

Méthode de justification de la stabilisation des murs maçonnés par bracons en situation de séisme

Christophe Merz
Novembre 2020

Siège social

10, rue Galilée
77420 Champs-sur-Marne
Tél +33 (0)1 72 84 97 84
www.fcba.fr

Siret 775 680 903 00132
APE 7219Z
Code TVA CEE : FR 14 775 680 903

Institut technologique FCBA :

Forêt, Cellulose, Bois – Construction,
Ameublement

Partenaires



CSTB
le futur en construction

Avec le soutien



CODIFAB
comité professionnel de développement
des industries françaises de l'ameublement et du bois

REALISATION



L'Institut Technologique FCBA (Forêt Cellulose Bois-Construction Ameublement), a pour mission de promouvoir le progrès technique, participer à l'amélioration de la performance et à la garantie de la qualité dans l'industrie. Son champ d'action couvre l'ensemble des industries de la sylviculture, de la pâte à papier, de l'exploitation forestière, de la scierie, de l'emballage, de la charpente, de la menuiserie, de la préservation du bois, des panneaux dérivés du bois et de l'ameublement. FCBA propose également ses services et compétences auprès de divers fournisseurs de ces secteurs d'activité. Pour en savoir plus : www.fcba.fr

En partenariat avec



FINANCEMENT



Le CODIFAB, Comité Professionnel de Développement des Industries Françaises de l'Ameublement et du Bois, a été créé à la demande des professions de l'ameublement et de la seconde transformation du bois : CAPEB, UFME, UICB, UIPC, UIPP, UMB-FFB, UNAMA UNIFA.



Le CODIFAB a pour mission de conduire et financer, par le produit de la Taxe Affectée, des actions collectives dans le cadre des missions mentionnées à l'article 2 de la loi du 22 Juin 1978. Les projets proposés sont arbitrés par les représentants des professionnels qui valident également leur réalisation.

Pour en savoir plus : www.codifab.fr

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION.....	3
1.1 Contexte.....	3
1.2 Objectif.....	3
2. SOLUTION DE STABILISATION PAR BRACONS.....	4
2.1 Principe de stabilisation.....	4
2.2 Domaine d'emploi visé.....	4
2.3 Exigences constructives.....	5
2.4 Approche de dimensionnement envisagée.....	5
3. METHODES D'ANALYSE SISMIQUE.....	6
3.1 Modélisations spatiales.....	6
3.1.1 Analyse modale.....	6
3.1.2 Méthode des Forces Latérales.....	6
3.1.3 Approche d'analyse pour un bâtiment à un niveau.....	6
3.1.4 Approche d'analyse pour le cas d'un bâtiment à deux niveaux.....	7
3.2 Modélisations dans le plan de la stabilisation.....	8
4. ETUDE DE CAS.....	9
4.1 Hypothèses générales.....	9
4.1.1 Modélisations spatiales (3D).....	9
4.1.2 Modélisations dans le plan de la stabilisation (2D stab).....	10
4.1.3 Caractéristiques des composants.....	10
4.1.4 Actions prises en compte.....	10
4.2 Description des cas d'étude.....	11
4.2.1 Cas 1 : « Croupes imbriquées ».....	11
4.2.2 Cas 2 : « Quatre pans ».....	13
4.2.3 Cas 3 : « Deux pans avec avancée ».....	15
4.2.4 Cas 4 : « Bâtiment en L ».....	18
5. Résultats d'analyses des configurations de base.....	23
5.1.1 Cas 1 « Croupes imbriquées ».....	23
5.1.2 Cas 2 : « Quatre pans ».....	26
5.1.3 Cas 3 : « Deux pans avec avancée ».....	31
5.1.4 Cas 4 : « Bâtiment en L ».....	34
5.2 Modifications de configurations.....	37
5.2.1 Réduction de longueurs de murs travaillants.....	37
5.2.2 Ajout d'un étage.....	44
6. SYNTHESE.....	52
6.1 Configurations de base.....	52
6.2 Configurations modifiées.....	53

6.2.1 Réduction des longueurs de mur travaillantes	53
6.2.2 Bâtiment à étage.....	53

7. METHODE SIMPLIFIEE 55

7.1 Domaine d'application	55
7.1.1 Zones sismiques et catégorie d'importance	55
7.1.2 Type de construction	55
7.1.3 Configuration en plan.....	55
7.1.4 Configuration en élévation	55
7.2 Système de stabilisation	55
7.2.1 Bracons bois	55
7.2.2 Chainages.....	56
7.3 Principes d'analyse.....	56
7.3.1 Coefficient de comportement.....	56
7.3.2 Détermination des actions sismiques	56
7.3.3 Modélisation de la stabilisation	56
7.4 Justifications.....	56
7.4.1 Chainages.....	56
7.4.2 Bracons.....	59

1. INTRODUCTION

1.1 Contexte

En zone sismique, pour les constructions maçonnées avec combles non habitables, la stabilisation hors plan en tête des murs est conditionnée à la conception et la mise en œuvre d'un diaphragme horizontal dans le plan des entrants. Ceci est donc généralement confié au lot charpente, en prévoyant un plan continu de panneaux à base de bois fixés sous les entrants ou des poutres au vent triangulées sur la périphérie. Ce contreventement de toiture doit être suffisamment rigide pour ne pas influencer sur la distribution des efforts horizontaux en tête de murs. En alternative, pour des petits ouvrages courants, les professionnels des charpentes industrialisées en bois ont étudié la possibilité de faire participer les chaînages horizontaux en tête de mur à la reprise des efforts hors plan, ceux-ci étant stabilisés ponctuellement par des éléments bois appelés « bracons » disposés dans le plan des entrants qui fonctionnent en tirant-buton.

Un projet de note a ainsi été rédigé par le SCIBO (Syndicat national des fabricants de structures et Charpentes Industrialisées en Bois) afin de proposer une méthode de conception et de justification de la « reprise de stabilité des murs sous efforts sismiques horizontaux par un système de bracons ».

Le principe est de se ramener à une analyse statique en plan du système de stabilisation formé par les bracons en bois associés aux chaînages horizontaux en béton armé soumis à une charge horizontale uniformément répartie. Le ferrailage des chaînages horizontaux étant défini, le dimensionnement des bracons et de leurs ancrages est mené de manière à limiter les sollicitations dans les chaînages pour ne pas excéder leur capacité résistante maximale en flexion composée.

Une analyse de cette méthode simplifiée a été réalisée, sous la forme d'une « Note de positionnement Synerbois » (partenariat FCBA-CSTB) émise en 2017. Elle indiquait qu'une telle approche simplifiée, faisant abstraction de la réponse globale du bâtiment liée à la disposition des éléments de contreventements verticaux, ne pouvait être directement appliquée sans garde-fous. En effet, suivant l'Eurocode 8, une analyse spatiale doit théoriquement être menée puisque le système de stabilisation impacte la distribution des efforts horizontaux. Quelques configurations avaient donc été étudiées afin de comparer les résultats de cette approche avec ceux d'une analyse conventionnelle. Elle concluait que l'application d'une telle méthode simplifiée pouvait être envisageable, mais dans un domaine d'application restreint et avec des modalités particulières (coefficients forfaitaires ou autres...) qu'il restait à définir. Pour cela une étude paramétrique sur un plus grand nombre de configurations représentatives devait être menée.

Cette étude a été menée à partir de différents cas de projets de maisons individuelles retenus par les professionnels pour prendre en compte les principales typologies constructives potentiellement défavorables en situation de séisme, dans le domaine d'emploi initialement visé : maisons individuelles et petits bâtiments d'habitation collectifs en maçonnerie limités à R+1, avec combles non aménageables dont la charpente est constituée de fermes industrialisées en bois.

1.2 Objectif

L'objectif est de définir le domaine d'emploi et les conditions d'applications d'une méthode simplifiée de justification de la stabilité des murs maçonnés par bracons en situation de séisme. Cette méthode doit permettre de s'affranchir d'une analyse spatiale fastidieuse.

2. SOLUTION DE STABILISATION PAR BRACONS

2.1 Principe de stabilisation

La solution étudiée de stabilisation horizontale des murs en situation de séisme par système de bracons ne concerne que les bâtiments en maçonnerie dont la charpente est constituée de fermes industrialisées en bois.

Le principe consiste à disposer, au niveau du plan des entrails ou directement en dessous, des éléments horizontaux en bois appelés « bracons » reliant les têtes de murs afin de raidir horizontalement les chaînages et permettre la transmission des efforts latéraux.

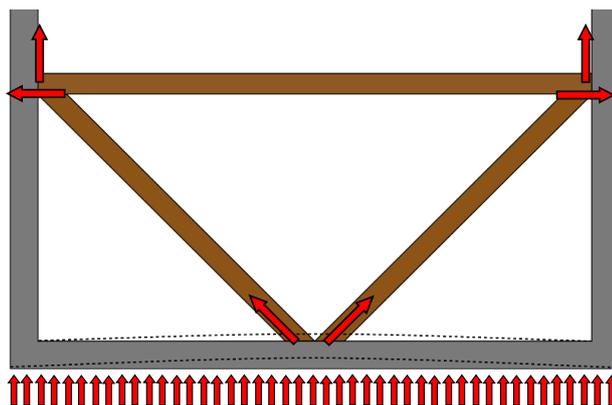


Figure 1 : Vue en plan principe de stabilisation (extrait Note SCIBO)

Le système de stabilisation par bracons doit être conçu de manière à limiter la flexion perpendiculaire au plan des murs dans les chaînages horizontaux.

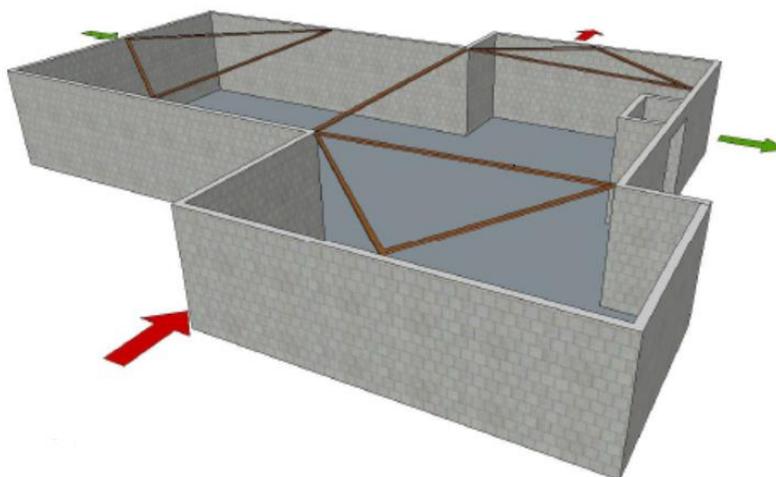


Figure 2 : Vue 3D principe de stabilisation (extrait Note SCIBO)

2.2 Domaine d'emploi visé

Le domaine d'emploi visé dans la Note SCIBO est le suivant :

- Zones sismiques 2 à 4
- Maisons individuelles et bâtiments d'habitation collectifs limités à R+1, de catégorie d'importance II
- Configuration en plan :
 - Dimensions maximales 10 m x 20 m

- Longueur maximale de façade entre murs de refend : 12 m
- Configuration en élévation :
 - Hauteur des façades limitée à 3,3 m en RDC et 6,6 m en R+1

2.3 Exigences constructives

Les murs en maçonnerie sont réalisés conformément aux prescriptions du NF DTU 20.1 « Ouvrages en maçonnerie de petits éléments – parois et murs » et à l'Eurocode 6.

Les maçonneries sont chaînées.

Les dimensions de la section transversale des chaînages verticaux et horizontaux sont supérieures ou égales à 15 cm, conformément à l'Eurocode 8 – section 9.

Le ferrailage minimal des chaînages horizontaux et verticaux est au minimum de 4 HA10.

La charpente est réalisée conformément au NF DTU 31.3 « Charpentes en bois assemblées par connecteurs métalliques ou goussets ».

2.4 Approche de dimensionnement envisagée

Le ferrailage des chaînages horizontaux étant défini, on utilise leur capacité à reprendre un moment fléchissant hors plan dû à un chargement horizontal en tête de mur.

Les différents bracons doivent être disposés de manière à limiter les sollicitations dans les chaînages pour ne pas atteindre la résistance maximale ELU de la section de béton armé en flexion composée.

L'effort sismique agissant sur les chaînages est évalué par la méthode des forces latérales suivant le §4.3.3.2 de l'EC8.

La détermination des efforts internes est effectuée à partir d'une analyse statique dans le plan de la stabilisation.

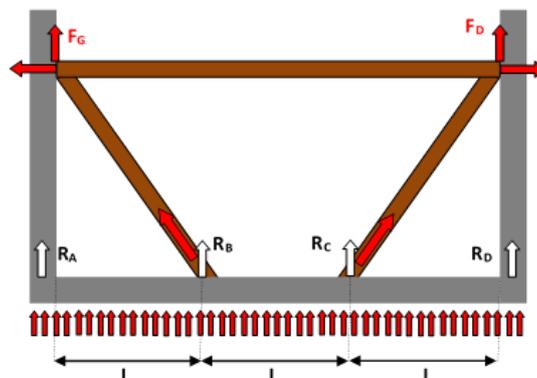


Figure 3 : Schéma de principe de reprise des efforts (extrait Note SCIBO)

3. METHODES D'ANALYSE SISMIQUE

3.1 Modélisations spatiales

Deux types d'analyses ont été menés avec les modèles spatiaux (3D) :

3.1.1 Analyse modale

L'analyse modale en utilisant les spectres de réponse est la méthode applicable en l'absence de diaphragme rigide horizontal en tête de murs.

3.1.2 Méthode des Forces Latérales

La méthode des forces latérales, en déterminant l'effort tranchant sismique à la base dans chaque direction par la relation suivante :

$$F_b = S_d(T_1) \cdot m \cdot \lambda$$

La période fondamentale de vibration T_1 est obtenue de manière approchée par la formule (4.6) de l'EC8 rappelée ci-dessous :

$$T_1 = C_t \cdot H^{3/4}$$

avec

H : hauteur du bâtiment en m

C_t : pris égal à 0,05

Dans le cas d'un bâtiment d'un seul niveau, l'effort sismique horizontal agissant au niveau du plan de la stabilisation est égal à l'effort tranchant à la base dans chaque direction.

Dans le cas d'un bâtiment R+1, les efforts sismiques agissant au niveau du plancher d'étage et du système de stabilisation en tête de mur sont déterminés en considérant une distribution linéaire avec la hauteur suivant la formule (4.11) de l'EC8 rappelée ci-dessous :

$$F_i = F_b \cdot \frac{z_i \cdot m_i}{\sum z_j \cdot m_j}$$

avec

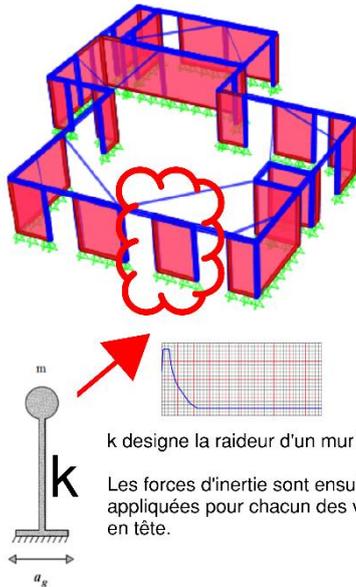
z_i, z_j : hauteur de niveau par rapport au soubassement

m_i, m_j : masse des niveaux i et j

3.1.3 Approche d'analyse pour un bâtiment à un niveau

Une approche technique conforme à l'application de la méthode modale spectrale est présentée ici de manière analytique.

Dans cette approche, pour chacun des murs, il y a lieu de considérer la force d'inertie correspondante à l'excitation modale spectrale.



k désigne la raideur d'un mur isolé.
Les forces d'inertie sont ensuite appliquées pour chacun des voiles en tête.

Pour chacun des murs, on peut montrer que la force d'inertie apportée en tête de chaque mur est inférieure à :

$$F_{tête_mur} = (S_d(T))_{max} * m$$

$$\text{avec } (S_d(T))_{max} = a_g * S * \frac{2.5}{q}$$

et m : Masse de la toiture associée à la descente de charges sur le mur en référence complété de la masse

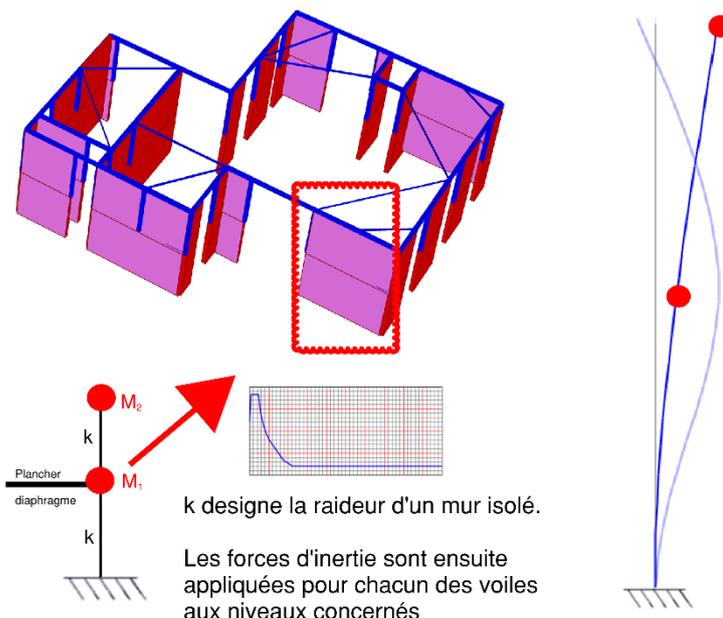
⇒ On peut ensuite étudier chacun des murs en flexion hors plan avec l'application de forces latérales comme s'il était du ressort de §4.3.3.2.2 et §4.3.3.2.3 de NF EN 1998-1.

L'application de cette approche à l'ensemble des murs revient à utiliser la méthode des forces latérales pour chacun des murs.

On est ainsi ramené à l'étude d'un système mécanique soumis à l'application de charges horizontales en tête de murs.

Figure 4 : : Représentation du schéma d'analyse modale spectrale appliqué à des éléments de murs individuels. (cas d'un bâtiment à un étage en l'absence de diaphragme en partie supérieure)

3.1.4 Approche d'analyse pour le cas d'un bâtiment à deux niveaux



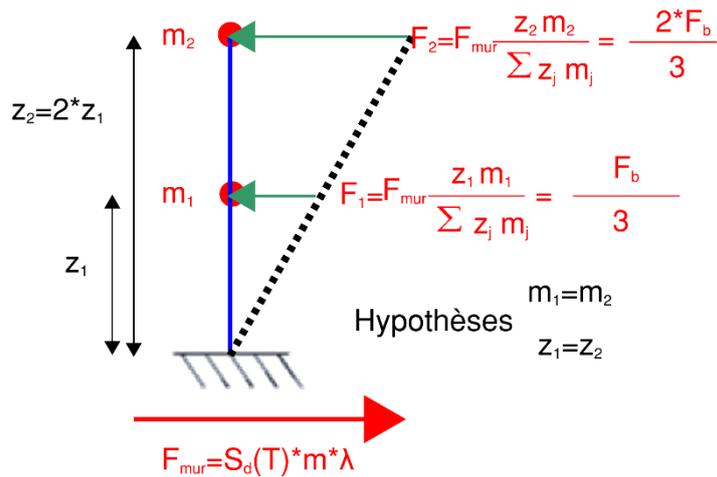
k désigne la raideur d'un mur isolé.
Les forces d'inertie sont ensuite appliquées pour chacun des voiles aux niveaux concernés

On peut démontrer que la force d'inertie par une approche de type spectres transférés ou équivalent au niveau 2 est inférieure à :

$$F_{mur} = \frac{4}{3} (S_d(T))_{max} * m \quad (1)$$

$$\text{avec } (S_d(T))_{max} = a_g * S * \frac{2.5}{q}$$

Figure 5 : : Représentation du schéma d'analyse modale spectrale appliqué à des éléments de murs individuels dans le cas d'un bâtiment à 2 niveaux.



(¹): Par une approche simplifiée d'application de la méthode des forces latérales à un mur reprenant les masses de deux niveaux en application de §4.3.3.2.2 et §4.3.3.2.3, on parvient à démontrer l'expression (Eq. 1)

Figure 6 : : Représentation du schéma mécanique de chargement par une approche de type méthode des forces latérales

3.2 Modélisations dans le plan de la stabilisation

Dans le cas des modélisations en plan du système de stabilisation (2D-stab), l'action sismique agissant sur les chaînages dans chaque direction X et Y est déterminée suivant la méthode des forces latérales comme décrit précédemment.

L'effort sismique est réparti de manière uniforme dans le chaînage horizontal.

4. ETUDE DE CAS

4.1 Hypothèses générales

Les différents cas étudiés ont fait l'objet d'analyses à partir de modélisations spatiales (3D) et de modélisations simplifiées dans le plan du système de stabilisation (2D-stab).

Les effets sismiques sont déterminés sur la base d'un comportement élastique linéaire de la structure.

Conformément au § 9.3 NA de l'EC8, le coefficient de comportement q à utiliser pour les maçonneries chaînées est $q=2,5$.

4.1.1 Modélisations spatiales (3D)

✓ Murs en maçonnerie

Seule la raideur en contreventement des murs est prise en compte. La rigidité hors plan des murs est négligée.

La raideur latérale d'un élément de mur en maçonnerie suivant la direction x est déterminée en utilisant la relation suivante :

$$K_x = \left(\frac{h^3}{3 \cdot E \cdot I_y} + \frac{h}{G \cdot l \cdot t} \right)^{-1}$$

avec,

h : hauteur du mur

E : module d'élasticité de la maçonnerie, $E=1000 \cdot f_k / 2$

G : module de cisaillement de la maçonnerie, $G=0,4 E$

Le coefficient $1/2$ est pris sur le module E , donc G pour prendre en compte la rigidité fissurée, conformément au 9.4 de l'EC8.

I_y : moment d'inertie de la section transversale du mur dans la direction x ,

$$I_y = \frac{t \cdot l^3}{12}$$

l : longueur de l'élément de mur

Les éléments de murs sont considérés individuellement entre chaque ouverture de surface supérieure à $1,5 \text{ m}^2$.

