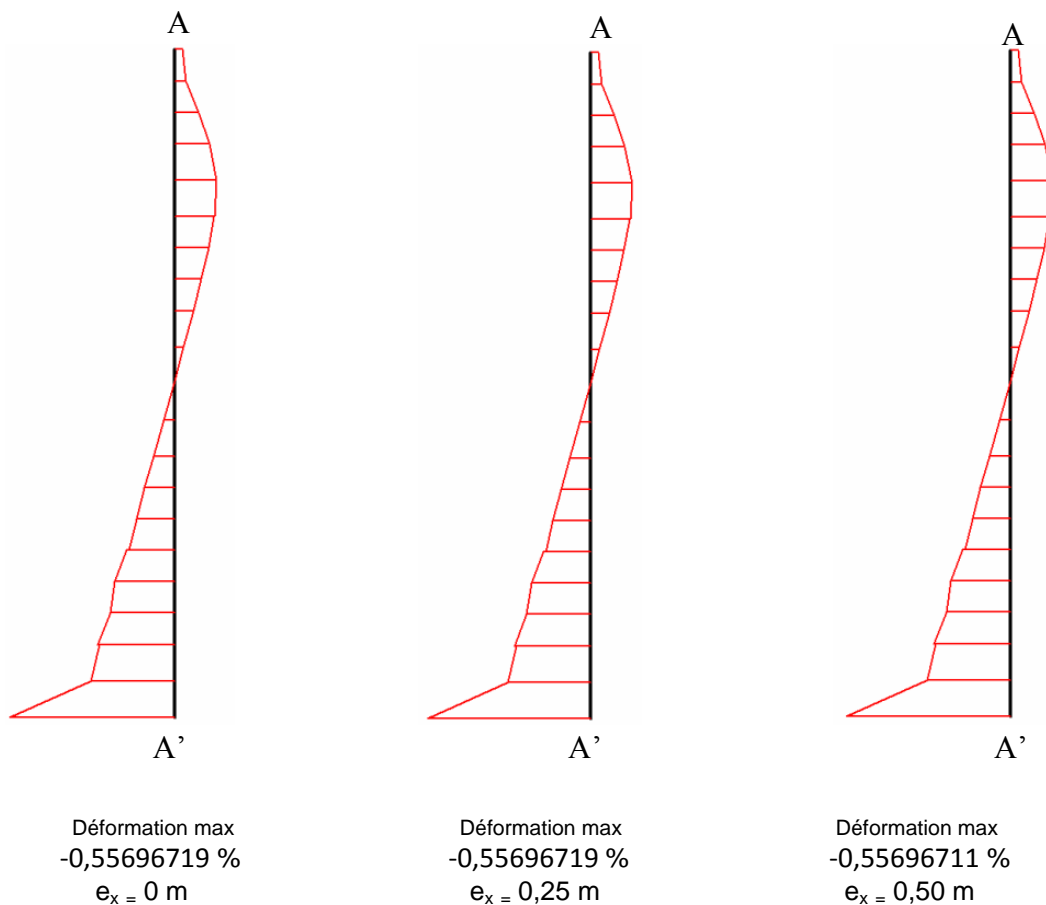


Figure IV.34a : Courbes de Déformation dans la Colonne 5 suivant l'axe des abscisses selon le point d'application de la charge (excentricité e_x)

B.2. Déformations suivant l'axe des ordonnées :

Une augmentation des déformations suivant l'axe des ordonnées (ϵ_{yy}) sur les parties : supérieure et intermédiaire dans l'intervalle [9,338265 m à 3,599235 m] et sur la partie inférieure dans les deux côtes : la côte 1,4761475 m et la côte 1,00 m. Puis à l'intervalle de la

côte 3,1875 m à la côte 1,952295 m, elles diminuent lorsque l'excentricité varie de 0 et 0.25m et augmentent quand l'excentricité est égale à 0.50 m. les valeurs maximales sont enregistrées à la côte 7,5625 m de la partie supérieure de la colonne.

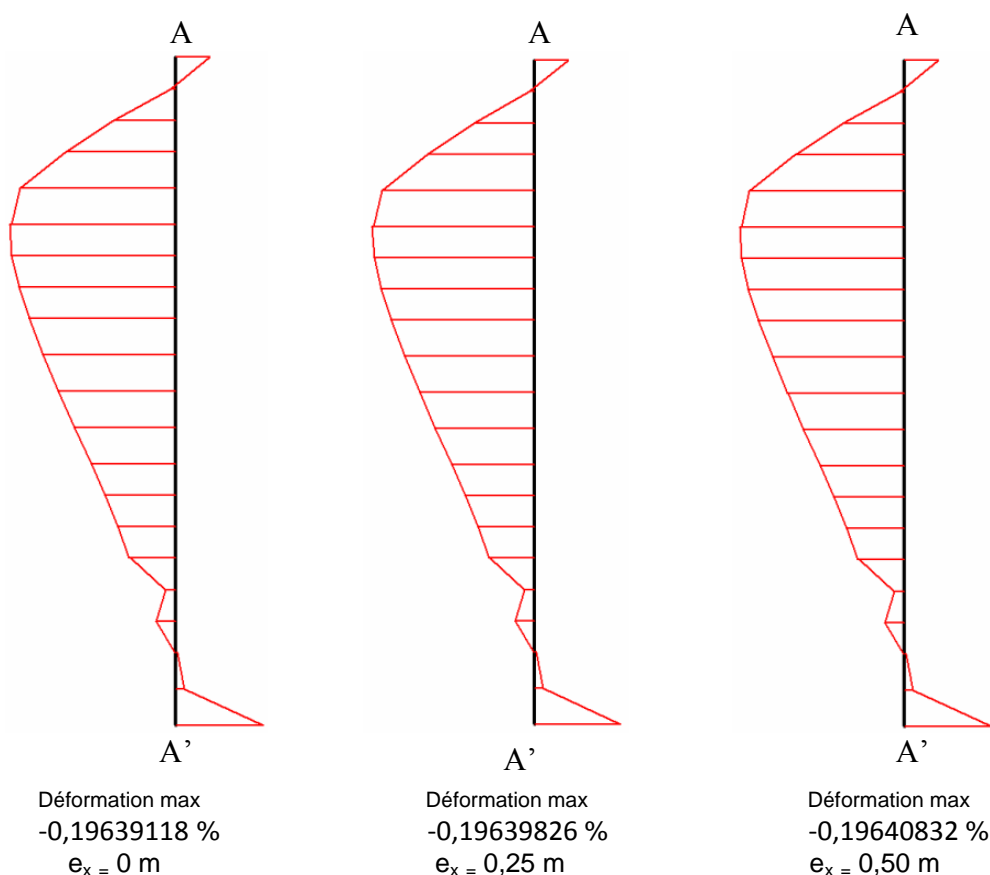


Figure IV.35a : Courbes de Déformation dans la Colonne 5 suivant l'axe des ordonnées selon le point d'application de la charge (excentricité e_x)

B.3. Déformations dans le plan xy :

Lors de changement du point d'application de la charge entre 0 et 0,50 m, on a distingué une amplification sur la partie supérieure et intermédiaire dans les côtes et l'intervalle suivants : 9,75 m, 9,338265, 8,514795 m [7,5625 m à 6,327295 m] et sur la partie inférieure à la côte 3,1875 m et à l'intervalle [1,952295 m à 1,00 m], aussi une réduction sur la partie supérieure dans les côtes: la côte 8,92653 m et la côte 8,0386475 m sur la partie intermédiaire à l'intervalle [5,8511475 m à 3,599235 m] et sur la partie inférieure dans les deux côtes: la côte 2,775765 m et la côte 2,36403 m sur les valeurs de déformations dans le plan xy (ϵ_{yy}), ces dernières ont des valeurs maximales à la base de la colonne.

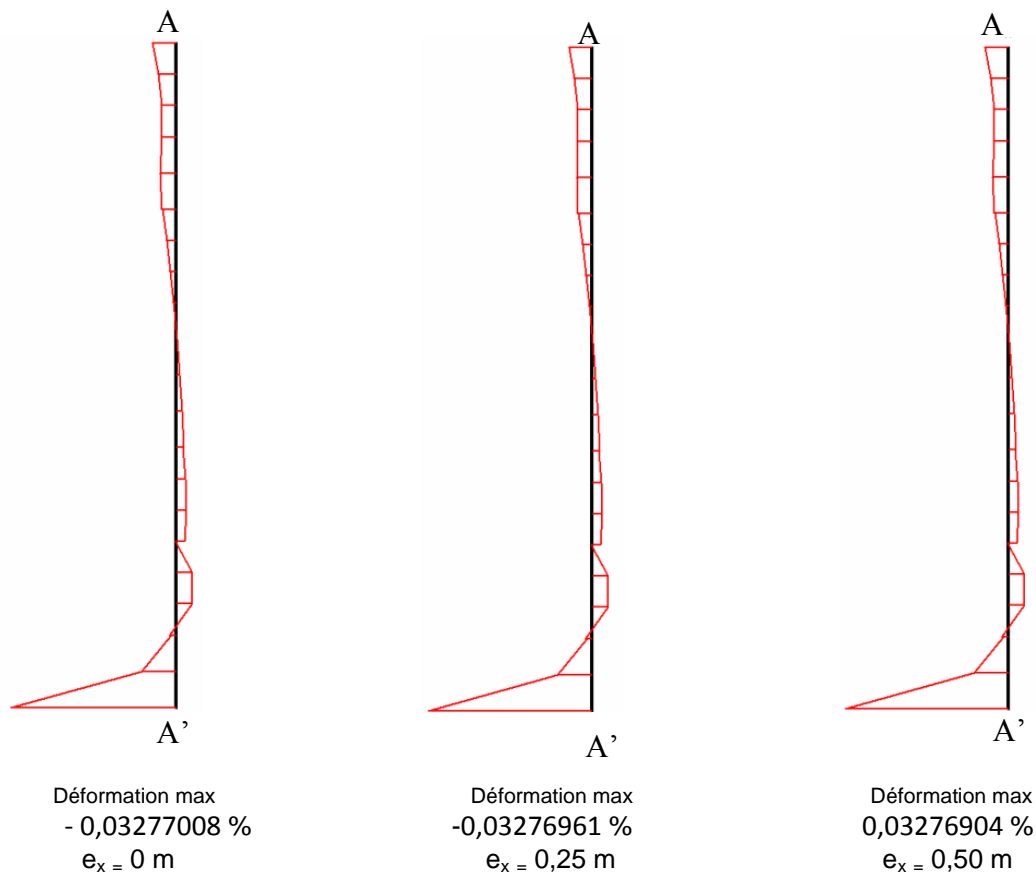


Figure IV. 36a : Courbes de Déformation dans la Colonne 5 dans le plan xy
selon le point d'application de la charge (excentricité e_x)

C. Contraintes :

C.1. Contraintes effectives suivant l'axe des abscisses :

Selon la position du point d'application de la charge entre 0 et 0,50 m, les contraintes suivant l'axe des abscisses (σ'_{xx}) augmentent sur la partie supérieure dans les côtes : la côte 9,338265 m, la côte 8,92653 m et la côte 8,0386475 m, et diminuent dans les côtes et l'intervalle suivants: 9,75 m, 8,514795 m, la côte 7,5625 m et [6,73903 m à 4,422705 m]. En revanche, à partir de la côte 4,01097 m jusqu'à la base les mêmes contraintes tiennent des valeurs identiques lorsque la charge appliquée est placée sur les points : 0,25 m et 0,50 m. Particulièrement, dans les deux côtes : 1,952295 m et 1,00 m quelque soit la position de la charge (0, 0,25 m, 0,50 m). Les courbes de la *figure IV.37a* révèlent que les contraintes évoluent d'une façon linéaire en fonction de la profondeur jusqu'à la base de la colonne, où les contraintes prennent des valeurs maximales.

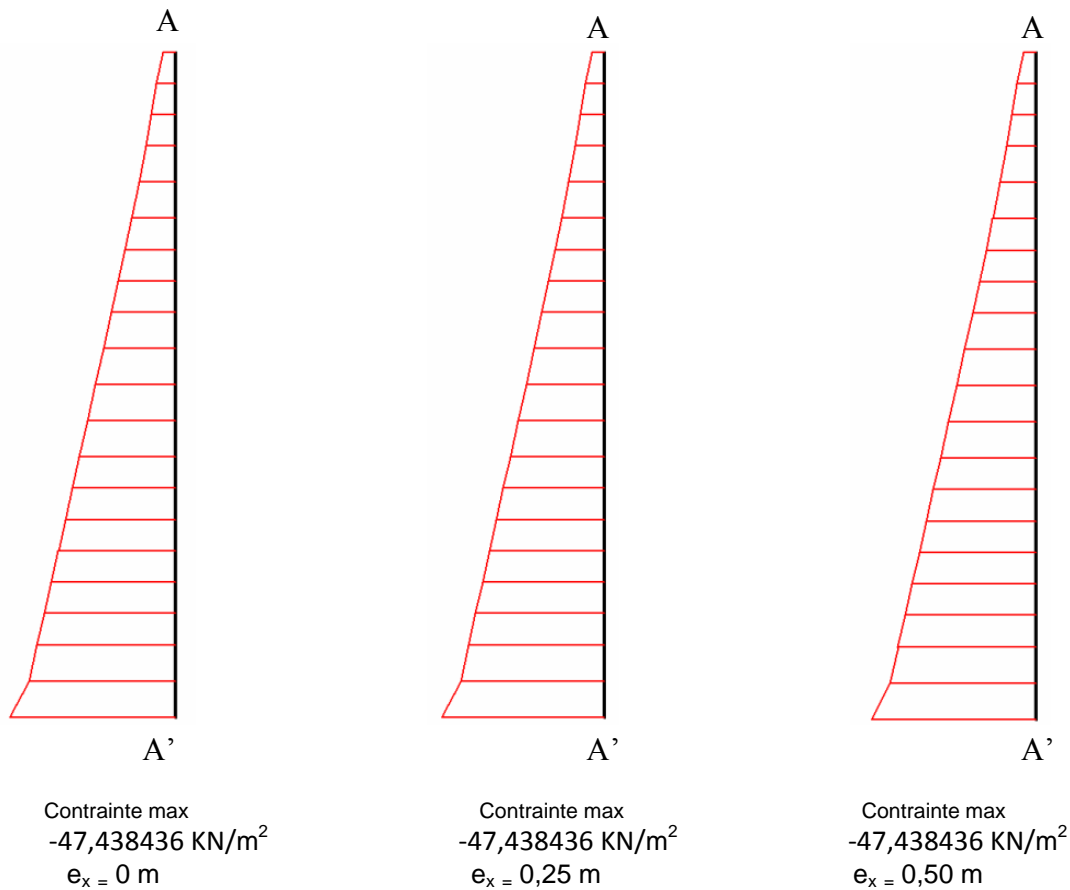


Figure IV.37a : Courbes des Contraintes dans la Colonne 5 suivant l'axe des abscisses selon le point d'application de la charge (excentricité e_x)

C.2. Contraintes effectives suivant l'axe des ordonnées :

On remarque une augmentation des contraintes effectives (σ'_{yy}) selon la position du point d'application de la charge entre 0 et 0,50 m à l'intervalle [9,75 m à 3,599235 m]. Par contre, dans l'intervalle [3,1875 m à 1,00 m] on enregistré une diminution si l'excentricité est variée de 0 à 0,25 m et une augmentation si l'excentricité est égale à 0,50 m. Spécialement, dans les trois côtes : 3,1875 m, 2,36403 m et 1,00 m les contraintes sont des valeurs similaires successivement dans les cas suivants : lorsque l'excentricité est fixé à : 0 et 0,25 m; 0 et 0,50 m; 0,25 m et 0,50 m. Toutefois, on remarque que les courbes de la *figure IV.38a* relatent une variation linéaire des contraintes effectives (σ'_{yy}) d'après le changement de la profondeur (y) de la colonne.

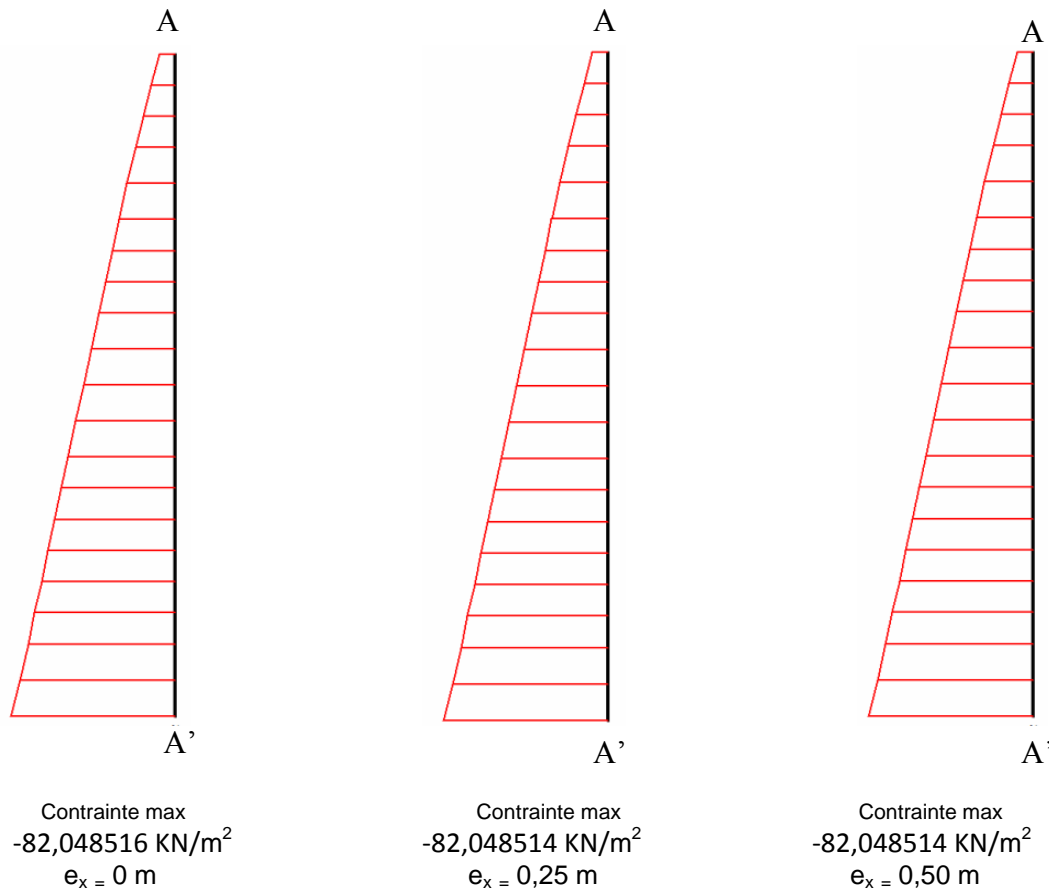


Figure IV.38a : Courbes des Contraintes dans la Colonne 5 dans le plan xy selon le point d'application de la charge (excentricité e_x)

C.3. Contraintes effectives dans le plan xy :

On a constaté d'après le changement de la charge appliquée entre les excentricités : 0 ; 0,25 m et 0,50 m, une augmentation des contraintes effectives dans le plan xy ($\sigma'_{xy} = \sigma_{xy}$) sur la partie supérieure dans les deux côtes : 9.75 m et 9.338265 m, et sur la partie inférieure à l'intervalle [1.952295 m à 1 m]. Ensuite, une réduction à la côte 8.92653 m et à l'intervalle de la côte 5.8511475 m à la côte 2.36403 m. Les valeurs maximales des contraintes sont enregistrées à la base de la colonne comme le montre la *figure IV.39a*.

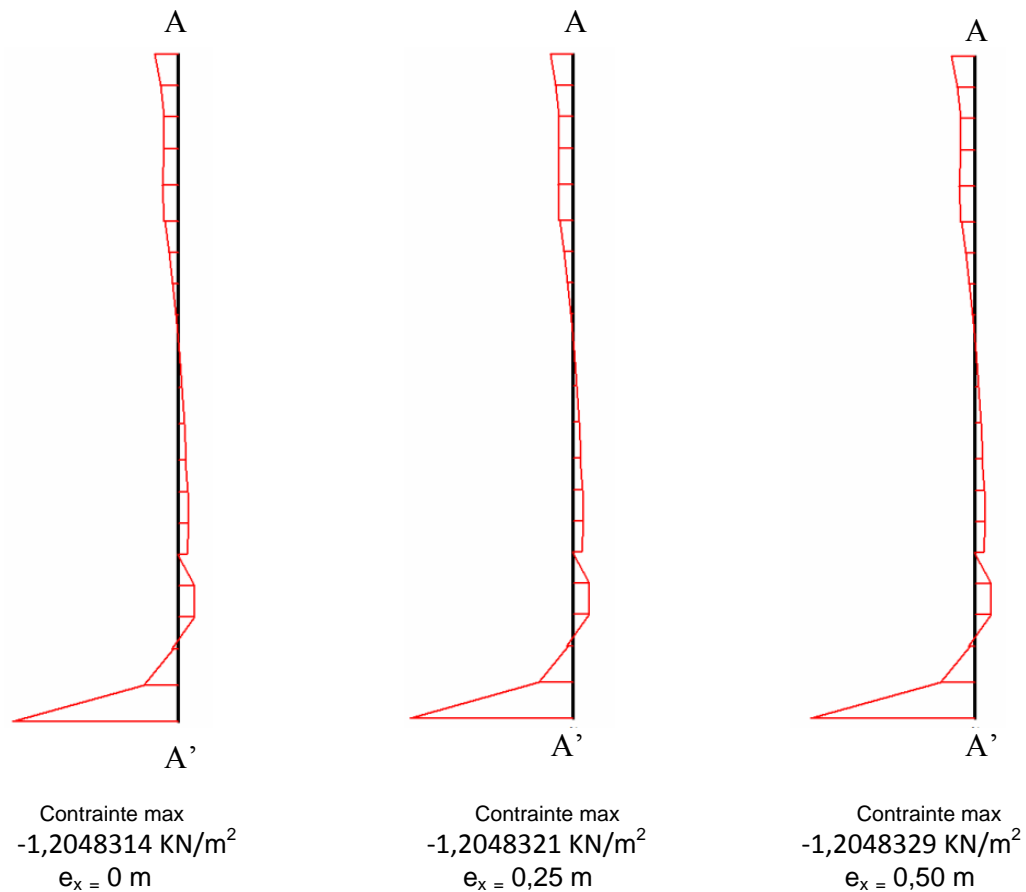


Figure IV.39a : Courbes des Contraintes dans la Colonne 5 dans le plan xy
selon le point d'application de la charge (excentricité e_x)

D. Pressions Actives :

Lors de la variation de l'excentricité de la charge, on constate : des valeurs constantes des pressions actives quand l'excentricité varie de 0 à 0.25m et de 0 à 0.50 m et parfois quelque soit la position du point d'application de la charge entre 0 et 0,50 m, une augmentation lorsque l'excentricité est variée de 0 à 0,50 m et une diminution si l'excentricité est égale à 0,50 m dans certains sections de la colonne. La *figure IV.40a* présente une variation linéaire des pressions actives en fonction de la profondeur de la colonne.

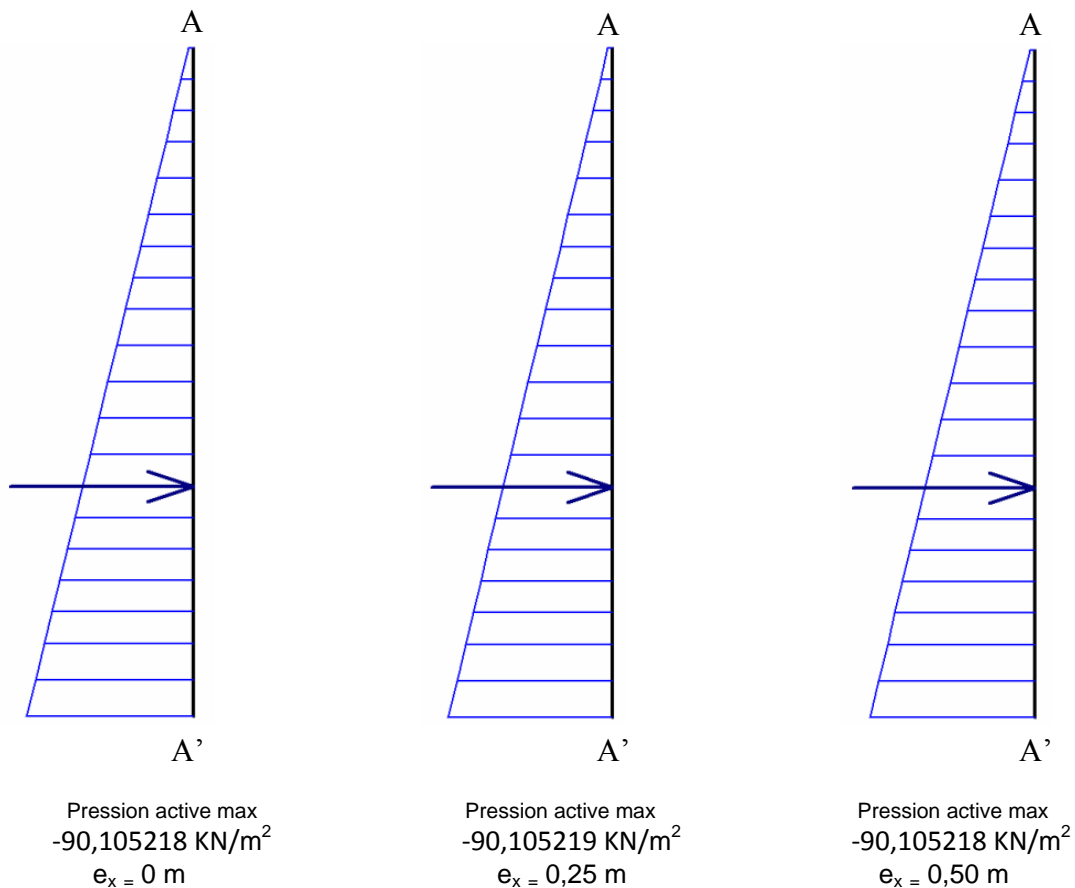


Figure IV.40a : Courbes des pressions actives dans la colonne 5
selon le point d'application de la charge (excentricité e_x)

IV.1.1.8. Analyse et interprétation des résultats de la colonne 6:

D'après les résultats issus les courbes des figures (IV.41a, IV.42a, IV.43a, IV.44a, IV.45a, IV.46a, IV.47a et IV.48a) représentant le comportement de la colonne 6 située à droite de la charge on constate :

A. Déplacement:

A.1. Déplacement Total :

Le changement du point d'application de la charge entre 0 et 0,50 m, incitant sur les valeurs des déplacements une augmentation sur la partie intermédiaire de la côte 7,155817 m à la côte 6,3424509 m, une diminution sur la partie intermédiaire et inférieure de la côte 4,0008661m à la côte 1,00 m, et ont des valeurs similaires dans les deux côtes : 5,8587255 m et la côte 5,375 m. Néanmoins, on a différencié dans l'intervalle [9,75 m à 7,5625 m] une réduction quand le point d'application de la charge est varié de 0 à 0,25 m, et une amplification lorsque l'excentricité est égale à 0,50 m. En outre, dans les deux côtes : 4,8912745 m et la côte 4,4075491 m, les déplacements portent des valeurs semblables si l'excentricité est variée

de 0 à 0,25 m, puis elles diminuent si l'excentricité est fixé à 0,50 m. Toutefois, on constate à partir de la *figure IV.41a* que les déplacements amplifient jusqu'à l'atteinte d'une valeur maximale (à la côte 5,8587255 m), ensuite ils baissent jusqu'à la base de la colonne.

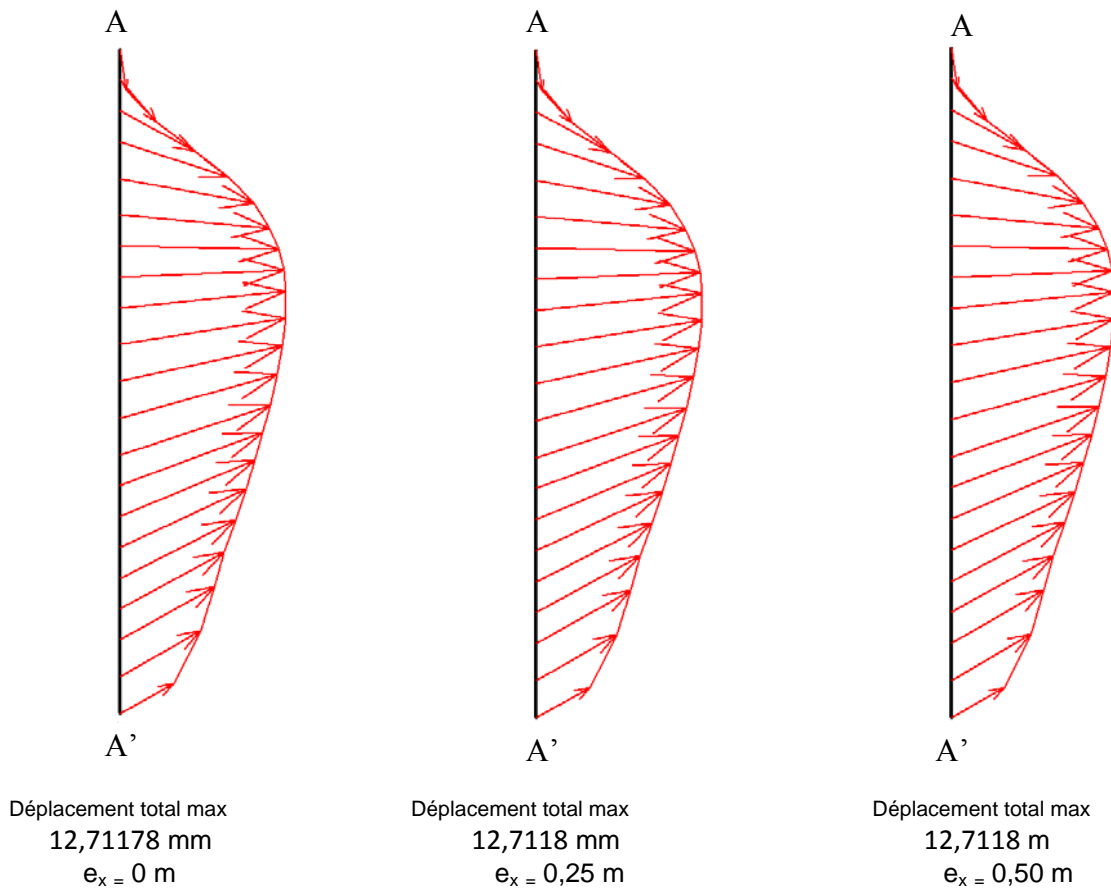


Figure IV.41a : Courbes de Déplacement dans la Colonne 6 selon le point d'application de la charge (excentricité e_x)

B. Déformations :

B.1. Déformations suivant l'axe des abscisses :

On a localisé après le changement de la charge appliquée entre 0 et 0,50 m, un accroissement dans les trois côtes: 8,9366339 m, 7,5625 m et la côte 6,3424509 m et une diminution à l'intervalle de la côte 5,8587255 m à la côte 1,00 m sur les valeurs de déformations suivant l'axe des abscisses (ϵ_{xx}). Ces dernières, dans les côtes suivants : 9,75 m, 9,343317 m, 8,5299509 m, 8,0462255 m, 7,155817 m et la côte 6,7491339 m réduisent si l'excentricité est variée de 0 à 0,25 m et amplifient si l'excentricité est égale à 0,50 m. On observe à partir de la *figure IV.42a* que les valeurs maximales sont enregistrées à la base de la colonne.

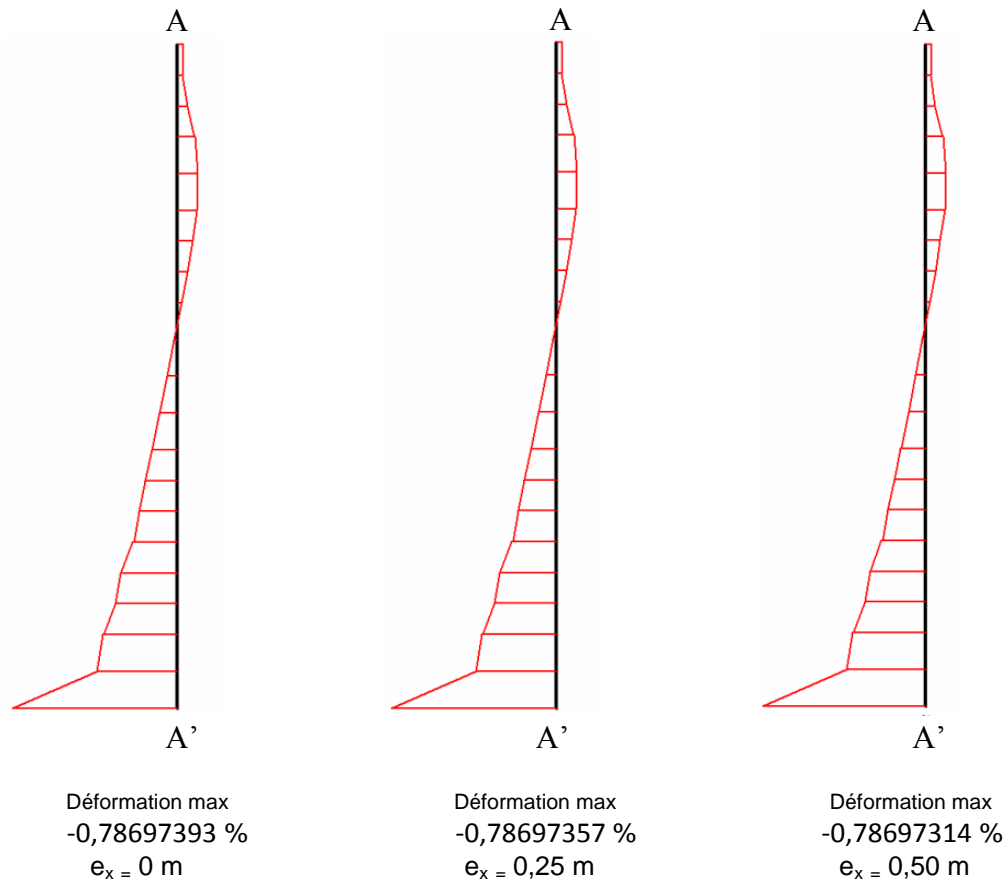


Figure IV.42a : Courbes de Déformation dans la Colonne 6 suivant l'axe des abscisses selon le point d'application de la charge (excentricité e_x)

B.2. Déformations suivant l'axe des ordonnées :

Suite à la variation du point d'application de la charge entre 0 et 0,50 m, les déformations suivant l'axe des ordonnées (ε_{yy}) augmentent dans l'intervalle [6,7491339 m à 2,3741339 m] et diminuent à l'intervalle [1,9674509 m à 1,00 m]. En revanche, dans les deux côtés: 9,75 m et 9,343317 m, on a distingué une amplification lorsque le point d'application de la charge est varié de 0 à 0,25 m et une diminution quand l'excentricité est fixé à 0,50 m, et le cas contraire est enregistré dans l'intervalle [8,9366339 m à 7,155817 m]. On remarque d'après la *figure IV.43a*, les déformations (ε_{yy}) ont des valeurs maximales à la base de la colonne.

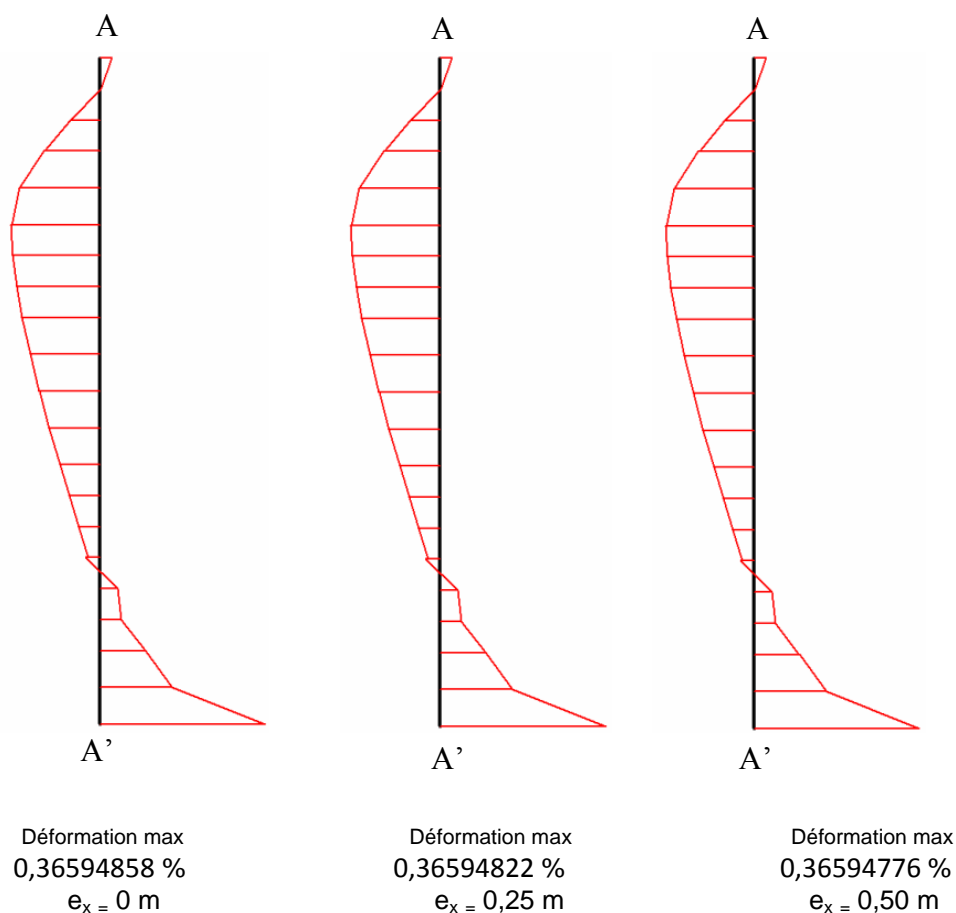


Figure IV.43a : Courbes de Déformation dans la Colonne 6 suivant l'axe des ordonnées selon le point d'application de la charge (excentricité e_x)

B.3. Déformations dans le plan xy :

Lors de la variation de changement du point d'application de la charge entre 0 et 0,50 m, on a constaté une diminution des déformations dans le plan xy (ϵ_{xy}) sur la partie supérieure à l'intervalle de la côte 9,75 m à la côte 8,5299509 m et sur les parties intermédiaire et inférieure à l'intervalle de la côte 6,7491339 m à la côte 1,00 m, et une augmentation dans les côtes : 8,5299509 m, 8,0462255 m et la côte 7,155817m. Mais à la côte 7,5625 m, les déformations augmentent si l'excentricité est variée de 0 à 0,25 m et diminuent si l'excentricité est égale à 0,50 m. Les courbes de chaque excentricité de la *figure IV.44a* montrent que les valeurs maximales des déformations sont enregistrées au sommet de la colonne.

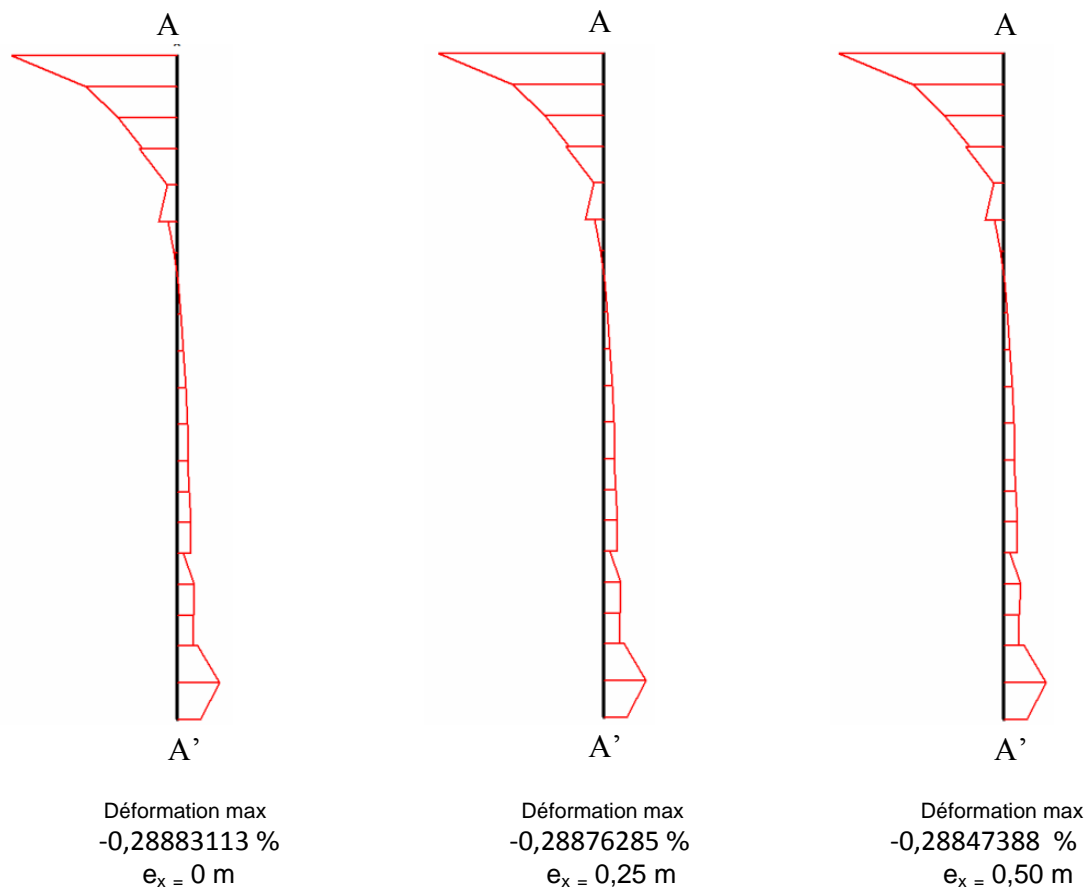


Figure IV.44a : Courbes de Déformation dans la Colonne 6 dans le plan xy
selon le point d'application de la charge (excentricité e_x)

C. Contraintes :

C.1. Contraintes effectives suivant l'axe des abscisses :

On a enregistré une diminution des contraintes effectives suivant l'axe des abscisses (σ'_{xx}) sur les parties supérieures, intermédiaire et inférieure dans les intervalles et les côtes suivants: [9,343317 m à 8,0462255 m], [6,3424509 m à 1,9674509 m], et les côtes 7,155817 m et 1,00 m et une augmentation dans les deux côtes :7,5625 m, 6,7491339 m quel que soit la position du point d'application de la charge entre 0 et 0,50 m. Néanmoins, au sommet de la colonne, les mêmes contraintes réduisent si la charge est appliquée entre 0 et 0,25 m et amplifient si la charge est appliquée à 0,50 m et tiennent des valeurs similaires dans les deux côtes: 1,9674509 m et 1,4837255 m. Les courbes de la *figure IV.45a* expriment une augmentation

des contraintes effectives (σ'_{xx}) suivant la variation de la profondeur (y) de la colonne d'une manière linéaire.

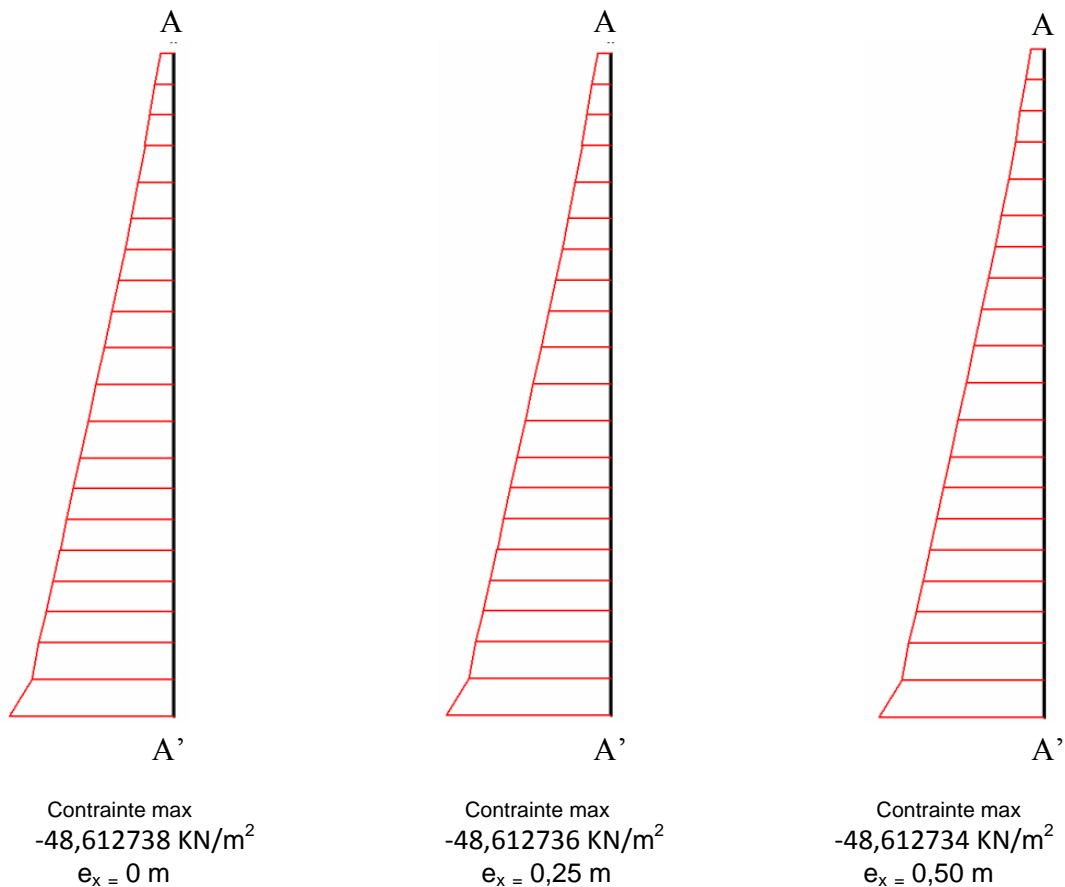


Figure IV.45a : Courbes des Contraintes dans la Colonne 6
suivant l'axe des abscisses selon le point d'application de la charge (excentricité e_x)

C.2. Contraintes effectives suivant l'axe des ordonnées:

Selon la variation du point d'application de la charge entre 0 et 0,50 m, les contraintes suivant l'axe des ordonnées (σ'_{yy}) diminuent de la côte 9,75 m à la côte 7,155817 m lorsque le point d'application de la charge est variée de 0 à 0,25 m et augmentent si l'excentricité est placée à 0,50 m. Par contre, à l'intervalle de la côte 6,7491339 m à la côte 1,00 m augmentent quelque soit la position du point d'application de la charge. On a constaté une évolution des contraintes effectives (σ'_{yy}) d'une manière linéaire en fonction de la profondeur (y) de la colonne, ce constat est illustré dans la figure IV.46a.

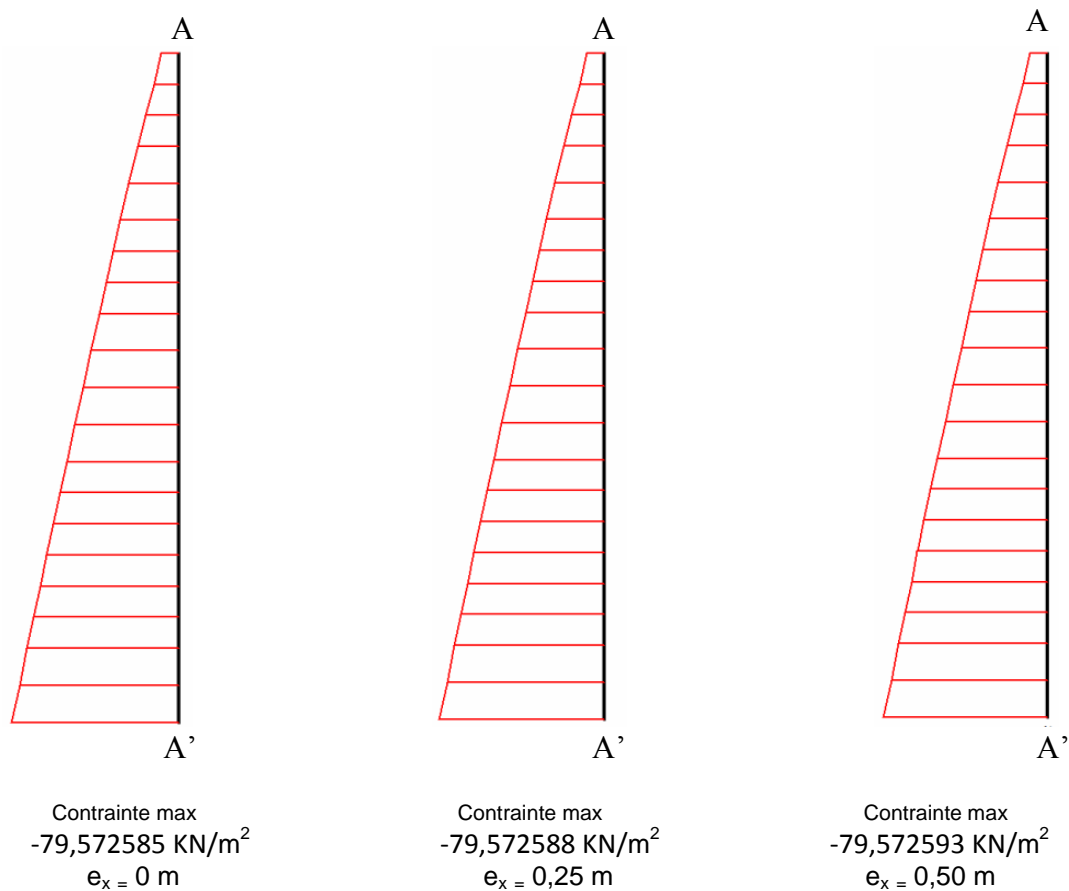


Figure IV.46a : Courbes des Contraintes dans la Colonne 6 suivant l'axe des ordonnées selon le point d'application de la charge (excentricité e_x)

C. 3. Contraintes effectives dans le plan xy :

Suivant la variation de l'excentricité entre 0 et 0,50 m on constate : une augmentation des contraintes effectives dans le plan xy ($\sigma'_{xy} = \sigma_{xy}$) à l'intervalle de la cote 9.75 m à la cote 8.9366339 m et à la cote 7.155817 m et une diminution à partir de la cote 6.3424509 m jusqu'à la base de la colonne. Particulièrement, dans la cote 8.529909 m on enregistré un accroissement quand l'excentricité est variée de 0 à 0,25 m et une réduction lorsque l'excentricité est fixée à 0,50 m. Les valeurs maximales sont localisées au sommet de la colonne d'après la *figure IV.47a*.

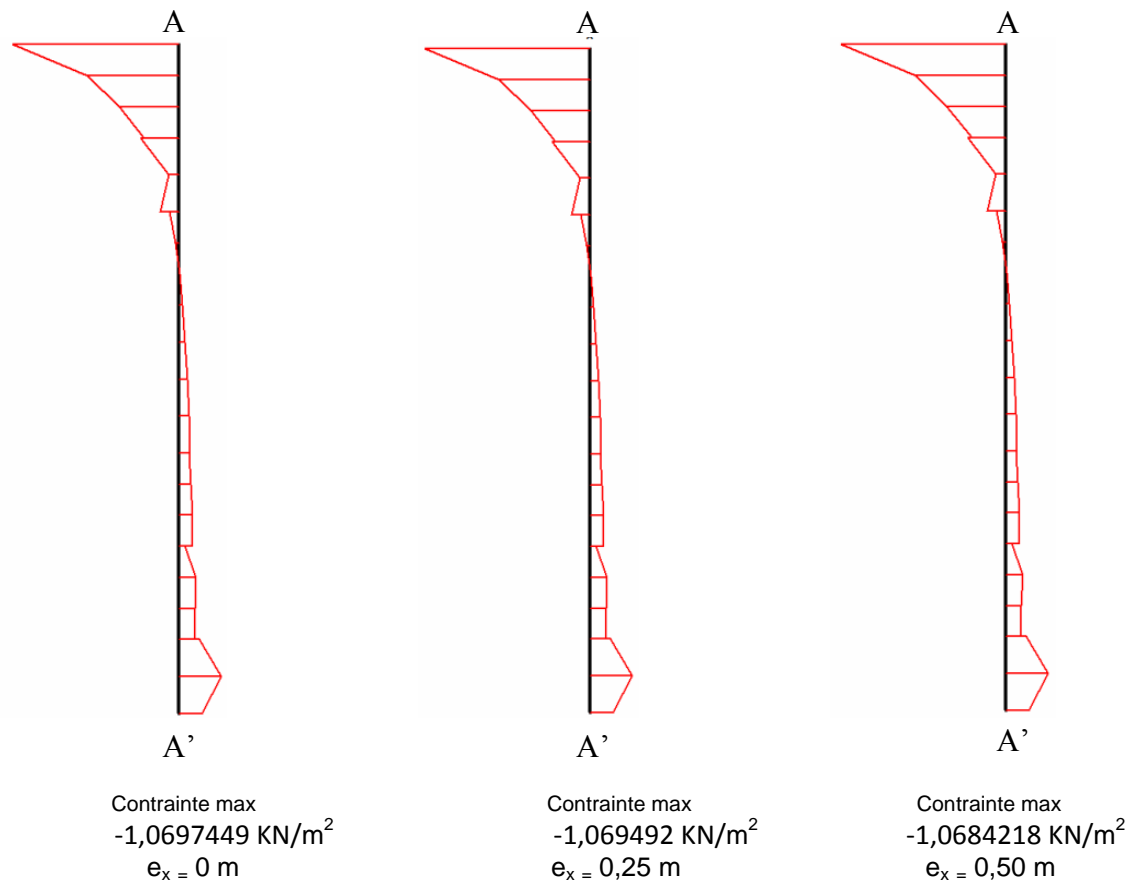
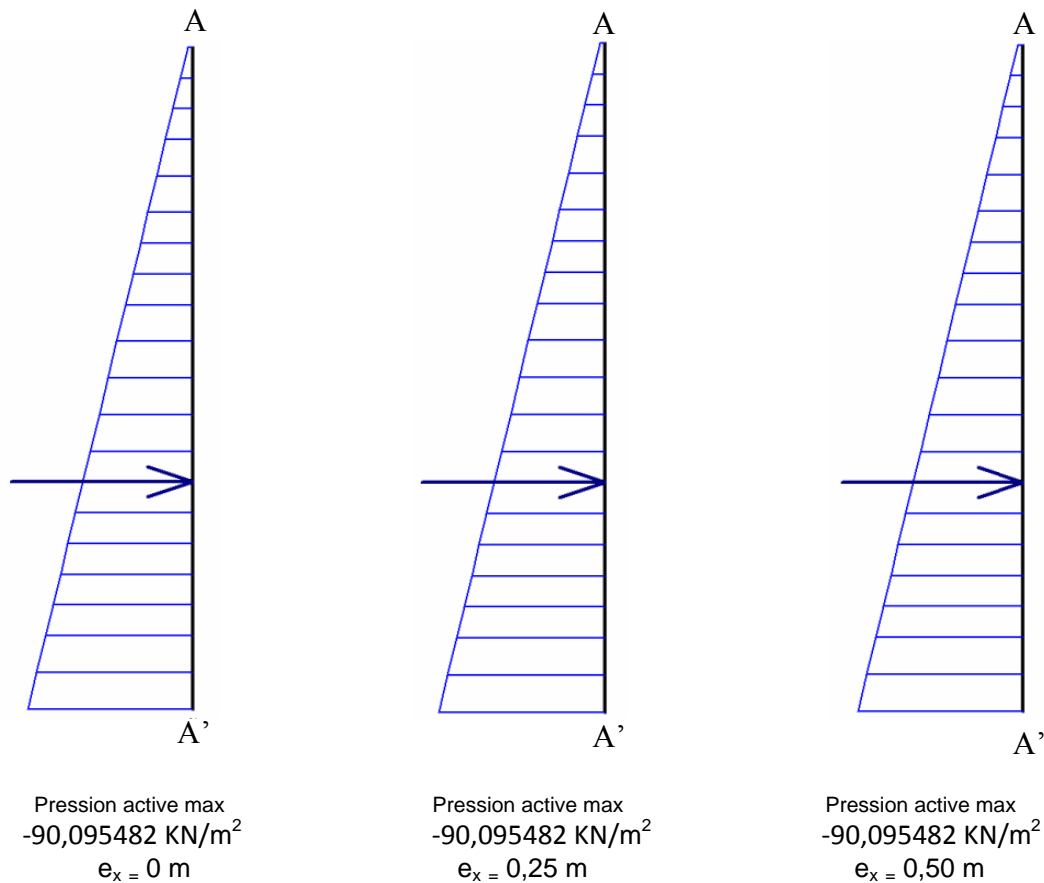


Figure IV.47a : Courbes des Contraintes dans la Colonne 6 dans le plan xy
selon le point d'application de la charge (excentricité e_x)

D. Pressions Actives :

Lors de la variation de l'excentricité entre 0 et 0,50 m on constate: des valeurs constantes des pressions actives quelque soit la position du point d'application de la charge et des fois quand l'excentricité est variée de 0 à 0,25m. En outre, dans certaines sections une variation des pressions actives de l'ordre 10^{-6} par croissance lorsque l'excentricité tient les valeurs 0 et 0,25 m et par décroissance si l'excentricité est égale à 0,50 m. Les pressions actives augmentent d'une manière linéaire selon la variation de la profondeur (y) de la colonne comme est présenté dans la figure IV.48a.



*Figure IV.48a : Courbes des pressions actives dans la colonne 6
selon le point d'application de la charge (excentricité e_x)*

IV.1.1.9. Conclusion des résultats des colonnes 5 et 6 et leurs interprétations :

La variation des résultats des (déplacements, déformations, pressions actives) entre la colonne 5 (figures : IV.33a, IV.34a, IV.35a, IV. 36a, IV.37a, IV.38a, IV.39a et IV.40a) et la colonne 6 (figures : IV.41a, IV.42a, IV.43a, IV.44a, IV.45a, IV.46a, IV.47a et IV.48a) a permis de déduire les causes de changement du point d'application de la charge entre 0 et 0,5m suivantes :

1. La position de la charge : quand la charge varie de 0 à 0,50m, on constate des valeurs similaires de déplacements probablement en raison du positionnement de la charge ou presque apposée à la colonne 6 ; (voir la figure III.2)
2. La colonne 6 subi des arrachements importants sous l'effet de la charge appliquée car les points d'application de la charge est presque apposée verticalement sur la colonne 6 qui n'est pas le cas de la colonne 5 ;

3. L'emplacement des colonnes 5 et 6: la colonne 6 est placée à droite de la charge par contre, la colonne 5 est enfoncée à gauche de la charge appliquée, et sont des colonnes de milieu adjacents près à la charge appliquée que les autres colonnes (1, 2, 3, 4) ; (voir la figure III.2)

4. La répartition de la charge appliquée est inéquitable entre les deux colonnes 5 et 6 et leurs sections : La diffusion de la charge dans la colonne 6 est supérieure que la colonne 5.

IV.1.1.10. Conclusion :

D'après le modèle géométrique adopté axisymétrique on constate que les résultats déduits (déplacements, déformations, contraintes et pressions actives.) varient d'une colonne à une autre et d'une section à une autre, et cela est dû à :

1. A la variation de l'excentricité de 0 à 0.50m ;
2. Au positionnement et la mise en place des colonnes ;
3. Au transfert de charge non équitable entre les colonnes et les sections de chaque colonne ;
4. A la transition de la charge qui est répartie entre les colonnes et le sol.

On en déduit que les différentes variations des résultats des (déplacements, déformations, pressions actives) cités ci-dessus proviennent de la composition propre des colonnes (ballast) et de leurs caractéristiques mécaniques (l'angle de frottement φ et le module de déformation E) augmentant la résistance au cisaillement et induisant ainsi l'accroissement de la capacité portante et réduisant considérablement le tassement.

Donc l'effet de la charge excentrée est absorbé par les colonnes ballastées, dès lors que ces dernières jouent pleinement leurs rôles d'amélioration du sol.

Enfin on a conclu que la variation enregistrée dans les résultats (déplacements, déformations, contraintes et pressions actives) est relative à la variation du point d'application de la charge (excentricité).

IV.1.2. Influence de la variation du point d'application de la charge (excentricité) avec augmentation de l'épaisseur de radier de 0,25 m à 0,50 m sur le comportement des colonnes ballastées :

IV.1.2.1. Analyse et interprétation des résultats de la colonne 2:

On constate d'après les résultats des figures de l'augmentation de l'épaisseur de radier de 0,25 m à 0,50 m (IV.1b, IV.2b, IV.3b, IV.4b, IV.5b, IV.6b, IV.7b et IV.8b) et notamment les courbes qui représentent le comportement de la colonne 2 située à droite de la charge:

A. Déplacement :

A.1. Déplacement Total :

On a enregistré une diminution dans la valeur du déplacement quand la position de la charge varie de 0 à 0,50 m au sommet de la colonne (partie supérieure) de la cote 9,75 m, dans la partie intermédiaire de la colonne de la cote 6,3414447 m et dans la partie inférieure de la cote 2,7804816 m à la cote 1,00 m. Toutefois, deux élévations sont enregistrées: la première dans la partie supérieure de la cote 9,3429816 m à la cote 6,7484631 m et la deuxième dans la partie intermédiaire de la cote 5,8582223 m à la cote 3,1875 m. Néanmoins, d'après la figure IV.1b, on a observé une croissance dans la partie supérieure de la colonne de la cote 9,75 m à la cote 6,7533756 m et une décroissance à partir de la valeur maximale des déplacements U jusqu'à la base (dans la partie intermédiaire et inférieure de la cote 6,3488134 m à la cote 1,00 m) en fonction de la variation de la profondeur y .

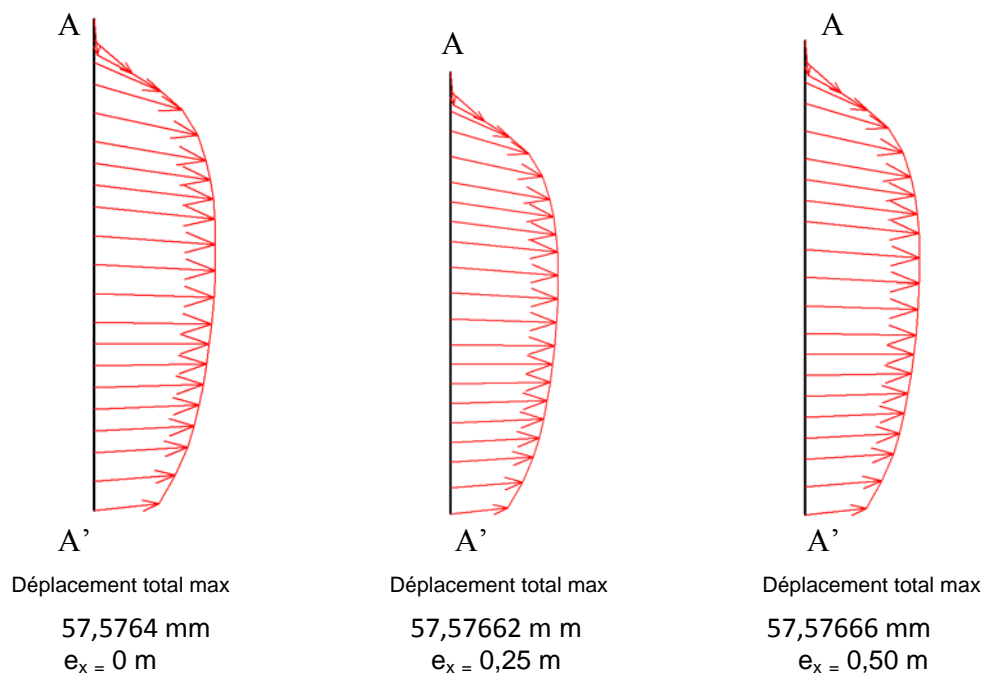


Figure IV.1b : Courbes de Déplacement dans la Colonne 2
selon le point d'application de la charge (excentricité e_x)
avec augmentation de l'épaisseur de radier

B. Déformations :

B.1. Déformations suivant l'axe des abscisses :

Après la variation du point d'application de la charge (excentricité) entre 0 et 0,50 m, les déformations suivant l'axe des abscisses (ϵ_{xx}) prennent une variation alternée: si la variation de l'excentricité entre 0 et 0,25 m les déformations (ϵ_{xx}) augmentent, ces dernières diminuent lorsque le point d'application de la charge est positionnée à 0,50 m et vice versa. Les intervalles et les côtes où les déformations (ϵ_{xx}) augmentent quand l'excentricité varie entre 0 et 0,25 m sont: [9,75 m à 9,362553 m], la côte 5,375 m et [3,1875 m à 1,5125794 m], les autres intervalles et côtes quand l'excentricité varie entre 0 et 0,25 m où les déformations diminuent sont: [8,9751059 m à 5,8875794 m],[4,8624206 m à 3,574947 m] et la côte 1,00 m. Dans les mêmes intervalles et côtes mentionnés ci-dessus les déformations (ϵ_{xx}) portent le cas inverse si l'excentricité est fixée à 0,50 cm.

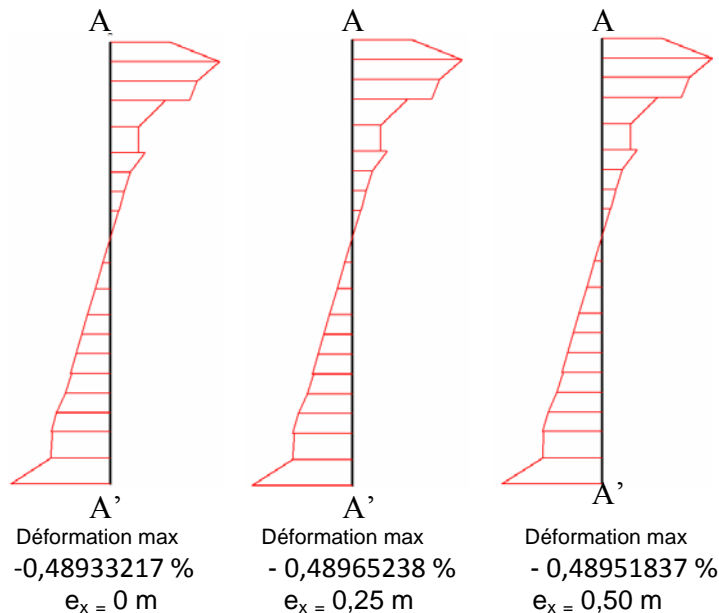


Figure IV.2b : Courbes de Déformation dans la Colonne 2 suivant l'axe des abscisses selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec augmentation de l'épaisseur de radier

B.2. Déformations suivant l'axe des ordonnées (ϵ_{yy}):

La position du point d'application de la charge entre 0 et 0,50 m induit une variation alternée : les déformations (ϵ_{yy}) amplifient lorsque la variation de l'excentricité entre 0 et 0,25 m, et diminuent si l'excentricité est positionnée à 0,50 m et vice versa. Les intervalles et les côtes où l'excentricité varie entre 0 et 0,25 m et donne une augmentation des déformations sont : [9,75 m à 9,362553 m], la côte 7,5625 m et [4,8624206 m à 3,9623941 m], les autres intervalles et côtes lorsque l'excentricité est variée entre 0 et 0,25 m et donne une diminution

des déformations sont: [8,9751059 m à 8,0750794 m],[7,175053 m à 5,375 m] et [3,574947 m à 1,00 m]. Dans les mêmes intervalles et côtes cités ci-dessus les déformations (ϵ_{yy}) gardent le cas contraire si l'excentricité est positionnée à 0,50 cm.

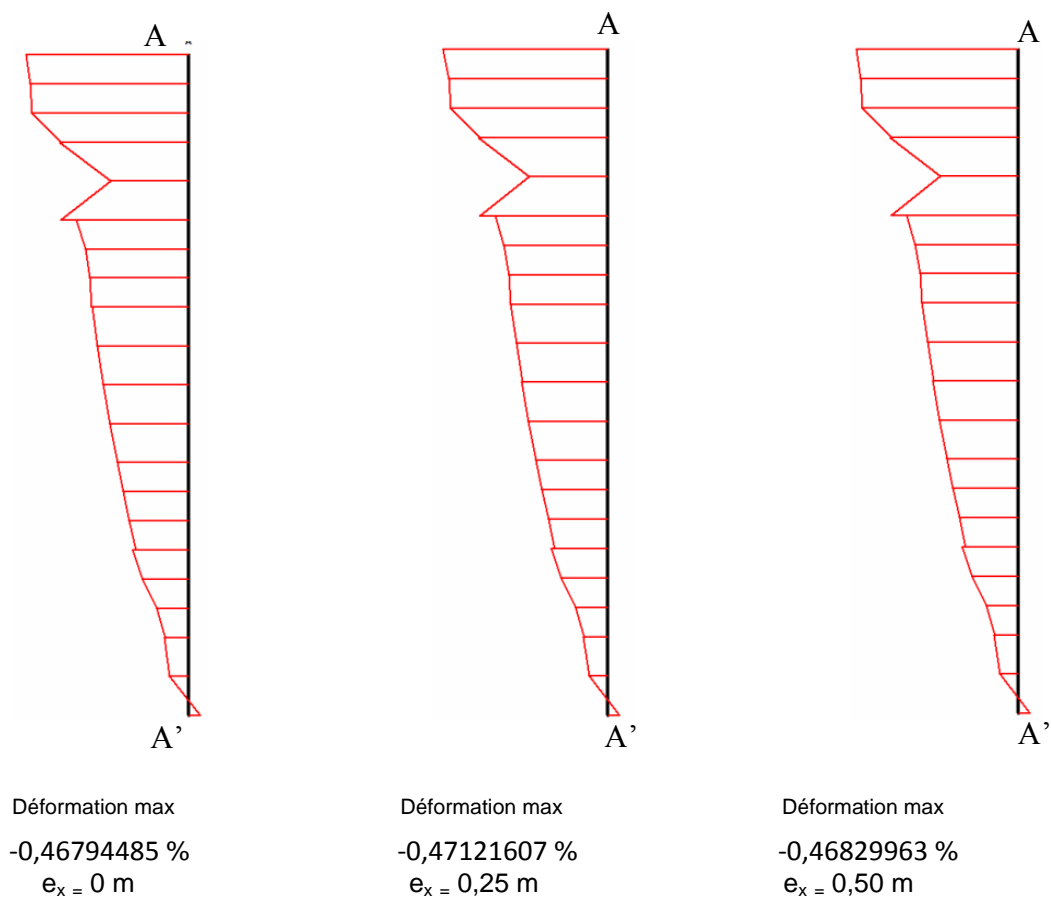


Figure IV.3b : Courbes de Déformation dans la Colonne 2 suivant l'axe des ordonnées selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec augmentation de l'épaisseur de radier

B.3 . Déformations dans le plan xy :

Lors de la variation de l'excentricité entre 0 et 0,50 m, les déformations (ϵ_{xy}) dans le plan xy tiennent des variation alternées: une diminution si l'excentricité est variée de 0 à 0,25 m, et une augmentation est marquée si l'excentricité est positionnée à 0,50 m et vice versa. Les intervalles et les côtes lorsque l'excentricité est fixée à 0,50 m et induit une augmentation sont :[9,75 m à 8,5876589 m], [6,7876059 m à 3,1875 m], la côte 2,0251589 m et la côte 1,00 m, les autres intervalles et côtes lorsque l'excentricité est placée sur le point

d'application 0,50 m et produit une diminution sont : [8,0750794 m à 7,175053 m],[2,800053 m à 2,0251589 m] et la côte 1,00 m.

Dans les mêmes intervalles et côtes cités ci-dessus les déformations (ϵ_{xy}) étayent le cas inverse si l'excentricité est positionnée à 0 et à 0,25 cm.

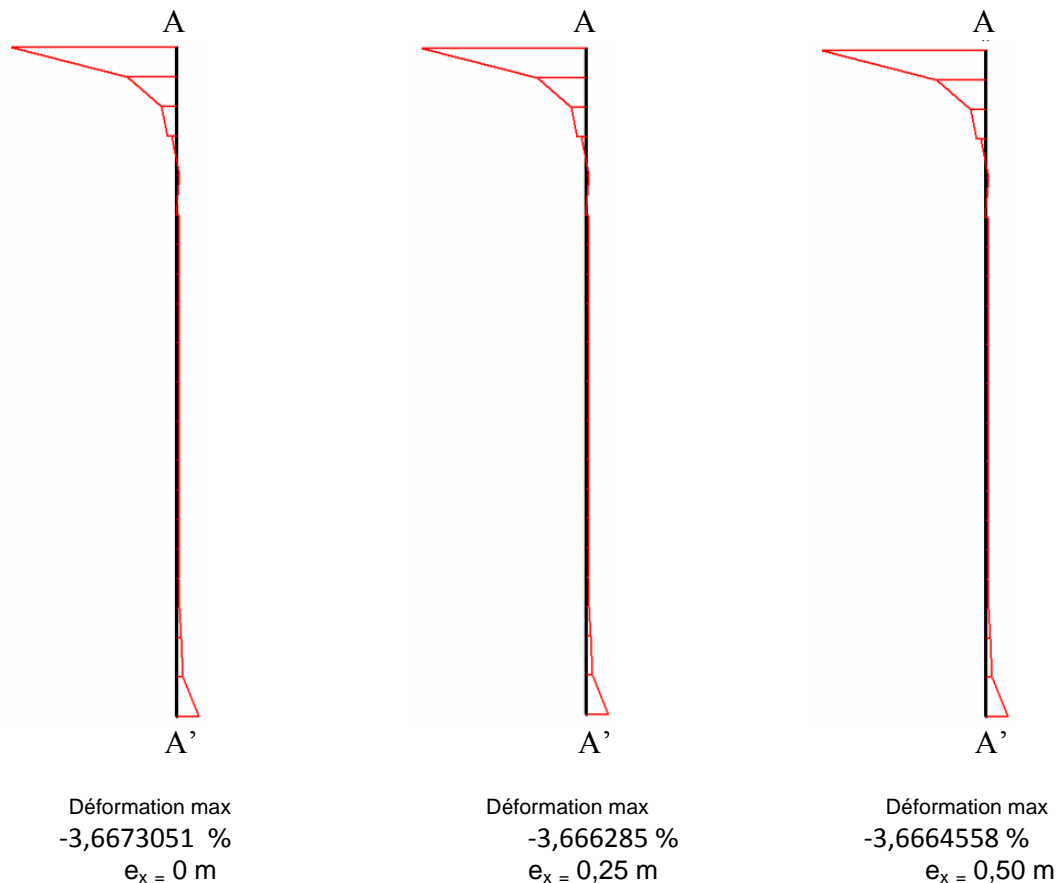


Figure IV.4b : Courbes de Déformation dans la Colonne 2 dans le plan xy

selon le point d'application de la charge (excentricité e_x)

avec augmentation de l'épaisseur de radier

C. Contraintes :

C.1. Contraintes suivant l'axe des abscisses :

Lors de changement du point d'application de la charge entre 0 et 0,50 m on observe que les contraintes effectives suivant l'axe des abscisses (σ'_{xx}) portent des variation alternées (soit une diminution ou une augmentation). Les intervalles et les côtes lorsque l'excentricité est fixée à 0,50 m et indique une augmentation des contraintes effectives (σ'_{xx}) sont : l'intervalle [5,375 m à 3,1875 m] et les côtes 9,362553 m, 12,772546 m et 1,00 m. En outre, les intervalles et les

côtes lorsque l'excentricité est fixée à 0,50 m et montre une diminution des contraintes effectives (σ'_{xx}) sont : 9,75 m, 1,00 m, [8,9751059 m à 7,5625 m],[7,175053 m à 5,8875794 m] et de l'intervalle [2,800053 m à 1,5125794 m].

Dans les mêmes intervalles et côtes évoqués ci-dessus les contraintes effectives (σ'_{xx}) tiennent le cas opposé si l'excentricité est positionnée à 0 et à 0,25 cm.

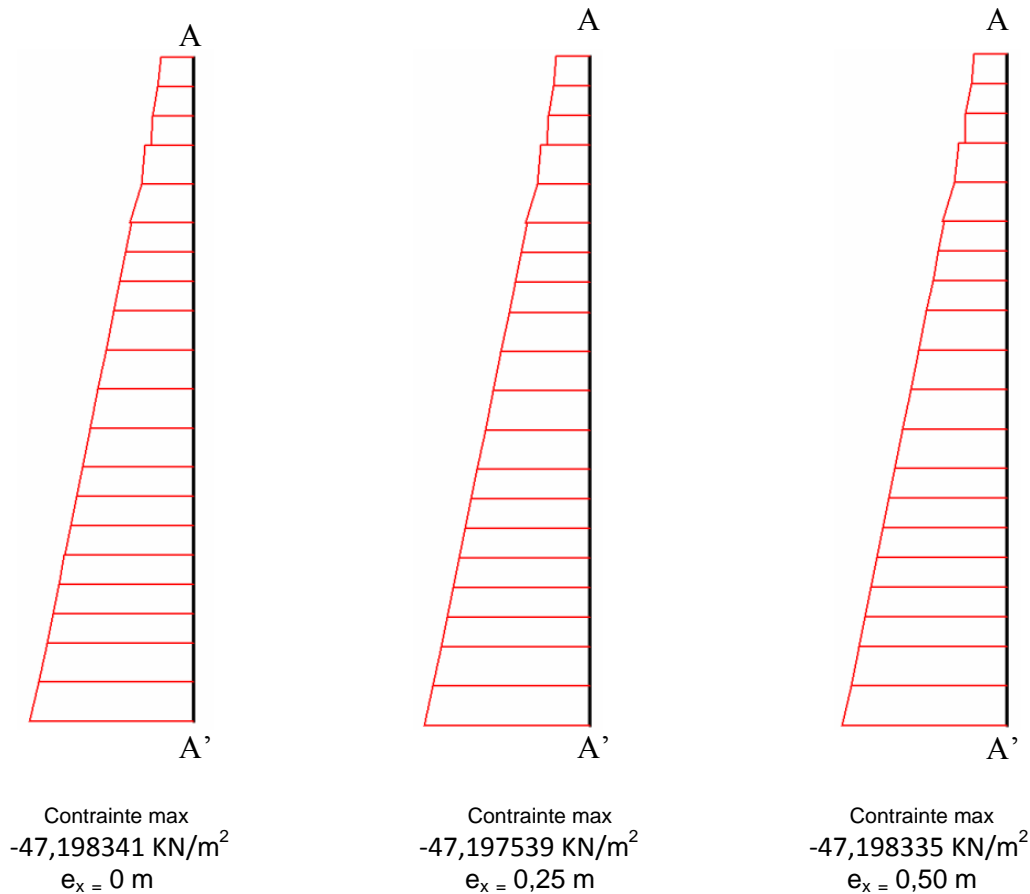


Figure IV5b : Courbes des Contraintes dans la Colonne 2 suivant l'axe des abscisses selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec augmentation de l'épaisseur de radier

C.2. Contraintes suivant l'axe des ordonnées :

Au moment de la position du point d'application de la charge (excentricité) entre 0 et 0,50 m les contraintes effectives suivant l'axe des ordonnées (σ'_{yy}) maintiennent des variations alternées. Les intervalles et les côtes lorsque l'excentricité est fixée à 0,50 m et donne une augmentation des contraintes effectives (σ'_{yy}) sont : les côtes 8,0750794 m, 7,5625 m et de l'intervalle [5,375 m à 3,1875 m]. Les autres intervalles et côtes lorsque l'excentricité est fixée à 0,50 m et produit une diminution des contraintes effectives (σ'_{yy}) sont: [9,75 m à 8,5876589 m], [7,175053 m à 5,8875794 m] et [2,800053 m à 1,00 m] .

Dans les mêmes intervalles et côtes indiqués ci-dessus les contraintes effectives suivant l'axe des ordonnées (σ'_{yy}) ont le cas inverse si l'excentricité est positionnée à 0 et à 0,25 m.

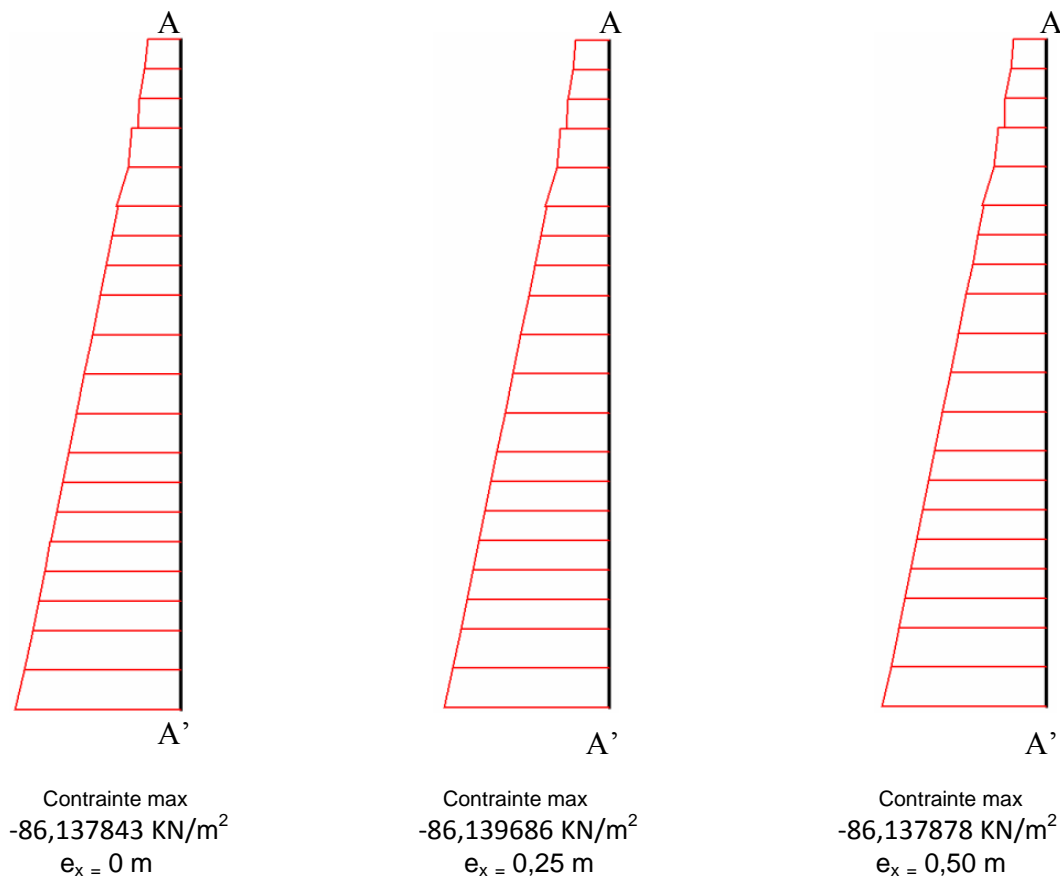
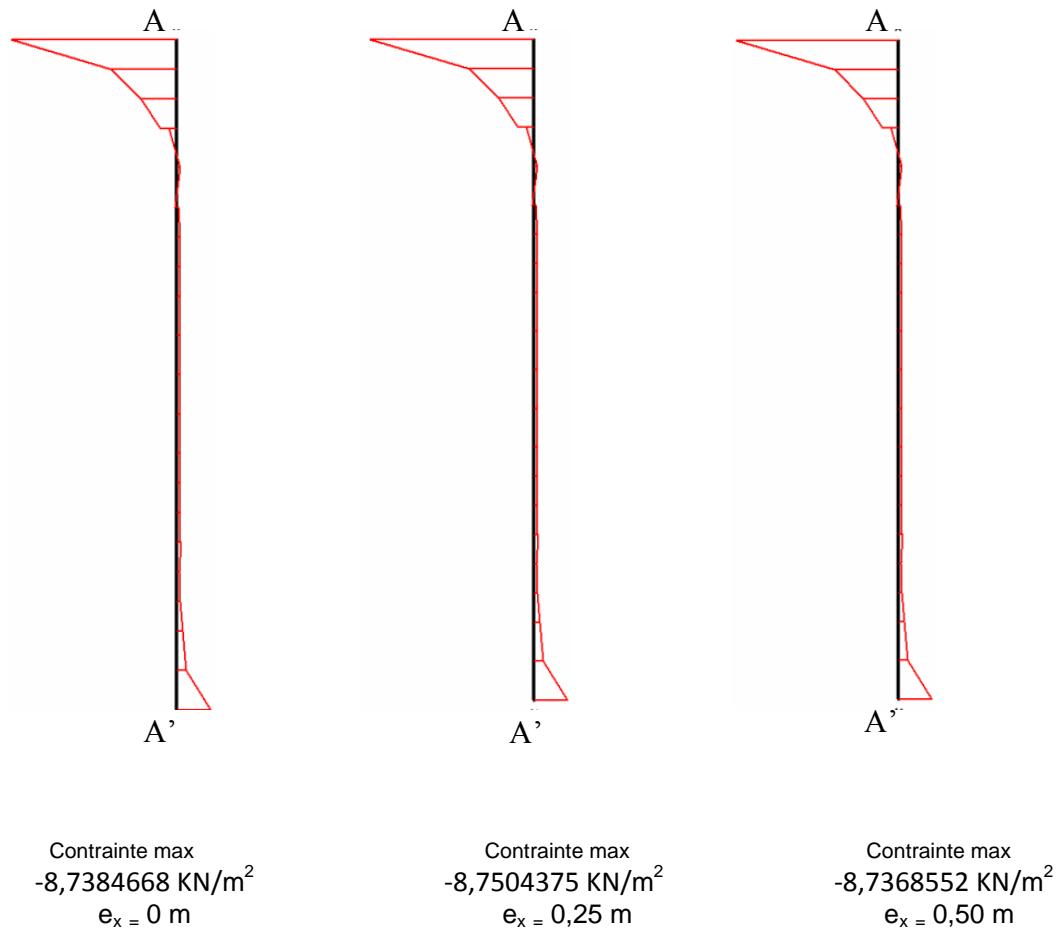


Figure IV.6b : Courbes des Contraintes dans la Colonne 2 suivant l'axe des ordonnées selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec augmentation de l'épaisseur de radier

C.3. Contraintes dans le plan xy :

On a enregistré une variation alternée (soit une diminution soit une augmentation) des contraintes effectives ($\sigma'_{xy} = \sigma_{xy}$) lors de variation du point d'application de la charge (excentricité) entre 0 et 0,50 m. Les intervalles et les côtes lorsque l'excentricité est fixée à 0,50 m et donne une augmentation des contraintes effectives ($\sigma'_{xy} = \sigma_{xy}$) sont : [9,362553 m à 8,5876589 m], [6,7876059 m à 6,4001589 m], [5,8875794 m à 4,8624206 m],[3,9623941 m à 3,1875 m] et la côte 1,00 m. les autre intervalles et côtes si l'excentricité est fixée à 0,50 m et donne une diminution des contraintes dans le plan ($\sigma'_{xy} = \sigma_{xy}$) sont : 9,75 m , [8,0750794 m à 7,175053 m], 6,4001589 m, [4,3498411 m à 4,3498411 m] et [2,800053 m à 1,5125794 m]. Dans les mêmes intervalles et les côtes signalés ci-dessus les contraintes effectives dans le plan xy (σ'_{xy}) ont le cas inverse si l'excentricité est positionnée à 0 et à 0,25 m.



*Figure IV.7b : Courbes des Contraintes dans la Colonne 2 dans le plan xy
selon le point d'application de la charge (excentricité e_x)
avec augmentation de l'épaisseur de radier*

D. Pressions Actives :

Lors de la variation de l'excentricité de la charge entre 0 et 0,50 m on constate une variation alternée :

de 0 à 0,25m : une augmentation des pressions actives de la côte 9,75 m à la côte 5,375 m ;

0,50 m : une diminution des pressions actives de la côte 9,75 m à la côte 5,375 m ;

de 0 et 0,25m : une diminution des pressions actives de la côte 4,8624206 m à la côte 3,1875m ;

0,50 m : une augmentation des pressions actives de la côte 4,8624206 m à la côte 3,1875 m ;

de 0 et 0,25m: une augmentation des pressions actives de la côte 2,800053 m à la côte 1,00m ;

0,50 m : une diminution des pressions actives de la côte 2,4126059 m à la côte 1,00 m.

Néanmoins, la figure IV.8b confirme que les pressions actives varient d'une manière linéaire en fonction de la profondeur (y) de la colonne.

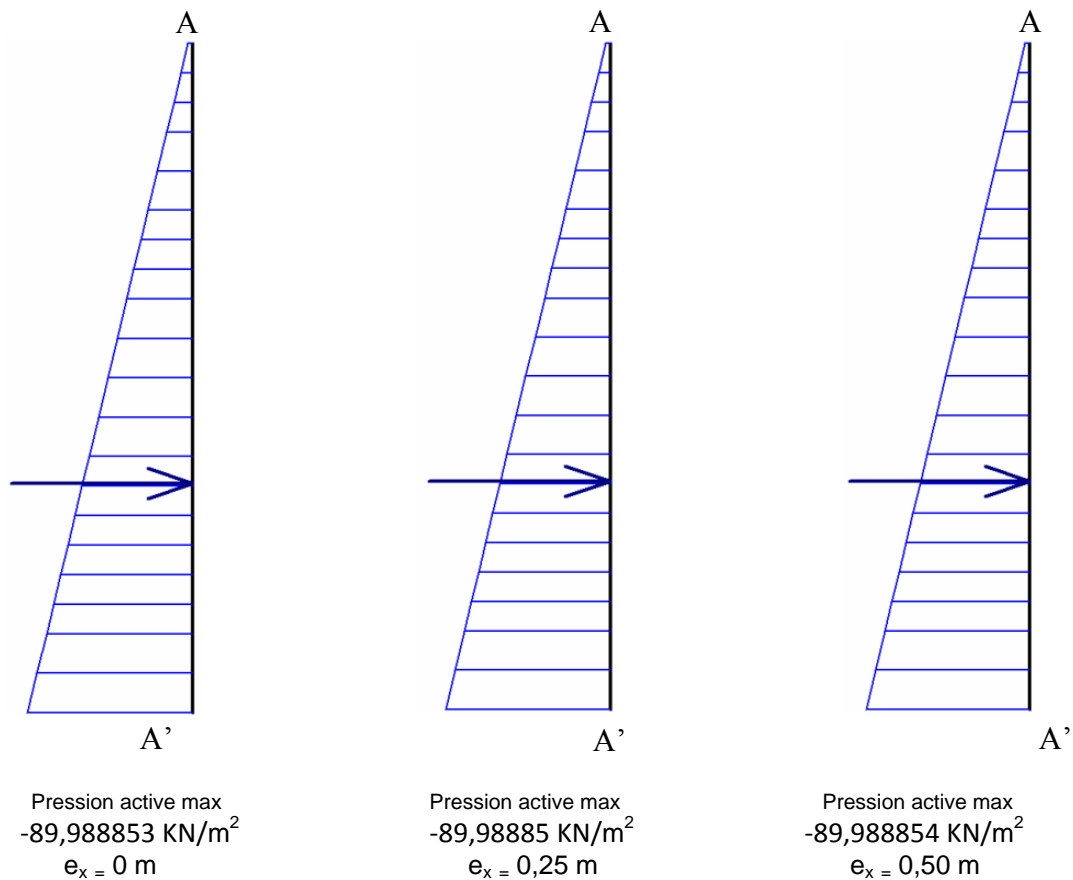


Figure IV. 8b : Courbes des pressions actives dans la colonne 2
selon le point d'application de la charge (excentricité e_x)
avec augmentation de l'épaisseur de radier

IV.1.2.2. Analyse & Interprétation des Résultats de la Colonne 1:

On constate d'après les résultats des figures de l'augmentation de l'épaisseur de radier de 0,25 m à 0,50 m (IV.9b, IV.10b, IV.11b, IV.12b, IV.13b, IV.14b, IV.15b et IV.16b) et notamment les courbes qui représentent le comportement de la colonne 1 située à gauche de la charge :

A. Déplacement :

A.1. Déplacement Total :

Une diminution des valeurs du déplacement quelle que soit la position de la charge de 0 à 0,5 m dans les deux côtes 9,75 m , 9,2192096 m et de l'intervalle [4,2490809 m à 1,5629596 m], dans le reste des sections et notamment l'intervalle [8,6884191 m à 4,8120404 m] les déplacements portent des variation alternées : une diminution si l'excentricité est variée de 0 à 0,25 m et augmentation si l'excentricité est positionnée à 0,50 m et vice versa.

Uniquement, on a observé à la base de la colonne (la côte 1,00) une égalité entre les valeurs de déplacements de l'excentricité 0,25 m et 0,50 m. La figure IV.9b montre pour chaque courbe une croissance des déplacements et une décroissance à partir de la valeur maximale jusqu'à la base en fonction de la variation de la profondeur (y).

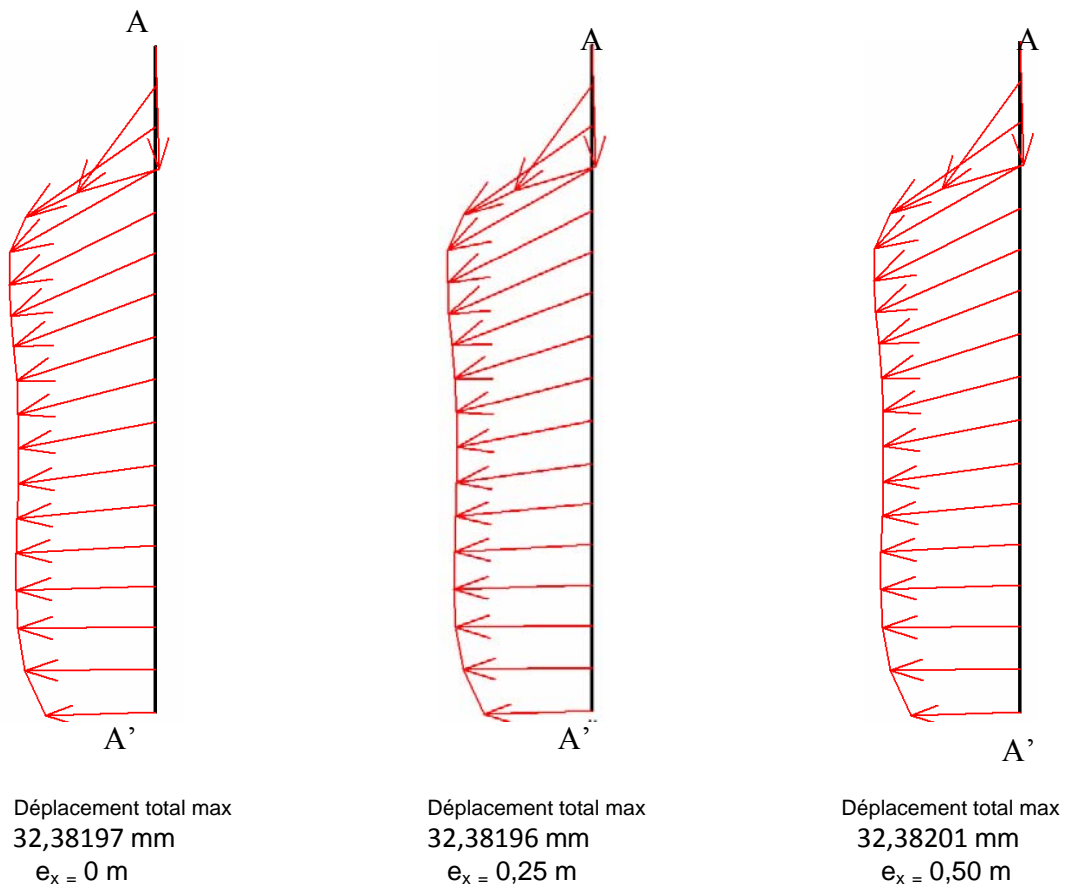
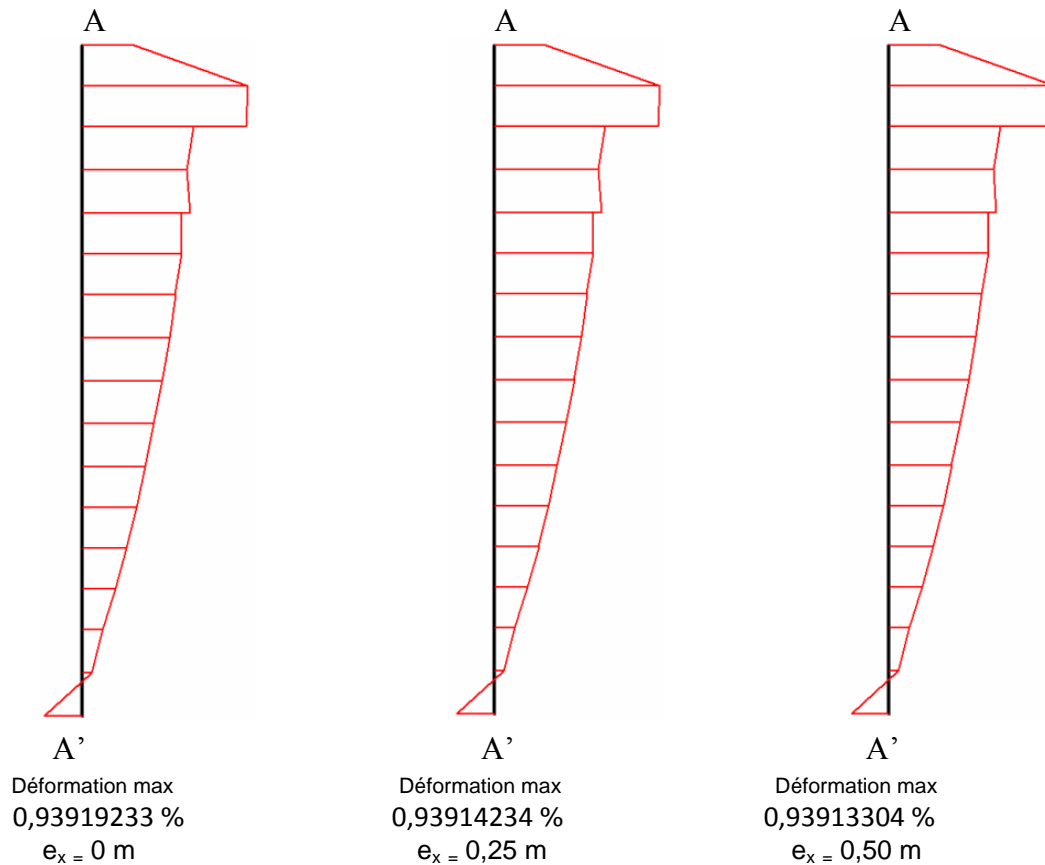


Figure IV.9b : Courbes de Déplacement dans la Colonne 1 selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec augmentation de l'épaisseur de radier

B. Déformations :

B.1. Déformations suivant l'axe des abscisses :

La position du point d'application de la charge entre 0 et 0,50 m provoque une diminution des déformations (ϵ_{xx}) de la côte 9,2192096 m à la côte 4,8120404 m et à la base de la colonne (la côte 1,00 m) en outre, une augmentation de la côte 2,1259191 m à la côte 1,5629596 m. Par ailleurs, dans la côte 9,75 m et l'intervalle [de la côte 4,2490809 m à la côte 2,6567096 m] les déformations (ϵ_{xx}) portent des variations alternées: une réduction si l'excentricité est fixée à 0 et à 0,25 m et une amplification si l'excentricité est placée à 0,50 m.



*Figure IV.10b : Courbes de Déformation dans la Colonne 1 suivant l'axe des abscisses
selon le point d'application de la charge (excentricité e_x)
avec augmentation de l'épaisseur de radier*

B.2. Déformations suivant l'axe des ordonnées :

Selon la variation de l'excentricité de 0 à 0,50 m, les déformations (ϵ_{yy}) diminuent sur la partie supérieure et intermédiaire de la côte 9,75 à la côte 4,2490809 m et sur la partie inférieure dans les deux côtes : 1,5629596 m et 1,00 m, sur la même partie on a enregistré une augmentation de la côte 3,7182904 m à la côte 2,1259191 m.

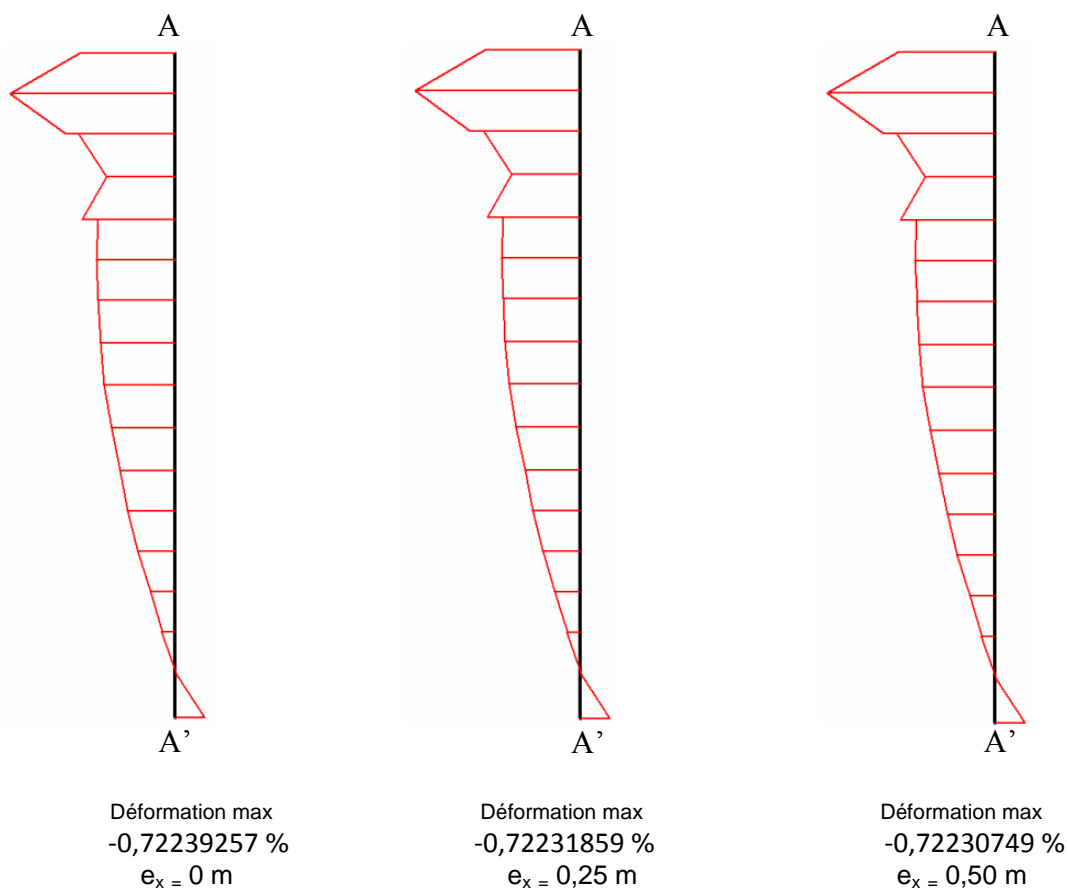


Figure IV.11b : Courbes de Déformation dans la Colonne 1 suivant l'axe des ordonnées selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec augmentation de l'épaisseur de radier

B.2. Déformations dans le plan xy :

Suivant la position du point d'application de la charge entre 0 et 0,50 m les déformations (ϵ_{xy}) augmentent sur la partie supérieure et intermédiaire dans les deux intervalles de la côte 9,75 m à la côte 8,1254596 m et de la côte 7,0317096 m à la côte 4,8120404 m, diminuent dans les trois côtes : 4,2490809 m, 3,7182904 m et 1,00 m et tiennent des variations alternées dans le reste des côtes et intervalles : une augmentation dans la côte 7,5625 m et l'intervalle de la côte 3,1875 m à la côte 2,1259191 m si l'excentricité est positionnée à 0 et à 0,25 m et une diminution dans la même côte et intervalle si l'excentricité est fixée à 0,50 m uniquement. Dans la côte 1,5629596 m on a remarqué une diminution quand l'excentricité est fixée à 0 et à 0,25 m et une augmentation si l'excentricité est fixée à 0,50 m.

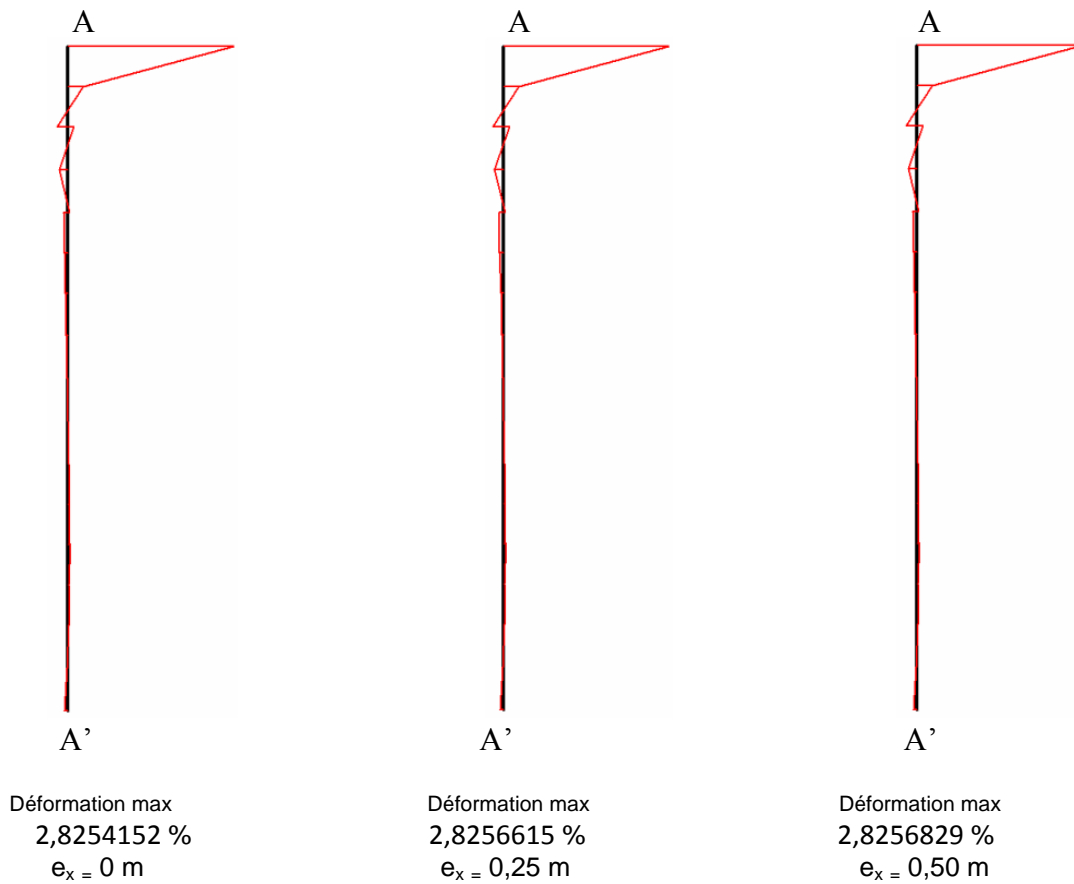


Figure IV.12b : Courbes de Déformation dans la Colonne 1 dans le plan xy selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec augmentation de l'épaisseur de radier

C. Contraintes :

C.1. Contraintes suivant l'axe des abscisses :

Suivant le positionnement du point d'application de la charge de 0 à 0,50 m une augmentation des contraintes effectives (σ'_{xx}) dans l'intervalle [8,6884191 m à 7,5625] et les côtes : 6,5009191 m, 5,375 m et la côte 1,5629596 m, une variation alternée est enregistré au sommet de la colonne : une augmentation si l'excentricité est fixée à 0 et 0,25 m, et une diminution si l'excentricité est positionnée à 0,50 m et vice versa dans les deux côtes : 9,75 m et 9,2192096 m. Néanmoins, les contraintes effectives (σ'_{xx}) portent des valeurs similaires si l'excentricité est fixée à 0,25 m et à 0,50 m dans les côtes suivantes : 7,0317096 m, 5,9379596 m, 4,8120404 m, 3,7182904 m, 3,1875 m, 2,6567096 m, 2,1259191 m et 1,00 m.

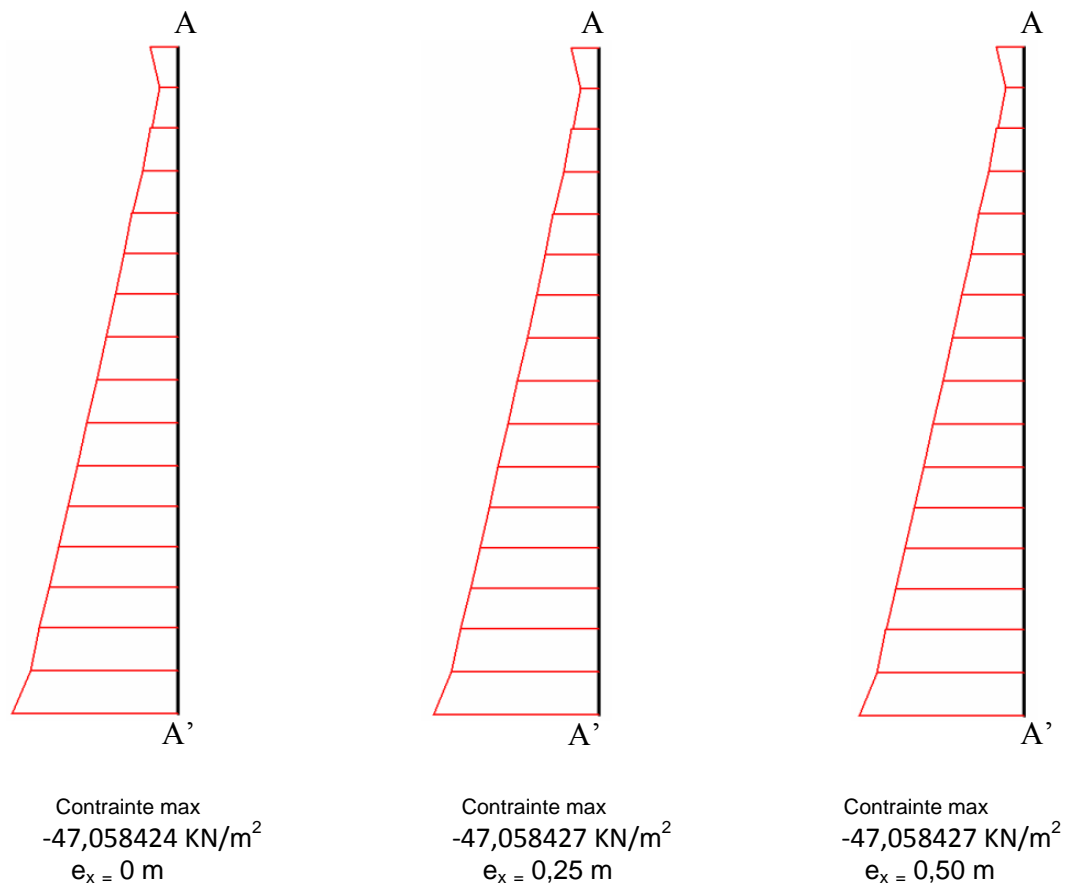
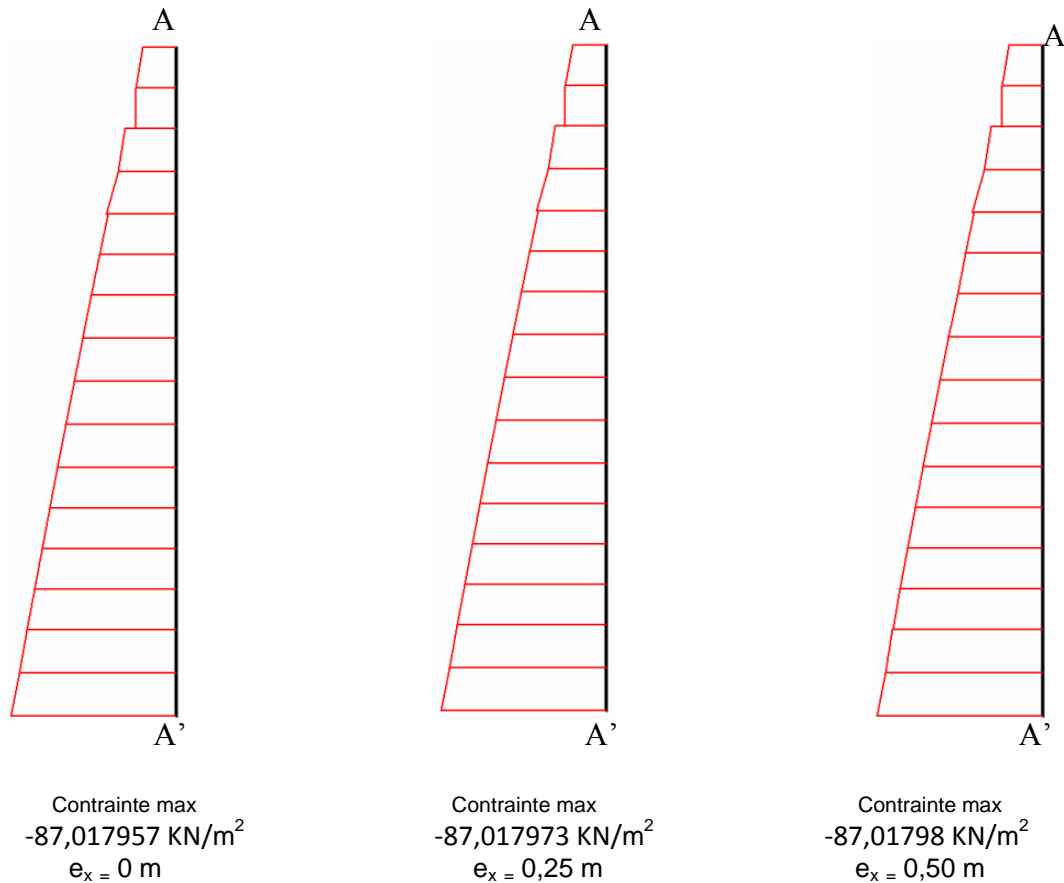


Figure IV. 13b : Courbes des Contraintes dans la Colonne 1 suivant l'axe des abscisses selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec augmentation de l'épaisseur de radier

C.2. Contraintes suivant l'axe des ordonnées :

Une diminution des contraintes effectives (σ'_{yy}) est observée sur la partie supérieure et intermédiaire dans l'intervalle [9,75 m à 4,2490809 m] et une augmentation sur la partie inférieure dans l'intervalle [3,7182904 à 1,00 m] suivant la variation de l'excentricité entre 0 et 0,50 m.



*Figure IV.14b : Courbes des Contraintes dans la Colonne 1 suivant l'axe des ordonnées
 selon le point d'application de la charge (excentricité e_x)
 avec augmentation de l'épaisseur de radier*

C.3. Contraintes dans le plan xy :

Suivant le positionnement du point d'application de la charge entre 0 et 0,50 m les contraintes effectives ($\sigma'_{xy} = \sigma_{xy}$) augmentent sur la partie supérieure et intermédiaire de la colonne dans les côtes : la côte 9,75 m, la côte 9,2192096 m, la côte 8,1254596 m, 3,1875 m et l'intervalle [7,0317096 m à 4,8120404 m]. La diminution est enregistrée dans les trois côtes suivantes: 4,2490809 m, 3,7182904 m et 1,00 m, le restant des côtes de la colonne les contraintes effectives ($\sigma'_{xy} = \sigma_{xy}$) prennent des variations alternées : Une augmentation si l'excentricité est située sur le point 0 et 0,25 m et une diminution si l'excentricité est située sur le point 0,50 m, et vice versa dans les côtes suivantes : 8,6884191m, 7,5625m, 2,6567096m, 2,1259191m et la côte 1,5629596m.

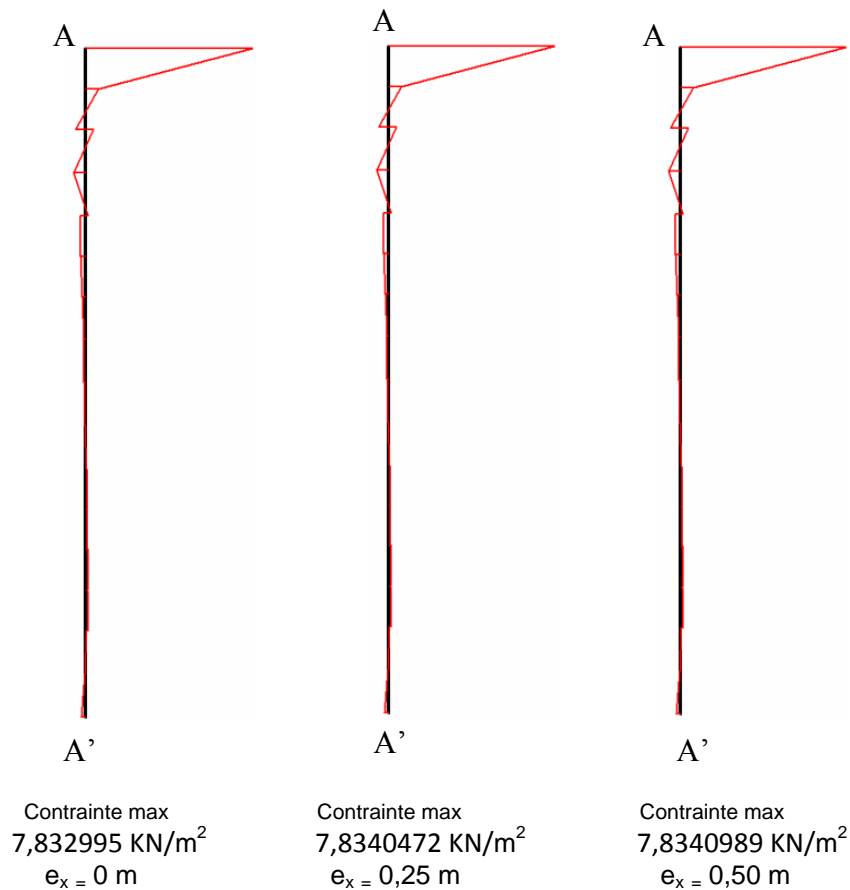
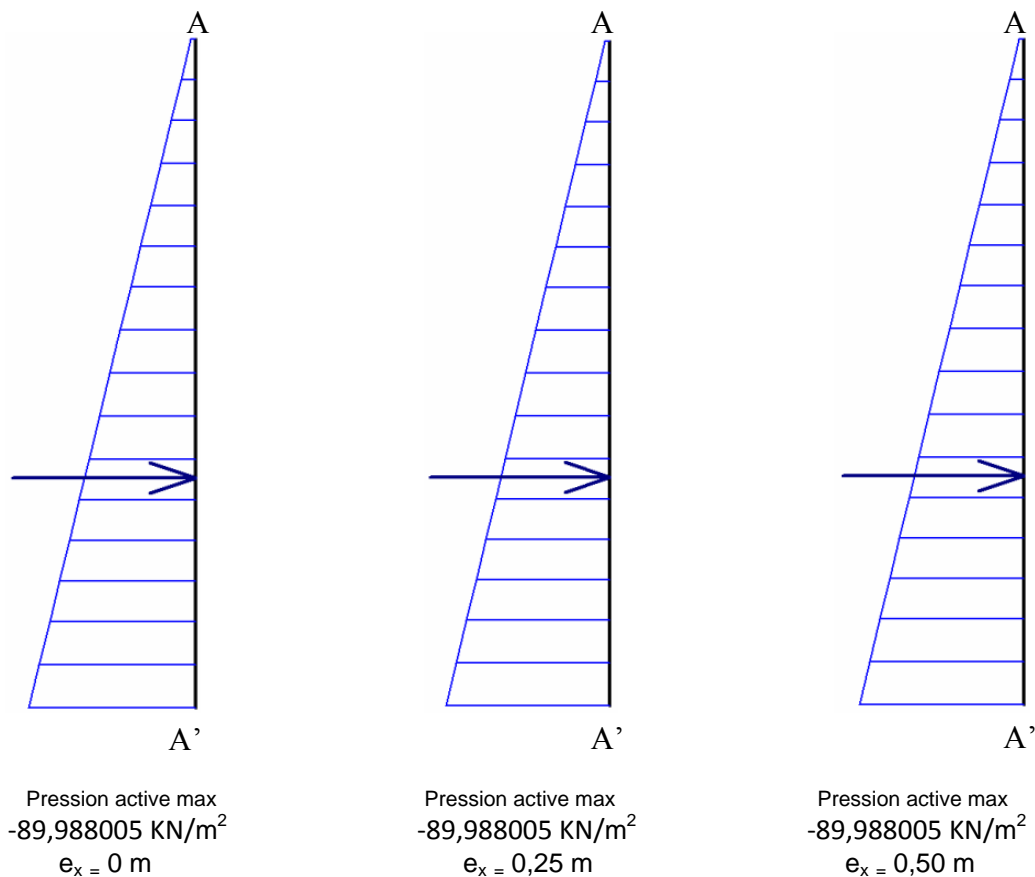


Figure IV. 15b : Courbes des Contraintes dans la Colonne 1 dans le plan xy
selon le point d'application de la charge (excentricité e_x)
avec augmentation de l'épaisseur de radier

D. Pressions Actives :

Lors de la variation de l'excentricité de la charge de 0 à 0,50 m, on a enregistré des valeurs similaires (identiques) des pressions actives sur toute la profondeur de la colonne, seulement une diminution est remarquée dans les trois côtes suivantes : 9,75 m, 9,2192096 m et 8,1254596 m si l'excentricité est située sur les points 0 et 0,25 m et une augmentation si l'excentricité est située sur le point 0,50 m. Néanmoins, d'après les résultats et la figure IV.16 b montrent une variation des pressions actives d'une manière linéaire le long de la profondeur (y) de la colonne.



*Figure IV.16b : Courbes des pressions actives dans la colonne 1
selon le point d'application de la charge (excentricité e_x)
avec augmentation de l'épaisseur de radier*

IV.1.2.3. Conclusion des résultats des colonnes 1 et 2 et leurs interprétations :

On a enregistré les mêmes causes probables de la variation des résultats entre la colonne 2 (figures : IV. 1b, IV. 2b, IV. 3b, IV. IV. 4b ,IV. 5b, IV. 6b, IV. 7b et IV. 8b) et la colonne1 (figures : IV. 9b, IV. 10b, IV. 11b, IV. 12b, IV. 13b, IV. 14b, IV. 15b et IV. 16b) citées dans la partie : influence de point d'application de la charge (excentricité) sur le comportement des colonnes (pages 66 et 67).

Les résultats marqués présentent le comportement des deux colonnes 1et 2 par rapport au changement du point d'application de la charge appliquée, et l'augmentation de l'épaisseur du radier de 0,25 m à 0,50 m. Cette dernière implique une amplification dans les valeurs de déplacements pour la colonne 1. Par contre, dans la colonne 2 induisant une élévation des valeurs de déplacements dans la partie supérieure et une réduction dans les deux parties intermédiaire et inférieure. Relatif aux déformations suivant l'axe des abscisses (ϵ_{xx}) de la

colonne 2 ont augmenté sur la partie supérieure et ont diminué sur les deux parties intermédiaire et inférieure. Dans la colonne 1, les mêmes déformations ont amplifié sur toute la profondeur de la colonne. Seulement, on a enregistré une diminution dans quelques sections sur la partie inférieure. Pour les déformations suivant l'axe des ordonnées (ϵ_{yy}) ont augmenté sur toute la profondeur des deux colonnes 1 et 2 uniquement, on a constaté une diminution à la base des deux colonnes. Dans le plan xy, les déformations (ϵ_{xy}) ont augmenté le long de la profondeur des deux colonnes 1 et 2, particulièrement à la base de la colonne 1 ont diminué dans quelques sections. Concernant les contraintes suivant les axes des abscisses (σ'_{xx}) et ordonnées (σ'_{yy}) ont augmenté le long des deux colonnes. Dans le plan xy, les contraintes ($\sigma'_{xy} = \sigma_{xy}$) ont amplifié sur la profondeur des deux colonnes 1 et 2, dans la colonne 1 on a observé une diminution sur certaines sections situées sur la partie inférieure. Quant aux pressions actives, elles ont diminué le long de la profondeur des deux colonnes 1 et 2 sous l'effet de l'augmentation de l'épaisseur du radier.

Les colonnes 1 et 2 ont soutenus des modifications dans les résultats (déplacements, déformations, contraintes et pressions actives) à cause de l'augmentation de l'épaisseur du radier d'une part, d'une façon croissante sur les valeurs des déplacements soit le long de la profondeur si la l'emplacement de la colonne est située à gauche de la charge appliquée ou sur la partie supérieure si la colonne est située à droite de la charge appliquée, le même constat a été observé pour les déformations suivant l'axe des abscisses (ϵ_{xx}). Pour les autres déformations suivant l'axe des ordonnées (ϵ_{yy}) et dans le plan xy (ϵ_{xy}) on a différencié une amplification presque sur toute la profondeur des colonnes, mais à la base on a noté une diminution dans quelques sections. Pour les différentes contraintes, on a enregistré un accroissement le long de la profondeur des deux colonnes, exclusivement les contraintes dans le plan xy ont diminué dans quelques sections.

Et d'autre part, Elles portent encore d'une manière décroissante dans les valeurs des pressions actives le long de la profondeur des colonnes et dans la partie intermédiaire et inférieure des colonnes pour les déplacements et les déformations suivant l'axe des abscisses (ϵ_{xx}).

Enfin, on a conclu que la variation enregistrée dans les résultats (déplacements, déformations, contraintes et pressions actives) est relative au paramètre de l'augmentation de l'épaisseur .

IV.1.2.4. Analyse et interprétation des résultats de la colonne 4:

On constate d'après les résultats des figures de l'augmentation de l'épaisseur de radier de 0,25 m à 0,50 m (IV.17b, IV.18b, IV.19b, IV.20b, IV.21b, IV.22b, IV. 23b et IV.24b) et notamment les courbes qui représentent le comportement de la colonne 4 située à droite de la charge :

A. Déplacement :

A.1. Déplacement Total :

A partir du changement du point d'application de la charge entre 0 et 0,50 m, les déplacements augmentent dans la partie supérieure au sommet de la colonne de la côte 9,75 m, dans la partie intermédiaire de la côte 6,1657687 m à la côte 4,9796157 m et dans la partie inférieure de la côte 3,1875 m à la côte 1,00 m.

Encore une diminution de déplacement est observé lorsque l'excentricité est positionnée à 0 et à 0,25 m dans la partie supérieure de la côte 9,2493265 m à la côte 6,561153 m et dans la partie intermédiaire de la côte 4,5842313 m à la côte 3,6881735 m, en parallèle et dans les deux derniers intervalles (les mêmes parties) les déplacements augmentent si l'excentricité est située sur le point 0,50 m.

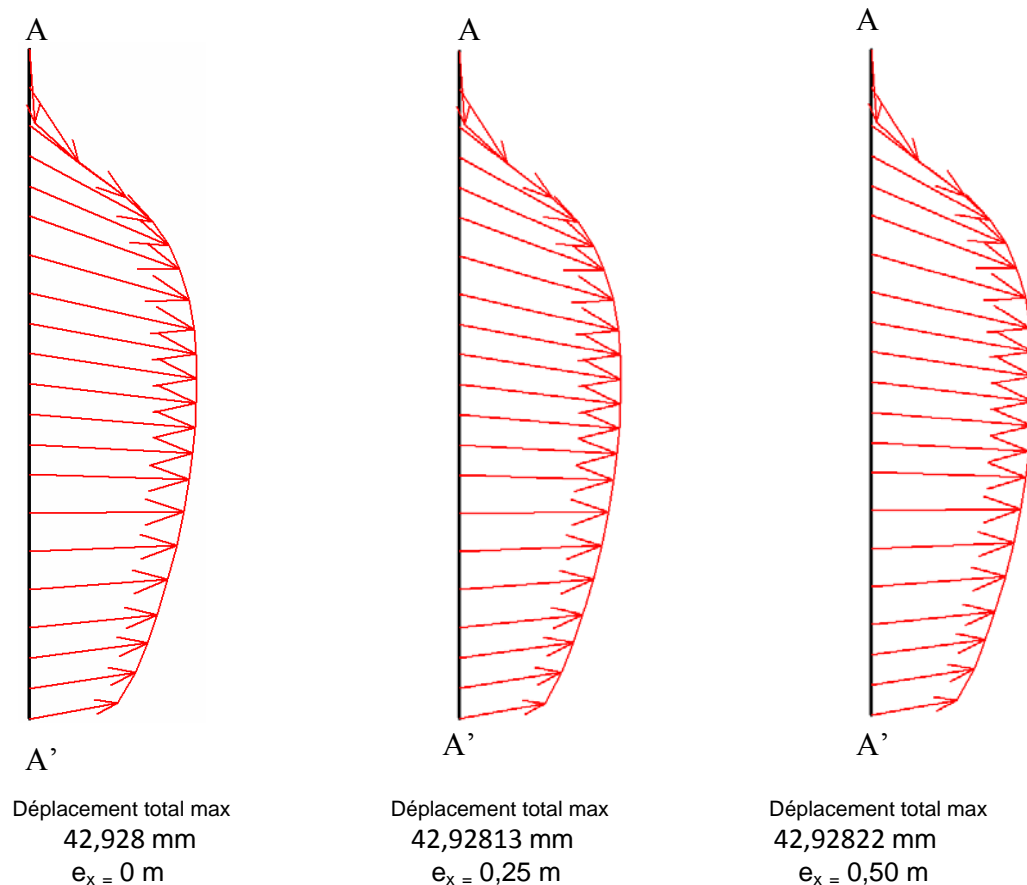


Figure IV.17b : Courbes de Déplacement dans la Colonne 4 selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec augmentation de l'épaisseur de radier

B. Déformations

B.1. Déformations suivant l'axe des abscisses :

La variation du point d'application de la charge (excentricité) entre 0 et 0,50 m induit: une augmentation des déformations (ϵ_{xx}) dans la partie supérieure et intermédiaire au sommet de la colonne de la côte 9,75 m et dans l'intervalle [8,3532687 m à 5,375 m]. Par ailleurs, une diminution est enregistrée dans la côte 8,748653 m et l'intervalle [3,1875 m à 1,00 m]. Néanmoins, une variation alternée est observée dans l'intervalle [4,9796157 m à 3,6881735 m], une diminution quand l'excentricité est variée de 0 à 0,25 m et une augmentation si l'excentricité est fixée à 0,50 m et vice versa.

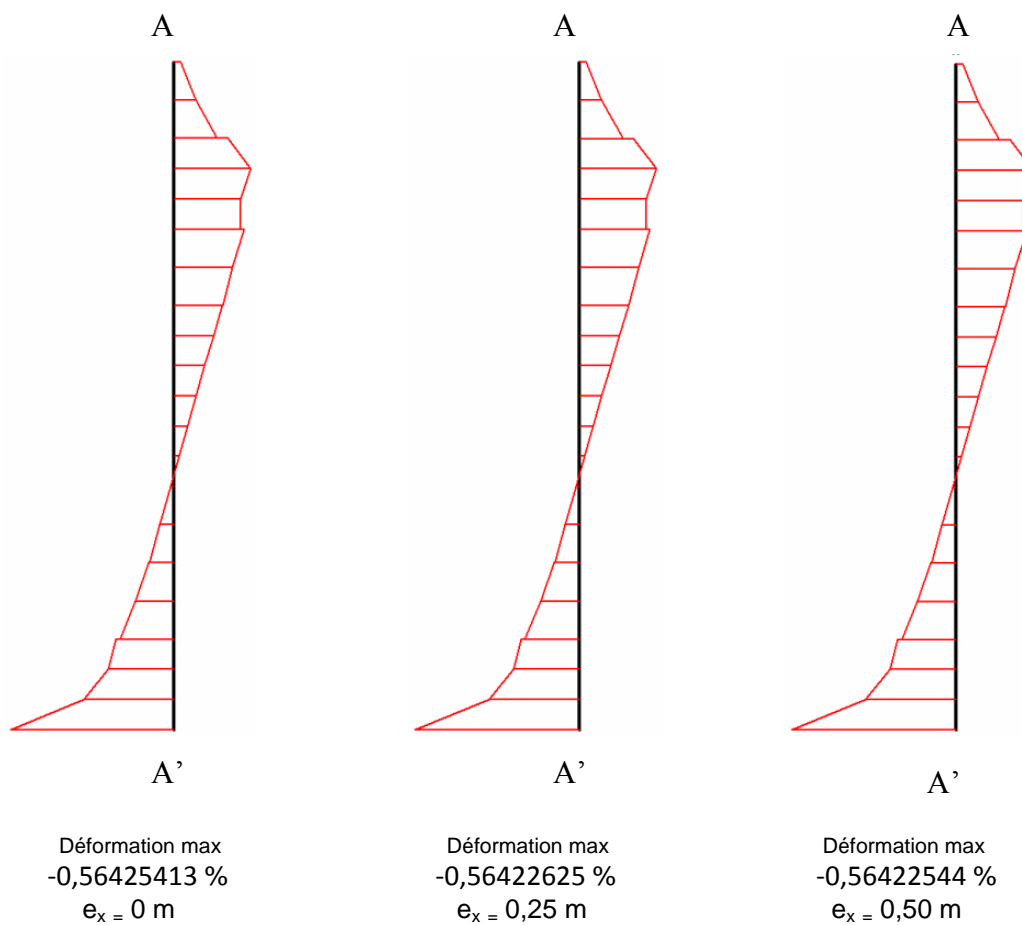


Figure IV.18b : Courbes de Déformation dans la Colonne 4 suivant l'axe des abscisses selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec augmentation de l'épaisseur de radier

B.2. Déformations suivant l'axe des ordonnées :

L'emplacement du point d'application de la charge appliquée entre 0 et 0,50 m provoque une augmentation des déformations suivant l'axe des ordonnées (ϵ_{yy}) sur toute la profondeur de la colonne. Cependant, une diminution est remarquée à la base de la colonne de la côte 1,00 m. Dans les deux côtes successives 9,2493265 m et 8,748653 m situées sur la partie supérieure, on a observé une diminution lorsque le point de la charge appliquée (excentricité) est varié de 0 à 0,25 m, en parallèle dans les mêmes côtes une amplification est enregistré quand l'excentricité prend la valeur 0,50 m.

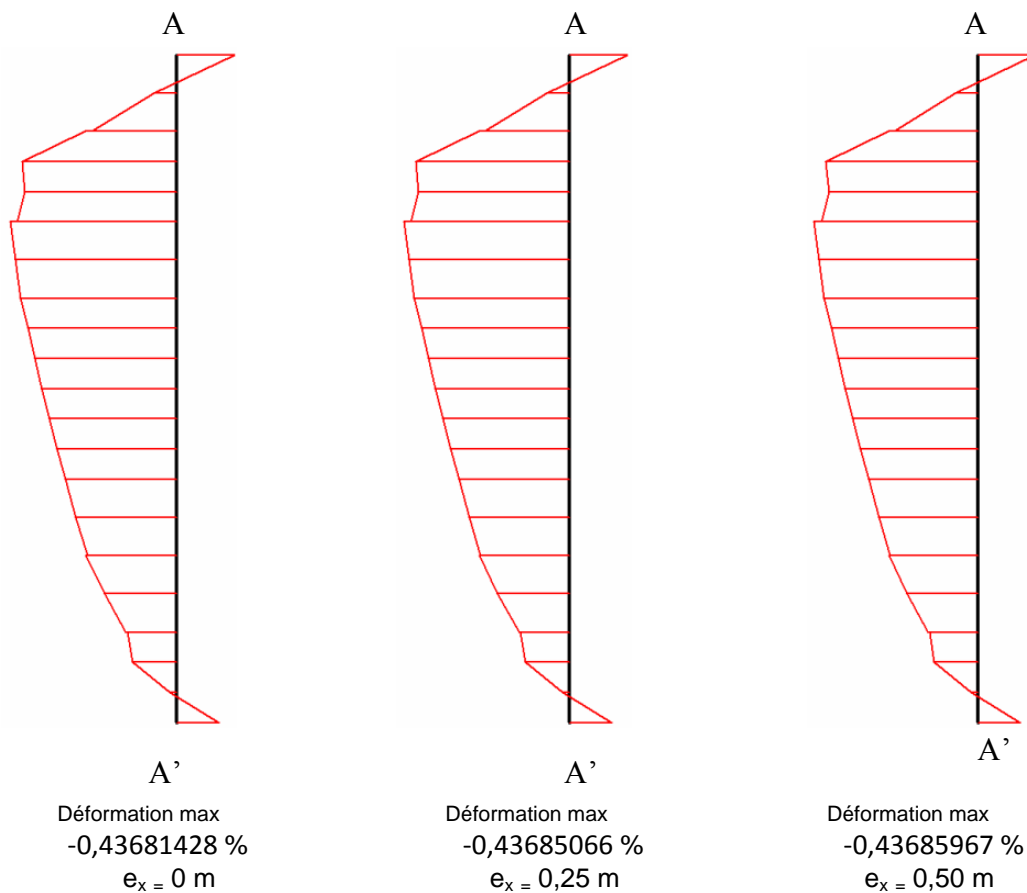


Figure IV.19b : Courbes de Déformation dans la Colonne 4 suivant l'axe des ordonnées selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec augmentation de l'épaisseur de radier

B.3. Déformations dans le plan xy :

Suivant la position du point d'application de la charge de 0 à 0,50 m les déformations (ϵ_{xy}) augmentent dans deux intervalles sur les trois parties supérieure, intermédiaire et inférieure :

[9,75 m à 7,5625 m] et [4,9796157 m à 2,186153 m], Autre temps une diminution est enregistrée dans les deux côtes suivantes : 7,0618265 m et 1,3953843 m. Toutefois, dans la partie intermédiaire les déformations (ε_{xy}) diminuent de la côte 6,561153 m à la côte 5,375 m lorsque l'excentricité est variée de 0 à 0,25 m, et augmentent quand l'excentricité est fixée à 0,50 m, et à la base de la colonne les déformations (ε_{xy}) tiennent le cas contraire dans les deux côtes suivantes : 1,7907687 m et 1,00 m.

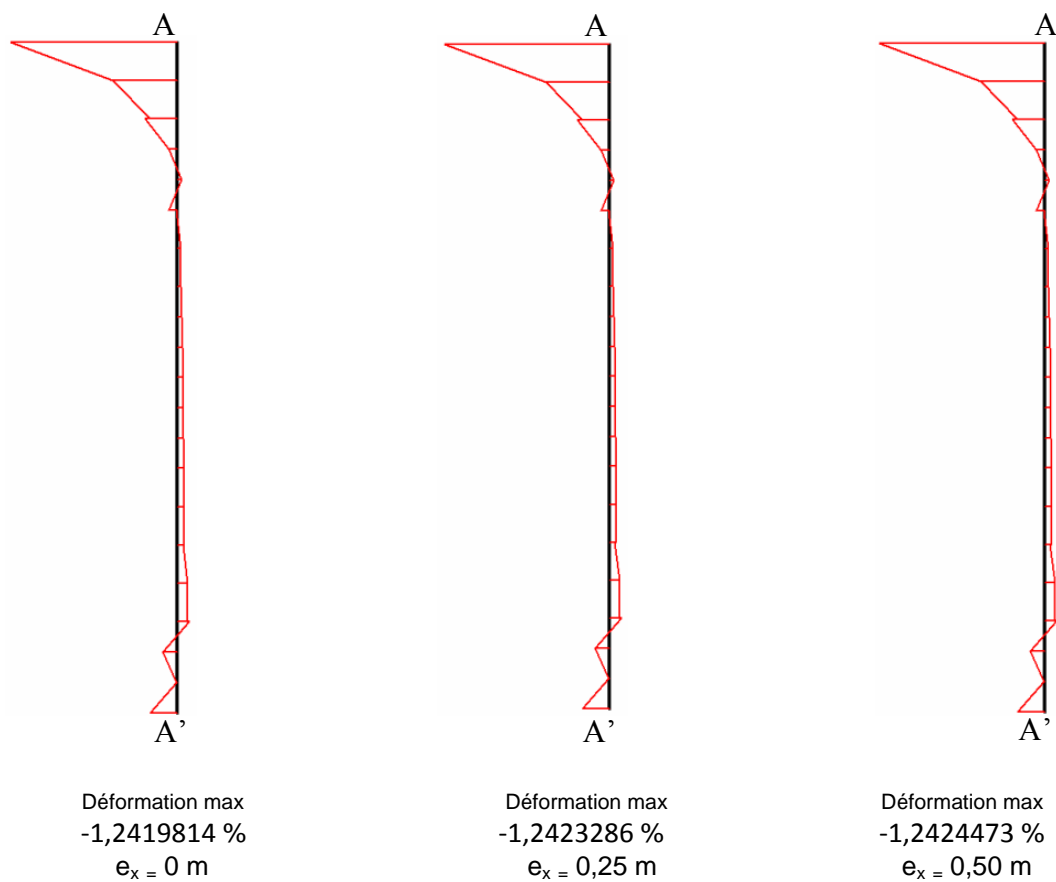


Figure IV.20b : Courbes de Déformation dans la Colonne 4 dans le plan xy
selon le point d'application de la charge (excentricité e_x)
avec augmentation de l'épaisseur de radier

C. Contraintes :

C.1. Contraintes suivant l'axe des abscisses :

Les contraintes effectives suivant l'axe des abscisses (σ'_{xx}) prennent des variations alternées sur les parties (supérieure, intermédiaire et inférieure) de la colonne de la côte 9,75 m à la côte 7,0618265 m et de la côte 4,9796157 m à la côte 3,6881735 m. Si la position du point d'application de la charge est située sur les points (excentricités e_x) 0 et 0.25 m, elle produit

une réduction des contraintes effectives (σ'_{xx}). Mais quand elle est positionnée sur le point (excentricités e_x) 0,50 m, on a enregistré une amplification et vice versa. Egalement, on a constaté que quelque soit la position de point d'application de la charge (excentricité e_x) entre 0 et 0,50 m les contraintes effectives (σ'_{xx}) sont réduites dans les deux intervalles suivants : [6,561153 m à 5,375 m] et [3,1875 m à 1,3953843 m].

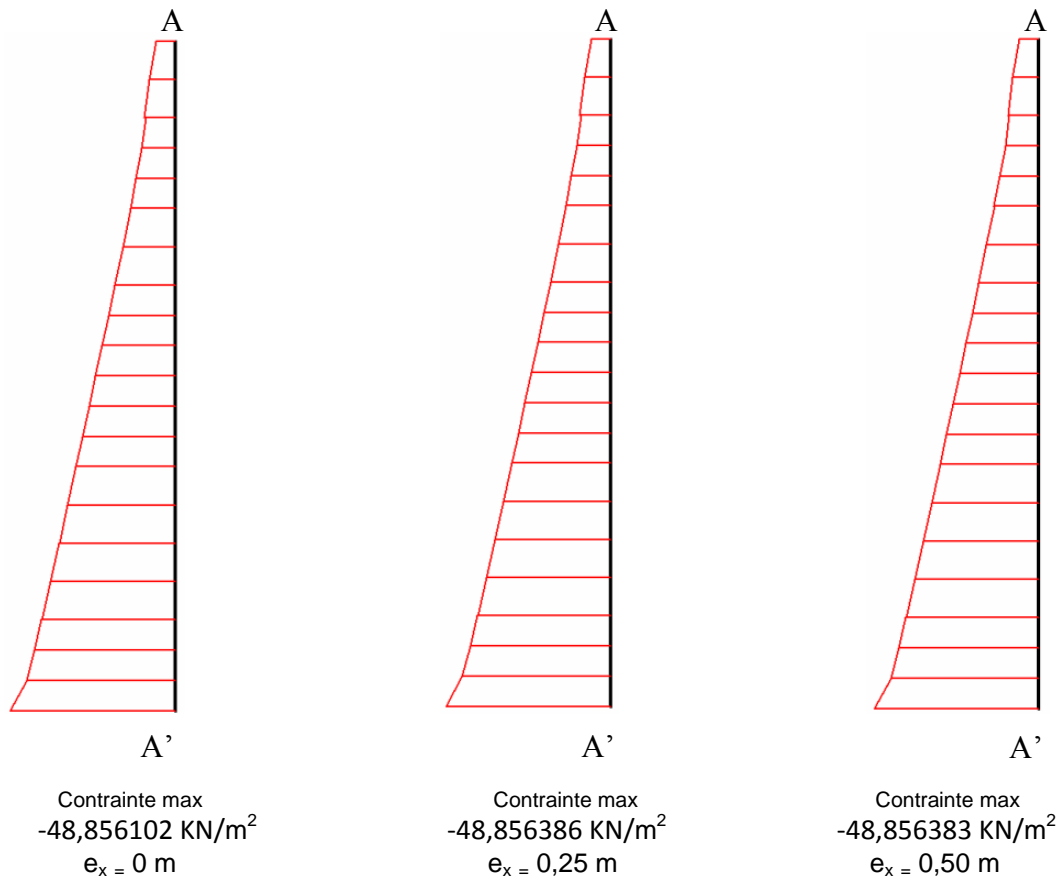


Figure IV.21b : Courbes des Contraintes dans la Colonne 4 suivant l'axe des abscisses selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec augmentation de l'épaisseur de radier

C.2. Contraintes suivant l'axe des ordonnées :

Lors du changement de la position du point d'application de la charge (excentricité) entre 0 et 0,50 m, les contraintes effectives suivant l'axe des ordonnées (σ'_{yy}) amplifient dans les deux côtés :7,5625 m, 1,00 m et l'intervalle [5,375 m à 3,1875 m], Autre temps une diminution des

contraintes effectives (σ'_{yy}) est enregistré sur les trois intervalles suivants : [9,75 m à 7,9578843 m], [7,0618265 m à 5,7703843 m] et l'intervalle [2,6868265 m à 1,3953843 m] lorsque l'excentricité est appliquée sur les deux points 0 et 0,25 m, en parallèle et dans les mêmes trois intervalles les contraintes effectives (σ'_{yy}) augmentent quand l'excentricité est égale à 0,50 m.

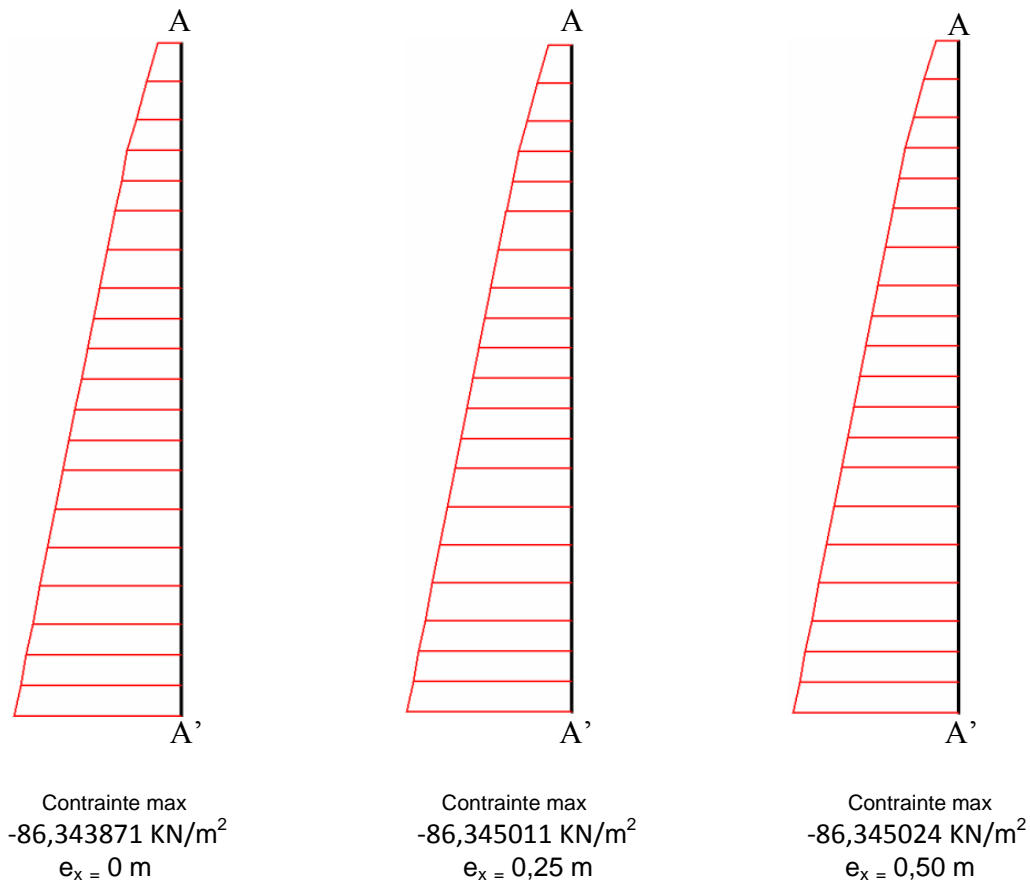


Figure IV.22b : Courbes des Contraintes dans la Colonne 4 suivant l'axe des ordonnées selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec augmentation de l'épaisseur de radier

C.3.Contraintes dans le plan xy :

Les contraintes effectives ($\sigma'_{xy} = \sigma_{xy}$) augmentent sur les deux intervalles : [9,75 m à 7,5625 m] et [4,5842313 m à 2,186153 m], et diminuent dans les deux côtes 1,7907687 m et 1,3953843m selon la variation du point d'application de charge (excentricité) de 0 à 0,50 m.

Par ailleurs, on a constaté une réduction des contraintes effectives ($\sigma'_{xy} = \sigma_{xy}$) quand l'excentricité est variée de 0 à 0,25 m sur l'intervalle [7,0618265 m à 4,9796157 m], et une augmentation si l'excentricité est égale à 0,50 m, seulement à la base de la colonne (la côte 1,00 m) on a observé une amplification lorsque l'excentricité est fixée à 0 et à 0,25 m, et une diminution si l'excentricité est positionnée sur le point 0,50 m.

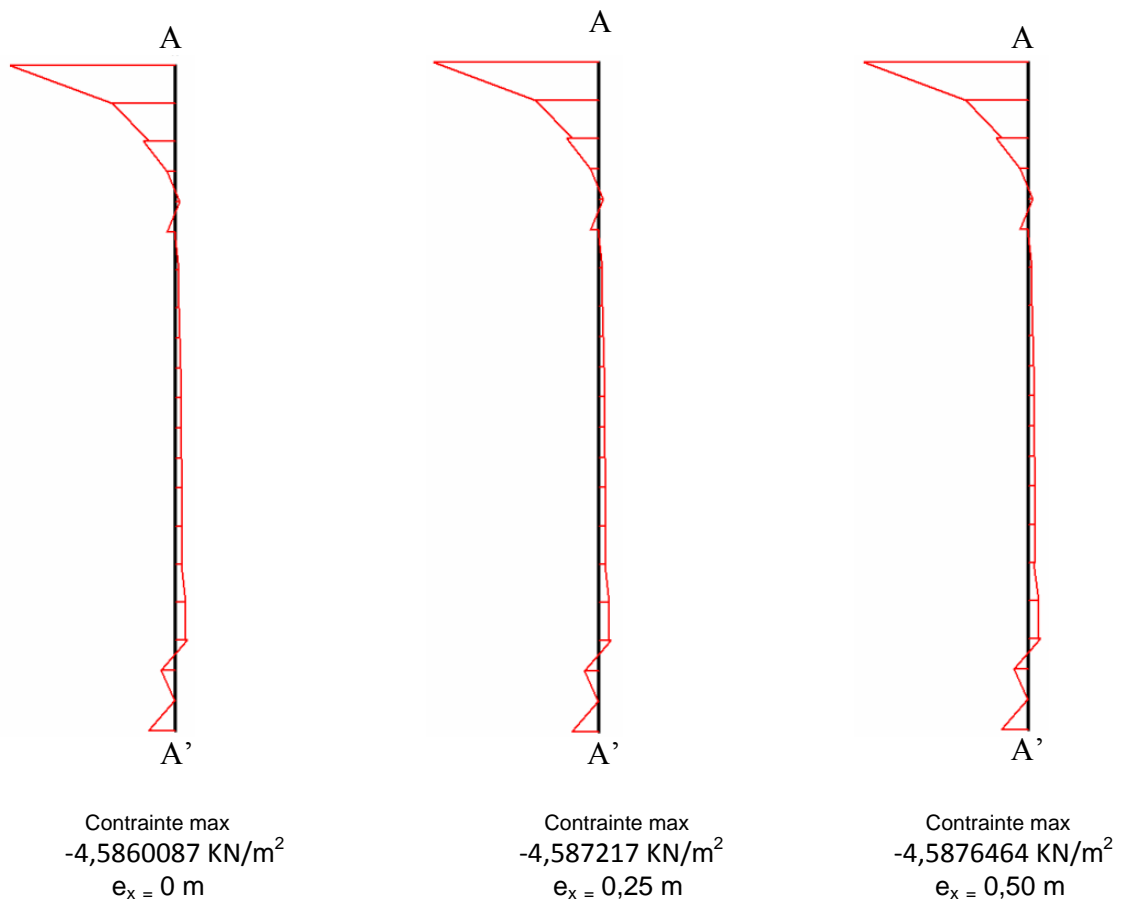


Figure IV.23b : Courbes des Contraintes dans la Colonne 4 dans le plan xy
selon le point d'application de la charge (excentricité e_x)
avec augmentation de l'épaisseur de radier

D. Pressions Actives :

Lors de la variation de l'excentricité de la charge on constate: Une valeur constante des pressions actives sur l'intervalle de la côte 8,3532687 m à la côte 1,00 m quand l'excentricité est variée de 0,25 m à 0.50 m, aussi on a observé une diminution et parfois une augmentation

sur la même intervalle. Au sommet de la colonne (la côte 9,75 m) les pressions actives augmentent quelque soit la position du point d'application de la charge de 0 à 0,50 m.

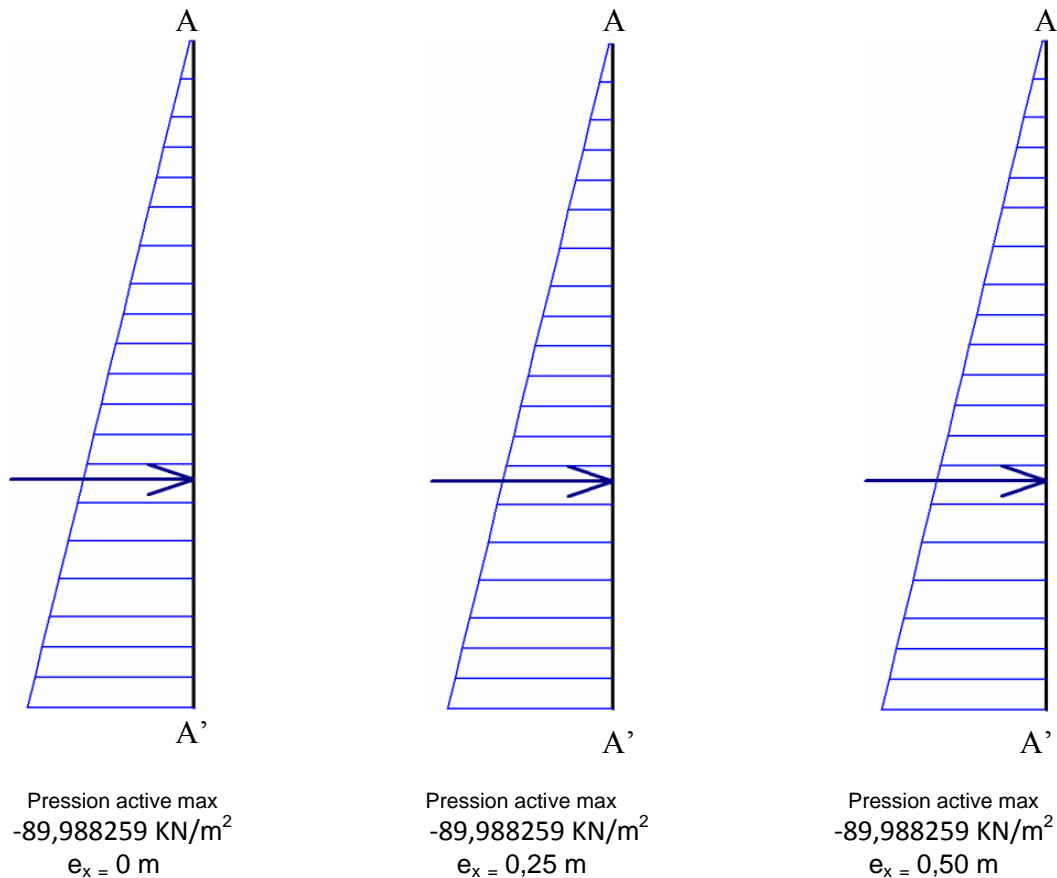


Figure IV.24b: Courbes des pressions actives dans la colonne 4
selon le point d'application de la charge (excentricité e_x)
avec augmentation de l'épaisseur de radier

IV.1.2.5. Analyse et interprétation des résultats de la colonne 3:

On constate d'après les résultats des figures de l'augmentation de l'épaisseur du radier de 0,25 m à 0,50 m (IV.25b, IV.26b, IV.27b, IV.28b, IV.29b, IV.30b, IV.31b et IV.32b) et notamment les courbes qui représentent le comportement de la colonne 3 située à gauche de la charge :

A. Déplacement :

A.1. Déplacement total :

On a différencié une diminution au sommet de la colonne à la côte 9,75 m et une augmentation dans la côte 8,3267228 m de la valeur du déplacement quand la position du

point d'application de la charge est variée de 0 à 0,50 m. Mais dans les deux intervalles : [9,2294171 m à 8,7088341 m] et [7,9446114 m à 1,00 m] on a observé une variation alternées : Un accroissement si l'excentricité est située sur le point 0 et 0,25 m, et une réduction si l'excentricité est positionnée sur le point 0,50 m et vice versa.

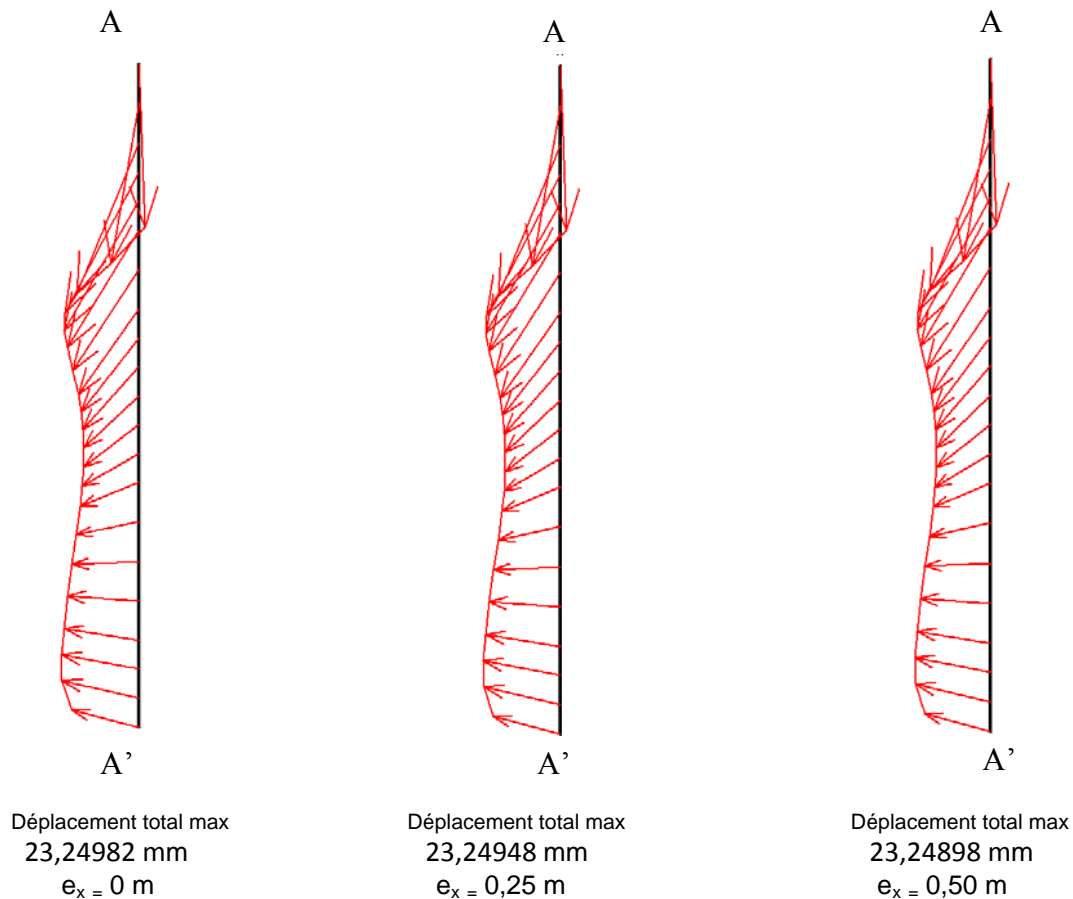


Figure IV.25b : Courbes de Déplacement dans la Colonne 3 selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec augmentation de l'épaisseur de radier

B. Déformations :

B.1. Déformations suivant l'axe des abscisses :

Quand le changement du point d'application de la charge varie de 0 à 0,50 m les déformations suivant l'axe des abscisses (ϵ_{xx}) diminuent au sommet de la colonne dans la cote 9.75 m, Ensuite les déformations (ϵ_{xx}) tiennent des variations alternées dans l'intervalle [9,2294171 m à 1,00 m] : Une diminution si l'excentricité est située sur le point 0 et 0,25 m et une amplification si l'excentricité est positionnée sur le point 0,50 m et vice versa.

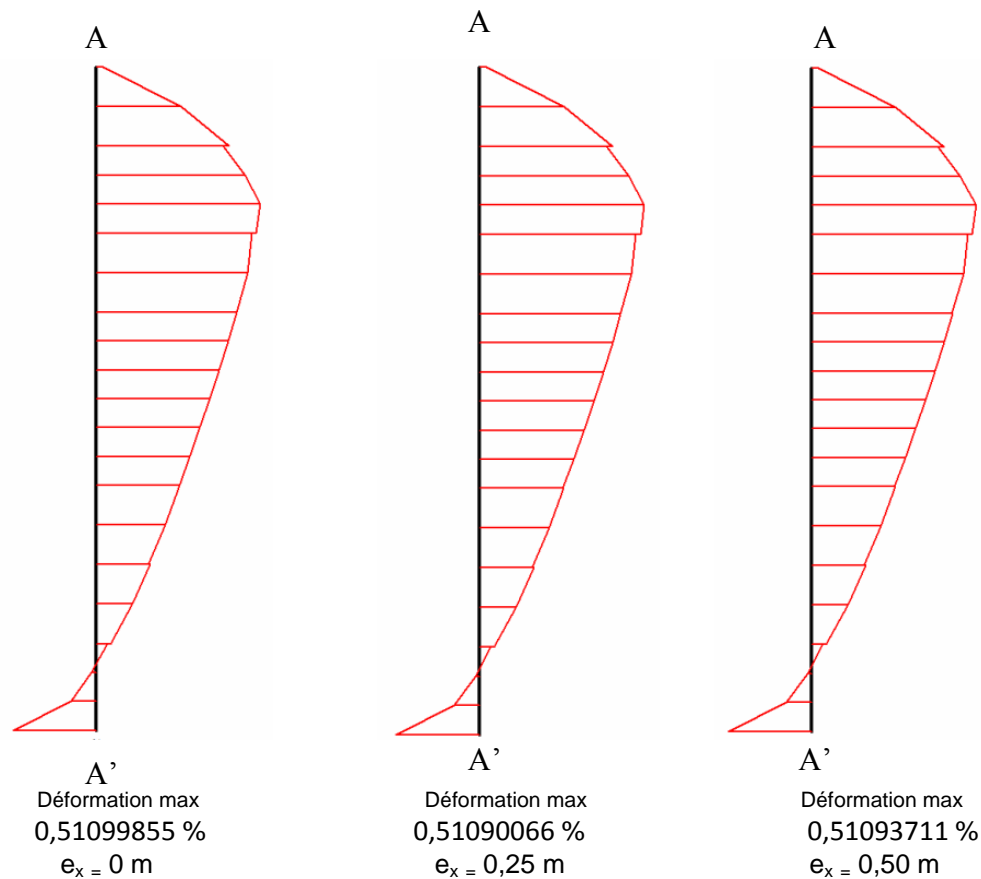


Figure IV.26 b : Courbes de Déformation dans la Colonne 3 suivant l'axe des abscisses selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec augmentation de l'épaisseur de radier

B.2. Déformations suivant l'axe des ordonnées :

Selon la position du point d'application de la charge (excentricité) de 0 à 0,50 m les déformations suivant l'axe des ordonnées (ϵ_{yy}) prennent des variations alternées sur toute la profondeur de la colonne: Une réduction si l'excentricité est située sur le point 0 et 0,25 m, et un accroissement si l'excentricité est positionnée sur le point 0,50 m et vice versa. Les intervalles et les côtes de diminution des déformations (ϵ_{yy}) si l'excentricité est située sur le point 0 et 0,25 m sont: [9,75 m à 7,9446114 m],[4,9928886 m à 3,1875 m] et la côte 1,3821114 m, les autres intervalles et côtes d'augmentation des déformations (ϵ_{yy}) si l'excentricité est située sur le point 0,50 m sont :[7,5625 m à 5,375 m], [2,6669171 m à 1,7642228 m] et la côte 1,00m. Dans les intervalles et les côtes nommés ci-dessus les déformations (ϵ_{yy}) portent le cas contraire si l'excentricité est positionnée sur le point 0,50 m.