✓ Chainages

Les chainages horizontaux surmontent les murs en maçonnerie à chaque niveau.

Les chainages verticaux sont disposés

- à chaque extrémité d'éléments de murs,
- au sein d'un élément de mur, le cas échéant, afin que la distance entre chainages verticaux n'excède pas 5 m
- à chaque angle de murs.

Aux intersections de murs la liaison entre chainages horizontaux est considérée articulée.

Aux extrémités des chainages horizontaux la liaison est considérée articulée.

✓ Bracons

Aux extrémités des bracons la liaison avec le chaînage est considérée articulée.

Les bracons sont considérés maintenus par les entrants vis-à-vis du risque d'instabilité par flambement.

4.1.2 Modélisations dans le plan de la stabilisation (2D stab)

Les hypothèses suivantes sont retenues pour la modélisation en plan du système triangulé formé par les chaînages horizontaux en tête de murs et les bracons :

- aux intersections de murs la liaison entre chaînages horizontaux est considérée articulée ;
- aux extrémités des bracons la liaison avec le chaînage est considérée articulée ;
- chaque extrémité de mur constitue un point d'appui qui bloque la translation dans la direction du mur.

4.1.3 Caractéristiques des composants

✓ Murs en maçonnerie:

Blocs de béton creux de 20 cm de largeur et 20 cm de hauteur
Béton de granulats courants groupe 3, $R_c = 4$ MPa, $f_k = 2,61$ MPa

✓ Chaînages en béton armé

Remplissage béton : section 15×15 cm², classe C20/25
Armatures 4 HA10

Le diagramme d'interaction Moment résistant / Effort Normal résistant à l'ELU-sismique d'un tel chaînage est reproduit ci-dessous :

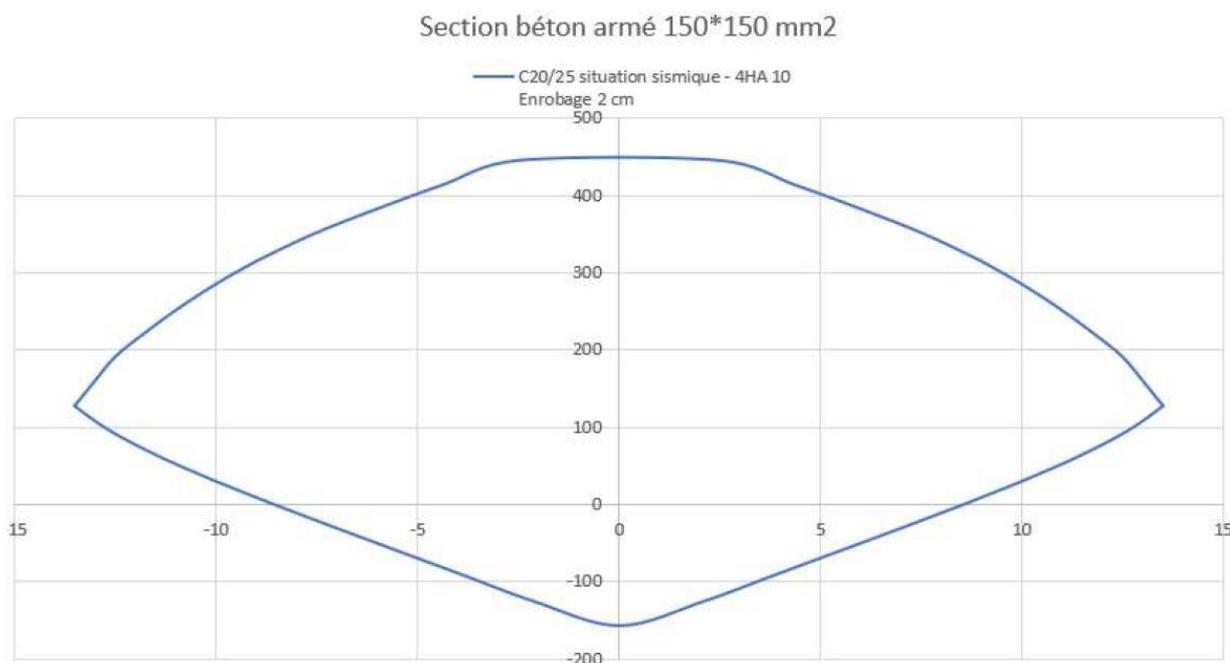


Figure 7 Diagramme d'interaction Moment résistant (abscisses en KN.m) / Effort Normal (ordonnées en kN)

✓ Bracons en bois massif

Classe mécanique C24
Section : $b=36$ mm x $h=97$ mm

4.1.4 Actions prises en compte

✓ Charges permanentes

- toiture : 50 daN/m², suivant le rampant
- plafond : 20 daN/m²
- murs : 300 daN/m²

- plancher étage : 400 daN/m²

✓ **charges exploitation**

- plancher étage : 150 daN/m²

✓ **Sismique**

- zone 4
- classe de sol E
- catégorie d'importance II

4.2 Description des cas d'étude

Les principales caractéristiques des différents cas de projets de maisons individuelles soumis par les professionnels pour étude sont présentées ci-dessous.

4.2.1 Cas 1 : « Croupes imbriquées »

✓ **Description**

Le bâtiment est constitué de deux corps imbriqués, dont l'emprise au sol s'inscrit dans un rectangle de 17,4 m de longueur par 15,3 m de largeur. La toiture de chaque corps est à quatre pans (pente 30%).

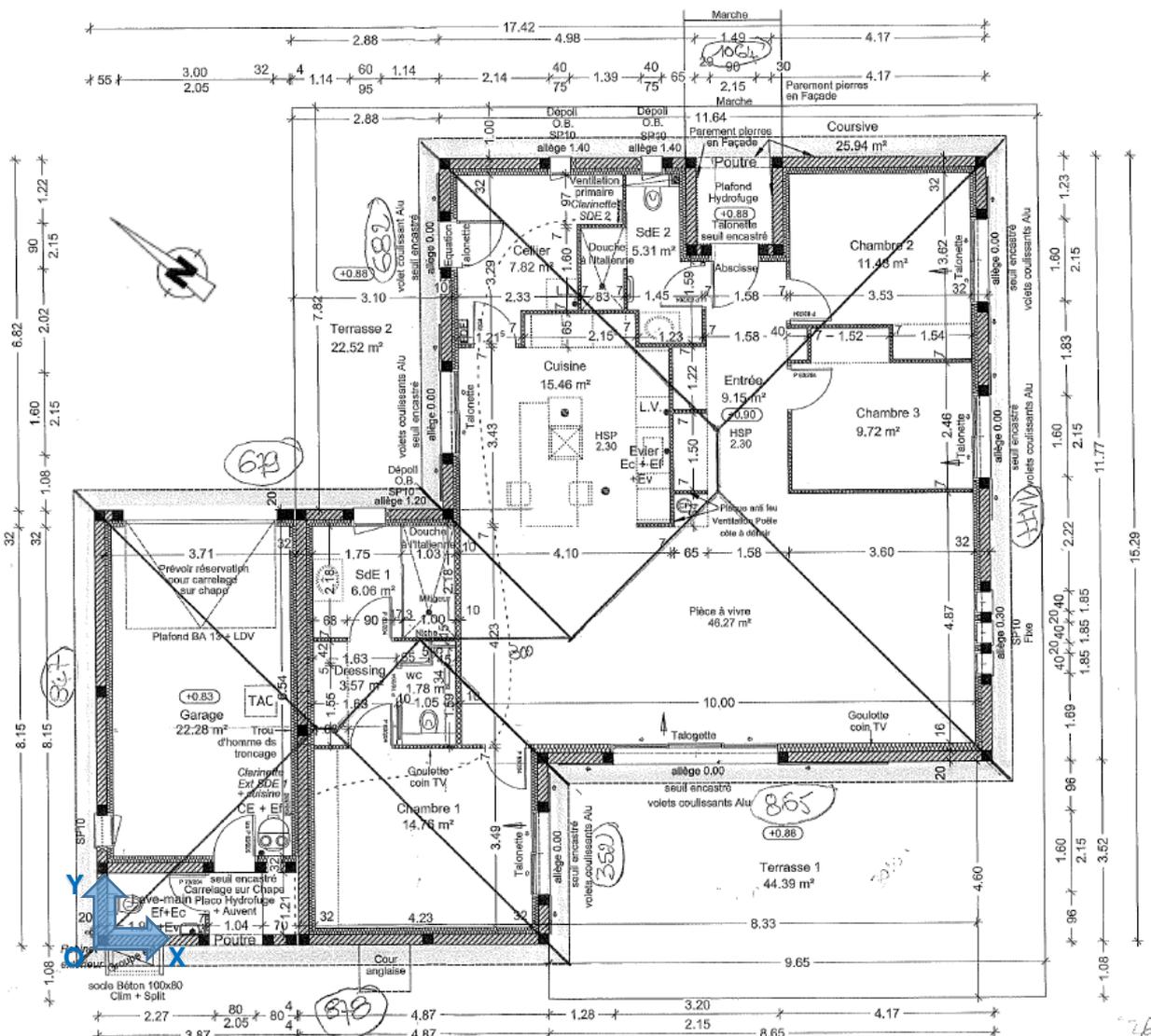


Figure 8 : Vue en plan - Cas 1 « Croupes imbriquées »

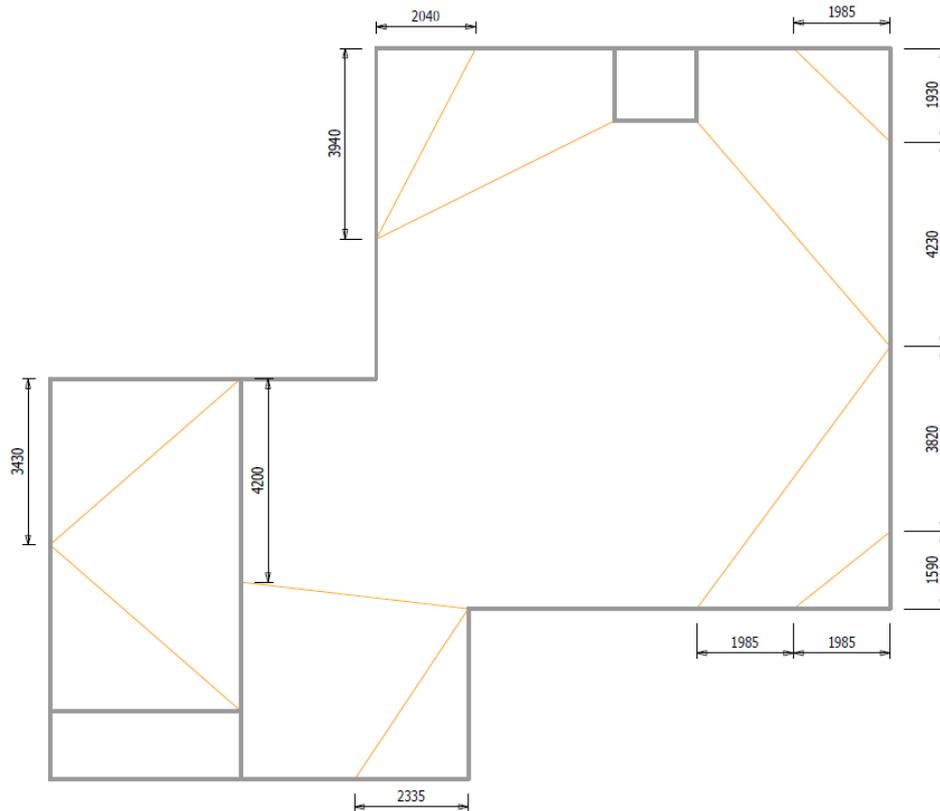


Figure 10 : Vue en plan - Cas 1 « Croupes imbriquées » - implantation des bracons

4.2.2 Cas 2 : « Quatre pans »

✓ Description

Le bâtiment fait une emprise au sol rectangulaire de 17,8 m de longueur par 9,3 m de largeur. La toiture est à quatre pans (pente 30%).

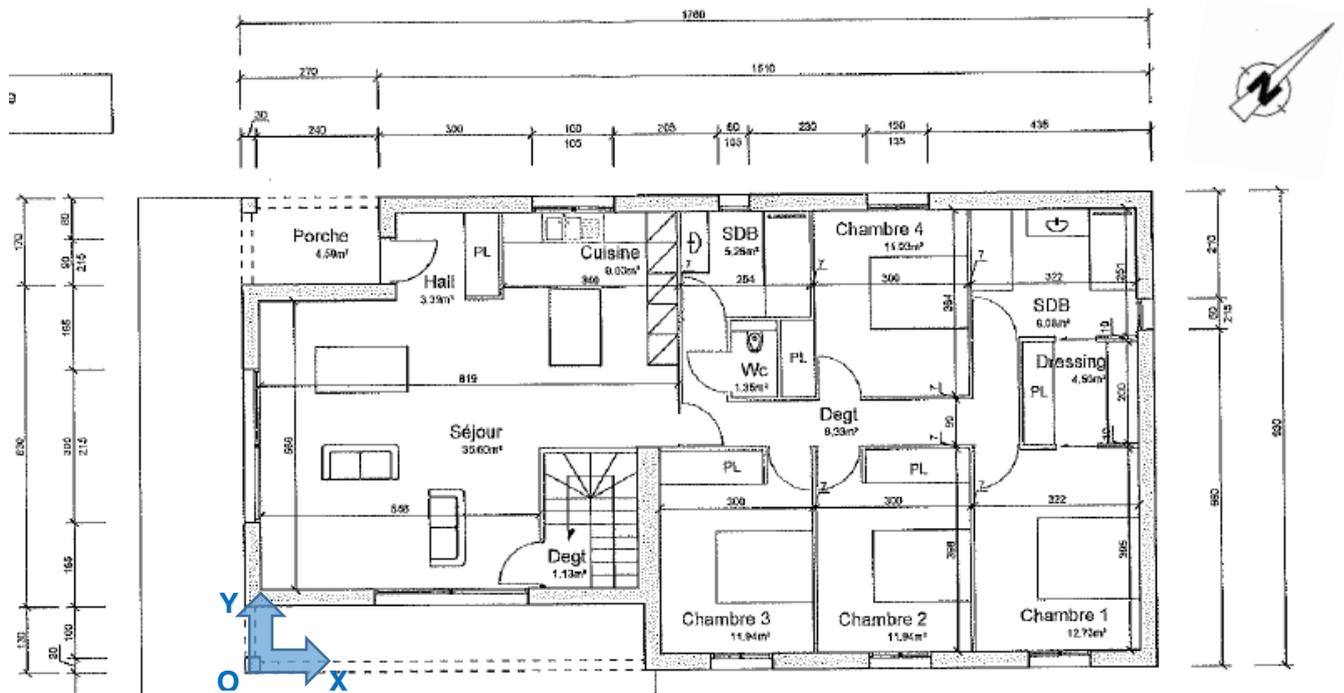


Figure 11 : Vue en plan - Cas 2 « Quatre pans »

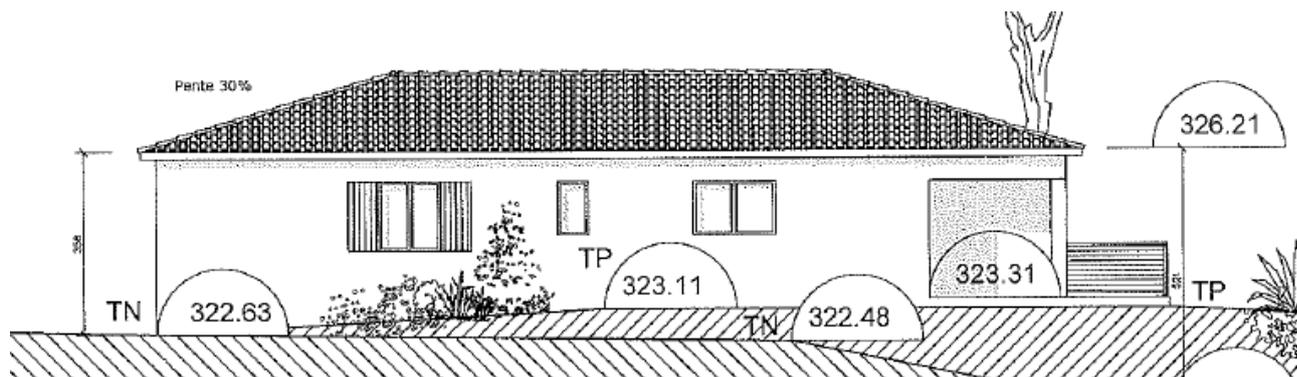


Figure 12 : Vue en élévation façade Nord-Est - Cas 2 « Quatre pans »

✓ **Caractéristiques**

Les principales caractéristiques du bâtiment considérées pour l'étude sont les suivantes :

			Distance (m)				Aire (m ²)	Poids (daN)
			plan			élev ^{tn}		
			X	Y	X+Y			
Toiture	Superficie	S _{toit}				172		
	Poids	P _{toit}					8600	
Plafond	Superficie	S _{plafond}				150		
	Poids	P _{plafond}					3000	
	Dimensions maxi en plan	L _x , L _y	17,8	9,3				
	Coord. Centre de Gravité	X_G, Y_G	8,9	4,7				
	Rayon de giration massique	I _s			5,8			
Chainages	Longueurs (couronnements)	L _{chH}	35,9	21,7	57,6			
	Poids	P _{ch}					3130	
Murs	Hauteur	H _m				2,7		
	Poids	P _{murs}					33820	
	Longueur murs travaillants	L _m	25,9	17,2	43,1			
	Ratio longueur travail. mini	L _{min} /L _{x,y}	17%	9%				
	Ratio longueur travail. mini	L _{max} /L _{x,y}	66%	94%				
	Coord. Centre de Raideur	X_C, Y_C	13,6	6,5				
	Rayon de torsion	r _x , r _y	7,0	6,9				
Retraits	Superficie totale	S _{Σretraits}				7,2		
	Superficie max	S _{retrait max}				4,9		
Total							48550	

Tableau 3 : Caractéristiques bâtiment Cas 2 « Quatre pans »

✓ **Régularité en plan**

L'examen des différents critères de régularité en plan définis au § 4.2.3.2 de l'EC8 est présenté ci-dessous :

Paramètre	Valeur	Seuil EC8	Critère vérifié	
Symétrie en plan			oui	
Compacité	S _{retrait max} /S _{plancher}	3%	≤ 5%	oui
Elancement	L _{max} /L _{min}	1,9	≤ 4	oui
Excentricité structurale	e _{0x} /r _x	0,7	≤ 0,3	non
	e _{0y} /r _y	0,27	≤ 0,3	oui
	r _x /I _s	1,2	≥ 1	oui
	r _y /I _s	1,2	≥ 1	oui

Tableau 4 : Régularité en plan bâtiment Cas 2 « Quatre pans »

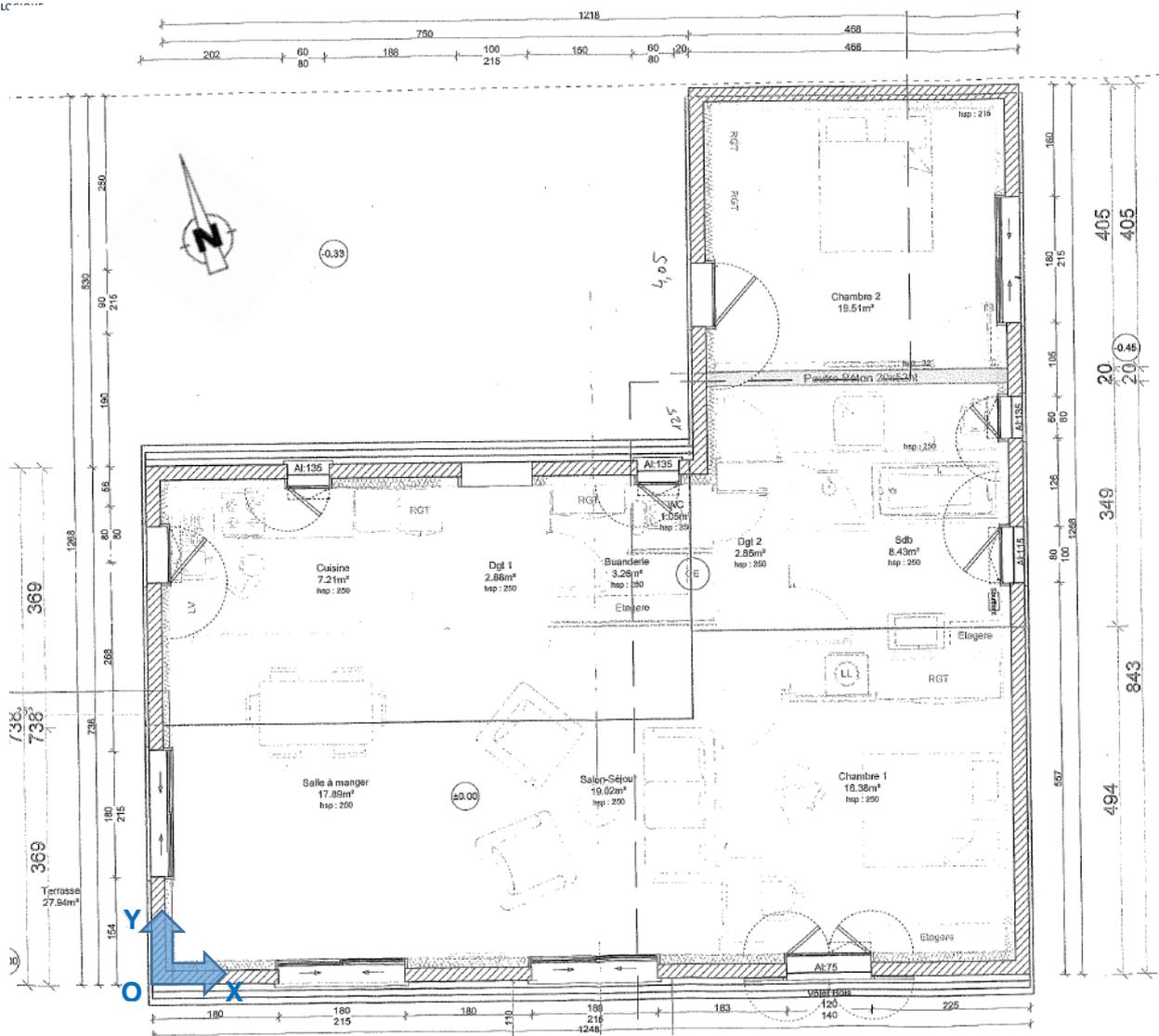


Figure 14 : Vue en plan - Cas 3 « Deux pans avec avancée »