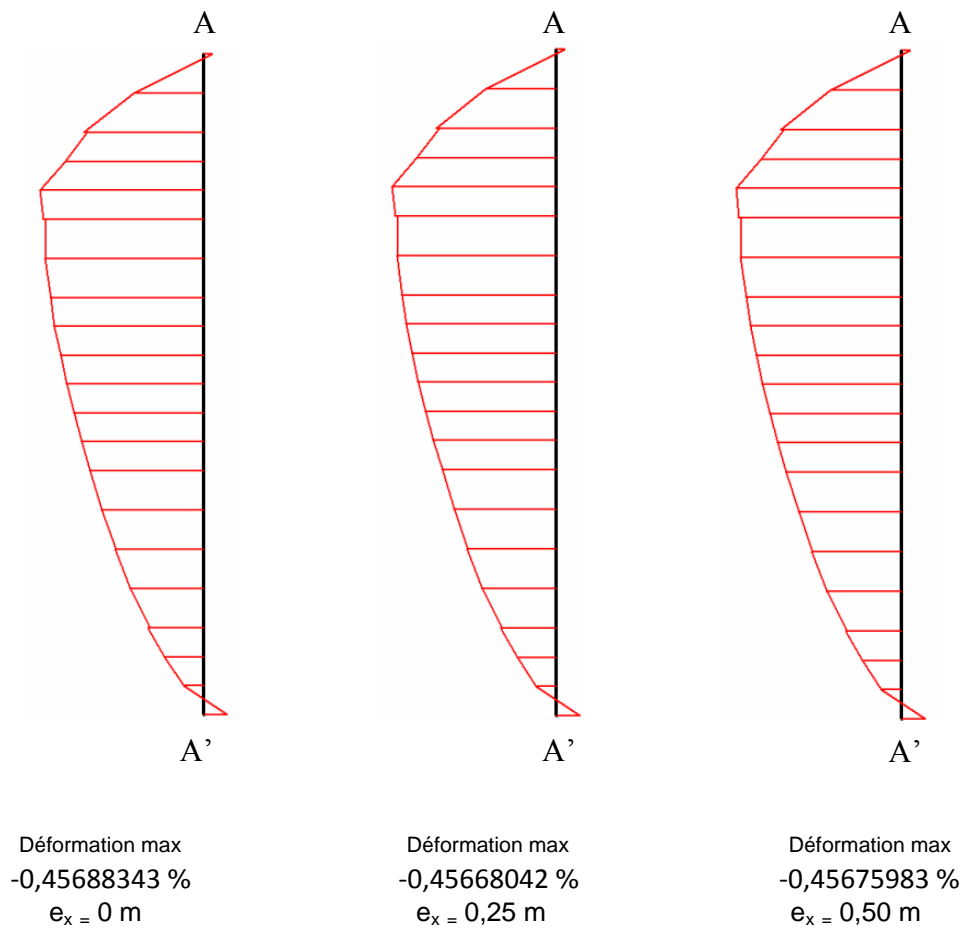
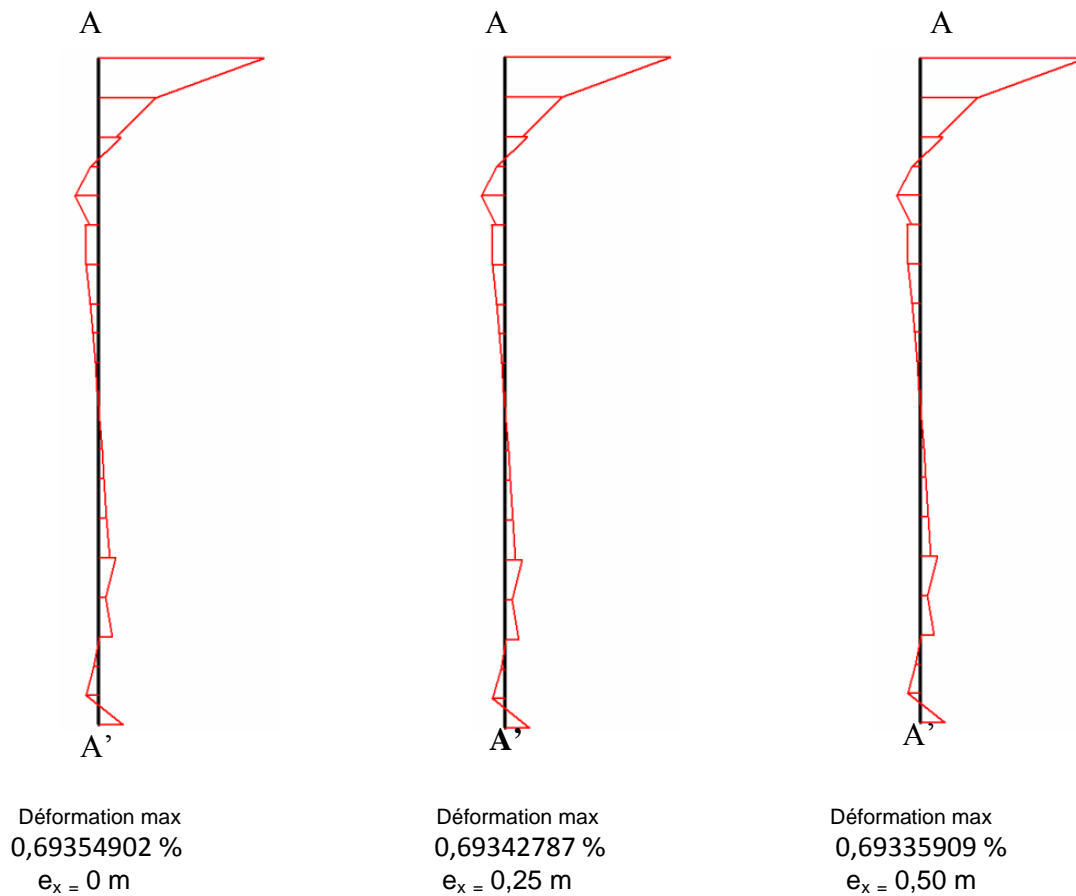


Figure IV.27b : Courbes de Déformation dans la Colonne 3 suivant l'axe des ordonnées selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec augmentation de l'épaisseur de radier

B.3. Déformations dans le plan xy :

La position du point d'application de la charge (excentricité e_x) entre 0 et 0,50 m induit une variation alternée : Une réduction si l'excentricité est située sur le point 0 et 0,25 m, et un accroissement si l'excentricité est positionnée sur le point 0,50 m et vice versa le long de la profondeur de la colonne sauf, au sommet de la colonne (la côte 9,75 m) où les déformations (ϵ_{xy}) dans le plan xy diminuent quelque soit la variation de l'excentricité. Les intervalles et les côtes d'amplification des déformations (ϵ_{xy}) si l'excentricité est située sur le point 0 et 0,25 m sont: [9,2294171 m à 8,7088341],[7,5625 m à 3,7080829 m] et la côte 1,00 m, les autres intervalles et côtes de diminution des déformations (ϵ_{xy}) si l'excentricité est située sur le point 0 et 0,25 m sont: [8,3267228 m à 7,9446114 m] et [3,1875 m à 1,3821114 m]. Dans les

intervalles et côtes cités ci-dessus les déformations (ϵ_{yy}) tiennent le cas opposé si l'excentricité est positionnée sur le point 0,50 m.



*Figure IV.28b : Courbes de Déformation dans la Colonne 3 dans le plan xy
selon le point d'application de la charge (excentricité e_x)
avec augmentation de l'épaisseur de radier*

C. Contraintes :

C.1. Contraintes suivant l'axe des abscisses :

Après le traitement des résultats des contraintes effectives suivant l'axe des abscisses (σ'_{xx}) de la colonne 3, on a remarqué que le changement du point de la charge (excentricité) entre 0 et 0,50 m provoque une variation alternée sur toute la profondeur de la colonne : Une diminution quand l'excentricité est fixée sur le point 0 et 0,25 m et une élévation lorsque l'excentricité est positionnée sur le point 0,50 m et vice versa. Les intervalles et les côtes d'augmentation des contraintes effectives (σ'_{xx}) si l'excentricité est située sur le point 0 et 0,25 m: 9,75 m, 7,5625 m, [4,9928886 m à 3,1875 m], 1,7642228 m, 1,00 m, les autres intervalles et côtes de diminution des contraintes effectives (σ'_{xx}) si l'excentricité est située sur les points 0 et

0,25 m sont: [9,2294171 m à 7,9446114 m],[7,0419171 m à 5,375 m], [2,6669171 m à 2,1463341 m] et 1,3821114 m.

Dans les intervalles et les côtes indiqués ci-dessus les contraintes effectives (σ'_{xx}) prennent le cas inverse si l'excentricité est positionnée sur le point 0,50 m.

Pour chaque excentricité l'évolution des contraintes effectives (σ'_{xx}) est une variation linéaire sur la profondeur (y) de la colonne.

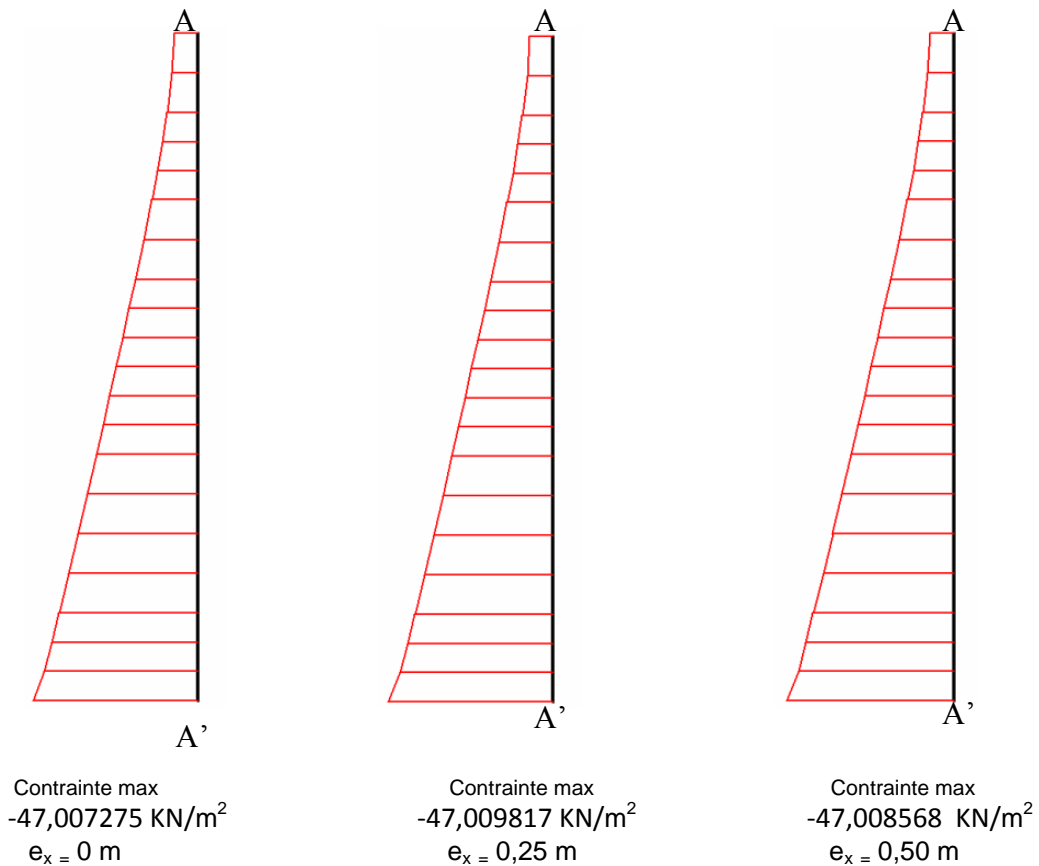


Figure IV.29b : Courbes des Contraintes dans la Colonne 3 suivant l'axe des abscisses selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec augmentation de l'épaisseur de radier

C.2. Contraintes suivant l'axe des ordonnées :

Lors de l'emplacement du point d'application de la charge entre 0 et 0,50 m les contraintes effectives (σ'_{yy}) prennent des variations alternées : un accroissement lorsque l'excentricité varie de 0 à 0,25 m, et une réduction quand l'excentricité est fixée à 0,50 m et vice versa. Les intervalles et les côtes d'augmentation des contraintes effectives (σ'_{yy}) si l'excentricité est située sur le point 0 et 0,25 m sont: 9,75 m, 7,5625 m et [5,375 m à 3,1875 m], les autres

intervalles et côtes de diminution des contraintes effectives (σ'_{yy}) si l'excentricité est située sur le point 0 et 0,25 m sont: [9,2294171 m à 7,9446114 m],[7,0419171 m à 5,7571114 m] et [2,6669171 m à 1,00 m]. Dans les intervalles et les côtes cités ci-dessus les contraintes effectives (σ'_{yy}) ont le cas opposé si l'excentricité est positionnée sur le point 0,50 m. Pour chaque excentricité l'évolution des contraintes effectives (σ'_{yy}) est une variation linéaire en fonction de la profondeur (y) de la colonne, ce constat est perçu d'après les trois courbes de la figure IV.30b.

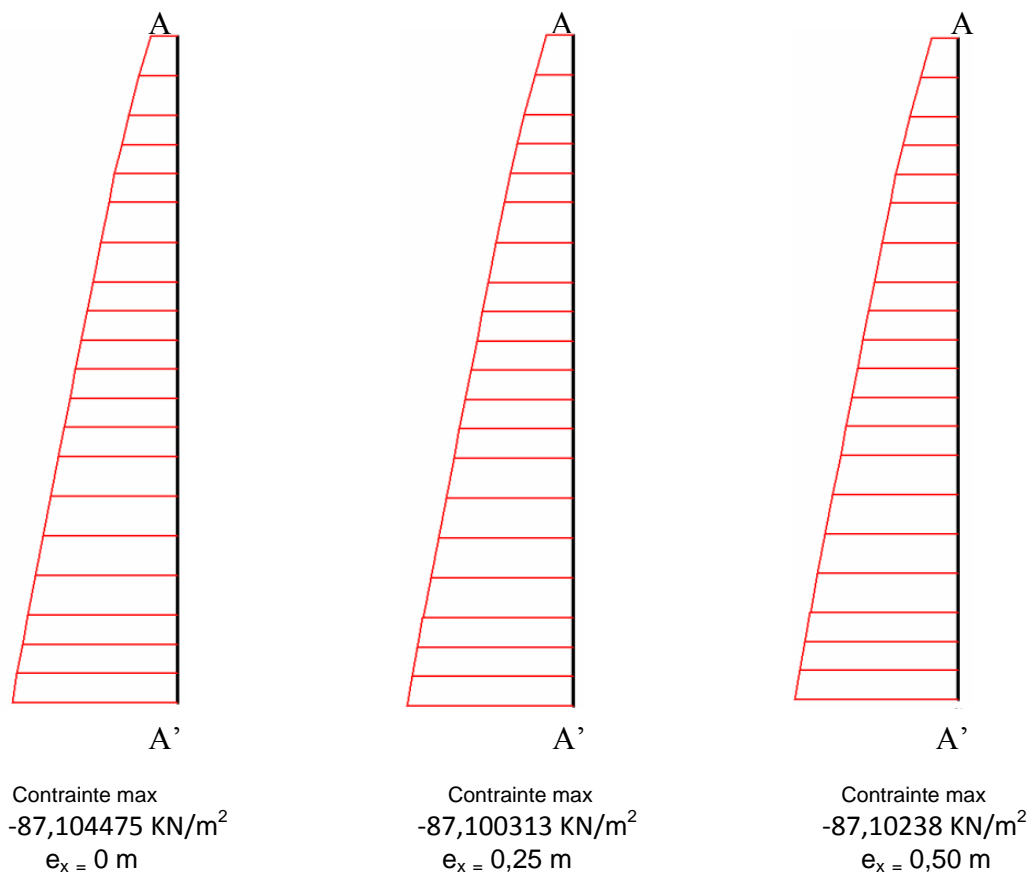


Figure IV.30b : Courbes des Contraintes dans la Colonne 3 suivant l'axe des ordonnées selon le point d'application de la charge (excentricité e_x)
Avec augmentation de l'épaisseur de radier

C.3. Contraintes dans le plan xy :

L'excentrement de la charge appliquée entre le point 0 et 0,50 m déduit une variation alternée des contraintes effectives ($\sigma'_{xy} = \sigma_{xy}$) le long de la profondeur de la colonne : un accroissement lorsque l'excentricité est variée de 0 à 0,25 m, et une réduction quand l'excentricité est fixée

à 0,50 m et vice versa. Les intervalles et les côtes d'augmentation des contraintes effectives ($\sigma'_{xy} = \sigma_{xy}$) si l'excentricité est située sur le point 0 et 0,25 m sont : [9,75 m à 8,7088341 m], [7,5625 m à 3,7080829 m] et 1,00 m, les autres intervalles et côtes de diminution des contraintes effectives ($\sigma'_{xy} = \sigma_{xy}$) si l'excentricité est située sur le point 0 et 0,25 m sont: [8,3267228 m à 7,9446114 m] et [3,1875 m à 1,3821114 m]. Dans les intervalles et les côtes cités ci-dessus les contraintes effectives ($\sigma'_{xy} = \sigma_{xy}$) tiennent le cas inverse si l'excentricité est positionnée sur le point 0,50 m.

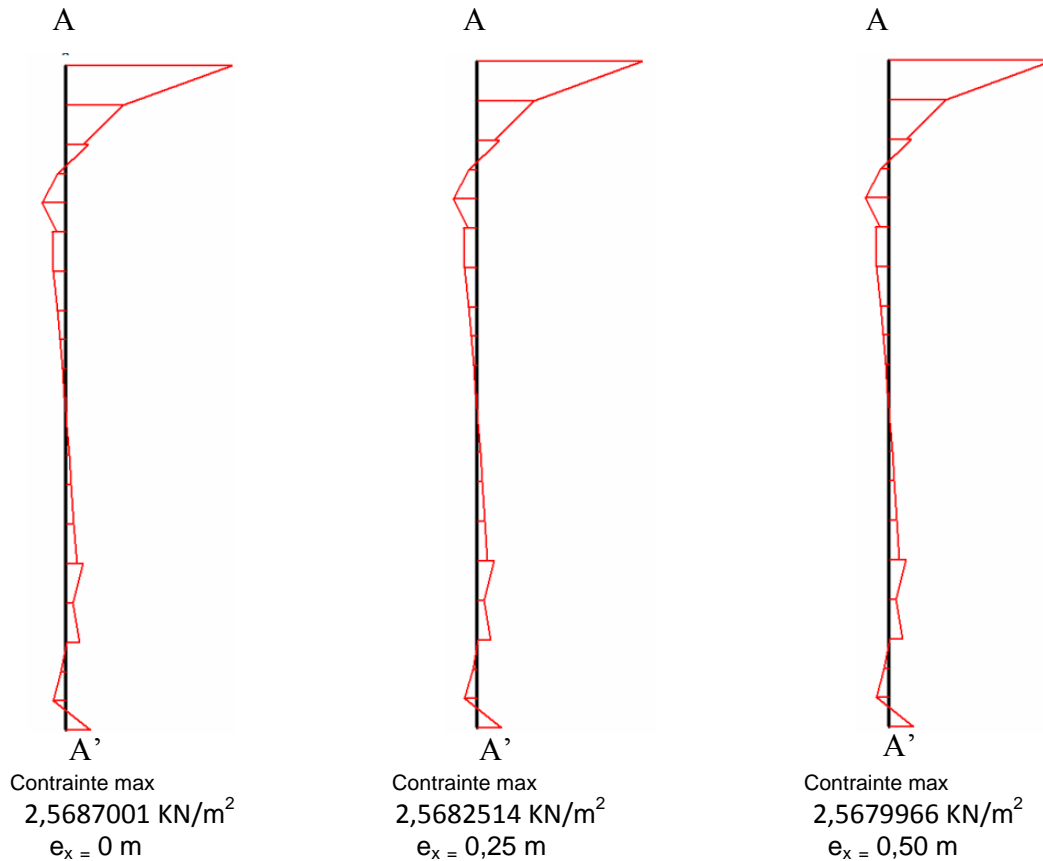
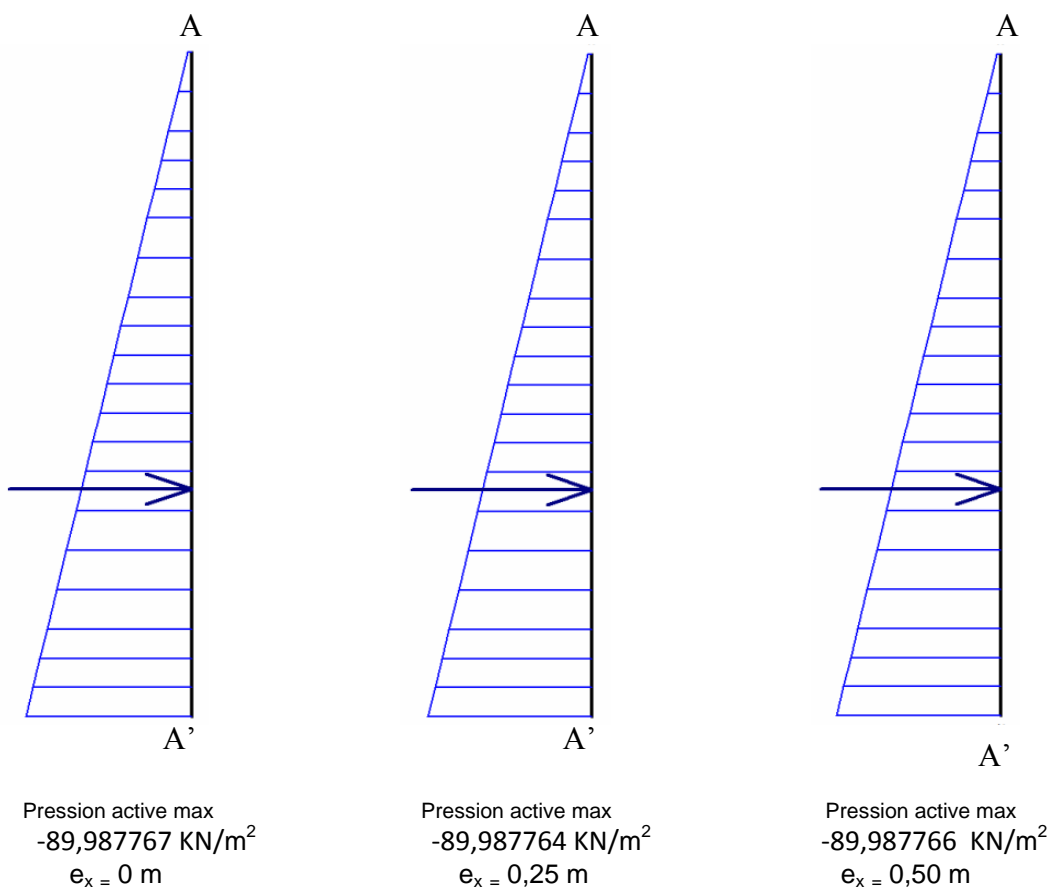


Figure IV.31b : Courbes des Contraintes dans la Colonne 3 dans le plan xy selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec augmentation de l'épaisseur

D. Pressions Actives :

Lors de changement de l'excentricité de la charge on constate : une variation alternée sauf que au sommet de la colonne (la côte 9,75m) où les pressions actives augmentent quelque soit la valeur de l'excentricité (0 à 0,50 m), une diminution des pressions actives si l'excentricité est

variée de 0 à 0,25 m et une augmentation si l'excentricité est positionnée à la valeur 0,50 m et vice versa. Les intervalles et les côtes de diminution des pressions actives si l'excentricité est située sur le point 0 et 0,25 m sont: [9,2294171 m à 5,375 m] et [2,6669171m à 1,00], les autres intervalles et côtes d'augmentation des pressions actives si l'excentricité est située sur le point 0 et 0,25 m sont : [4,9928886 m à 3,1875 m]. Dans les intervalles et les côtes mentionnés ci-dessus les pressions actives ont le cas opposé si l'excentricité est positionnée sur le point 0,50 m. Toutefois, les courbes de la figure IV.32 b présentent une augmentation des pressions actives suivant la variation de la profondeur (y) de la colonne d'une manière linéaire pour les trois valeurs d'excentricités.



*Figure IV.32b : Courbes des pressions actives dans la colonne 3
selon le point d'application de la charge (excentricité e_x)
avec augmentation de l'épaisseur de radier*

IV .1.2.6. Conclusion des résultats des colonnes 3 et 4 et leurs interprétations :

On a enregistré les mêmes causes probables de la variation des résultats entre la colonne 4 (figures : IV.17b, IV.18b, IV.19b, IV.20b, IV.21b, IV.22b, IV.23b et IV.24b) et la colonne 3 (figures : IV.25b, IV.26b, IV.27b, IV.28b, IV.29b, IV.30b, IV.31b et IV.32b) citées dans la partie influence de point d'application de la charge (excentricité) sur le comportement des colonnes (page 83).

On distingue d'après les résultats et les figures et particulièrement les courbes qui présentent le comportement des deux colonnes lors du la variation du point d'application de la charge et l'augmentation de l'épaisseur de radier de 0,25 m à 0,50 m qui influe d'une manière croissante sur les déplacements de la colonne 3 et 4, les déformations suivant l'axe des abscisses (ϵ_{xx}) de la colonne 4 sont affectées à cause de changement de l'épaisseur de 0,25 m à 0,50 m par une augmentation sur la partie supérieure, puis au sommet et sur les deux parties intermédiaire et inférieure on a différencié une diminution. Dans la colonne 3 les mêmes déformations ont augmenté sur la partie supérieure et intermédiaire et ont diminué au sommet et au début de la partie inférieure jusqu'à la base de la colonne. Concernant les déformations suivant l'axe des ordonnées (ϵ_{yy}), on a noté une augmentation le long de la profondeur de la colonne 4, sauf à la base de la colonne, elles ont diminué. Dans la colonne 3, le même constat a été remarqué, uniquement les déformations (ϵ_{yy}) qui ont été réduites au sommet de la colonne.

Dans le plan xy, les déformations (ϵ_{xy}) de la colonne 4 ont amplifié presque sur toute la profondeur de la colonne uniquement, sur la partie inférieure et particulièrement en pied de la colonne, on a enregistré une diminution dans les valeurs de déformations (ϵ_{xy}). Pour la colonne 3 on a constaté que les déformations (ϵ_{xy}) augmentent, mais au milieu de la colonne et dans quelques sections situées sur la partie inférieure, les déformations ont diminué. Les résultats correspondants aux contraintes effectives suivants les axes des abscisses (σ'_{xx}) et ordonnées (σ'_{yy}), on a vu un accroissement le long de la profondeur des deux colonnes 3 et 4. Dans le plan xy les contraintes effectives ($\sigma'_{xy} = \sigma_{xy}$) pour les deux colonnes 3 et 4 ont amplifié sur la partie supérieure, intermédiaire et dans quelques sections de la partie inférieure et ont diminué sur certaines sections en pied (la partie inférieure) de la colonne 3 et 4. Pour les pressions actives, on a distingué une diminution le long de la profondeur de la colonne 3 et 4.

Les résultats inscrites ont montré que les deux colonnes 3 et 4 ont permis des changements dans les valeurs de (déplacements, déformations, contraintes et pressions actives) à cause de

l'augmentation de l'épaisseur du radier de 0,25m à 0,50 m d'une sorte progressive dans les valeurs des déplacements, des déformations suivants les axes abscisses, ordonnées et dans le plan xy sur la partie supérieure, intermédiaire et parfois le long de la profondeur de la colonne et dans les valeurs des contraintes suivant les axes abscisses, ordonnées le long de la profondeur de la colonne, dans le plan xy sur la partie supérieure, intermédiaire et dans quelques profils de la partie inférieure. Elles ont admis des variations d'une façon abaissante dans les valeurs des déformations (ϵ_{xx} , ϵ_{yy} et ϵ_{xy}) au sommet et sur la partie inférieure de la colonne, dans les valeurs des contraintes effectives ($\sigma'_{xy} = \sigma_{xy}$) sur quelques sections au niveau de la partie inférieure de la colonne et dans les valeurs des pressions actives le long de la profondeur de la colonne.

Enfin, on a conclu que la variation enregistrée dans les résultats (déplacements, déformations, contraintes et pressions actives) est relative au paramètre de l'augmentation de l'épaisseur.

IV.1.2.7. Analyse et interprétation des résultats de la colonne 5:

On constate d'après les résultats des figures de l'augmentation de l'épaisseur du radier de 0,25 m à 0,50 m (*IV.33b, IV.34b, IV. 35b, IV.36b, IV.37b, IV.38b, IV.39b et IV.40b*) et notamment les courbes qui représentent le comportement de la colonne 5 située à gauche de la charge :

A. Déplacement:

A.1. Déplacement total :

La position de l'excentricité entre 0 et 0,50 m déduisant une variation alternée des déplacements: Une diminution lorsque l'excentricité est variée de 0 à 0,25 m et une augmentation quand l'excentricité est fixée à 0,50 m et vice versa. Les intervalles et les côtes de diminution des déplacements si l'excentricité est fixée sur le point 0 et 0,25 m sont: [9,75 m à 5,8503606 m],[2,7752404 m à 2,3629808 m] et 1,00 m, les autres intervalles et côtes d'augmentation des déplacements si l'excentricité est fixée sur le point 0 et 0,25 m sont : [5,375 m à 3,1875 m] et [1,9507212 m à 1,4753606 m]. Les déplacements prennent le cas opposé si l'excentricité est positionnée sur le point 0,50 m dans les intervalles et les côtes cités ci-dessus.

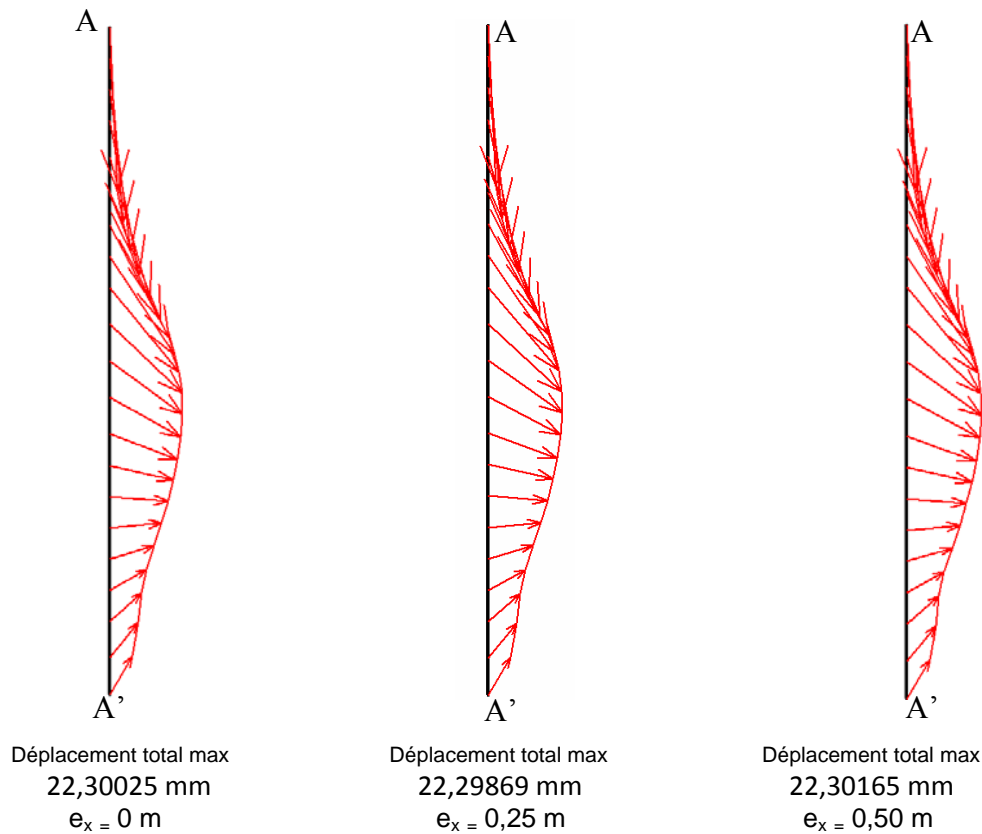


Figure IV.33b : Courbes de Déplacement dans la Colonne 5 selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec augmentation de l'épaisseur de radier

B. Déformations :

B.1. Déformations suivant l'axe des abscisses :

Suite à la position du point d'application de la charge entre 0 et 0,50 m les déformations suivant l'axe des abscisses (ϵ_{xx}) augmentent au sommet de la colonne à la cote 9.75m, puis ces dernières portent des variations alternées : des diminutions lorsque l'excentricité est variée de 0 à 0,25 m et des augmentations quand l'excentricité est fixée à 0,50 m et vice versa. Les intervalles et les côtes de diminution des déformations suivant l'axe des abscisses (ϵ_{xx}) si l'excentricité est fixée sur le point 0 et 0,25 m sont: [7,5625m à 5,375 m], [3,1875 m à 2,3629808 m], les autres intervalles et côtes d'augmentation des déformations suivant l'axe des abscisses (ϵ_{xx}) si l'excentricité est fixée sur le point 0 et 0,25 m sont: [9,3377404m à 8,0378606 m],[4,8996394 m à 3,5997596 m] et [1,9507212 m à 1,00 m]. Dans les intervalles et les côtes cités ci-dessus les déformations suivant l'axe des abscisses (ϵ_{xx}) prennent le cas inverse si l'excentricité est positionnée sur le point 0,50 m.

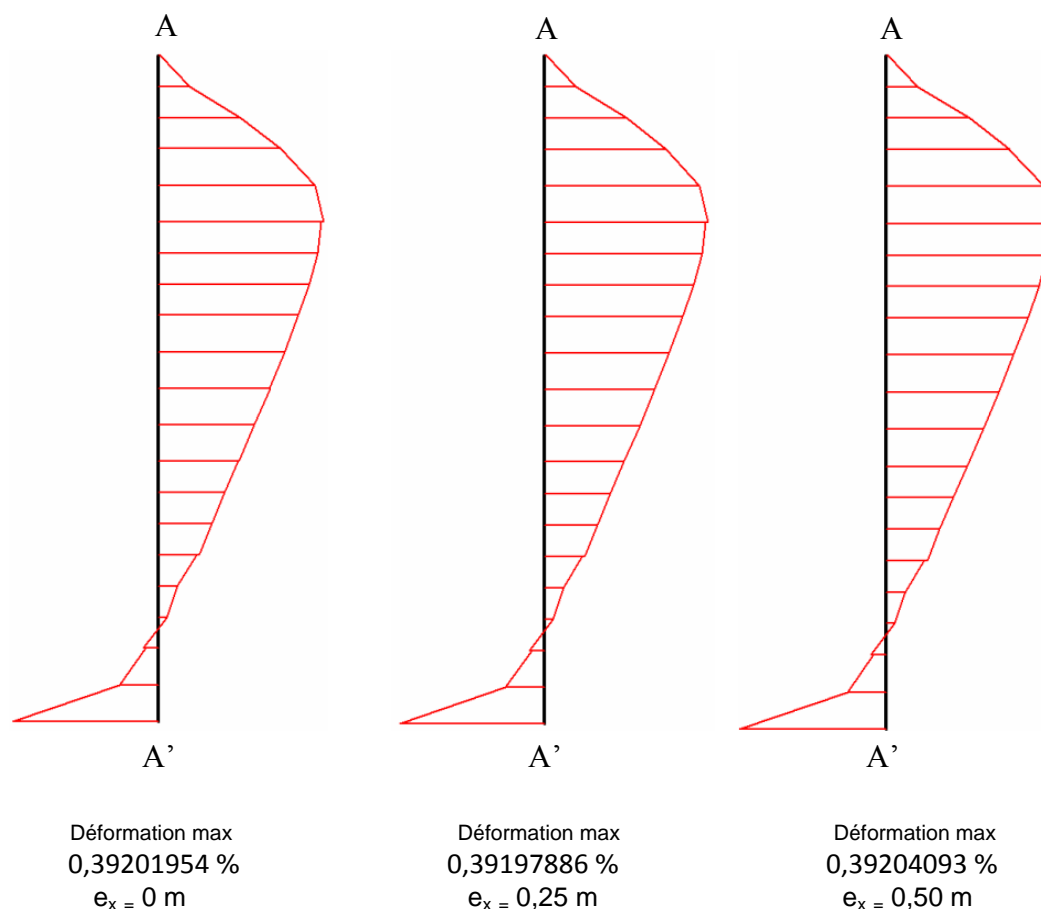


Figure IV.34b : Courbes de Déformation dans la Colonne 5 suivant l'axe des abscisses selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec augmentation de l'épaisseur

B.2. Déformations suivant l'axe des ordonnées :

Selon la position du point d'application de la charge entre 0 et 0,50 m les déformations suivant l'axe des ordonnées (ϵ_{yy}) diminuent au sommet de la colonne à la cote 9.75m, ensuite ces dernières portent des variations alternées le long de reste du profondeur : des diminutions lorsque l'excentricité est variée de 0 à 0,25 m et des augmentations quand l'excentricité est fixée à 0,50 m et vice versa. Les intervalles et les côtes de diminutions des déformations suivant l'axe des ordonnées (ϵ_{yy}) si l'excentricité est fixée sur le point 0 et 0,25 m sont: [7,5625m à 5,375 m] et [3,1875 m à 1,00 m], les autres intervalles et côtes d'augmentations des déformations suivant l'axe des ordonnées (ϵ_{yy}) si l'excentricité est fixée sur le point 0 et 0,25 m sont: [9,3377404 m à 8,0378606 m] et [4,8996394 m à 3,5997596 m].

Les déformations suivant l'axe des ordonnées (ε_{yy}) tiennent le cas contraire si l'excentricité est située sur le point 0,50 m dans les intervalles et les côtes cités ci-dessus.

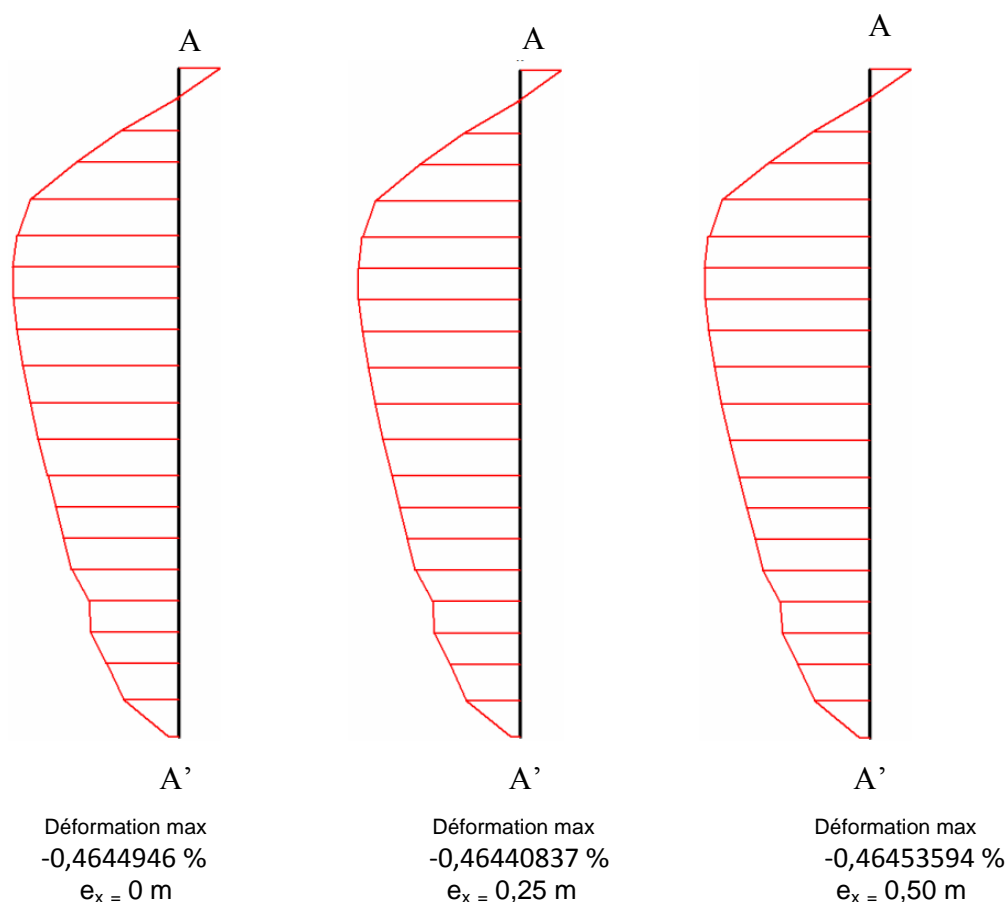


Figure IV.35b : Courbes de Déformation dans la Colonne 5 suivant l'axe des ordonnées selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec augmentation de l'épaisseur de radier

B.3. Déformations dans le plan xy :

L'application de la charge sur les trois excentricités (0 , 0,25 m et 0,50 m) emmenant une variation alternée sur les valeurs de déformations (ε_{xy}) dans le plan xy : une réduction lorsque l'excentricité est variée de 0 à 0,25 m et une augmentation quand l'excentricité est fixée à 0,50 m et vice versa. Les intervalles et les côtes de diminution des déformations dans le plan xy si l'excentricité est fixée sur le point 0 et 0,25 m sont: [7,1502404 m à 6,3257212m], [4,8996394 m à 3,1875 m], [2,3629808 m à 1,9507212 m] et la côte 1,00 m, les autres intervalles et côtes d'augmentation des déformations dans le plan xy si l'excentricité est fixée sur le point 0 et 0,25 m sont: [9,75 m à 7,5625 m], [5,8503606 m à 5, 375 m], 2,7752404 m et la côte 1,4753606 m. Les déformations dans le plan xy tiennent le cas contraire dans les intervalles et les côtes cités ci-dessus si l'excentricité est située sur le point 0,50 m.

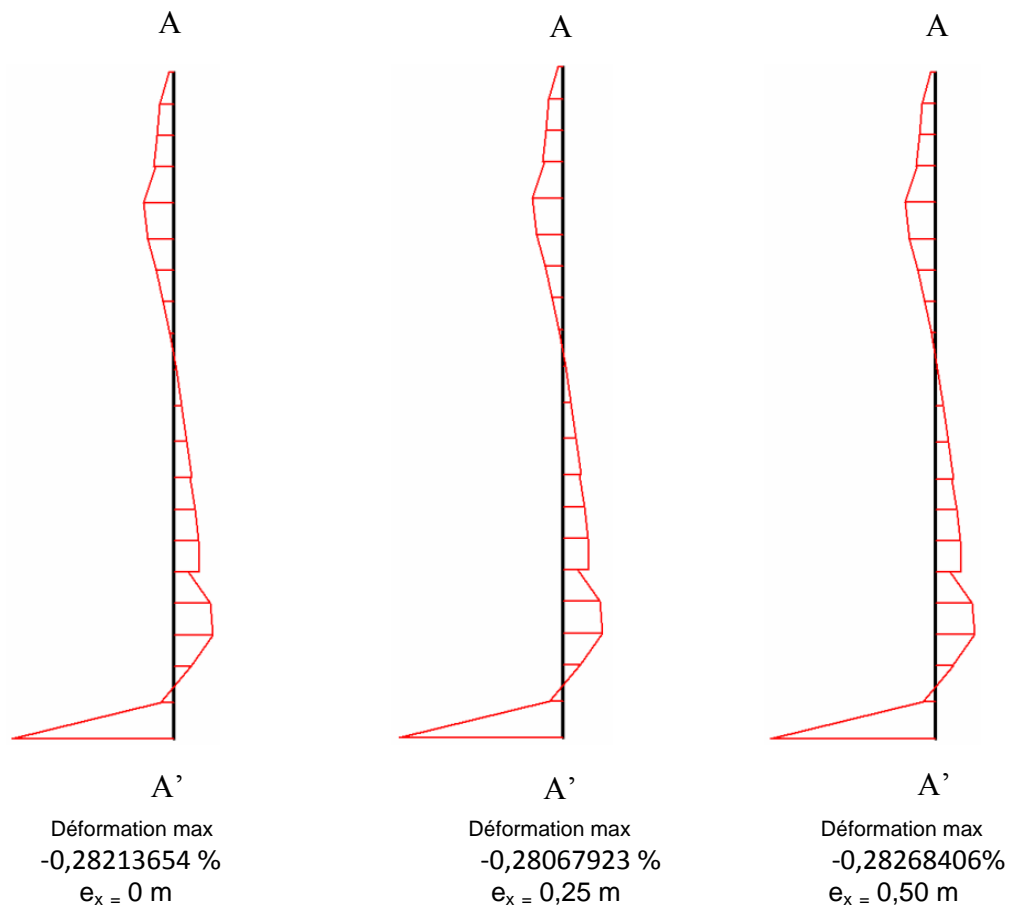


Figure IV.36b : Courbes de Déformation dans la Colonne 5 dans le plan xy
selon le point d'application de la charge (excentricité e_x)
avec augmentation de l'épaisseur

C. Contraintes :

C. Contraintes suivant l'axe des abscisses :

Lors de changement du point d'application de la charge (excentricité) entre 0 et 0,50 m on constate : une variation alternées des contraintes effectives suivant l'axe des abscisses (σ'_{xx}), quand l'excentricité est variée de 0 à 0,25 m les contraintes effectives (σ'_{xx}) diminuent, et lorsque l'excentricité est égale à 0,50 m les contraintes effectives (σ'_{xx}) augmentent et vice-versa. Toutefois, par rapport à chaque excentricité les contraintes effectives (σ'_{xx}) varient d'une manière linéaire en fonction de la profondeur de la colonne, cette observation est illustrée d'après la figure 37b. Les intervalles et les côtes de diminution des contraintes effectives (σ'_{xx}) si l'excentricité est fixée sur le point 0 et 0,25 m sont: 9,75 m et [4,8996394 m à 3,5997596 m], les autres intervalles et côtes d'augmentation des contraintes effectives (σ'_{xx}) si l'excentricité est fixée sur le point 0 et 0,25 m sont: [9,3377404 m à 5,375 m] et

[3,1875 m à 1,00 m]. Les contraintes effectives (σ'_{xx}) maintiennent le cas contraire si l'excentricité est située sur le point 0,50 m dans les intervalles et les côtes cités ci-dessus.

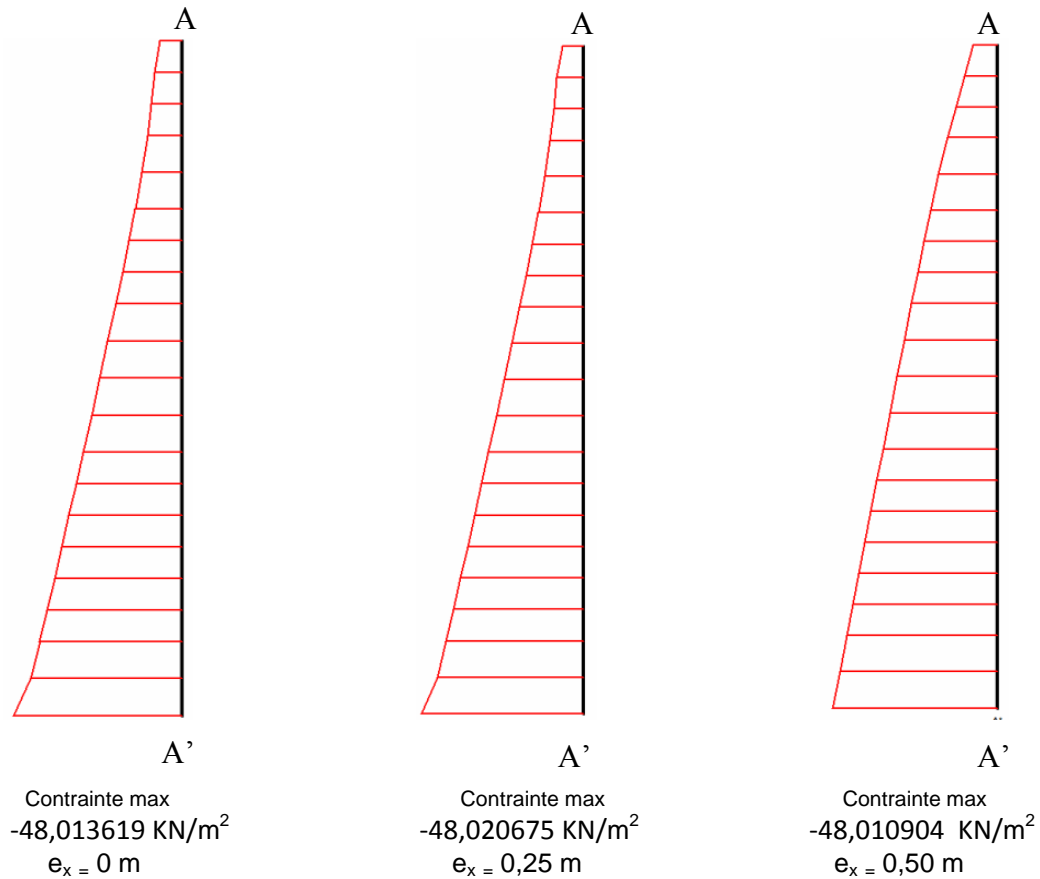


Figure IV.37b : Courbes des Contraintes dans la Colonne 5 suivant l'axe des abscisses selon le point d'application de la charge (excentricité e_x)
Avec augmentation de l'épaisseur de radier

C.2. Contraintes suivant l'axe des ordonnées :

Au temps de changement du point d'application de la charge (excentricité) entre 0 et 0,50 m, les contraintes effectives suivant l'axe des ordonnées (σ'_{yy}) ont des variations alternées sur toute la profondeur de la colonne : Une réduction des contraintes effectives suivant l'axe des ordonnées σ'_{yy} quand l'excentricité est variée de 0 à 0,25 m et une amplification au moment que l'excentricité est fixée à 0,50 m et vice-versa. La figure 38b montre une variation linéaire des contraintes effectives suivant l'axe des ordonnées (σ'_{yy}) enregistrée en fonction de l'évolution de la profondeur de la colonne pour chaque excentricité. Les intervalles et les côtes de diminution des contraintes effectives (σ'_{yy}) si l'excentricité est fixée sur le point 0 et

0,25 m sont: 7,5625 m,[5,375 m à 3,5997596 m] et 1,00 m, les contraintes effectives (σ'_{yy}) augmentent si l'excentricité est fixée sur le point 0 et 0,25 m dans les intervalles et les côtes suivants : [9,75 m à 5,8503606 m] et [3,1875 m à 1,4753606 m]. Les contraintes effectives (σ'_{yy}) maintiennent le cas opposé si l'excentricité est située sur le point 0,50 m dans les intervalles et les côtes cités ci-dessus.

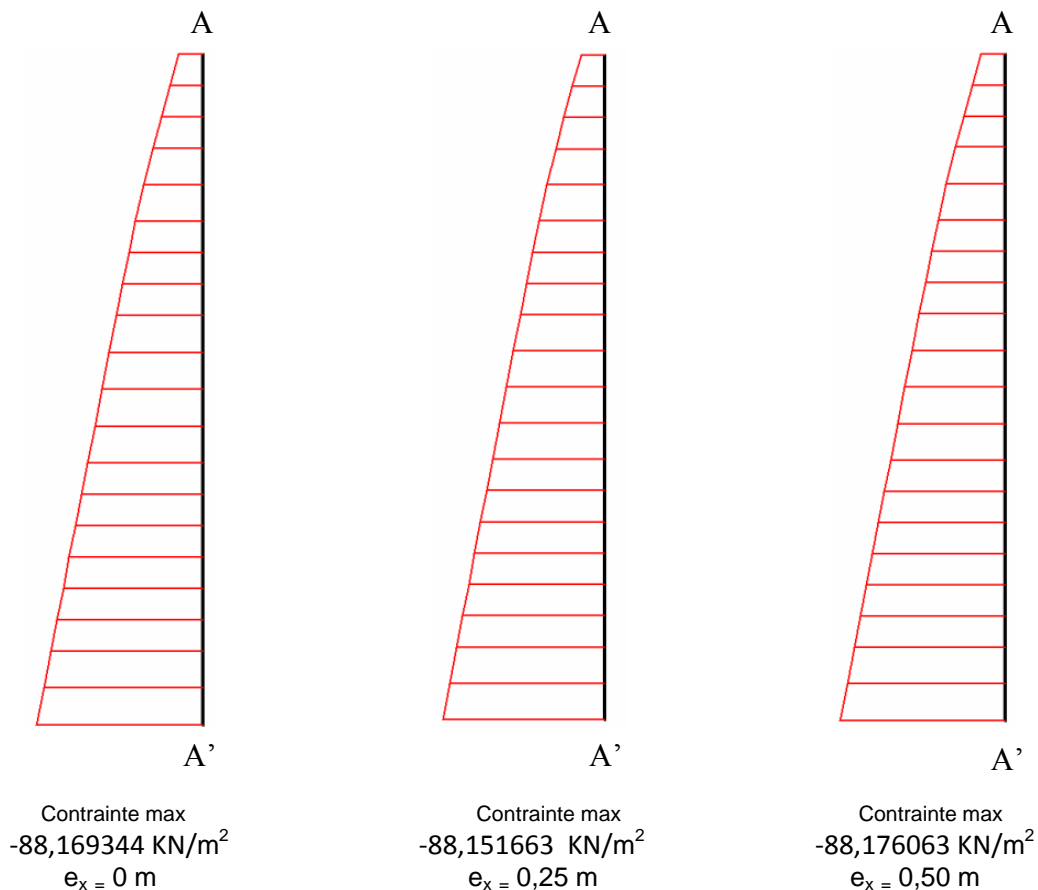


Figure IV.38b : Courbes des Contraintes dans la Colonne 5 suivant l'axe des ordonnées selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec augmentation de l'épaisseur

C.3. Contraintes dans le plan xy :

Suivant la position de l'excentricité de 0 à 0,50 m on constate une variation alternée des contraintes effectives ($\sigma'_{xy} = \sigma_{xy}$) dans le plan xy : une décroissance des contraintes effectives ($\sigma'_{xy} = \sigma_{xy}$) dans le cas où l'excentricité est variée de 0 à 0,25 m et une croissance dans le cas où l'excentricité est fixée à 0,50 m et vice versa. Les intervalles et les côtes de diminution des contraintes effectives (σ'_{xy}) dans le plan xy si l'excentricité est fixée sur le point 0 et 0,25 m

sont : [7,1502404 m à 6,3257212 m], [4,8996394 m à 1,9507212 m] et la cote 1,00 m, les autres intervalles et côtes d'augmentation des contraintes effectives (σ'_{xy}) si l'excentricité est fixée à 0 et à 0,25 m sont: [9,75 m à 7,5625 m], [5,8503606 m à 5,375 m] et la cote 1,4753606 m. Les contraintes effectives (σ'_{xy}) tiennent le cas opposé si l'excentricité est fixée à 0,50 m dans les intervalles et les côtes mentionnés ci-dessus.

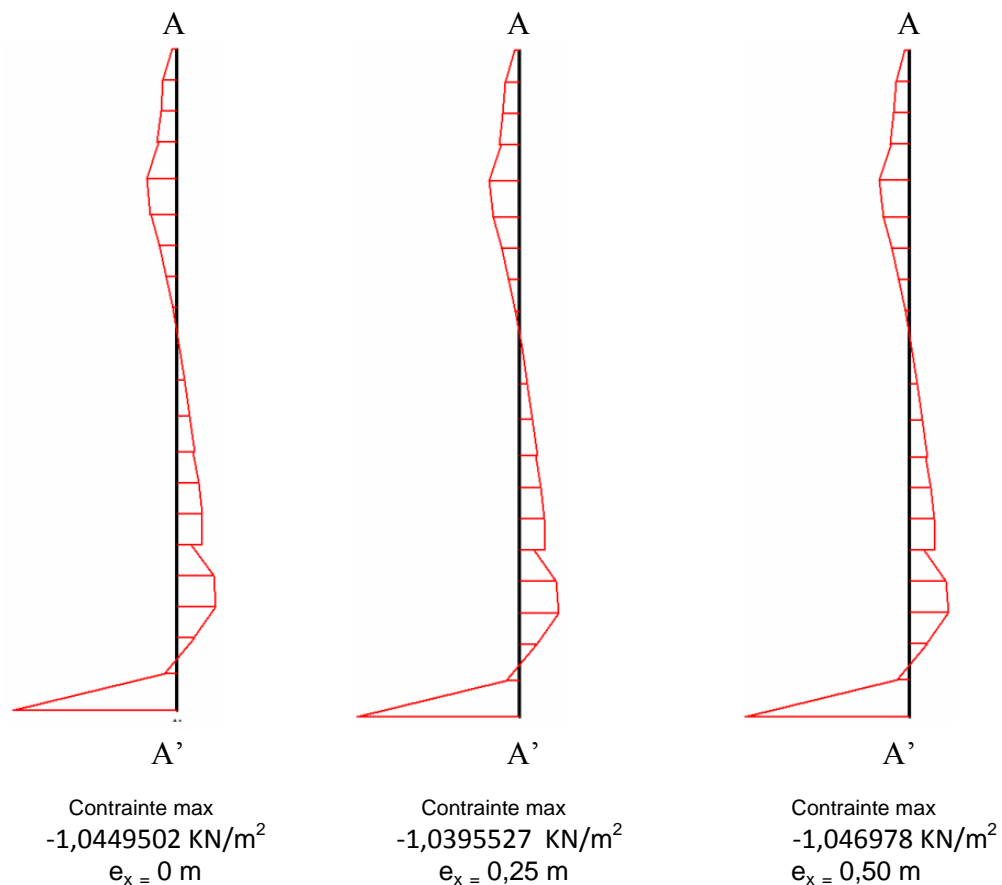
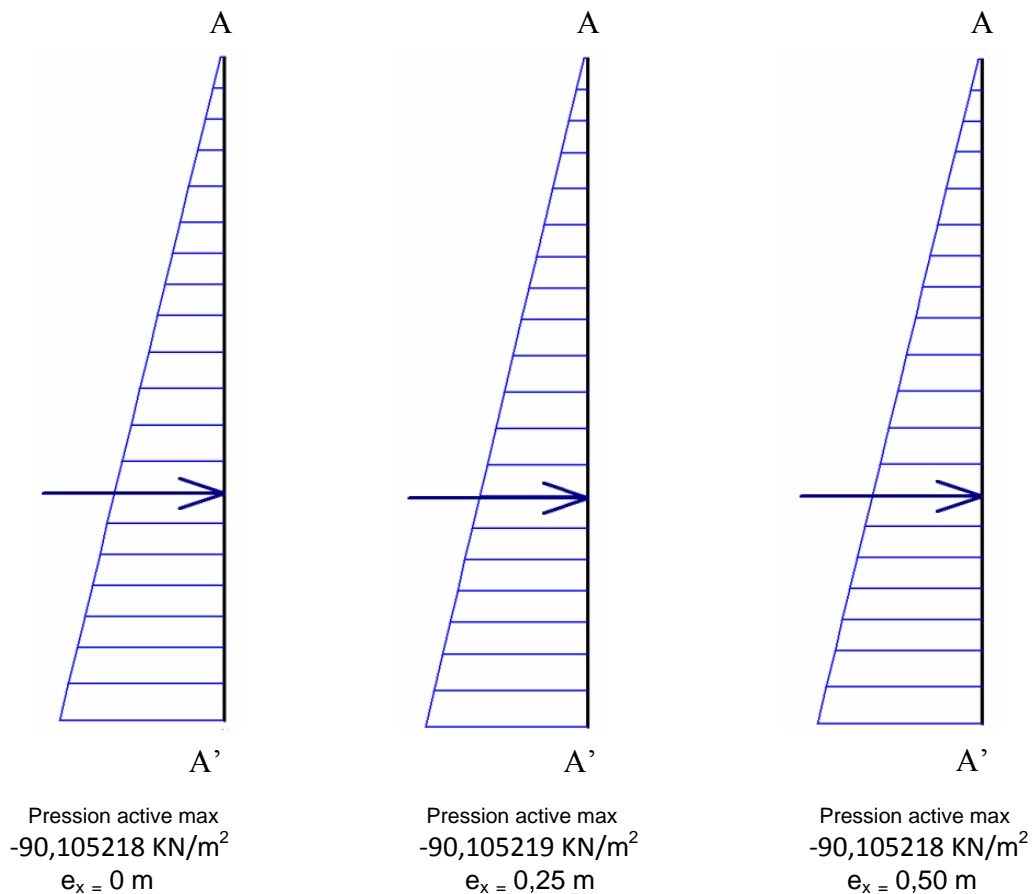


Figure IV.39b : Courbes des Contraintes dans la Colonne 5 dans le plan xy selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec augmentation de l'épaisseur de radier

D. Pressions Actives :

Lors de la position de l'excentricité entre 0 et 0,50 m on a enregistré une variation alternée des pressions actives : une réduction dans le cas où l'excentricité est variée de 0 à 0,25 m et une élévation dans le cas où l'excentricité est fixée à 0,50 m et vice versa. Néanmoins, la figure IV. 40b montre que les pressions actives varient d'une façon linéaire en fonction de la profondeur de la colonne.

Les intervalles et les côtes de diminution des pressions actives si l'excentricité est variée de 0 à 0,25 m sont: [4,8996394 m à 3,1875 m] et la côte 1,00 m. Les intervalles et les côtes d'augmentation des pressions actives si l'excentricité est variée de 0 à 0,25 m sont: [9,75 m 5,375 m] et [2,7752404 m à 1,4753606 m]. Les pressions actives tiennent le cas opposé si l'excentricité est fixée à 0,50 m dans les intervalles et les côtes cités ci-dessus.



*Figure IV.40b : Courbes des pressions actives dans la colonne 5
selon le point d'application de la charge (excentricité e_x)
avec augmentation de l'épaisseur de radier*

IV.1.2.8. Analyse et interprétation des résultats de la colonne 6:

On constate d'après les résultats des figures de l'augmentation de l'épaisseur du radier de 0,25 m à 0,50 m (IV.41b, IV.42b, IV.43b, IV.44b, IV.45b, IV.46b, IV.47b et IV.48b) et notamment les courbes, qui représentent le comportement de la colonne 6 située à droite de la charge :

A. Déplacement:

A.1. Déplacement total :

Lors de changement du point d'application de la charge de 0 à 0,50 m les déplacements diminuent au sommet de la colonne (la côte 9,75 m), dans la partie intermédiaire de la côte 6,3414447 m à la côte 5,8582223 m et dans la partie inférieure de la côte 2,7804816 m à la côte 1,00 m. Néanmoins, une augmentation est enregistrée dans la partie supérieure de la côte 9,3429816 m à la côte 6,7484631 m et dans la partie intermédiaire de la côte 5,375 m à la côte 3,5945184 m.

Pour chaque excentricité on a distingué une élévation des déplacements dans le premier moitié de la colonne et une réduction dans le second moitié de la colonne à partir de la valeur maximum des déplacements U jusqu'à la base en fonction de la variation de la profondeur (y).

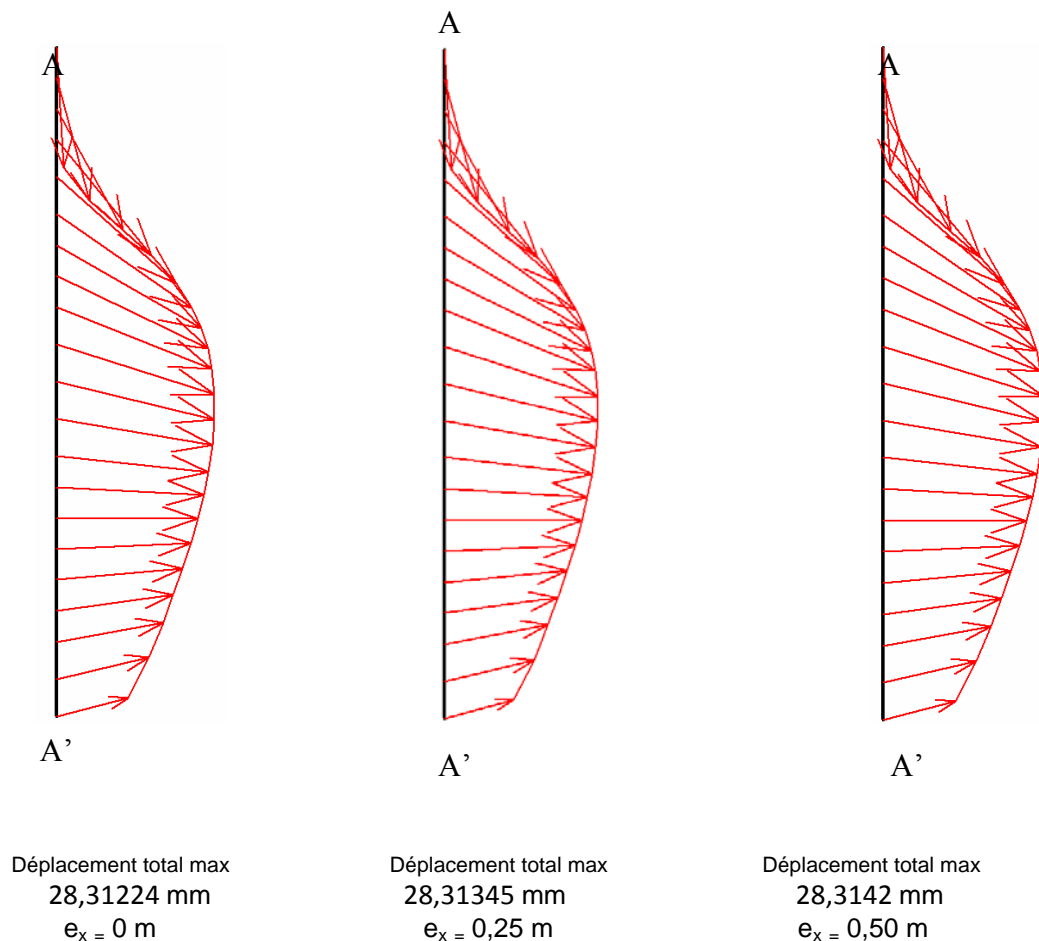


Figure IV.41b : Courbes de Déplacement dans la Colonne 6 selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec augmentation de l'épaisseur de radier

B. Déformations :

B.1. Déformations suivant l'axe des abscisses :

La variation du point d'application de la charge (excentricité e_x) entre 0 et 0,50 m engendre une diminution dans les valeurs de déformations suivant l'axe des abscisses (ϵ_{xx}) sur la partie supérieure de la cote 9,75 m à la cote 8,5289447 m et sur les deux parties intermédiaire et inférieure de la cote 4,8917777 m à la cote 1,00 m. Par contre, une augmentation est marquée sur les deux parties supérieure et inférieure de la cote 8,0457223 m à la cote 5,375 m.

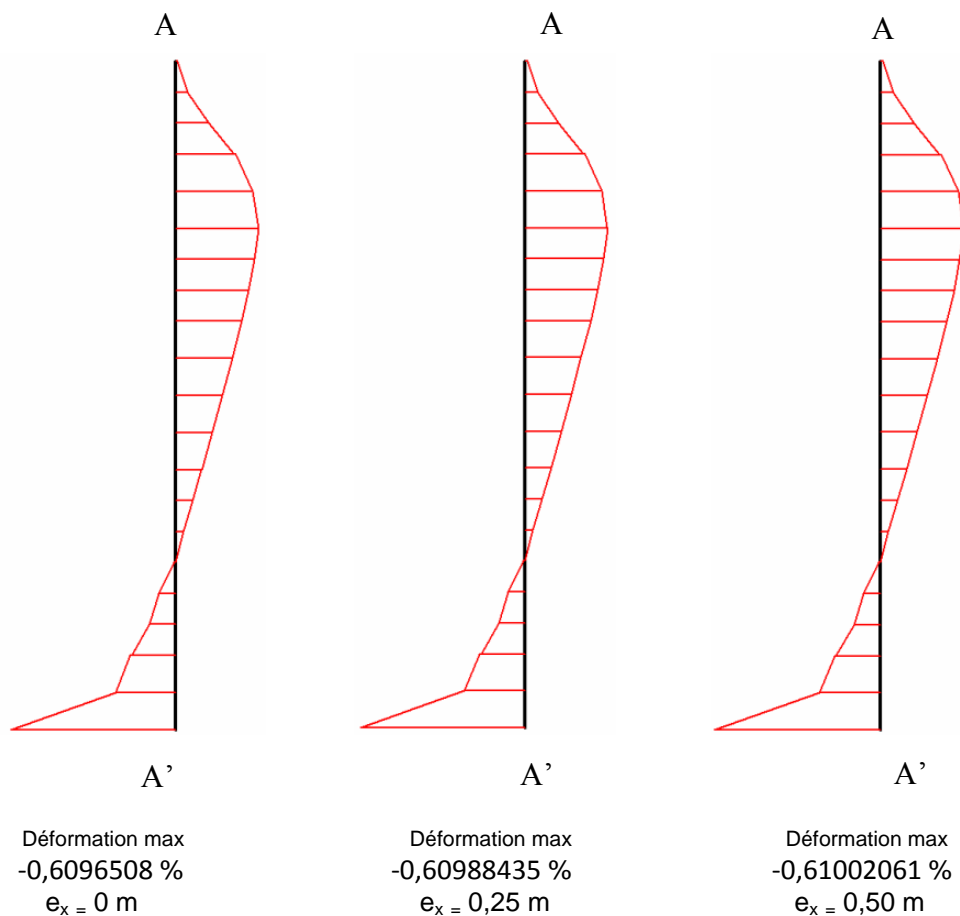


Figure IV.42b : Courbes de Déformation dans la Colonne 6 suivant l'axe des abscisses selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec augmentation de de l'épaisseur de radier

B.2. Déformations suivant l'axe des ordonnées :

La position de la charge sur les trois excentricités (0 ; 0,25 m et 0,50 m) agit sur les valeurs de déformations suivant l'axe des ordonnées (ϵ_{yy}), une diminution est constatée sur les trois intervalles suivants : [9,75 m à 9,3429816 m], [7,5625 m à 5,375 m] et [3,1875 m à

1,4832223 m] et une élévation sur les deux intervalles : [8,9359631 m à 8,0457223 m] ,[4,8917777 m à 3,5945184 m] et la côté 1,00 m.

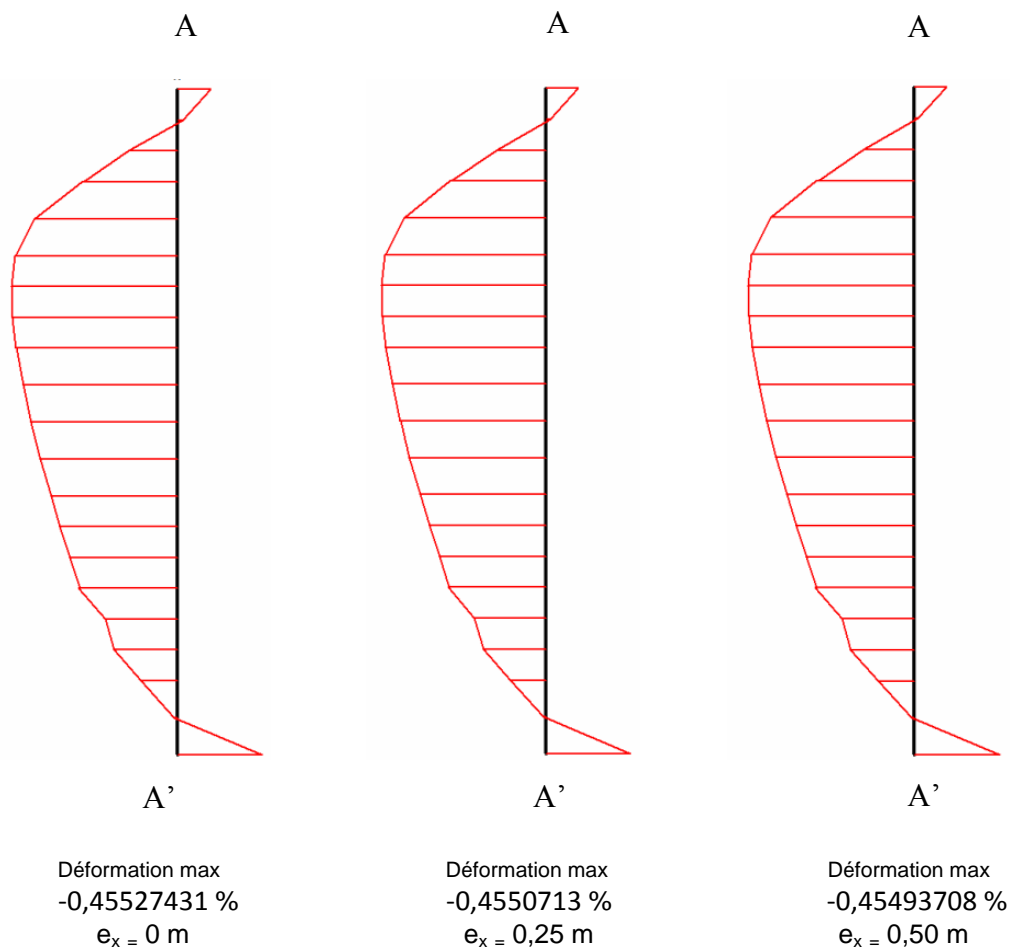


Figure IV.43b : Courbes de Déformation dans la Colonne 6 suivant l'axe des ordonnées selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec augmentation de l'épaisseur de radier

B.3. Déformations dans le plan xy :

L'emplacement de la charge aux points : 0 ; 0,25 m et 0,50 m crée une diminution de déformations dans le plan xy (ϵ_{xy}) sur la partie supérieure dans les cinq côtes: 9,75 m, 9,3429816 m, 8,5289447 m, 8,0457223 m et la côté 7,1554816 m, et sur la partie intermédiaire de la côté 5,375 m à la côté 4,4085553 m, et enfin à la base de la colonne dans les deux dernières côtes : 1,4832223 m et 1,00 m bien qu'un accroissement est enregistré dans les deux côtes de la partie supérieure : 8,9359631 m, 7,5625 m et dans les deux intervalles suivants : [6,7484631 m à 5,8582223 m], [4,0015369 m à 1,9664447 m] situés sur la partie intermédiaire et inférieure.

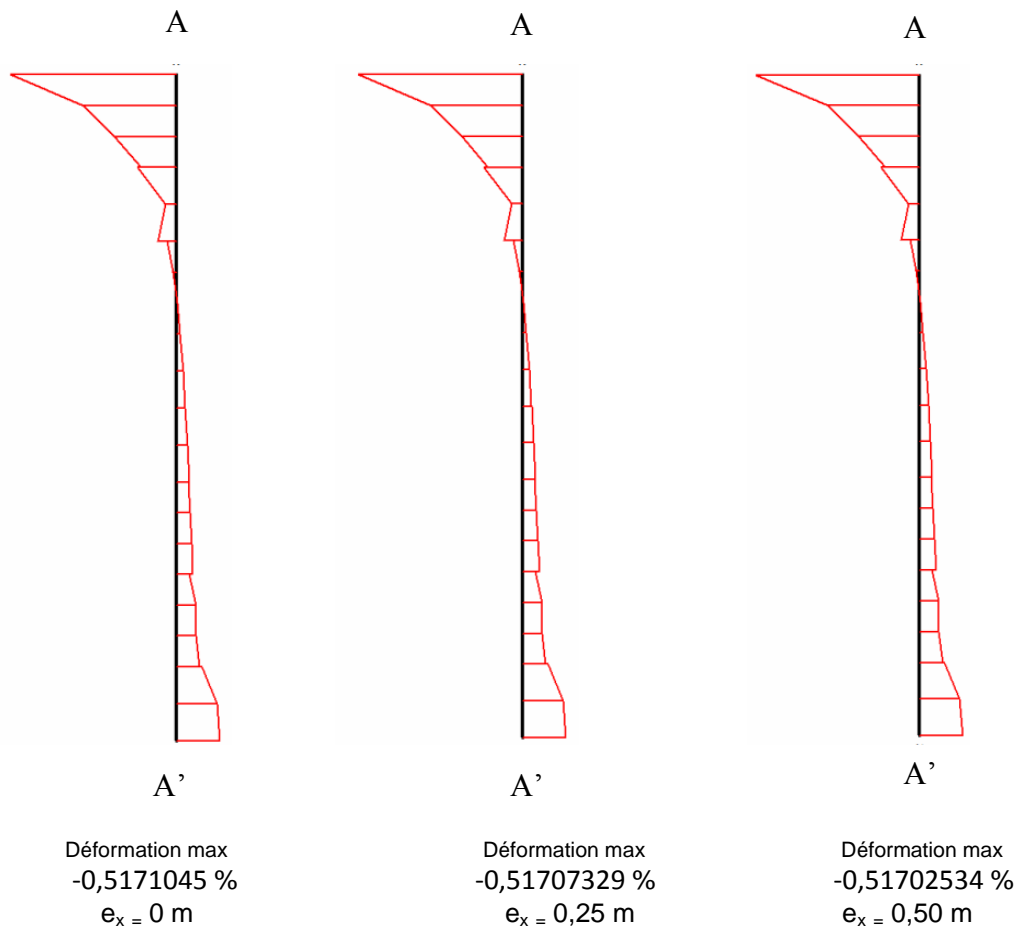
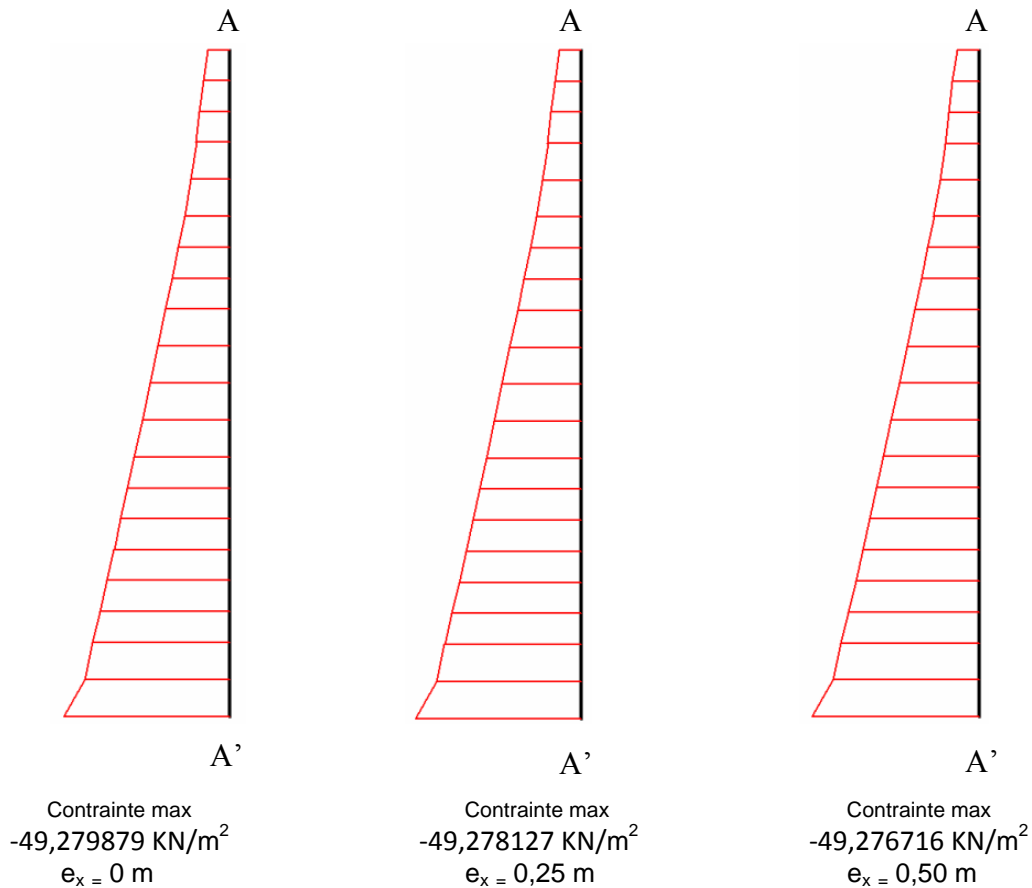


Figure IV.44b : Courbes de Déformation dans la Colonne 6 dans le plan xy selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec augmentation de l'épaisseur de radier

C. Contraintes :

C.1. Contraintes suivant l'axe des abscisses :

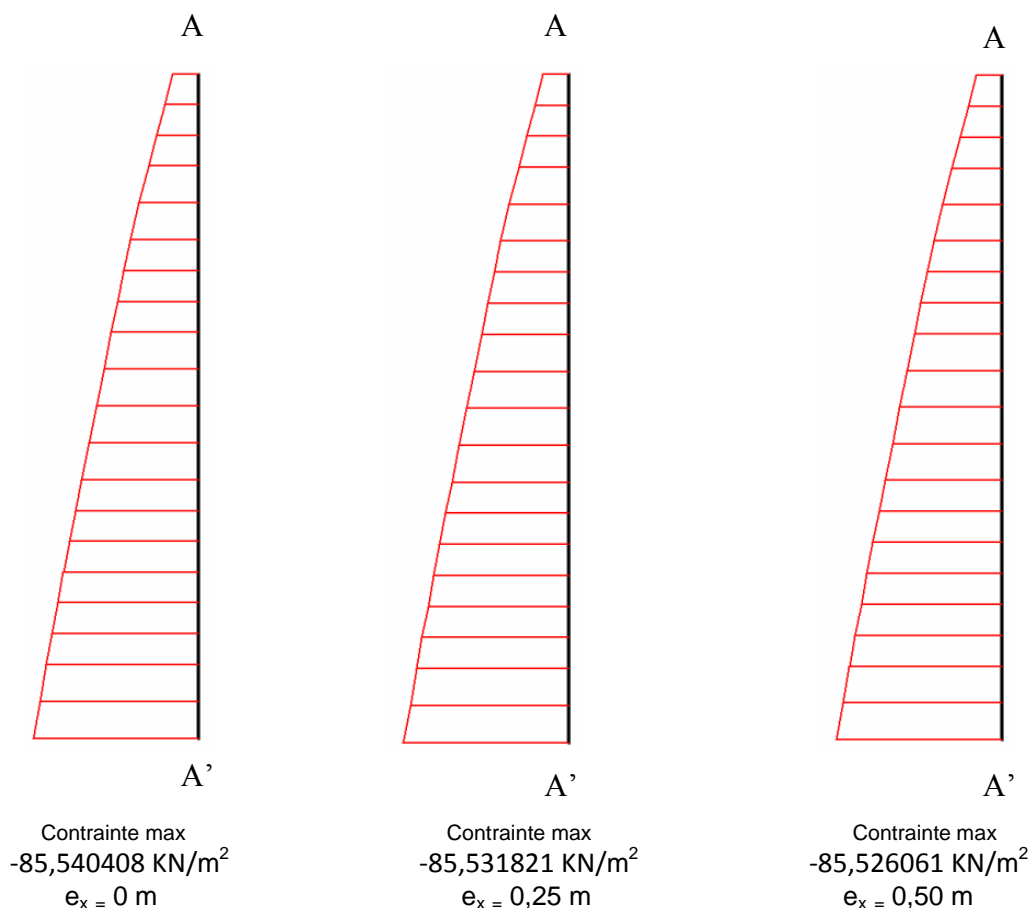
L'application de la charge sur les excentricités suivantes : 0 ; 0,25 m et 0,50 m provoque une augmentation des contraintes effectives (σ'_{xx}) sur les trois parties (supérieure, intermédiaire et inférieure) dans les deux intervalles : [9,75 m à 5,8582223 m] et [3,1875 m à 1,4832223 m], et une diminution sur la partie intermédiaire dans l'intervalle : [5,375 m à 3,5945184 m] et en pied de la colonne à la côte 1,00 m. D'après les résultats et la figure IV.45 b les contraintes effectives (σ'_{xx}) tiennent des variations linéaires en fonction de la profondeur (y).