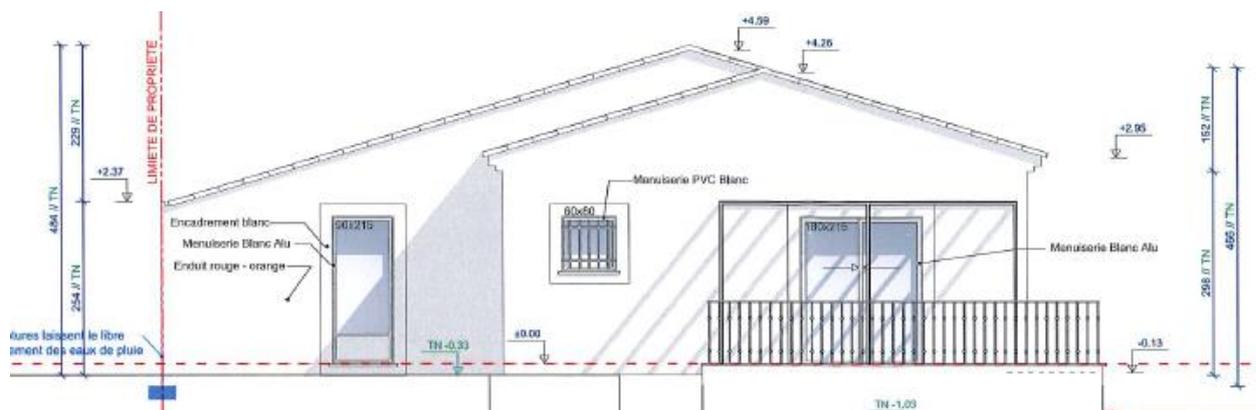


Figure 15 : Vue en élévation façade Ouest - Cas 3 « Deux pans avec avancée »

✓ Caractéristiques

Les principales caractéristiques du bâtiment considérées pour l'étude sont les suivantes :

			Distance (m)			Aire (m ²)	Poids (daN)
			plan		élev ^{tn}		
			X	Y	X+Y	Z	
Toiture	Superficie	S _{toit}				124	
	Poids	P _{toit}					6200
Plafond	Superficie	S _{Plafond}				119	
	Poids	P _{Plafond}					1960
	Dimensions maxi en plan	L _X , L _Y	12,5	12,7			
	Coord. Centre de Gravité	X_G, Y_G	7,1	5,1			
	Rayon de giration massique	I _s			4,9		
Chainages	Longueurs (couronnements)	L _{chH}	24,8	25,6	50,4		
	Poids	P _{ch}					12100
Murs	Hauteur	H _m				2,7	
	Poids	P _{murs}					30760
	Longueur murs travaillants	L _m	17,8	18,9	36,7		
	Ratio longueur travail. mini	L _{min} /L _{x,y}	37%	36%			
	Ratio longueur travail. mini	L _{max} /L _{x,y}	61%	75%			
	Coord. Centre de Raideur	X_C, Y_C	9,4	6,3			
	Rayon de torsion	r _x , r _y	5,8	6,3			
Retraits	Superficie totale	S _{Σretraits}				20	
	Superficie max	S _{retrait max}				20	
Total							51020

Tableau 5 : Caractéristiques bâtiment Cas 3 « Deux pans avec avancée »

✓ Régularité en plan

L'examen des différents critères de régularité en plan définis au § 4.2.3.2 de l'EC8 est présenté ci-dessous :

Paramètre	Valeur	Seuil EC8	Critère vérifié	
Symétrie en plan			non	
Compacité	S _{retrait max} /S _{plancher}	17%	≤ 5%	non
Elancement	L _{max} /L _{min}	1	≤ 4	oui
Excentricité structurale	e _{0x} /r _x	0,40	≤ 0,3	non
	e _{0y} /r _y	0,20	≤ 0,3	oui
	r _x /I _s	1,2	≥ 1	oui
	r _y /I _s	1,3	≥ 1	oui

Tableau 6 : Régularité en plan bâtiment Cas 3 « Deux pans avec avancée »

✓ Stabilisation

L'implantation des bracons retenue pour l'étude est présentée sur la figure suivante :

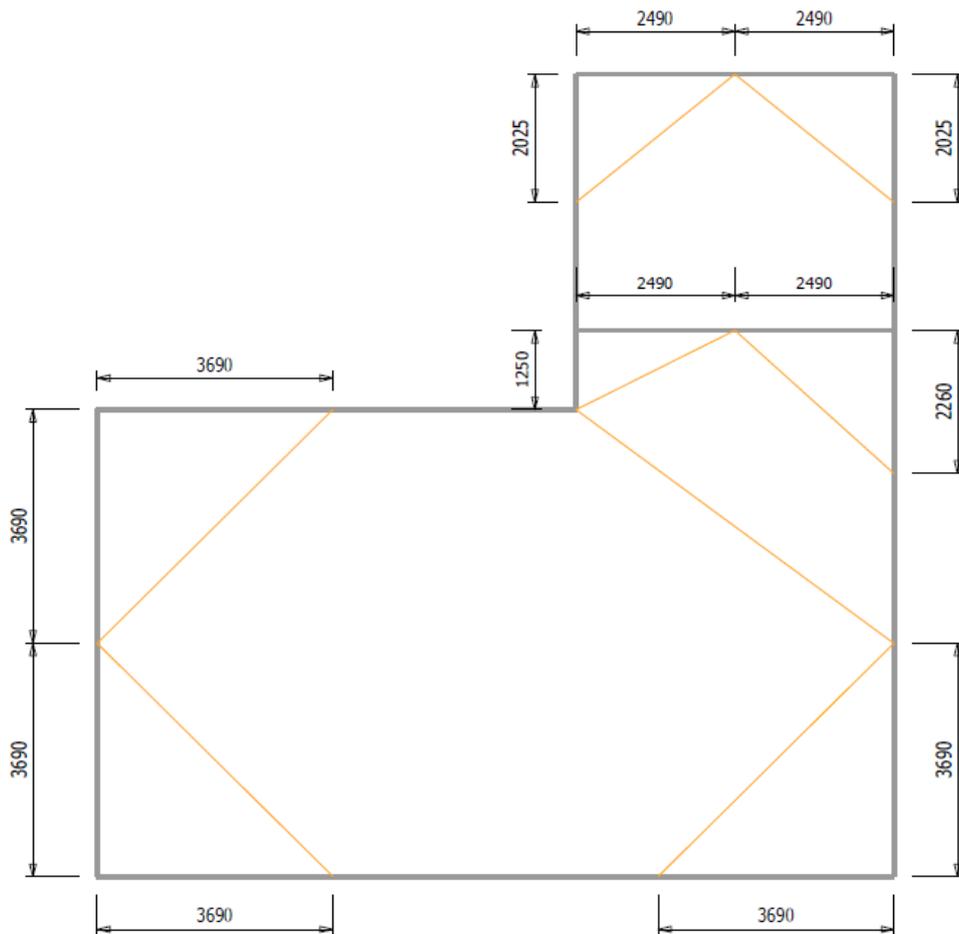


Figure 16 : Vue en plan - Cas 3 « Deux pans avec avancée » - implantation des bracons

4.2.4 Cas 4 : « Bâtiment en L »

✓ Description

Le bâtiment est constitué d'un corps principal en forme de L qui s'inscrit dans un rectangle de 13,9 m de longueur par 12,4 m de largeur et d'un garage attenant, dans le prolongement du grand côté du L, de 4,4 m de largeur par 9,8 m de longueur.

La toiture du corps principal est constituée d'une partie à deux pans (pente 30%) sur le grand côté se raccordant avec la partie avec une croupe sur le petit côté.

La toiture du garage est à simple pente (30%).

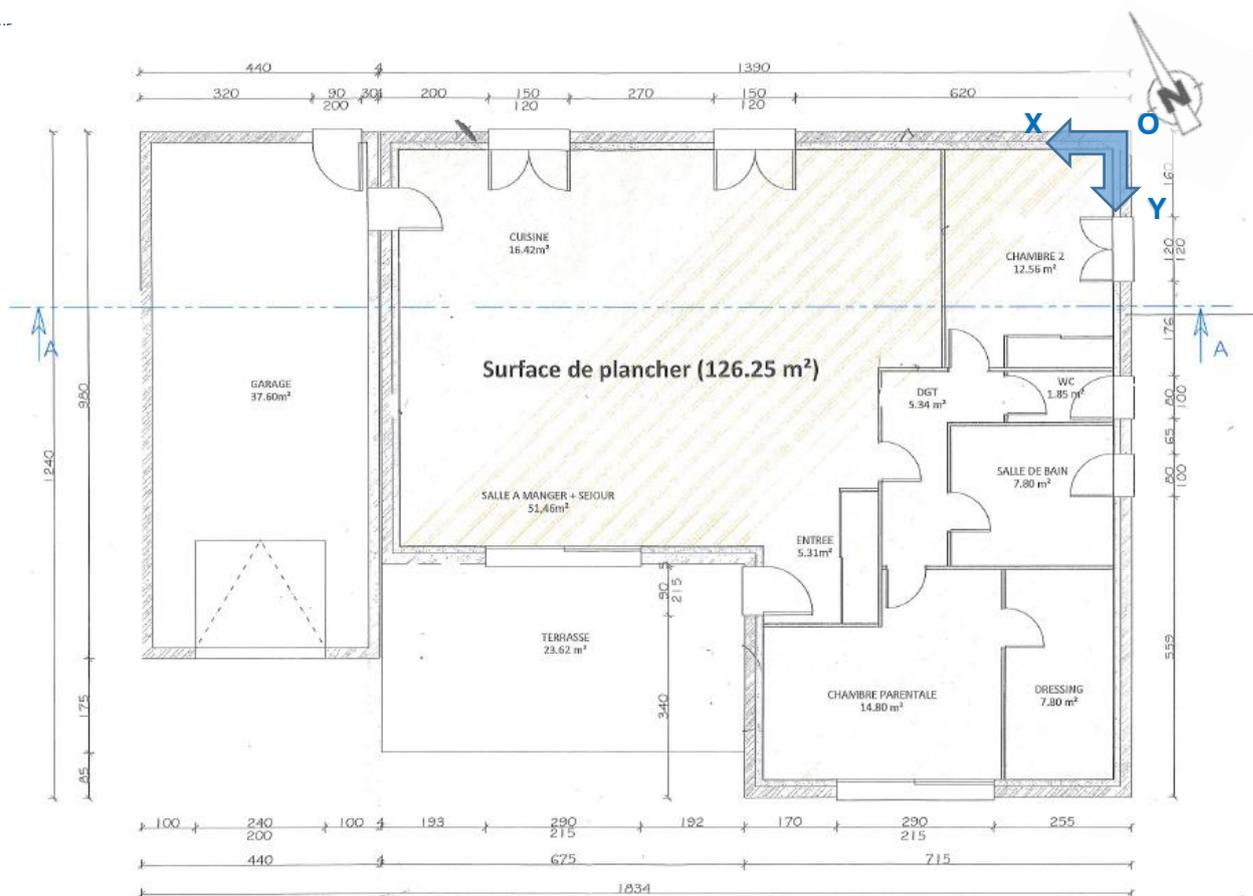


Figure 17 : Vue en plan - Cas 4 « Bâtiment en L »

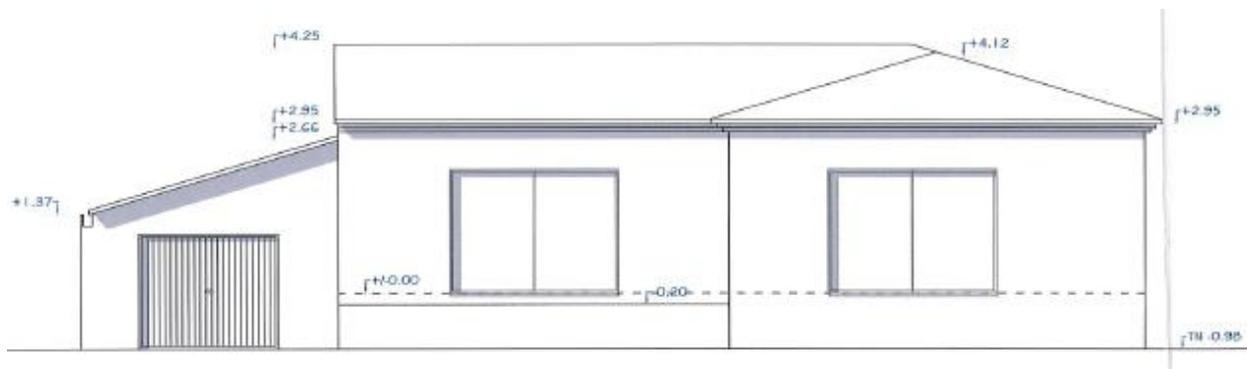


Figure 18 : Vue en élévation façade Sud - Cas 4 « Bâtiment en L »

✓ Caractéristiques

Les principales caractéristiques du bâtiment considérées pour l'étude sont les suivantes :

• Corps principal

			Distance (m)				Aire (m ²)	Poids (daN)
			plan			élev ^{tn}		
			X	Y	X+Y			
Toiture	Superficie	S _{toit}				151		
	Poids	P _{toit}					7550	
Plafond	Superficie	S _{plafond}				143		
	Poids	P _{plafond}					2860	
	Dimensions maxi en plan	L _x , L _y	13,9	12,4				
	Coord. Centre de Gravité	X _G , Y _G	6,2	5,4				

Chainages	Rayon de giration massique	I_s			5,2		
	Longueurs (couronnements)	L_{chH}	27,8	24,8	52,6		
	Poids	P_{ch}					10180
Murs	Hauteur	H_m				2,8	
	Poids	P_{murs}					32470
	Longueur murs travaillants	L_m	19,0	20,3	39,3		
	Ratio longueur travail. mini	$L_{min}/L_{x,y}$	28%	78%			
	Ratio longueur travail. mini	$L_{max}/L_{x,y}$	27%	77%			
	Coord. Centre de Raideur	X_c, Y_c	7,3	2,2			
Retraits	Rayon de torsion	r_x, r_y	7,5	8,9			
	Superficie totale	$S_{\Sigma retraits}$					14,5
	Superficie max	$S_{retrait max}$					14,5
Total							53060

Tableau 7 : Caractéristiques bâtiment Cas 4 « Bâtiment en L »-Corps principal

• **Garage**

			Distance (m)				Aire (m ²)	Poids (daN)
			plan			élev ^{tn}		
			X	Y	X+Y			
Toiture	Superficie	S_{toit}					45	
	Poids	P_{toit}					2200	
Plafond	Superficie	$S_{Plafond}$					43	
	Poids	$P_{Plafond}$						
	Dimensions maxi en plan	L_x, L_y	4,4	9,8				
	Coord. Centre de Gravité	X_G, Y_G	16,1	4,9				
	Rayon de giration massique	I_s			3,1			
Chainages	Longueurs (couronnements)	L_{chH}	8,8	19,6	28,4			
	Poids	P_{ch}					5860	
Murs	Hauteur	H_m				3,6/2,4		
	Poids	P_{murs}					20780	
	Longueur murs travaillants	L_m	5,5	18,8	24,3			
	Coord. Centre de Raideur	X_c, Y_c	17,3	1,1				
	Rayon de torsion	r_x, r_y	2,2	7,0				
Retraits	Superficie totale	$S_{\Sigma retraits}$					0	
	Superficie max	$S_{retrait max}$					0	
Total							28840	

Tableau 8 : Caractéristiques bâtiment Cas 4 « Bâtiment en L »-Garage

✓ **Régularité en plan**

L'examen des différents critères de régularité en plan définis au § 4.2.3.2 de l'EC8 est présenté ci-dessous :

• **Corps principal**

Paramètre	Valeur	Seuil EC8	Critère vérifié	
Symétrie en plan			non	
Compacité	$S_{retrait max}/S_{plancher}$	10%	≤ 5%	non
Elancement	L_{max}/L_{min}	1,1	≤ 4	oui
Excentricité structurale	e_{0x}/r_x	0,15	≤ 0,3	oui
	e_{0y}/r_y	0,35	≤ 0,3	non
	r_x/I_s	1,4	≥ 1	oui
	r_y/I_s	1,7	≥ 1	oui

Tableau 9 : Régularité en plan bâtiment Cas 4 « Bâtiment en L »-Corps principal

Paramètre	Valeur	Seuil EC8	Critère vérifié	
Symétrie en plan			oui	
Compacité	$S_{retrait max}/S_{plancher}$	0%	≤ 5%	oui

Elancement	L_{max}/L_{min}	2,2	≤ 4	oui
Excentricité structurale	e_{0x}/r_x	0,53	$\leq 0,3$	non
	e_{0y}/r_y	0,55	$\leq 0,3$	non
	r_x/l_s	0,7	≥ 1	non
	r_y/l_s	2,2	≥ 1	oui

Tableau 10 : Régularité en plan bâtiment Cas 4 « Bâtiment en L »-Garage

L'implantation des bracons retenue pour l'étude est présentée sur la figure suivante :

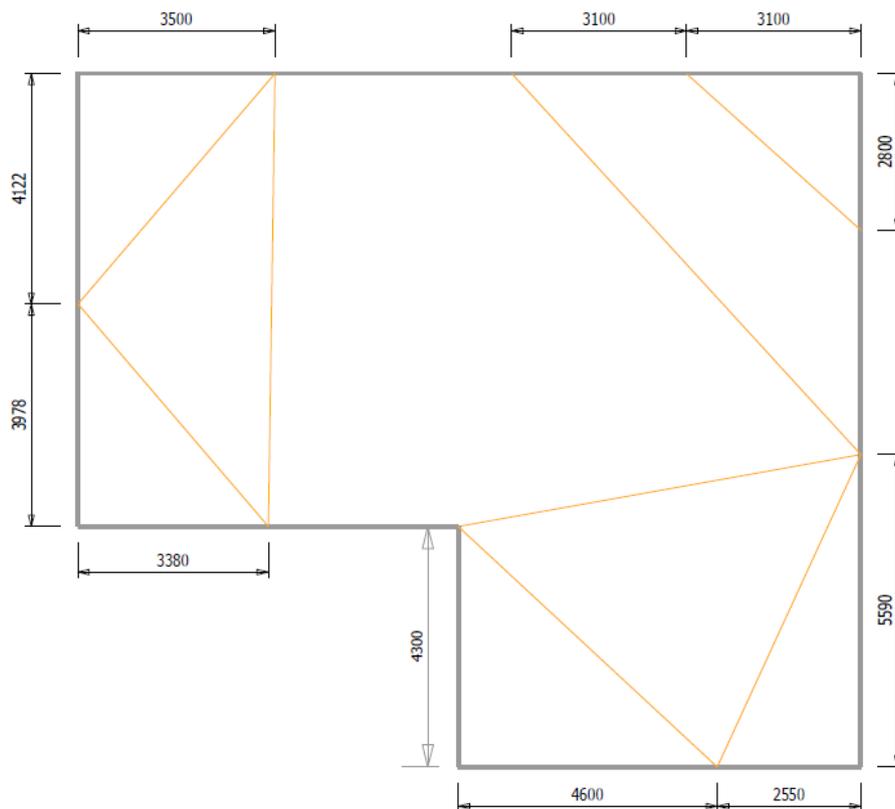


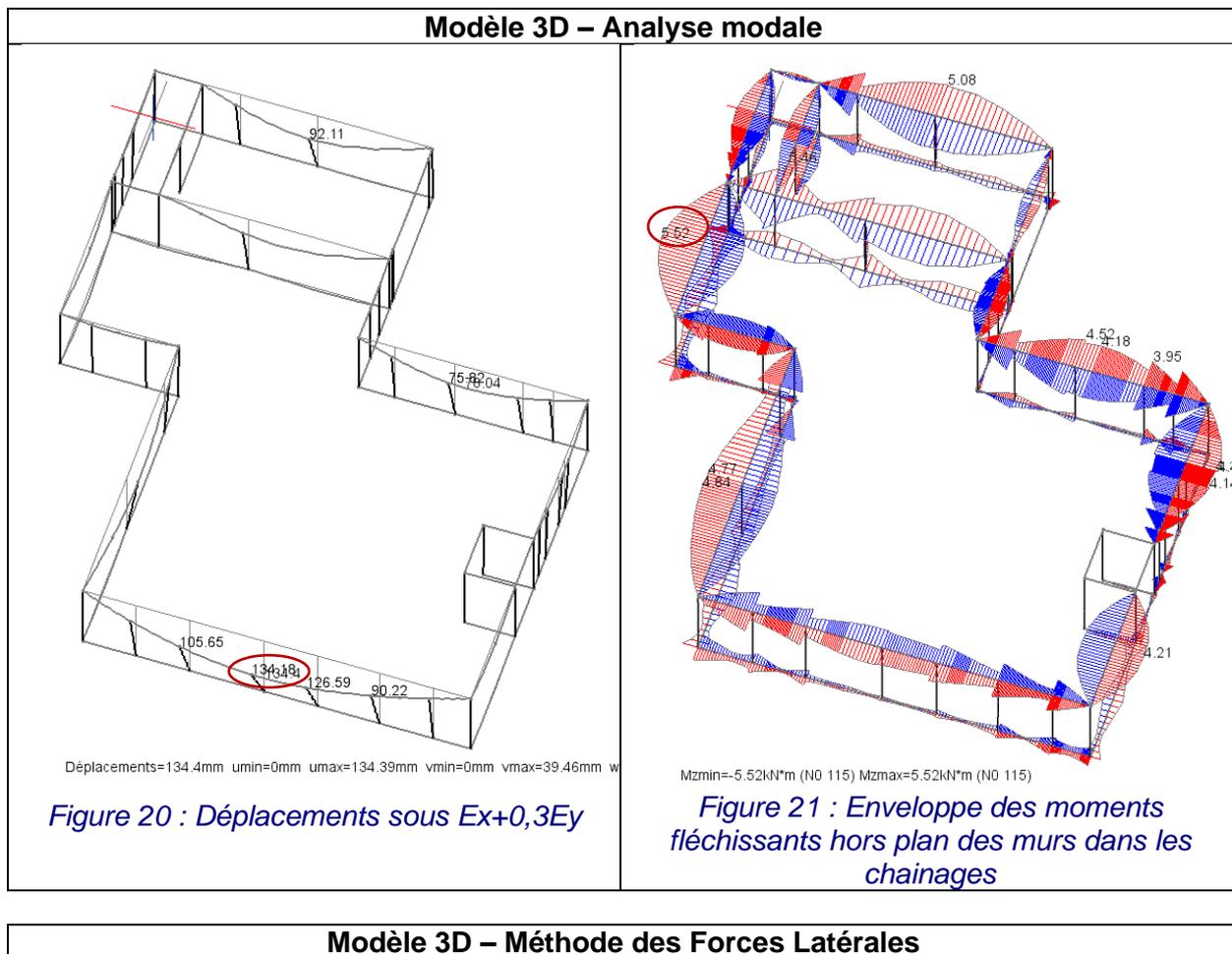
Figure 19 : Vue en plan - Cas 4 « Bâtiment en L » - implantation des bracons corps principal