*Figure IV.45b : Courbes des Contraintes dans la Colonne 6 suivant l'axe des abscisses selon le point d'application de la charge (excentricité e_x)
Avec augmentation de l'épaisseur de radier*

C.2. Contraintes suivant l'axe des ordonnées :

Suivant la variation du point d'application de la charge entre 0 et 0,50 m les contraintes effectives (σ'_{yy}) augmentent sur la partie supérieure et intermédiaire de la côte 9,75 m à la côte 5,8582223m et sur la partie inférieure de la côte 2,7804816 à la côte 1,4832223 m. Ensuite, elles diminuent sur la partie intermédiaire et inférieure de la côte 5,375 m à la côte 3,1875 m et dans les deux côtes : 7,5625 m et la côte 1,00 m. Les contraintes effectives (σ'_{yy}) varient d'une manière linéaire selon l'évolution de la profondeur(y) de la colonne d'après la figure IV.46 b.



*Figure IV.46b : Courbes des Contraintes dans la Colonne 6 suivant l'axe des ordonnées
selon le point d'application de la charge (excentricité e_x)
avec augmentation de l'épaisseur de radier*

C.3. Contraintes dans le plan xy :

Suivant la variation de l'excentricité de 0 à 0,50 m on constate: une diminution des contraintes effectives ($\sigma'_{xy} = \sigma_{xy}$) sur la partie supérieure de la côte 9,75 m à la côte 8,0457223 m et à la côte 7,1554816 m, sur la partie intermédiaire dans les deux côtes : la côte 4,8917777 m, la côte 4,4085553 et sur la partie inférieure à la côte 1,00 m. Dans le reste de la profondeur de la colonne les contraintes effectives ($\sigma'_{xy} = \sigma_{xy}$) augmentent sur la section de la côte 7,5625 m située sur la partie supérieure et sur les deux intervalles suivants : [6,7484631 m à 5,375 m] et [3,5945184 m à 1,4832223 m] situés successivement sur la partie intermédiaire et inférieure de la colonne.

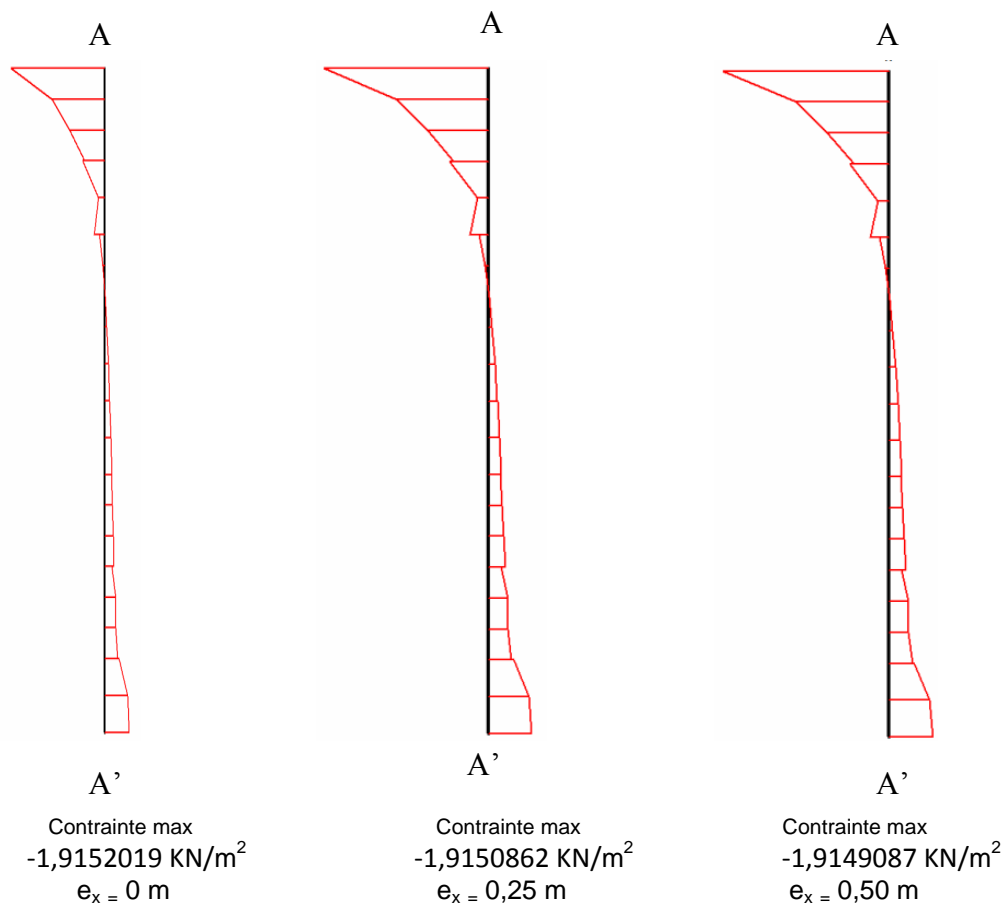
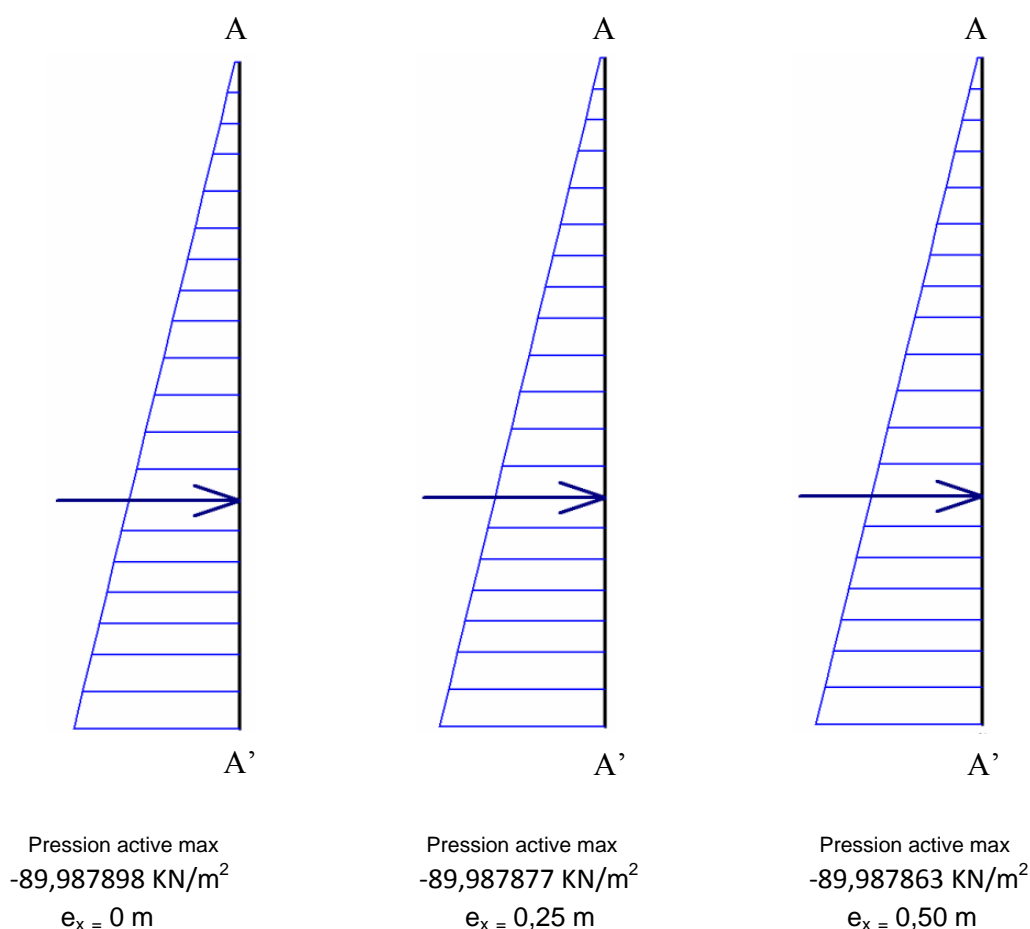


Figure IV.47b : Courbes des Contraintes dans la Colonne 6 dans le plan xy
selon le point d'application de la charge (excentricité e_x)
avec augmentation de l'épaisseur de radier

D. Pressions Actives :

Lors de la variation de l'excentricité de la charge entre 0 et 0,50 m les pressions actives augmentent sur les parties supérieure, intermédiaire et inférieure dans les deux intervalles : [9,75 m à 5,375 m] et [2,7804816 m à 1,00 m] et diminuent sur les parties intermédiaire et inférieure dans l'intervalle : [4,8917777 m à 3,1875 m].

Les pressions actives varient d'une manière linéaire selon l'évolution de la profondeur (y) de la colonne selon la figure IV.48b.



*Figure IV.48b : Courbes des pressions actives dans la colonne 6
 selon le point d'application de la charge (excentricité e_x)
 avec augmentation de l'épaisseur de radier*

IV.1.2.9. Conclusion des résultats des colonnes 5 et 6 et leurs interprétations :

On a enregistré les mêmes causes probables de la variation des résultats entre la colonne 5 (figures : IV.33b, IV.34b, IV.35b, IV.36b, IV.37b, IV.38b, IV.39b et IV.40b) et la colonne 6 (figures : IV.41b, IV.42b, IV.43b, IV.44b, IV.45b, IV.46b, IV.47b et IV.48b) citées dans la partie : influence de point d'application de la charge (excentricité) sur le comportement des colonnes ballastées (pages 99 et 100).

D'après les résultats et les figures et principalement les courbes de chaque excentricité reflétant le comportement des colonnes avec le changement de l'épaisseur du radier de 0,25 m à 0,50 m, ce dernier engendre une variation sur les valeurs de déplacements d'une manière croissante le long de la profondeur des deux colonnes 5 et 6. Suivant l'axe des abscisses, les déformations (ϵ_{xx}) dans la colonne 5 ont amplifié sur les deux parties : supérieure et

intermédiaire et ont diminué sur la partie inférieure et au sommet de la colonne 5. Pour la colonne 6, le même fait a été marqué dans la colonne 5, sauf que les déformations (ϵ_{xx}) ont diminué sur la partie inférieure, au sommet de la colonne, et en outre, sur la moitié de la partie intermédiaire. Concernant les déformations suivant l'axe des ordonnées (ϵ_{yy}) dans la colonne 5, elles ont augmenté sur toute la profondeur, mais elles ont diminué à la limite inférieure de la colonne, Pour la colonne 6, on a perçu un accroissement sur la partie supérieure, intermédiaire et dans certains profils situés sur la seconde moitié de la partie inférieure. Dans le plan xy, les déformations (ϵ_{xy}) ont augmenté le long de la profondeur de la colonne 6 Par contre, dans la colonne 5 on a enregistré une diminution dans les valeurs de déformations (ϵ_{xy}) au sommet de la colonne sur les trois premières côtes et à la base de la colonne sur les deux dernières côtes. Ainsi, une augmentation est cernée sur le restant de la profondeur de la colonne.

Relativement aux valeurs des contraintes effectives suivant les axes des abscisses (σ'_{xx}) et ordonnées (σ'_{yy}), on a constaté une amplification de ces dernières sur toute la profondeur des deux colonnes 5 et 6. Dans le plan xy, les contraintes effectives (σ'_{xy}) ont amplifié le long de la profondeur de la colonne 6. En revanche, dans la colonne 5, on a observé une décroissance sur la partie supérieure dans les six premières côtes et sur la partie inférieure dans les deux dernières côtes. Aussi, une augmentation est localisée sur la différence de la colonne. Les pressions actives sont influencées par le changement de l'épaisseur du radier augmenté occasionnant une diminution sur les valeurs des pressions actives le long de la profondeur des colonnes 5 et 6.

Les colonnes 5 et 6 ont supporté des variations sur les valeurs des (déplacements, déformations ,contraintes et pressions actives). Les variations sont produites par l'augmentation de l'épaisseur du radier de 0,25 m à 0,50 m. Cela agit d'une façon croissante d'une part sur les valeurs de déplacements, de contraintes suivant les axes abscisses(σ'_{xx}) et ordonnées (σ'_{yy}) le long de la profondeur, de contraintes dans le plan xy(σ'_{xy}) sur des sections situées entre le sommet et le pied des colonnes, de déformations (ϵ_{xx} , ϵ_{yy} , ϵ_{xy}) sur la partie supérieure et intermédiaire, et parfois le long de la profondeur des colonnes. Et d'autre part, d'une manière décroissante sur les valeurs des pressions actives le long de la profondeur des colonnes, les déformations (ϵ_{xx} , ϵ_{yy} , ϵ_{xy}) sur la partie inférieure et au sommet des colonnes et sur les valeurs des contraintes dans le plan xy (σ'_{xy}) au sommet et en pied de la colonne.

Enfin, la variation enregistrée dans les résultats (déplacements, déformations, contraintes et pressions actives) est relative au paramètre de l'augmentation de l'épaisseur du radier.

IV.1.2.10. Conclusion:

Le réseau de colonnes a vu des modifications dans les résultats des déplacements, des déformations, des contraintes et des pressions actives. Les modifications ont été générées par le changement de l'épaisseur du radier augmentée de 0,25 m à 0,50 m. Cela influe d'une manière croissante sur : les déplacements, les déformations (ϵ_{xx} , ϵ_{yy} , ϵ_{xy}) dans certaines parties des colonnes, les contraintes effectives suivant les deux axes abscisses (σ'_{xx}) et ordonnées (σ'_{yy}) le long de la profondeur des colonnes, et sur les valeurs des contraintes effectives dans le plan xy (σ'_{xy}) dans quelques parties. Et d'une manière décroissante sur : les valeurs des pressions actives, les déformations (ϵ_{xx} , ϵ_{yy} , ϵ_{xy}) et sur les valeurs des contraintes effectives dans le plan xy (σ'_{xy}) dans la plus part des cas au sommet et dans quelques sections localisées sur la partie inférieure des colonnes.

L'analyse des résultats de déplacements, déformations et contraintes effectives pendant l'augmentation de l'épaisseur du radier démontre que la réduction des résultats par rapport au cas standard (épaisseur de 0,25 m) est enregistrée à la base (les sections sur la partie inférieure) et rarement au sommet (la côte supérieure) des colonnes, Ces mêmes résultats ont augmenté sur l'écart entre la base et le sommet de la profondeur, et dans la plupart de temps le long de la profondeur des colonnes. Il est probable que cette variation d'une part, l'augmentation de l'épaisseur du radier est considérée également une charge supplémentaire à la charge appliquée. Et d'autre part, accroît la rigidité de la fondation. Celle-ci limite le transfert de la charge vers la base des colonnes ballastées.

Concernant les pressions actives, le changement de l'épaisseur du radier de 0,25 à 0,50 cm agit d'une manière décroissante sur les valeurs de ces dernières. Au fur et à mesure que l'épaisseur du radier augmente, le poids du radier et l'augmentation de la charge appliquée s'amplifient à leur tour. En outre, l'augmentation de l'épaisseur accroît la rigidité du radier qui limite le transfert de la charge vers le sol renforcé par colonnes ballastées. La réduction des pressions actives implique la diminution du temps de consolidation et l'augmentation de la vitesse de consolidation. Cette conséquence apparaît sous l'effet de la mise en place des colonnes ballastées (éléments drainants) qui accélèrent la vitesse de consolidation.

Enfin, on a conclu que la variation enregistrée dans les résultats (déplacements, déformations, contraintes et pressions actives) est relative aux paramètres de changement du point d'application de la charge (excentricité) et l'augmentation de l'épaisseur du radier.

IV.1.3. Influence de la variation du point d'application de la charge (excentricité) avec diminution de la cohésion du sol de 75 KN/m^2 à 70 KN/m^2 sur le comportement des colonnes ballastées :

IV.1.3.1. Analyse et interprétation des résultats de la colonne 2:

On constate d'après les résultats des figures de diminution de la cohésion du sol (IV.1c, IV.2c, IV.3c, IV.4c, IV.5c, IV.6c, IV.7c et IV.8c) et notamment les courbes qui représentent le comportement de la colonne 2 située à droite de la charge :

A. Déplacement :

A.1. Déplacement Total :

La valeur du déplacement augmente quand la cohésion du sol varie de 75 KN/m^2 à 70 KN/m^2 . Par ailleurs, on remarque que le déplacement total évolue jusqu'à l'atteinte d'une valeur maximale sur la partie supérieure de la colonne (côte : 6,4027478 m), ensuite il fléchit régressivement jusqu'à la base.

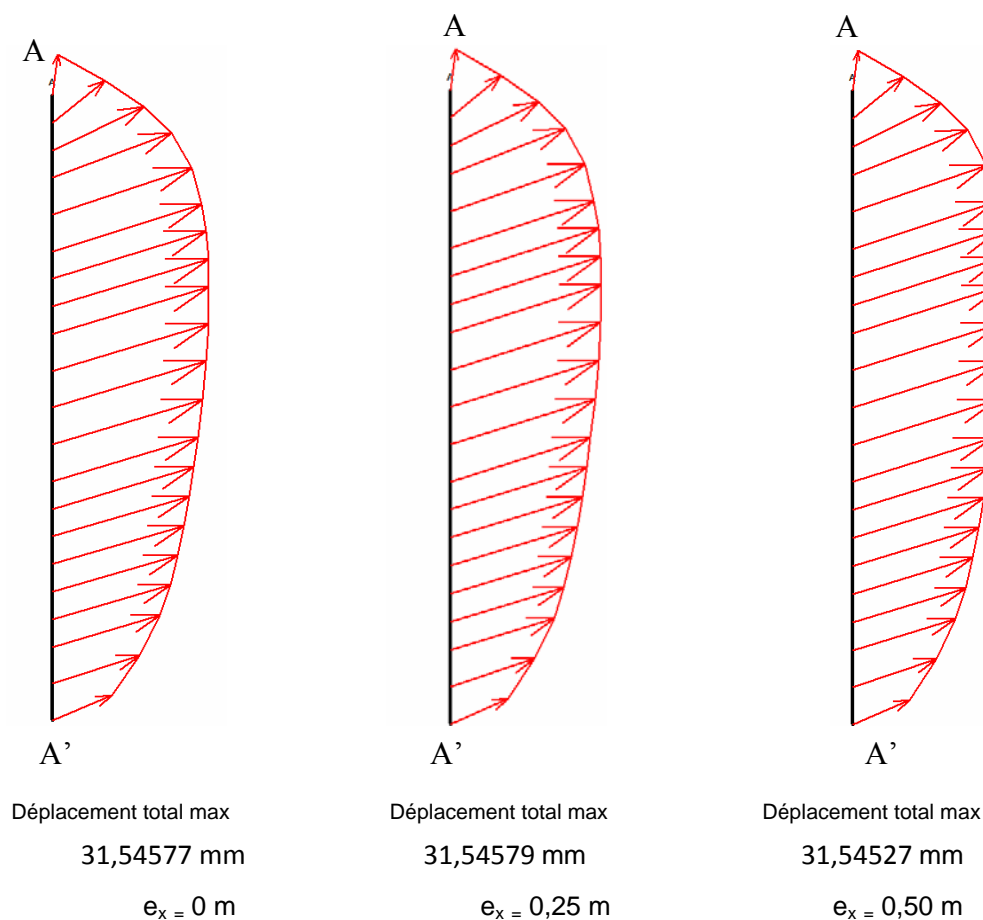


Figure IV.1c : Courbes de Déplacement dans la Colonne 2
selon le point d'application de la charge (excentricité e_x)
avec diminution de la cohésion du sol

B. Déformations :

B.2 Déformations suivant l'axe des abscisses :

Lorsque l'excentricité est égale à 0,50 m, les déformations augmentent de la cote 9.75 m à la cote 8,5902478 m. Par contre, ces dernières diminuent quand l'excentricité varie entre 0 et 0,25 m. Au-delà de la valeur (cote 4,3472522 m) les déformations diminuent également jusqu'à la base de la colonne.

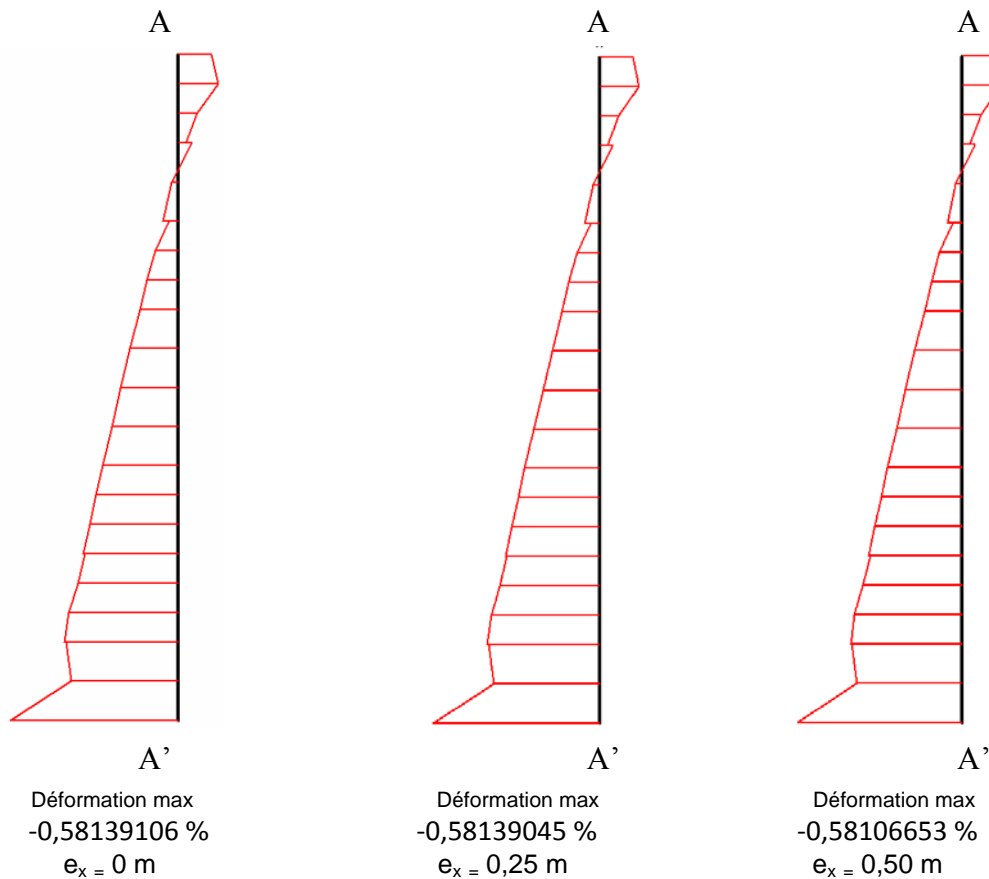


Figure IV.2c : Courbes de Déformation dans la Colonne 2 suivant l'axe des abscisses selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec la diminution de la cohésion du sol

B.3 Déformations suivant l'axe des ordonnées :

Suivant le changement point d'application de la charge, les déformations diminuent à partir de la cote 9.75 jusqu'à la cote 5,375 m, et augmentent à partir de cette dernière valeur jusqu'à la base de la colonne, où les déformations atteignent des valeurs maximales (figure VI.3c).

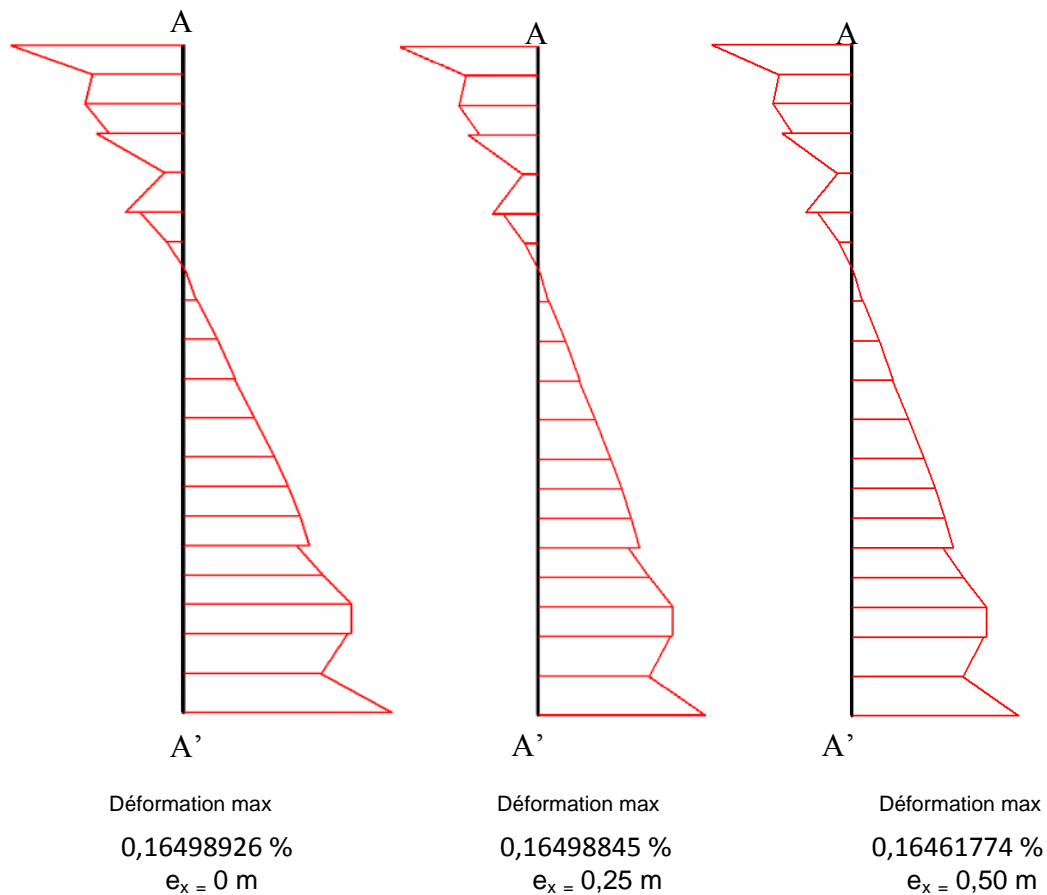


Figure IV. 3c : Courbes de Déformation dans la Colonne 2 suivant l'axe des ordonnées selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec la diminution de la cohésion du sol

B.4 Déformations dans le plan xy :

Les déformations ε_{xy} affichent des valeurs maximales sur le sommet de la colonne, mais avec une réduction selon la variation du point d'application de la charge (de 0 à 0,50 m). Néanmoins, Les déformations ε_{xy} diminuent dans la partie supérieure de la colonne, mais avec un accroissement dans la partie inférieure et portent des valeurs alternées dans la partie intermédiaire.

On observe un changement dans les valeurs de déformations ε_{xy} après la diminution de la cohésion du sol, soit une évolution dans la première moitié de la colonne, où alors une réduction dans la deuxième moitié de la colonne.

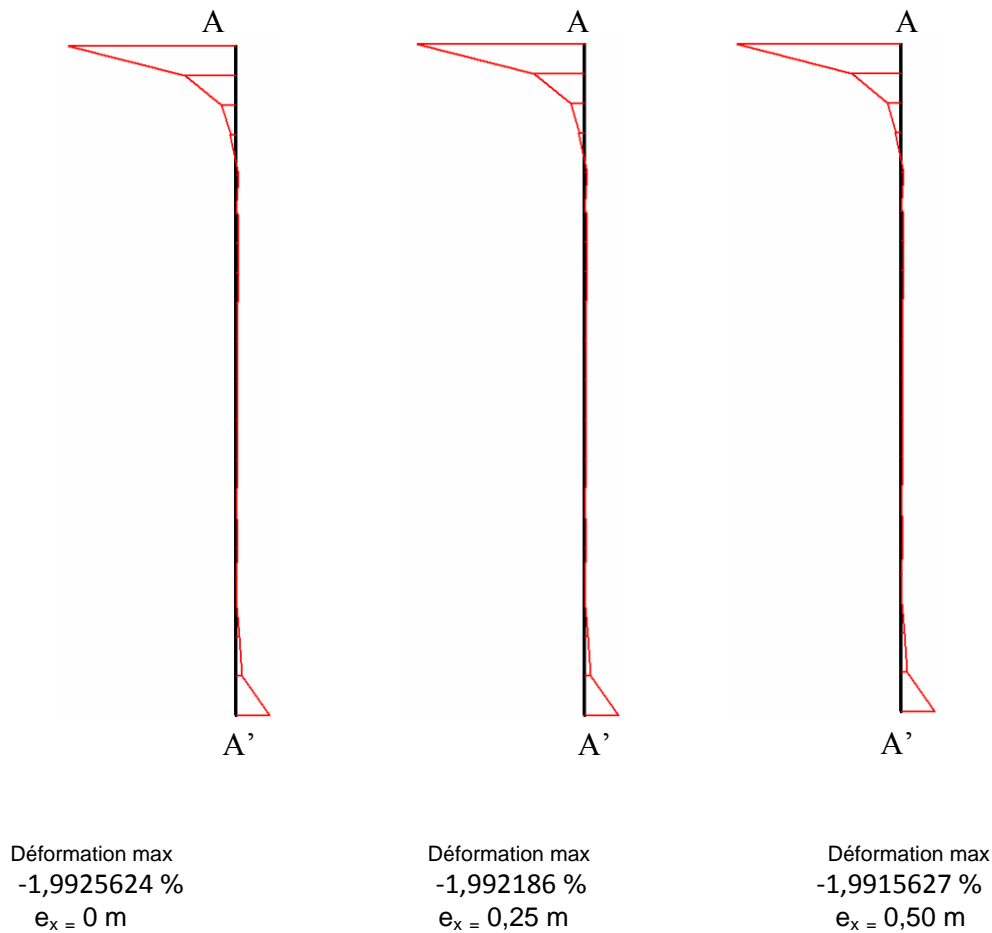


Figure IV.4c : Courbes de Déformation dans la Colonne 2 dans le plan xy selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec la diminution de la cohésion du sol

C. Contraintes :

C.1 Contraintes suivant l'axe des abscisses :

On observe une augmentation des contraintes effectives σ'_{xx} d'une part, quand le point d'application de la charge est positionnée sur l'excentricité 0 et 0,50 m. Et ce, sur la partie supérieure de la colonne. Et d'autre part, sur la partie intermédiaire et à la partie inférieure entre 0,25 m et 0,50 m. Par contre, la diminution des contraintes effectives σ'_{xx} est enregistrée quand le point d'application de la charge est positionné sur l'excentricité 0 et 0,25 m dans la partie supérieure et dans la partie inférieure entre 0,25 m et 0,50 m de la colonne.

La figure IV.5c démontre une variation linéaire des contraintes effectives σ'_{xx} qui trouve sa source au niveau de la partie supérieure de la colonne.

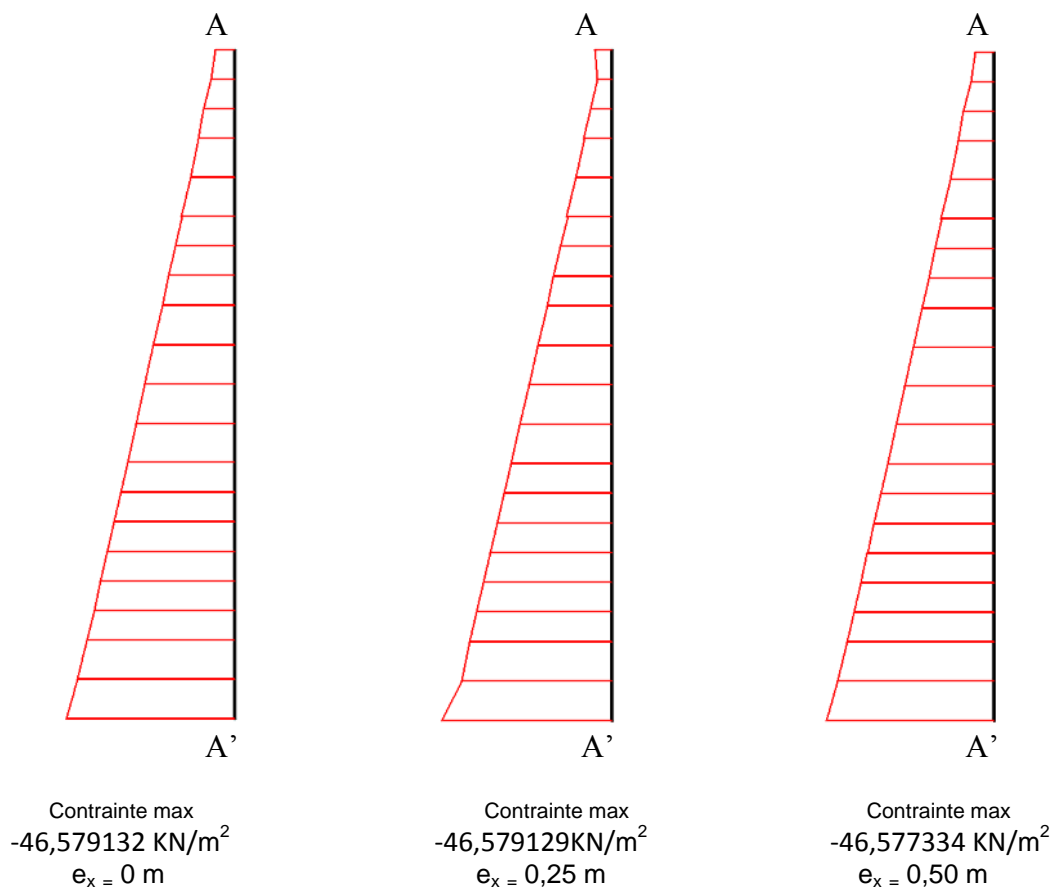


Figure IV.5c : Courbes des Contraintes dans la Colonne 2 suivant l'axe des abscisses selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec la diminution de la cohésion

C.2 Contraintes suivant l'axe des ordonnées :

Au moment où la variation du point d'application de la charge change entre les trois excentricités (0 ; 0,25 m et 0,50), on constate une augmentation des contraintes effectives σ'_{yy} , et une diminution quand l'excentricité est positionnée à 0,50m.

La figure IV.6c illustre une variation linéaire des contraintes effectives σ'_{xx} qui trouve sa source au niveau de la partie supérieure de la colonne.

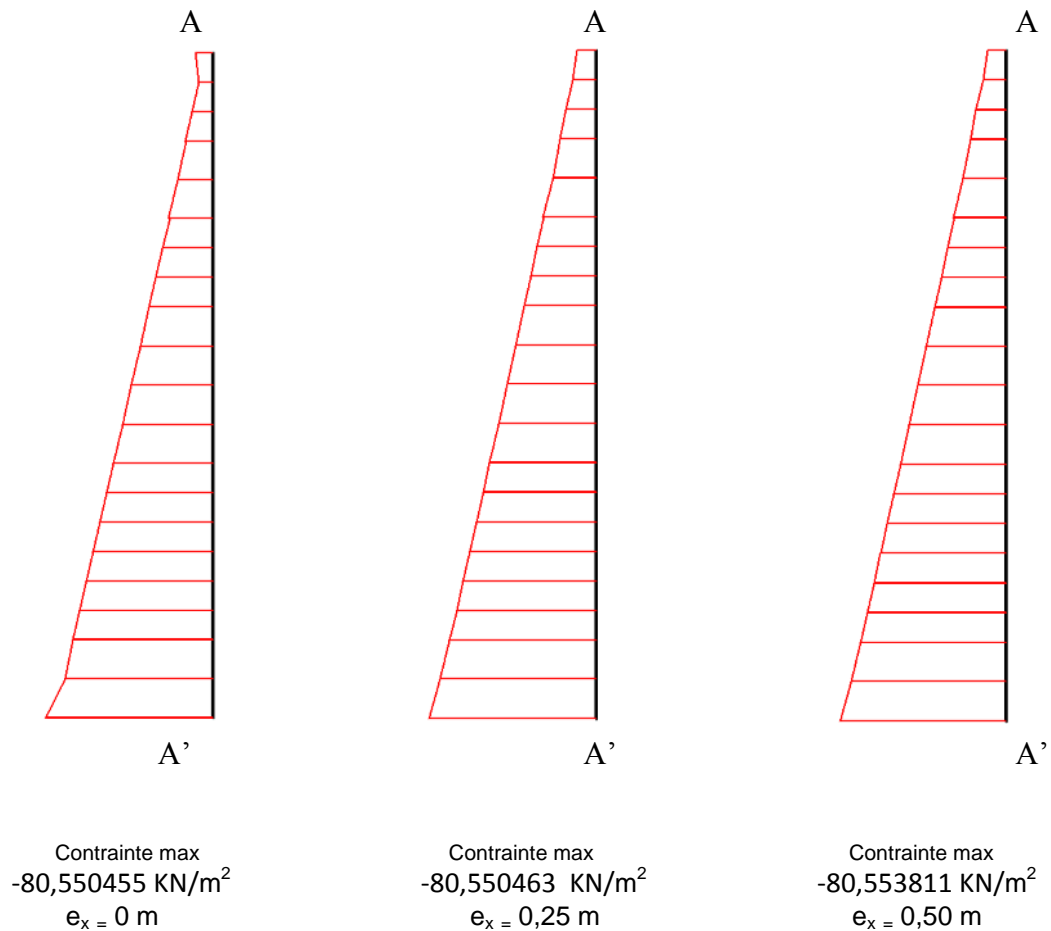


Figure IV.6c : Courbes des Contraintes dans la Colonne 2 suivant l'axe des ordonnées selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec la diminution de la cohésion du sol

C.3 Contraintes effectives dans le plan XY :

Selon la position du point d'application de la charge, on remarque une réduction des contraintes effectives ($\sigma'_{xy} = \sigma_{xy}$) sur la partie supérieure de la colonne (9,75m à 7,526m). Mais lorsque l'excentricité est variée entre 0 et 0,25 m, on distingue une augmentation des contraintes jusqu'à la cote 3,1875 m, et dans le même intervalle elles diminuent si l'excentricité est égale à 0,50 m.

Dans la partie inférieure de la colonne les contraintes effectives $\sigma'_{xy} = \sigma_{xy}$ diminuent quand le changement du point d'application de la charge varie de 0 à 0,25 m, et en parallèle elles amplifient si l'excentricité est fixée à 0,50 m.

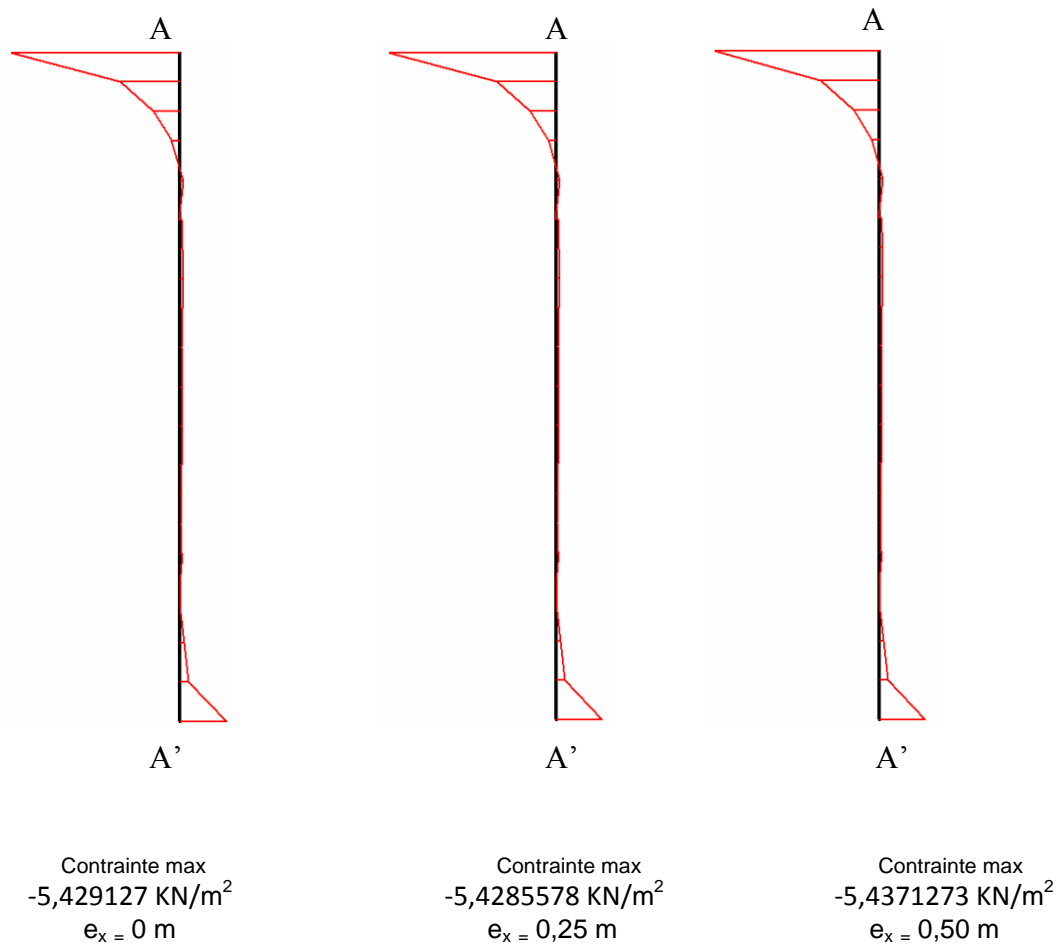


Figure IV.7c : Courbes des Contraintes dans la Colonne 2 dans le plan xy selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec la diminution de la cohésion du sol

D. Pressions Actives :

Lors de la variation de l'excentricité on constate : une augmentation des pressions actives dans la partie supérieure et inférieure du colonne quand elle est variée entre 0 et 0.50 m. Par rapport à la valeur 0.50 m, les pressions actives de la côte 4,8611261 m à la côte 3,1875 m sont diminuées, et enfin une augmentation des pressions actives suivant la variation de la profondeur (y) de la colonne d'une manière linéaire.

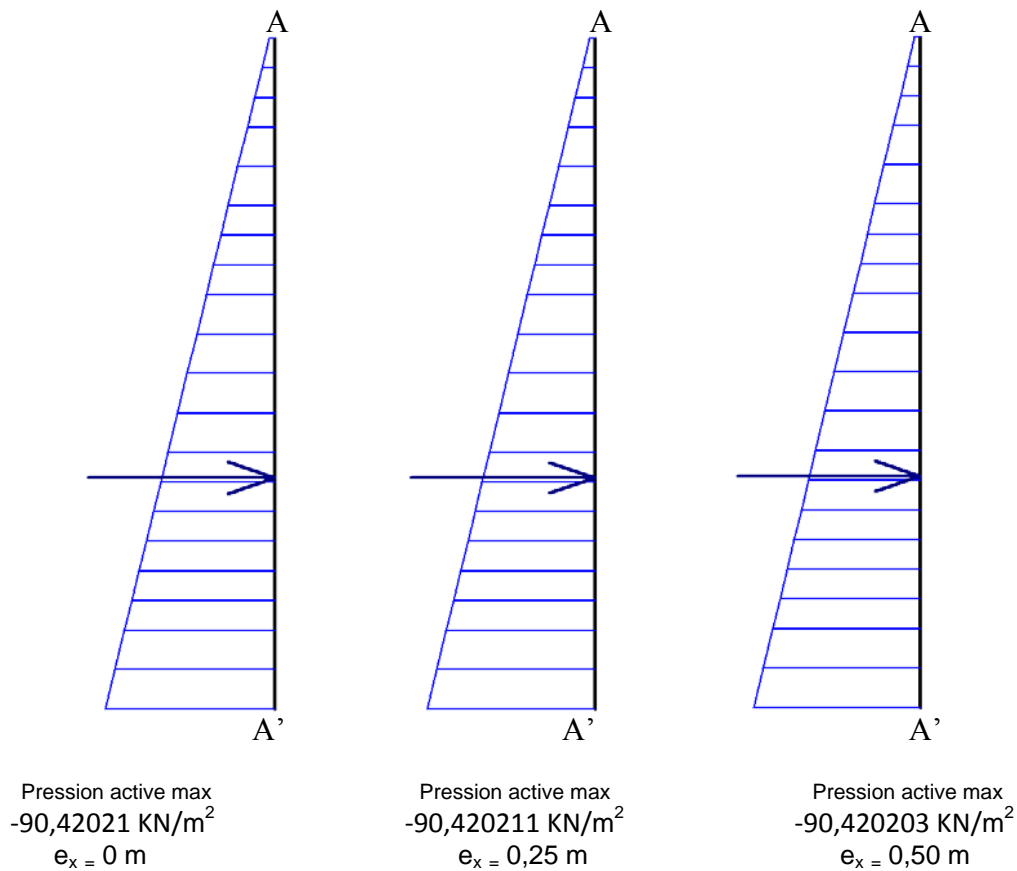


Figure IV.8c: Courbes des pressions actives dans la colonne 2

selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec la diminution de la cohésion

IV.1.3.2. Analyse et interprétation des résultats de la colonne 1:

On constate d'après les résultats des figures de diminution de la cohésion du sol (IV.9c, IV.10c, IV.11c, IV. 12c, IV.13c, IV.14c, IV.15c et IV.16c) et notamment les courbes qui représentent le comportement de la colonne 1 située à gauche de la charge.

A. Déplacement :

A.1 Déplacement Total :

Suivant la variation du point d'application de la charge entre 0 et 0,50 m une augmentation dans les valeurs des déplacements au sommet de la colonne (la côte 9,75 m), dans la partie supérieure de l'intervalle [7,5625 à 5,375 m] et dans la partie inférieure de l'intervalle [2,6589096 m à 1,5651596 m]. Toutefois, une diminution est observée dans la partie

supérieure de la cote 9,2214096 m à la cote 8,1276596 m, dans la partie intermédiaire de la cote 4,8098404 m à la cote 3,1875 m et en pied de la colonne à la cote 1,00 m, pour chaque excentricité les valeurs de déplacements portent une variation croissante dans la partie supérieure, et une variation décroissante à partir de la valeur maximale de déplacement (les trois valeurs de la figure IV.9 c) maximum jusqu'à la base en fonction de la variation de la profondeur y .

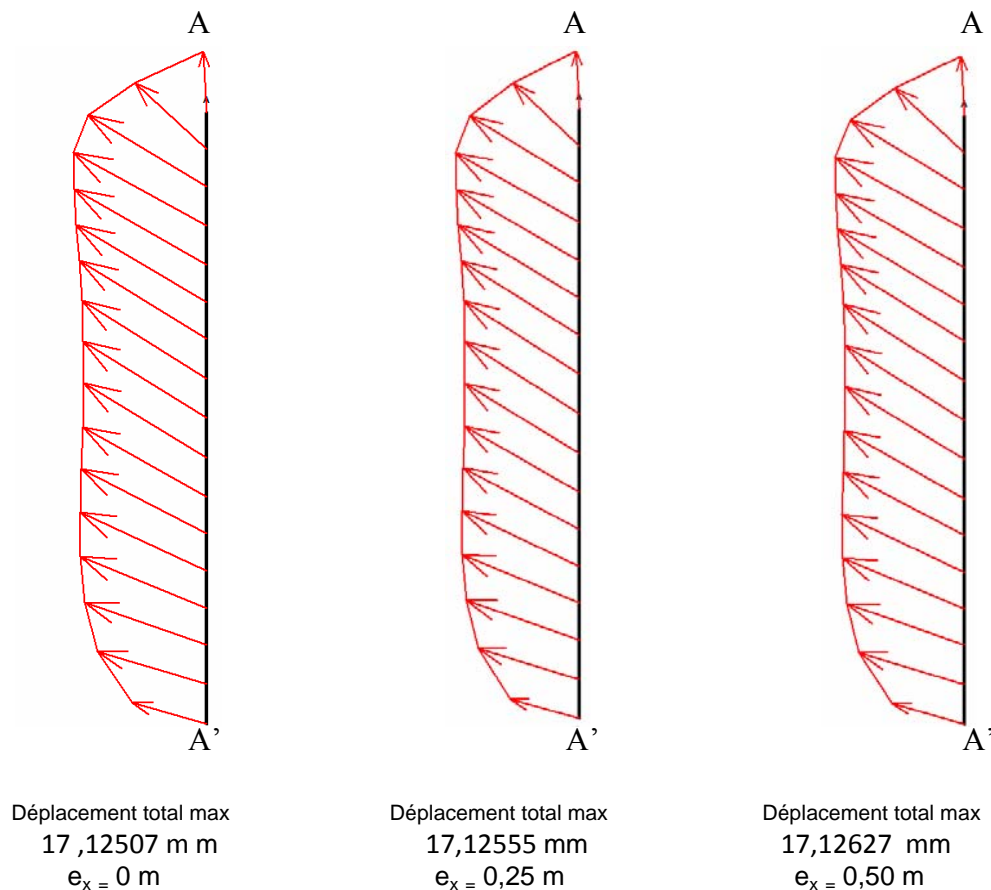


Figure IV.9c : Courbes de Déplacement dans la Colonne 1 selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec la diminution de la cohésion du sol

B. Déformations :

B.1 Déformations suivant l'axe des abscisses :

Au regard du changement du point d'application de la charge, les déformations ε_{xx} augmentent de la cote 9.75 à la cote 2,6589096 m, et diminuent à partir de cette dernière valeur jusqu'à la partie inférieure où on remarque une amplification des déformations en pied de la colonne par des valeurs maximales (de la cote 1,00 m).

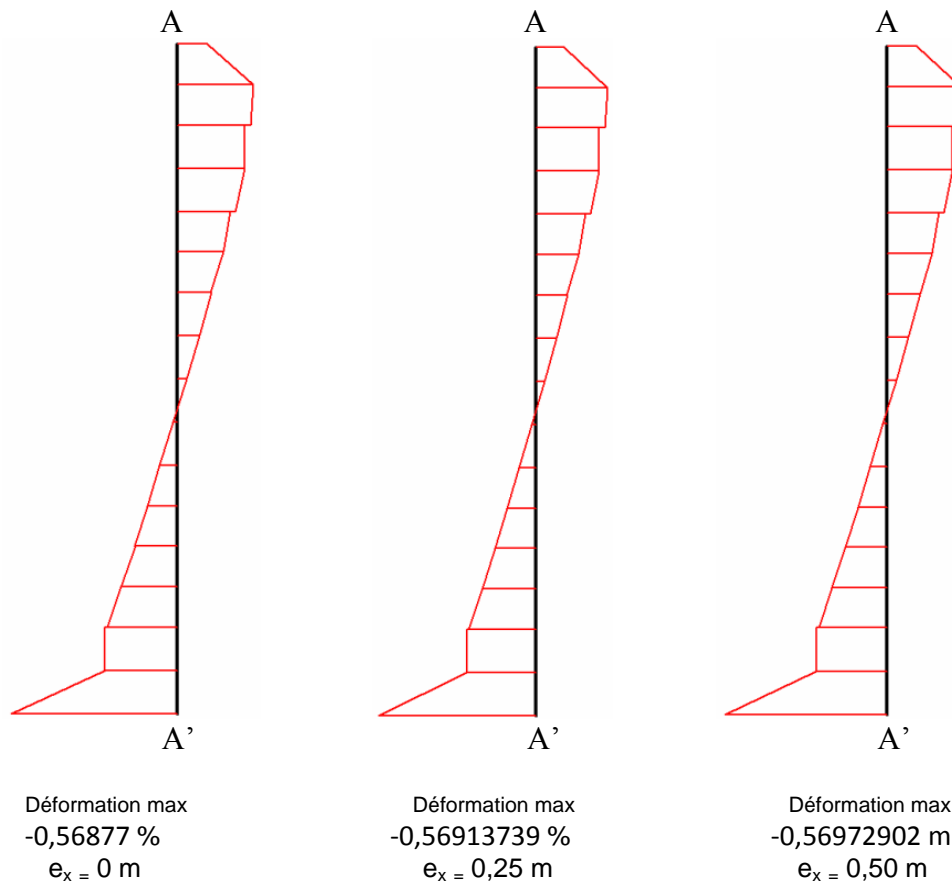


Figure IV.10c : Courbes de Déformation dans la Colonne 1 suivant l'axe des abscisses selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec la diminution de la cohésion du sol

B.2 Déformations suivant l'axe des ordonnées :

On note une augmentation des déformations ε_{yy} suivant la variation du point d'application de la charge de 0 à 0,50 m sur toute la profondeur. Seulement une diminution est enregistrée dans les trois côtes 8,1276596 m, 5,375 m et 2,6589096 m.

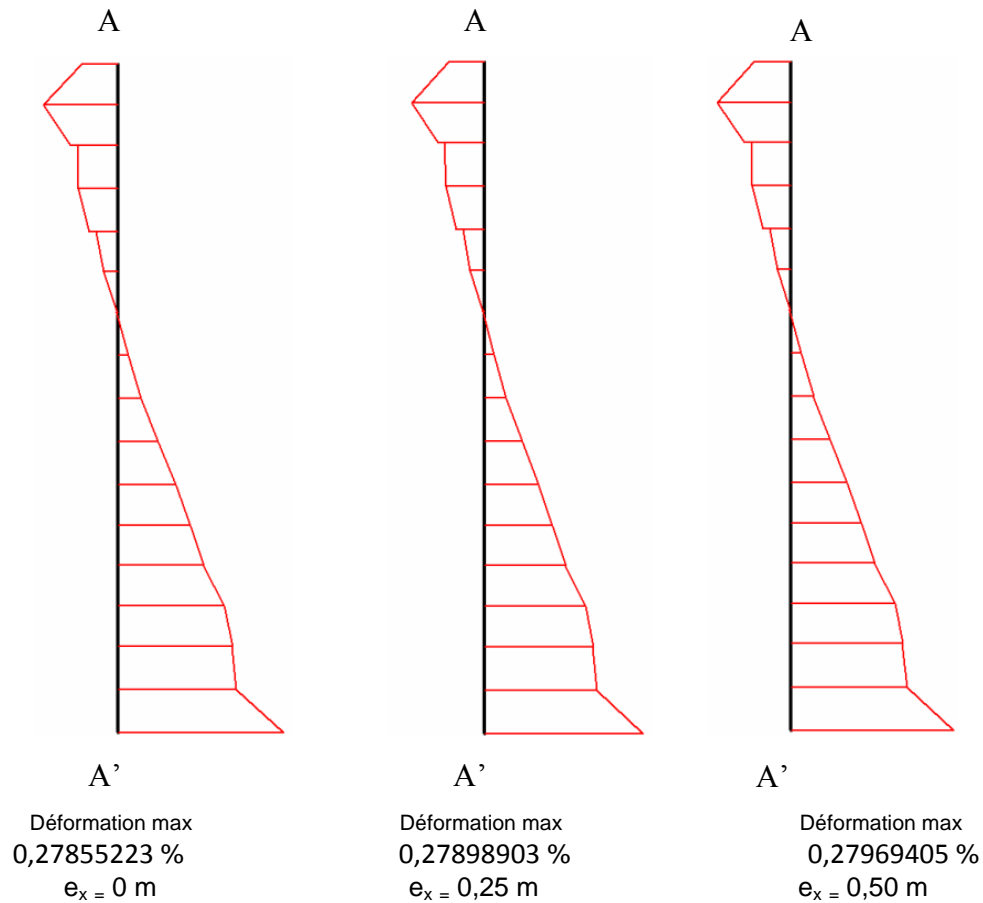


Figure IV.11c : Courbes de Déformation dans la Colonne 1 suivant l'axe des ordonnées selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec la diminution de la cohésion

B.3 Déformations dans le plan xy :

On distingue une augmentation des déformations ϵ_{xy} suivant la variation du point d'application de la charge de 0 à 0,50 m. Par ailleurs, une diminution des déformations ϵ_{xy} est observée dans les sept côtes suivantes: 8,6928191m, 8,1276596 m, 4,8098404 m, 3,1875 m, 2,6589096 m, 1,5651596 m et 1,00 m.

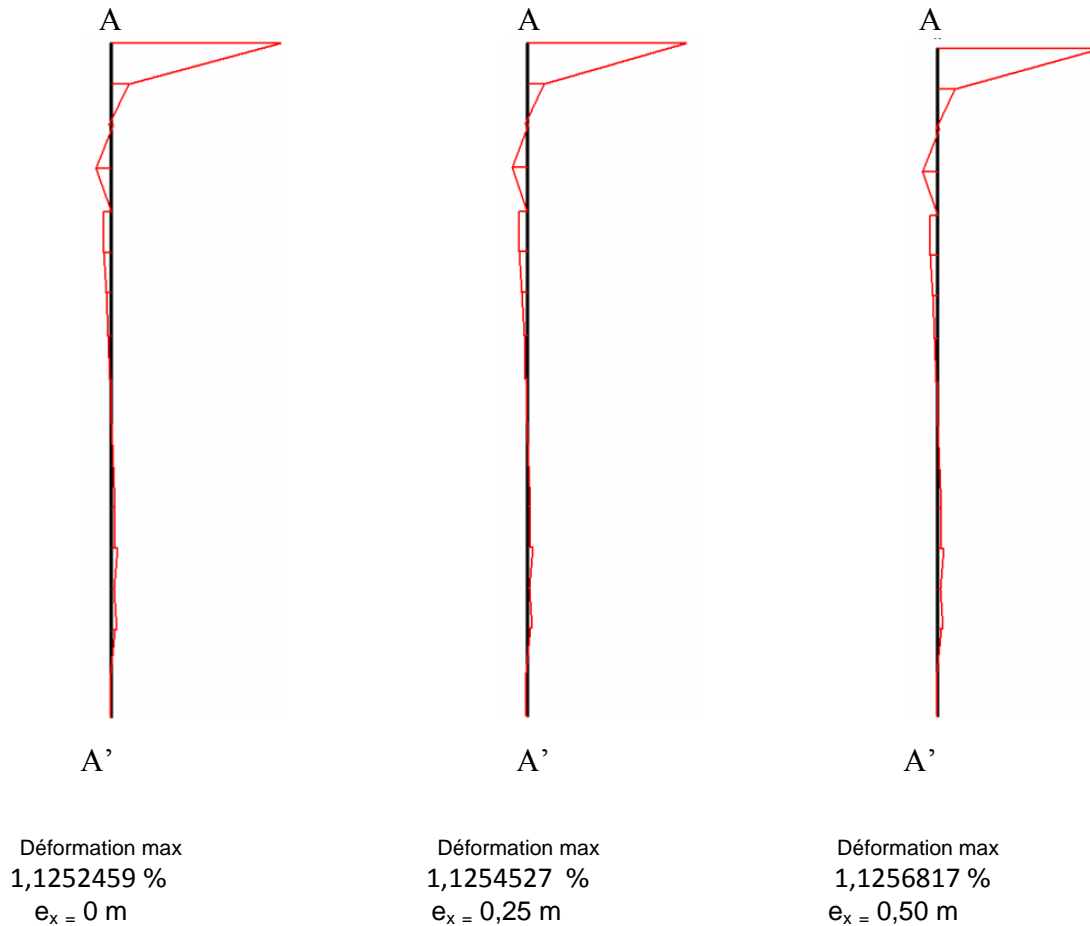


Figure IV.12c : Courbes de Déformation dans la Colonne 1 dans le plan xy selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec la diminution de la cohésion

C. Contraintes :

C.1 Contraintes suivant l'axe des abscisses :

A partir de la figure IV.13c, une diminution des contraintes effectives σ'_{xx} est perçue suivant la position du point d'application de la charge de 0 à 0,50 m. On observe tout de même une augmentation des contraintes effectives σ'_{xx} selon deux variations : Celle du point d'application de la charge de 0 à 0,50 m dans les trois côtes 9,75 m, 7,5625m , 1,00 m et de l'intervalle [5,375 m à 3,1875 m], et celle de la profondeur (y) de la colonne dans un cheminement linéaire.

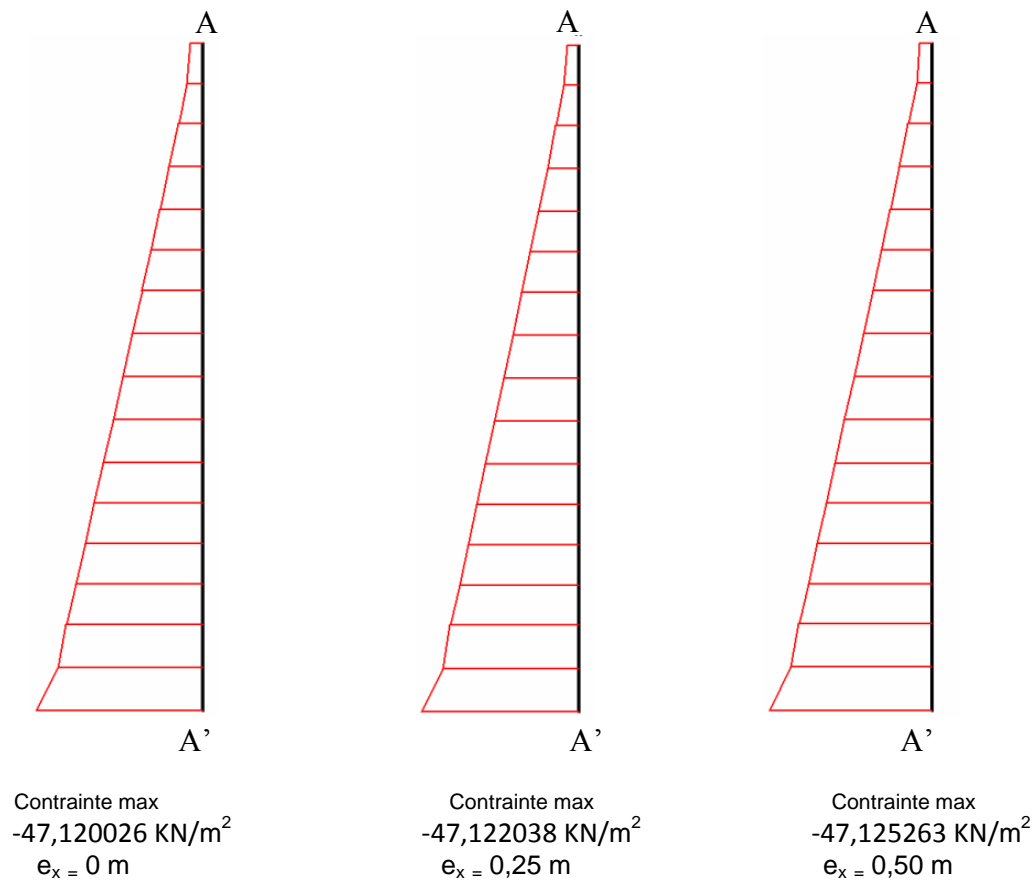


Figure IV.13c : Courbes des Contraintes dans la Colonne 1 suivant l'axe des abscisses selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec la diminution de la cohésion

C.2. Contraintes Suivant l'axe des ordonnées :

On distingue d'après la figure IV.14c une diminution des contraintes effectives σ'_{yy} par rapport au positionnement du point d'application de la charge entre 0 et 0,50 m d'une part, et une augmentation des contraintes effectives σ'_{yy} vis-à-vis au positionnement du point d'application de la charge entre 0 et 0,50 m dans la côte 9,75 m au sommet de la colonne et de l'intervalle [4,8098404 m à 3,7160904 m] d'autre part. Une autre augmentation est observée en fonction de la profondeur (y) de la colonne d'une manière linéaire.

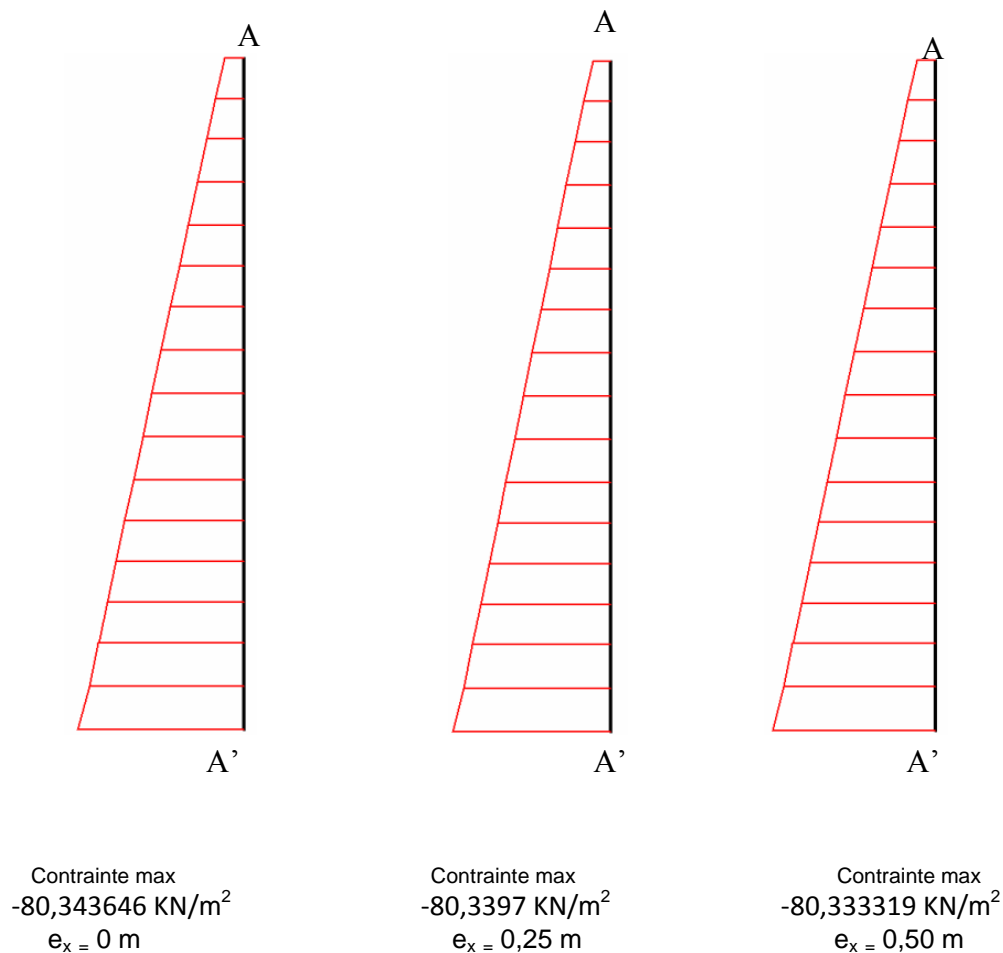


Figure IV.14c : Courbes des Contraintes dans la Colonne 1 suivant l'axe des ordonnées selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec la diminution de la cohésion

C.3. Contraintes dans le plan xy :

Au vu de la figure IV.15c, une augmentation des contraintes effectives $\sigma'_{xy} = \sigma_{xy}$ est localisée suivant le positionnement du point d'application de la charge entre 0 et 0,50 m. En revanche, on remarque une diminution des contraintes effectives $\sigma'_{xy} = \sigma_{xy}$ dans les six côtes : 8,6928191m, 8,1276596 m, 4,8098404 m, 3,1875 m, 1,5651596 m et 1,00 m

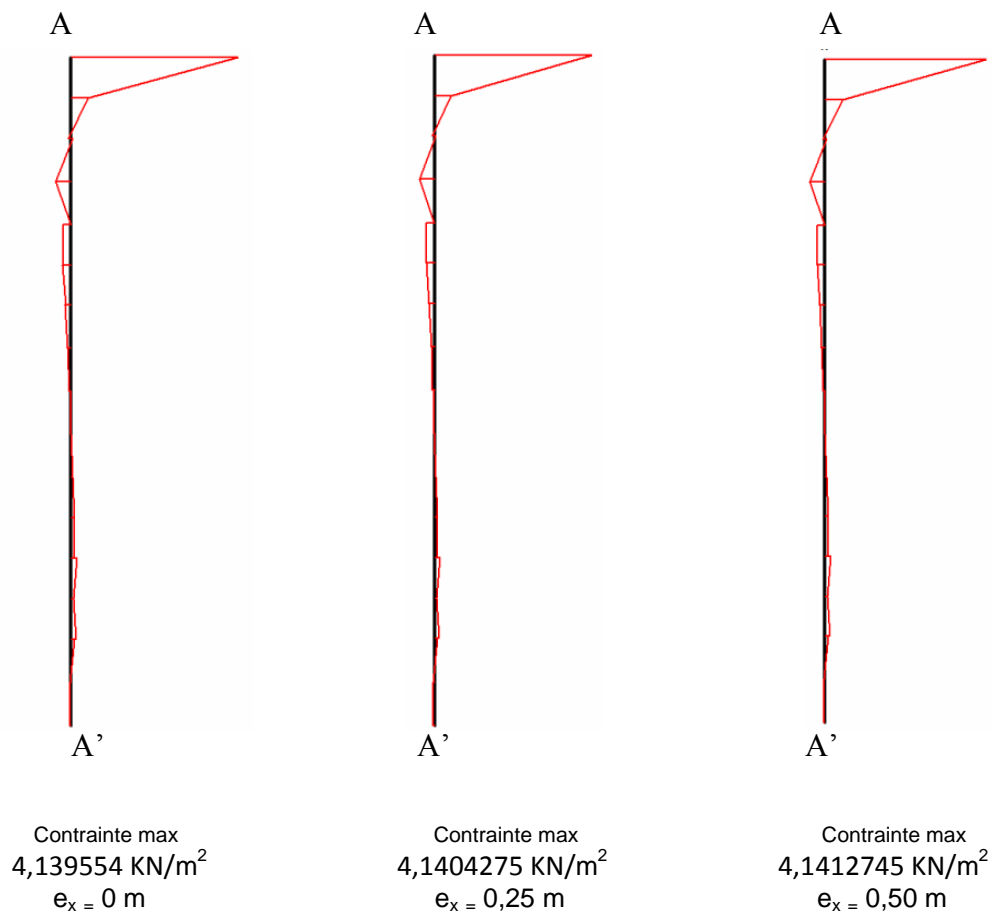


Figure IV.15c : Courbes des Contraintes dans la Colonne 1 dans le plan xy selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec la diminution de la cohésion

D. Pressions Actives :

En distinguant après la variation de l'excentricité de la charge entre 0 et 0,5 m: une diminution des pressions actives, et une augmentation des pressions actives dans les deux côtés : 9,75m, 7,5625m et de l'intervalle [5,375 m à 3,7160904 m], et enfin une augmentation des pressions actives suivant la variation de la profondeur (y) de la colonne d'une manière linéaire

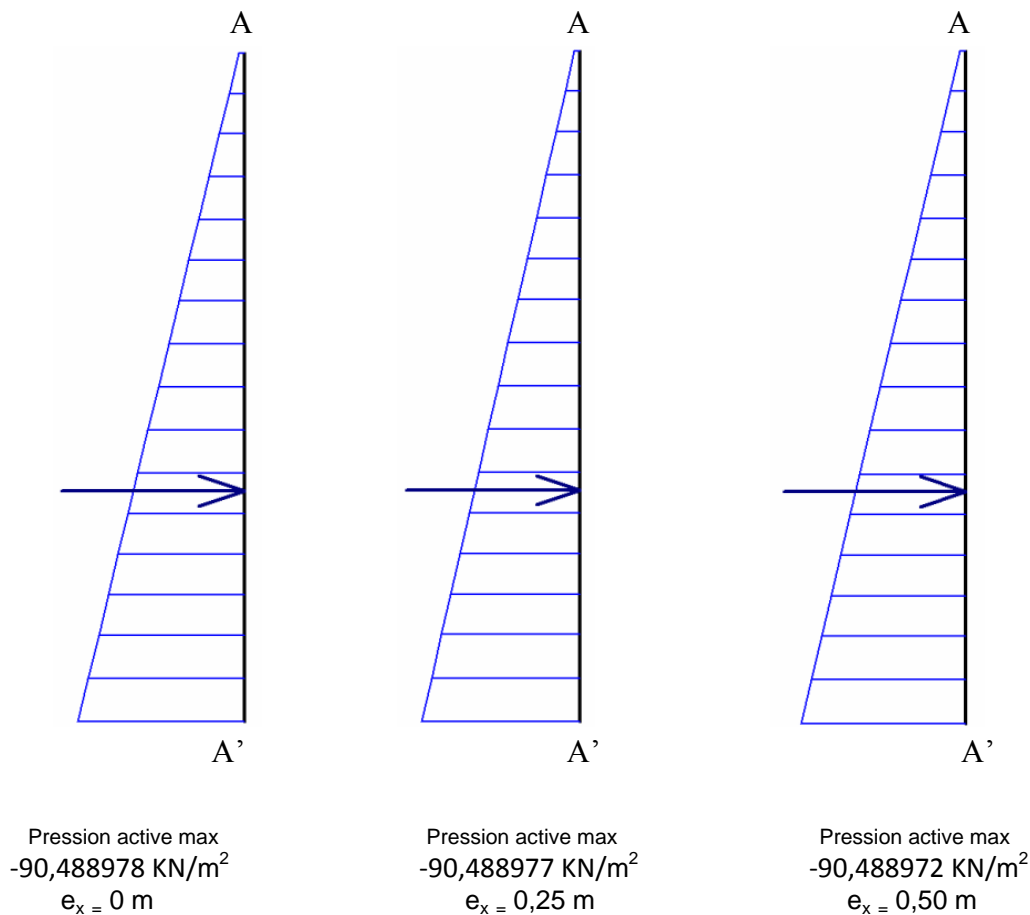


Figure IV.16c : Courbes des pressions actives dans la colonne 1 selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec la diminution de la cohésion

IV.1.3.3. Conclusion des résultats des colonnes 1 et 2 et leurs interprétations :

On a enregistré les mêmes causes probables de la variation des résultats entre la colonne 1 (figures : IV.9c, IV.10c, IV.11c, IV.12c, IV.13c, IV.14c, IV.15c et IV.16c) et la colonne 2 (figures : IV.1c, IV.2c, IV.3c, IV.4c, IV.5c, IV.6c, IV.7c et IV.8c) citées dans la partie influence du point d'application de la charge (excentricité) sur le comportement des colonnes (page 66 et 67).

D'après les résultats enregistrés sur les colonnes 1 et 2, les déplacements sont affectés par la variation de la cohésion du sol à cause de la diminution de la cohésion de sol (de 75 KN/m^2 à 70 KN/m^2) qui a conduit à une augmentation de la valeur du déplacement.

Pour les déformations suivant l'axe des abscisses ϵ_{xx} , la colonne 2 a subi une augmentation dans les valeurs des déformations le long de la colonne, sauf au sommet de la colonne, dans lequel on a distingué une diminution. En revanche, dans la colonne 1, les mêmes déformations ont diminué dans la première moitié de la colonne et ont augmenté dans la seconde moitié.

Concernant les déformations suivant l'axe des ordonnées ε_{yy} , on a remarqué une diminution dans la partie supérieure et intermédiaire, ensuite une augmentation dans la partie intermédiaire et inférieure. D'après les figures 3a et 3c, les déformations ont porté des valeurs maximales à la base de la colonne dans le cas où la cohésion du sol a diminué (de 75 KN/m^2 à 70 KN/m^2). Par ailleurs. Dans le cas standard (75 KN/m^2), les déformations ont pris des valeurs maximales au sommet de la colonne.

Dans le plan xy, les déformations ε_{xy} de la colonne 2, on a perçu un changement dans les valeurs de déformations ε_{xy} , une augmentation dans la première moitié de la colonne et une diminution dans la deuxième moitié de la colonne. Le même constat a été enregistré pour la colonne 1. En observant les résultats relatifs aux contraintes effectives σ'_{xx} et aux contraintes effectives σ'_{yy} , on a discerné une réduction de ces dernières le long de la profondeur dans les colonnes 1 et 2. Par contre, les contraintes effectives $\sigma'_{xy} = \sigma_{xy}$ dans le plan xy ont augmenté au niveau de la première moitié de la colonne 2, et ont diminué dans la seconde moitié. Concernant la colonne 1, on a distingué une variation alternée dans la partie supérieure et une augmentation dans la partie intermédiaire et inférieure de la colonne. Quant aux pressions actives, on a constaté une augmentation le long de la profondeur des colonnes 1 et 2.

Les colonnes 1 et 2 ont subi des changements dans les résultats (déplacements, déformations, contraintes et pressions actives) d'une manière décroissante dans les valeurs des contraintes effectives suivant les axes des abscisses σ'_{xx} et ordonnées σ'_{yy} le long de la profondeur des deux colonnes, et parfois dans les valeurs de déformations selon les axes des abscisses ε_{xx} , ordonnées ε_{yy} et dans les valeurs de déformations ε_{xy} au niveau de quelques sections de la profondeur des colonnes. Elles ont reçu également des modifications d'une façon croissante dans les valeurs de déplacements où les pressions actives ont été notées le long de la profondeur des colonnes et dans les contraintes effectives σ'_{xy} sur certaines parties des colonnes engendrées par la réduction de la cohésion du sol, causant une diminution de la résistance de cisaillement du sol. Cela a induit une force portante du sol faible devant l'excentrement de la charge appliquée de 0 à 0,50 m. Malgré le renforcement par colonne ballastée qui donne avec le sol un matériau composite (sol+ballast), leur rôle essentiel est l'augmentation de la capacité portante (la force portante) du sol.

Enfin, on a conclu que la variation enregistrée dans les résultats (déplacements, déformations, contraintes et pressions actives) est relative au paramètre de la cohésion du sol.

IV.1.3.4. Analyse et interprétation des résultats de la colonne 4:

On constate d'après les résultats des figures de diminution de la cohésion du sol (IV.17c, IV.18c, IV.19c, IV.20c, IV.21c, IV.22c, IV.23c et IV.24c) et notamment les courbes qui représentent le comportement de la colonne 4 située à droite de la charge :

A. Déplacement :

A.1. Déplacement Total :

Les résultats enregistrés indiquent une diminution dans les valeurs des déplacements quand la position de la charge varie de 0 à 0,25 m, ensuite les déplacements augmentent lorsque le point d'application de la charge est fixé à la valeur 0,50 m et parfois elles portent des variations alternées quelque soit la position du point d'application de la charge (excentricité). Néanmoins on remarque pour chaque excentricité (0 ; 0,25 m ; 0,50 m) les valeurs de déplacements évoluées sur la partie supérieure de la colonne jusqu'à l'atteinte d'une valeur maximale et diminuées jusqu'à la base.

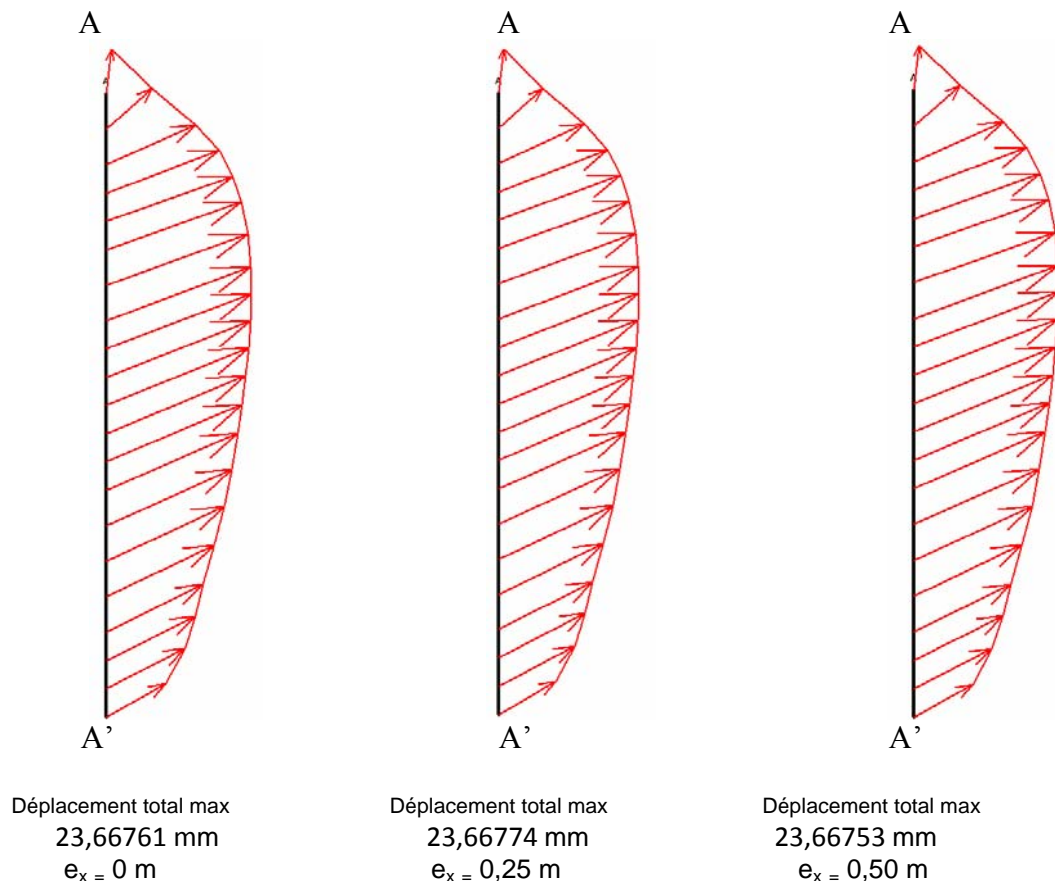


Figure VI.17c : Courbes de Déplacement de la Colonne 4 selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec la diminution de la cohésion

B. Déformations :

B.1. Déformations suivant l'axe des abscisses :

La position du point d'application de la charge entre 0 et 0,50 m produisant des variations alternées de déformations suivant l'axe des abscisses ε_{xx} : les déformations ε_{xx} diminuent si l'excentricité e_x est variée de 0 à 0,25 m, et augmentent si l'excentricité est égale à 0,50 m et vice versa. Les côtes et les intervalles de diminution des déformations ε_{xx} lorsque l'excentricité est variée de 0 à 0,25 m sont: 9,75 m, 8,7606784 m , [7,0678392 m a 5,375 m] et [3,1875 m a 1,00 m]. Les côtes et les intervalles d'augmentation des déformations ε_{xx} quand l'excentricité est variée de 0 à 0,25 m sont: 9,2553392 m,[8,3612856 m à 7,5625 m] et [4,9756072 m à 3,6821608]. Dans les côtes et les intervalles cités ci-dessus les déformations ε_{xx} prennent le cas contraire si l'excentricité est fixée à 0,50 m. D'après la figure IV.18 c, on remarque une variation non uniforme des déformations ε_{xx} de la côte 9.75 à 7,5625 m, ensuite au-delà de cette valeur les déformations amplifient en fonction de la profondeur (y) jusqu'à la base de la colonne .