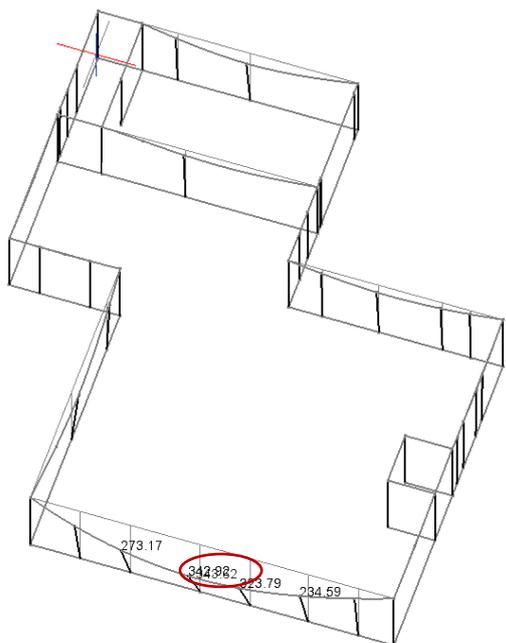
5. Résultats d'analyses des configurations de base

5.1.1 Cas 1 « Croupes imbriquées »

L'allure des déformées et le diagramme enveloppe des moments fléchissants hors plan des murs dans les chaînages obtenus avec les différentes analyses effectuées sont présentés ci-dessous :

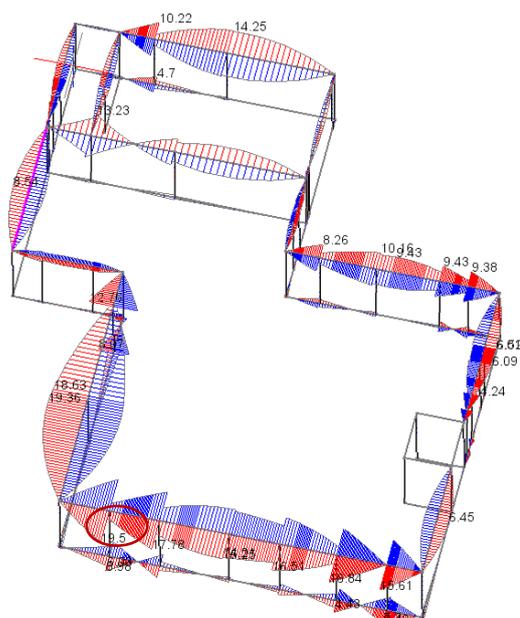
✓ Modèles sans stabilisation





Déplacements=343.62mm umin=-1.32mm umax=343.36mm vmin=-1.29mm vmax=68.09mm

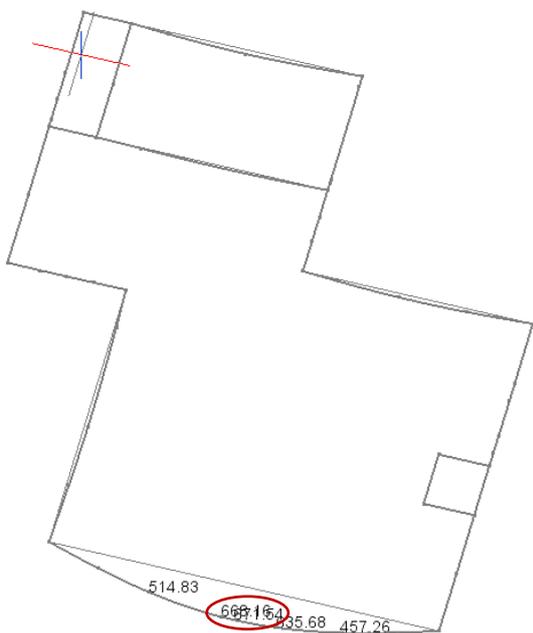
Figure 22 : Déplacements sous $-Ex+0,3Ey$



Mzmin=-19.5kN*m (N0 101) Mzmax=19.5kN*m (N0 101)

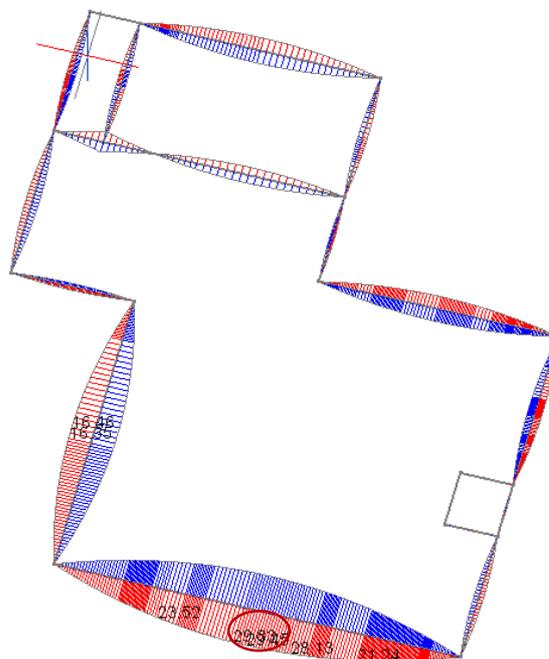
Figure 23 : Enveloppe des moments fléchissants hors plan des murs dans les chaînages

Modèle 2D stab – Méthode des Forces Latérales



Déplacements=671.54mm umin=-1.61mm umax=671.53mm vmin=0mm

Figure 24 : Déplacements sous $Ex+0,3Ey$

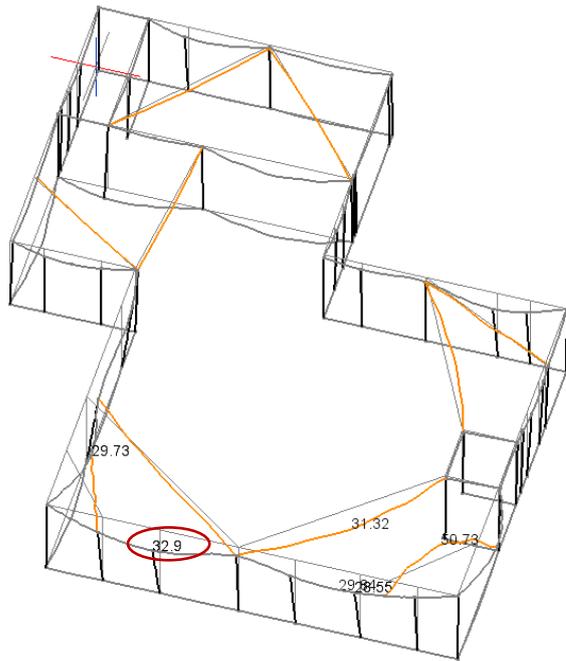


Mzmin=-29.45kN*m (N0 95) Mzmax=29.45kN*m (N0 95)

Figure 25 : Enveloppe des moments fléchissants hors plan des murs dans les chaînages

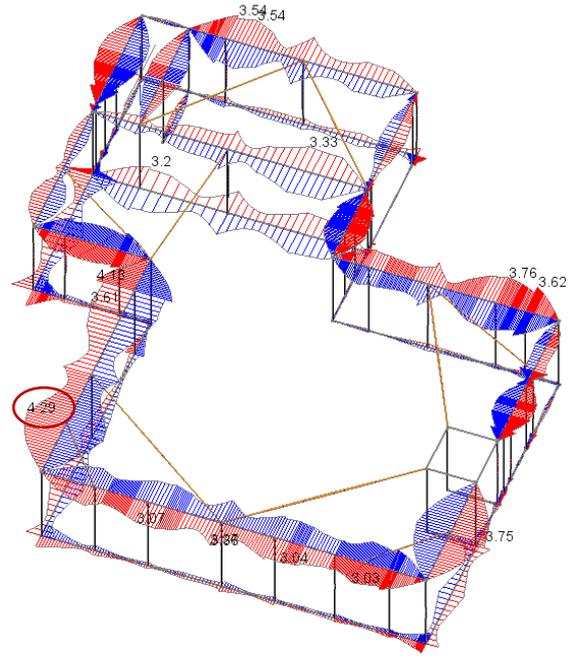
✓ Modèles avec stabilisation

Modèle 3D – Analyse modale



Déplacements=50.73mm umin=0mm umax=32.88mm vmin=0mm vmax=29.72mm vm

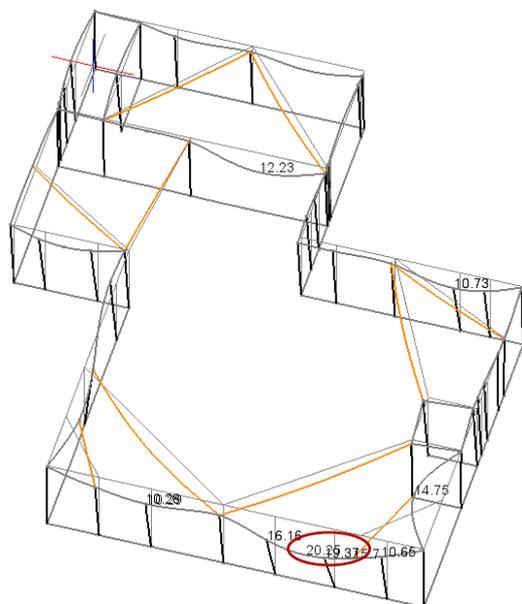
Figure 26 : Déplacements sous Ex+0,3Ey



Mzmin=-4.29kN*m (N0 103) Mzmax=4.29kN*m (N0 103)

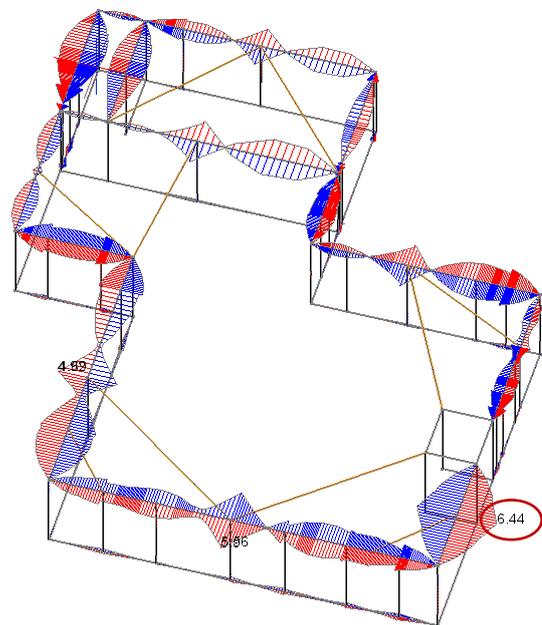
Figure 27 : Enveloppe des moments fléchissants hors plan des murs dans les chainages

Modèle 3D – Méthode des Forces Latérales



Déplacements=20.25mm umin=-0.23mm umax=20.21mm vmin=-14.73mm vmax=7.22mm

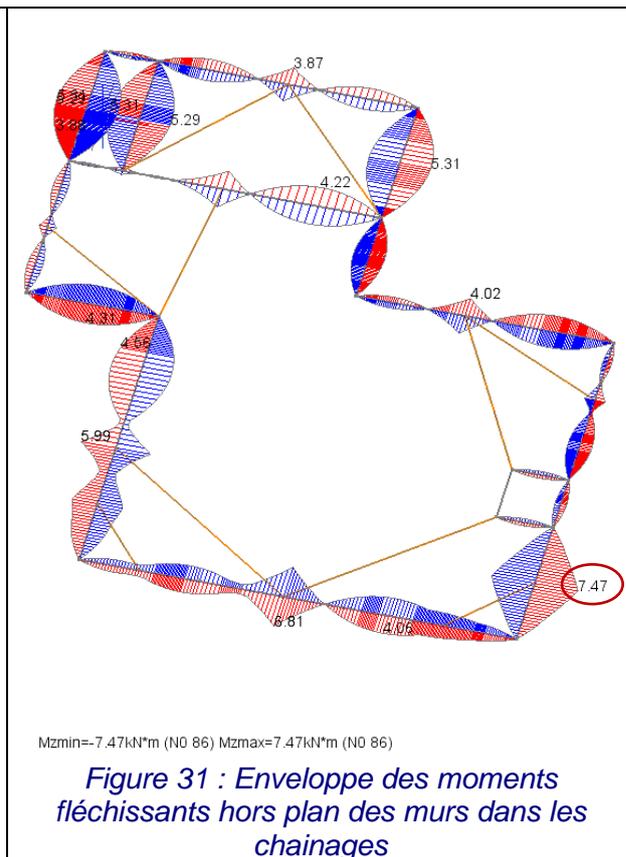
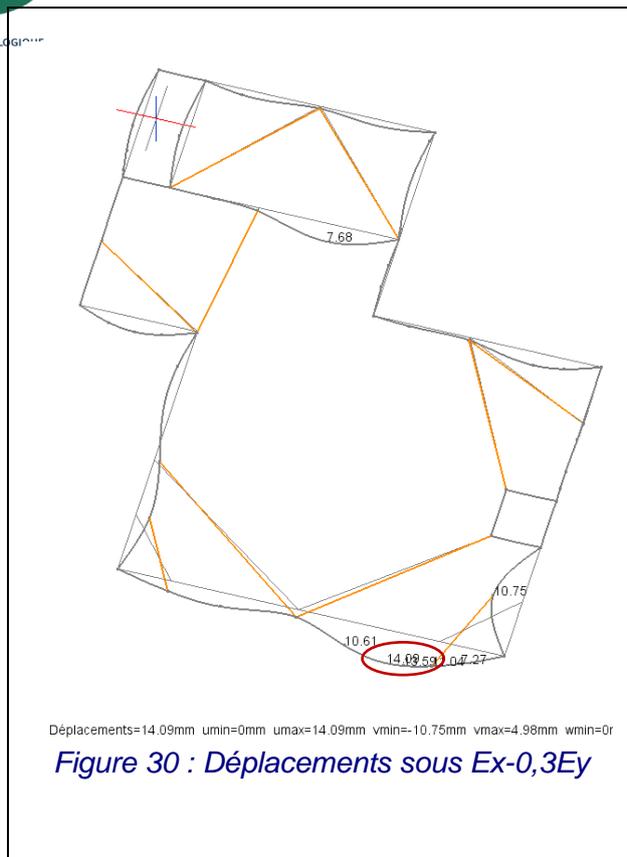
Figure 28 : Déplacements sous -Ex+0,3Ey



Mzmin=-6.44kN*m (N0 86) Mzmax=6.44kN*m (N0 86)

Figure 29 : Enveloppe des moments fléchissants hors plan des murs dans les chainages

Modèle 2D-stab – Méthode des Forces Latérales



✓ Synthèse des résultats

Les efforts maximaux obtenus pour les différentes analyses effectuées sont récapitulés dans le tableau suivant :

Modèle	Méthode d'analyse	sans stabilisation		avec stabilisation		
		Chainages		Chainages		Bracons
		MzMax (kN.m)	Nconcom (kN)	MzMax (kN.m)	Nconcom (kN)	NMax (kN)
3D	Modale	5,5	1,2	4,3	4,2	15,5
3D	Forces latérales	19,5	3,4	6,4	7,0	27,1
2D stab	Forces latérales	29,5	0	7,5	3,0	30,0

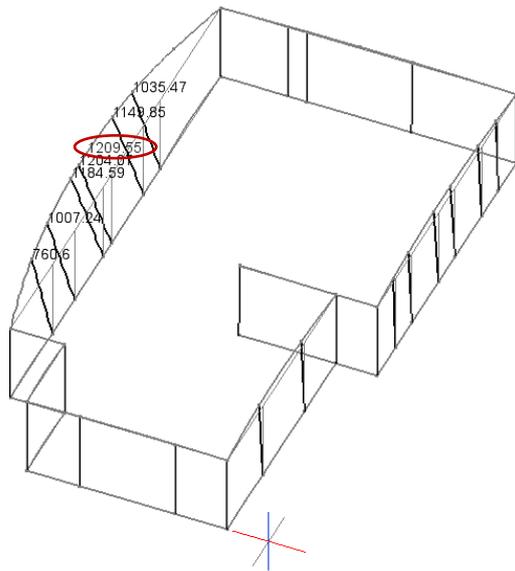
Tableau 11 : Efforts maximaux – Cas 1 « Croupes imbriquées »

5.1.2 Cas 2 : « Quatre pans »

L'allure des déformées et le diagramme enveloppe des moments fléchissants hors plan des murs dans les chaînages obtenus avec les différentes analyses effectuées sont présentés ci-dessous :

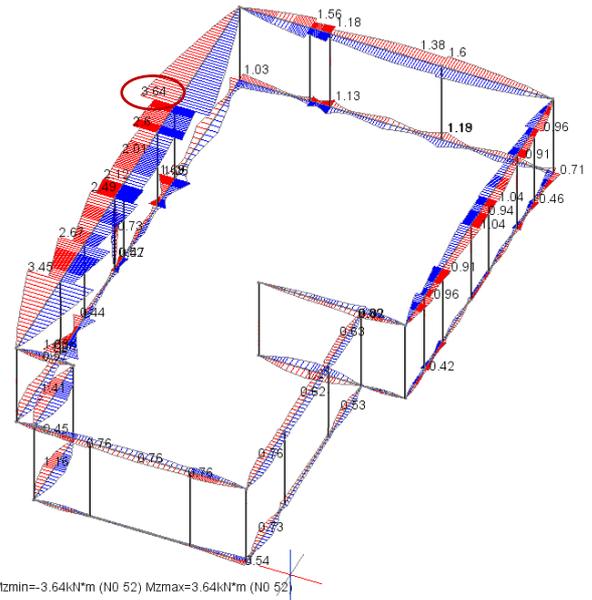
✓ Modèles sans stabilisation

Modèle 3D – Analyse modale



Déplacements=1209.55mm u_{min}=0mm u_{max}=75.8mm v_{min}=0mm v_{max}=1209.55mm

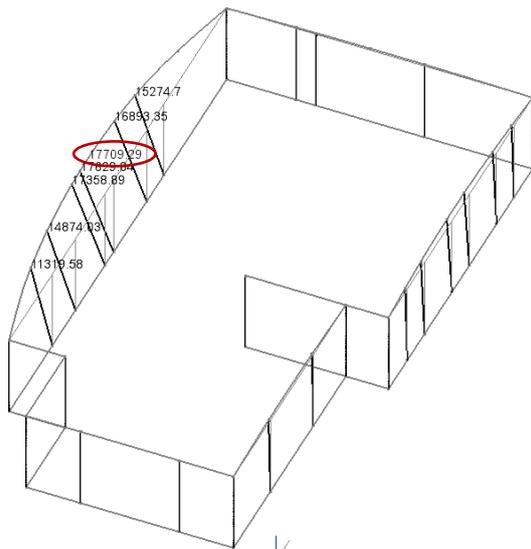
Figure 32 : Déplacements sous 0,3Ex+Ey



Mz_{min}=-3.64kN*m (N0 52) Mz_{max}=3.64kN*m (N0 52)

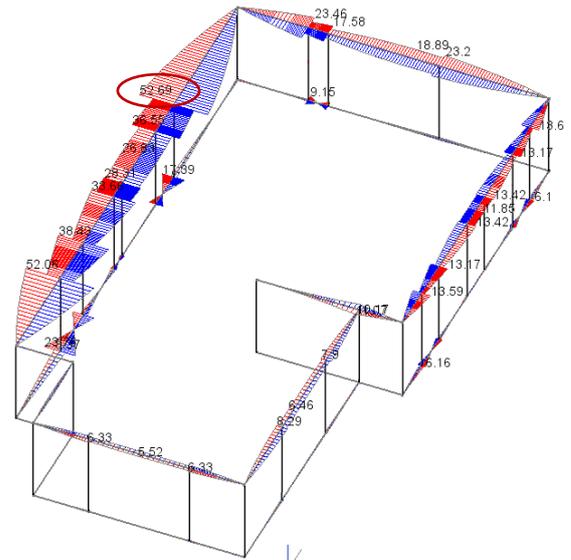
Figure 33 : Enveloppe des moments fléchissants hors plan des murs dans les chaînages

Modèle 3D – Méthode des Forces Latérales



Déplacements=17709.29mm u_{min}=-12.44mm u_{max}=1108.74mm v_{min}=95.17mm v_{max}=17709.29mm

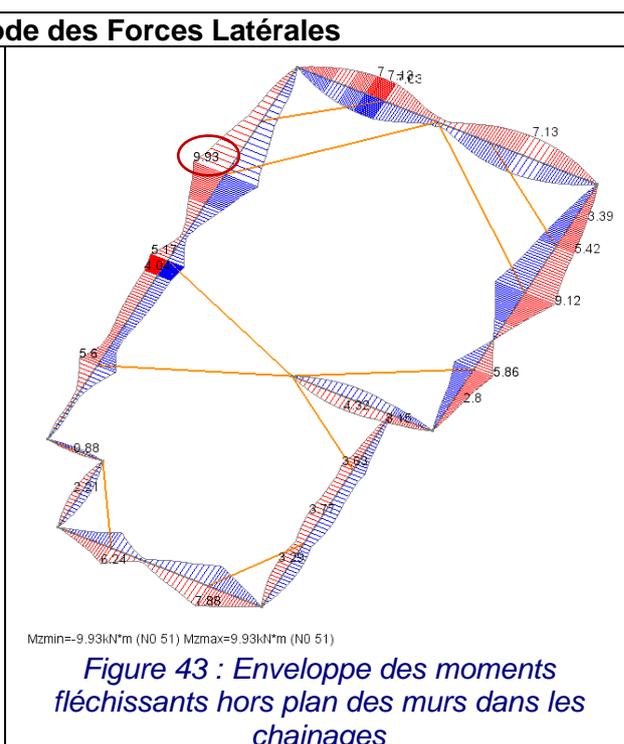
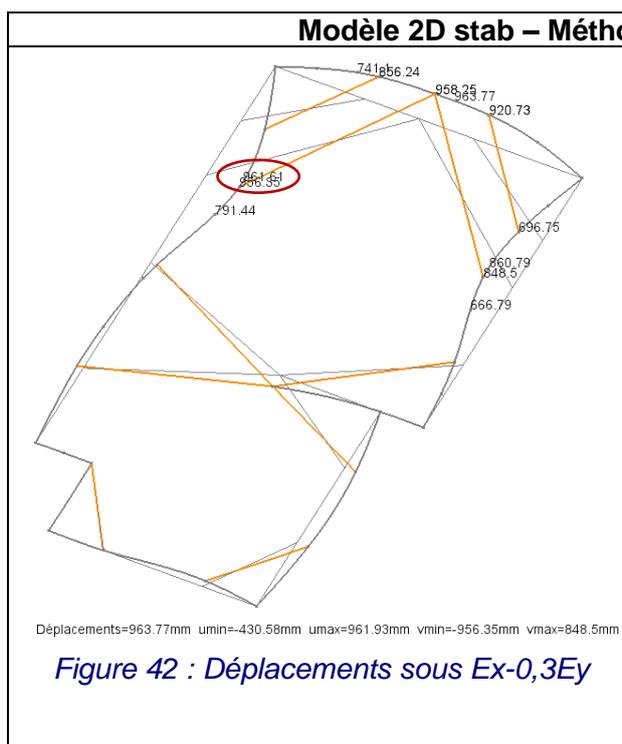
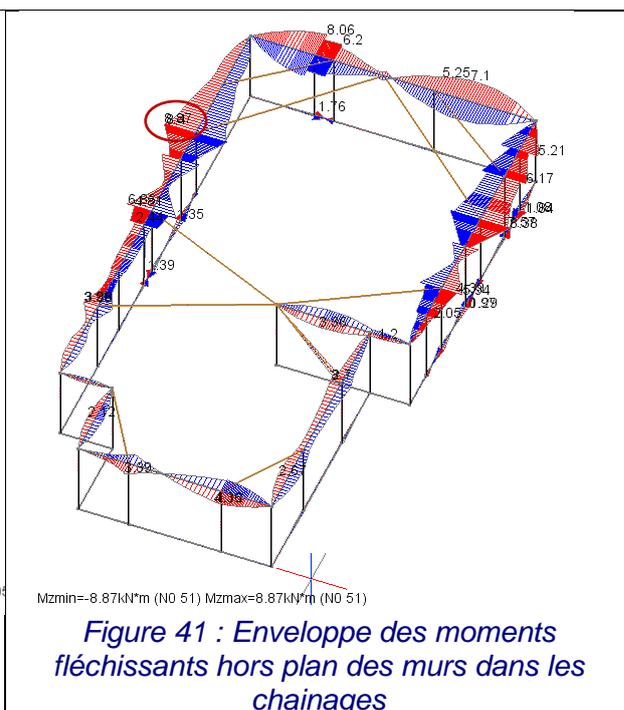
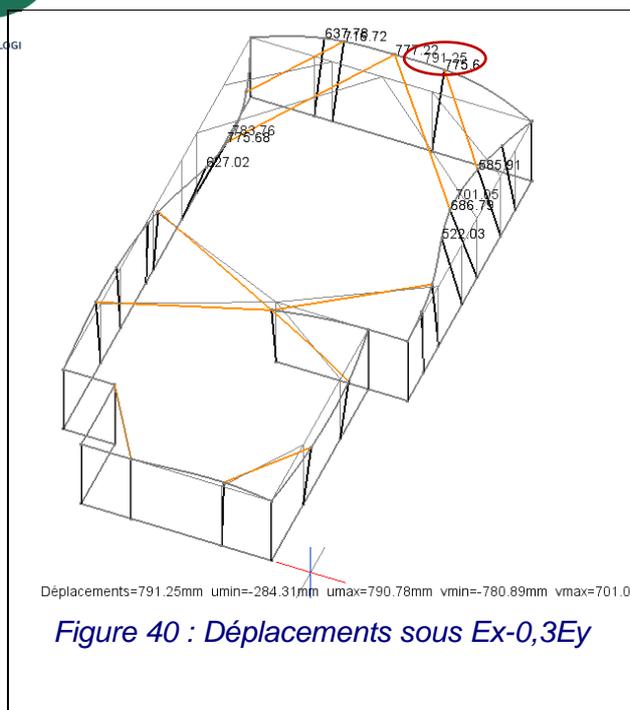
Figure 34 : Déplacements sous 0,3Ex+Ey



Mz_{min}=-52.69kN*m (N0 52) Mz_{max}=52.69kN*m (N0 52)

Figure 35 : Enveloppe des moments fléchissants hors plan des murs dans les chaînages

Modèle 2D stab – Méthode des Forces Latérales



✓ Synthèse des résultats

Les efforts maximaux obtenus avec les différentes analyses effectuées sont récapitulés dans le tableau suivant :

Modèle	Méthode d'analyse	sans stabilisation		avec stabilisation		
		Chainages		Chainages		Bracons
		Mz _{Max} (kN.m)	N _{concom} (kN)	Mz _{Max} (kN.m)	N _{concom} (kN)	N _{Max} (kN)
3D	Modale	3,6	1,0	3,1	0,5	6,6

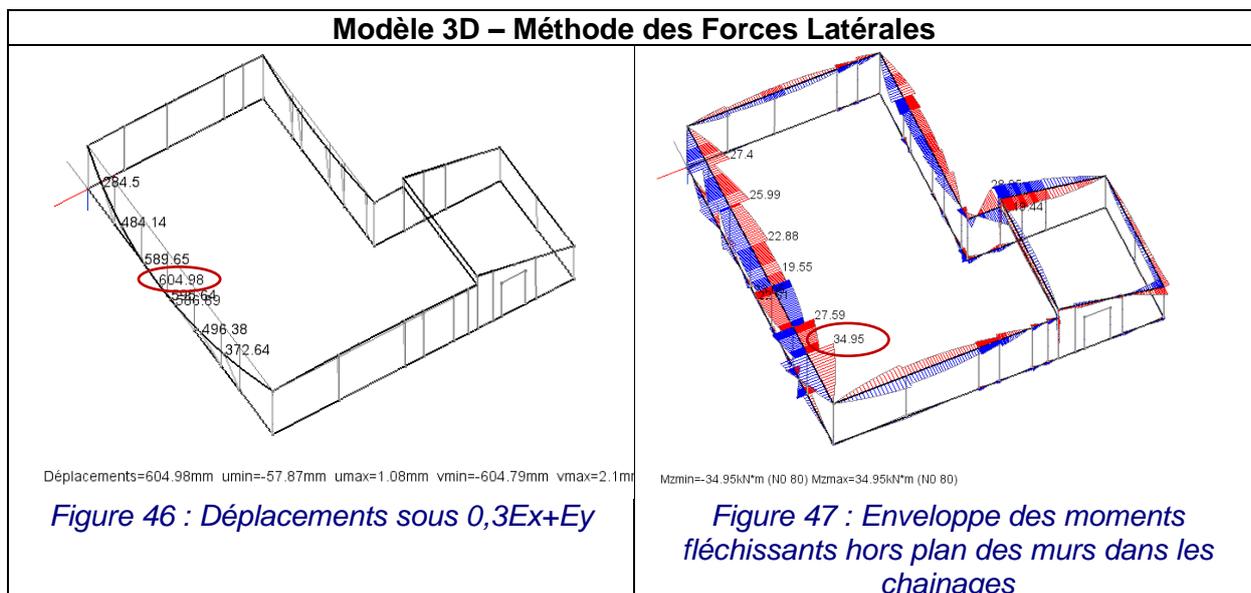
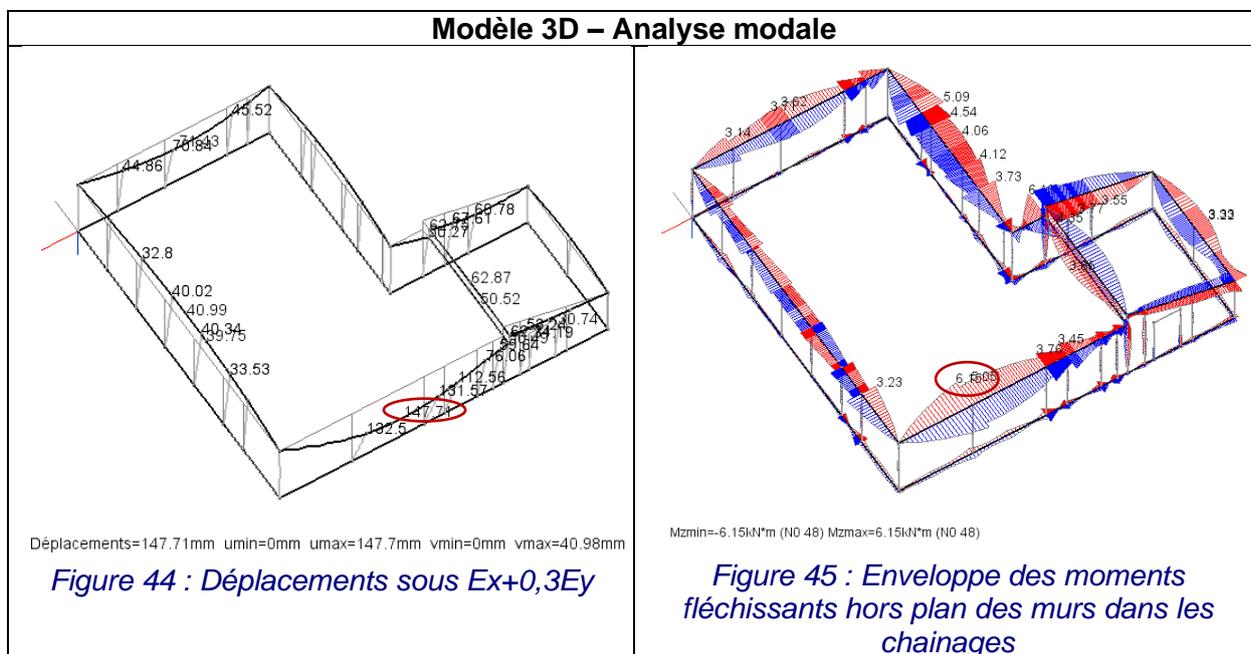
3D	Forces latérales	52,7	2,5	8,9	1,3	15,9
2D stab	Forces latérales	69,3	0	9,9	5,9	15,9

Tableau 12 : Efforts maximaux – Cas 2 « Quatre pans »

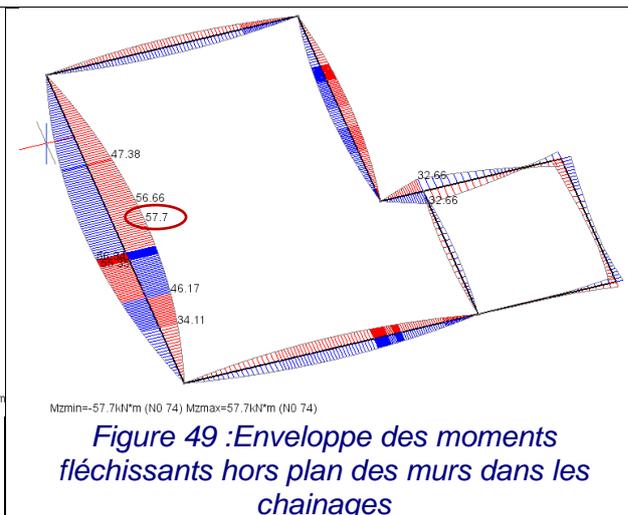
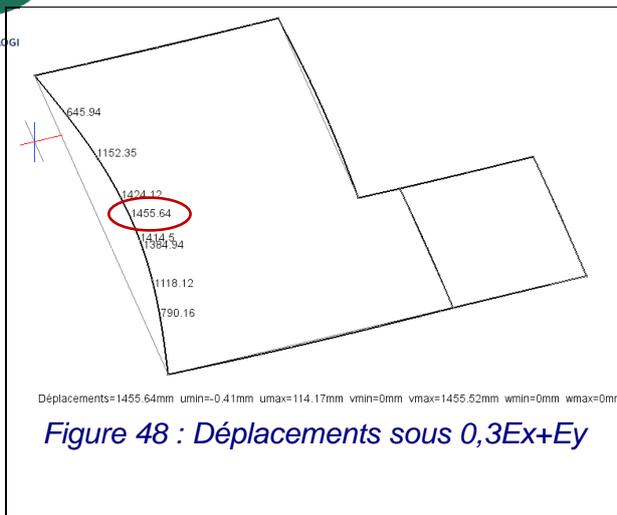
5.1.3 Cas 3 : « Deux pans avec avancée »

L'allure des déformées et le diagramme enveloppe des moments fléchissants hors plan des murs dans les chaînages obtenus avec les différentes analyses effectuées sont présentés ci-dessous :

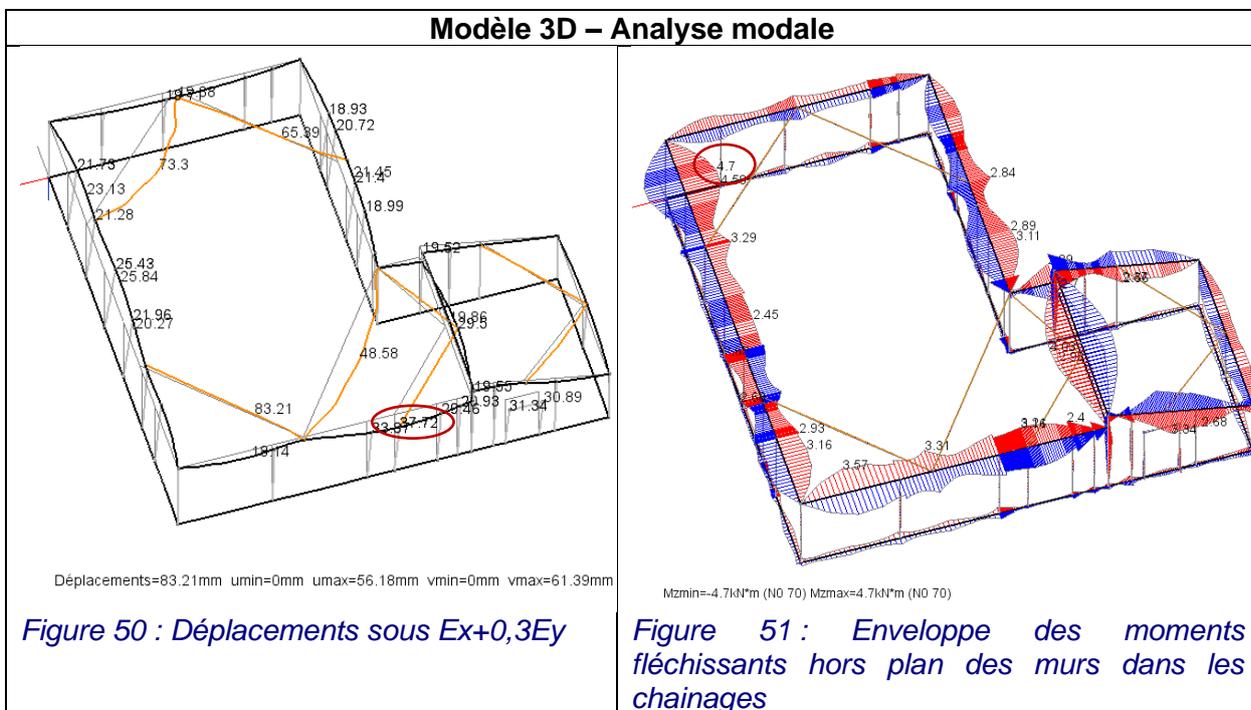
✓ Modèles sans stabilisation



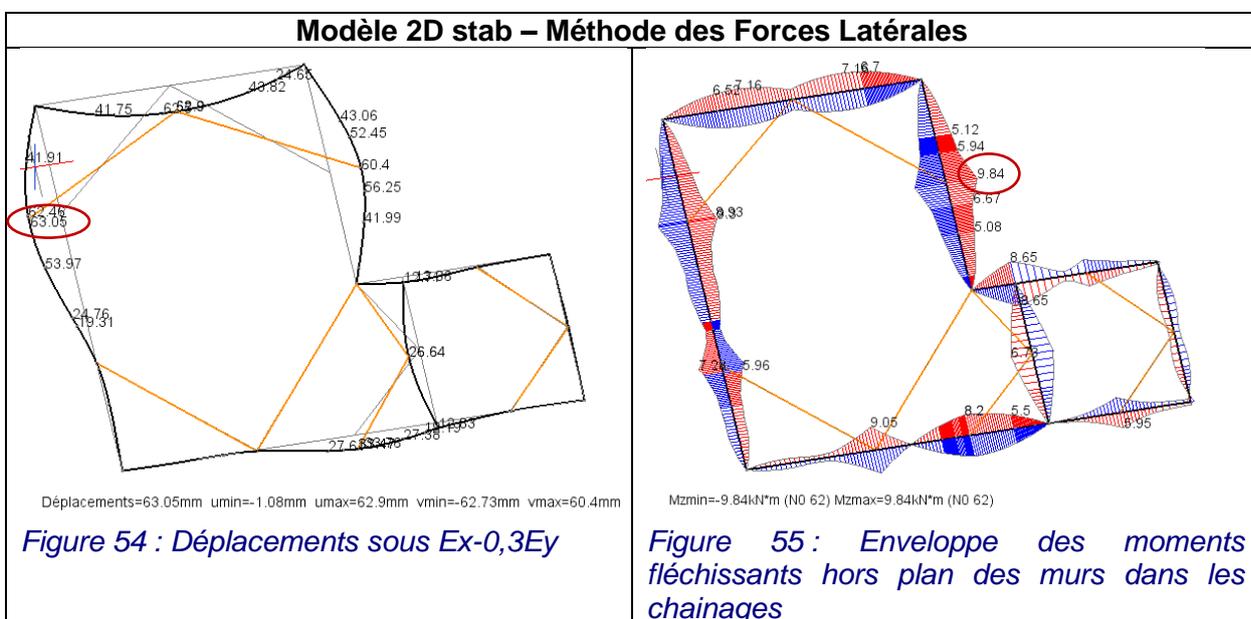
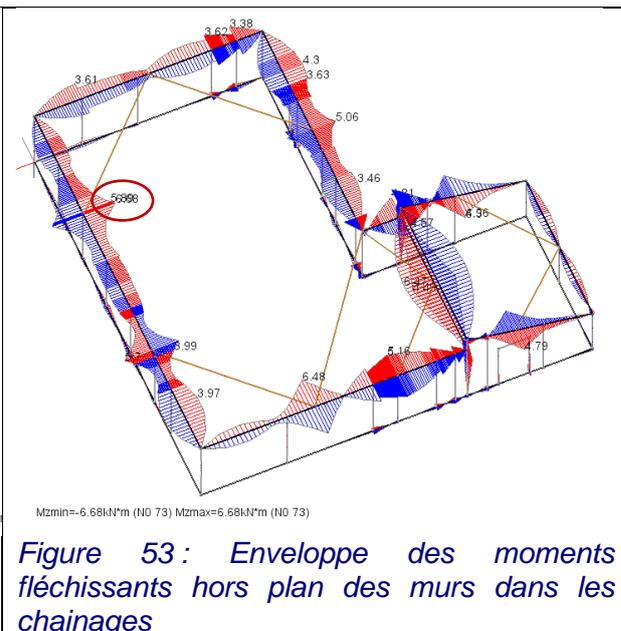
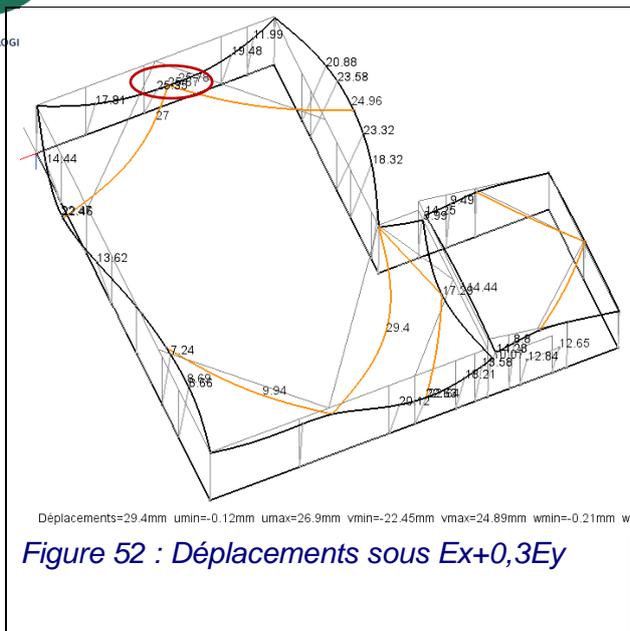
Modèle 2D stab – Méthode des Forces Latérales



✓ **Modèles avec stabilisation**



Modèle 3D – Méthode des Forces Latérales



✓ Synthèse des résultats

Les efforts maximaux obtenus avec les différentes analyses effectuées sont récapitulés dans le tableau suivant :