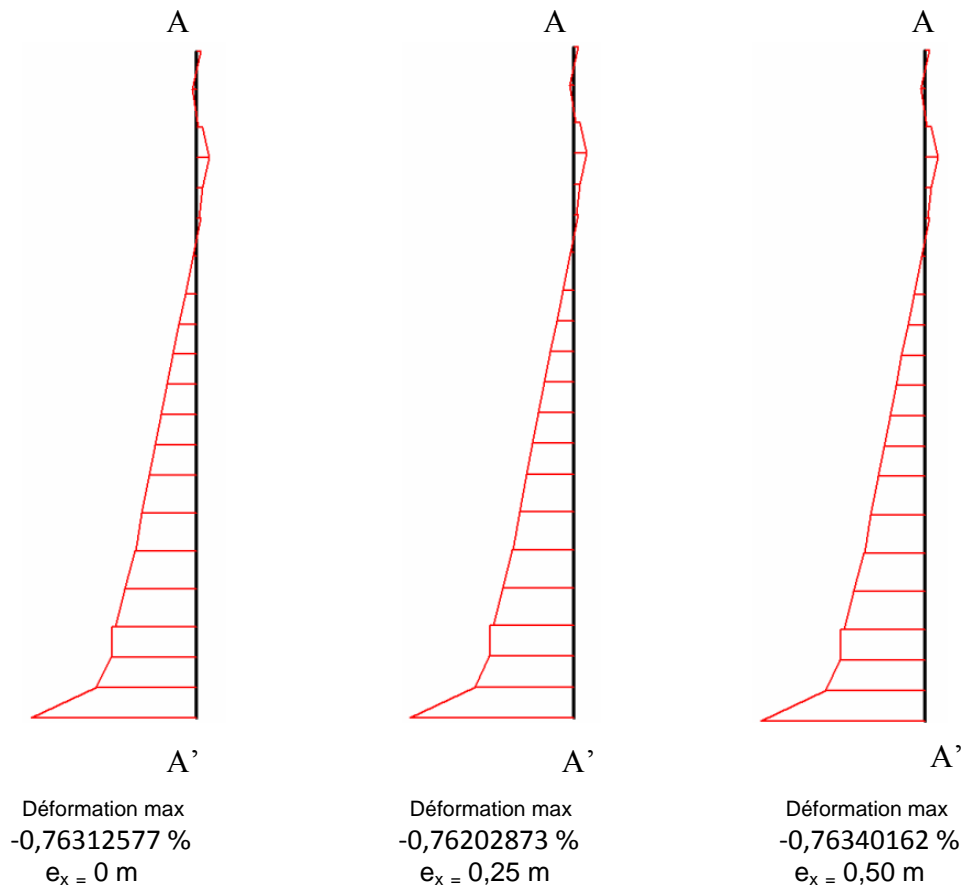


Figure IV.18c : Courbes de Déformation de la Colonne 4 suivant l'axe des abscisses selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec la diminution de la cohésion

B.2- Déformations suivant l'axe des ordonnées:

La position du point d'application de la charge entre 0 et 0,50 m présente une diminution dans les valeurs de déformations suivant l'axe des ordonnées (ϵ_{yy}) si le point d'application de la charge est positionné entre 0 et 0,25 m, en parallèle une augmentation est affichée quand la charge appliquée est placée à 0,50 m dans les mêmes sections de la colonne et vice versa (variation alternée).

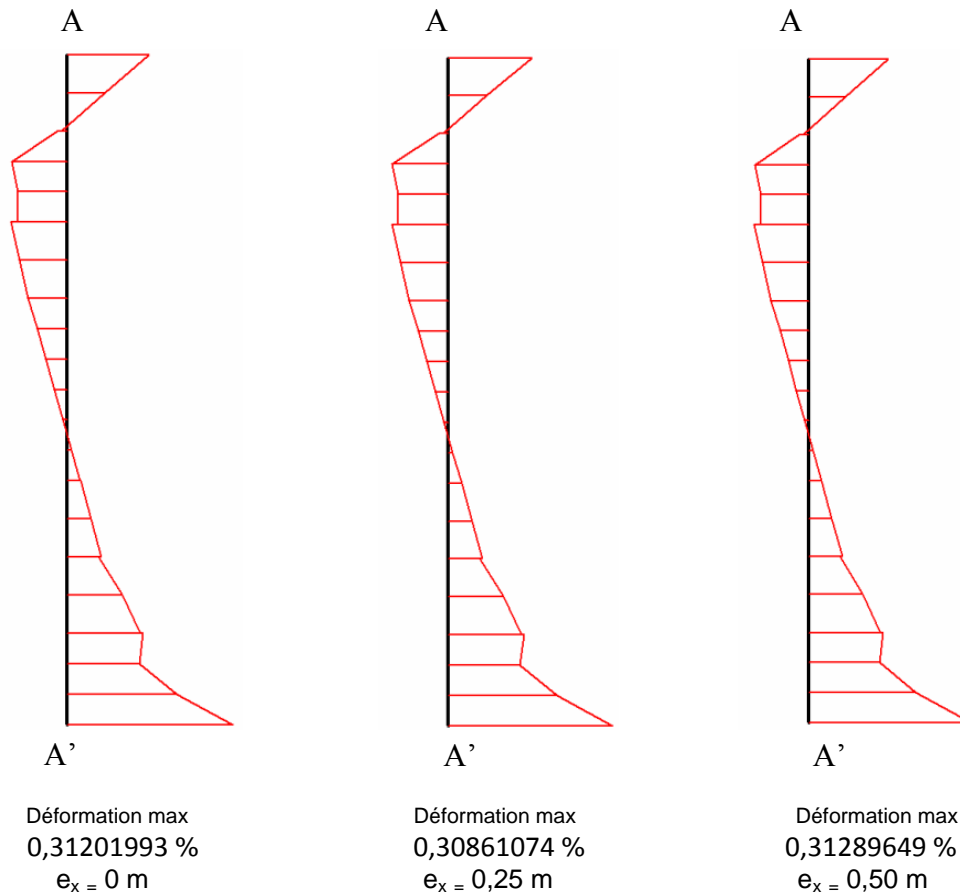


Figure IV.19c : Courbes de Déformation de la Colonne 4 suivant l'axe des ordonnées selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec la diminution de la cohésion

B.3- Déformations dans le plan XY :

La position du point d'application de la charge entre 0 et 0,50 m crée une diminution dans les valeurs de déformations dans le plan xy (ϵ_{xy}) si le point d'application de la charge est fixé entre 0 et 0,25 m, en parallèle une augmentation est observée quand l'excentricité est égale à 0,50 m dans les mêmes sections de la colonne et vice versa (variation alternée).

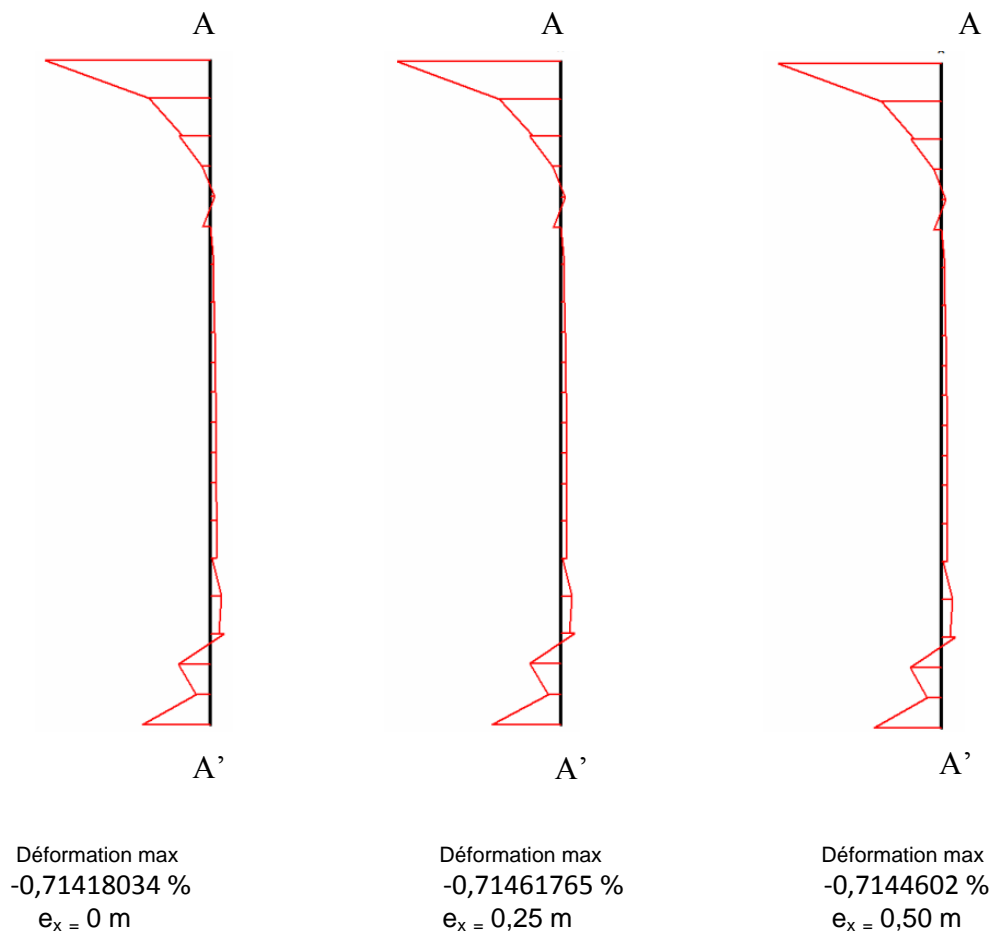


Figure IV.20c : Courbes de Déformation de la Colonne 4 dans le plan xy selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec la diminution de la cohésion

C. Contraintes :

C.1. Contraintes suivant l'axe des abscisses :

Lors de changement du point d'application de la charge entre 0 et 0,50 m, on a différencié une élévation dans les valeurs des contraintes effectives suivant l'axe des abscisses (σ'_{xx}). Tandis que la position du point d'application de la charge est variée de 0 à 0,25 m. Par ailleurs, une réduction est enregistrée quand la position du point d'application de la charge est égale à 0,50 m et vice versa (variation alternée). Les courbes des contraintes effectives (σ'_{xx}) pour les trois excentricités (0 ; 0,25 m ; 0,50 m) présentent une variation d'une manière linéaire en fonction de la profondeur (y) de la colonne.

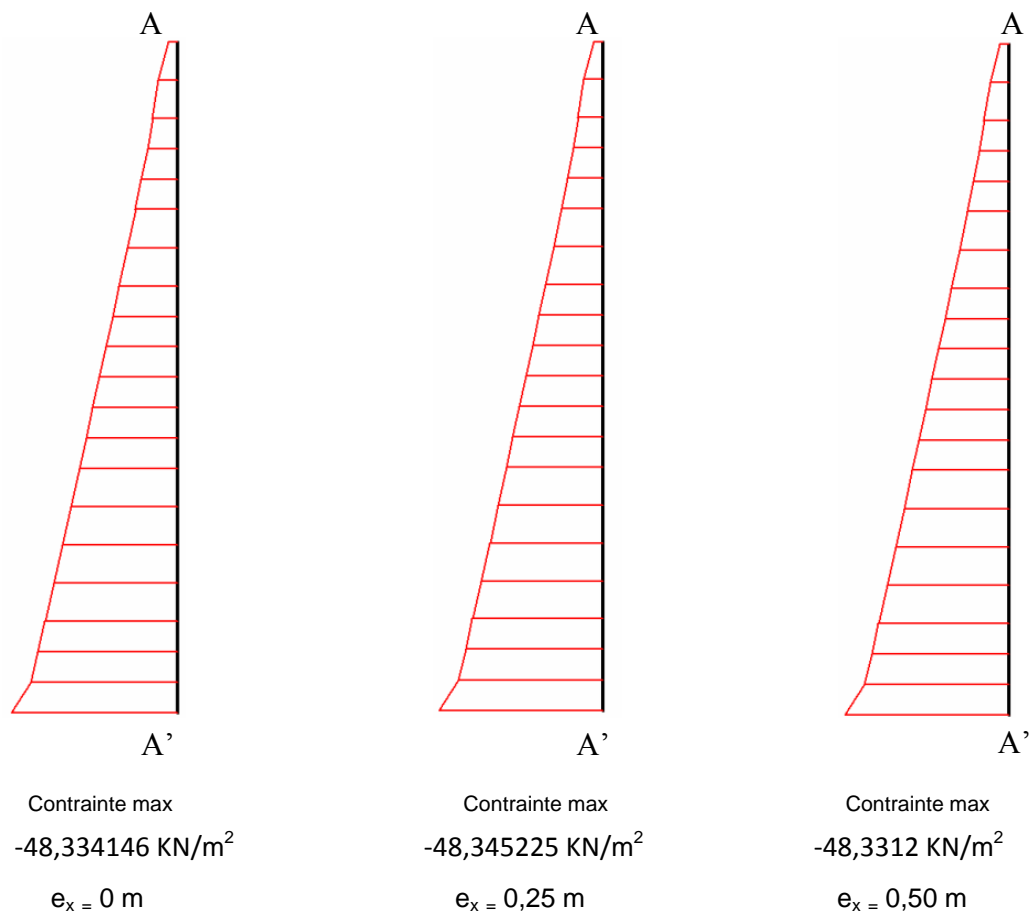


Figure IV.21c : Courbes des Contraintes dans la Colonne 4 suivant l'axe des abscisses selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec la diminution de la cohésion

C.2. Contraintes suivant l'axe des ordonnées :

La modification du point d'application de la charge entre 0 et 0,50 m engendre un accroissement dans les valeurs des contraintes effectives suivant l'axe des ordonnées σ'_{yy} si la charge appliquée est située sur les deux excentricités : 0 et 0,25 m, et un abaissement quand la charge appliquée est fixée à 0,50 m et vice versa (variation alternée) le long de la profondeur de la colonne. Les trois schémas de la figure IV.22c montre une évolution linéaire des contraintes effectives σ'_{yy} en fonction de la variation de la profondeur de la colonne.

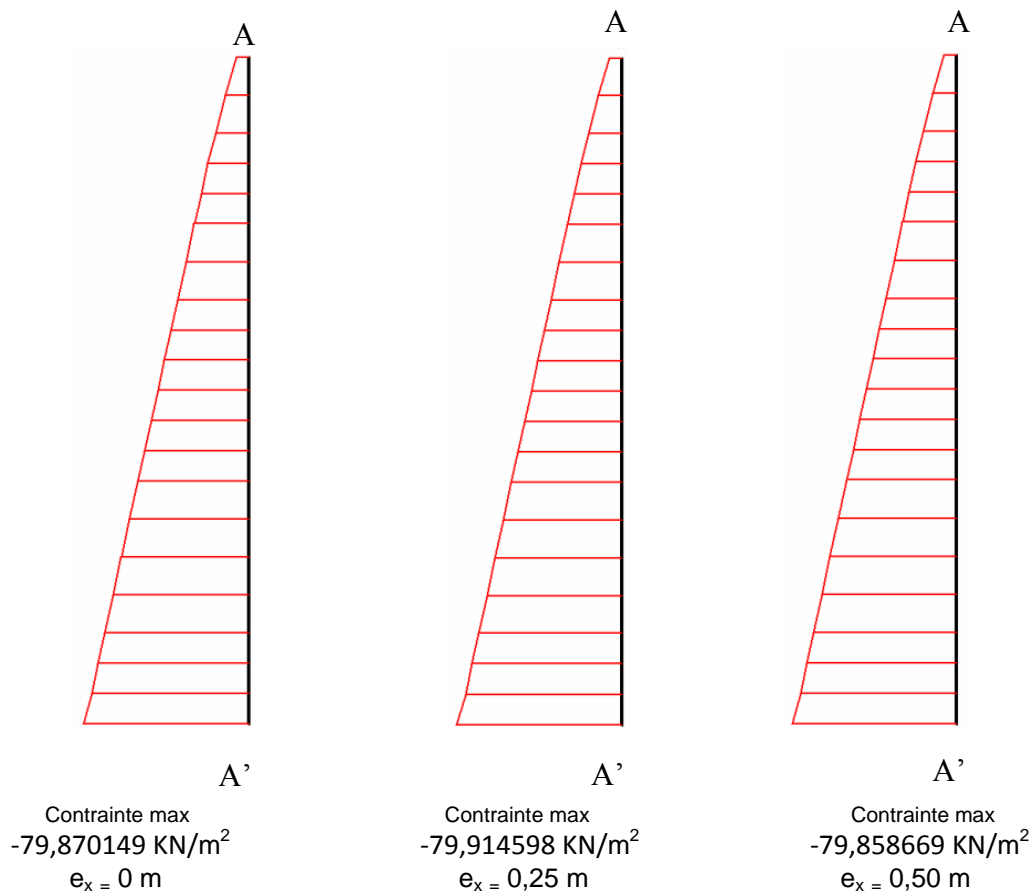


Figure IV.22c : Courbes des Contraintes dans la Colonne 4 suivant l'axe des ordonnées selon le point d'application de la charge (excentricité) avec la diminution de la cohésion

C.3. Contraintes dans le plan xy :

L'analyse des résultats du modification du point d'application de la charge entre 0 et 0,50 m montre une croissance dans les valeurs des contraintes effectives dans le plan xy ($\sigma'_{xy} = \sigma_{xy}$) lorsque le point d'application de la charge (excentricité) est varié de 0 à 0,25 m, et une décroissance si le point d'application de la charge (excentricité) est égale à 0,50 m et vice versa.

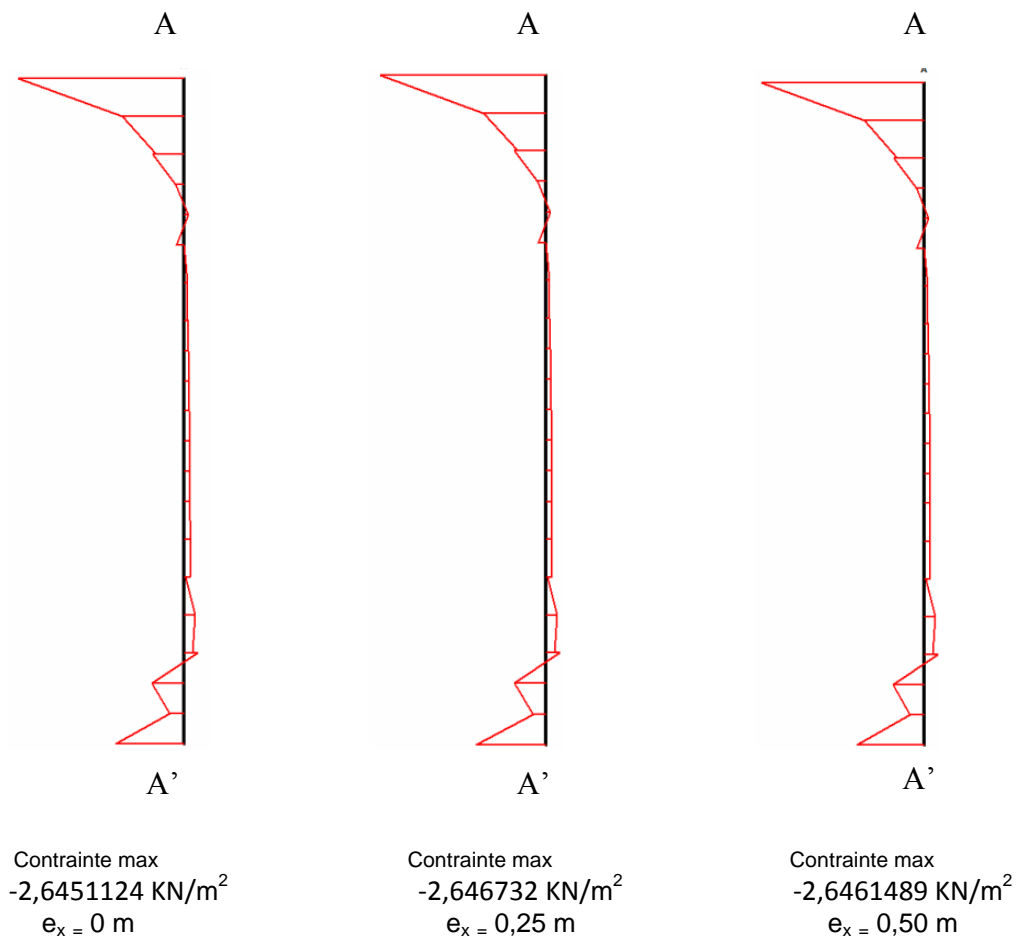


Figure IV.23c : Courbes des Contraintes dans la Colonne 4 dans le plan xy selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec la diminution de la cohésion

D. Pressions Actives :

Lors de la variation de l'excentricité entre 0 et 0,50 m, on constate: une diminution des valeurs des pressions actives quand l'excentricité est variée de 0 à 0.25 m, et une élévation si la position du point d'application de la charge est égale à 0.50 m et vice versa (variation alternée). Toutefois, une augmentation des pressions actives suivant la variation de la profondeur (y) de la colonne d'une manière linéaire. Ce constat est illustré dans la figure IV.24c.

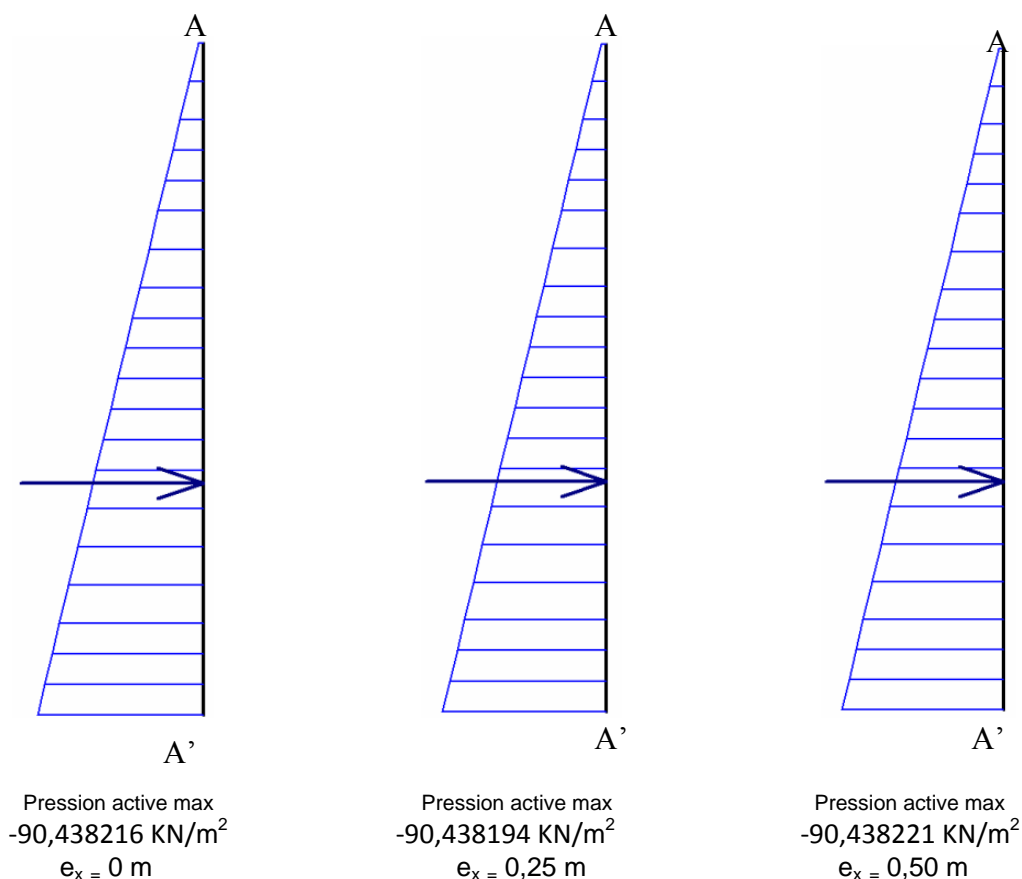


Figure IV.24 c : Courbes des pressions actives dans la colonne 4 selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec la diminution de la cohésion

IV.1.3.5. Analyse et interprétation des résultats de la Colonne 3:

On constate d'après les résultats des figures de diminution de la cohésion du sol (IV.25c ,IV. 26c, IV.27c, IV.28c, IV.29c, IV.30c, IV.31c et IV.32c) et notamment les courbes qui représentent le comportement de la colonne 3 située à gauche de la charge.

A. Déplacement :

A.1. Déplacement Total :

Les déplacements augmentent sur la partie supérieure dans la cote 9,75 m et l'intervalle [7,9488495m à 7,5625 m], sur la partie intermédiaire dans l'intervalle [5,375 m à 4,2159515 m] et sur la partie inférieure dans l'intervalle [2,6732743 m à 1,3863495 m] lorsque la

position du point d'application de la charge est variée entre 0 et 0,50 m, et diminuent sur la partie supérieure dans l'intervalle [9,2357743 m à 8,335199 m], sur la partie supérieure et intermédiaire dans l'intervalle [7,0482743 m à 5,7613495 m] et sur la partie inférieure dans l'intervalle [3,7017257 m à 3,1875 m] et la côte 1,00 m.

Les résultats des déplacements montrent un accroissement dans les deux parties : supérieure et intermédiaire de la colonne, et une réduction à partir de la valeur maximale de la côte 3,70 m jusqu'à la base en fonction de la variation de la profondeur y .

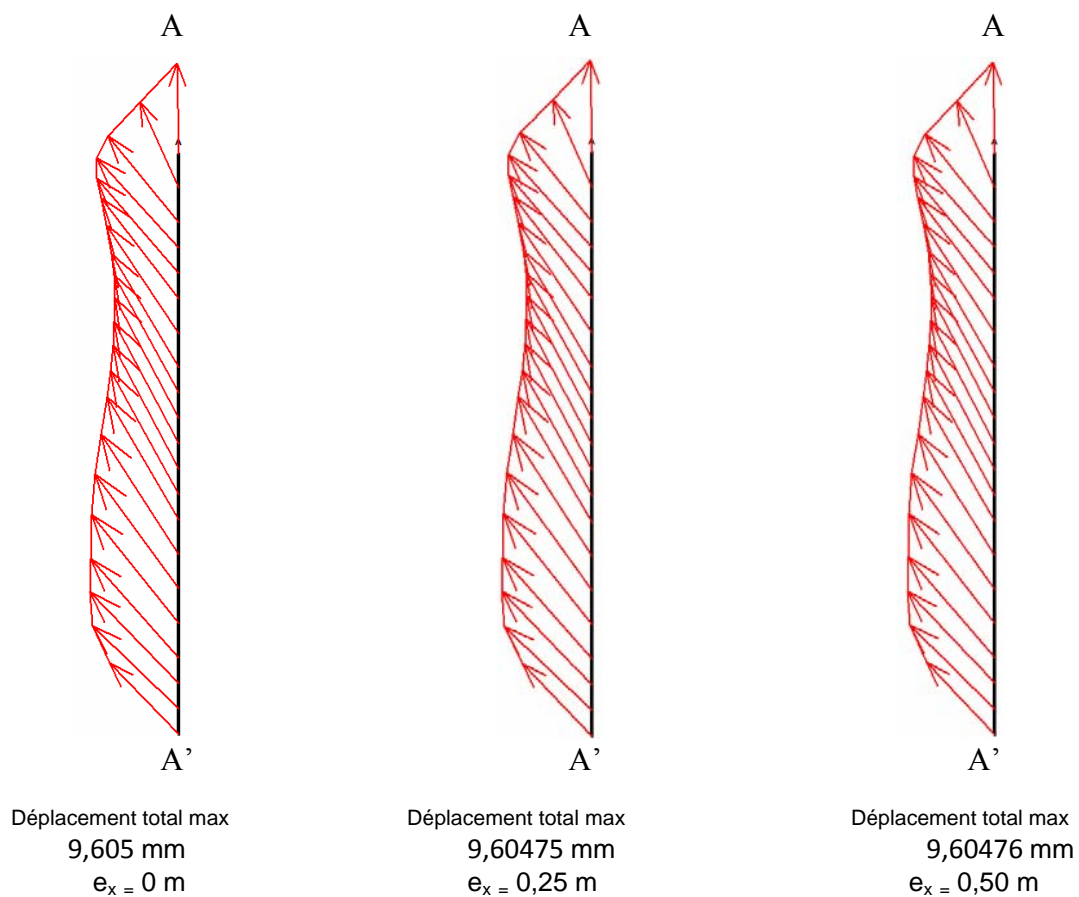


Figure VI.25c : Courbes de Déplacement de la Colonne 3 selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec la diminution de la cohésion

B .Déformations :

B .1. Déformations suivant l'axe des abscisses :

Selon la variation du point d'application de la charge entre 0 et 0,50 m les déformations suivant l'axe des abscisses (ϵ_{xx}) augmentent dans les deux intervalles situées sur les deux

parties supérieure et intermédiaire [7,0482743 m à 5,7613495 m] et [4,9886505 m à 3,1875 m]. Par contre, dans le reste de la profondeur de la colonne les déformations (ϵ_{xx}) diminuent.

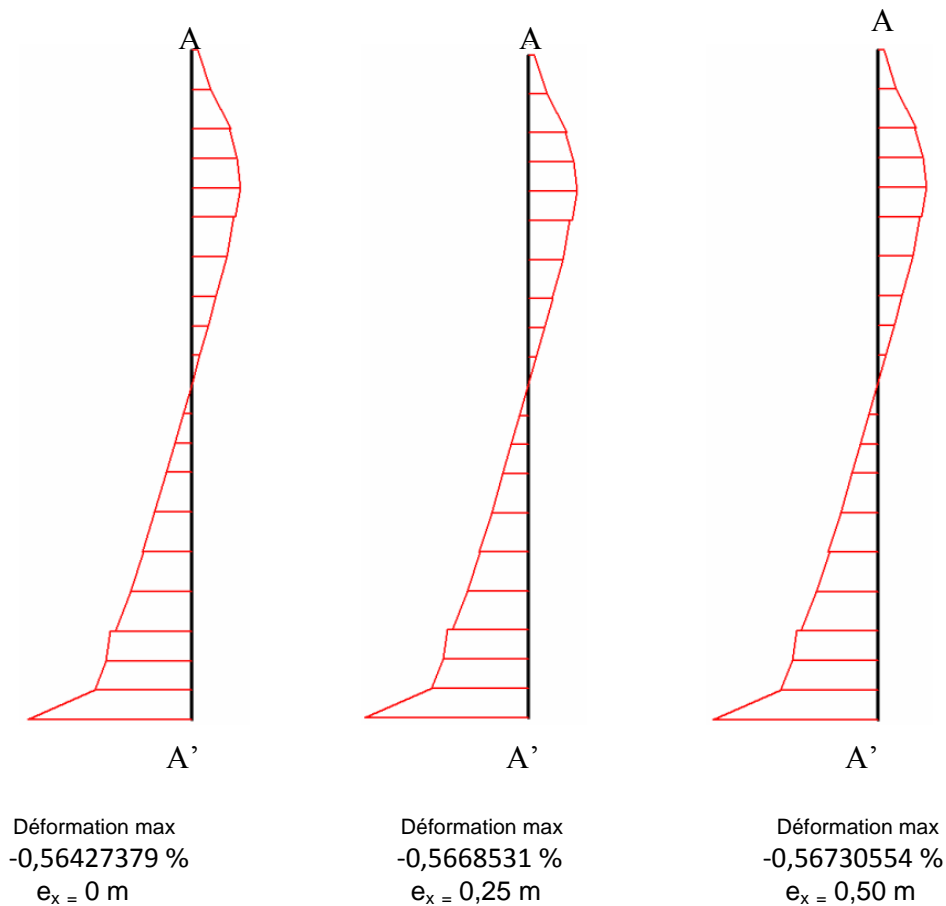


Figure IV.26c : Courbes de Déformation de la Colonne 3 suivant l'axe des abscisses selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec la diminution de la cohésion

B .2. Déformations suivant l'axe des ordonnées :

Suivant la variation du point d'application de la charge entre 0 et 0,50 m une réduction est constatée dans les valeurs des déformations suivant l'axe des ordonnées (ϵ_{yy}) dans les deux intervalles [8,7215485 m à 7,5625 m] et [2,6732743 m à 2,1590485 m] situées sur les deux parties supérieure et inférieure, en revanche l'augmentation des déformations est localisée sur le reste de la profondeur de la colonne.

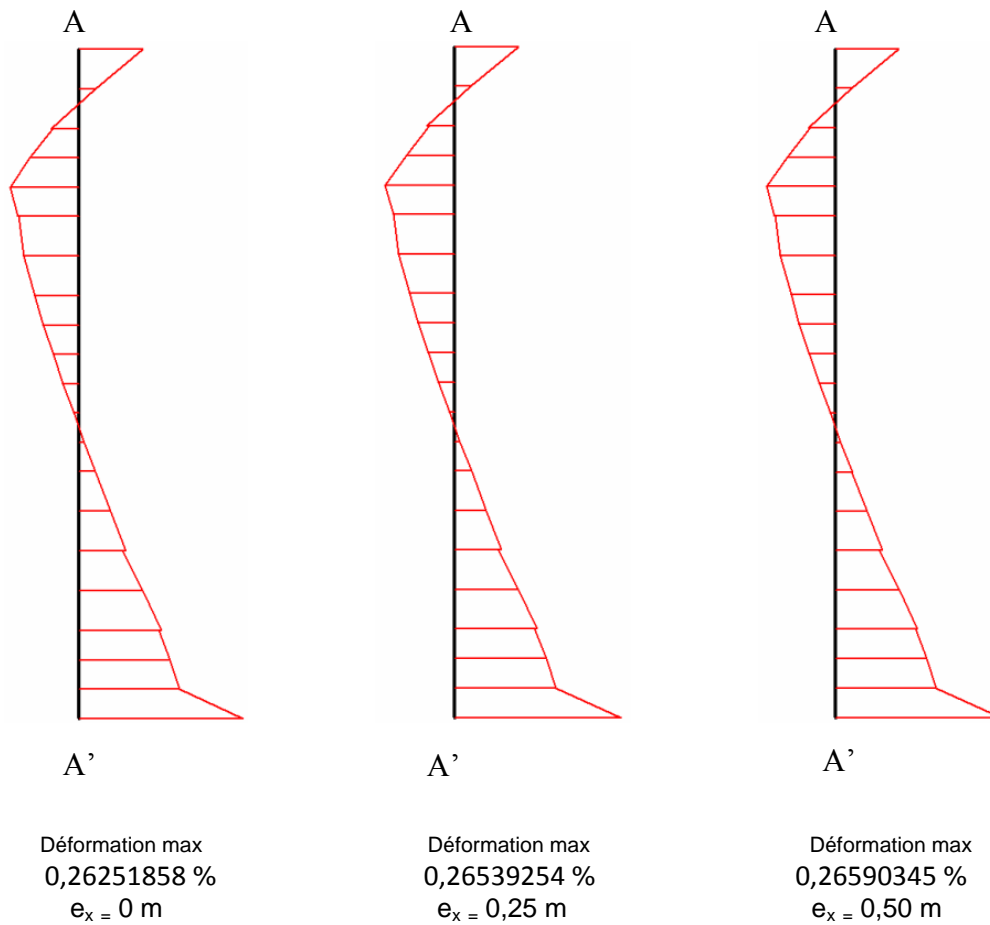


Figure IV.27c : Courbes de Déformation de la Colonne 3 suivant l'axe des ordonnées selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec la diminution de la cohésion

B .3. Déformations dans le plan xy :

La position de la charge appliquée entre 0 et 0,50 m produit une diminution dans les valeurs de déformations (ϵ_{xy}) dans la côte 8,335199 m et de l'intervalle [2,6732743 m à 1,3863495 m] localisée successivement sur la partie supérieure et inférieure, dans le reste des sections de la colonne les déformations augmentent sur les trois parties.

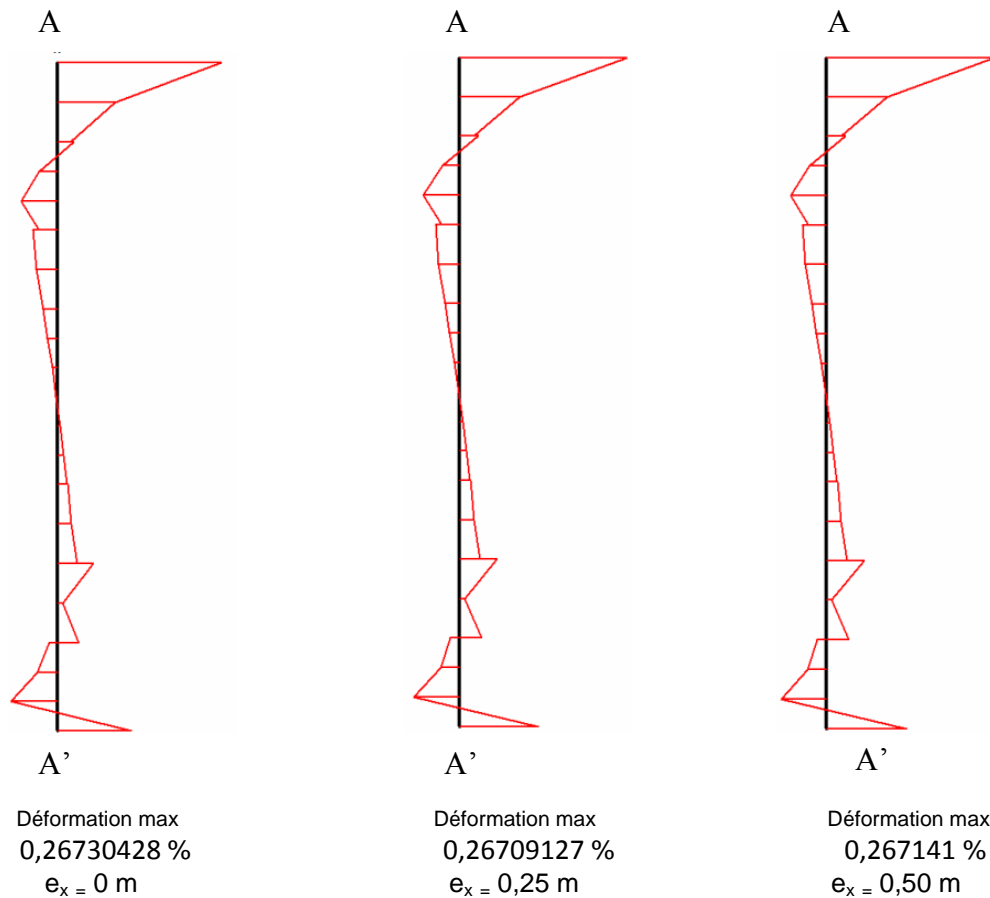


Figure IV.28 c: Courbes de Déformation de la Colonne 3 dans le plan xy selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec la diminution de la cohésion

C. Contraintes :

C.1. Contraintes suivant l'axe des abscisses :

Une réduction des contraintes effectives suivant l'axe des abscisses σ'_{xx} selon la position du point d'application de la charge entre 0 et 0,50 m, et un accroissement au sommet de la colonne à la côte 9,75 m et de l'intervalle [5,375 m à 3,1875 m]. Néanmoins, les courbes de la figure IV. 29c montrent une augmentation des contraintes effectives σ'_{xx} en fonction de la profondeur (y) de la colonne d'une manière linéaire.

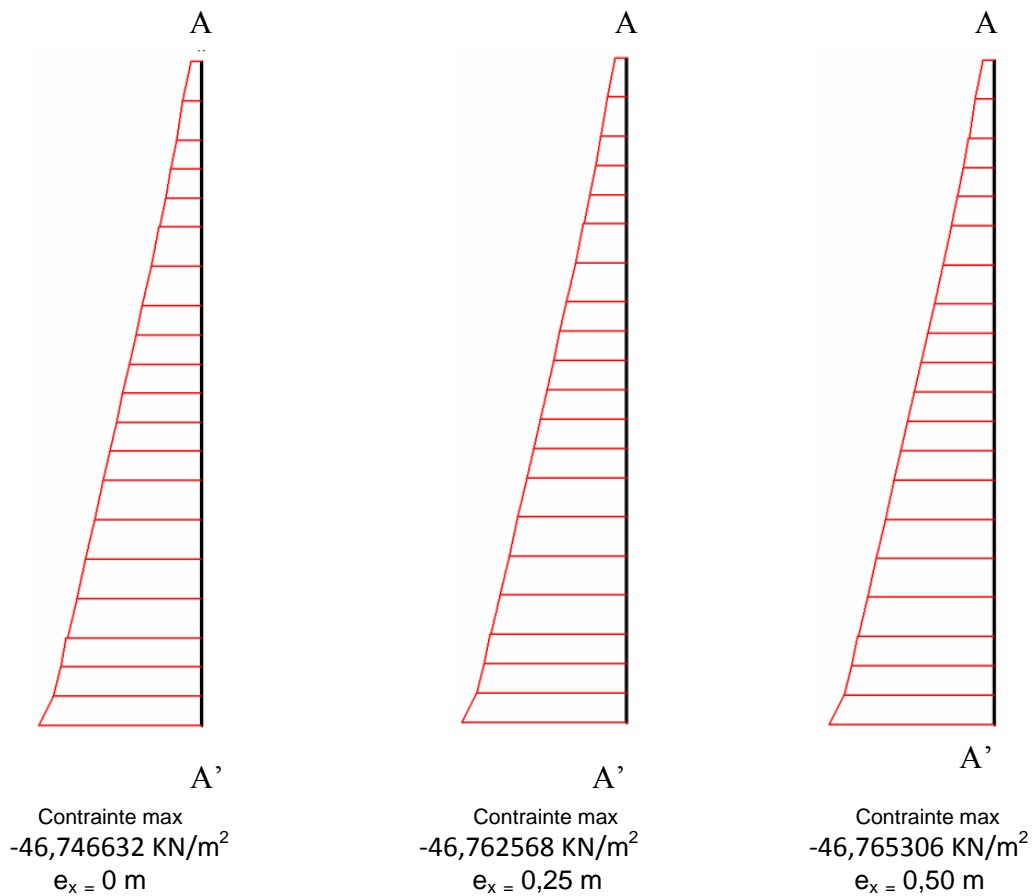


Figure IV.29c : Courbes des Contraintes dans la Colonne 3 suivant l'axe des abscisses selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec la diminution de la cohésion

C.2. Contraintes suivant l'axe des ordonnées :

Une diminution des contraintes effectives suivant l'axe des ordonnées σ'_{yy} selon la position du point d'application de la charge entre 0 et 0,50 m, et une élévation au sommet de la colonne à la côte 9,75 m, à la base de la côte 1,00 m et de l'intervalle [4,9886505 m à 3,1875 m]. Néanmoins, les courbes de la figure IV.30c illustrent une augmentation des contraintes effectives σ'_{yy} en fonction de la profondeur (y) de la colonne d'une manière linéaire.

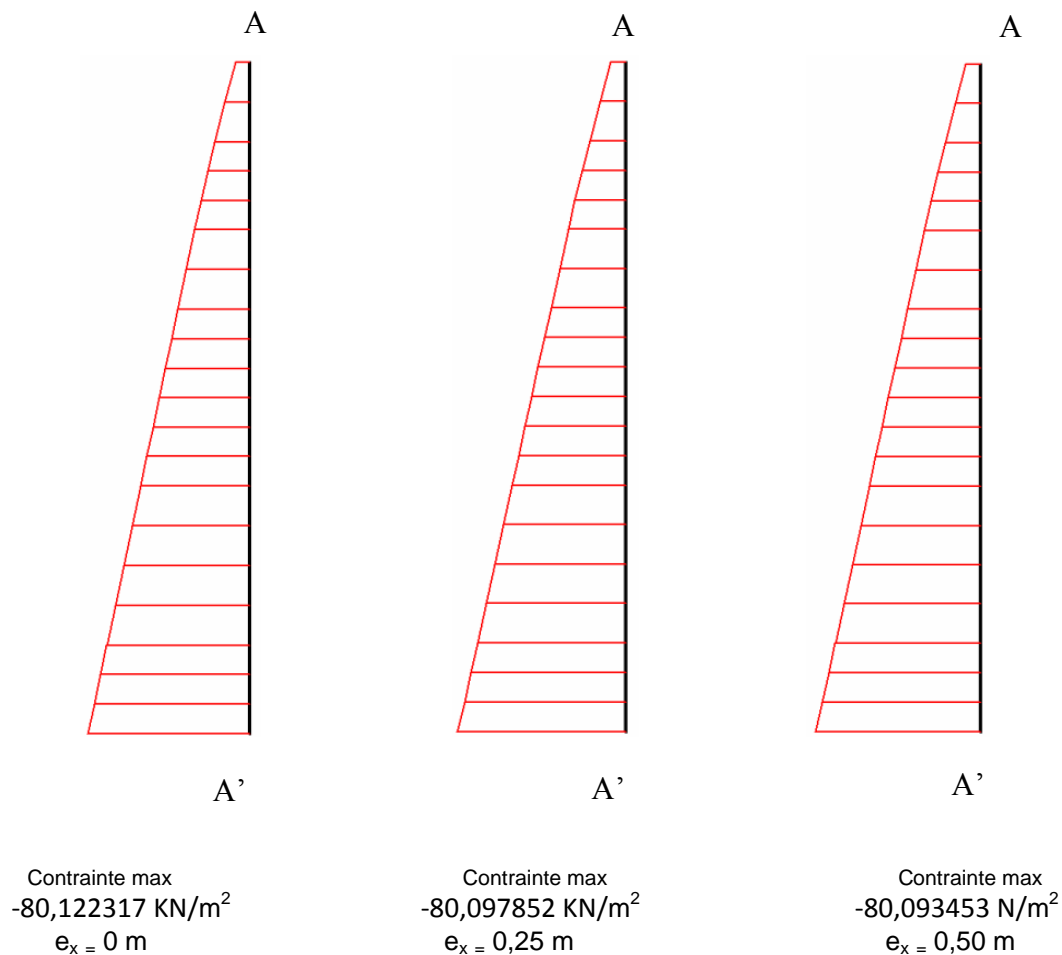


Figure IV.30c : Courbes des Contraintes dans la Colonne 3 suivant l'axe des ordonnées selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec la diminution de la cohésion

C.3. Contraintes dans le plan XY :

Suivant le changement du point d'application de la charge entre 0 et 0,50 m les contraintes effectives dans le plan xy ($\sigma'_{xy} = \sigma_{xy}$) s'amplifient le long de la profondeur (y) de la colonne uniquement, une diminution est observée sur la partie supérieure et inférieure cernée successivement par les deux intervalles : [8,335199 m à 7,5625 m] et [2,6732743 m à 2,1590485 m]

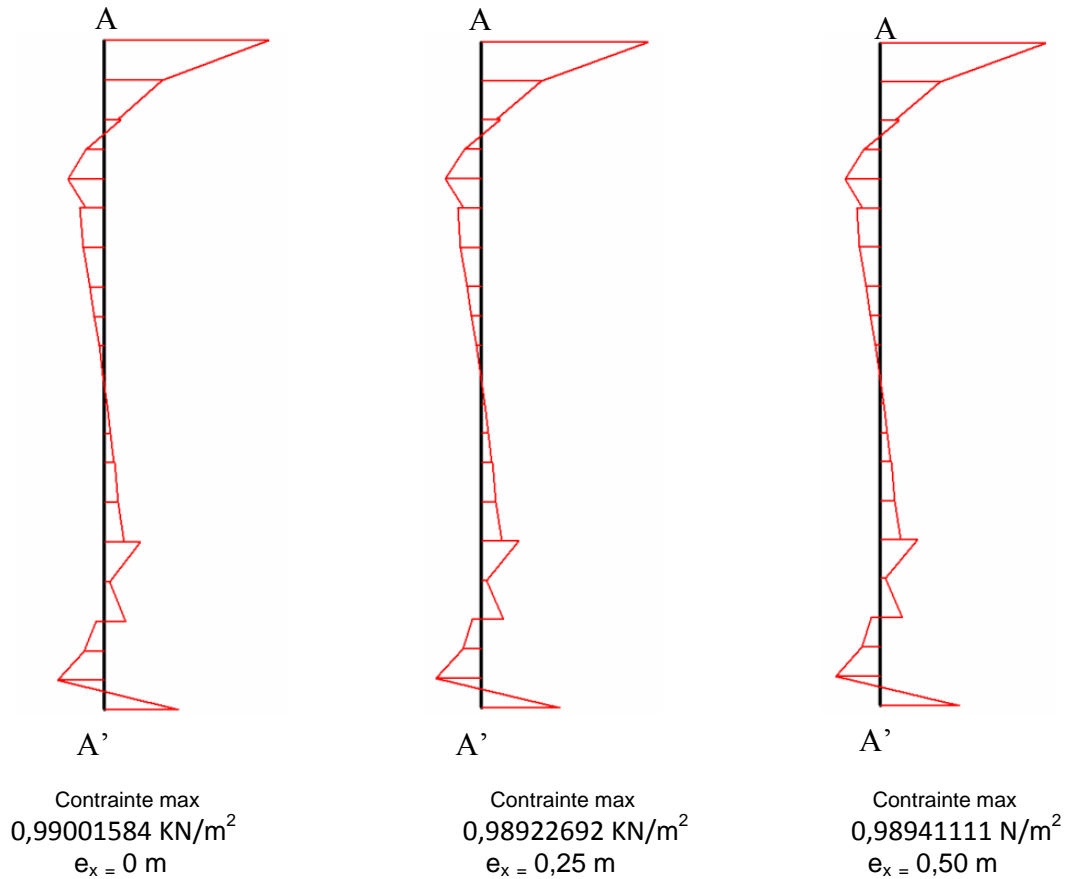


Figure IV.31c : Courbes des Contraintes dans la Colonne 3 dans le plan xy selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec la diminution de la cohésion

D. Pressions Actives :

Lors de la variation de l'excentricité de la charge de 0 à 0.5m, on remarque: une part une croissance des pressions actives au sommet de la colonne dans la côte 9, 50 m, et sur la partie intermédiaire dans l'intervalle [4,9886505 m à 3,1875 m]. Et d'autre part une décroissance des pressions actives dans les deux intervalle [9,2357743 m à 5,375 m] et [2,6732743 m à 1 m] situés sur les trois parties de la colonne (supérieure, intermédiaire et inférieure). Toutefois, on distingue une augmentation des pressions actives suivant la variation de la profondeur (y) de la colonne d'une manière linéaire.

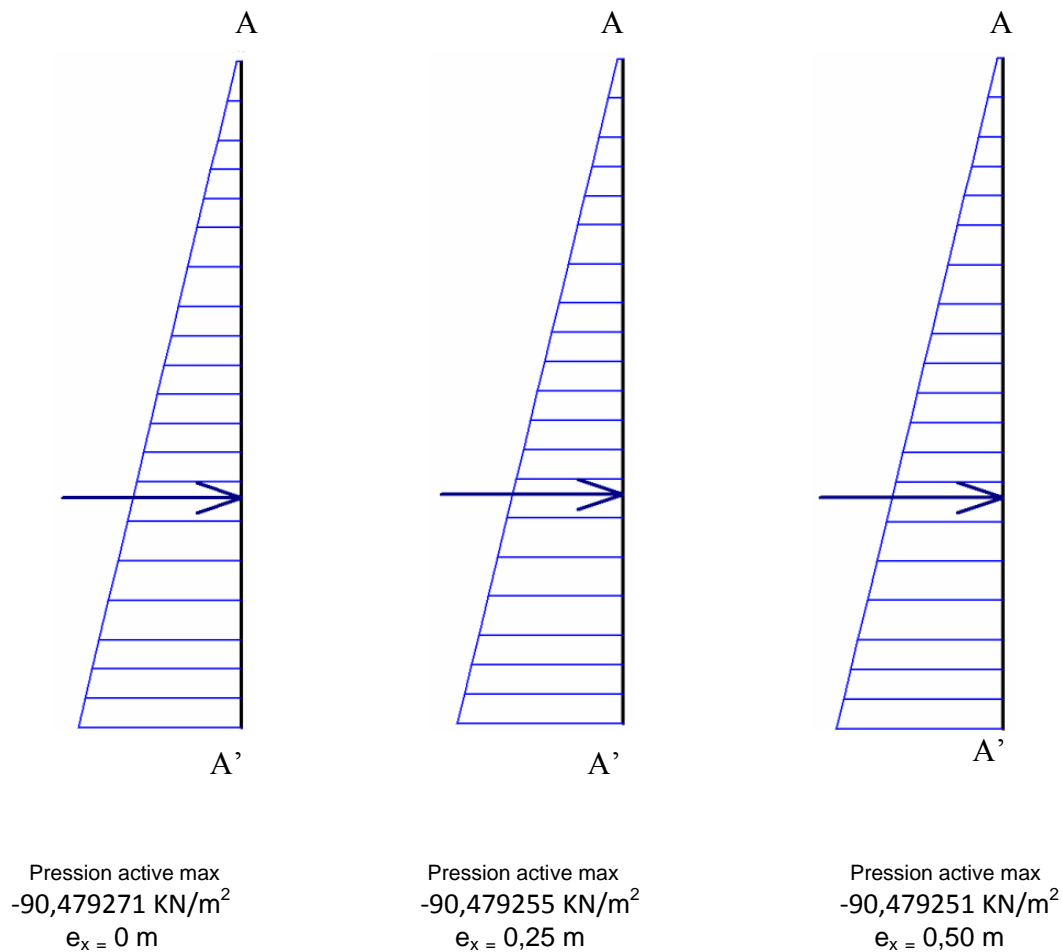


Figure IV.32c : Courbes des pressions actives dans la colonne 3
selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec la diminution de la cohésion

IV.1.3.6. Conclusion des résultats des colonnes 3 et 4 et leurs interprétations :

On a enregistré les mêmes causes probables de la variation des résultats entre la colonne 3 (figures : IV.25c, IV.26c, IV.27c, IV.28c, IV.29c, IV.30c, IV.31c et IV.32c) et la colonne 4 (figures : IV.24c, IV.23c, IV.22c, IV.21c, IV.20c, IV.19c, IV.18c et IV.17c) citées dans la partie influence du point d'application de la charge (excentricité) sur le comportement des colonnes (page 83).

Les résultats enregistrés sur les colonnes 3 et 4, montrent que la réduction de la cohésion du sol de 75 KN/m² à 70 KN/m² influe d'une manière croissante sur les valeurs des déplacements.

Concernant, les déformations suivant l'axe des abscisses ε_{xx} , on a constaté une amplification des déformations le long de la colonne 4. Par contre, dans la colonne 3 les déformations ont diminué dans la première moitié de la colonne et ont augmenté dans la seconde moitié. Pour les déformations suivant l'axe des ordonnées ε_{yy} des colonnes 3 et 4, on a différencié une diminution dans la première moitié des colonnes, puis une augmentation dans la seconde moitié des colonnes. Dans le plan xy, les déformations ε_{xy} ont amplifié sur toute la profondeur de la colonne 4, en colonne 3 les déformations ε_{xy} , elles ont diminué sur la partie supérieure et inférieure, et elles ont augmenté sur la partie intermédiaire selon la variation de la profondeur(y).

D'après les résultats liés aux contraintes effectives σ'_{xx} et aux contraintes effectives σ'_{yy} , on a vu un abaissement de ces dernières le long de la profondeur dans les colonnes 3 et 4. D'autre part les contraintes effectives $\sigma'_{xy} = \sigma_{xy}$ dans le plan xy ont augmenté le long de la colonne 4. Pour la colonne 3, on a enregistré une diminution dans quelques sections sur la partie supérieure et inférieure, et une augmentation sur la partie intermédiaire de la colonne. Relativement aux pressions actives on a remarqué une augmentation le long de la profondeur des colonnes 3 et 4.

Sous l'effet de la réduction de la cohésion du sol de 75 KN/m^2 à 70 KN/m^2 et la variation du point d'application de la charge entre 0 et 0,50 m, les colonnes 3 et 4 ont permis des modifications dans les résultats (déplacements, déformations, contraintes et pressions actives) d'une part, d'une manière décroissante dans les valeurs des contraintes effectives suivant les axes des abscisses σ'_{xx} , ordonnées σ'_{yy} le long de la profondeur des deux colonnes et dans les contraintes effectives $\sigma'_{xy} = \sigma_{xy}$ dans le plan xy dans quelques sections sur la partie supérieure et inférieure de la colonne 3.

Pour les valeurs de déformations selon les axes des abscisses ε_{xx} ont diminué sur la première moitié de la colonne 3, ordonnées ε_{yy} ont diminué sur la première moitié des colonnes 3 et 4, et dans les valeurs de déformations ε_{xy} ont diminué sur la partie supérieure et inférieure de la colonne 3. Et d'autre part, d'une manière croissante dans les valeurs de déplacements, des pressions actives le long de la profondeur des colonnes, dans les valeurs des déformations suivant l'axe des abscisses ε_{xx} de la colonne 4, dans la seconde moitié de la colonne 3, Pour les déformations suivant l'axe des ordonnées ε_{yy} dans la seconde moitié des colonnes 3 et 4. Dans le plan xy, les déformations ε_{xy} ont amplifié sur toute la profondeur de la colonne 4, en colonne 3 les déformations ε_{xy} ont augmenté sur la partie intermédiaire selon la variation de la profondeur (y).

Les pressions actives, ont augmenté le long de la profondeur des colonnes 3 et 4.

Enfin, on a conclu que la variation enregistrée dans les résultats (déplacements, déformations, contraintes et pressions actives) est relative au paramètre de la cohésion du sol.

IV.1.3.7. Analyse et interprétation des résultats de la colonne 5:

On constate d'après les résultats des figures de diminution de la cohésion du sol (III.33c, VI.34c, VI.35c, VI.36c, VI.37c, VI. 38c, VI.39c et VI.40c) et notamment les courbes qui représentent le comportement de la colonne 5 située à gauche de la charge :

A. Déplacement :

A.1 Déplacement Total :

La variation de l'excentricité de 0 à 0,50 m engendre une augmentation et parfois une diminution dans les valeurs de déplacements, ces dernières pour chaque excentricité prennent une croissance sur la première moitié de la colonne jusqu'à la valeur maximale, ensuite elles diminuent jusqu'à la base en fonction de la variation de la profondeur y.

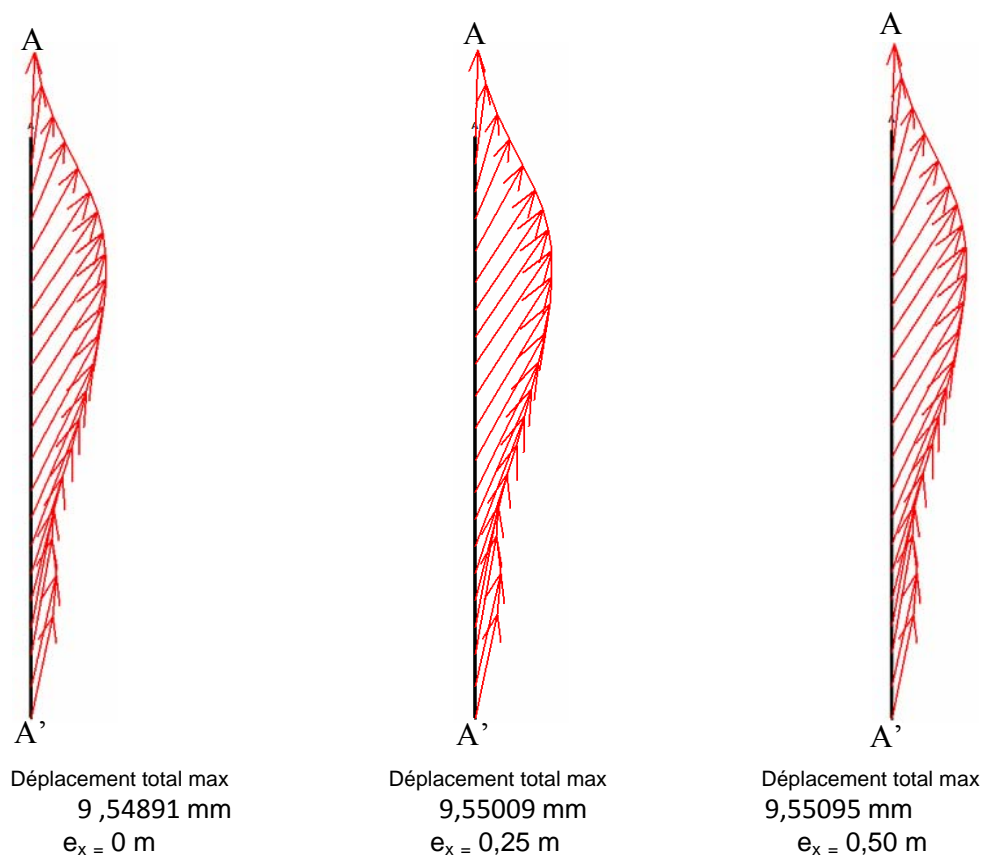


Figure IV.33c : Courbes de Déplacement de la Colonne 5 selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec la diminution de la cohésion du sol

B . Déformations :

B.1. Déformations suivant l'axe des abscisses :

L'emplacement du point d'application de la charge entre 0 et 0,50 m produit un accroissement ou un abaissement dans les valeurs de déformations suivant l'axe des abscisses ϵ_{xx} sur la profondeur (y) de la colonne.

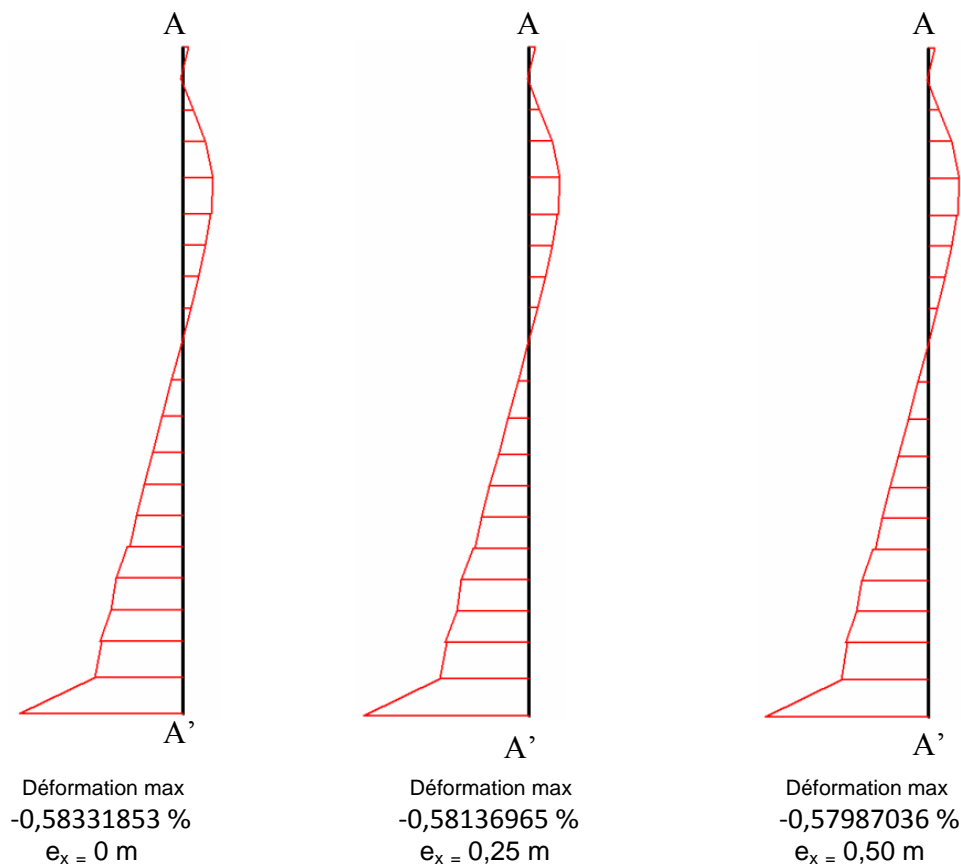


Figure IV.34c : Courbes de Déformation de la Colonne 5 suivant l'axe des abscisses selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec la diminution de la cohésion

B.2. Déformations suivant l'axe des ordonnées:

Suivant la variation du point d'application de la charge entre 0 et 0,50 m, on a remarqué une amplification, et un abaissement dans les valeurs de déformations ϵ_{yy} le long de la colonne.

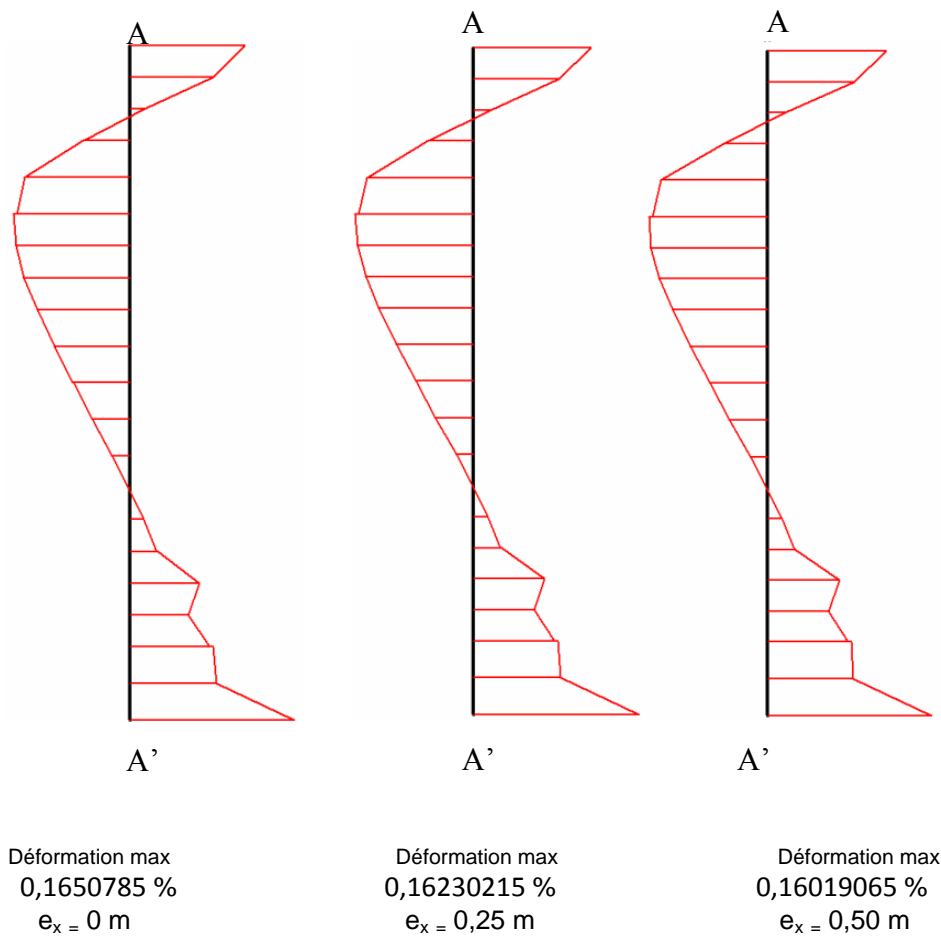


Figure IV.35c : Courbes de Déformation la Colonne 5 suivant l'axe des ordonnées selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec la diminution de la cohésion

B.3. Déformations dans le plan xy :

Selon le positionnement du point d'application de la charge entre 0 et 0,50 m une variation croissante dans les valeurs de déformations dans le plan xy (ϵ_{xy}) sur la partie intermédiaire et sur la partie inférieure. Et une décroissante sur la partie supérieure, sur la partie intermédiaire et sur la partie inférieure de la colonne.

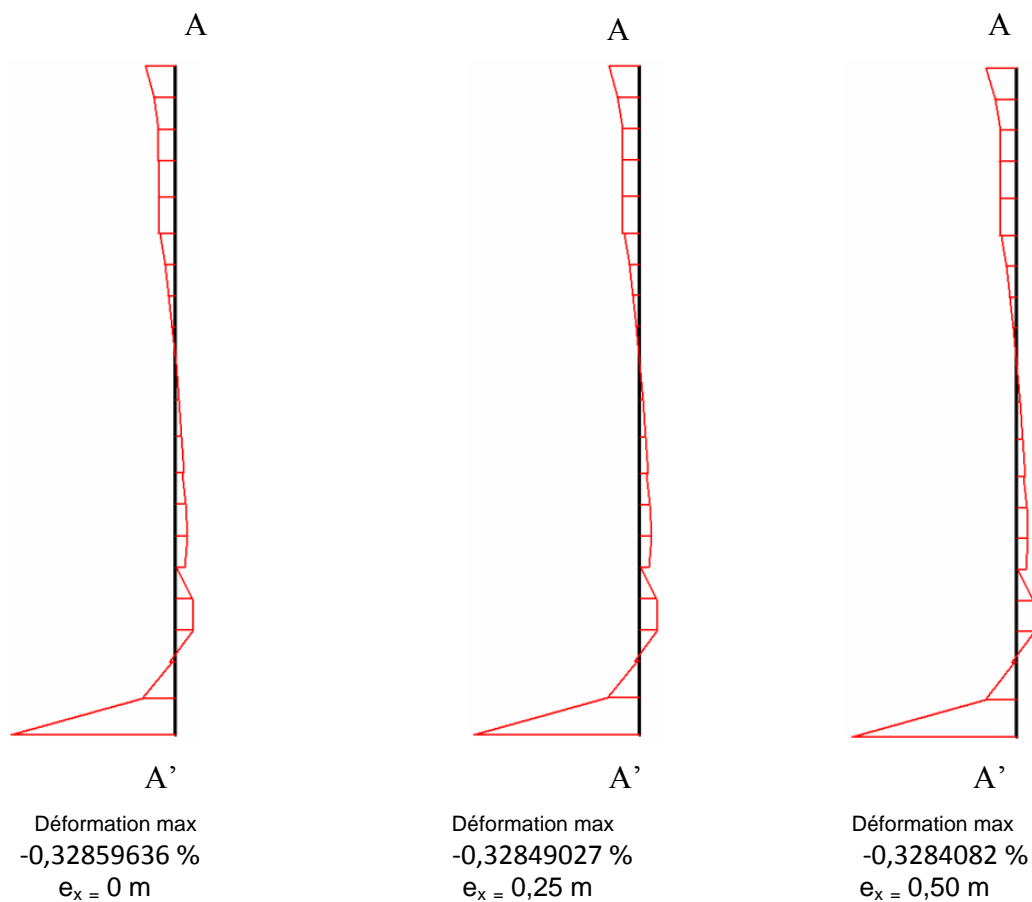


Figure IV.36c : Courbes de Déformation de la Colonne 5 dans le plan xy selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec la diminution de la cohésion

C. Contraintes :

C.1. Contraintes suivant l'axe des abscisses :

Une réduction des contraintes effectives suivant l'axe des abscisses (σ'_{xx}) selon la position du point d'application de la charge entre 0 et 0,50 m, et un accroissement sur la partie intermédiaire de l'intervalle [5,375 m à 3,1875 m]. Néanmoins, les contraintes effectives suivant l'axe des abscisses (σ'_{xx}) varient d'une manière linéaire en fonction de l'évolution de la profondeur (y) de la colonne.

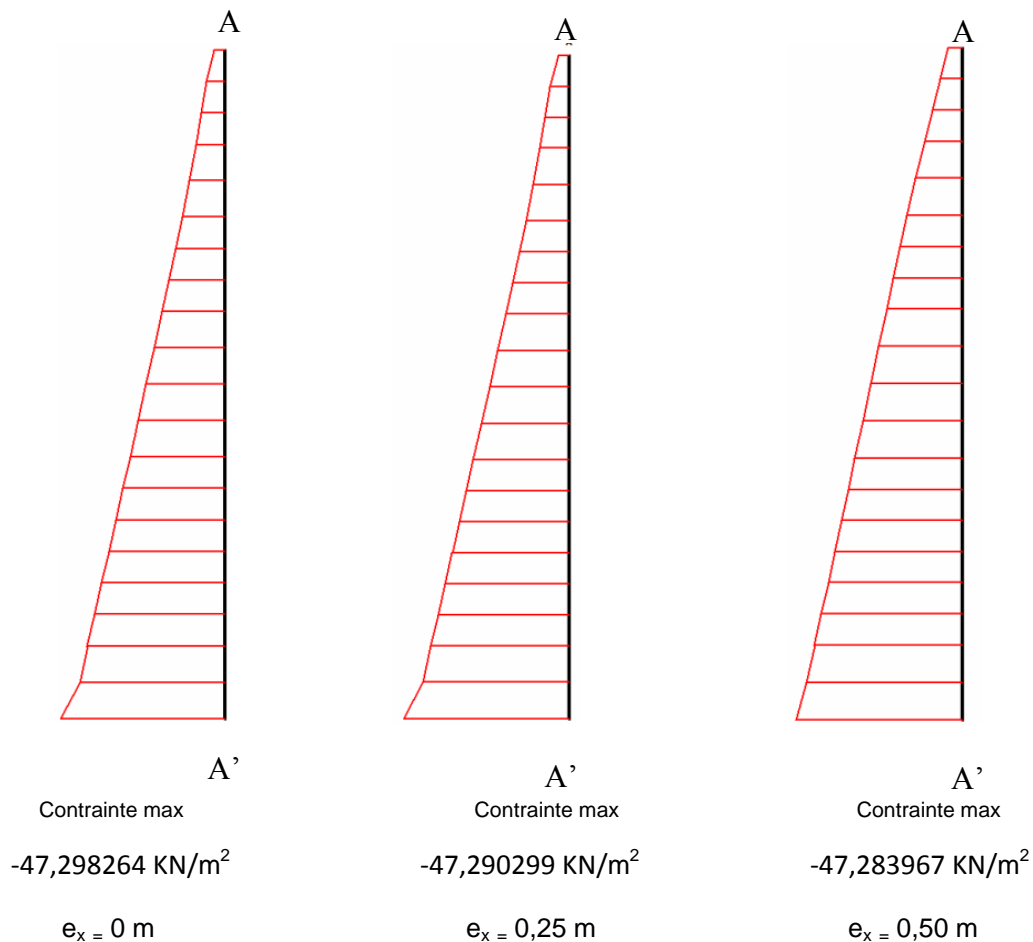


Figure IV.37c : Courbes des Contraintes dans la Colonne 5 suivant l'axe des abscisses selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec la diminution de la cohésion

C.2. Contraintes suivant l'axe des ordonnées :

Les contraintes effectives suivant l'axe des ordonnées (σ'_{yy}) réduisent selon la position du point d'application de la charge entre de 0 et 0,50 m, ensuite elles amplifient sur la partie intermédiaire et la partie inférieure de l'intervalle [5,375 m à 2,7793843 m]. Par ailleurs, on remarque d'après la figure IV.38c que les contraintes effectives suivant l'axe des ordonnées (σ'_{yy}) augmentent d'une façon linéaire en fonction de la profondeur (y) de la colonne.

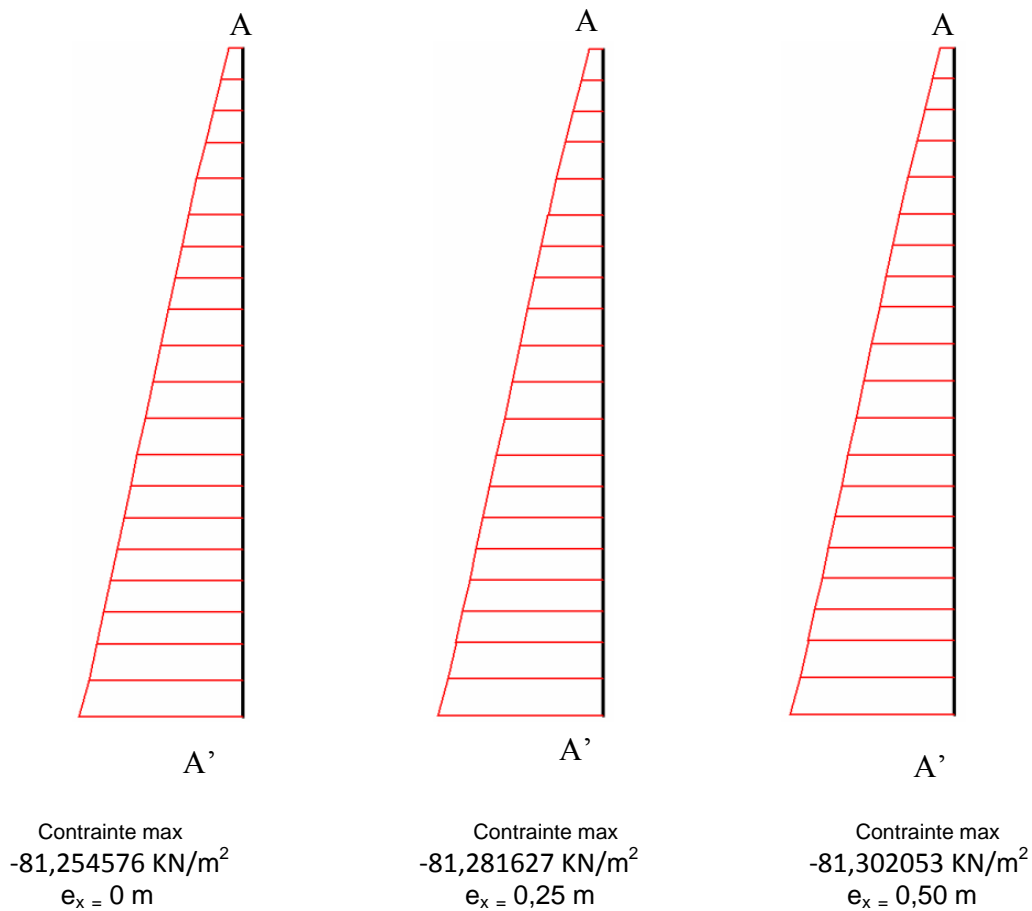


Figure IV.38c : Courbes des Contraintes dans la Colonne 5 suivant l'axe des ordonnées selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec la diminution de la cohésion

C.3. Contraintes dans le plan xy :

Suivant la variation de l'excentricité de 0 à 0,50 m, on remarque: une diminution dans les valeurs des contraintes effectives dans la plan xy ($\sigma'_{xy} = \sigma_{xy}$) sur la partie supérieure, sur la partie intermédiaire et sur la partie inférieure, puis une augmentation dans les mêmes valeurs des contraintes dans la partie intermédiaire de la colonne.

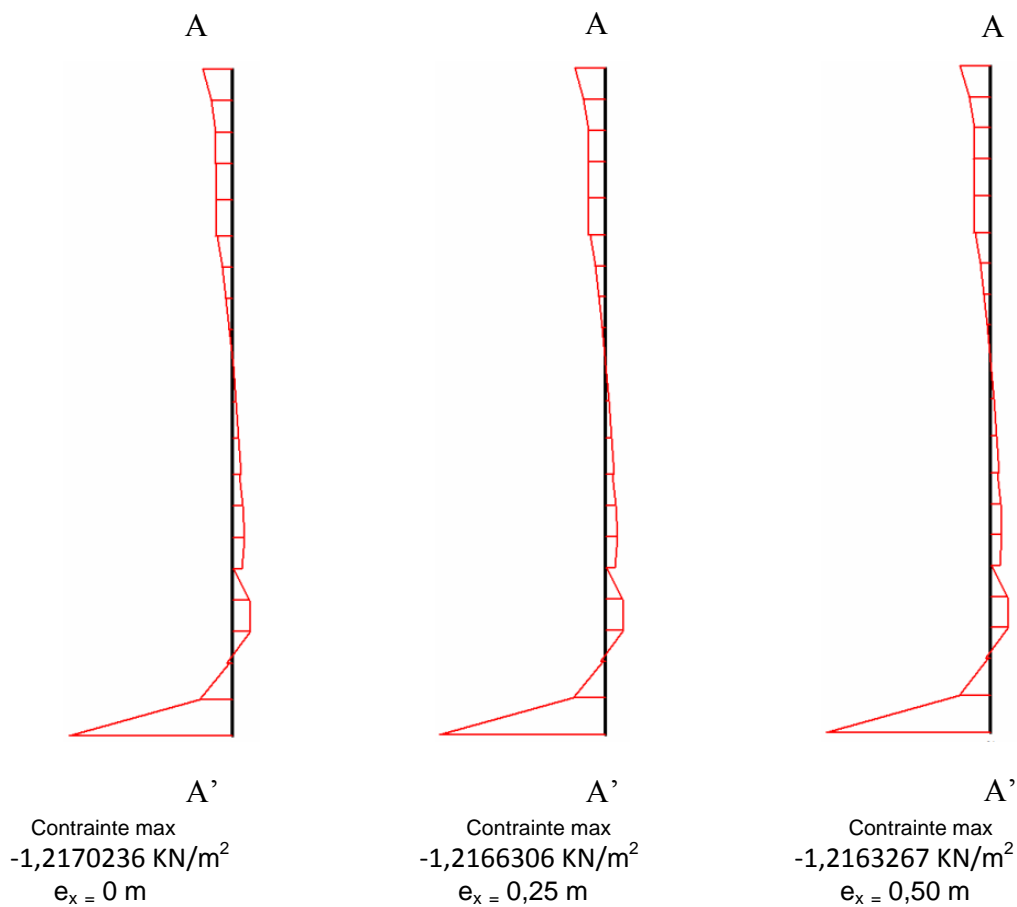


Figure IV.39c: Courbes des Contraintes dans la Colonne 5 dans le plan xy selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec la diminution de la cohésion

D. Pressions Actives :

Lors de la variation du point d'application de la charge entre 0 et 0,50 m, on constate: une réduction des pressions actives le long de la profondeur de la colonne, seulement un accroissement est observé sur la partie intermédiaire de l'intervalle [4,8934235 m à 3,5956157 m] et en pied de la colonne à la côte 1,00 m. Les pressions actives augmentent d'une manière linéaire en fonction de la profondeur(y) de la colonne. Ce constat est visualisé dans les trois (03) courbes de la figure IV.40c.

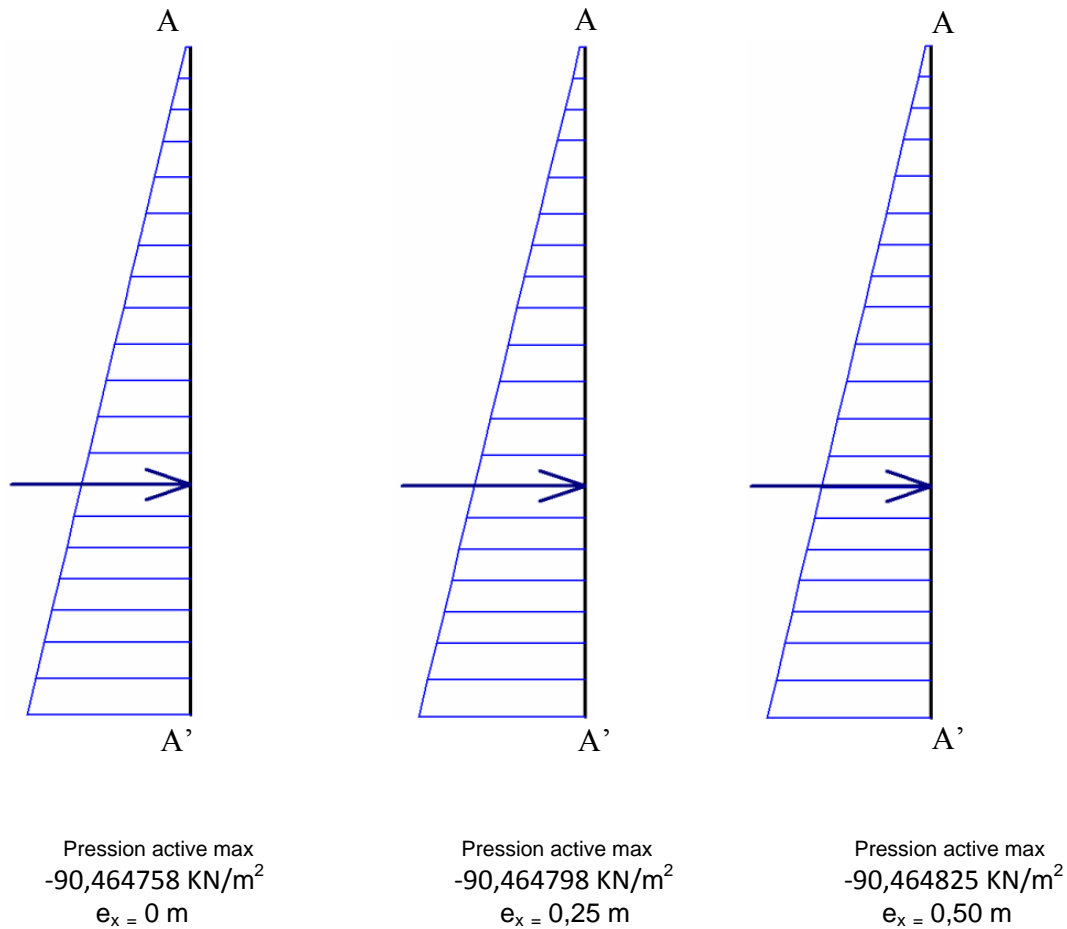


Figure IV.40c : Courbes des pressions actives dans la colonne 5 selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec la diminution de la cohésion

IV.1.3.8. Analyse et interprétation des résultats de la colonne 6:

On constate d'après les résultats des figures de diminution de la cohésion du sol (IV.41c, IV.42c, IV.43c, IV.44c, IV.45c, IV.46c, IV.47c et IV.48c) et notamment les courbes qui représentent le comportement de la colonne 6 située à droite de la charge :

A. Déplacement :

A.1 Déplacement Total :

La position du point d'application de la charge entre 0 et 0,50 m donne une amplification dans les valeurs des déplacements, ensuite ces dernières prennent une diminution dans deux sections situées sur la partie intermédiaire et sur la partie inférieure à partir de la côte 3,1875 m jusqu'à la base de la colonne. D'après les courbes (figure IV.41c), on remarque que les

déplacements augmentent sur la partie supérieure jusqu'à la valeur maximale, Puis ils diminuent jusqu'à la base de la colonne.

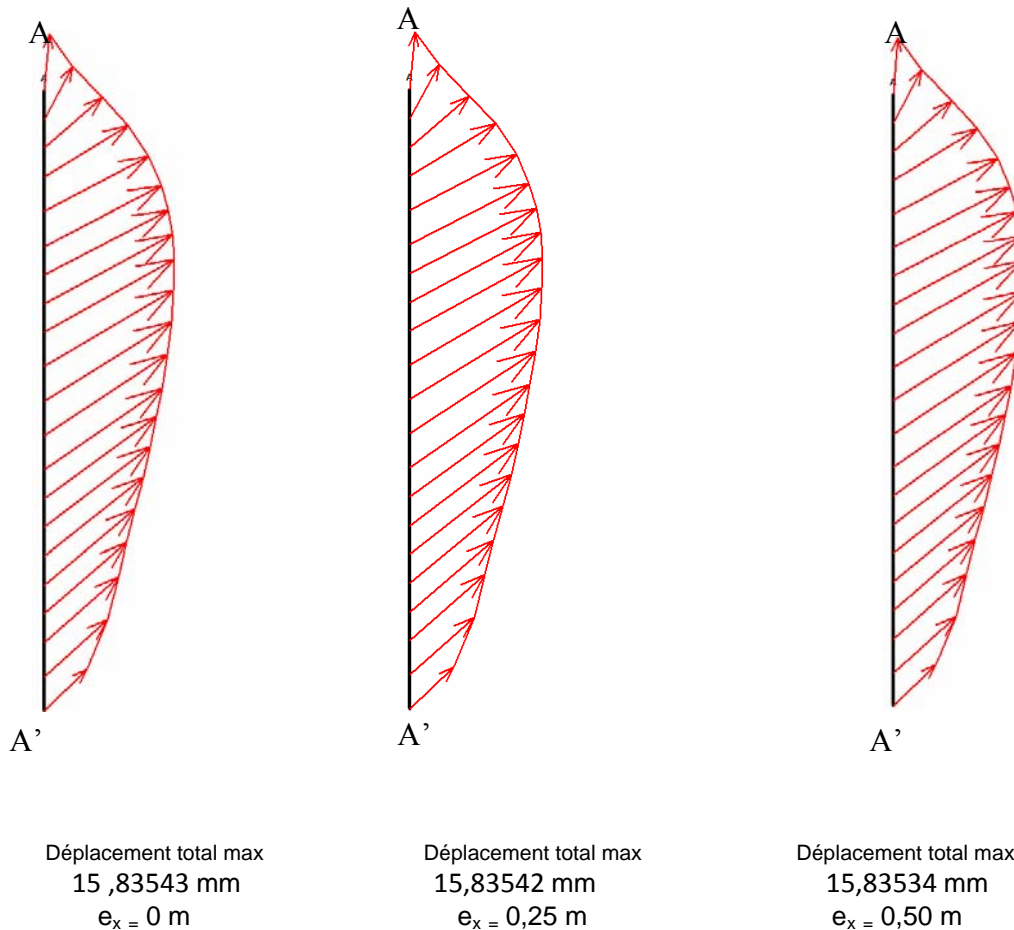


Figure IV.41c : Courbes de Déplacement de la Colonne 6 selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec la diminution de la cohésion

B. Déformations :

B.1. Déformations suivant l'axe des abscisses :

Suivant la variation de l'excentricité de 0 à 0.50 m les déformations suivant l'axe des abscisses (ϵ_{xx}) réduisent sur la partie supérieure dans les deux côtes: la côte 9,75 m et la côte 9,3429816 m et de l'intervalle [8,0457223 à 6,7484631m], sur la partie intermédiaire de l'intervalle [4,8917777 m à 3,5945184 m]. L'augmentation dans les mêmes déformations est enregistrée sur la partie supérieure de l'intervalle [8,9359631 m à 8,5289447 m], sur la partie intermédiaire de la côte 6,3414447 m à la côte 5,375 m et sur la partie inférieure de la côte 3,1875 m à la côte 1,00 m.

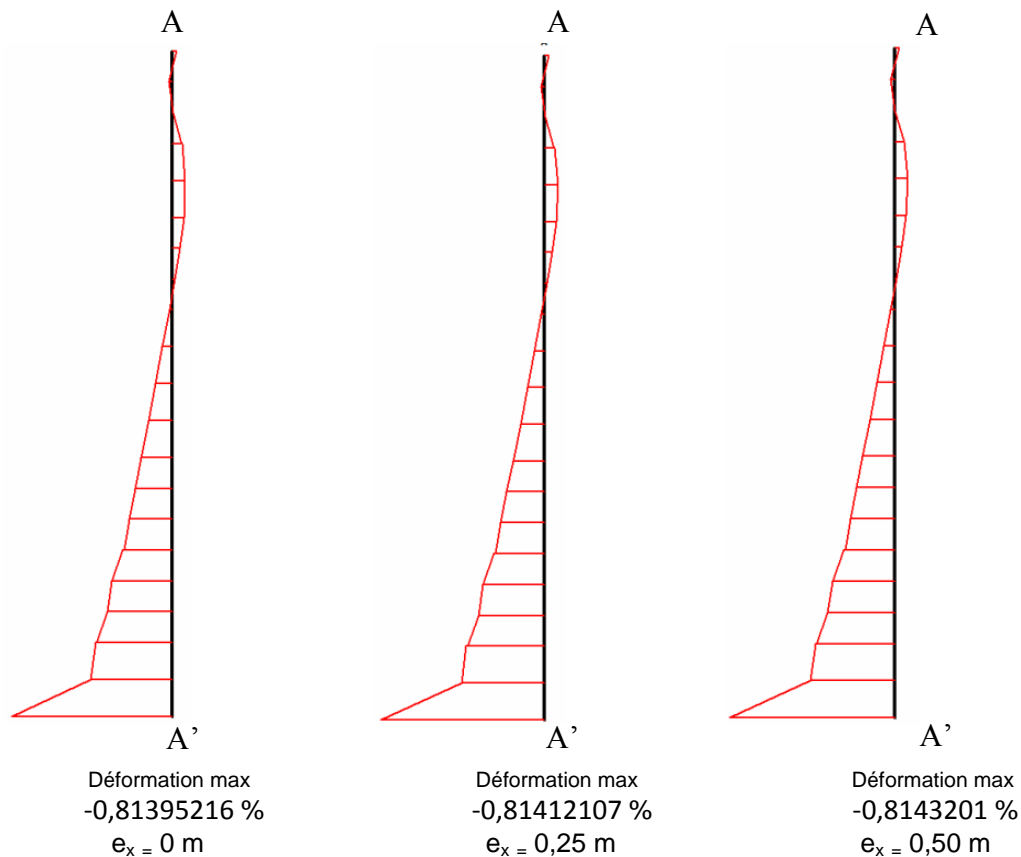


Figure IV.42c : Courbes de Déformation de la Colonne 6 suivant l'axe des abscisses selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec la diminution de la cohésion

B. Déformations :

B.2. Déformations suivant l'axe des ordonnées :

Le positionnement du point d'application de la charge entre 0 et 0.50 m créant une diminution de déformations suivant l'axe des ordonnées (ϵ_{yy}) dans les sections de l'intervalle [9,75 m à 8,9359631 m], de l'intervalle [8,0457223 m à 5,375 m] et la section de la côte 4,0015369 m. Par ailleurs, les mêmes déformations augmentent dans les sections de la colonne suivantes: de la côte 8,5289447m, de l'intervalle [4,8917777 m à 4,4085553 m] et de l'intervalle [3,5945184 m à 1 m]

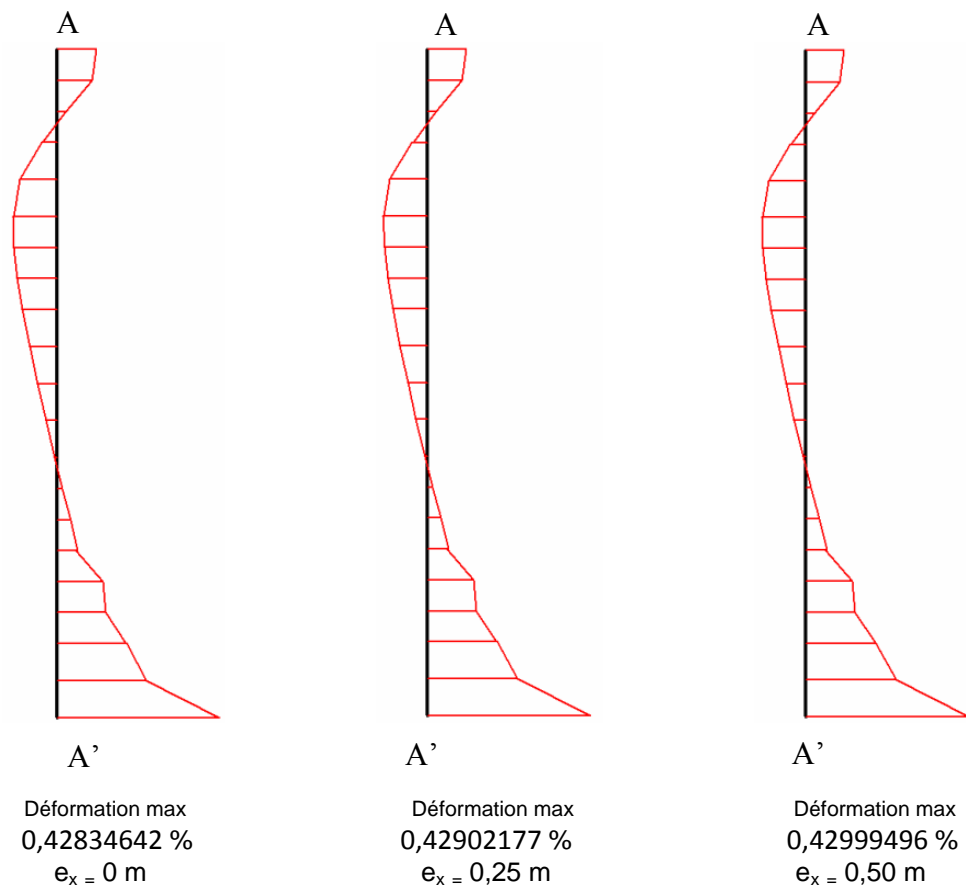


Figure IV.43c : Courbes de Déformation de la Colonne 6 suivant l'axe des ordonnées selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec la diminution de la cohésion

B.3. Déformations dans le plan xy :

Dans le plan xy les déformations ϵ_{xy} diminuent selon le changement du point d'application de la charge de 0 à 0,50 m dans la partie supérieure de la cote 9,75 m à la cote 8,0457223 m et la section de la cote 7,1554816 m, dans la partie intermédiaire de la cote 4,8917777 m à la cote 4,4085553 m et la section de la cote 3,1875 m et dans la partie inférieure de la cote 1,9664447 m à 1,00 m. Néanmoins, une augmentation dans la section de la cote 7,5625 m et les trois intervalle suivants : [6,7484631 m à 5,375 m], [4,4085553 m à 3,5945184 m] et [2,7804816 m à 1,9664447 m].

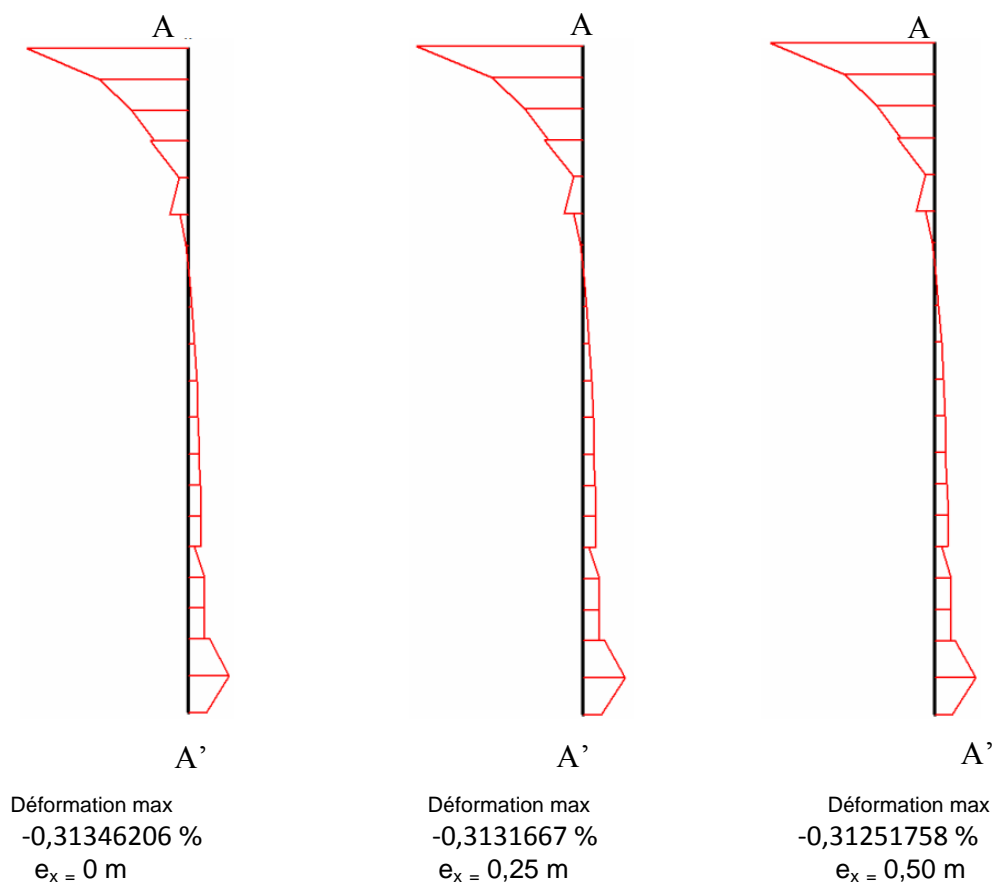


Figure IV.44c : Courbes de Déformation de la Colonne 6 dans le plan xy selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec la diminution de la cohésion

C. Contraintes :

C.1. Contraintes suivant l'axe des abscisses :

Selon la position du point d'application de la charge entre 0 et 0,50 m, les contraintes effectives suivant l'axe des abscisses (σ'_{xx}) amplifient dans les deux intervalles : [9,50 m à 5,375 m] et [2,7804816 m à 1,4832223 m], les mêmes contraintes diminuent dans la partie intermédiaire dans l'intervalle [5,375 m à 3,5945184 m] et à la base de côte 1,00 m. On remarque toutefois que les contraintes effectives suivant l'axe des abscisses (σ'_{xx}) changent d'une manière linéaire suivant la variation de la profondeur de la colonne. Ce constat est illustré dans la figure IV.45c.

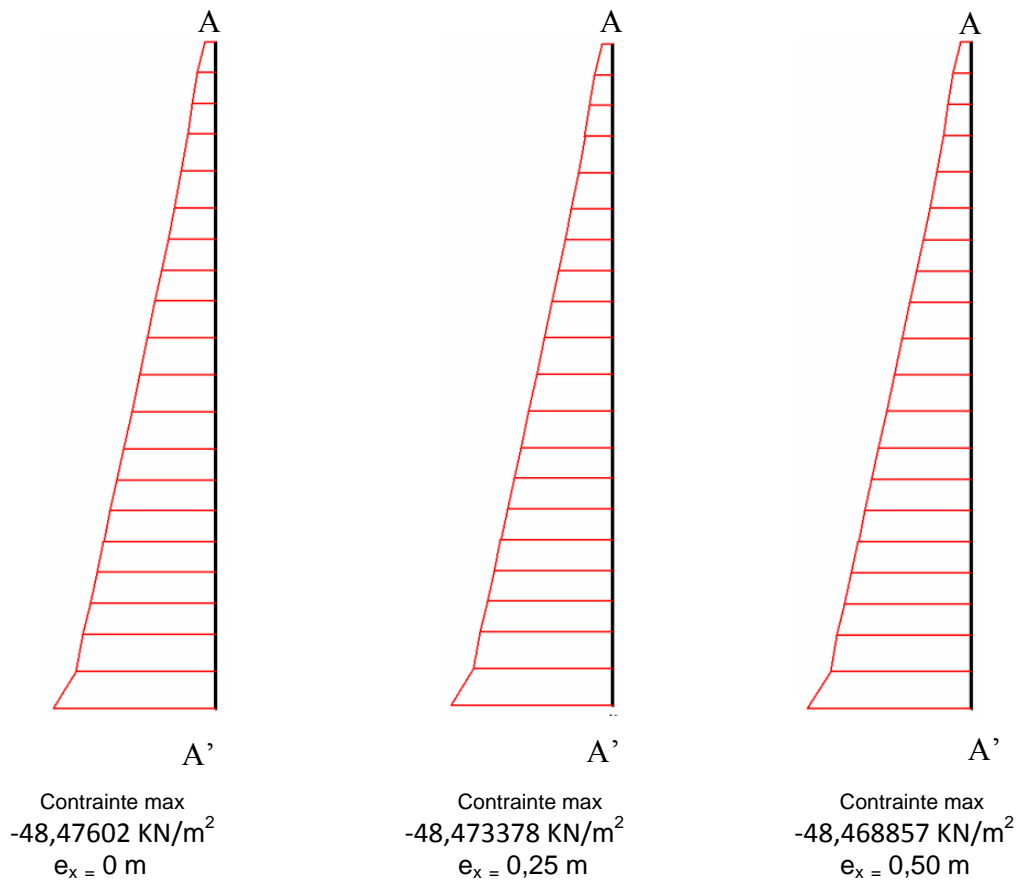


Figure IV.45c : Courbes des Contraintes dans la Colonne 6 suivant l'axe des abscisses selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec la diminution de la cohésion

C.1. Contraintes suivant l'axe des ordonnées :

Selon la variation du point d'application de la charge de 0 à 0,50 m, les contraintes effectives suivant l'axe des ordonnées (σ'_{yy}) augmentent dans les sections suivantes : de la côte 9,75 m jusqu'à la côte 8,0457223 m situées dans la partie supérieure et prennent des autres élévations sur deux intervalles : de la côte 7,1554816 m à la côte 5,8582223 m et de la côte 3,1875 m à la côte 1,4832223 m situées dans la partie inférieure. Par contre, une diminution des contraintes effectives (σ'_{yy}) est enregistrée en deux sections ont les côtes : 7,5625 m et 1,00 m et dans la partie intermédiaire de la côte 5,375 m à 3,5945184 m. Toutefois, les résultats de la figure IV.46c affichent une augmentation des contraintes effectives (σ'_{yy}) suivant la variation de la profondeur (y) de la colonne d'une manière linéaire.

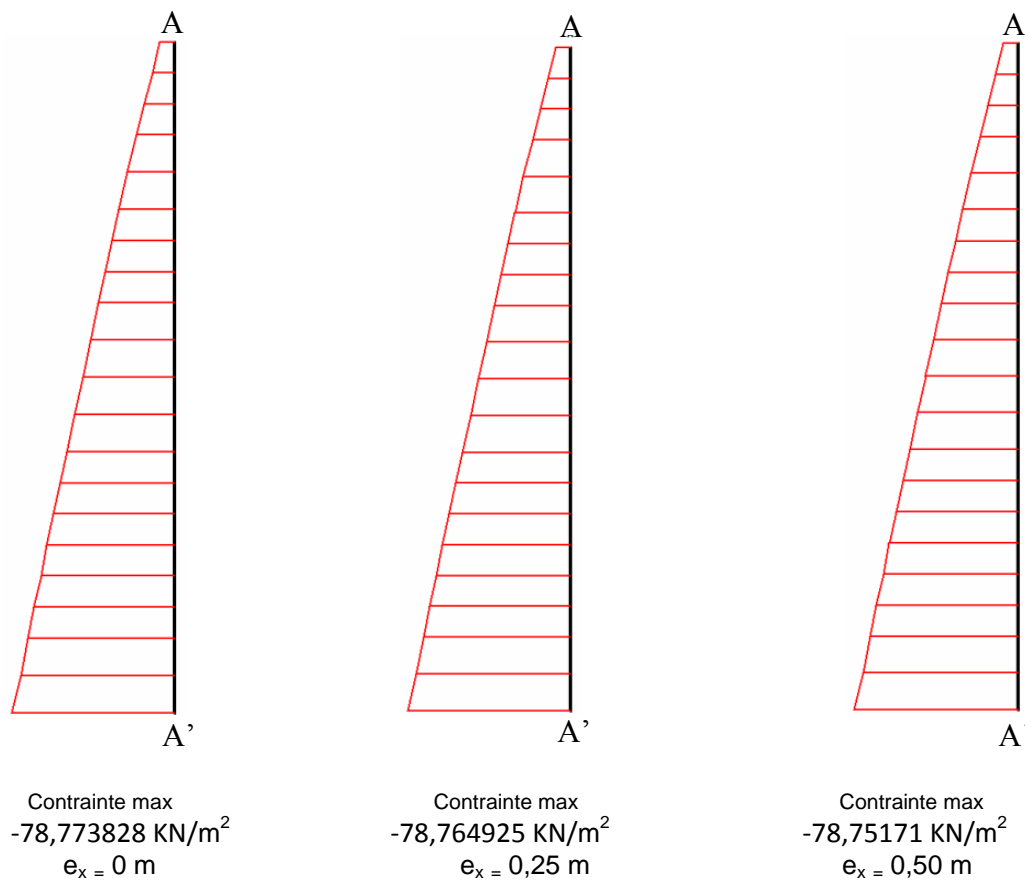


Figure IV.46c : Courbes des Contraintes dans la Colonne 6 suivant l'axe des ordonnées selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec la diminution de la cohésion

C.3. Contraintes dans le plan xy:

La variation de l'excentricité de 0 à 0,50 m engendre une diminution des contraintes effectives dans le plan xy ($\sigma'_{xy} = \sigma_{xy}$) dans la partie supérieure de la colonne de l'intervalle [9,75 m à 9,3429816 m], de l'intervalle [8,5289447 m à 8,0457223 m] et de la côte 7,1554816 m, dans la partie intermédiaire de l'intervalle [4,8917777 à 4,4085553] et dans la partie inférieure à partir de la côte 1,9664447 m jusqu'à la base. Toutefois, une évolution est enregistrée dans la partie supérieure dans la section de la côte 7,5625 m, de l'intervalle [6,7484631 m à 5,375 m] et dans la partie inférieure de l'intervalle [4,4085553 m à 2,3734631 m].

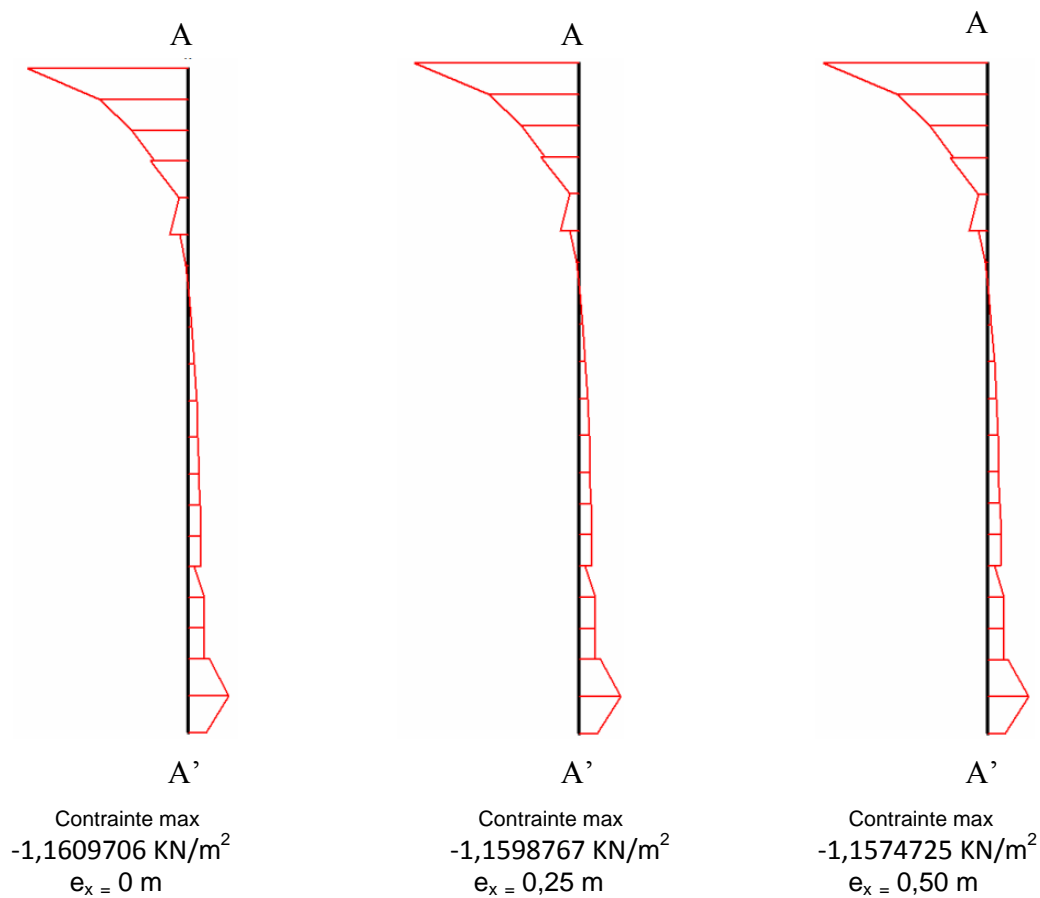


Figure IV. 47c : Courbes des Contraintes dans la Colonne 6 dans le plan xy selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec la diminution de la cohésion

D. Pressions Actives :

Lors de la variation de l'excentricité de la charge de 0 à 0,50 m on constate : une augmentation des pressions actives dans la partie supérieure, intermédiaire dans l'intervalle [9,75 m à 4,8917777 m] et dans la partie inférieure de l'intervalle [2,3734631m à 1,4832223 m], ainsi une diminution des pressions actives dans la partie intermédiaire de l'intervalle [4,4085553 m à 3,1875 m] et à la base de la cote 1,00 m. Pour chaque excentricité les pressions actives changent d'une manière linéaire selon la variation de la profondeur (y) de la colonne.

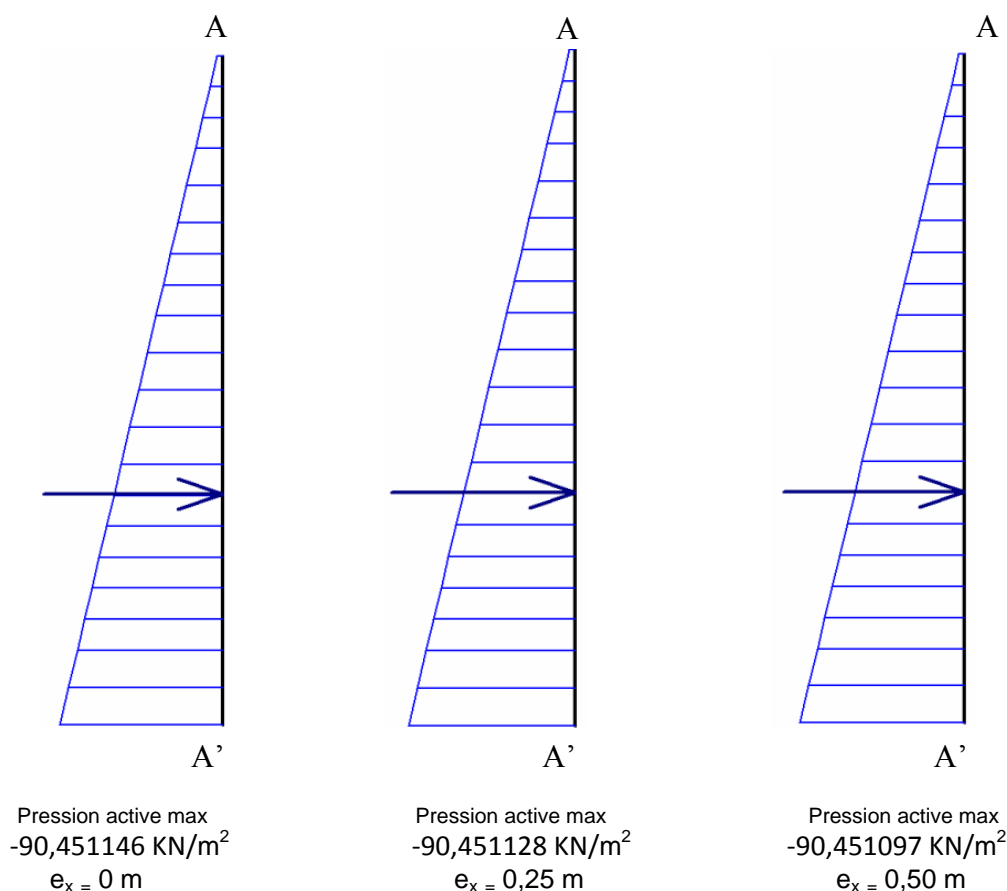


Figure IV.48c : Courbes des pressions actives dans la colonne 6 selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec la diminution de la cohésion

IV.1.3.9. Conclusion des résultats des colonnes 5 et 6 et leurs interprétations :

On a enregistré les mêmes causes probables de la variation des résultats entre la colonne 5 (figures : IV.33c, IV.34c, IV.35c, IV.36c, IV.37c, IV.38c, IV.39c et IV.40c) et la colonne 6 (figures : IV.41c, IV.42c, IV.43c, IV.44c, IV.45c, IV.46c, IV.47c et IV.48c) citées dans la partie : influence du point d'application de la charge (excentricité) sur le comportement des colonnes (Pages 99 et 100).

Les résultats notés indiquent le comportement des deux colonnes 5 et 6 vis-à-vis le changement du point d'application de la charge appliquée et la diminution de la cohésion du sol de 75 KN /m² à 70 KN /m². Cette dernière agit d'une façon croissante sur les valeurs des déplacements des deux colonnes. Pour les déformations, les deux colonnes 5 et 6 ont subi une réduction des déformations suivant l'axe des abscisses (ϵ_{xx}) dans la première moitié de la profondeur de la colonne, et une élévation dans la seconde moitié sous l'effet de la diminution de la cohésion du sol.

Pour la colonne 5, les déformations suivant l'axe des ordonnées ε_{yy} ont augmenté au sommet de la colonne et sur la partie inférieure. Elles ont également diminué sur la partie supérieure et intermédiaire et ont des valeurs maximales en pied de la colonne. Dans la colonne 6, les mêmes déformations ont connu une décroissance au sommet de la colonne et sur les deux parties supérieure et intermédiaire, après elles augmentent sur la partie inférieure. D'autre part, les déformations (ε_{xy}) dans le plan xy ont augmenté le long de la profondeur des deux colonnes 5 et 6. Seulement, on a constaté une réduction en pied de la colonne 6.

Concernant, les contraintes effectives σ'_{xx} et les contraintes effectives σ'_{yy} , on a aperçu une réduction de ces dernières le long de la profondeur des deux colonnes 5 et 6. Pour les contraintes effectives du plan xy ($\sigma'_{xy} = \sigma_{xy}$) l'abaissement de la cohésion du sol influe d'une manière croissante le long de la profondeur des deux colonnes 5 et 6. Par ailleurs, on a constaté une décroissance à la base des deux colonnes (pied de la colonne).

Les résultats des pressions actives ont amplifié le long de la profondeur des deux colonnes 5 et 6 sous l'effet de la réduction de la cohésion du sol.

Les colonnes 5 et 6 ont porté des variations dans les résultats (déplacements, déformations, contraintes et pressions actives) à cause de l'abaissement de la cohésion du sol et le changement du point d'application de la charge appliquée. D'une part, d'une façon décroissante dans les valeurs des contraintes effectives suivant les axes des abscisses σ'_{xx} et ordonnées σ'_{yy} le long de la profondeur des deux colonnes, et en pied des deux colonnes pour les contraintes effectives du plan xy ($\sigma'_{xy} = \sigma_{xy}$) ; A l'égard des déformations suivant l'axe des abscisses (ε_{xx}), elles ont diminué dans la première moitié de la profondeur des deux colonnes, ainsi les déformations (ε_{yy}) ont vu une réduction sur la partie supérieure et intermédiaire de la colonne 5, au sommet et sur les deux parties supérieure et intermédiaire de la colonne 6. D'autre part, les deux colonnes ont maintenu des changements d'une manière croissante dans les valeurs de déplacements, les pressions actives ont été observées le long de la profondeur des deux colonnes, dans les valeurs des déformation dans le plan xy (ε_{xy}) et les contraintes dans le même plan ($\sigma'_{xy} = \sigma_{xy}$). Sauf les pieds des deux colonnes, toutes ces valeurs verront une réduction dans les valeurs de déformations (ε_{xx}) sur la seconde moitié des colonnes et dans les valeurs de déformations (ε_{yy}) au sommet et la partie inférieure.

Enfin, on a conclu que la variation enregistrée dans les résultats (déplacements, déformations, contraintes et pressions actives) est relative au paramètre de la cohésion du sol.

IV.1.3.10.Conclusion:

Le groupe de colonnes étudié a subi des changements dans les résultats des déplacements, des déformations, des contraintes et des pressions actives. Les changements sont engendrés par la réduction de la cohésion du sol variant de 75 KN/m² à 70 KN/m². Celle-ci influe d'une manière croissante d'une part, sur les valeurs des déplacements, des déformations (ϵ_{xx} , ϵ_{yy} , ϵ_{xy}), des contraintes effectives dans le plan xy ($\sigma'_{xy} = \sigma_{xy}$) et des pressions actives. Et d'autre part, d'une manière décroissante sur les contraintes effectives suivant les axes des abscisses (σ'_{xx}), ordonnées (σ'_{yy}), et parfois sur les valeurs des déformations suivant les axes des abscisses (ϵ_{xx}), ordonnées (ϵ_{yy}) et sur les valeurs de déformations dans le plan xy (ϵ_{xy}).

Les déplacements ont augmenté le long de la profondeur des colonnes, car la réduction de la cohésion du sol amplifie les contraintes tangentielles d'après la formule : $\tau = \sigma \tan \Psi + C$ (loi Mohr-Coulomb) entraînant ainsi la diminution de la résistance de cisaillement du sol, tout en augmentant les valeurs de déplacements (U). Concernant les déformations, elles ont diminué dans la première moitié de la colonne et ont augmenté dans la seconde moitié sous l'effet de la réduction de la cohésion du sol. Celle-ci provoque une diminution des forces de la cohésion et augmentent la pression interstitielle occupant les vides du sol. Cette dernière se dissipe lentement et contribue une amplification des déformations dans la seconde moitié de la colonne. Puisque le transfert de la pression interstitielle s'effectue de la zone de la pression basse (sommet de la colonne) à la zone de la pression élevée (base de la colonne) à travers l'élément drainant (colonne). Cette pression est considérée comme une poussée supplémentaire à la poussée des terres. Par rapport aux contraintes effectives, la réduction de la cohésion du sol réduit les forces de la cohésion entre les particules du sol. Cela a conduit une diminution des contraintes effectives selon les axes des abscisses (σ'_{xx}) et ordonnées (σ'_{yy}), car la présence d'eau divergeait les particules les unes des autres, tout en réduisant ainsi la force de la cohésion et augmentant la pression interstitielle. ($\sigma' = \sigma - u$ loi de Terzagui) et les contraintes effectives diminuent à leur tour. Dans le plan xy, les contraintes (σ'_{xy}) augmentent dans la plupart des colonnes sauf certaines sections à cause de la diminution de la résistance de cisaillement du sol. Cela a induit une force portante du sol faible devant l'excentrement de la charge appliquée. Ce qui confirme la pertinence de la loi de comportement de Mohr –Coulomb

Par contre, la pression active augmente sur toute la profondeur des colonnes parce que la diminution de la cohésion du sol accroît les contraintes appliquées d'après la formule :

$\tau = \sigma \tan \Psi + C$ (loi de comportement appliqué : Mohr – Coulomb) et conduisant aussi à une réduction de la résistance de cisaillement du sol. Cela va entraîner une pression de consolidation plus importante en induisant de temps de consolidation plus long.

Enfin, on a conclu que la variation enregistrée dans les résultats (déplacements, déformations, contraintes et pressions actives) est relative au variation du point d'application de la charge (l'excentricité) et le paramètre de la cohésion du sol.

IV.1.4. Influence de la variation du point d'application de la charge (excentricité) avec augmentation de rayon de radier de 2,00 m à 2,50 m sur le comportement des colonnes ballastées :

IV.1.4.1. Analyse et interprétation des résultats de la colonne 2:

On constate d'après les résultats des figures d'augmentation de rayon de radier (*IV.1d, IV.2d, IV.3d, IV.4d, IV.5d, IV.6d, IV.7d et IV.8d*) et notamment les courbes qui représentent le comportement de la colonne 2 située à droite de la charge:

A. Déplacement:

A.1. Déplacement Total :

Le changement du point d'application de la charge (excentricité) entre 0 et 0,50 m induit une variation alternée sur les valeurs des déplacements : Une réduction si la charge appliquée est positionnée sur les deux excentricités 0 et 0,25 m, et une amplification si l'excentricité est située sur le point 0,50 m et vice versa. Toutefois, on remarque que le déplacement varie jusqu'à la tenue d'une valeur maximale (la côte 6,40 m) sur la partie supérieure, puis il diminue progressivement jusqu'à la base de la colonne.

Les intervalles et les côtes de diminution des déplacements sont : [9,3686609 m à 8,0842413 m], [7,1811609 m à 6,7998217 m] et [4,8532587 m à 3,5688391 m] si l'excentricité est fixée sur les points 0 et 0,25 m. En outre, les déplacements augmentent sur les intervalles et les côtes suivants: la côte 9,75 m, la côte 7,5625, [6,4184826 m à 5,375 m] et [3,1875 m à 1,00 m] si l'excentricité est placée sur les points 0 et 0,25 m. Dans les intervalles et les côtes mentionnées ci-dessous les déplacements tiennent le cas inverse si l'excentricité est égale à 0,50 m.

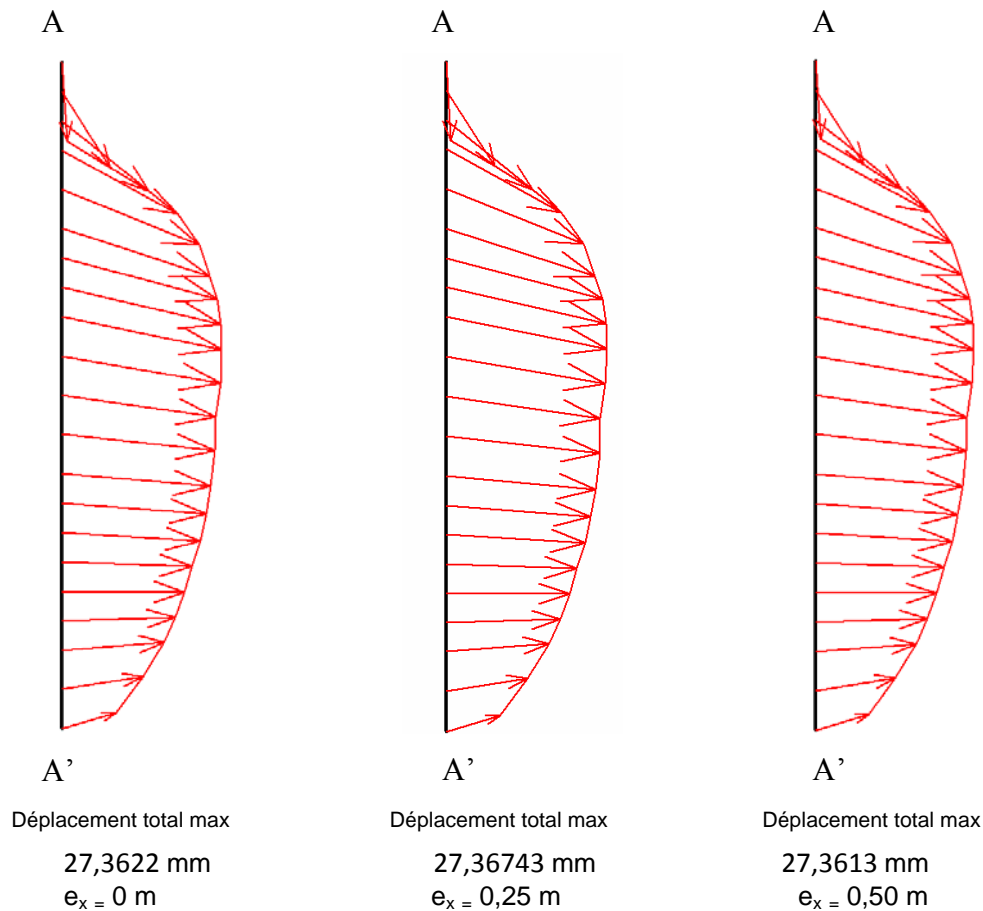


Figure IV.1d : Courbes de Déplacement dans la Colonne 2 selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec augmentation de rayon de radier

B. Déformations :

B.1. Déformations Suivant l'axe des abscisses :

Lors de la variation du point d'application de la charge (excentricité) entre 0 et 0,50 m, on a différencié un changement alterné sur les valeurs de déformations suivant l'axe des abscisses (ϵ_{xx}). Ces dernières diminuent dans les côtes et les intervalles suivants: 9,75 m, 9,3686609 m, 7,5625 m, [6,7998217m à 5,8967413 m] et [3,9501783 m à 1,5217413 m] et augmentent sur les intervalles : [8,9873217 m à 8,0842413 m] et [5,375 m à 4,3315174 m] et les côtes : 7,1811609 m et 1,00 m lorsque la charge appliquée est placée sur les deux excentricités 0 et 0,25 m et vice versa si la charge appliquée est fixée sur le point 0,50 m.

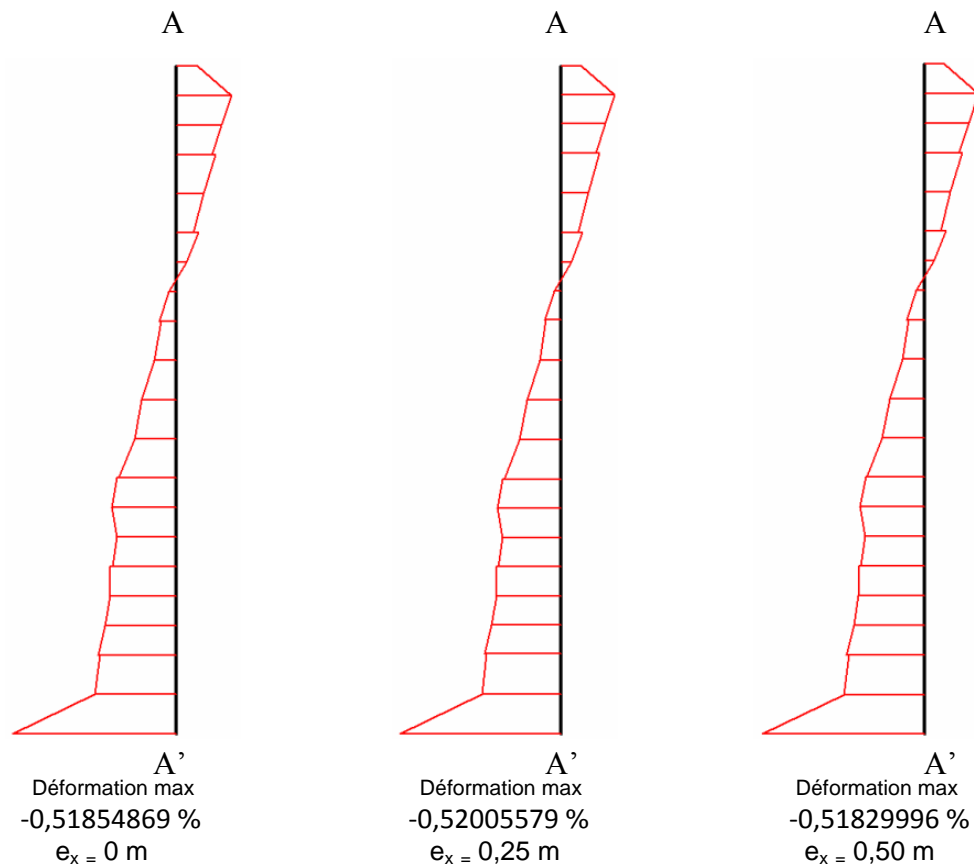


Figure IV.2d : Courbes de Déformation dans la Colonne 2 suivant l'axe des abscisses selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec augmentation de rayon de radier

B.2. Déformations suivant l'axe des ordonnées :

Au moment du changement du point d'application de la charge (excentricité) entre 0 et 0,50 m, on a distingué une variation alternée sur les valeurs de déformations suivant l'axe des ordonnées (ϵ_{yy}). Ces dernières diminuent dans les côtes et les intervalles suivants: [9,75 m à 8,6059826], 7,5625 m, [5,8967413 m à 4,3315174 m] et la côte 2,8061609 m et augmentent dans les intervalles situées sur les parties supérieure, intermédiaire et inférieure : [7,1811609 m à 6,4184826m], [3,9501783 m à 3,1875 m] et [2,4248217 m à 1,00m] et la côte 8,0842413m quand la position du point d'application la charge est variée de 0 à 0,25 m. Les déformations (ϵ_{yy}) prennent le cas contraire dans les mêmes intervalles et côtes indiqués ci-dessus si l'excentricité est égale à 0,50 m.

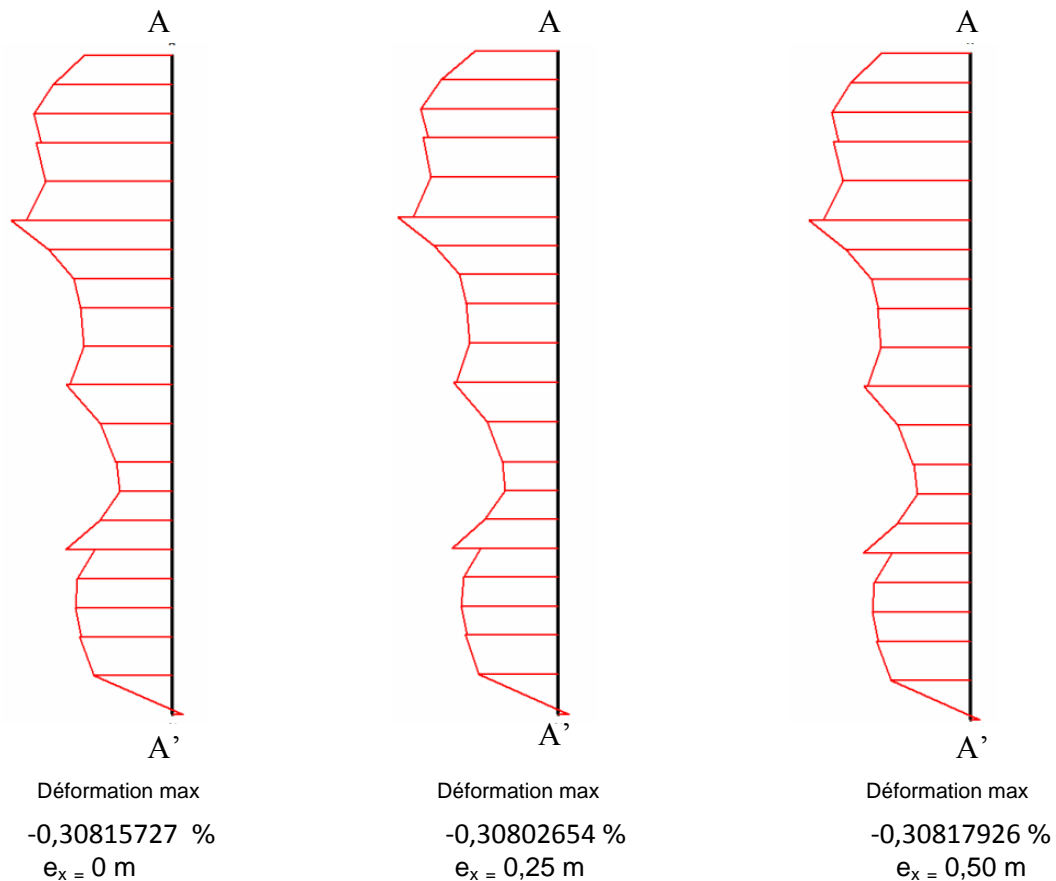


Figure IV.3d : Courbes de Déformation dans la Colonne 2 suivant l'axe des ordonnées selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec augmentation de rayon de radier

B.3. Déformations dans le plan xy :

La position du point d'application de la charge entre 0 et 0,50 m provoque une variation alternée sur les valeurs de déformations dans le plan xy (ϵ_{xy}). Ces dernières amplifient dans les intervalles et les côtes suivants : [9,75 m à 8,6059826 m], [6,7998217 m à 6,4184826 m], 7,5625 m, 5,375 m, 3,9501783 m et la côte 3,1875 m, et diminuent dans les côtes et les intervalles :8,0842413 m, 7,1811609 m, 5,8967413 m, [4,8532587 m à 4,3315174 m], 3,5688391 m, [2,8061609 m à 1,00 m] si la valeur de l'excentricité est égale à 0 et à 0,25m, et vice versa lorsque l'excentricité est égale à 0,50 m.

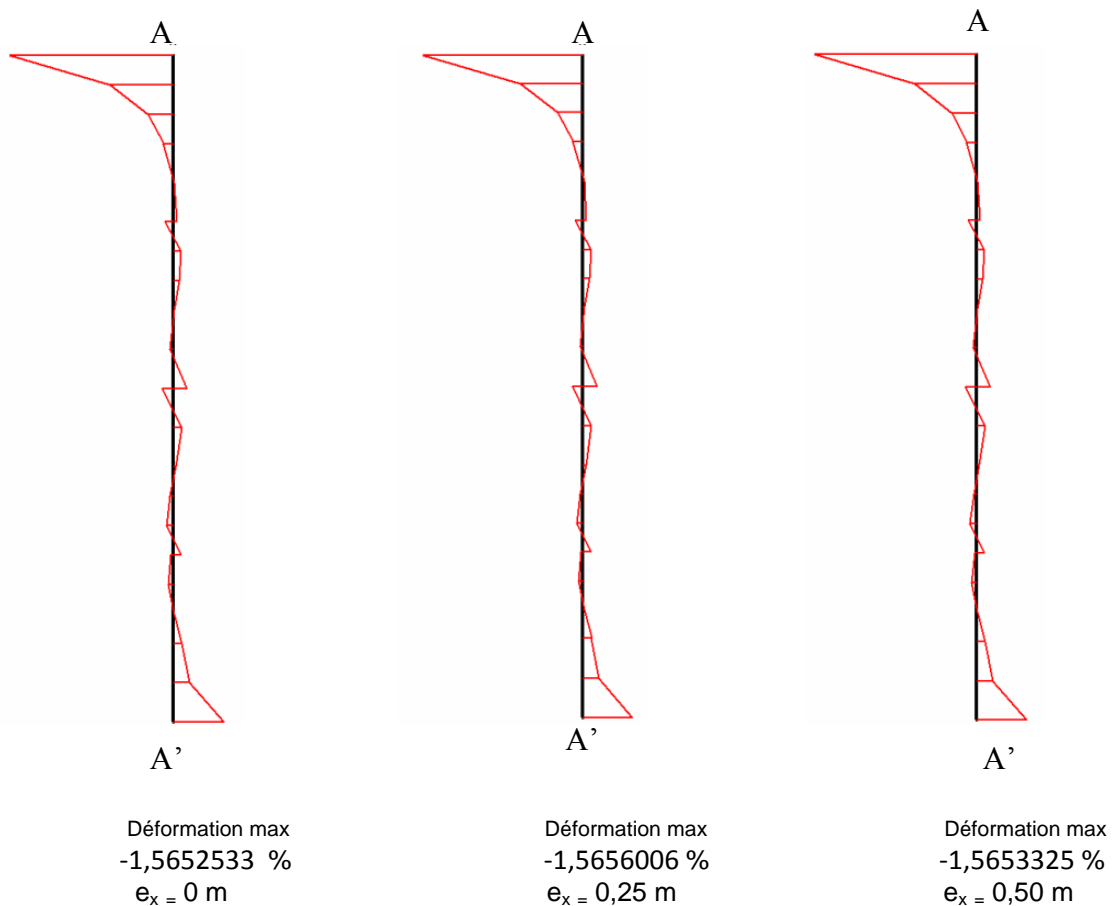


Figure IV.4d : Courbes de Déformation dans la Colonne 2 dans le plan xy selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec augmentation de rayon de radier

C. Contraintes :

C.1. Contraintes effectives suivant l'axe des abscisses :

Suivant le positionnement du point d'application de la charge entre 0 et 0,50 m, on constate : les contraintes effectives suivant l'axe des abscisses (σ'_{xx}) réduisent dans les deux intervalles : [9,75 m à 5,375 m] et [2,8061609 m à 1,5217413], et augmentent dans l'intervalle [4,8532587 m à 3,1875 m] et la cote 1,00 m si le point d'application de la charge est varié de 0 à 0,25 m et vice versa lorsque le point d'application de la charge est placé à 0,50 m. Les courbes de la figure IV.5d présentent une variation linéaire en fonction de la profondeur (y) à partir de la cote inférieure du sommet du colonne.

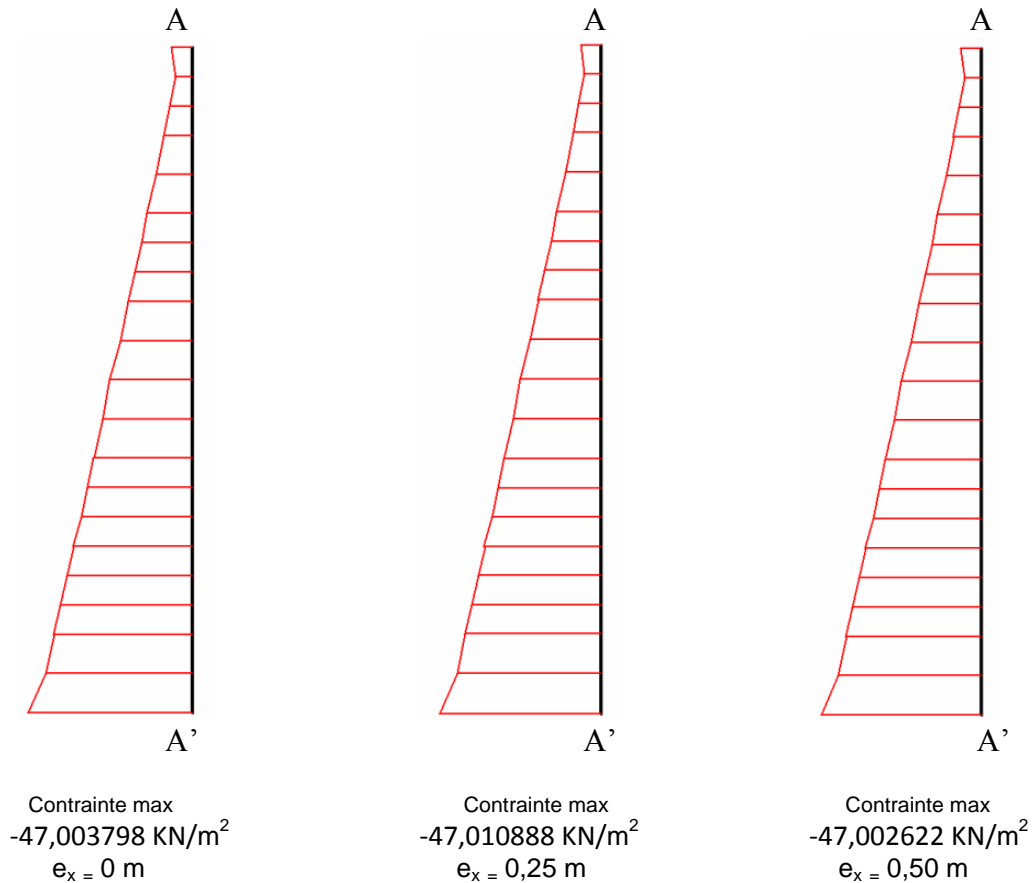


Figure IV.5d : Courbes des Contraintes dans la Colonne 2 suivant l'axe des abscisses selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec augmentation de rayon de radier

C.2. Contraintes effectives suivant l'axe des ordonnées :

Le changement du point d'application de la charge entre 0 et 0,50 m produit une variation alternée sur les valeurs des contraintes effectives suivant l'axe des ordonnées (σ'_{yy}). Ces dernières diminuent dans les deux intervalles [9,75 m à 5,375 m] et [2,8061609 m à 1,00 m], et augmentent dans l'intervalle [4,8532587 m à 3,1875 m] quand le point d'application de la charge est varié de 0 à 0,25 m, ainsi les contraintes tiennent le cas inverse dans les mêmes intervalles lorsque la charge appliquée est positionnée à 0,50 m. Les courbes de la figure IV.6d indiquent un changement linéaire en fonction de la profondeur (y) de la colonne.

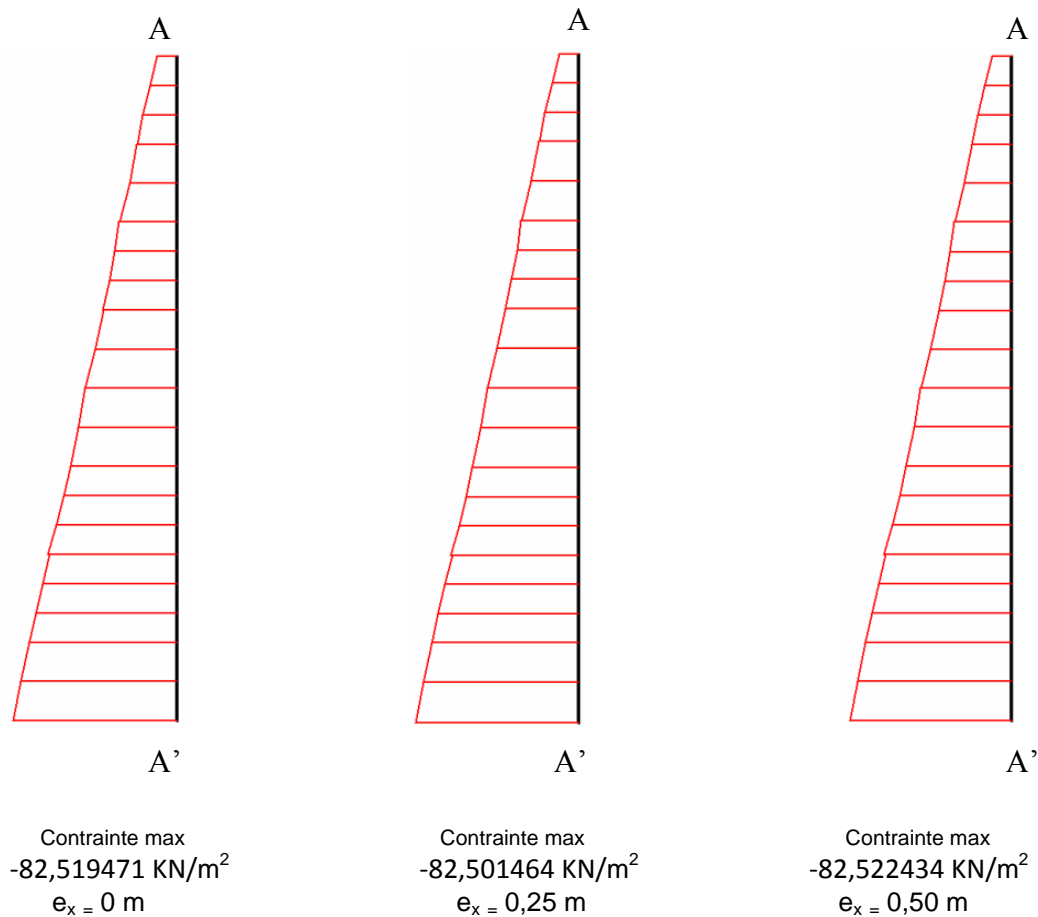


Figure IV.6d : Courbes des Contraintes dans la Colonne 2 suivant l'axe des ordonnées selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec augmentation de rayon du radier

C.3. Contraintes effectives dans le plan xy :

Selon l'emplacement du point d'application de la charge (excentricité) entre 0 et 0,50 m les contraintes effectives dans le plan xy ($\sigma'_{xy} = \sigma_{xy}$) maintiennent des variations alternées, Ces dernières réduisent dans les côtes et les intervalles suivants : 9,75 m, 8,0842413 m, 7,1811609 m, 5,8967413 m, [4,8532587 m à 4,3315174 m] et l'intervalle [3,5688391 m à 1,00 m], et augmentent dans les sections dont les côtes suivantes : 7,5625 m, 5,375 m, 3,9501783 m et sur la partie supérieure dont les limites des intervalles [9,3686609 m à 8,6059826 m] et [6,7998217 m à 6,4184826 m] si l'excentricité est variée de 0 à 0,25 m. Néanmoins, les mêmes contraintes effectives ($\sigma'_{xy} = \sigma_{xy}$) portent le cas opposé dans les côtes et les intervalles mentionnés ci-dessus lorsque l'excentricité est fixée à 0,50 m.

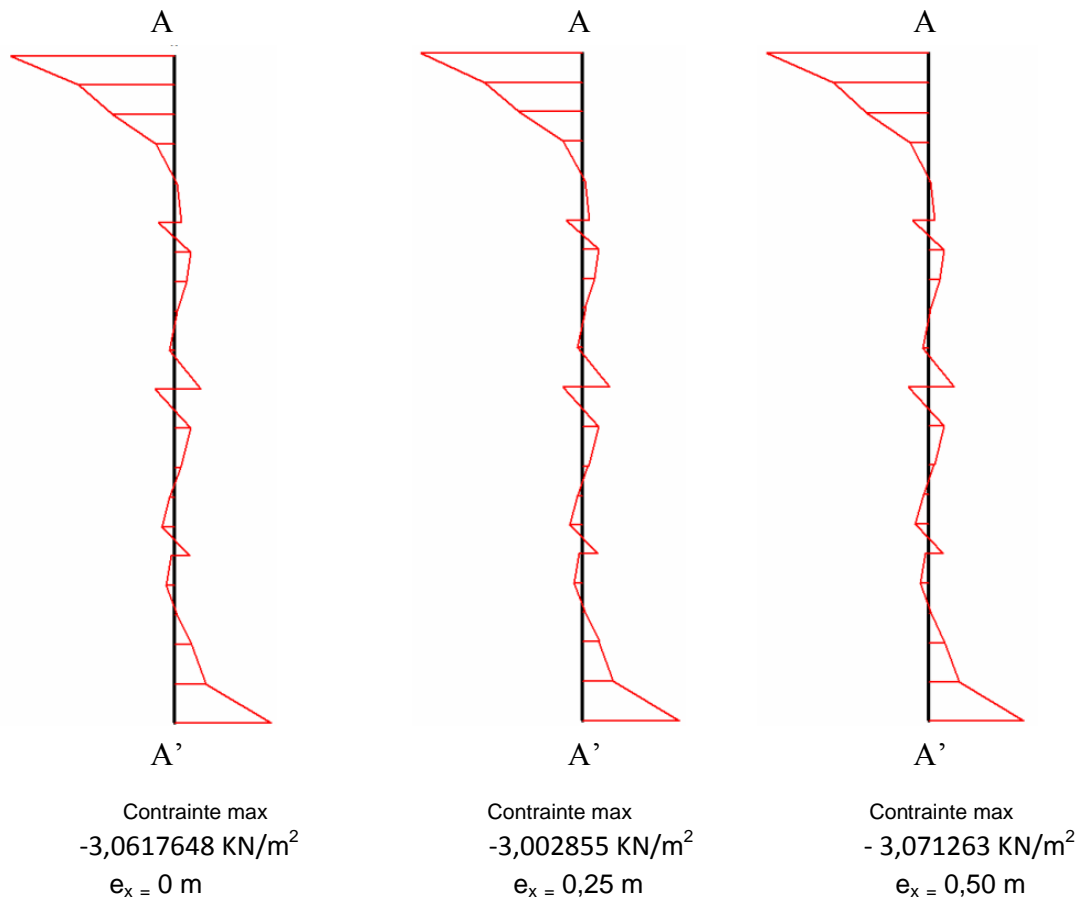


Figure IV.7d : Courbes des Contraintes dans la Colonne 2 dans le plan xy selon le point d'application de la charge (excentricité e_x)

D. Pressions Actives :

Le changement du point d'application de la charge (excentricité) entre 0 et 0,50 m incite une modification changée sur les valeurs des pressions actives. Ces dernières diminuent dans les deux intervalles [9,75 m à 5,375 m], [2,8061609 m à 1,5217413 m], et augmentent dans l'intervalle [4,8532587 m à 3,1875 m] et la côte 1,00 m lors de la variation du point d'application de la charge de 0 à 0,25 m. Ensuite les pressions actives tiennent le cas contraire dans les mêmes intervalles et côtes si la charge appliquée est positionnée sur le point 0,50 m. Les courbes de la figure IV.8d montrent une variation linéaire des pressions actives en fonction de la profondeur de la colonne.

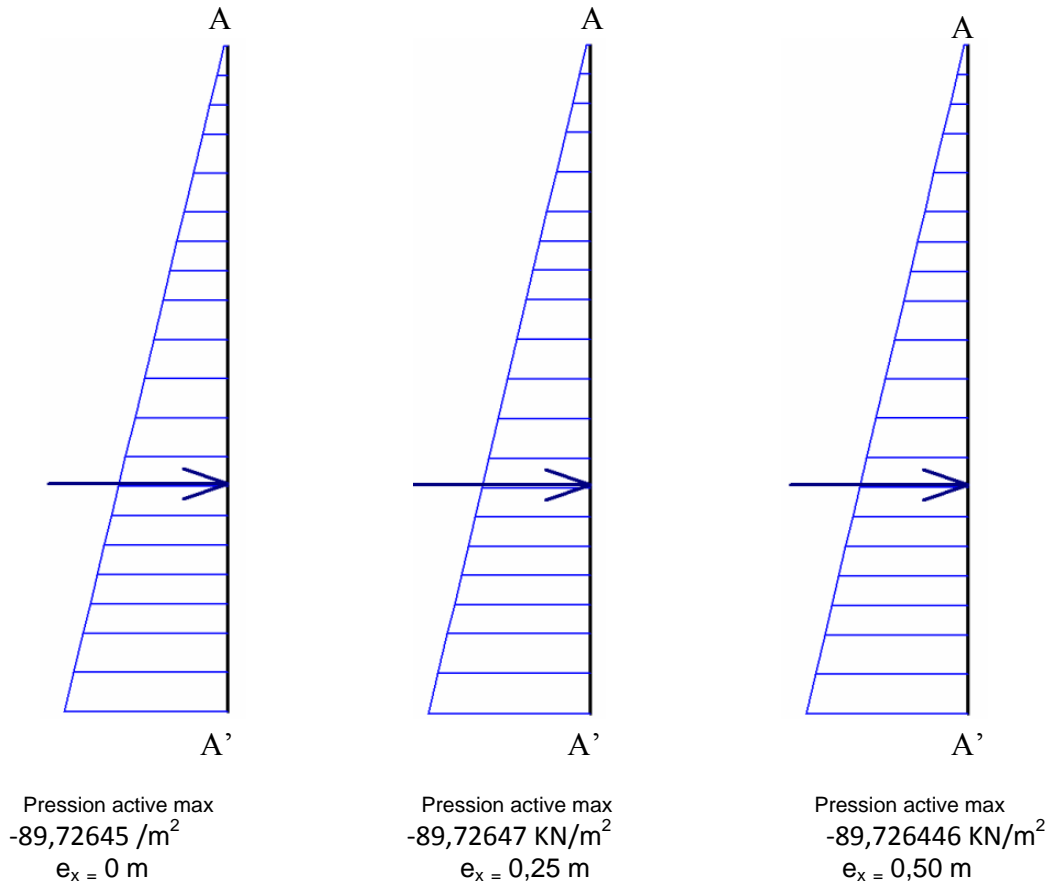


Figure IV.8d : Courbes des pressions actives dans la colonne 2 selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec augmentation de rayon de radier

IV.1.4.2. Analyse et interprétation des résultats de la colonne 1:

On constate d'après les résultats des figures d'augmentation de rayon de radier (IV.9d, IV.10d, IV.11d, IV.12d, IV.13d, IV.14d, IV.15d et IV.16d) et notamment les courbes qui représentent le comportement de la colonne 1 située à gauche de la charge :

A. Déplacement :

A.1. Déplacement Total :

La position du point d'application de la charge sur les trois points 0 ; 0,25 m et 0,50 m induit une diminution au sommet de la colonne (la côte 9,75m) quelque soit la variation de l'excentricité. Ainsi une variation alternée sur les valeurs des déplacements. Ces dernières diminuent sur la partie supérieure et intermédiaire dans les deux intervalles : [9,2233221 m à 8,6966442 m], [4,2408558 m à 3,1875 m] et la côte 1,00 m, et augmentent sur la partie supérieure dans l'intervalle [8,1295721 m à 4,8079279 m] et sur la partie inférieure dans l'intervalle [2,6608221 m à 1,5670721] quand le point d'application de la charge est située

sur les deux valeurs 0 et 0,25 m. Le cas contraire est enregistré sur les mêmes parties, intervalles et côtes si le point d'application de la charge est égale à 0,50m.

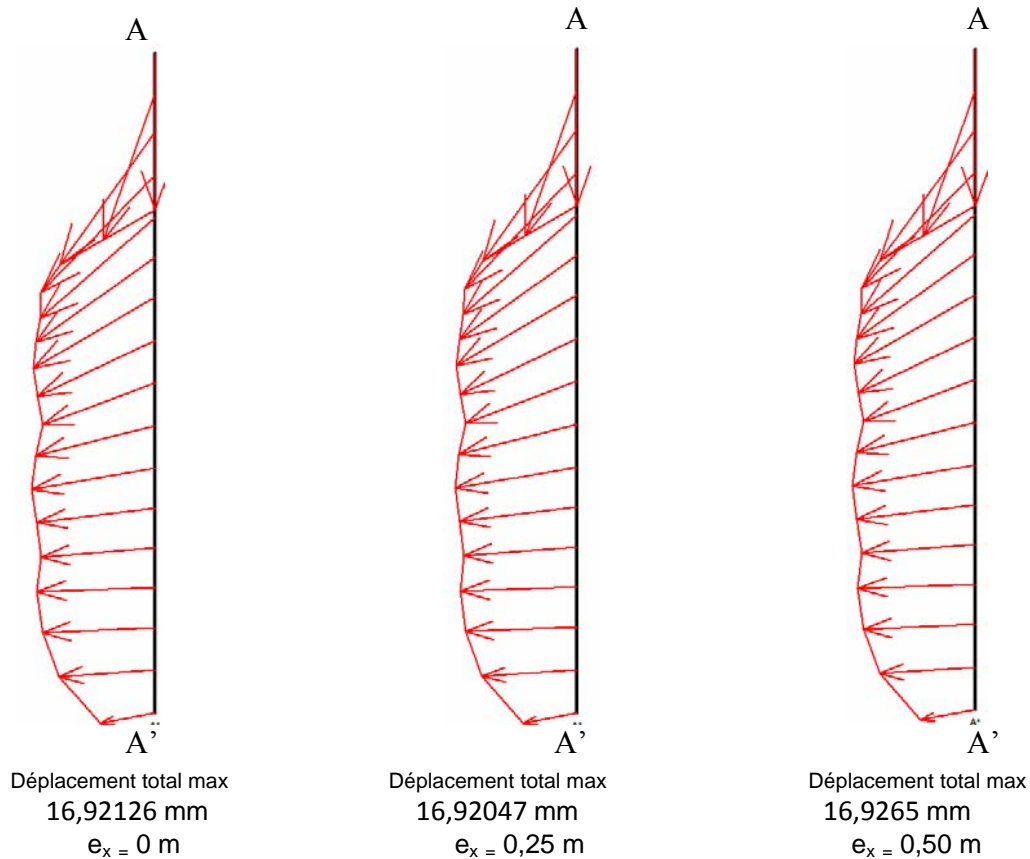


Figure IV.9d : Courbes de Déplacement dans la Colonne 1 selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec augmentation de rayon de radier

B. Déformations :

B.1. Déformations suivant l'axe des abscisses :

Suivant la position du point d'application de la charge (excentricité) entre 0 et 0,50 m les déformations suivant l'axe des abscisses (ϵ_{xx}) diminuent au sommet de la colonne à la côte 9.75 m quelques soit la valeur de l'excentricité. Ensuite, lorsque l'excentricité est variée de 0 à 0,25 m, on a marqué une réduction sur les mêmes déformations dans la côte:9,2233221 m et les deux intervalles: [4,8079279 m à 4,2408558 m] et [3,1875m à1,5670721m], et une augmentation dans l'intervalle: [8,6966442 m à 5,375 m] et les deux côtes : 3,7141779 m, 1,00 m. Par contre quand l'excentricité est fixée à 0,50 m, on a enregistré le cas inverse dans les mêmes côtes et intervalles.

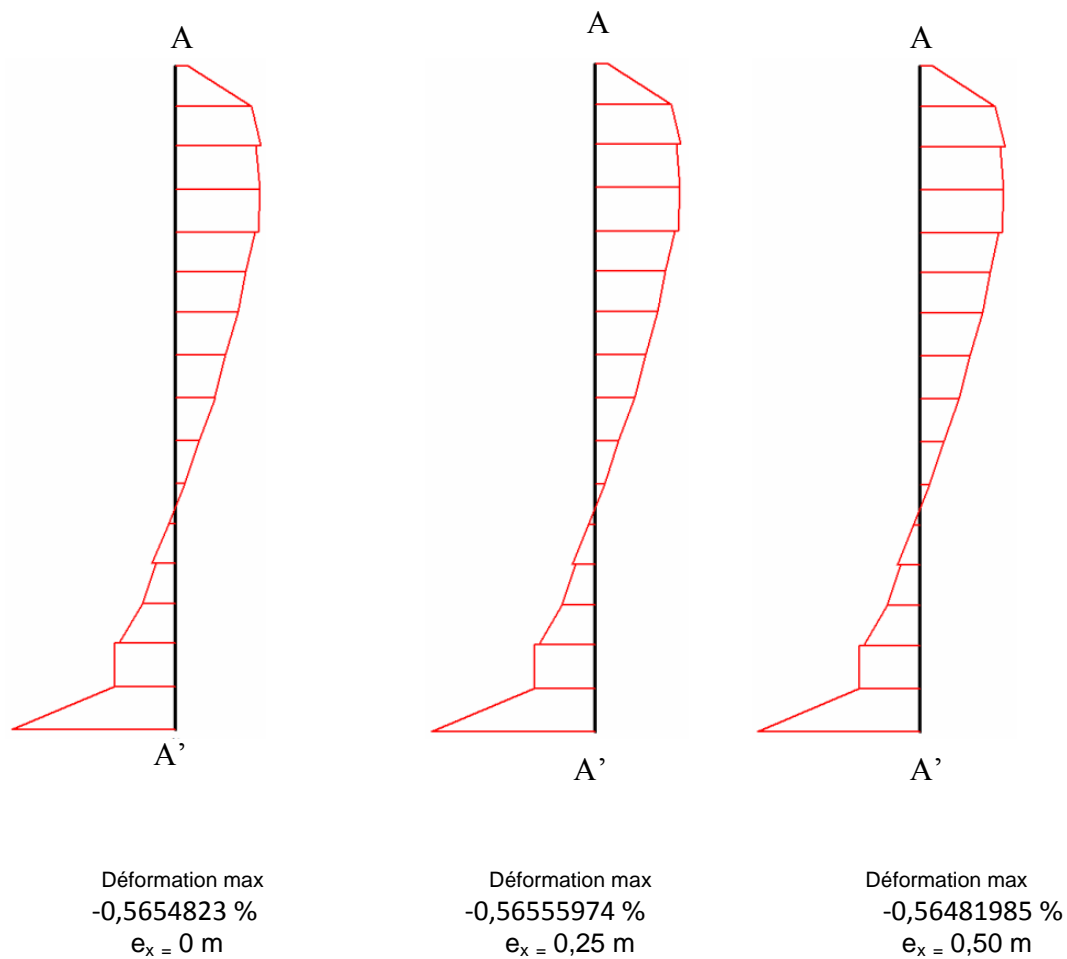


Figure IV.10d : Courbes de Déformation dans la Colonne 1 suivant l'axe des abscisses selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec augmentation de rayon de radier

B.2. Déformations suivant l'axe des ordonnées :

Les déformations suivant l'axe des ordonnées (ϵ_{yy}) tiennent des variations alternées lors de changement du point d'application de la charge (excentricité) entre 0 et 0,50 m. Ces dernières diminuent dans les intervalles ultérieurs: [9,2233221m à 8,1295721m],[6,5091442 m à 5,9420721 m], [4,8079279 m à 3,7141779 m] et [2,1341442 m à 2,1341442 m], et augmentent dans les côtes et les intervalles suivants: 9,75 m, 5,375 m, [7,5625 m à 6,5091442 m], [3,1875 m à 2,6608221 m], [1,5670721 m à 1,00 m] si la charge appliquée est positionnée entre 0 et 0,25 m et vice versa lorsque cette dernière est mis à 0,50m.

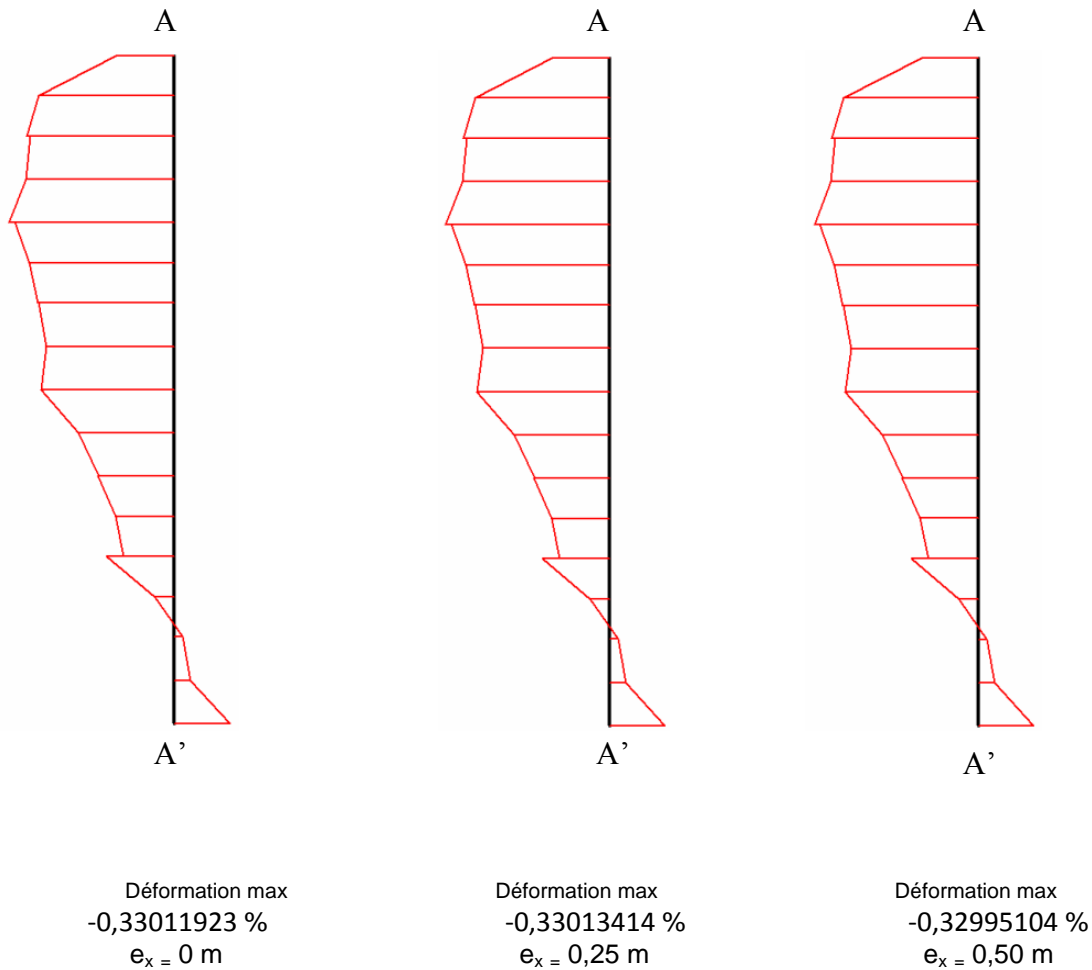


Figure IV.11d : Courbes de Déformation dans la Colonne 1 suivant l'axe des ordonnées selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec augmentation de rayon de radier

B.3. Déformations dans le plan xy :

Selon le positionnement du point d'application de la charge entre 0 et 0,50 m, les déformations dans le plan xy (ϵ_{xy}) augmentent dans les intervalles et les côtes suivants: [9,75m à 8,6966442 m], [4,8079279 m à 4,2408558 m], [3,1875 m à 2,1341442 m], 7,5625 m, 7,0358221 m, et la côte 1,00 m, et diminuent sur les sections dont les valeurs des intervalles et côtes ultérieurs : [6,5091442m à 5,375 m], 8,1295721 m, 3,7141779 m, 1,5670721 m si l'excentricité est située sur les points 0 et 0,25 m. Le cas contraire est observé dans les mêmes intervalles et côtes quand la charge appliquée est mis à 0,50m.