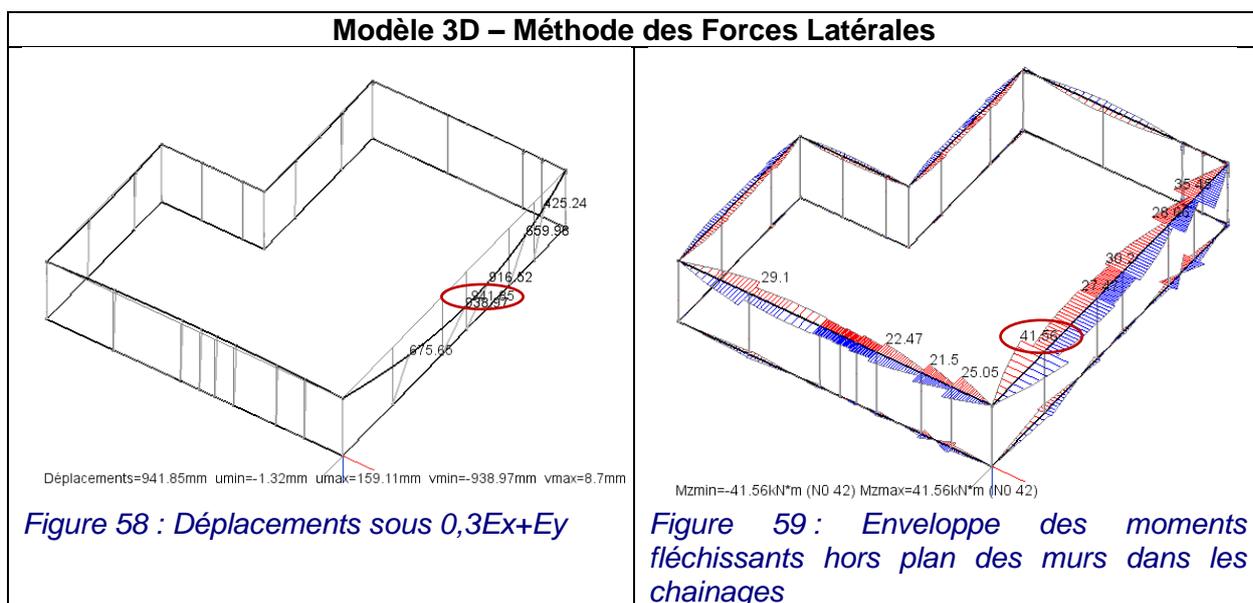
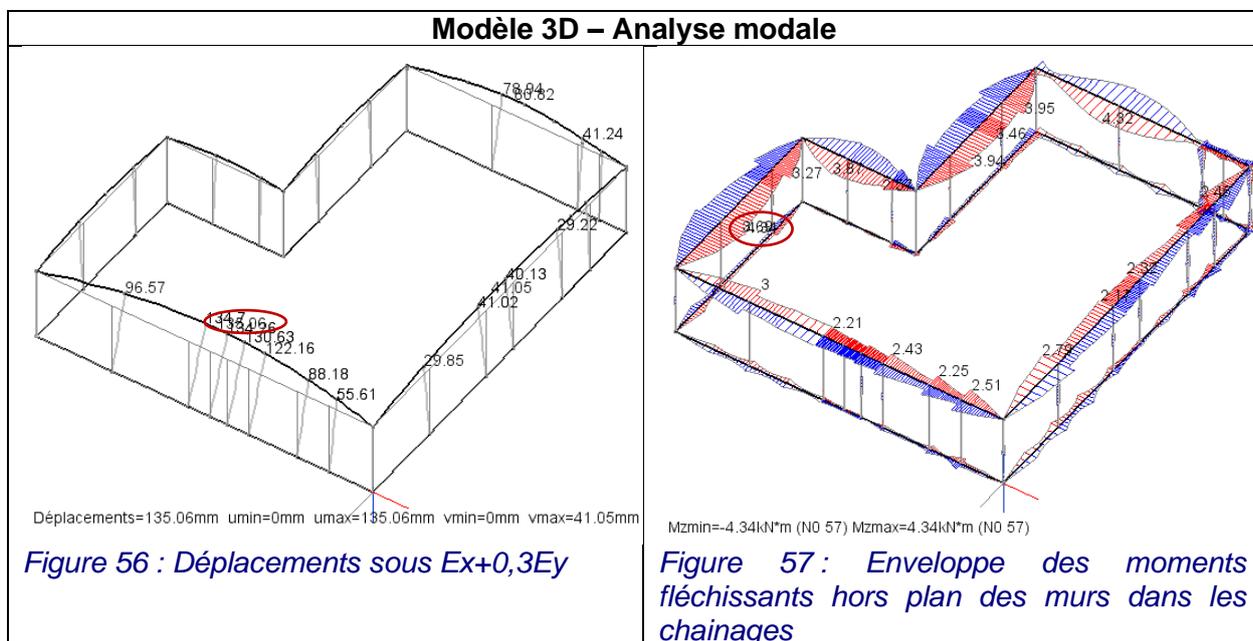
Modèle	Méthode d'analyse	sans stabilisation		avec stabilisation		
		Chainages		Chainages		Bracons
		MZ _{Max} (kN.m)	N _{concom} (kN)	MZ _{Max} (kN.m)	N _{concom} (kN)	N _{Max} (kN)
3D	Modale	6,2	1,1	4,7	1,5	12,9
3D	Forces latérales	35,0	2,4	6,7	2,3	22,3
2D stab	Forces latérales	57,8	0	9,8	4,5	22,4

Tableau 13 : Efforts maximaux – Cas 3 « Deux pans avec avancée »

5.1.4 Cas 4 : « Bâtiment en L »

L'allure des déformées et le diagramme enveloppe des moments fléchissants hors plan des murs dans les chaînages obtenus avec les différentes analyses effectuées sont présentés ci-dessous :

✓ Modèles sans stabilisation



Modèle 2D-stab – Méthode des Forces Latérales

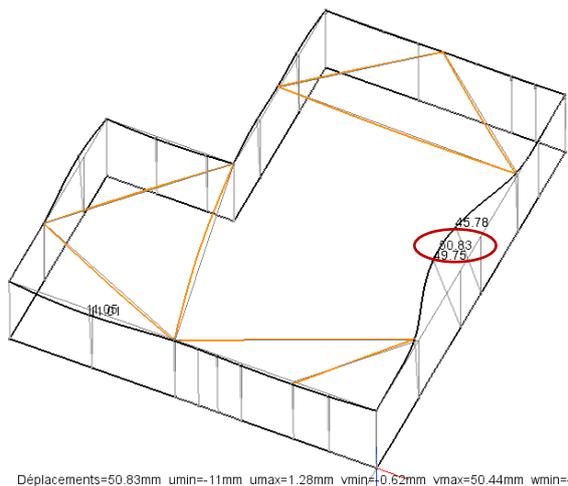


Figure 64 : Déplacements sous $-0,3Ex+Ey$

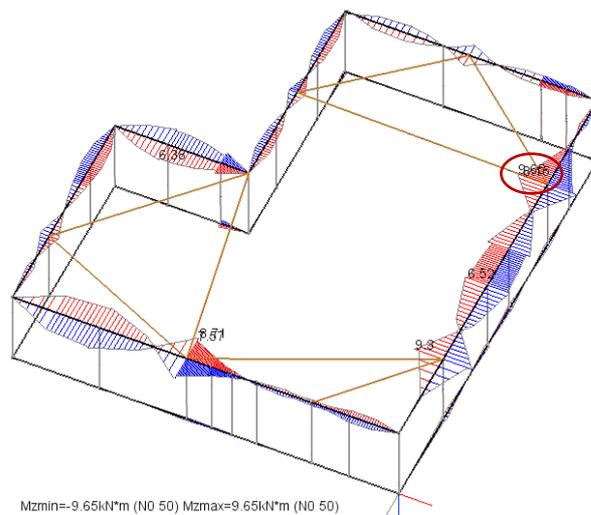


Figure 65 : Enveloppe des moments fléchissants hors plan des murs dans les chainages

Modèle 2D-stab – Méthode des Forces Latérales

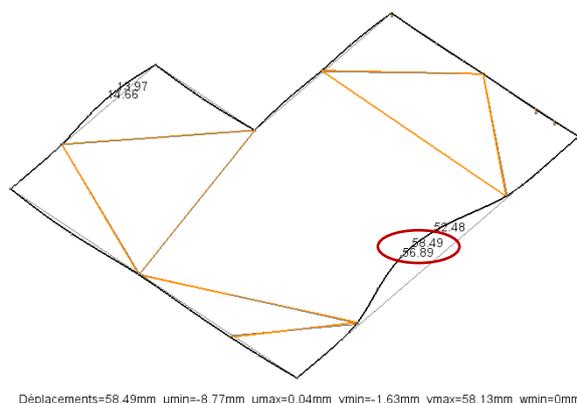


Figure 66 : Déplacements sous $-0,3Ex+Ey$

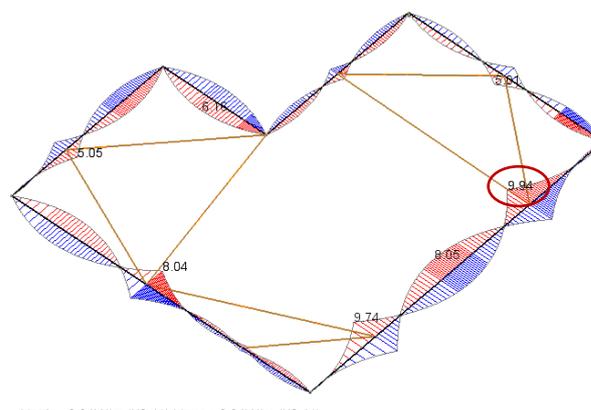


Figure 67 : Enveloppe des moments fléchissants hors plan des murs dans les chainages

✓ Synthèse des résultats

Les efforts maximaux obtenus avec les différentes analyses effectuées sont récapitulés dans le tableau suivant :

Modèle	Méthode d'analyse	sans stabilisation		avec stabilisation		
		Chainages		Chainages		Bracons
		Mz _{Max} (kN.m)	N _{concom} (kN)	Mz _{Max} (kN.m)	N _{concom} (kN)	N _{Max} (kN)
3D	Modale	4,3	0,4	4,9	2,1	8,9
3D	Forces latérales	41,6	0,3	9,7	8,7	20,7
2D-stab	Forces latérales	64,4	0	9,9	11,7	21,5

Tableau 14 : Efforts maximaux – Cas 4 « Bâtiment en L »

5.2 Modifications de configurations

5.2.1 Réduction de longueurs de murs travaillants

✓ Cas 1 « Croupes imbriquées »

La configuration de base a été modifiée en faisant varier les longueurs de murs travaillants dans la direction X en considérant les parties de murs repérées 3.1, 3.2 puis 4.3, sur la figure suivante comme non travaillantes.

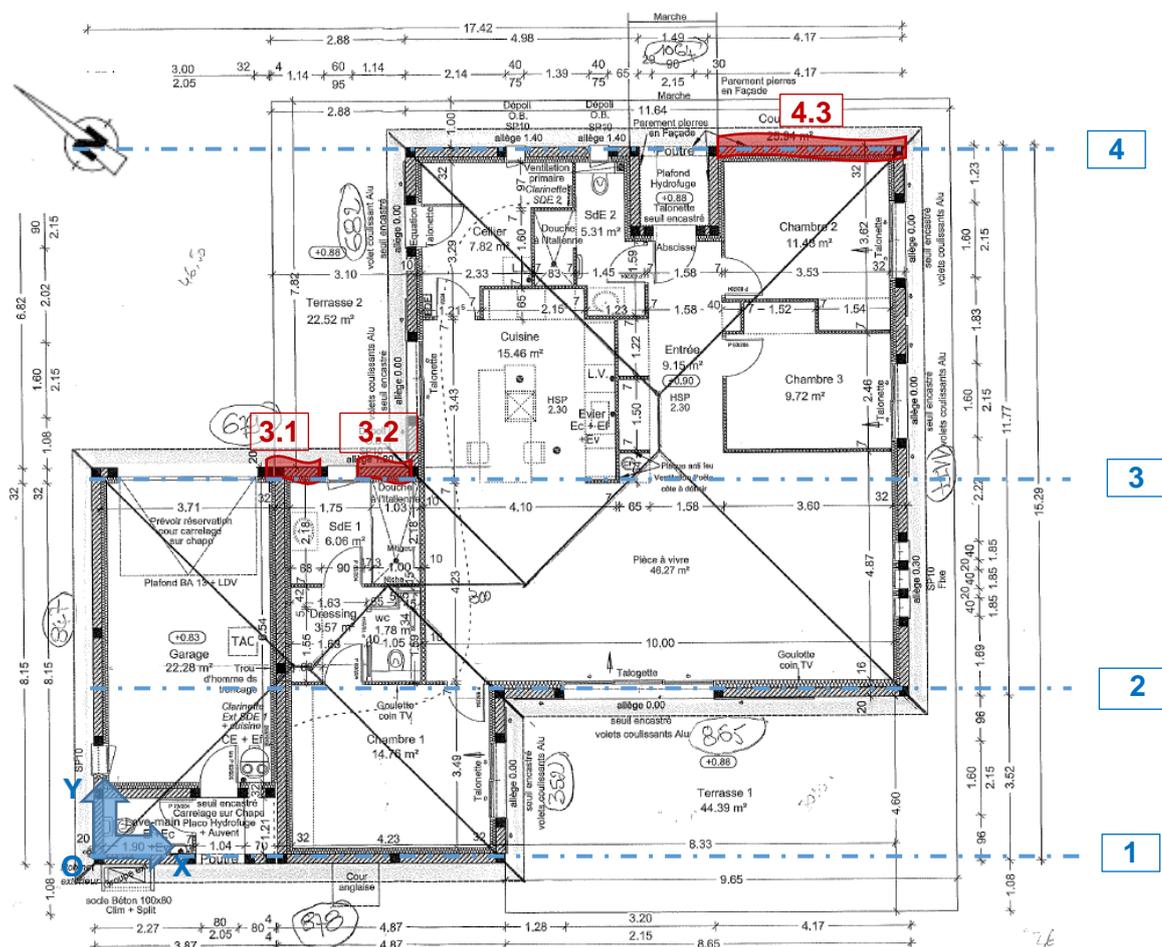
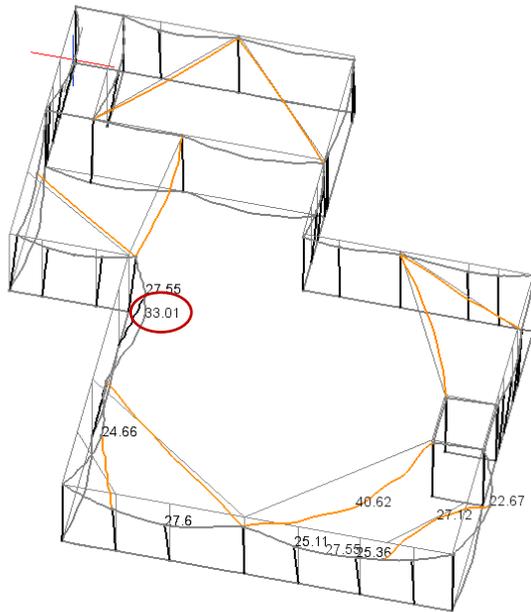


Figure 68 : Vue en plan - Cas 1 « Croupes imbriquées », variantes avec suppression de parties de mur travaillantes suivant X

- **Mur 3.1 non travaillant**

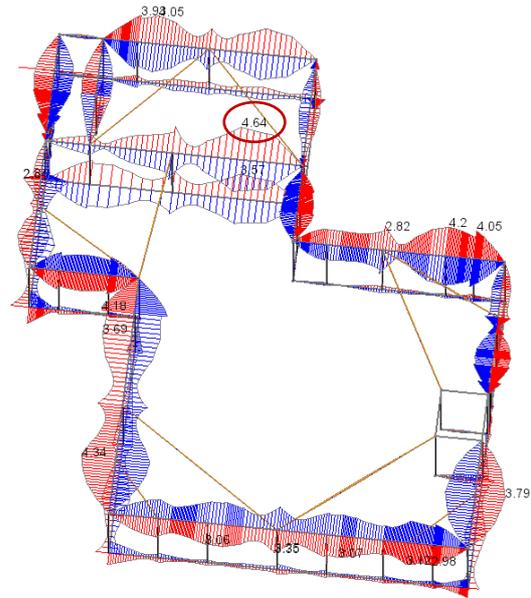
L'allure des déformées et le diagramme enveloppe des moments fléchissants hors plan des murs dans les chainages obtenus avec les différentes analyses effectuées sont présentés ci-dessous :

Modèle 3D – Analyse modale



Déplacements=40.62mm u_{min}=0mm u_{max}=32.11mm v_{min}=0mm v_{max}=33.01mm w_{min}=0

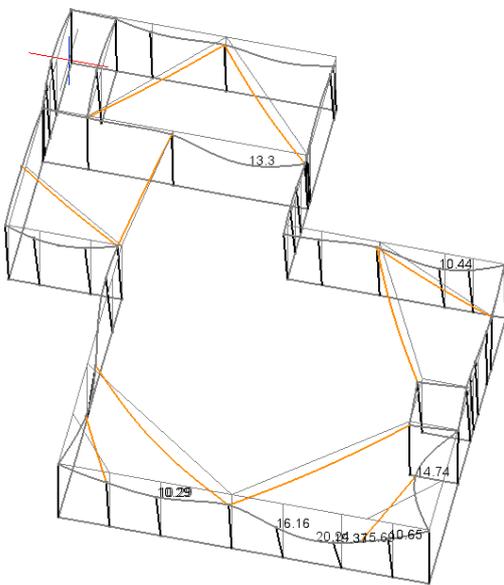
Figure 69 : Déplacements sous 0,3Ex+Ey



Mz_{min}=-4.64kN*m (N0 126) Mz_{max}=4.64kN*m (N0 126)

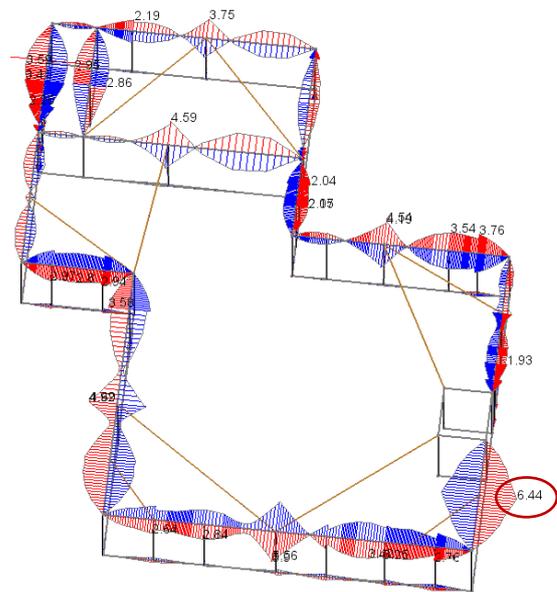
Figure 70 : Enveloppe des moments fléchissants hors plan des murs dans les chainages

Modèle 3D – Méthode des Forces Latérales



Déplacements=20.24mm u_{min}=-0.24mm u_{max}=20.21mm v_{min}=-14.73mm v_{max}=7.22mm

Figure 71 : Déplacements sous Ex-0,3Ey



Mz_{min}=-6.44kN*m (N0 86) Mz_{max}=6.44kN*m (N0 86)

Figure 72 : Enveloppe des moments fléchissants hors plan des murs dans les chainages

Les efforts maximaux obtenus pour les différentes analyses effectuées sont récapitulés dans le tableau suivant :

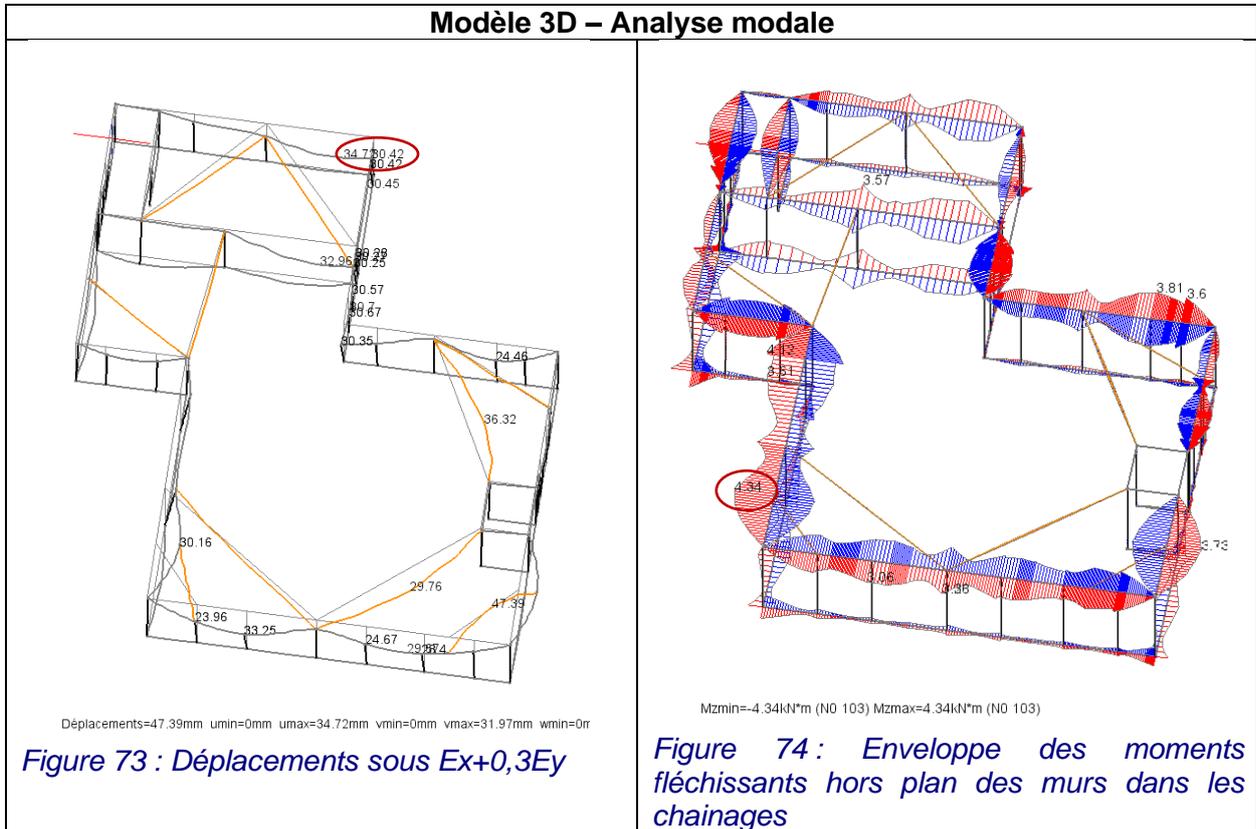
Modèle	Méthode d'analyse	avec stabilisation		
		Chainages		Bracons
		MZ _{Max} (kN.m)	N _{concom} (kN)	N _{Max} (kN)