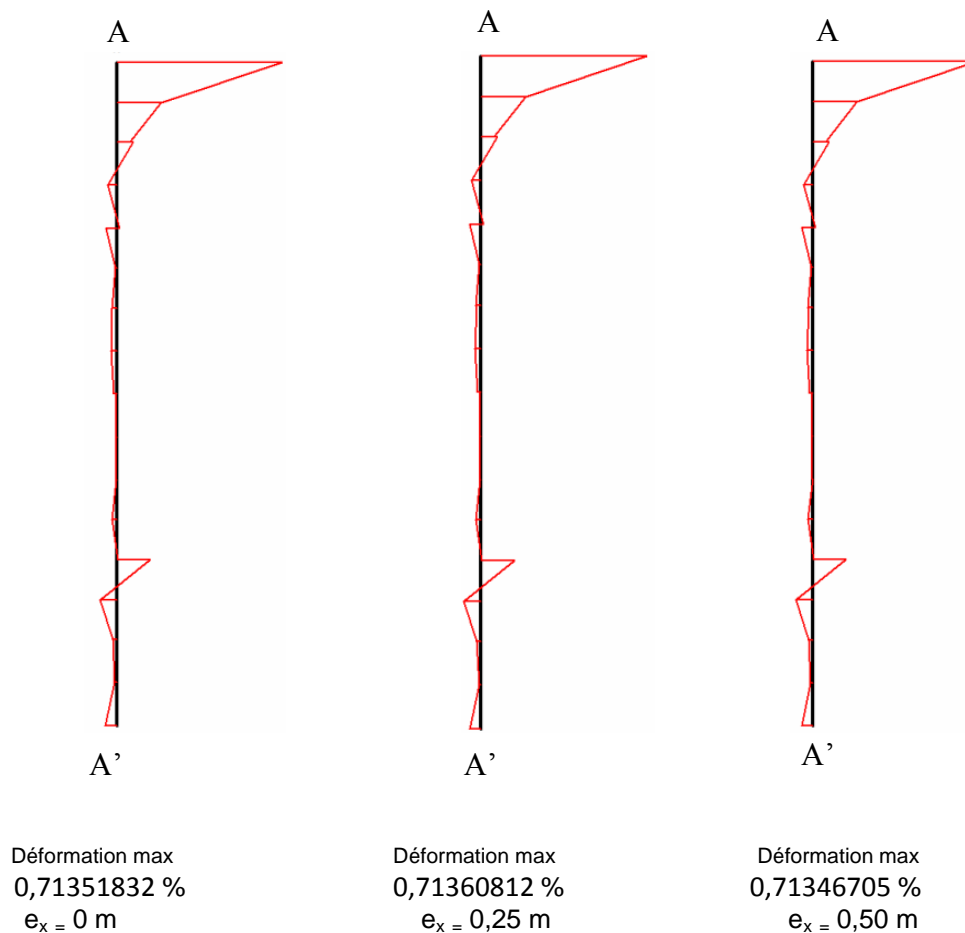


Figure IV.12d : Courbes de Déformation de la Colonne 1 dans le plan xy selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec augmentation de rayon de radier

C. Contraintes :

C. 1. Contraintes suivant l'axe des abscisses :

On a observé une variation alternée lors de changement du point d'application de la charge entre 0 et 0,50 m sur les valeurs des contraintes effectives suivant l'axe des abscisses (σ'_{xx}). Ces dernières réduisent dans l'intervalle et les deux côtes suivants : [9,2233221 m à 5,375 m], 2,1341442 m et 1,5670721 m, et augmentent au sommet et à la base de la colonne dans les côtes : 9,75 m, 1,00 m et l'intervalle [4,8079279 m à 2,6608221 m] si l'excentricité est variée de 0 à 0,25 m. Par ailleurs, le cas opposé est enregistré sur les mêmes intervalles et côtes. Les courbes de la figure IV.13d présentent une variation linéaire selon la profondeur de la colonne.

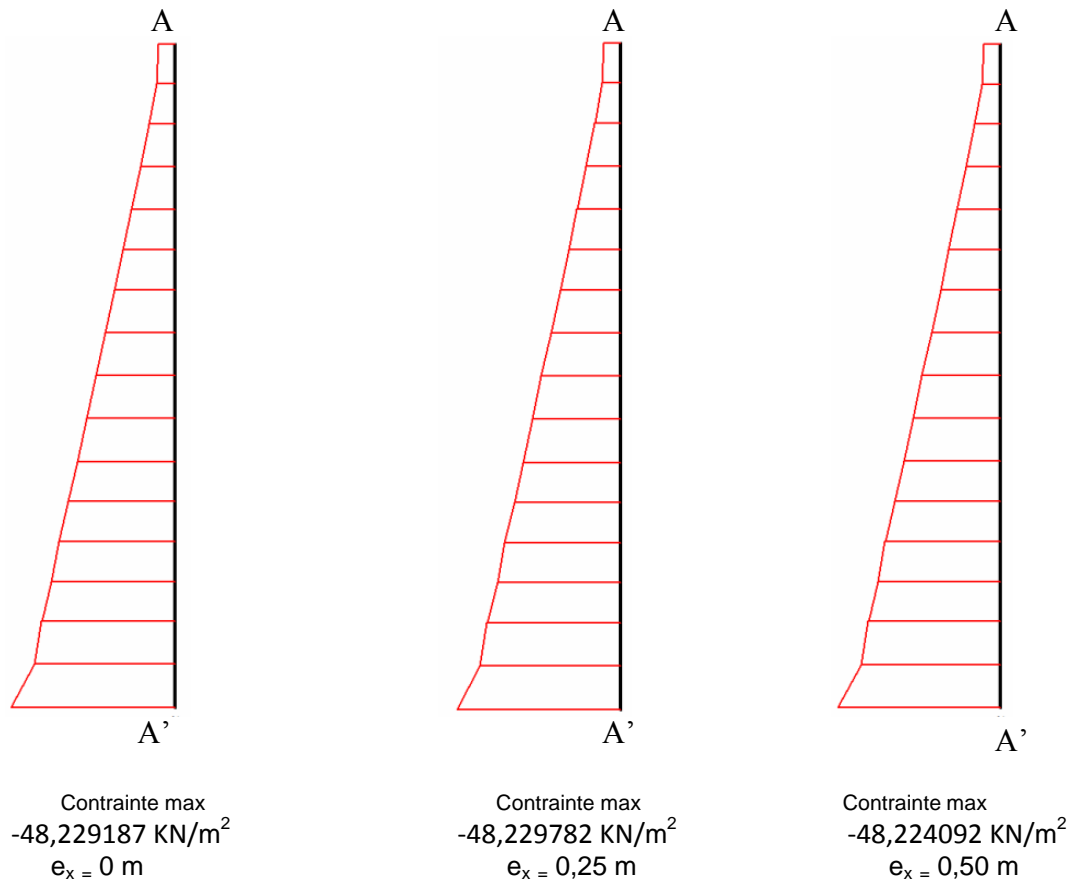


Figure IV.13d : Courbes des Contraintes dans la Colonne 1 suivant l'axe des abscisses selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec augmentation de rayon de radier

C. 2. Contraintes suivant l'axe des ordonnées :

Suivant le changement du point d'application de la charge entre 0 et 0,50 m les contraintes suivant l'axe des ordonnées (σ'_{yy}) augmentent dans les côtes 9,75 m, 7,5625 m et l'intervalle [5,375 m à 3,1875 m], et diminuent les intervalles suivants : [9,2233221 m à 8,1295721 m], [7,0358221 m à 5,9420721 m] et [2,6608221 m à 1,00m]. Dans les mêmes intervalles et les côtes citées ci -dessus les contraintes suivant l'axe des ordonnées (σ'_{yy}) prennent le cas contraire lorsque l'excentricité est égale à 0,50 m. Les courbes de la figure IV.14 d indiquent une variation linéaire selon la profondeur de la colonne.

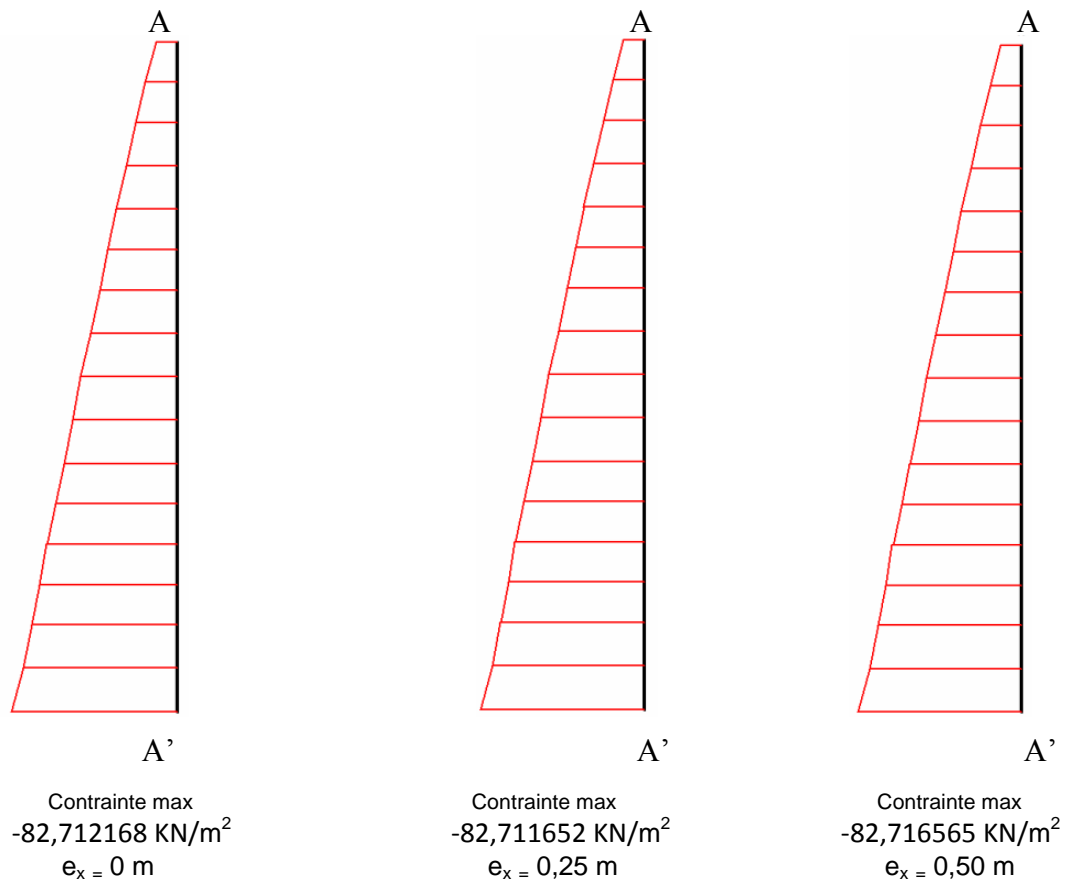


Figure IV.14d : Courbes des Contraintes dans la Colonne1 suivant l'axe des ordonnées selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec augmentation de rayon de radier

C.3. Contraintes effectives dans le plan xy :

Les résultats extraient à partir de changement de l'emplacement de la charge appliquée sur les trois valeurs d'excentricités : 0 ; 0,25 m ; 0,50 m montrent que les contraintes effectives dans le plan xy ($\sigma'_{xy} = \sigma_{xy}$) varient d'une manière alternées le long de la colonne. Ces dernières, augmentent sur la partie supérieure dans l'intervalle [9,75 m à 8,6966442 m] et la côte 7,0358221 m, sur la partie intermédiaire dans l'intervalle [4,8079279 m à 4,2408558 m] et sur la partie inférieure dans l'intervalle [3,1875 m à 2,1341442 m], et diminuent sur la partie supérieure dans les deux côtes 8,1295721m,7,5625 m, sur la partie intermédiaire dans l'intervalle [6,5091442 m à 5,375 m] et sur la partie inférieure dans les côtes suivants :3,7141779 m, 1,5670721 m et la côte 1,00 m si l'excentricité est variée de 0 à 0,25 m. En revanche, si l'excentricité est égale 0,50 m les contraintes effectives dans le plan xy ($\sigma'_{xy} = \sigma_{xy}$) ont le cas opposé sur les mêmes parties, dans les mêmes intervalles et dans les mêmes côtes.

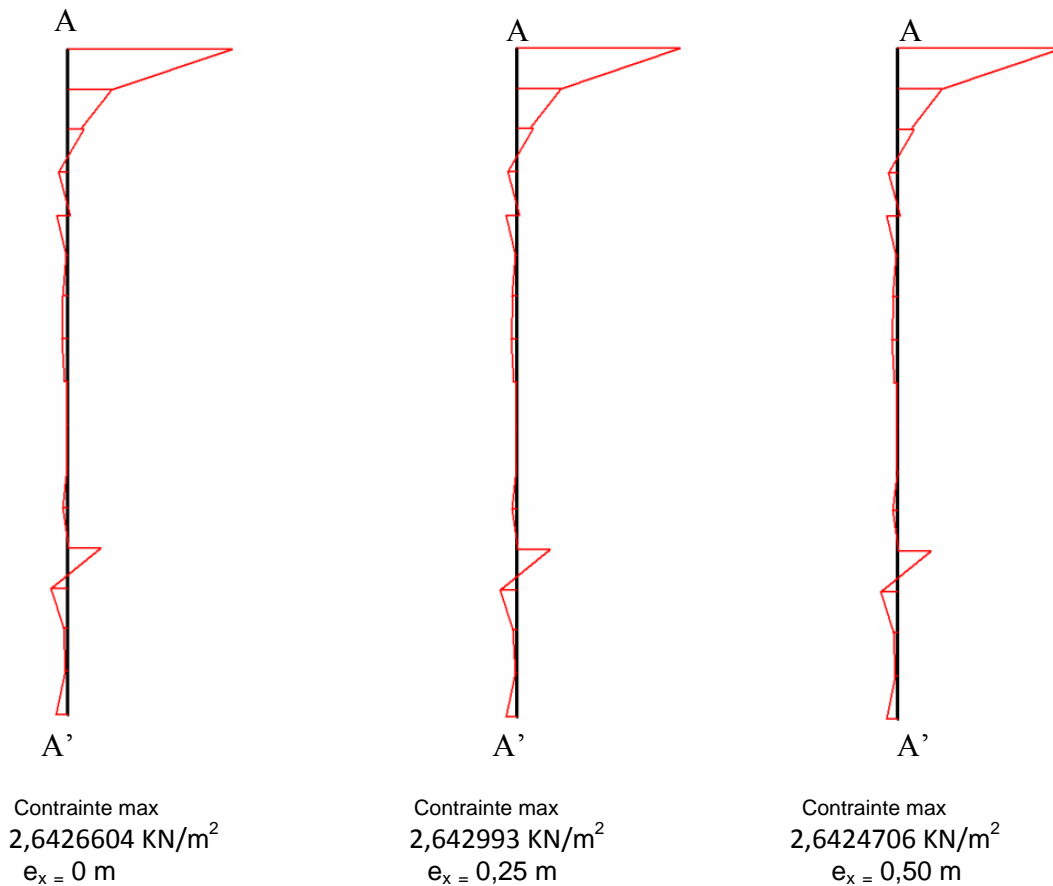


Figure IV.15d : Courbes des Contraintes dans la Colonne 1 dans le plan xy selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec augmentation de rayon de radier

D. Pressions Actives :

Les valeurs des pressions actives réduisent en trois intervalles suivants : [9,2233221 m à 8,1295721 m], [7,0358221 m à 5,9420721 m], [2,6608221 m à 1,00], et augmentent en deux côtés :9,75 m, 7,5625 m et un l'intervalle : [5,375 m à 3,1875 m] lorsque l'excentricité est variée de 0 à 0,25 m. Dans le cas où l'excentricité est égale à 0,50 m les pressions actives observent le cas inverse en mêmes intervalles et côtés. On a perçu d'après les courbes de la figure IV.16d un accroissement des pressions actives selon la variation de la profondeur (y) de la colonne d'une manière linéaire.

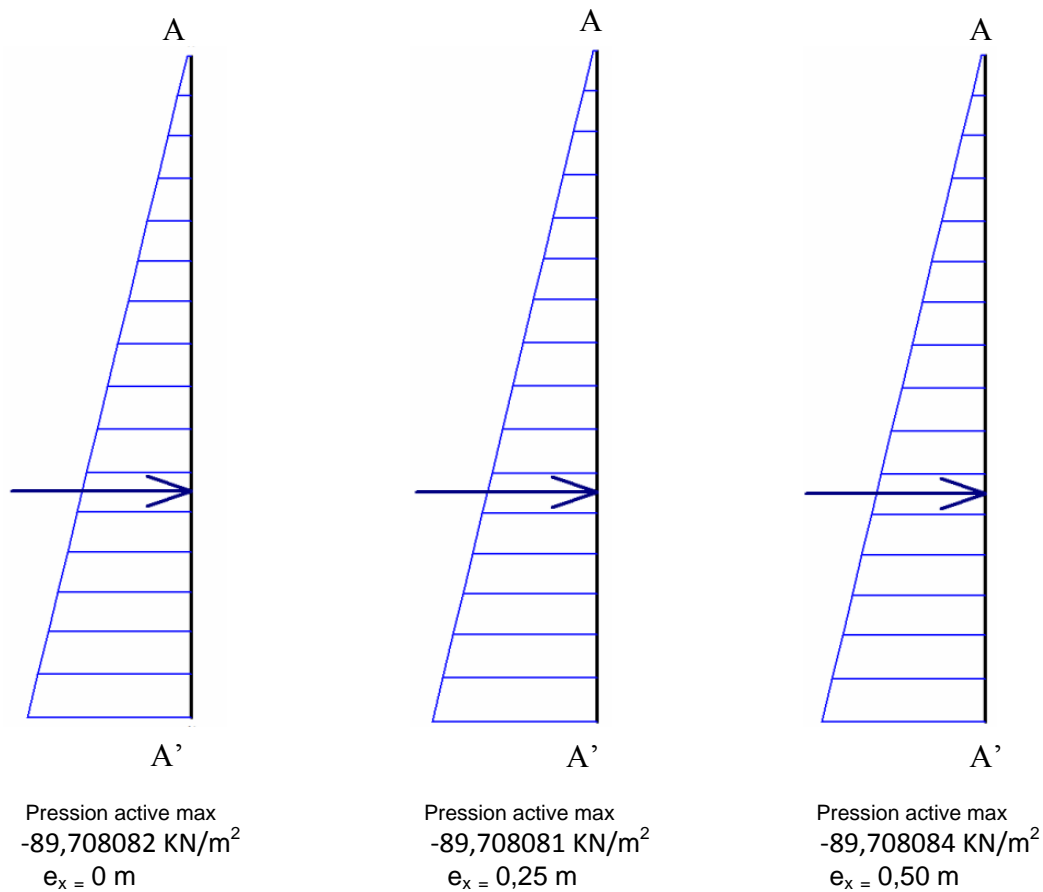


Figure IV.16d : Courbes des pressions actives dans la colonne 1 selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec augmentation de rayon de radier

IV.1.4.3. Conclusion des résultats des colonnes 1 et 2 et leurs interprétations :

On a enregistré les mêmes causes plausibles de la variation des résultats entre la colonne 2 (figures : IV.1d, IV.2d, IV.3d, IV.4d,5d, IV.6d, IV.7d et IV.8d) et la colonne 1 (figures : IV.9d, IV.10d, IV.11d, IV.12d, IV.13d, IV.14d, IV.15d et IV.16d) citées dans la partie : influence du point d'application de la charge (excentricité) sur le comportement des colonnes (Pages 66 et 67) .

Les résultats et les courbes extraits à partir de notre calcul figurent le comportement des deux colonnes 1 et 2 pendant le changement de rayon du radier augmenté de 2,00 m à 2,50 m et le point d'application de la charge appliquée. Ces derniers incitent une élévation sur les valeurs des déplacements dans la partie supérieure et une réduction dans les deux parties intermédiaire et inférieure en colonne 1. Pour la colonne 2, ils provoquent une amplification sur les quatre premières côtes et une diminution dans le restant de la profondeur (y) du colonne.

Concernant les déformations suivant l'axe des abscisses (ϵ_{xx}) de la colonne 2, elles ont augmenté sur la partie supérieure et ont diminué au sommet de la colonne et sur les deux

parties intermédiaire et inférieure. En colonne 1, les déformations (ϵ_{xx}) ont connu une réduction sur les trois premières côtes et sur la partie inférieure, sauf la dernière côte où elles ont amplifié sur une partie de la partie supérieure et la partie intermédiaire. Pour les déformations suivant l'axe des ordonnées (ϵ_{yy}), elles ont augmenté sur toute la profondeur de la colonne 2, mais on a enregistré une diminution au sommet et à la base de la colonne. Dans la colonne 1, les mêmes déformations (ϵ_{yy}) ont diminué au sommet et dans les quatre dernières côtes et ont augmenté sur la différence de la profondeur de la colonne. Dans le plan xy, les déformations (ϵ_{xy}) ont observé un accroissement sur la plupart des sections de la colonne 2, seulement on a observé une réduction au sommet et sur une partie de la partie intermédiaire. Toutefois, dans la colonne 1, elles ont été réduites sur une portion de la partie supérieure et au sommet de la colonne, Parfois les déformations (ϵ_{xy}) ont augmenté et d'autrefois ont diminué sur le reste des sections.

Concernant les contraintes suivant les axes des abscisses (σ'_{xx}) et ordonnées (σ'_{yy}), elles ont augmenté le long des deux colonnes. Dans le plan xy, les contraintes ($\sigma'_{xy} = \sigma_{xy}$) ont amplifié sur la profondeur de la colonne 2. Uniquement on a observé une réduction dans trois côtes situées sur la partie supérieure. En revanche, dans la colonne 1 les valeurs maximales ont diminué au sommet de la colonne, ensuite les contraintes ($\sigma'_{xy} = \sigma_{xy}$) ont tenue une variation non uniforme, des fois une diminution et d'autres fois une augmentation.

Les pressions actives ont diminué le long de la profondeur des deux colonnes 1 et 2 sous l'effet de l'augmentation de rayon du radier.

Les colonnes 1 et 2 ont maintenu des variations sur les résultats des (déplacements, déformations, contraintes et pressions actives). Ces dernières sont obtenues suite au changement de rayon de radier augmenté de 2,00 m à 2,50 m.

D'une part, d'une manière croissante sur les valeurs des déplacements dans la partie supérieure et dans certaines côtes situées sur la partie supérieure, sur les valeurs des déformations suivants l'axe des abscisses (ϵ_{xx}) dans la partie supérieure et intermédiaire. Pour les autres déformations suivant l'axe des ordonnées (ϵ_{yy}), on a observé une augmentation presque le long de la profondeur, et parfois sur les parties supérieure, intermédiaire et sur quelques sections de la partie inférieure. Et dans le plan xy, les déformations (ϵ_{xy}) ont augmenté sur plusieurs sections des colonnes. Concernant les différentes contraintes, on a enregistré un accroissement le long de la profondeur des deux colonnes, particulièrement les contraintes dans le plan xy ont augmenté pratiquement le long de la profondeur et des fois ont pris des variation non uniformes dans quelques sections ;

Et d'autre part, Elles ont portés également d'une manière décroissante dans les valeurs des pressions actives le long de la profondeur des colonnes dans les parties intermédiaires, inférieure, et autre temps presque le long de la profondeur des colonnes pour les déplacements, les déformations et dans quelques sections pour les contraintes dans le plan xy. Enfin, on a conclu que la variation enregistrée dans les résultats (déplacements, déformations, contraintes et pressions actives) est relative au paramètre de l'augmentation de rayon de radier.

IV.1.4.4. Analyse et interprétation des résultats de la colonne 4:

On constate d'après les résultats des figures d'augmentation de rayon de radier (*IV.17d, IV.18d, IV.19d, IV.20d, IV.21d, IV.22d, IV.23d et IV.24d*) et notamment les courbes qui représentent le comportement de la colonne 4 située à droite de la charge :

A. Déplacement :

A.1. Déplacement Total :

Suite au changement du point d'application de la charge entre 0 et 0,50 m, les déplacements augmentent dans les intervalles et les côtes dont l'ordre décroissante [9,253297 m à 8,3585627 m], 7,065797 m, [4,9769687 m à 3,684203 m], et diminuent dans les côtes et les intervalles suivants : 9,75 m, [7,9605313 m à 7,5625m], [6,569094 m à 5,375m], [3,1875 m à 1,00m] quand la charge appliquée est située sur les deux valeurs d'excentricités 0 et 0,25 m. Ces dernières connaissent le cas opposé si la charge appliquée est située à 0,50 m. On a perçu à partir des courbes de la figures *IV.17d* une croissance des déplacements jusqu'à l'atteinte d'une valeur maximale, puis ils réduisent jusqu'à la base de la colonne.

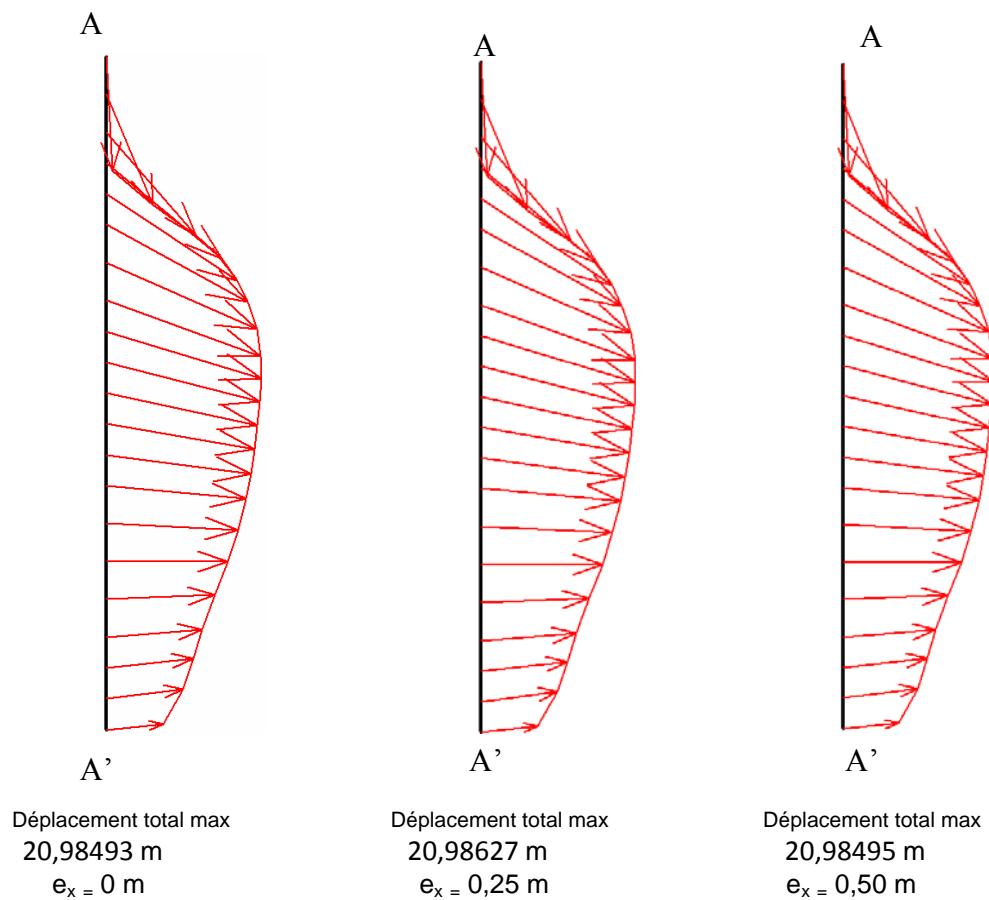


Figure IV.17d : Courbes de Déplacement dans la Colonne 4 selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec augmentation de rayon de radier

B. Déformations :

B.1. Déformations suivant l'axe des abscisses :

Les déformations suivant l'axe des abscisses (ϵ_{xx}) amplifient dans les sections dont les intervalles et les côtes ultérieurs : [9,75 m à 8,756594 m], 5,7730313 m, 5,375 m, [3,1875 m à 1,00 m], et diminuent dans les deux intervalles : [8,3585627 m à 6,1710627 m] et [4,9769687 m à 3,684203 m] quand la charge appliquée est placée sur les deux excentricités 0 et 0,25 m. Dans les mêmes intervalles et côtes les déformations maintiennent le cas contraire lorsque l'excentricité est égale à 0,50 m.

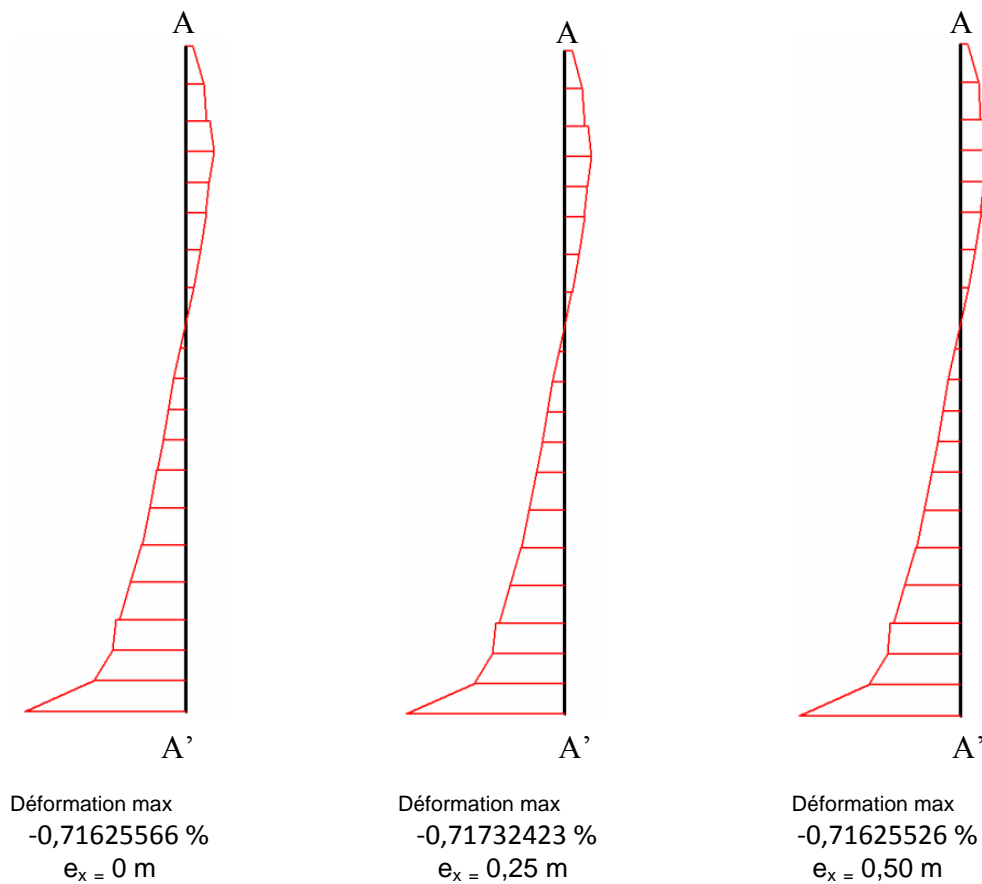


Figure IV.18d : Courbes de Déformation dans la Colonne 4 suivant l'axe des abscisses selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec augmentation de rayon de radier

B.2. Déformations suivant l'axe des ordonnées:

La modification du point d'application de la charge entre 0 et 0,50 m induisant une variation alternée sur les valeurs de déformations suivant l'axe des ordonnées (ϵ_{yy}), ces dernières augmentent sur la partie supérieure dans l'intervalle [9,75 m à 8,756594 m] et l'intervalle [4,9769687 m à 3,684203 m] et sur la partie intermédiaire dans la côte 1,3980313 m et la côte 1,00 m, si la charge est mise sur les deux excentricités 0 et 0,25 m. Le cas opposé est enregistré lorsque la charge est appliquée sur le point 0,50 m dans les mêmes intervalles et côtes citées ci-dessus.

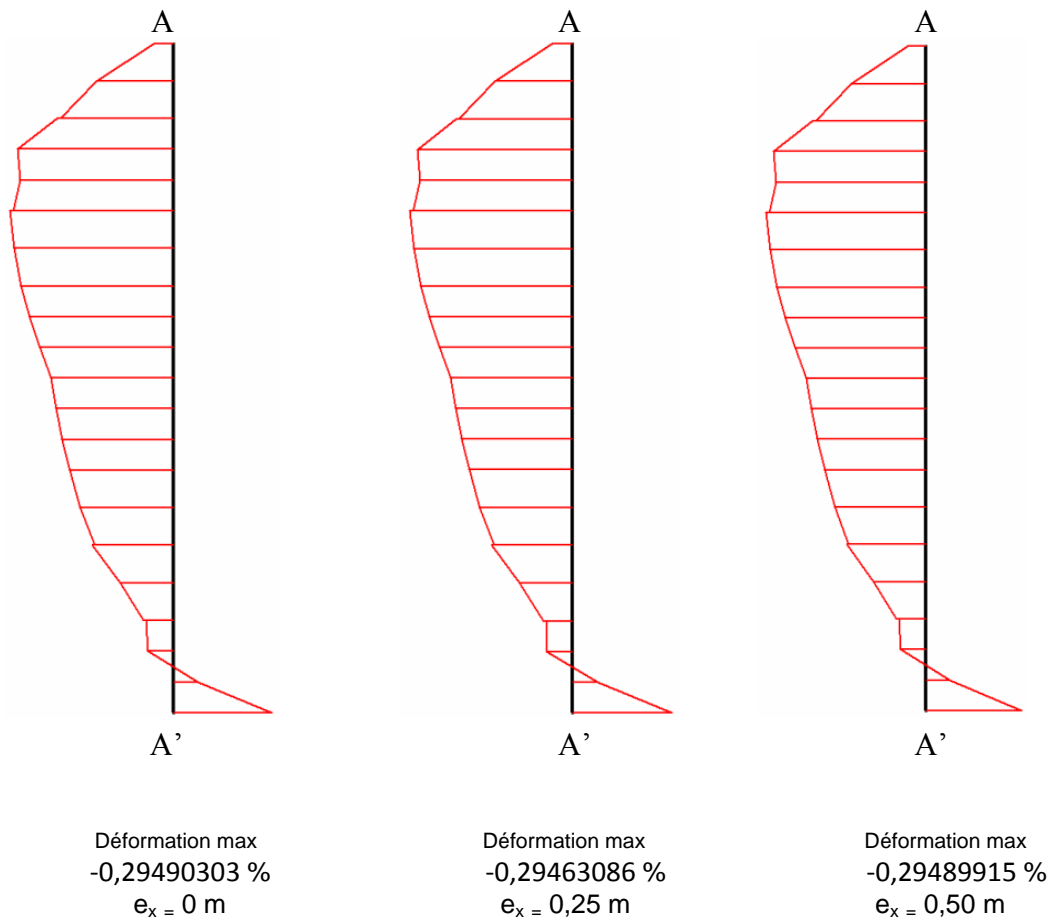


Figure IV.19d : Courbes de Déformation dans la Colonne 4 suivant l'axe des ordonnées selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec augmentation de rayon de radier

B.3. Déformations dans le plan xy :

Un changement alterné sur les valeurs de déformations dans le plan xy (ϵ_{xy}) est enregistré lors de la variation de la charge appliquée entre les trois excentricités 0 ; 0,25 m et 0,50 m. L'augmentation des déformations (ϵ_{xy}) est localisée dans les intervalles et côtes suivants : la côte 9,75 m, l'intervalle [7,9605313 m à 5,7730313 m], la côte 1,7960627 m et la côte 1,3980313 m, et la diminution de ces dernières est limitée dans d'autres intervalles et d'autres côtes : [9,253297 m à 8,3585627 m], [5,375 m à 2,194094 m] et la côte 1,00 m quand l'excentricité est égale à 0 et 0,25 m. Par contre, lorsque la charge est appliquée à 0,50 m les déformations (ϵ_{xy}) conservent le cas contraire dans les mêmes intervalles et côtes mentionnés ci-dessus.

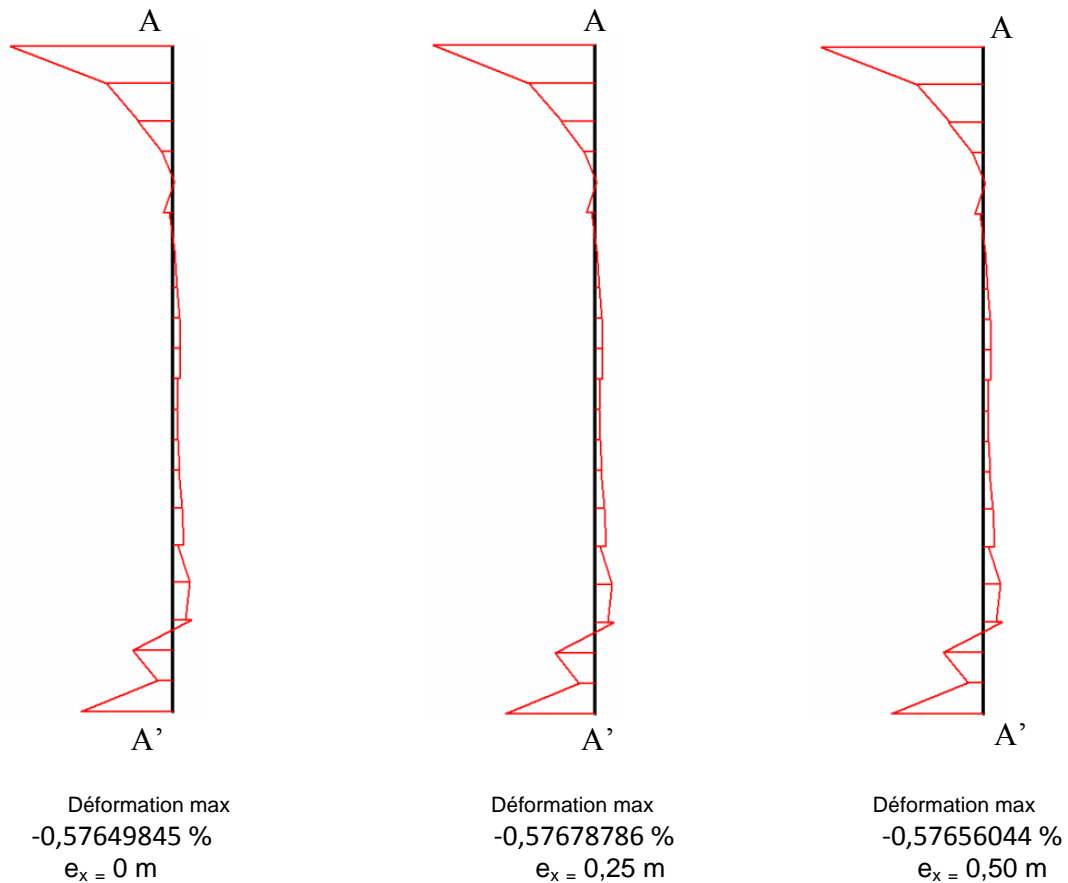


Figure IV.20d : Courbes de Déformation dans la Colonne 4 dans le plan xy selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec augmentation de rayon de radier

C. Contraintes :

C.1. Contraintes suivant l'axe des abscisses :

Les contraintes effectives suivant l'axe des abscisses (σ'_{xx}) saisissent des variations alternées sous l'effet de changement du point d'application de la charge entre 0 et 0,50 m. L'augmentation des contraintes effectives est affichée sur les parties supérieure, intermédiaire et inférieure dans les deux intervalles suivants : [9,75 m à 5,375 m], [2,690797 m à 1,3980313 m], et la diminution est notée sur la partie inférieure dans l'intervalle [4,9769687 m à 3,1875 m] et la côte 1,00 m si la charge est appliquée sur les deux excentricités dont les valeurs 0 et 0,25 m et vice versa si la charge est placée à 0,50 m. Les courbes de chaque excentricité de la figure IV.21d définissent une variation linéaire suivant la variation de la profondeur (y) de la colonne.

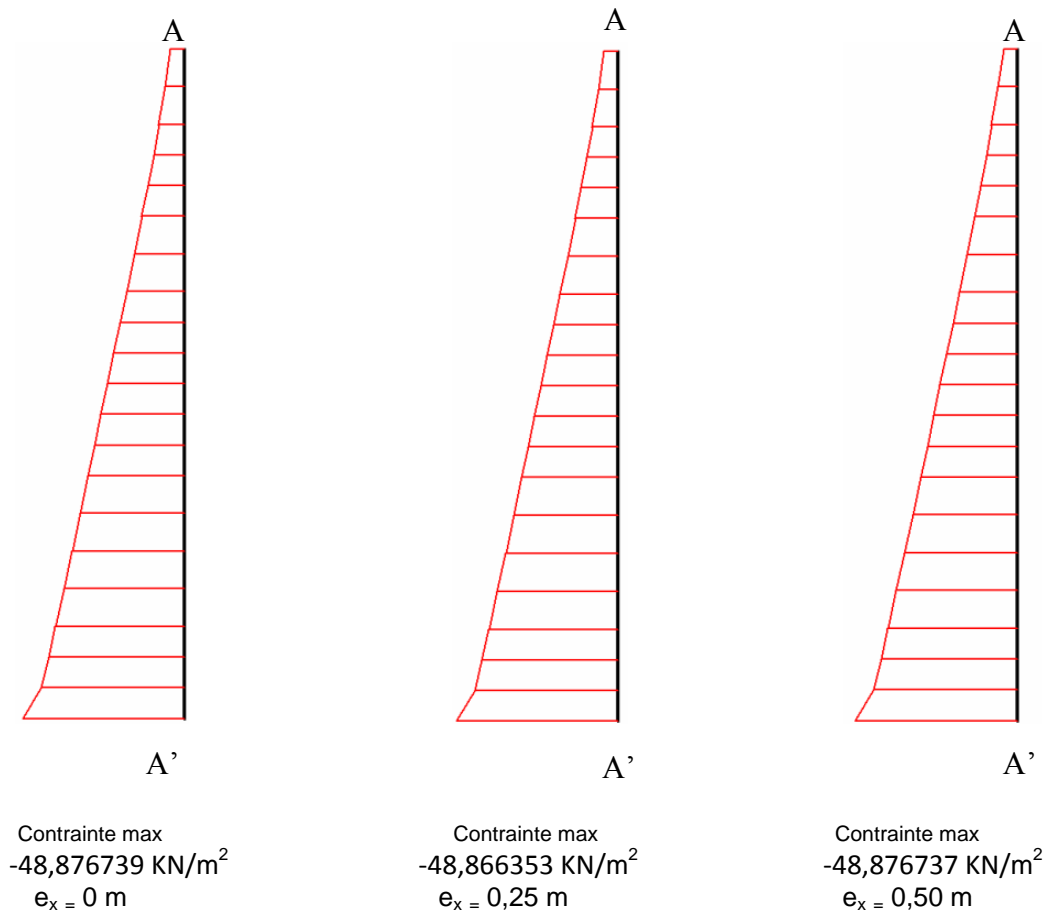


Figure IV.21d : Courbes des Contraintes dans la Colonne 4 suivant l'axe des abscisses selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec augmentation de rayon de radier

C.2. Contraintes suivant l'axe des ordonnées :

Les contraintes effectives suivant l'axe des ordonnées (σ'_{yy}) augmentent sur les parties supérieure, intermédiaire et inférieure dans les intervalles : [9,75 m à 5,7730313 m] et [2,690797 m à 1,3980313 m] et diminuent sur la partie intermédiaire dans l'intervalle [5,375 m à 3,1875 m] et sur la partie inférieure dans la cote 1,00 m lorsque le point d'application de la charge est variée entre 0 et 0,25 m. Par contre, quand le point d'application de la charge est égal à 0,50 m les contraintes effectives (σ'_{yy}) décrivent le cas contraire cité ci-dessus. Ces dernières varient d'une manière linéaire selon l'évolution de la profondeur (y) de la colonne, ce constat est illustré dans les courbes de la figure IV.22d .

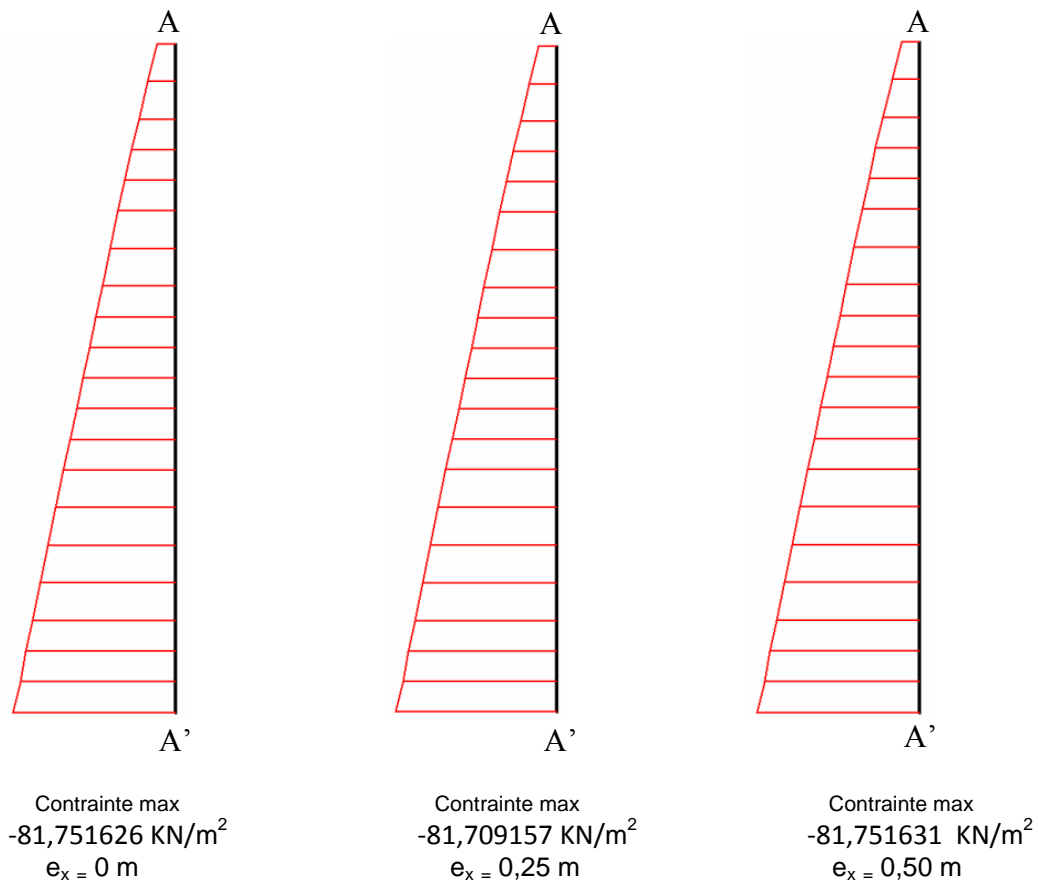


Figure IV.22d : Courbes des Contraintes dans la Colonne4 suivant l'axe des ordonnées selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec augmentation de rayon de radier

C.3. Contraintes dans le plan xy :

Selon la position du point d'application de la charge entre 0 et 0,50m les contraintes effectives dans le plan xy ($\sigma'_{xy} = \sigma_{xy}$) donnent une variation alternée, ces dernières diminuent dans les intervalles et côtes ultérieurs: l'intervalle [9,253297 m à 8,3585627 m], l'intervalle [5,375 m à 2,194094 m] et à la côte 1,00 m, et augmentent dans l'intervalle [7,9605313 m à 5,7730313 m], et les côtes : 9,75 m, 1,7960627 m et la côte 1,3980313 m au moment de changé l'excentricité de 0 à 0,25 m et vice versa si l'excentricité est égale à 0,50 m.

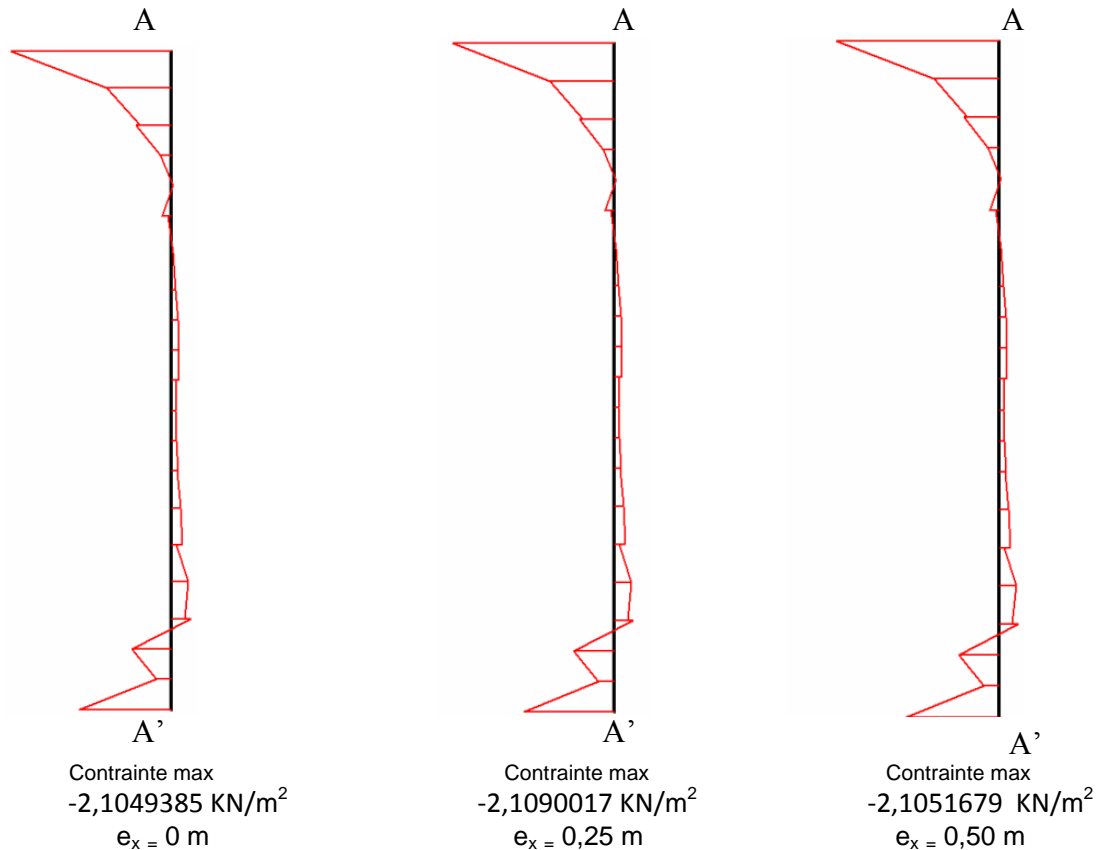


Figure IV.23d : Courbes des Contraintes dans la Colonne 4 dans le plan xy selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec augmentation de rayon de radier

D. Pressions Actives :

Lors de la variation du point d'application de la charge entre 0 et 0,50 m, on constate: une augmentation sur les valeurs des pressions actives dans les intervalles suivants : [8,756594 m à 7,5625 m], [6,569094 m à 5,375 m], [2,690797 m à 1,00 m], ainsi une diminution est enregistrée dans la côte 7,065797 m et l'intervalle [4,9769687 m à 3,1875 m] quand la charge est appliquée sur les deux excentricités 0 et 0,25 m. En revanche, lorsque la charge est située sur la troisième valeur d'excentricité 0,50 m les pressions actives atteignent les mêmes valeurs de la première excentricité 0,00. Néanmoins, on a distingué une variation alternée dans les deux premières côtes 9,75 m et 9,253297 m entre les deux premières valeurs d'excentricités 0 et 0,25 m et au niveau de la troisième valeur 0,50 m.

La figure IV.24d montre que les pressions actives augmentent suite à la variation de la profondeur (y) de la colonne d'une manière linéaire.

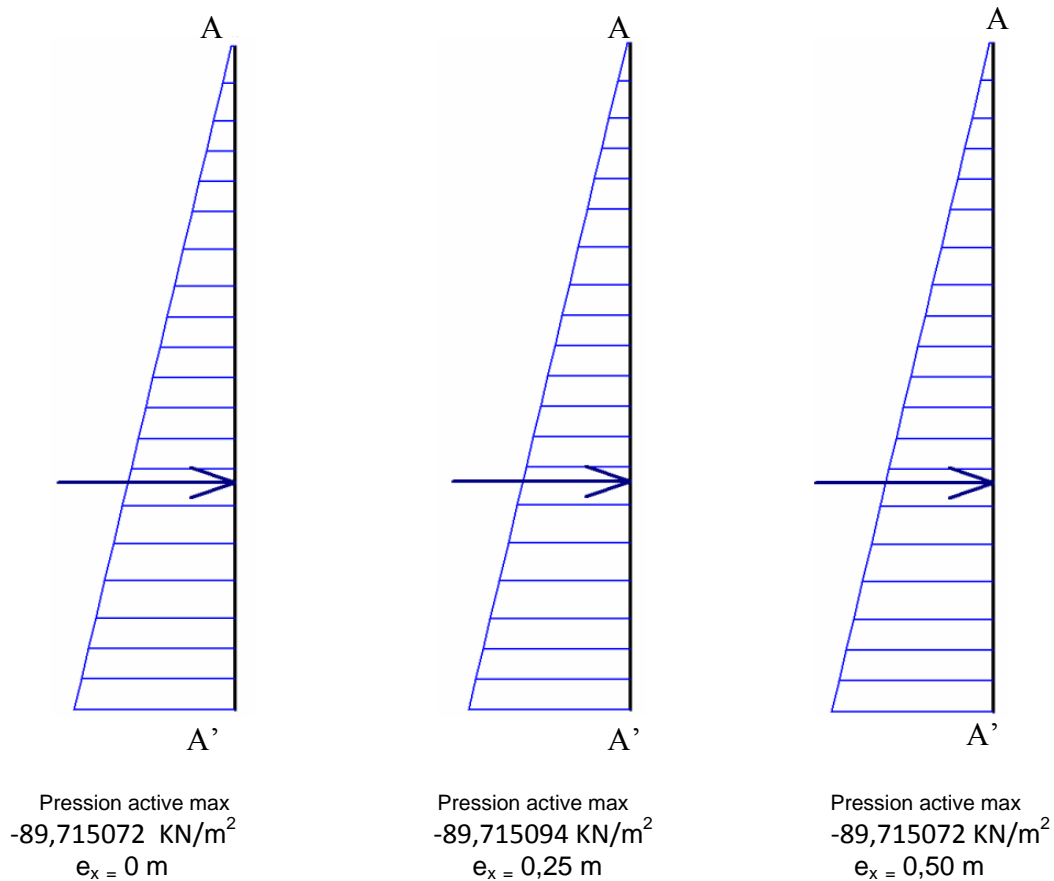


Figure IV.24d: Courbes des pressions actives dans la colonne 4 selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec augmentation de rayon de radier

IV.1.4.5. Analyse et interprétation des résultats de la colonne 3:

On constate d'après les résultats des figures d'augmentation de rayon de radier (IV.25d, IV.26d, IV.27d, IV.28d, IV.29d, IV.30d, IV.31d et IV.32d) et notamment les courbes qui représentent le comportement de la colonne 3 située à gauche de la charge :

A. Déplacement :

A.1. Déplacement Total :

Suite au changement du point d'application de la charge entre 0 et 0,50 m les déplacements diminuent sur la partie supérieure et intermédiaire dans l'intervalle [9,75m à 5,7623698 m], et augmentent dans les côtes suivantes : 4,2128906 m, 2,1621094 m et la côte 1,00 m. Néanmoins, une égalité sur les valeurs de déplacements est enregistrée lorsque la charge est positionnée sur les deux excentricités 0 et 0,25 m avec une réduction de ces dernières dans les deux côtes suivantes : la côte 5,375 m et la côte 1,3873698 m, et une amplification dans les

six les côtes : 4,9876302 m, 4,6002604 m, 3,7001953 m, 3,1875 m, 2,6748047 m et 1,7747396 m si la charge est appliquée sur la troisième excentricité 0,50 m.

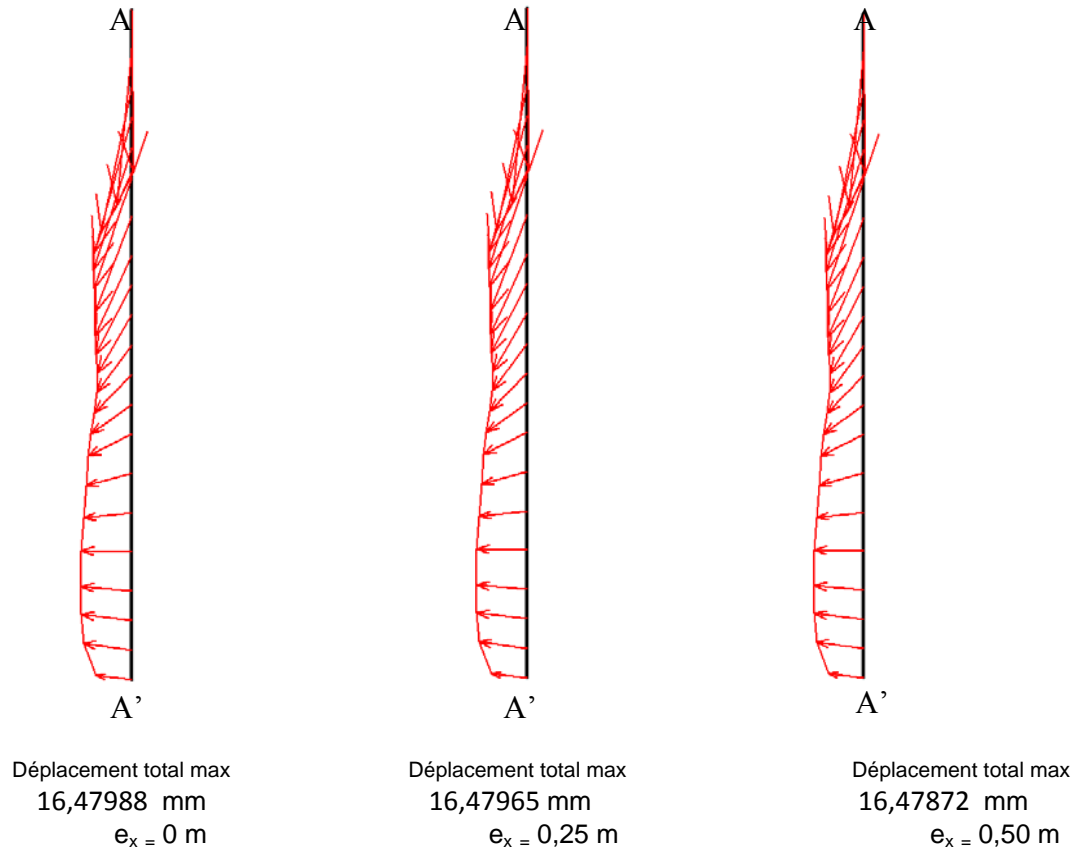


Figure IV.25d : Courbes de Déplacement dans la Colonne 3 selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec augmentation de rayon de rayon

B. Déformations :

B.1. Déformations suivant l'axe des abscisses :

L'effet du changement du point d'application de la charge entre 0 et 0,50 m, créant sur les valeurs de déformations suivant l'axe des abscisses (ϵ_{xx}) une augmentation dans les deux intervalles : [9,75 m à 8,3372396 m] et [2,6748047 m à 1,3873698 m] et la côte 4,2128906 m, et une diminution dans l'intervalle [7,9498698 m à 5,375 m]. Toutefois, une réduction est notée dans les deux côtes: 4,9876302 m, 4,6002604 m si l'excentricité est variée de 0 à 0,25 m, et une élévation si l'excentricité est égale à 0,50 m, ensuite sur les quatre côtes restantes 4,2128906 m, 3,7001953 m, 3,1875 m et 1,00 m les mêmes déformations conservent le cas contraire que celui des deux côtes cités ci-dessus.

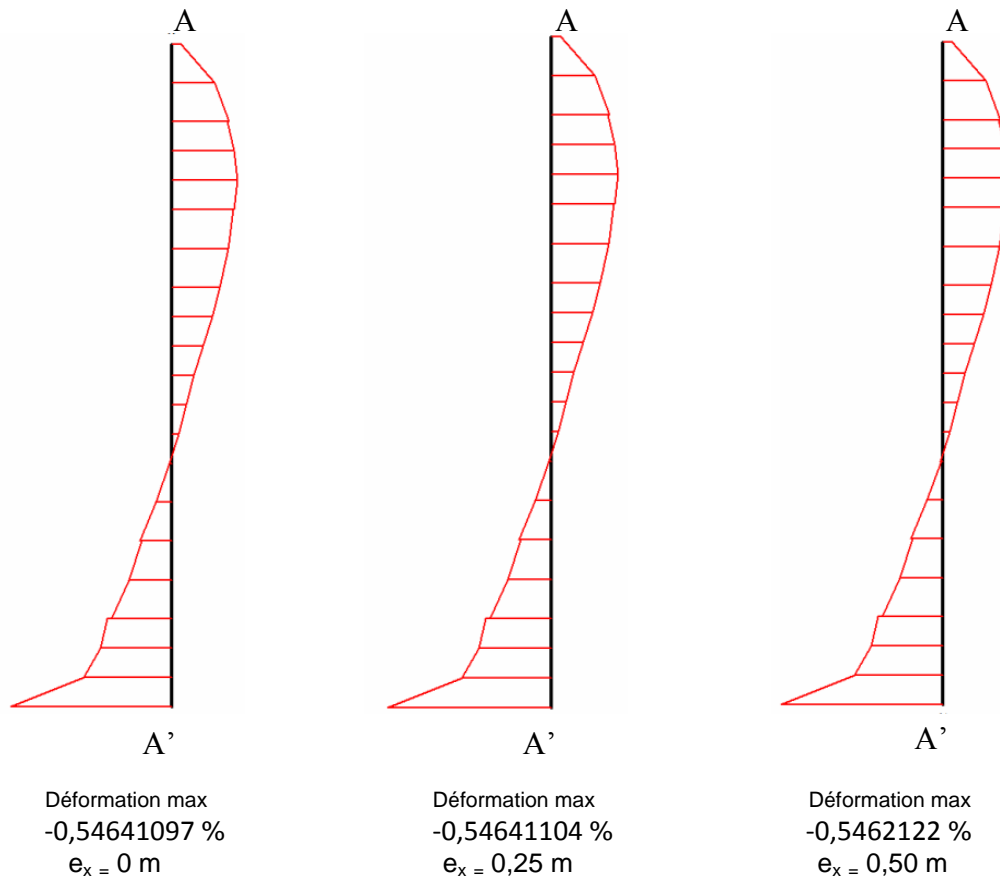


Figure IV.26d : Courbes de Déformation dans la Colonne 3 suivant l'axe des abscisses selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec augmentation de rayon de radier

B.2. Déformations suivant l'axe des ordonnées :

En distinguant après le changement du point d'application de la charge entre 0 et 0,50 m une diminution sur les valeurs de déformations suivant l'axe des ordonnées (ϵ_{yy}) dans les deux côtes et les deux intervalles suivants: 9,75 m, 9,2373047 m, [7,5625 m à 5,375 m] et [3,1875 m à 1,7747396 m]. Par contre, une réduction est remarquée si la charge est appliquée sur les excentricités 0 et 0,25m, et une augmentation quand la charge appliquée est fixée sur l'excentricité 0,50 m dans les deux intervalles ultérieurs : [8,7246094 m à 7,9498698 m] et [4,9876302 m à 3,7001953 m] situés sur les parties supérieure et intermédiaire de la colonne. Les mêmes déformations subissent le cas contraire dans les deux dernières côtes 1,3873698 m et 1,00 m.

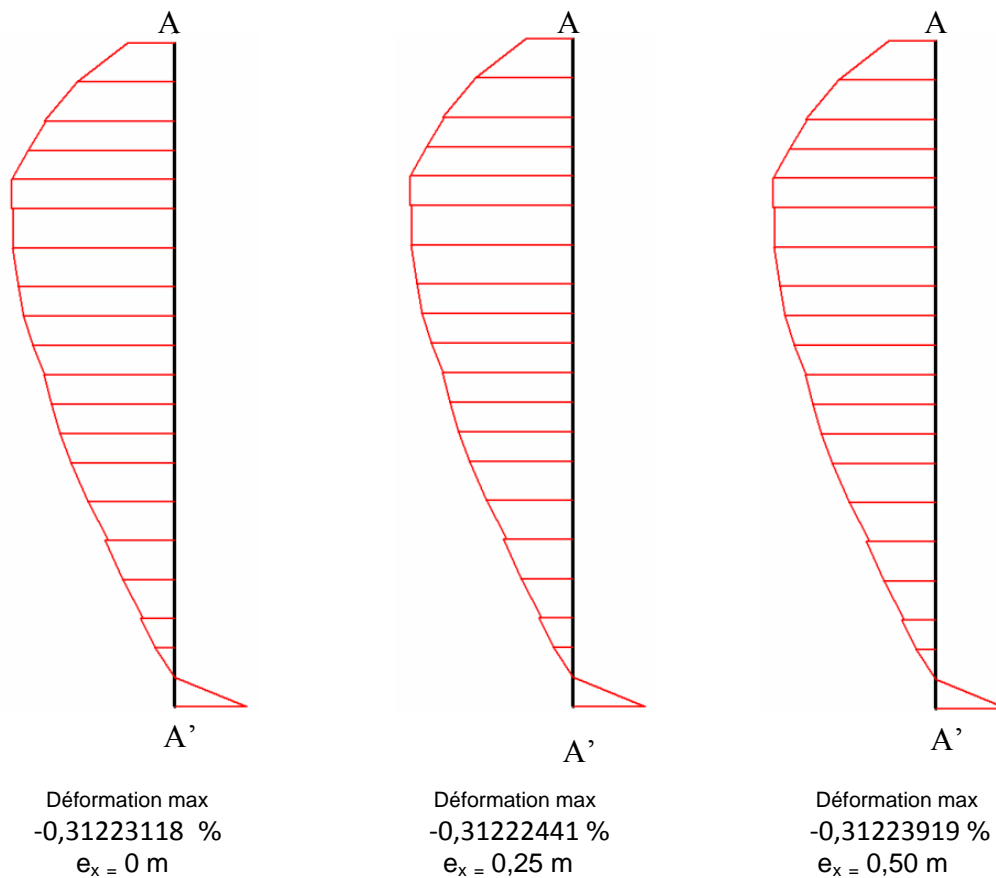


Figure IV.27d : Courbes de Déformation dans la Colonne 3 suivant l'axe des ordonnées selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec augmentation de rayon de radier

B.3. Déformations dans le plan xy :

La position du point d'application de la charge entre 0 et 0,50 m produit une diminution sur les valeurs de déformations (ϵ_{xy}) sur la partie supérieure dans l'intervalle [9,75 m à 8,3372396 m], sur la partie intermédiaire dans l'intervalle [4,9876302 m à 4,2128906 m] et sur la partie inférieure dans les trois côtes suivants: 2,6748047 m, 2,1621094 m et 1,00 m, et une augmentation sur la partie supérieure et intermédiaire dans l'intervalle [7,9498698 m à 5,375 m] et sur la partie inférieure dans les deux côtes: 1,7747396 m et 1,3873698 m. On a distingué particulièrement une variation alternée dans les deux côtes 3,7001953 m et 3,1875 m, une augmentation lorsque l'excentricité est fixée sur les deux points 0 et 0,25m, et une diminution si l'excentricité est égale à 0,50 m dans la côte 3,7001953 m. Par contre, les déformations (ϵ_{xy}) connaissent le cas opposé pour la côte 3,1875 m.

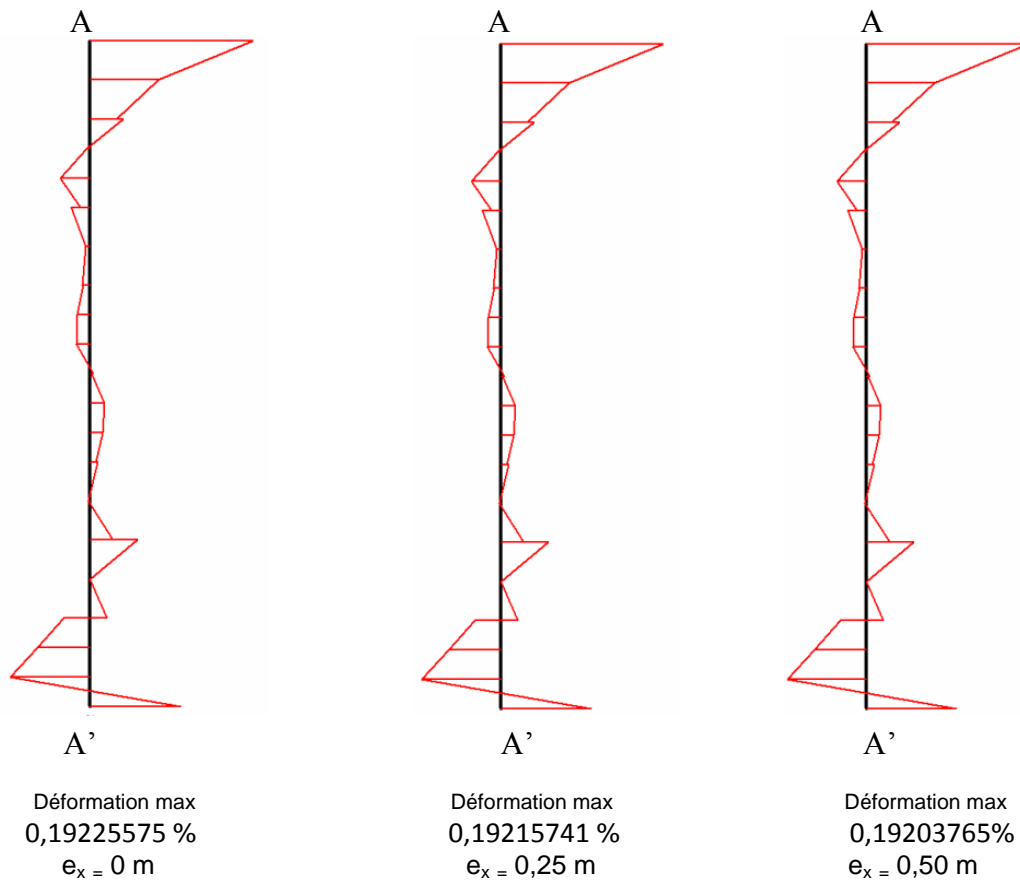


Figure IV.28d: Courbes de Déformation dans la Colonne 3 dans le plan xy selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec augmentation de rayon nde radier

C. Contraintes :

C.1. Contraintes suivant l'axe des abscisses :

Une augmentation des contraintes effectives (σ'_{xx}) est enregistrée selon la position du point d'application de la charge entre 0 et 0,50 m dans les côtes : 8,7246094 m, 7,9498698 m, 7,5625 m, 5,7623698 m et la côte 4,6002604 m. Les mêmes contraintes ont une variation alternée au sommet de la colonne dans les deux côtes 9,75 m et 9,2373047 m, ensuite elles possèdent des valeurs similaires si la charge est excentrée sur les deux points 0 et 0,25 m, et parfois une réduction et des fois une amplification si la charge est placée sur le point 0,50 m sur le restant des sections de la colonne. Par ailleurs, on a distingué une augmentation des contraintes effectives (σ'_{xx}) d'une façon linéaire suivant l'évolution de la profondeur (y) de la colonne.

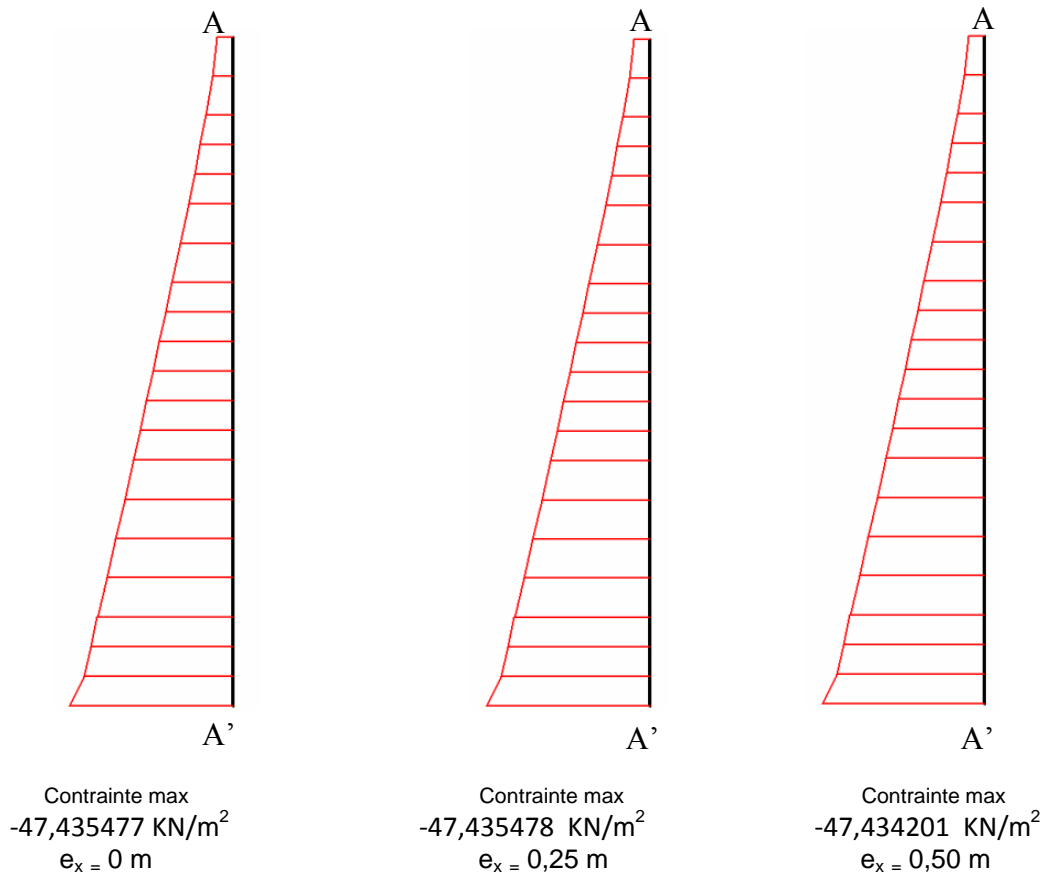


Figure IV.29d : Courbes des Contraintes dans la Colonne 3 suivant l'axe des abscisses selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec augmentation de rayon de rayon

C.2. Contraintes suivant l'axe des ordonnées :

Une diminution des contraintes effectives (σ'_{yy}) est localisée quelque soit la position du point d'application de la charge de 0 à 0,50 m dans la côte 9,75 m et l'intervalle [5,375 m à 2,6748047 m]. En revanche, dans les deux intervalles [9,2373047 m à 5,7623698 m] et [2,1621094 m à 1,3873698 m] les contraintes effectives (σ'_{yy}) diminuent si la charge appliquée est changée entre 0 et 0,25 m, et augmentent lorsque la charge est placée sur le point 0,50 m. Seulement, à la base de la colonne (la côte 1,00 m) les valeurs maximales des contraintes sont identiques pour les deux excentricités 0 et 0,25 m et la troisième augmente pour l'excentricité 0,50 m. Selon la figure IV.30d les contraintes effectives (σ'_{yy}) changent d'une manière linéaire en fonction de la profondeur (y) de la colonne.

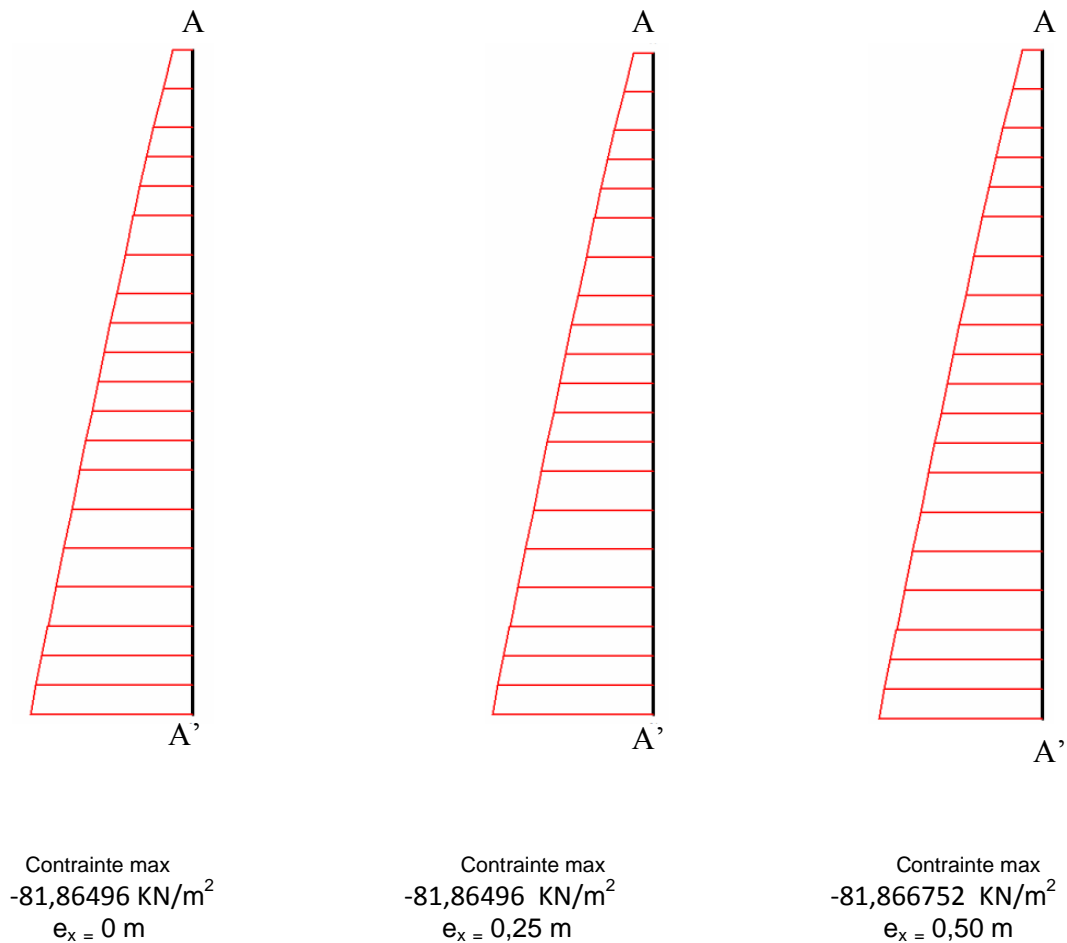


Figure IV.30d : Courbes des Contraintes dans la Colonne3 suivant l'axe des ordonnées selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec augmentation de rayon de radier

C.3. Contraintes dans le plan xy :

La variation de la charge appliquée sur les trois excentricités 0 ; 0,25 m et 0,50 m induit une diminution sur les valeurs des contraintes effectives ($\sigma'_{xy} = \sigma_{xy}$) dans certains sections dont les valeurs des côtes sont: 9,2373047 m, 8,7246094 m, 4,9876302 m, 2,6748047 m et la côte 1,00 m, et aussi une augmentation dans l'intervalle [7,9498698 m à 6,1497396 m] et les deux côtes 1,7747396 m et la côte 1,3873698 m. Néanmoins, dans les sept côtes : 9,75 m, 8,3372396 m, 5,375 m, 4,6002604 m, 4,2128906 m, 3,1875 m et 2,1621094 m les mêmes contraintes ($\sigma'_{xy} = \sigma_{xy}$) réduisent quand la charge est appliquée sur les excentricités 0 et 0,25 m, et amplifient si la charge est apposée à l'excentricité 0,50 m et le cas inverse dans les deux côtes : 5,7623698 m et 3,7001953 m.

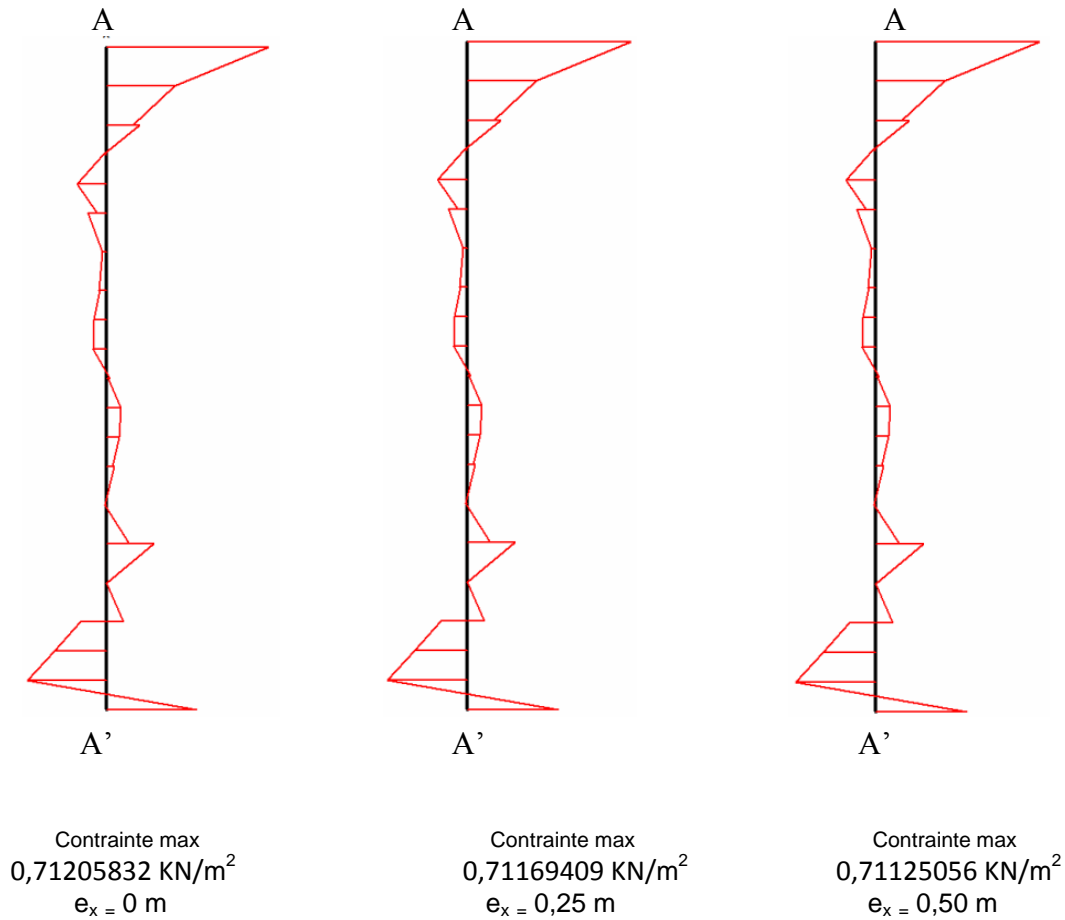


Figure IV.31d : Courbes des Contraintes dans la Colonne 3 dans le plan xy selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec augmentation de rayon de radier

D. Pressions Actives :

Lors de la variation de la charge appliquée entre les excentricités : 0, 0,25m, et 0,50 m, on constate une diminution sur les valeurs des pressions actives au sommet de la colonne à la côte 9,75 m quelque soit la valeur d'excentricité. Par contre, les pressions actives dans le reste de la profondeur de la colonne de la côte 9,2373047 m à la côte 1,00 m détiennent des valeurs similaires si la charge est apposée sur les points 0 et 0,25 m et augmentent sur les parties supérieure, intermédiaire et inférieure dans les deux intervalles : [9,2373047 m à 5,375 m] et [2,6748047 m à 1,00 m], ensuite elles diminuent dans l'intervalle [4,9876302 m à 3,1875 m] lorsque la charge est placée sur le point 0,50 m. On remarque toutefois que les pressions actives évoluent d'une manière linéaire selon le changement de la profondeur (y) de la colonne. Ce constat est illustré dans la figure IV.32d.