3D	Modale	4,6	3,0	15,8
3D	Forces latérales	6,4	7,0	27,1
2D stab	Forces latérales	7,5	3,0	30,0

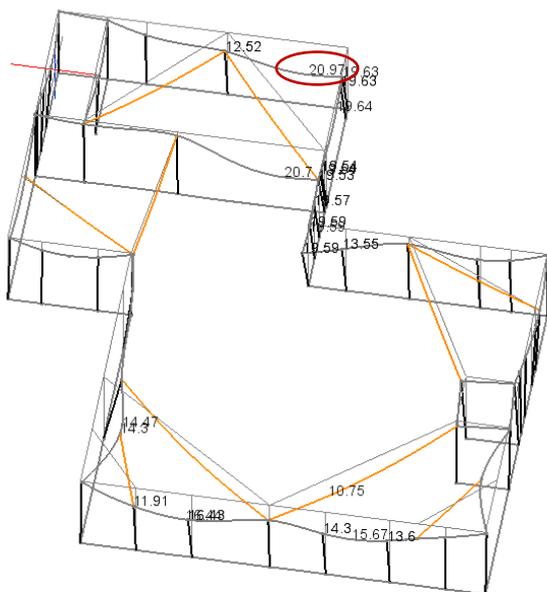
Tableau 15 : Efforts maximaux – Cas 1, Mur 3.1 non travaillant

- **Murs 3.1 et 3.2 non travaillants**

L'allure des déformées et le diagramme enveloppe des moments fléchissants hors plan des murs dans les chaînages obtenus avec les différentes analyses effectuées sont présentés ci-dessous :

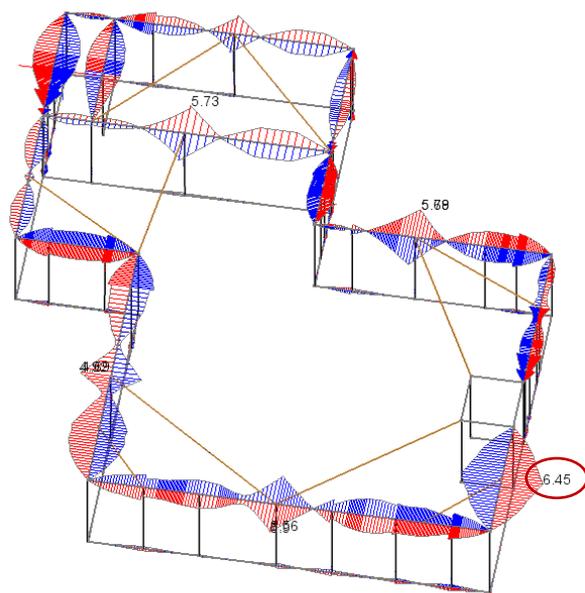


Modèle 3D – Méthode des Forces Latérales



Déplacements=20.97mm u_{min}=-0.3mm u_{max}=20.94mm v_{min}=-7.7mm v_{max}=14.29mm

Figure 75 : Déplacements sous Ex+0,3Ey



Mz_{min}=-6.45kN*m (N0 86) Mz_{max}=6.45kN*m (N0 86)

Figure 76 : Enveloppe des moments fléchissants hors plan des murs dans les chainages

Les efforts maximaux obtenus pour les différentes analyses effectuées sont récapitulés dans le tableau suivant :

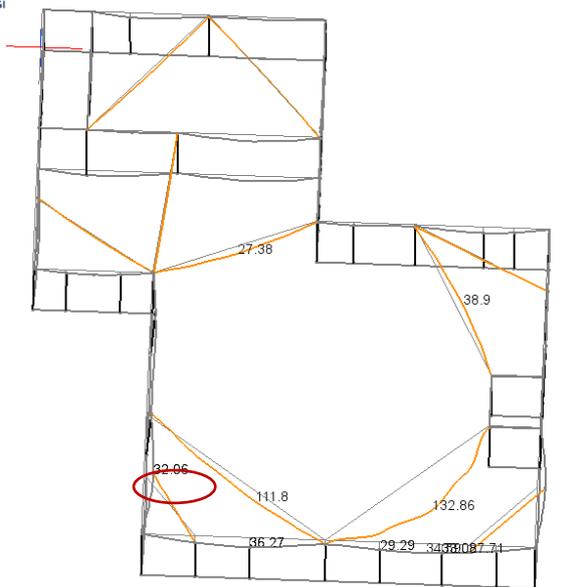
Modèle	Méthode d'analyse	avec stabilisation		
		Chainages		Bracons
		Mz _{Max} (kN.m)	N _{concom} (kN)	N _{Max} (kN)
3D	Modale	4,3	4,4	31,3
3D	Forces latérales	6,5	7,2	51,1
2D stab	Forces latérales	7,5	3,0	30,0

Tableau 16 : Efforts maximaux – Cas 1, Murs 3.1 et 3.2 non travaillants

- **Mur 4.3 non travaillant**

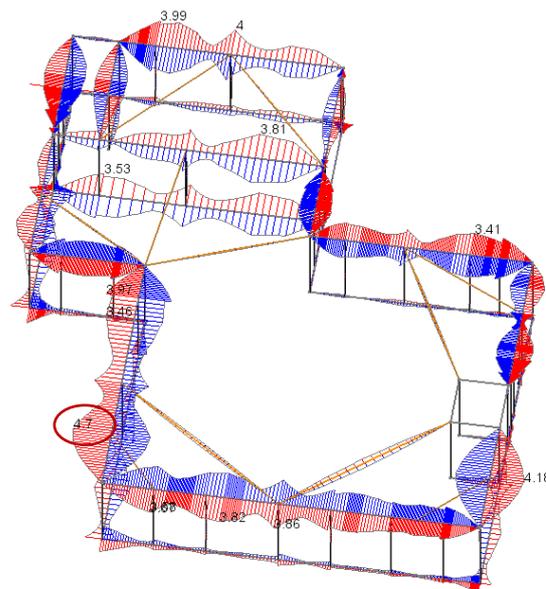
L'allure des déformées et le diagramme enveloppe des moments fléchissants hors plan des murs dans les chainages obtenus avec les différentes analyses effectuées sont présentés ci-dessous :

Modèle 3D – Analyse modale



Déplacements=132.86mm u_{min}=0mm u_{max}=101.81mm v_{min}=0mm v_{max}=85.22mm w_{mir}

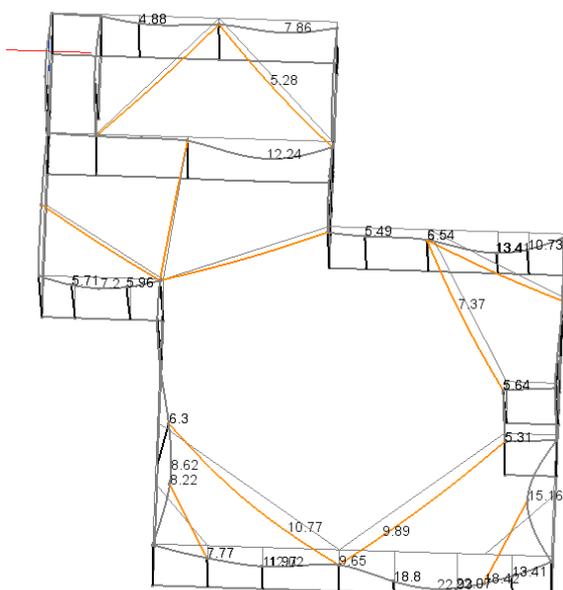
Figure 77 : Déplacements sous Ex+0,3Ey



Mz_{min}=-4.7kN*m (NO 103) Mz_{max}=4.7kN*m (NO 103)

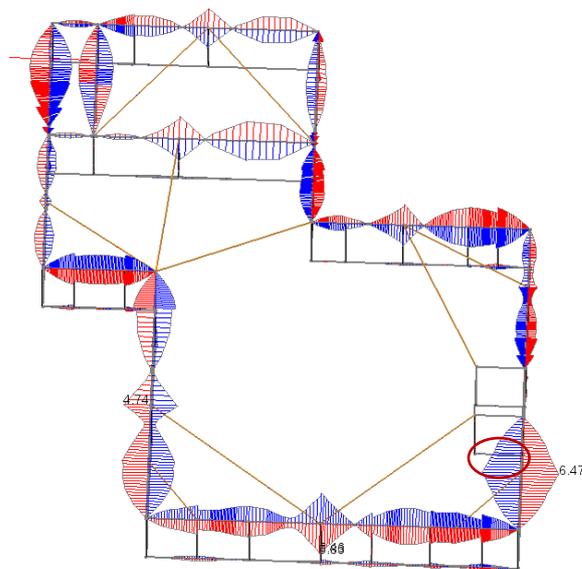
Figure 78 : Enveloppe des moments fléchissants hors plan des murs dans les chainages

Modèle 3D – Méthode des Forces Latérales



Déplacements=22.93mm u_{min}=-0.23mm u_{max}=22.9mm v_{min}=-14.77mm v_{max}=8.6mm

Figure 79 : Déplacements sous Ex-0,3Ey



Mz_{min}=-6.47kN*m (NO 86) Mz_{max}=6.47kN*m (NO 86)

Figure 80 : Enveloppe des moments fléchissants hors plan des murs dans les chainages

Les efforts maximaux obtenus pour les différentes analyses effectuées sont récapitulés dans le tableau suivant :

Modèle	Méthode d'analyse	avec stabilisation		
		Chainages		Bracons
		Mz _{Max} (kN.m)	N _{concom} (kN)	N _{Max} (kN)
3D	Modale	4,7	5,1	17,8

3D	Forces latérales	6,5	16,3	26,8
2D stab	Forces latérales	7,5	3,0	30,0

Tableau 17 : Efforts maximaux – Cas 1, Mur 4.3 non travaillant

✓ **Cas 2 « Quatre pans »**

La configuration de base a été modifiée en réduisant la longueur de murs travaillants dans la direction Y en considérant la partie de murs B.1, sur la figure suivante comme non travaillante.

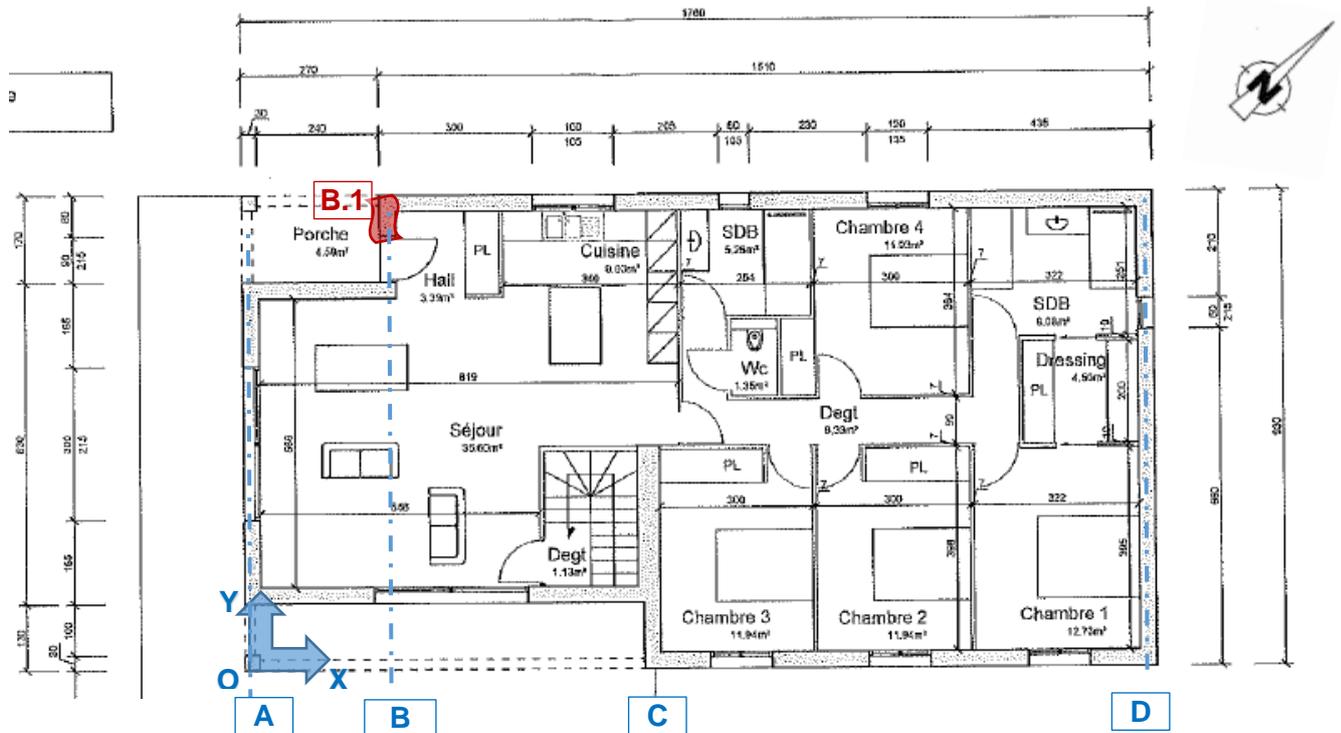


Figure 81 : Vue en plan - Cas 2 « Quatre pans » variante avec suppression d'un élément de mur travaillant suivant Y

L'allure des déformées et le diagramme enveloppe des moments fléchissants hors plan des murs dans les chainages obtenus avec les différentes analyses effectuées sont présentés ci-dessous :

Modèle 3D – Analyse modale

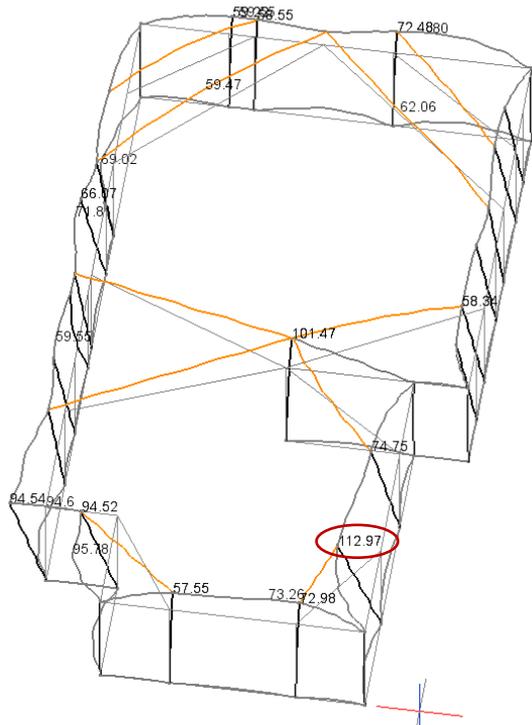


Figure 82 : Déplacements sous 0,3Ex+Ey

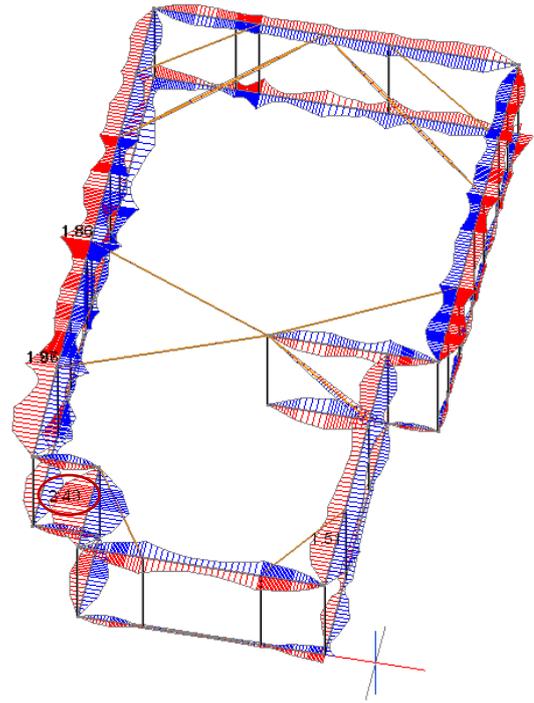


Figure 83 : Enveloppe des moments fléchissants hors plan des murs dans les chainages

Modèle 3D – Méthode des Forces Latérales

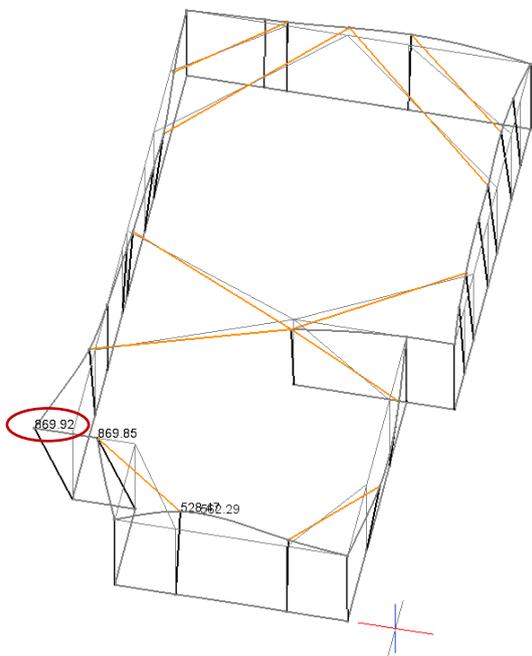


Figure 84 : Déplacements sous 0,3Ex+Ey

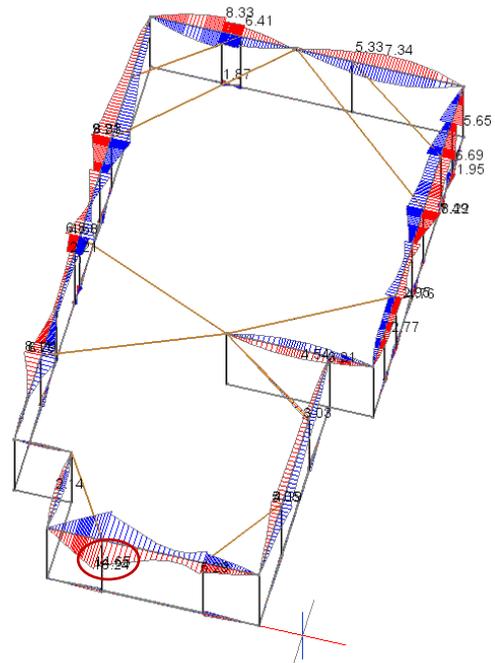


Figure 85 : Enveloppe des moments fléchissants hors plan des murs dans les chainages

Les efforts maximaux obtenus pour les différentes analyses effectuées sont récapitulés dans le tableau suivant :

Modèle	Méthode d'analyse	avec stabilisation		
		Chainages		Bracons
		Mz _{Max} (kN.m)	N _{concom} (kN)	N _{Max} (kN)
3D	Modale	2,43	0,7	5,5
3D	Forces latérales	16,2	0,4	18,4
2D stab	Forces latérales	9,9	5,9	15,9

Tableau 18 : Efforts maximaux – Cas 2, Mur B1 non travaillant

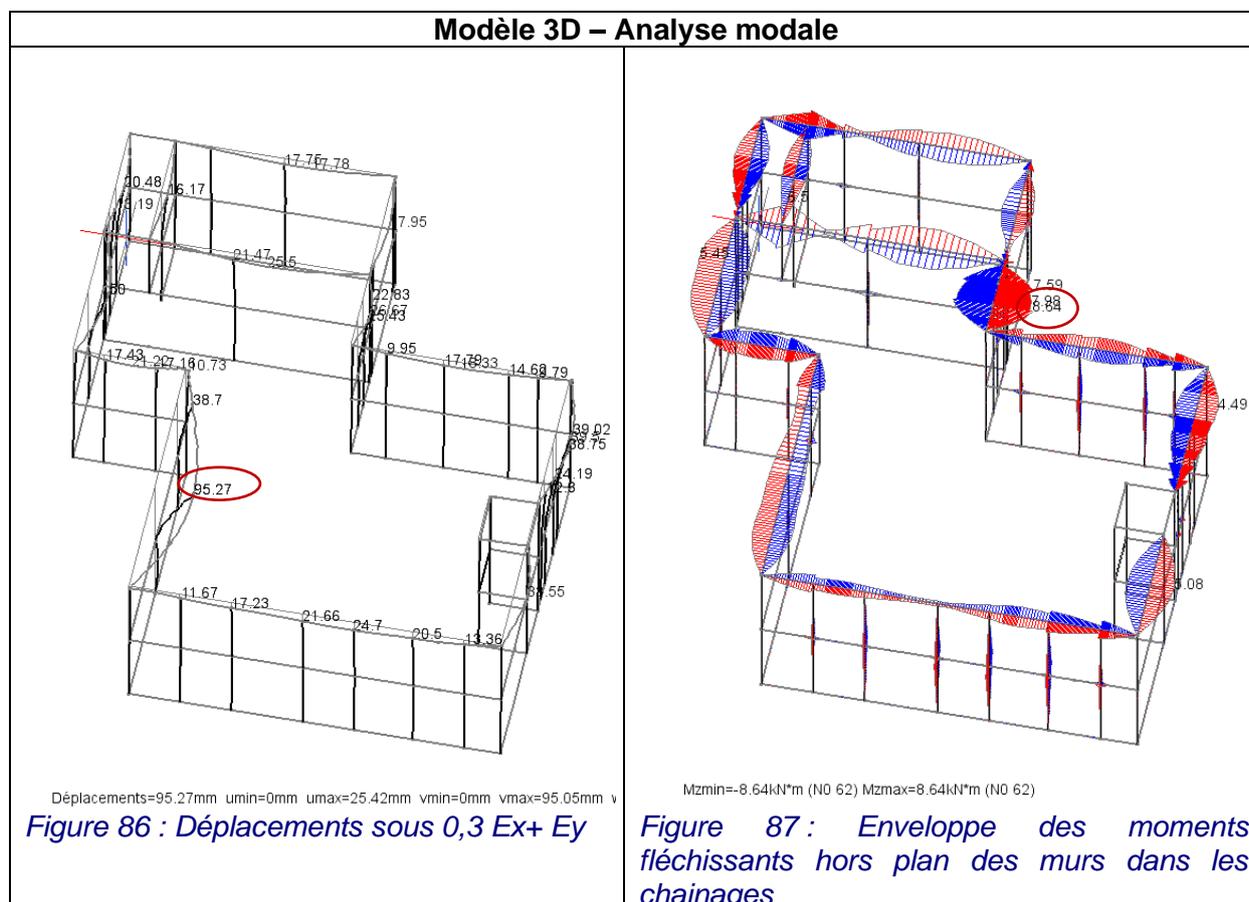
5.2.2 Ajout d'un étage

✓ Cas 1 « Croupes imbriquées »

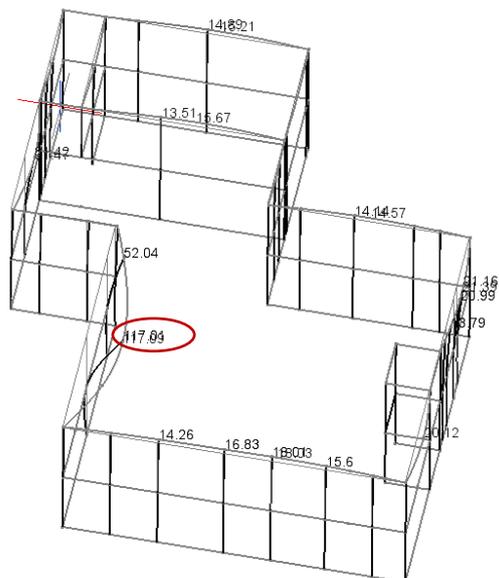
La configuration de base a été modifiée en ajoutant un étage avec une répartition et hauteur des murs identiques à celles du RdC.