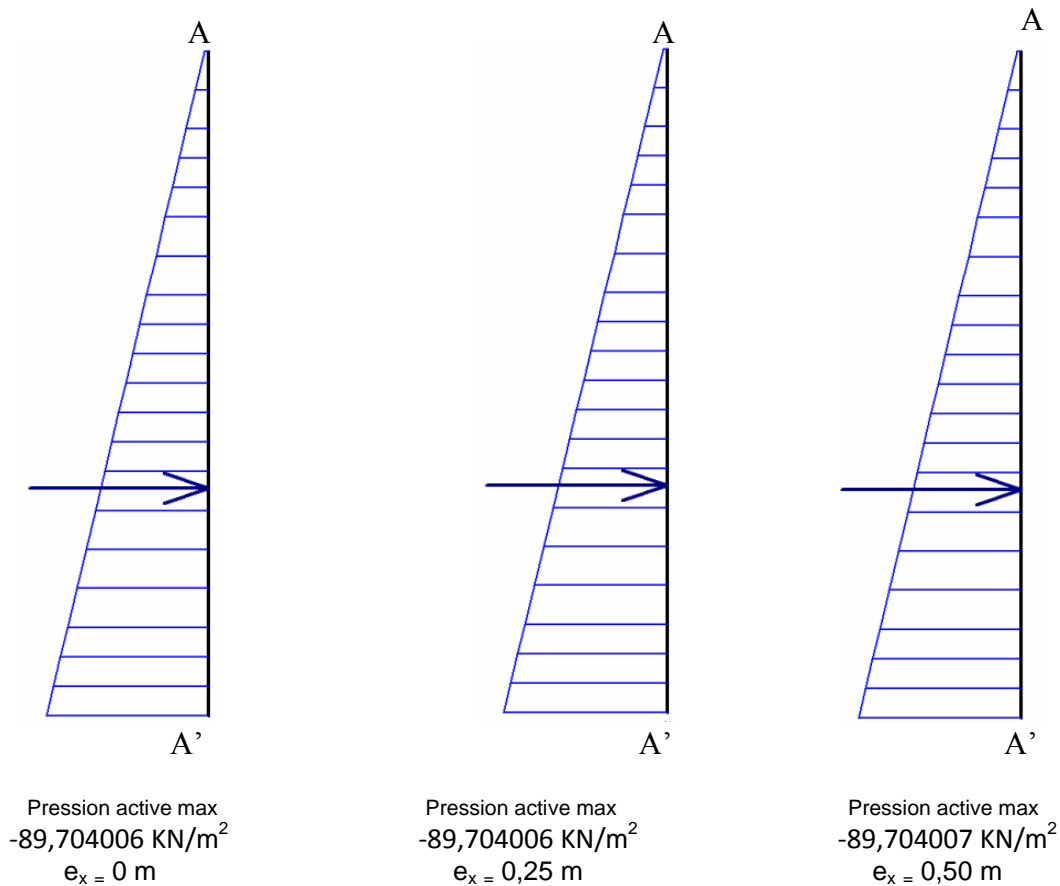


Figure IV.32d : Courbes des pressions actives dans la colonne 3 selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec augmentation de rayon de radier

IV.1.4.6. Conclusion des résultats des colonnes 3 et 4 et leurs interprétations :

On a enregistré les mêmes causes probables de la variation des résultats entre la colonne 4 (figures : IV.17d, IV.18d, IV.19d, IV.20d, IV.21d, IV.22d, IV.23d et IV.24d) et la colonne 3 (figures : IV.25d, IV.26d, IV.27d, IV.28d, IV.29d, IV.30d, IV.31d et IV.32d) citées dans la partie : influence du point d'application de la charge (excentricité) sur le comportement des colonnes (page 83) .

Les résultats et les courbes des (déplacements, déformations, contraintes et pressions actives) définissent le comportement des deux colonnes 3 et 4 au moment de la modification de rayon de radier de 2,00 m à 2,50 m et la charge appliquée excentrée sur les trois valeurs d'excentricités 0 ; 0,25 m et 0,50 m.

Ces dernières occasionnent une amplification sur les valeurs de déplacements dans le premier tiers et une diminution dans les deux tiers de la profondeur des deux colonnes. Pour les déformations suivant l'axe des abscisses (ϵ_{xx}) ont augmenté dans la première moitié et ont

diminué dans la seconde moitié de la profondeur des deux colonnes, particulièrement à la base de la colonne 3 on a enregistré une augmentation. Par contre, les déformations suivant l'axe des ordonnées (ϵ_{yy}) ont amplifié le long de la profondeur des deux colonnes. Par ailleurs, on a constaté une diminution au sommet et dans les quatre dernières côtes de la colonne 4, et en colonne 3 dans les trois dernières côtes de la colonne (en pied de la colonne). Dans le plan xy, les déformations (ϵ_{xy}) dans la colonne 4 ont augmenté dans la majorité des sections situées sur les trois parties (supérieure, intermédiaire et inférieure), et diminuent dans certaines sections répartis sur les trois parties ; quatre côtes localisées sur la partie supérieure, deux côtes sur la partie intermédiaire et deux côtes sur la partie inférieure. En revanche, dans la colonne 3 on a défini une diminution dans la plupart des sections partagées sur les trois parties (supérieure, intermédiaire et inférieure), et augmentent dans quelques sections fixées comme suit : une côte sur la partie supérieure, cinq côtes sur la partie intermédiaire et deux côtes sur la partie inférieure. Concernant les contraintes suivant les axes des abscisses (σ'_{xx}) et ordonnées (σ'_{yy}), elles ont augmenté le long de la profondeur des deux colonnes. Dans le plan xy, les contraintes ($\sigma'_{xy} = \sigma_{xy}$) ont pris des variations non uniformes le long de la profondeur des deux colonnes. Dans la colonne 4, on a distingué une augmentation qui touche plusieurs sections de la colonne et une réduction dans quelques sections limitées sur les trois parties, cinq sur la partie supérieure, trois sur la partie intermédiaire et deux sur la partie inférieure. En contrepartie, dans la colonne 3, on a différencié une diminution sur la plupart des sections, et une amplification dans certaines sections distribuées sur les trois parties, deux cotes sur la partie supérieure, cinq sur la partie intermédiaire et deux côtes sur la partie inférieure. Les pressions actives ont diminué le long de la profondeur des deux colonnes 3 et 4.

Les colonnes 3 et 4 ont reçu des variations sur les résultats des (déplacements, déformations, contraintes et pressions actives) sous la conséquence de l'augmentation de rayon de radier de 2,00 m à 2,50 m. D'un côté, de manière croissante sur les valeurs des déplacements dans le premier tiers de la profondeur des deux colonnes, sur les valeurs des déformations suivant l'axe des abscisses (ϵ_{xx}) dans la première moitié de la profondeur des deux colonnes. Pour les déformations suivant l'axe des ordonnées (ϵ_{yy}), on a examiné une augmentation pratiquement le long de la profondeur des deux colonnes, les autres déformations (ϵ_{xy}) dans le plan xy tenu des variations non uniformes. Concernant les différentes contraintes effectives suivant les axes des abscisses et ordonnées, on a enregistré une amplification le long de la profondeur des deux colonnes. Néanmoins les contraintes dans le plan xy ont maintenu des variations non uniformes le long des deux colonnes ;

D'un autre côté, elles ont porté des modifications sur les résultats des deux colonnes d'une manière décroissante dans les valeurs des pressions actives le long de la profondeur des colonnes, dans les deux tiers de la profondeur des colonnes pour les déplacements, les déformations dans la seconde moitié des colonnes et parfois en pied des deux colonnes et les contraintes ($\sigma'_{xy} = \sigma_{xy}$) dans quelques sections réparties le long de la profondeur des deux colonnes.

En conclusion, la variation enregistrée dans les résultats (déplacements, déformations, contraintes et pressions actives) est liée au paramètre de l'augmentation de rayon de radier.

IV.1.4. 7. Analyse et interprétation des résultats de la Colonne 5:

On constate d'après les résultats des figures d'augmentation de rayon de radier (*IV.33d, IV.34d, IV.35d, IV.36d, IV.37d, IV.38d, IV.39d et IV.40d*) et notamment les courbes qui représentent le comportement de la colonne 5 située à gauche de la charge :

A. Déplacement :

A.1. Déplacement Total :

Lors de la variation du point d'application de la charge entre 0 et 0,50 m les déplacements augmentent sur la partie supérieure dans l'intervalle: [9,75 m à 5,8535156m], ensuite ils ont des valeurs identiques lorsque la valeur de l'excentricité est variée de 0 à 0,25 m, et diminuent si l'excentricité est égale à 0,50 m sur la partie intermédiaire dans l'intervalle [4,8964844 m à 3,5976563 m] et sur la partie inférieure dans les deux côtes :1,4785156 m et 1,00 m. Par contre, dans l'intervalle [3,1875 m à 2,3671875 m] les déplacements réduisent si l'excentricité est fixée sur 0 et 0,25 m, et amplifient si l'excentricité est égale à 0,50 m.

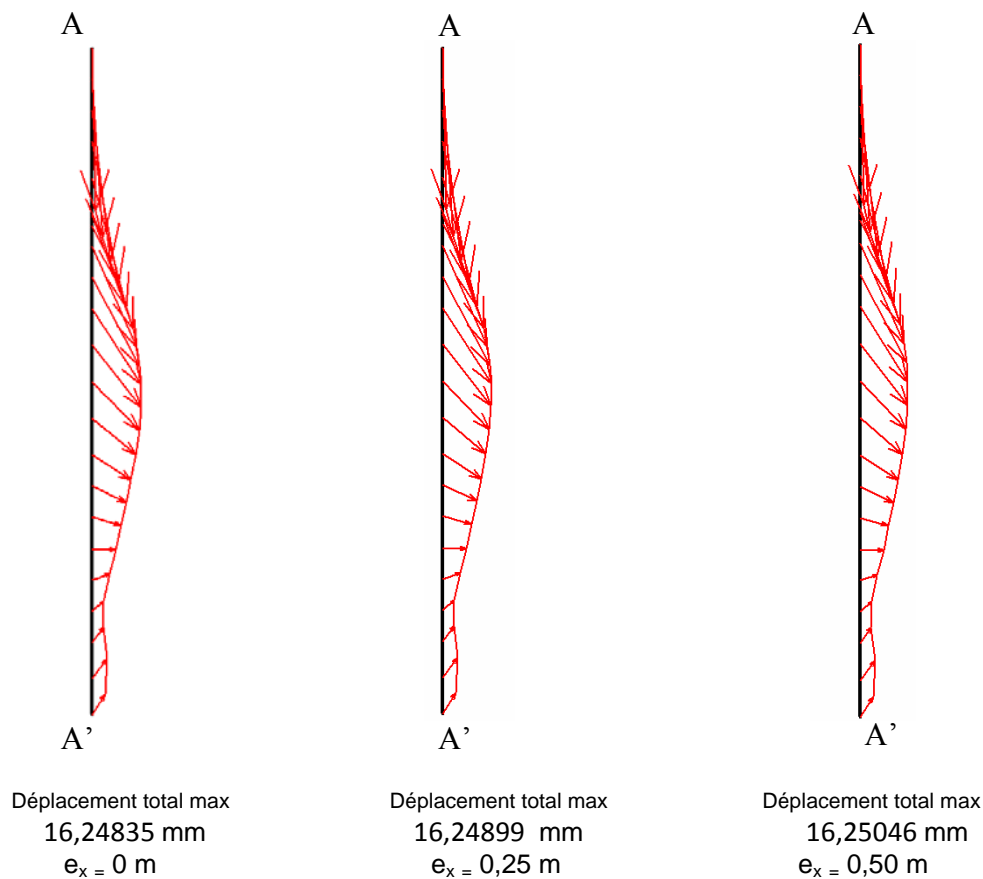


Figure IV.33d : Courbes de Déplacement dans la Colonne 5 selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec augmentation de rayon de radier

B. Déformations :

B.1. Déformations suivant l'axe des abscisses :

Les déformations suivant l'axe des abscisses (ϵ_{xx}) augmentent au sommet de la colonne à la cote 9,75 m et sur la partie supérieure dans l'intervalle [8,0410156 m à 5,8535156 m], et diminuent sur la partie inférieure dans l'intervalle [2,7773438 m à 1 m] quelque soit la position de la charge appliquée entre 0 et 0,50 m. Dans l'intervalle [9,3398438 m à 8,5195313 m] et les deux côtes (5,375 m et 4,8964844 m), on a enregistré une amplification sur les valeurs des mêmes déformations (ϵ_{xx}) si la charge est appliquée sur les excentricités 0 et 0,25 m, et une diminution si la charge appliquée est située sur le point 0,50 m. En revanche, les déformations (ϵ_{xx}) ont observé le cas contraire dans l'intervalle de la cote 4,4179688 m à la cote 3,1875 m.

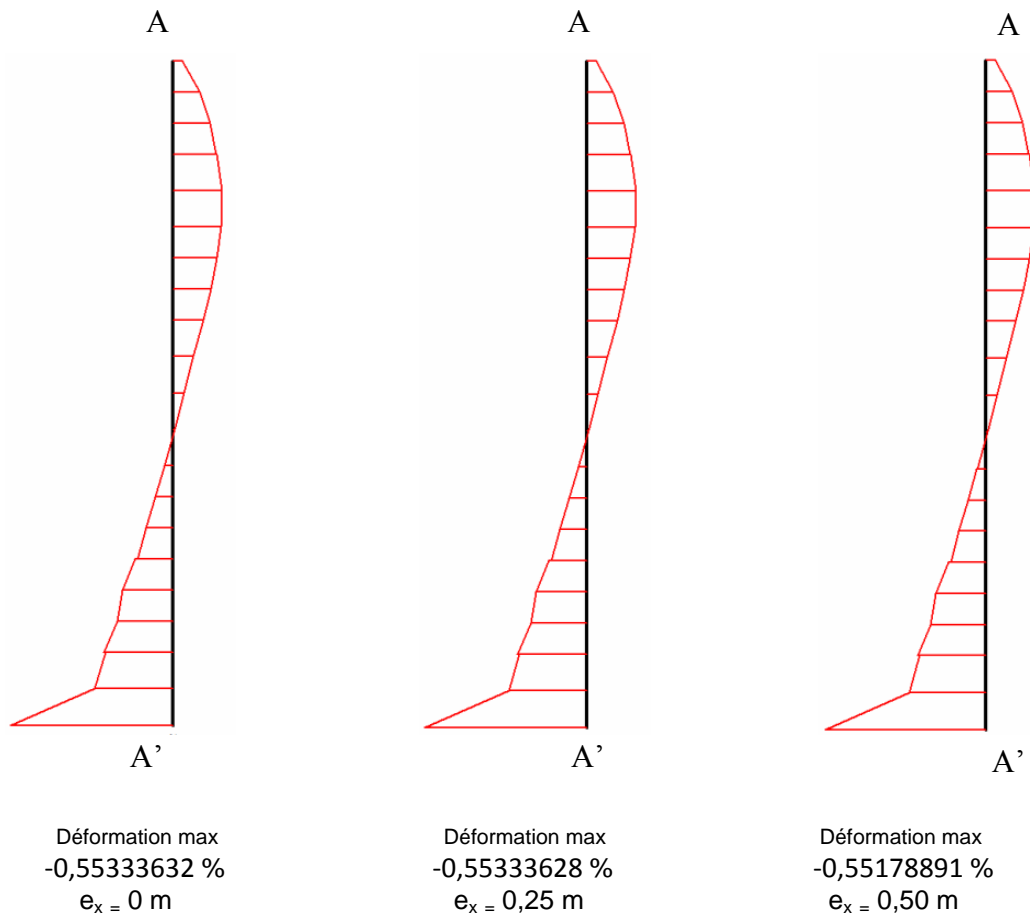


Figure IV.34d : Courbes de Déformation dans la Colonne 5 suivant l'axe des abscisses selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec augmentation de rayon de radier

B.2. Déformations suivant l'axe des ordonnées :

En observant une croissance sur les valeurs de déformations suivant l'axe des ordonnées (ϵ_{yy}) quelque soit la variation du point d'application de la charge entre 0 et 0,50 m à l'intervalle [7,1523438 m à 4,4179688 m] et à l'intervalle [3,1875 m à 1,4785156 m], avec une réduction pratiquement au milieu de la colonne à la côte 4,8964844 m et à la base de la colonne à la côte 1,00 m. Néanmoins, dans l'intervalle [9,75 m à 7,5625 m] et les deux côtes : 4,0078125 m et la côte 3,5976563 m les déformations (ϵ_{yy}) augmentent lorsque la charge appliquée est variée de 0 à 0,25 m, et diminuent si la charge est appliquée sur le point 0,50 m.

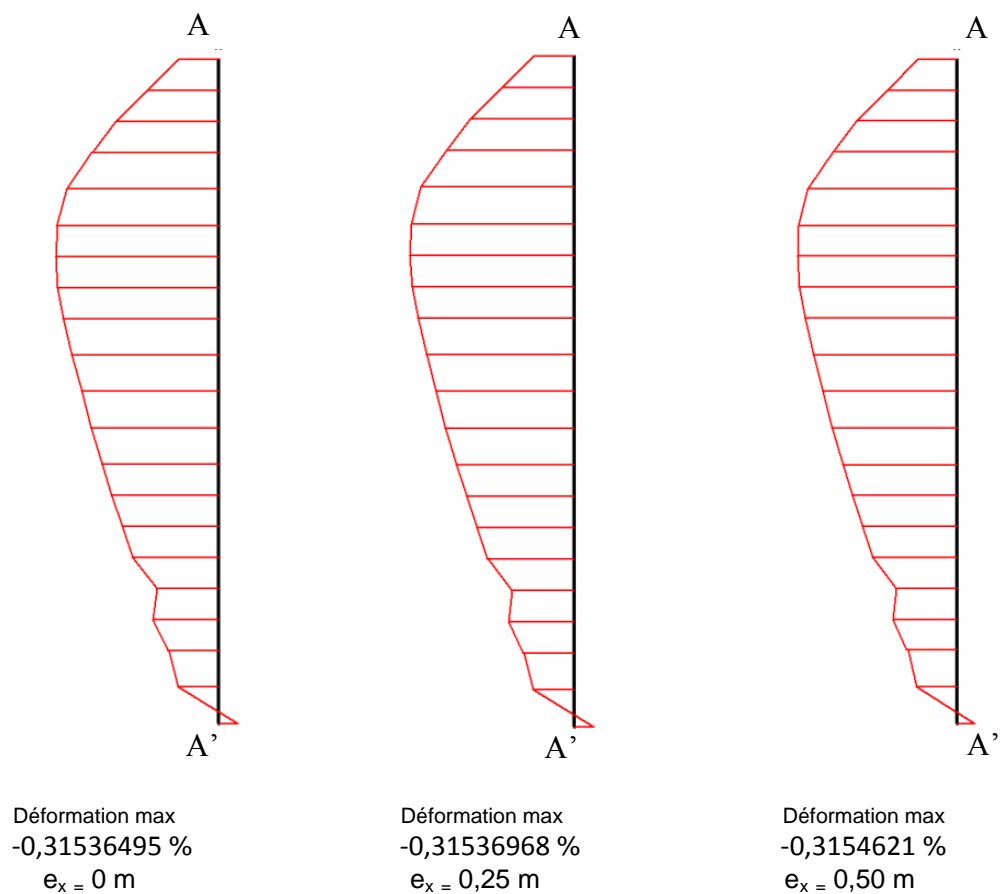


Figure IV.35d : Courbes de Déformation dans la Colonne 5 suivant l'axe des ordonnées selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec augmentation de rayon de radier

B.3. Déformations dans le plan xy :

Conformément à la modification de la charge appliquée sur les excentricités : 0 ; 0,25 m et 0,50 m les déformations dans le plan xy (ϵ_{xy}) réduisent dans l'intervalle [9,75 m à 8,9296875 m] et les six côtes : 8,0410156 m, 7,5625 m, 5,8535156 m, 4,0078125 m, 2,7773438 m et la côte 1,9570313 m, et accroissent dans les quatre côtes : 8,5195313 m, 6,7421875 m, 6,3320313 m et à la base 1,00 m. Néanmoins, à l'intervalle [5,375 m à 2,3671875 m] les déformations diminuent si l'excentricité est variée de 0 à 0,25 m, et augmentent si l'excentricité est égale à 0,50 m, et particulièrement elles prennent le cas inverse dans les deux côtes : 7,1523438 m et la côte 1,4785156 m.

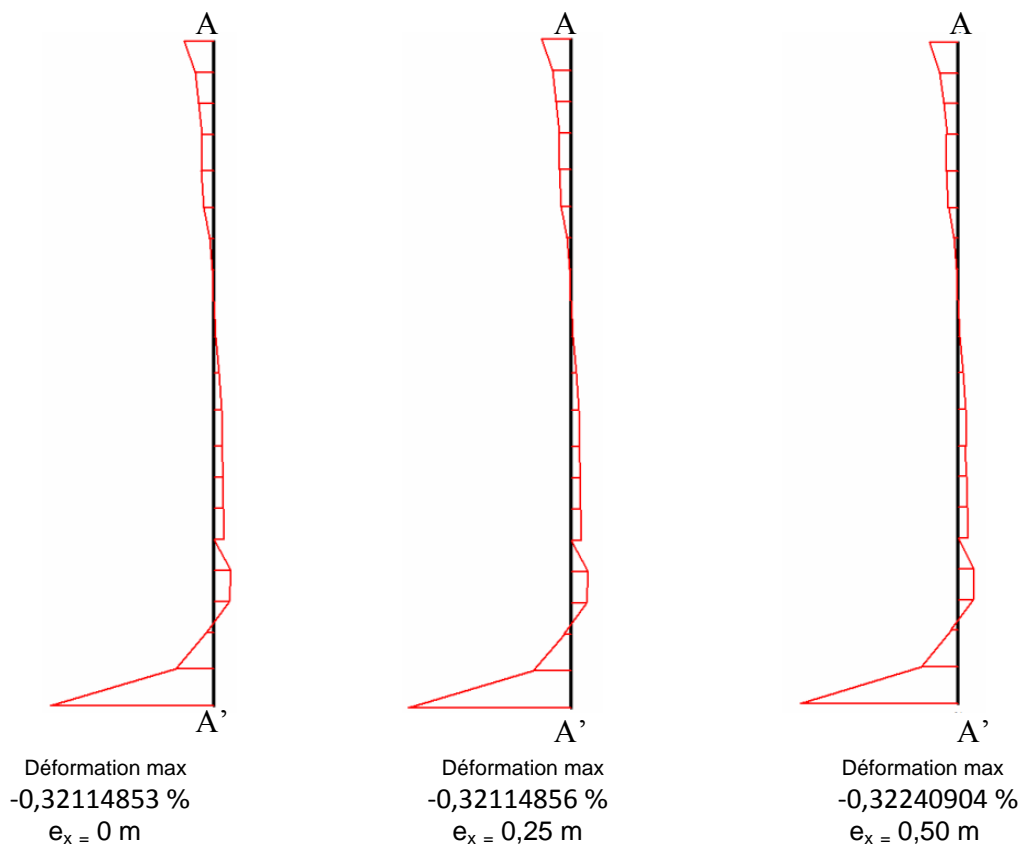


Figure IV.36d : Courbes de Déformation dans la Colonne 5 dans le plan xy selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec augmentation de rayon de radier

C. Contraintes :

C.1. Contraintes effectives suivant l'axe des abscisses :

La charge excentrée entre les trois valeurs d'excentricités: 0 ; 0,25 m et 0,50 m engendre une diminution sur les valeurs des contraintes effectives (σ'_{xx}) au sommet de la colonne à la côte 9,75 m et à l'intervalle [8,5195313m à 5,8535156 m]. Ces dernières, dans les deux côtes : 9,3398438 m et la côte 8,9296875 m, on a distingué une augmentation quand le point d'application de la charge est variée de 0 à 0,25 m, et une réduction si la charge est apposée à 0,50 m. Par ailleurs, à l'intervalle [5,375 m à 1,00 m] les contraintes effectives (σ'_{xx}) ont des valeurs similaires lors de l'emplacement de la charge appliquée entre 0 et 0,25 m, et amplifient sur l'intervalle [5,375 m à 3,1875 m], puis elles diminuent sur l'intervalle [2,7773438 m à 1,00m] lorsque la charge est à 0,50 m. Toutefois, on a perçu que les contraintes effectives (σ'_{xx}) augmentent d'une manière linéaire selon l'évolution de la profondeur (y) de la colonne d'une manière linéaire à partir de la deuxième côte (9,338265 m) de la colonne.

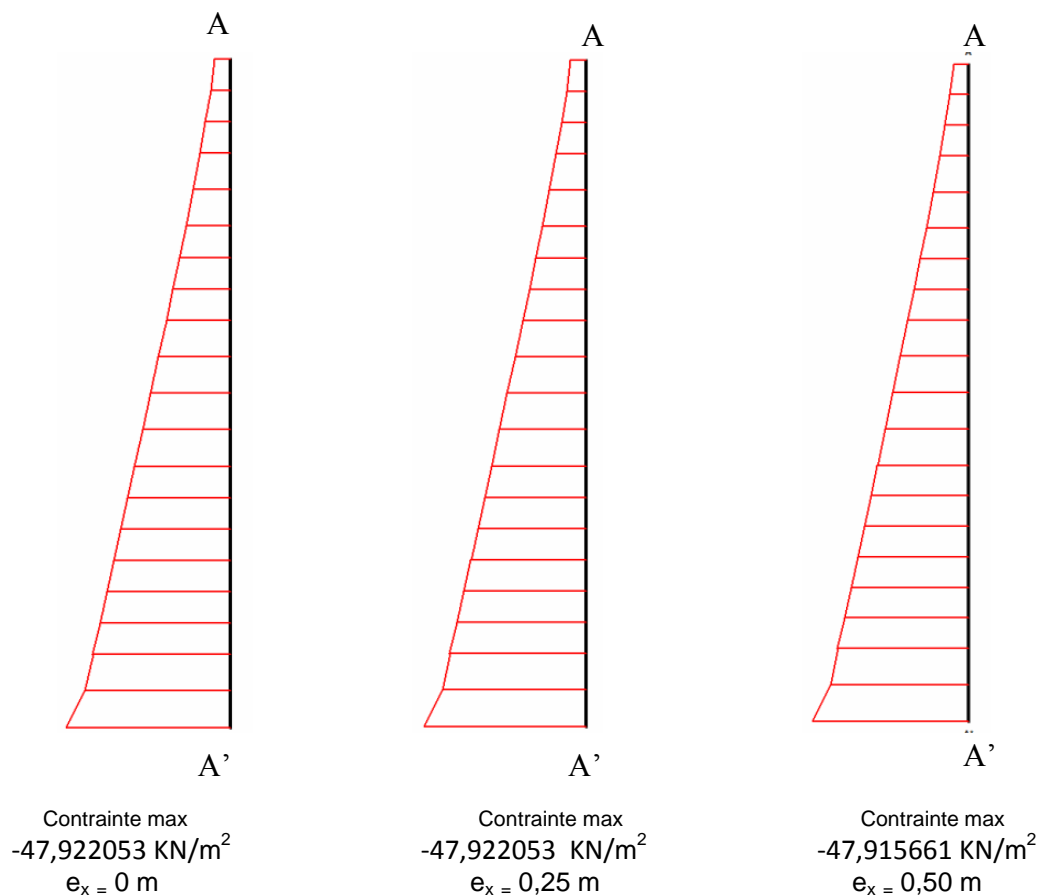


Figure IV.37d : Courbes des Contraintes dans la Colonne 5 suivant l'axe des abscisses selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec augmentation de rayon de radier

C.2. Contraintes effectives suivant l'axe des ordonnées :

Les contraintes effectives suivant l'axe des ordonnées (σ'_{yy}) augmentent dans l'intervalle [4,8964844 m à 3,1875 m] quelque soit la position du point d'application de la charge entre 0 et 0,50 m. Par contre, Dans les deux intervalles [9,75 m à 5,375 m] et [2,7773438 m à 1,4785156 m] les mêmes déformations accroissent quand l'excentricité est variée de 0 à 0,25 m, et diminuent lorsque l'excentricité est égale à 0,50 m, seulement à la base de la colonne à la côte 1,00 m, on a enregistré deux valeurs similaires relatives aux excentricités 0 et 0,25 m et la troisième valeur élevée relativement à l'excentricité 0,50 m. Les courbes de la figure IV.38d démontrent une augmentation des contraintes effectives (σ'_{yy}) suivant la variation de la profondeur (y) de la colonne d'une manière linéaire.

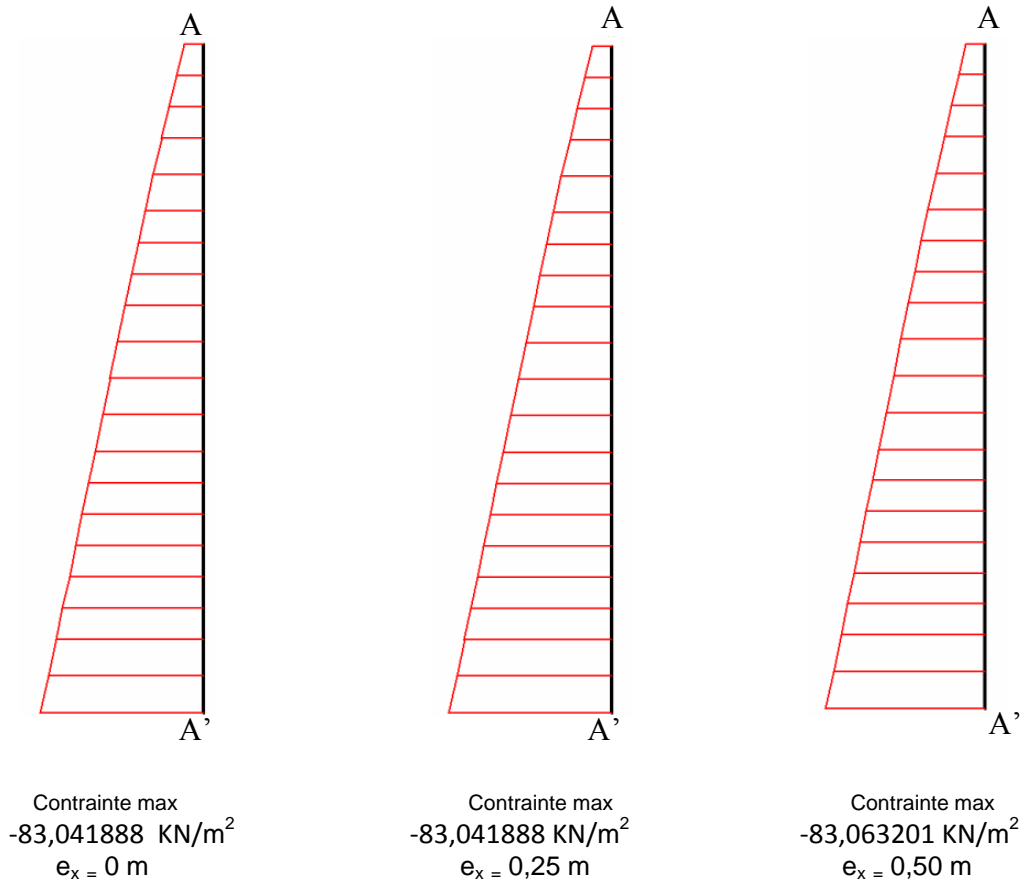


Figure IV.38d : Courbes des Contraintes dans la Colonne 5 dans le plan xy selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec augmentation de rayon de radier

C.2. Contraintes effectives dans le plan xy :

Suivant la variation du point d'application de la charge entre 0 et 0,50m, on a constaté une diminution des contraintes effectives ($\sigma'_{xy} = \sigma_{xy}$) dans l'intervalle [9,75 m à 8,9296875 m] et les côtes : 8,0410156 m, 5,8535156 m, 5,375 m, 4,0078125 m, 3,1875m et la côte 2,7773438 m, et une augmentation dans les côtes : 6,7421875 m, 6,3320313 m, 1,4785156 m et 1,00 m. Néanmoins, dans les côtes: 8,5195313 m, 7,5625 m, 7,1523438 m et 1,9570313 m les contraintes effectives ($\sigma'_{xy} = \sigma_{xy}$) amplifient si l'excentricité est fixée sur le point 0 et 0,25 m, et réduisent quand la charge est placée sur le point 0,50 m. En revanche, le cas contraire est observé dans les quatre côtes: 4,8964844 m, 4,4179688, 3,5976563 m et la côte 2,3671875 m.

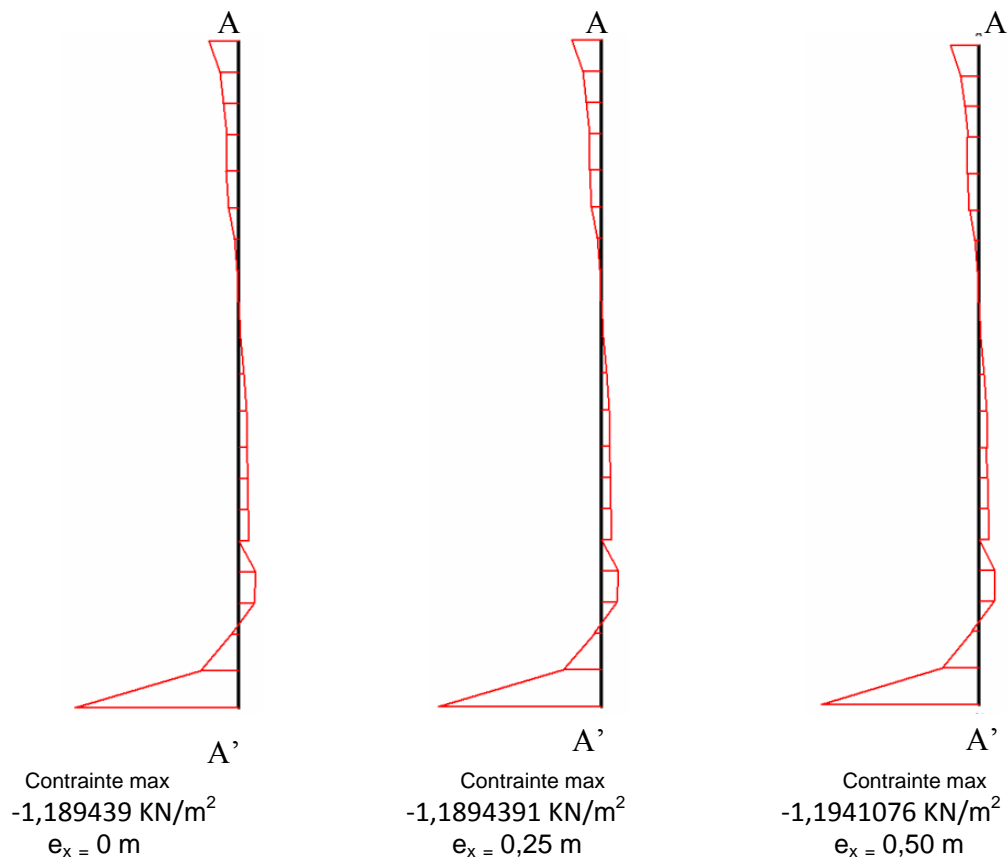


Figure IV.39d : Courbes des Contraintes dans la Colonne 5 dans le plan xy selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec augmentation de rayon de radier

D.Pressions Actives :

Lors de la variation du point d'application de la charge (excentricité) entre 0 et 0,50 m, on a constaté une constante des pressions actives lorsque l'excentricité est variée de 0 à 0,25m le long de la profondeur de la colonne. Mais quand l'excentricité est égale à 0,50 m, les pressions actives diminuent dans les deux intervalles : [9,75 m à 5,8535156 m] et [2,7773438 m à 1,4785156 m], et augmentent dans l'intervalle [5,375 m à 3,1875 m] et la côte 1,00 m. Les résultats et les courbes de la figure IV.40d définissent une amplification linéaire des pressions actives le long de la profondeur de la colonne (y).

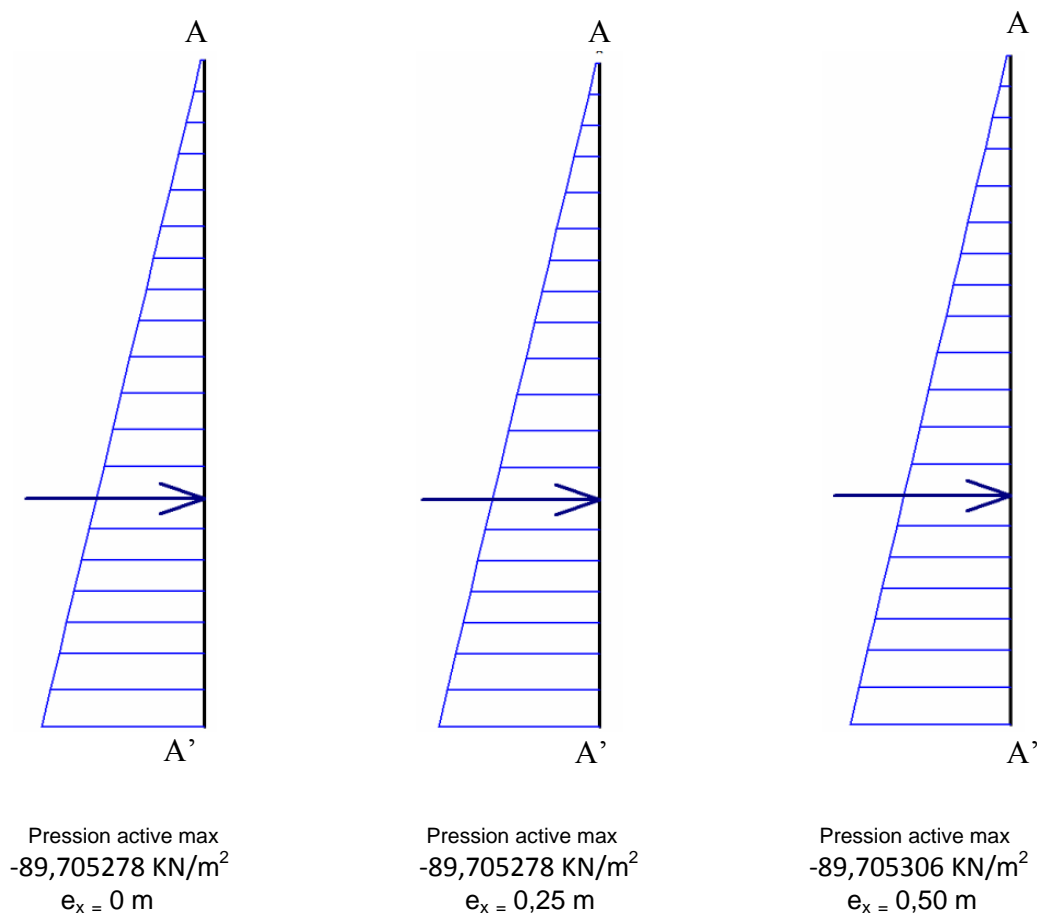


Figure IV.40d : Courbes des pressions actives dans la colonne 5 selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec augmentation de rayon de radier

IV.1.4.8. Analyse et interprétation des résultats de la Colonne 6:

On constate d'après les résultats des figures d'augmentation de rayon de radier (IV.41d, IV.42d, IV.435d, IV.44d, IV.45d, IV.46d, IV.47d et IV.48d) et notamment les courbes qui représentent le comportement de la colonne 6 située à droite de la charge :

A. Déplacement :

A.1. Déplacement Total :

Au moment du changement de la charge appliquée entre les trois excentricités : 0 ; 0,25 m et 0,50 m les déplacements prennent des variations alternées: Une diminution est enregistrée dans les intervalles : [9,75 m à 8,9172585 m], [8,0316939 m à 5,8441939 m] et l'intervalle [3,1875 m à 1,00 m], et une augmentation dans la côte 8,5008878 m et l'intervalle [5,375 m à 3,6038707 m] si la charge est apposée entre 0 à 0,25 m. Par contre, lorsque l'excentricité est

égale à 0,50 m les déplacements ont le cas inverse. Les courbes de la figure IV.41d présentent une croissance jusqu'à l'atteinte d'une valeur maximale, puis ils réduisent jusqu'à la base de la colonne.

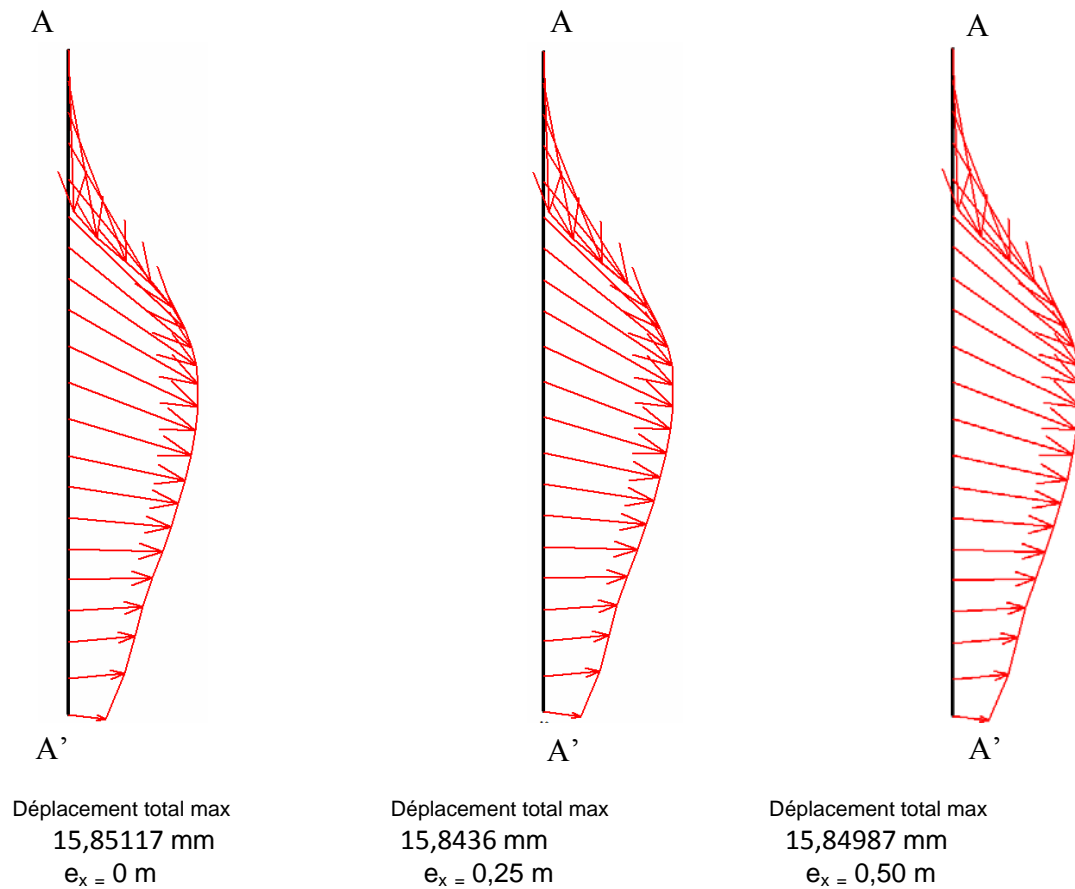


Figure IV.41d : Courbes de Déplacement la Colonne 6 selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec augmentation de rayon de radier

B. Déformations :

B.1. Déformations suivant l'axe des abscisses :

Le changement de la charge appliquée entre 0 et 0,50 m provoque une variation alternée sur les valeurs des déformations suivant l'axe des abscisses (ϵ_{xx}) : un accroissement dans les deux intervalles [9,75 m à 8,5008878 m] et [3,1875 m à 1,00] et la côte 5,375 m, et une réduction dans les deux intervalles : [8,0316939 m à 5,8441939 m] et l'intervalle [4,9058061 m à 3,6038707 m] quand la charge appliquée est positionnée sur les deux points 0 et 0,25 m. Néanmoins, sur les mêmes intervalles et côtes, les déformations connaissent le cas opposé lorsque l'excentricité est située sur le point 0,50 m.

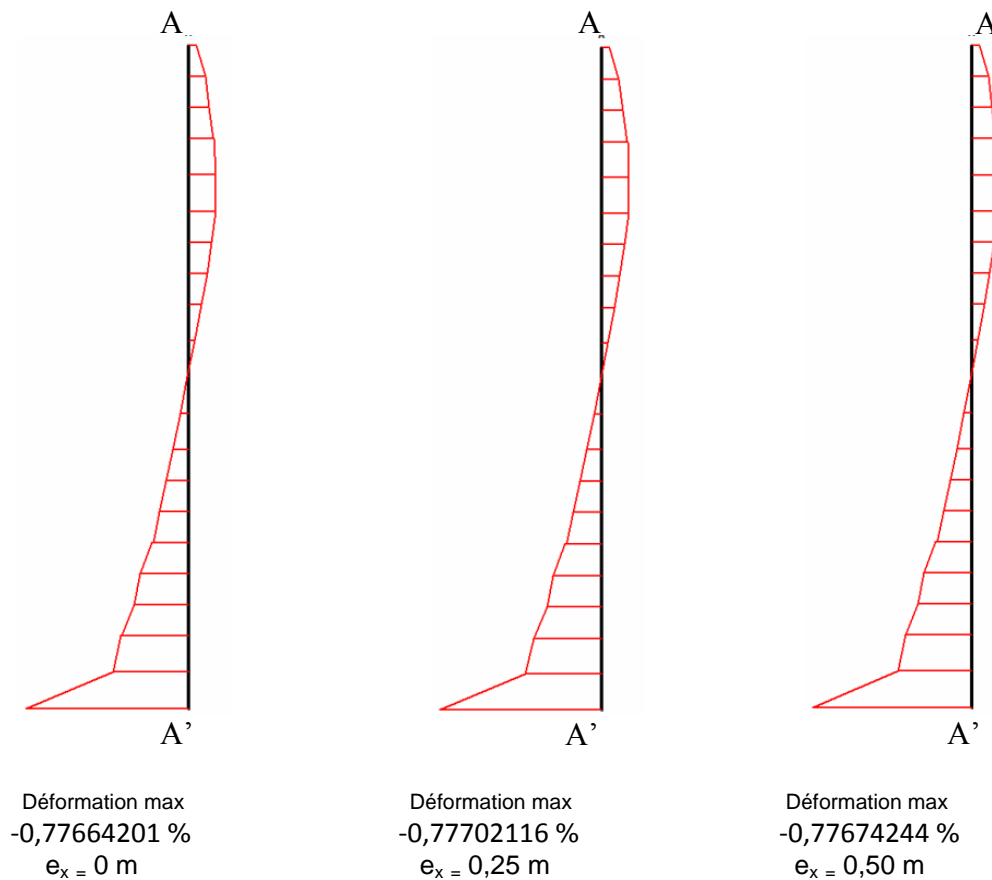


Figure IV.42d : Courbes de Déformation dans la Colonne 6 suivant l'axe des abscisses selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec augmentation de rayon de radier

B.2. Déformations suivant l'axe des ordonnées :

Le positionnement du point d'application de la charge entre 0 et 0,50 m engendre une variation alternée sur les valeurs des déformations suivant l'axe des ordonnées (ϵ_{yy}) : une augmentation dans les trois intervalles : [9,75 m à 8,5008878 m], [4,9058061 m à 3,1875 m] et [1,9383878 m à 1,00 m], et une diminution dans l'intervalle [8,0316939 m à 5,375 m] et les deux côtes : la côte 2,7711293 m et la côte 2,3547585 m quand la charge appliquée est placée sur les points 0 et 0,25 m. En contrepartie, lorsque la charge appliquée est située sur le point 0,50 m les déformations (ϵ_{yy}) gardent le cas inverse sur les mêmes intervalles et côtes.

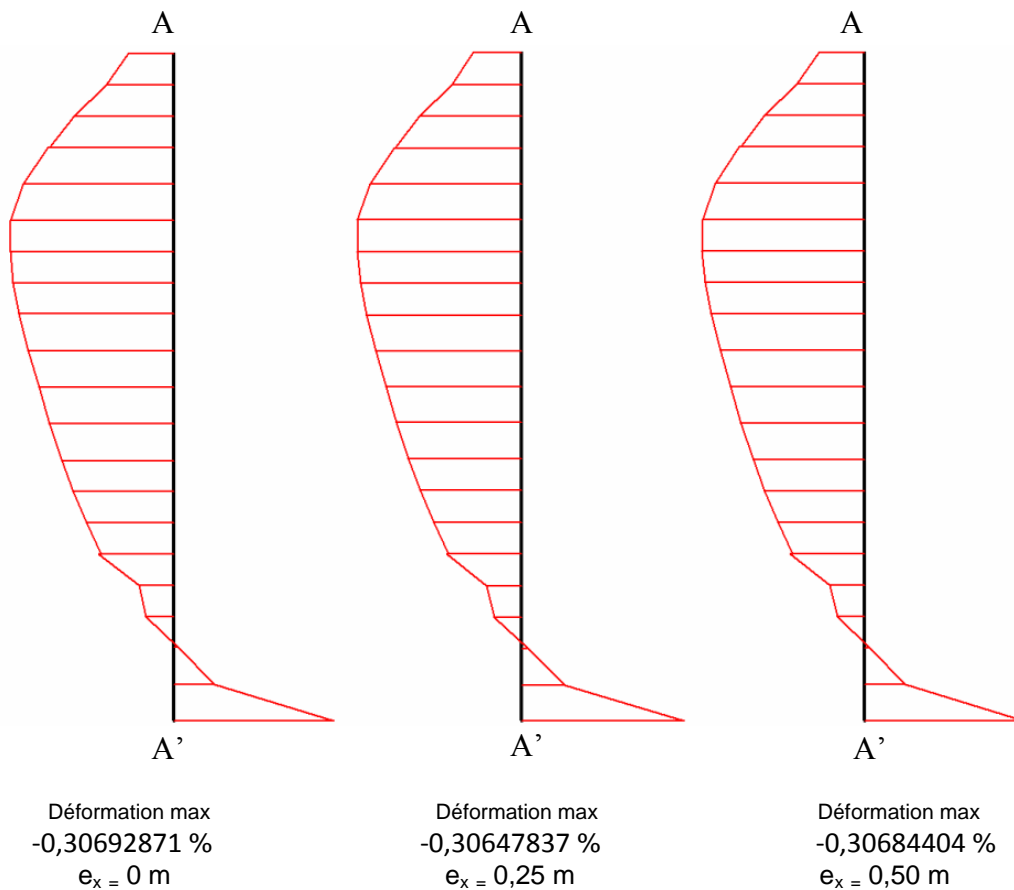


Figure IV. 43d : Courbes de Déformation dans la Colonne6 suivant l'axe des ordonnées selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec augmentation de rayon de radier

B.3. Déformations dans le plan xy :

Selon le changement du point d'application de la charge entre 0 et 0,50 m les déformations dans le plan xy (ϵ_{xy}) prennent des variations alternées: une diminution dans les deux intervalles : [9,3336293m à 8,0316939m] et l'intervalle [1,9383878 m à 1,00 m] et les quatre côtes : 7,1461293 m , 4,9058061 m , 4,4366122 m, et la côte 3,1875 m, et une augmentation dans l'intervalle [6,7297585 m à 5,375 m] et les côtes suivants : 9,75m, 7,5625 m 4,0202415 m, 3,6038707 m, 2,7711293 m et la côte 2,3547585 m si le point d'application de la charge est varié entre 0 et 0,25 m. Dans les mêmes intervalles et côtes les déformations (ϵ_{xy}), elles observent le cas opposé si le point d'application de la charge est fixée à 0,50 m.

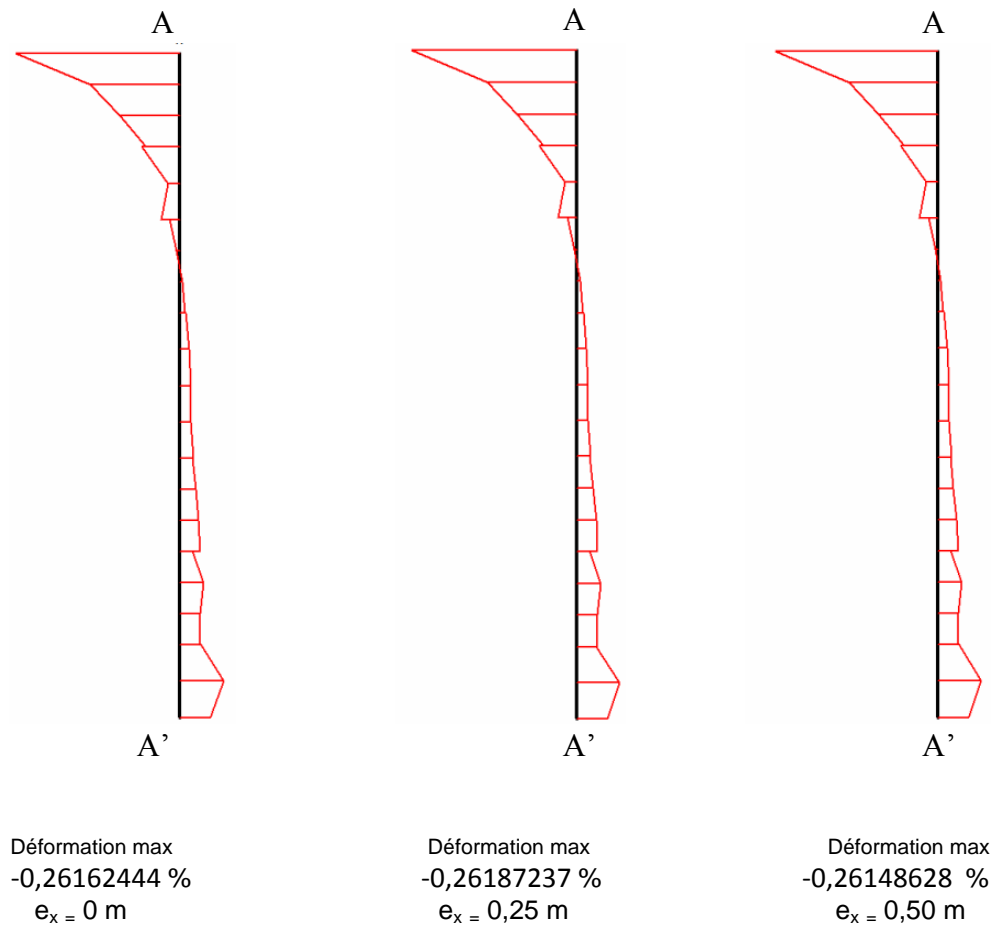


Figure IV. 44d : Courbes de Déformation dans la Colonne 6 dans le plan xy selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec augmentation de rayon de radier

C. Contraintes :

C.1. Contraintes suivant l'axe des abscisses :

Lors de changement du point d'application de la charge entre 0 et 0,50 m les contraintes effectives suivant l'axe des abscisses (σ'_{xx}) augmentent sur la partie supérieure à l'intervalle [9,75 m à 5,8441939 m] et sur la partie inférieure à l'intervalle [3,1875 m à 1,4691939 m], et diminuent sur la partie intermédiaire à l'intervalle [5,375 m à 3,6038707 m] et sur la partie inférieure à la cote 1,00 m, d'une part quand l'excentricité est variée de 0 à 0,25 m, et d'autre part dans les mêmes intervalles et côtes cités ci-dessus les contraintes effectives (σ'_{xx}) connaissent le cas contraire. Toutefois on remarque que ces dernières varient d'une manière linéaire en fonction de la profondeur (y) de la colonne.

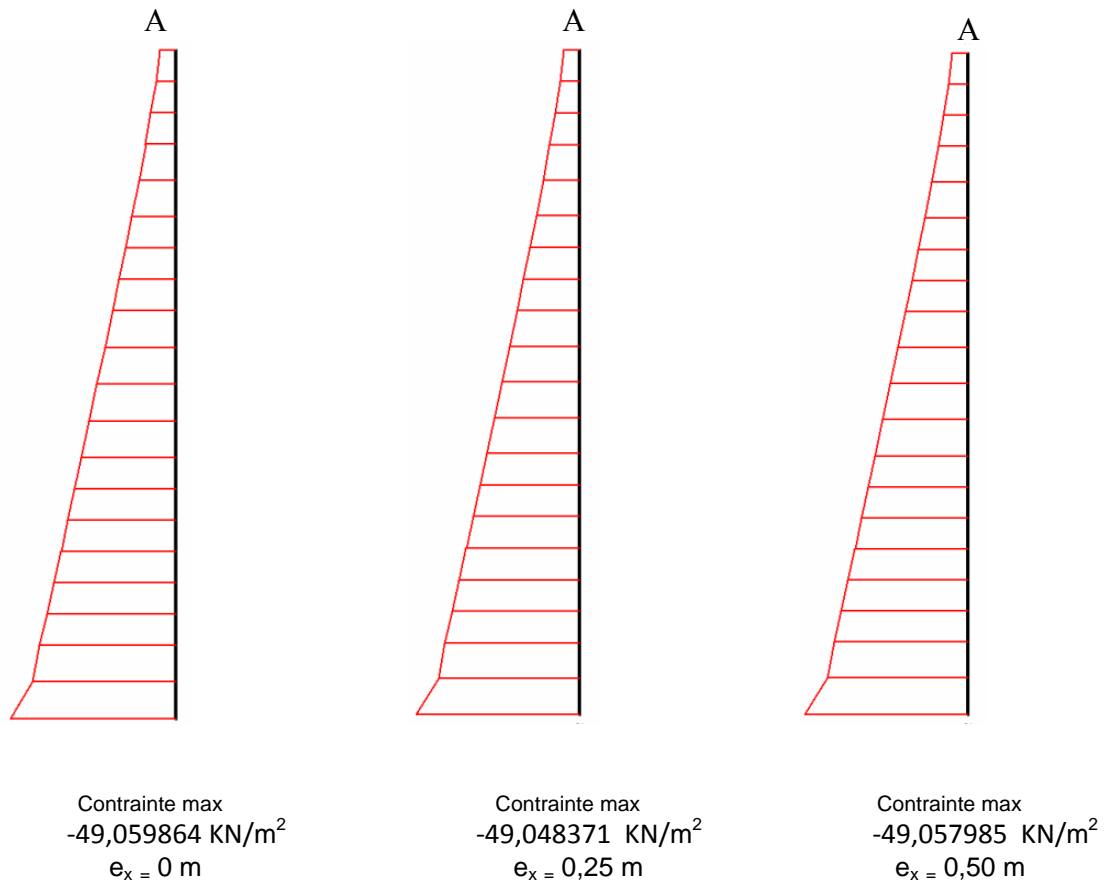


Figure IV.45d : Courbes des Contraintes dans la Colonne 6 suivant l'axe des abscisses selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec augmentation de rayon de radier

C.2. Contraintes suivant l'axe des ordonnées :

À partir de changement du point d'application de la charge entre 0 et 0,50 m les contraintes effectives suivant l'axe des ordonnées (σ'_{yy}) amplifient sur la partie supérieure à l'intervalle [9,75 m à 5,8441939 m] et sur la partie inférieure à l'intervalle [3,1875 m à 1,4691939 m], et réduisent sur la partie intermédiaire à l'intervalle [5,375 m à 3,6038707 m] et sur la partie inférieure à la côte 1,00 m d'une part quand l'excentricité est variée de 0 à 0,25 m, et d'autre part dans les mêmes intervalles et côtes cités ci-dessus les contraintes effectives (σ'_{yy}) prennent le cas contraire. Toutefois on remarque que ces dernières varient d'une manière linéaire en fonction de la profondeur (y) de la colonne. Le même constat a été enregistré pour les contraintes effectives (σ'_{xx}).

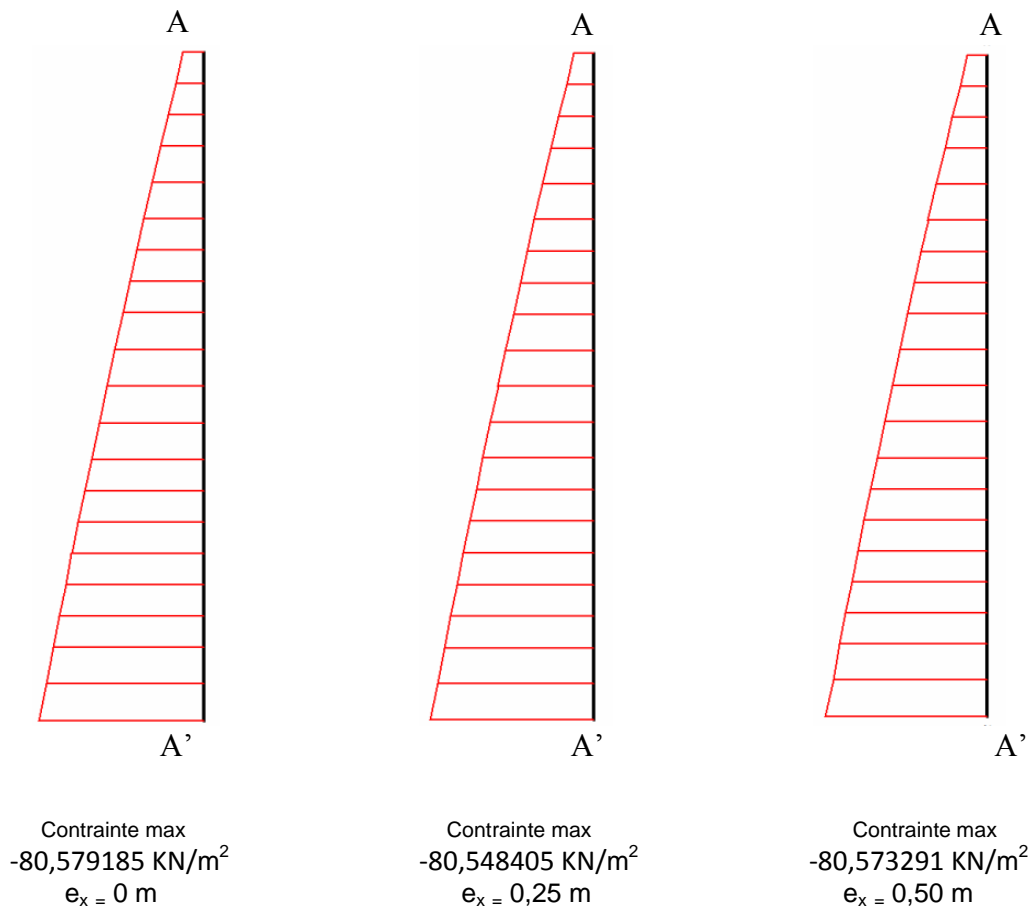


Figure IV.46d: Courbes des Contraintes dans la Colonne 6 suivant l'axe des ordonnées selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec augmentation de rayon de radier

C.3. Contraintes dans le plan xy :

Suivant la variation du point d'application de la charge entre 0 et 0,50 m, on a enregistré une variation alternée sur les valeurs des contraintes dans le plan xy: une diminution à l'intervalle [9,3336293 m à 7,1461293 m] et dans les quatre côtes: 4,9058061m, 4,4366122m, 1,4691939 m et la côte 1,00 m, et une augmentation au sommet de la colonne à la côte 9,75 m et dans les deux intervalles : l'intervalle [6,7297585 m à 5,375 m] et l'intervalle [4,0202415 m à 1,9383878 m] si le point d'application de la charge est positionnée sur les points 0 et 0,25 m. Par contre, le cas inverse est enregistré dans les mêmes intervalles et côtes indiquées ci-dessus lorsque le point d'application de la charge est fixée à 0,50 m.

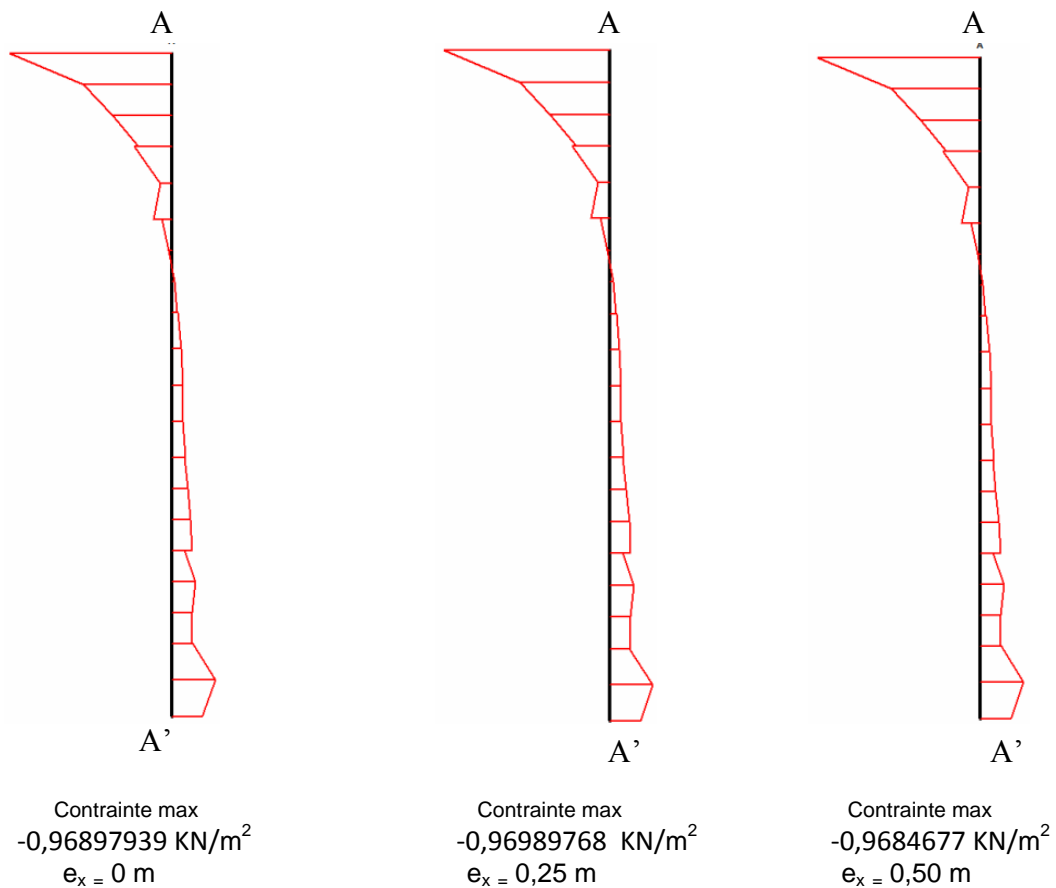


Figure IV.47d: Courbes des Contraintes dans la Colonne 6 dans le plan xy selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec augmentation de rayon de radier

D. Pressions Actives :

Lors de la variation du point d'application de la charge entre 0 et 0,50 m, on a constaté des variations alternées sur les valeurs des pressions actives: une augmentation dans les deux intervalles : [9,75 m à 5,375 m] et l'intervalle [3,1875 m à 1,00 m], et une diminution dans l'intervalle [4,9058061 m à 3,6038707 m] quand la charge est appliquée sur les deux excentricités 0 et 0,25 m. Néanmoins, les pressions actives ont le cas opposé lorsque la charge est apposée à 0,50 m. Les courbes de la figure IV.48d des pressions actives présentent une variation linéaire en fonction de la profondeur (y) de la colonne.

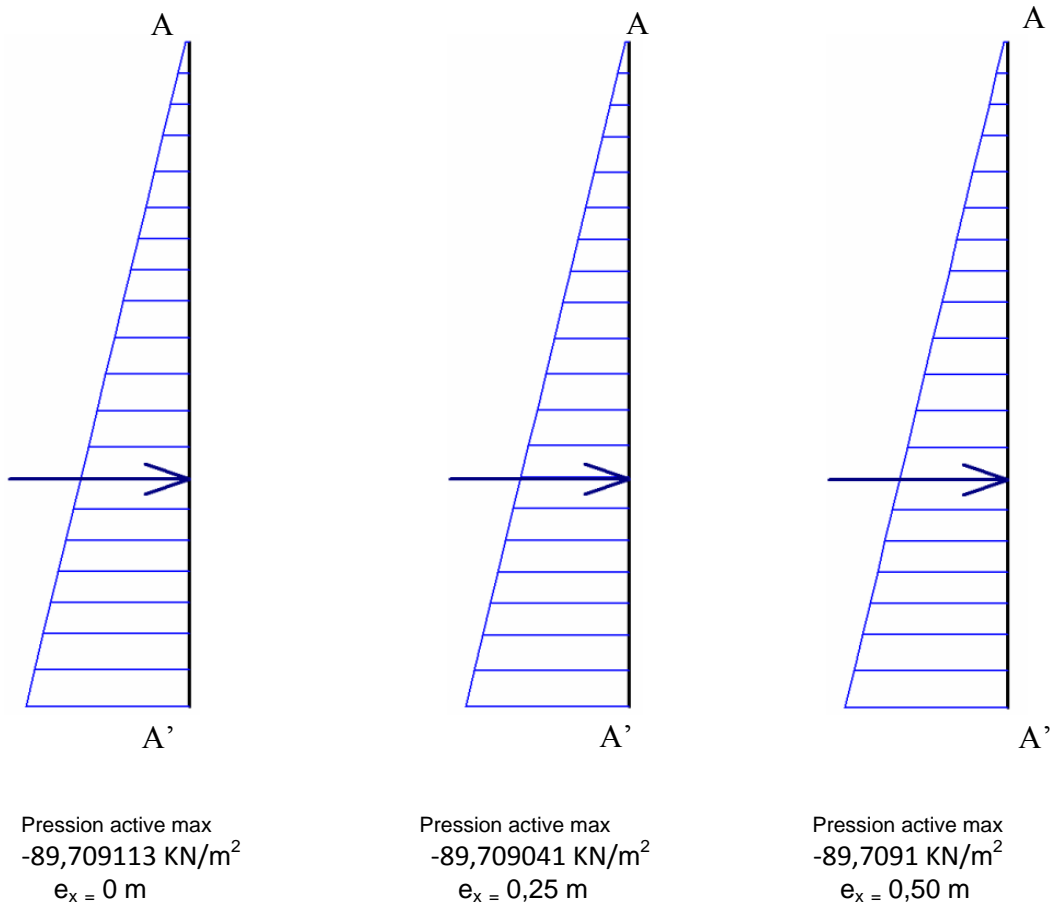


Figure IV.48d : Courbes des pressions actives dans la colonne 6 selon le point d'application de la charge (excentricité e_x) avec augmentation de rayon de radier

IV.1.4.9. Conclusion des résultats des colonnes 5 et 6 et leurs interprétations :

On a enregistré les mêmes causes probables de la variation des résultats entre la colonne 5 (figures : IV.33d, IV.34d, IV.35d, IV.36d, IV.37d, IV.38d, IV.39d et IV.40d) et la colonne 6 (figures : IV.41d, IV.42d, IV.43d, IV.44d, IV.45d, IV.46d, IV.47d et IV.48d) citées dans la partie : influence du point d'application de la charge (excentricité) sur le comportement des colonnes (Pages 99 et 100).

L'augmentation de rayon de radier de 2,00 m à 2,50 m et la variation du point d'application de la charge entre 0 et 0,50 m induit des changements sur les résultats des déplacements, déformations, contraintes et pressions actives des deux colonnes 5 et 6, par l'intermédiaire d'une augmentation des déplacements dans la première moitié, et une diminution dans la seconde moitié des deux colonnes. Le même constat a été enregistré pour les déformations suivant l'axe des abscisses (ϵ_{xx}).

En revanche, les déformations suivant l'axe des ordonnées (ϵ_{yy}) ont augmenté le long de la profondeur des deux colonnes. Seulement, on a observé une réduction dans la dernière côte de

la colonne 5 et en colonne 6 dans les trois dernières côtes de la colonne (en pied de la colonne). Dans le plan xy les déformations (ϵ_{xy}) au niveau de la colonne 5, elles ont augmenté dans deux intervalles localisés sur la partie supérieure et l'autre sur la partie intermédiaire et trois sections réparties sur la partie inférieure, et elles diminuent dans un intervalle positionnée sur la partie supérieure et cinq côtes distribuées sur la partie inférieure de la colonne. Par contre, dans la colonne 6, on a constaté une diminution dans une portion de la partie supérieure et dans deux sections partagées sur la partie inférieure, et augmentent dans un intervalle situé sur la partie intermédiaire et inférieure. Relativement aux contraintes suivant les axes des abscisses (σ'_{xx}) et ordonnées (σ'_{yy}), elles ont augmenté le long de la profondeur des deux colonnes. Dans le plan xy les contraintes ($\sigma'_{xy} = \sigma_{xy}$) dans la colonne 5, elles ont augmenté dans deux intervalles, le premier situé sur la partie supérieure et le second sur la partie intermédiaire, et trois sections partagées sur la partie inférieure. Ces mêmes contraintes ont diminué dans une portion de la partie supérieure et intermédiaire et en deux sections sur la partie inférieure. Au niveau de la colonne 6, on a distingué une augmentation à une section de la partie supérieure et un intervalle situé sur la partie intermédiaire et inférieure. Elles ont diminué également dans un intervalle situé sur les parties supérieure et inférieure et quatre sections distribuées sur les mêmes parties. Quant aux pressions actives ont diminué le long de la profondeur des deux colonnes 5 et 6.

Les deux colonnes 5 et 6 ont pris des modifications sur les résultats des (déplacements, déformations, contraintes et pressions actives) causées par l'augmentation de rayon de radier de 2,00 m à 2,50 m et le changements du point d'application de la charge. D'une part d'une façon croissante sur les valeurs des déplacements dans la première moitié de la profondeur des deux colonnes, sur les valeurs des déformations suivants l'axe des abscisses (ϵ_{xx}) dans la première moitié de la profondeur des deux colonnes. Concernant les déformations suivant l'axe des ordonnées (ϵ_{yy}), on a observé une augmentation le long de la profondeur des deux colonnes. En revanche, on a différencié une diminution en pied des deux colonnes. Pour les autres déformations (ϵ_{xy}) dans le plan xy, elles ont amplifié sur les parties supérieure, intermédiaire et inférieure. Vis-à-vis des différentes contraintes effectives suivant les axes des abscisses et ordonnées, on a distingué un accroissement le long de la profondeur des deux colonnes, en contrepartie les contraintes dans le plan xy, elles ont augmenté sur des intervalles et sections situées sur les trois parties des deux colonnes ; Et d'autre part, elles ont maintenu des modifications sur les résultats des deux colonnes d'une manière décroissante dans les valeurs des pressions actives le long de la profondeur des colonnes. Dans la seconde moitié de

la profondeur des colonnes pour les déplacements, les déformations suivant les axes des abscisses et ordonnées dans la seconde moitié des colonnes et parfois à la base des deux colonnes, mais pour les déformations dans le plan xy sur les parties supérieure, intermédiaire et certains sections de la partie inférieure et sur les valeurs des contraintes ($\sigma'_{xy} = \sigma_{xy}$) dans quelques sections réparties le long de la profondeur des deux colonnes.

IV.1.4.10. Conclusion :

Le changement du point d'application de la charge et l'augmentation de rayon de radier de 2,00 m à 2,50 m influent d'une part de manière croissante, et d'autre part de manière décroissante sur les résultats des déplacements, déformations, contraintes et des pressions actives par rapport aux cas standard (rayon de 2,00 m). Les valeurs des déplacements, des déformations et des contraintes augmentent sur : certaines sections, le tiers, la première moitié et le long de la profondeur des colonnes par l'effet de la variation de rayon de radier amplifié qui est considéré comme une charge supplémentaire. Par contre, la décroissance des déplacements, des déformations, des contraintes dans le plan xy et des pressions actives le long de la profondeur des colonnes, sur : les deux tiers de la profondeur des colonnes, la seconde moitié et quelques sections de la profondeur des colonnes sous l'effet de l'accroissement de rayon de radier qui augmente la surface chargée. Ce qui explique la distribution de la charge appliquée sur une surface élargie. Cette dernière réduit la concentration de la charge en question.

A cet égard, la variation enregistrée dans les résultats (déplacements, déformations, contraintes et pressions actives) est relative au paramètre de l'augmentation de rayon de radier et au changement de l'excentricité.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion Générale :

Ce travail consiste à l'étude du comportement des colonnes ballastées soumises à un chargement excentré, en tenant compte des paramètres géométriques et mécaniques. L'objectif visé est de visualiser l'influence d'une charge excentrée sur le comportement des colonnes ballastées ancrées dans un mauvais sol.

les résultats obtenus (déplacements, déformations, contraintes et pressions actives) d'après l'étude de comportement des colonnes ballastées soumises à ce type de chargement ont permis de confirmer la variation des paramètres suivants:

- Le changement du point d'application de la charge (excentricité);
- La mise en place des colonnes ;
- Le transfert et la répartition de charge au sol renforcé.

En outre l'augmentation des paramètres des dimensions (épaisseur et rayon du radier) permet une amplification du chargement appliqué d'une part, et une augmentation de la rigidité par la croissance de l'épaisseur du radier (fondation) en limitant le transfert de la charge vers le sol renforcé d'autre part. Par contre, la croissance du rayon augmente la surface de chargement et permet une répartition de la charge sur un champ élargi tout en diminuant la charge appliquée.

Quant au paramètre du sol, la réduction de la cohésion engendre une diminution des forces interactives impliquant une augmentation de la pression interstitielle et réduisant ainsi la résistance de cisaillement du sol. Il en résulte une force portante faible du sol devant un chargement excentré.

On constate que les variations des résultats enregistrés (déplacements, déformations, contraintes et pressions actives) sont relatives à la variation des paramètres (excentricité, épaisseur et rayon du radier, et cohésion du sol). Dans la plus part des cas, le plus influant de ces paramètres est l'épaisseur de radier (déplacements, déformations ϵ_{yy} , déformations ϵ_{xy} , contraintes σ_{xx} , contraintes σ_{yy} , contraintes σ_{xy}). Ensuite, on remarque l'influence de la cohésion du sol dans les déformations ϵ_{xx} et les pressions actives.

Pour la stabilité d'une fondation rigide reposant sur des colonnes ballastées en infrastructure, il est recommandé de prendre en considération les remarques suivantes :

- Les paramètres géométriques de la fondation (épaisseur et rayon) ;
- Le paramètre mécanique du sol (cohésion);
- La variation de l'excentricité de la charge.

Comme perspectives, il est judicieux de faire suivre cette étude par une analyse dynamique tridimensionnelle sur les colonnes ballastées en vue de bien visualiser leurs comportements en tenant compte de l'interaction sol-colonnes-structure.

Références Bibliographiques :

- Barkasdale. R. D, Bachus R.C , «design and construction of stone columns, volume, Federal Highway Administration, report N0.SCEGIT-83-104, FHWA/RD-83/026; PB84-190024, December 1983.
- Boulon .M, Flavigny. M. E. et al « pratique éclairée des éléments finis en Géotechnique » , laboratoire «3S » et TERRASOL, Paris, 2004.
- Brinkgreve. R.B.J « Plaxis version 8 *Manuel de référence* », *Delft University of Technology & PLAXIS bv, Pays-Bas,2003.*
- Chardigny. E, Karstunnen. M et Chazallon. C « Influence d'une colonne ballastée sur le comportement des sols argileux » *université de Strathclyde, Glasgow, 2010.*
- Corneille. S, « étude de comportement mécanique des colonnes ballastées chargée par des semelles rigides » Thèse de doctorat, Institut national polytechnique de Lorraine, France 2007.
- Dayte. K.R « Settlement and bearing capacity of foundation system with stone columns, C,R symposium on soil and rock improvement techniques including geotextiles, reinforced earth and modern piling methods», AIT, Bangkok, 1982.
- Debats. J.M, Bouassida. M et Guetif Fessi. Z, « état de la recherche entreprise Dans la modélisation sous Plaxis De la mise en œuvre de colonnes Ballastées dans une argile molle » Journée Utilisateurs PLAXIS – 16 mai 2006.
- Dhatt.G, Touzot. G, E. Lefrançois « Méthode des éléments finis » LAVOISIER, Paris, 2005.
- Dhouib. A et Blondeau. F, «Colonnes ballastées : Techniques de mise en œuvre, domaines d'application, comportement, justification, contrôle, axes de recherche et développement » , Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, 264 pages, 2005.
- Imbert. J.F « Analyse des structures par des éléments finis »,Editions SEPADUES 1979.

- Mestat. P, Prat M, Bisch. P, Millard. A et Cabot. G.P « Ouvrages en interaction » HERMES science, Paris , 1999.
- Normes Françaises NFP 11-212 (2004) «Recommandations sur la conception, le calcul, l'exécution et le contrôle des colonnes ballastées sous bâtiments et ouvrages sensibles au tassement », COPREC et SOFFONS, Paris (30 pages).
- Robitaille.V, Tremblay.D « Mécanique des sols THEORIE ET PRATIQUE » Modulo Editeur, Québec,1997.
- Soyez. B «Méthodes de dimensionnement des colonnes ballastées» Bull. liaison LBO des ponts et des chaussées- N° 135- Jan- fév. 1985.
- Vincent Six, « analyse de comportement des colonnes ballastées : influence des conditions initiales » Thèse de doctorat, université de Lille, France, 2006.
- [www. Keller.com](http://www.Keller.com).

Résumé :

Le renforcement d'un mauvais sol par colonnes ballastées contribue à la diminution du potentiel de liquéfaction des sols dans les zones sismiques. Tenant compte des paramètres mécaniques du sol et géométriques de la fondation (épaisseur et rayon), et l'utilisation d'une modélisation numérique bidimensionnelle par la méthode des éléments finis, on va démontrer l'influence de la charge sur le comportement des colonnes ballastées lorsque celle-ci varie vers la droite par rapport à l'axe de la fondation. Cette variation provoque un changement de comportement des colonnes relatif aux : déplacements, déformations, contraintes et pressions actives.

Mots clés : comportement, colonnes ballastées, charge excentrée, modélisation numérique, bidimensionnelle, liquéfaction, mode de rupture, modèle de comportement.

Abstract :

The reinforcement of bad soil (a soil of low mechanical properties) with stone columns contributes to the decrease of the potential of liquefaction of the soils in the seismic zones. Taking into consideration the mechanic parameters of the soil, the geometric parameters of the foundation (thickness and radius) and use of two dimensional numerical modeling by the method of finite elements we will demonstrate the influence of the load on the behavior of stone columns when this latter vary to the right according the axis of foundation. This variation leads to behavior changes of the columns which relative to: displacements, strains, stresses and active pressures.

Keywords: behavior, stone columns, eccentric loading, numerical modeling, two-dimensional , liquefaction, failure mode, model of behavior.