L'allure des déformées et le diagramme enveloppe des moments fléchissants hors plan des murs dans les chainages obtenus avec les différentes analyses effectuées sont présentés ci-dessous :

- **Modèles sans stabilisation**

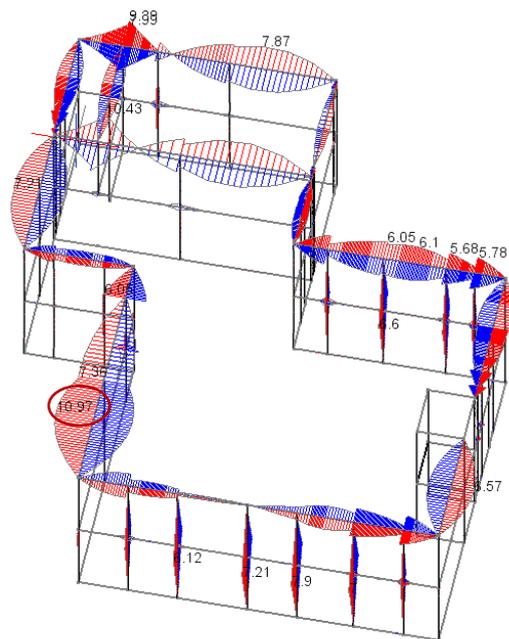


Modèle 3D – Méthode des Forces Latérales



Déplacements=117.09mm umin=-17.84mm umax=1.6mm vmin=-8.78mm vmax=116.97mm

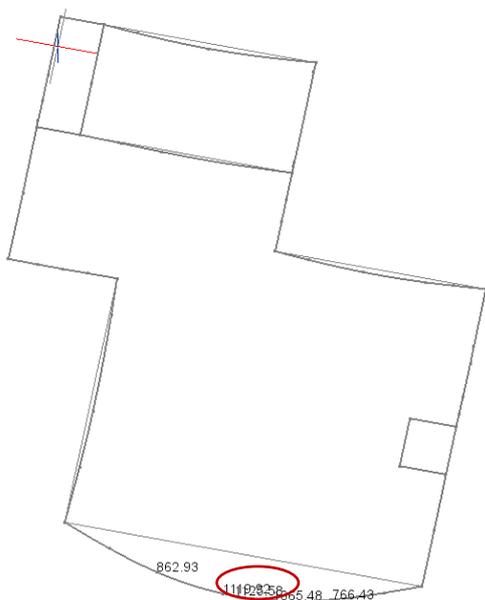
Figure 88 : Déplacements sous $-0,3Ex+Ey$



Mzmin=-10.97kN*m (N0 103) Mzmax=10.97kN*m (N0 103)

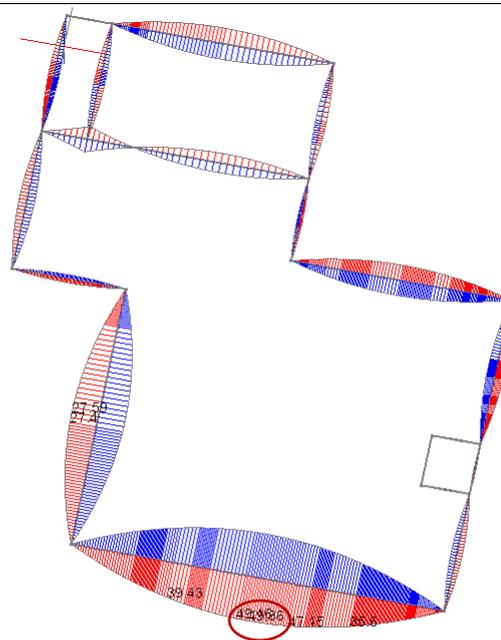
Figure 89 : Enveloppe des moments fléchissants hors plan des murs dans les chainages

Modèle 2D stab – Méthode des Forces Latérales



Déplacements=1125.58mm umin=-2.69mm umax=1125.57mm vmin=0mm vmax=104.7mm

Figure 90 : Déplacements sous $Ex+0,3Ey$

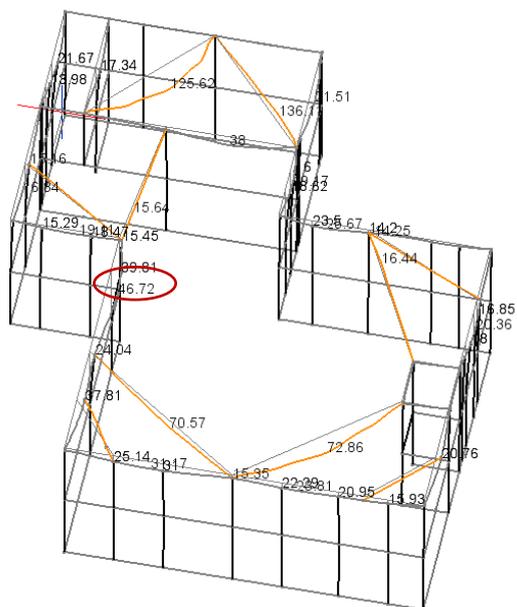


Mzmin=-49.36kN*m (N0 95) Mzmax=49.36kN*m (N0 95)

Figure 91 : Enveloppe des moments fléchissants hors plan des murs dans les chainages

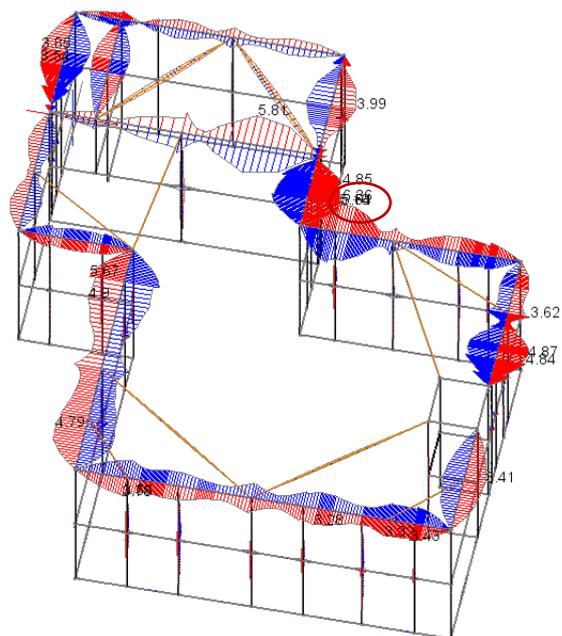
- **Modèles avec stabilisation**

Modèle 3D – Analyse modale



Déplacements=136.11mm u_{min}=0mm u_{max}=89.74mm v_{min}=0mm v_{max}=102.33mm

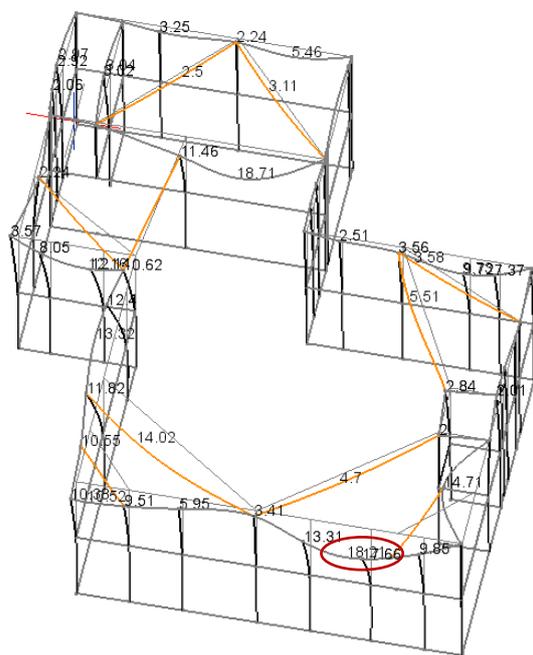
Figure 92 : Déplacements sous 0,3Ex+Ey



Mz_{min}=-6.36kN*m (N0 64) Mz_{max}=6.36kN*m (N0 64)

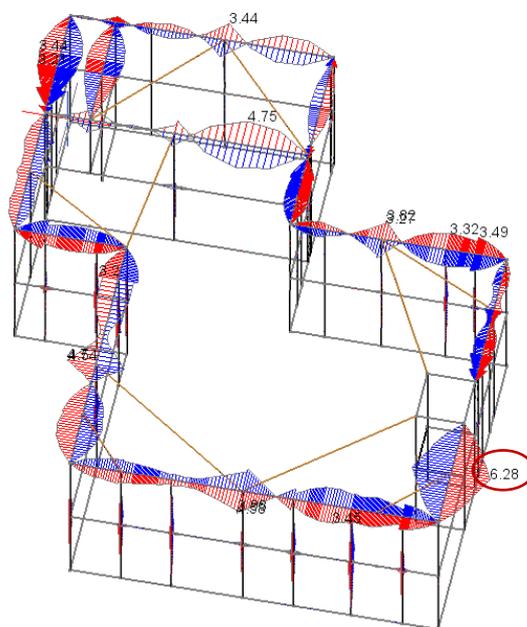
Figure 93 : Enveloppe des moments fléchissants hors plan des murs dans les chainages

Modèle 3D – Méthode des Forces Latérales



Déplacements=18.71mm u_{min}=-1.46mm u_{max}=18.44mm v_{min}=-14.71mm v_{max}=

Figure 94 : Déplacements sous Ex-0,3Ey



Mz_{min}=-6.28kN*m (N0 86) Mz_{max}=6.28kN*m (N0 86)

Figure 95 : Enveloppe des moments fléchissants hors plan des murs dans les chainages

Modèle 2D stab – Méthode des Forces Latérales

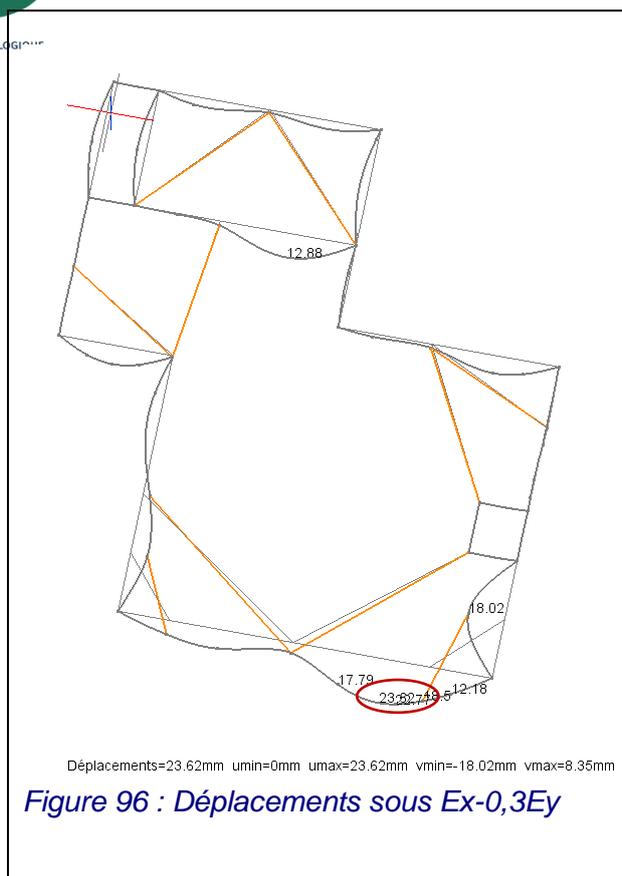


Figure 96 : Déplacements sous Ex-0,3Ey

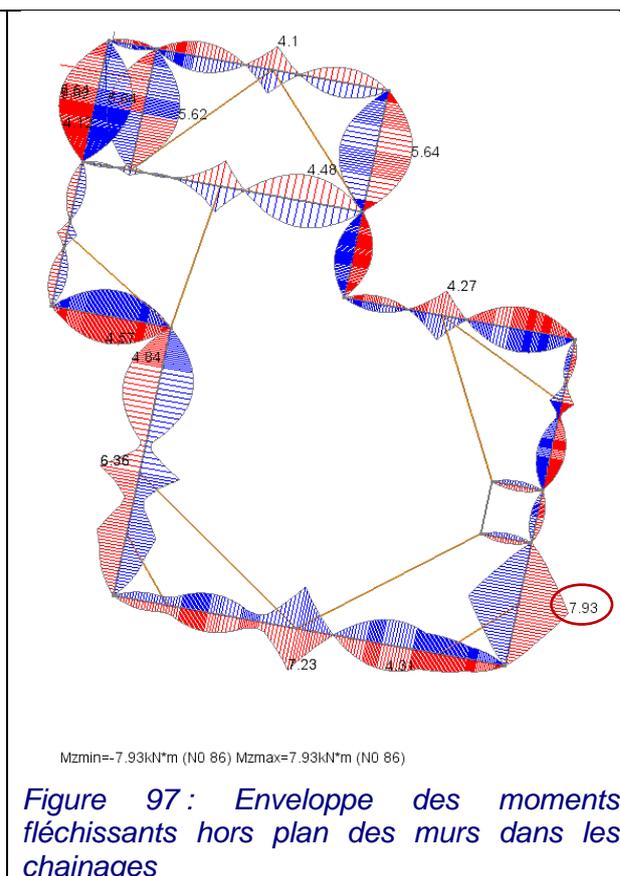


Figure 97 : Enveloppe des moments fléchissants hors plan des murs dans les chaînages

- **Synthèse des résultats**

Les efforts maximaux obtenus pour les différentes analyses effectuées sont récapitulés dans le tableau suivant :

Modèle	Méthode d'analyse	sans stabilisation		avec stabilisation		
		Chainages		Chainages		Bracons
		Mz _{Max} (kN.m)	N _{concom} (kN)	Mz _{Max} (kN.m)	N _{concom} (kN)	N _{Max} (kN)
3D	Modale	8,6	1,6	6,4	7,7	17,8
3D	Forces latérales	11,0	4,2	6,3	16,7	16,1
2D stab	Forces latérales	49,4	0	7,9	3,2	31,8

Tableau 19 : Efforts maximaux – Cas 1 « Croupes imbriquées », avec étage

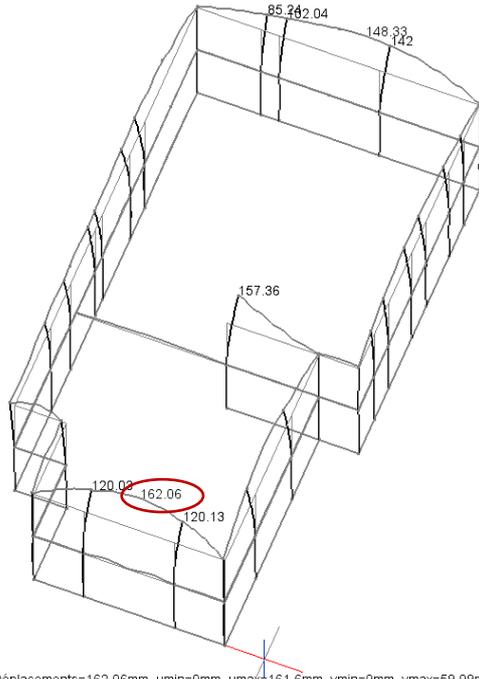
- ✓ **Cas 2 « Quatre pans »**

La configuration de base a été modifiée en ajoutant un étage avec une répartition et hauteur des murs identiques à celles du RdC.

L'allure des déformées et le diagramme enveloppe des moments fléchissants hors plan des murs dans les chaînages obtenus avec les différentes analyses effectuées sont présentés ci-dessous :

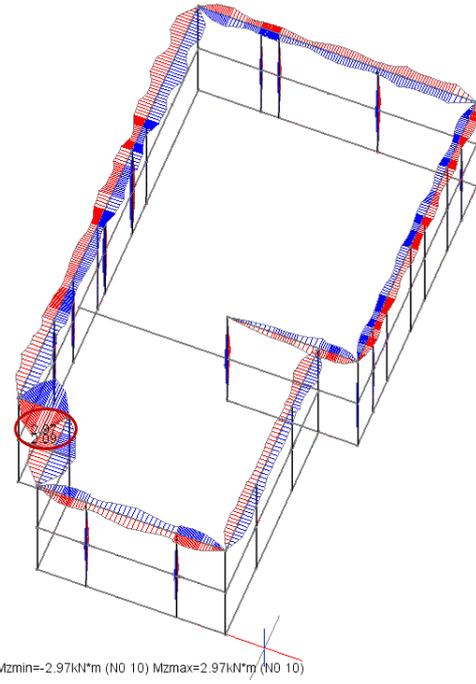
- **Modèles sans stabilisation**

Modèle 3D – Analyse modale



Déplacements=162.06mm u_{min}=0mm u_{max}=161.6mm v_{min}=0mm v_{max}=59.09mm

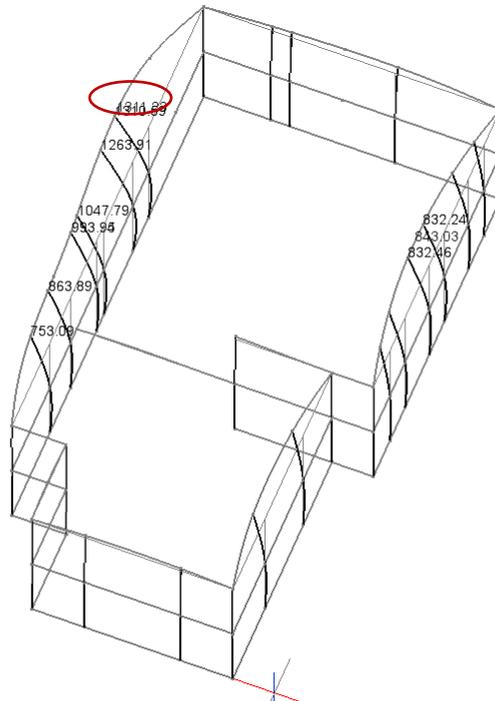
Figure 98 : Déplacements sous $Ex + 0,3 Ey$



Mz_{min}=-2.97kN*m (N0 10) Mz_{max}=2.97kN*m (N0 10)

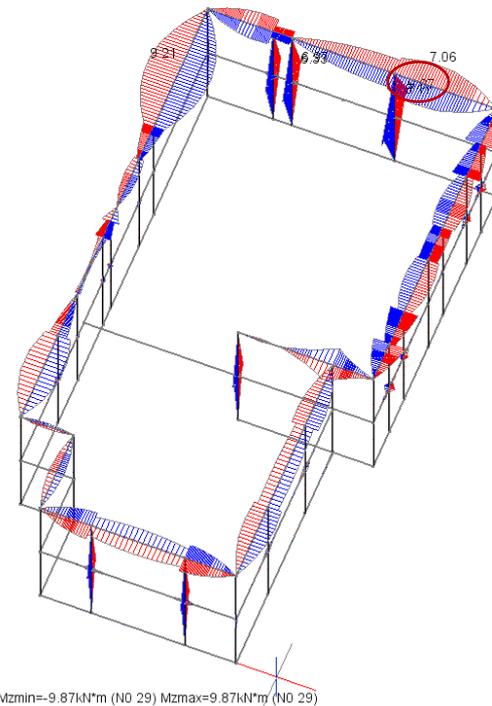
Figure 99 : Enveloppe des moments fléchissants hors plan des murs dans les chainages

Modèle 3D – Méthode des Forces Latérales



Déplacements=1311.23mm u_{min}=-22.27mm u_{max}=270.71mm v_{min}=-114.45mm v_{max}

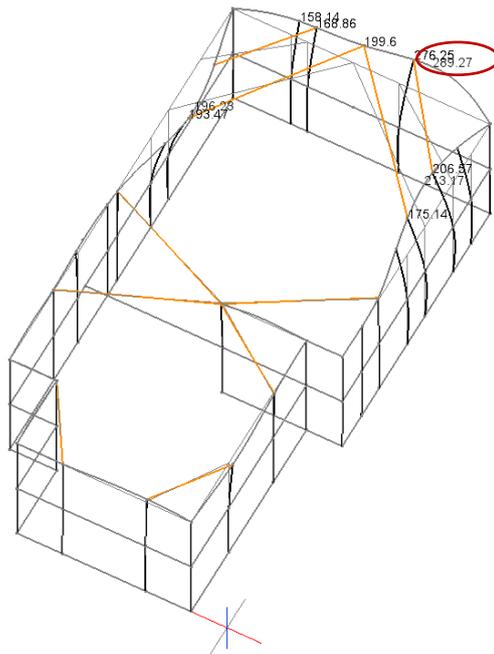
Figure 100 : Déplacements sous $-0,3Ex + Ey$



Mz_{min}=-9.87kN*m (N0 29) Mz_{max}=9.87kN*m (N0 29)

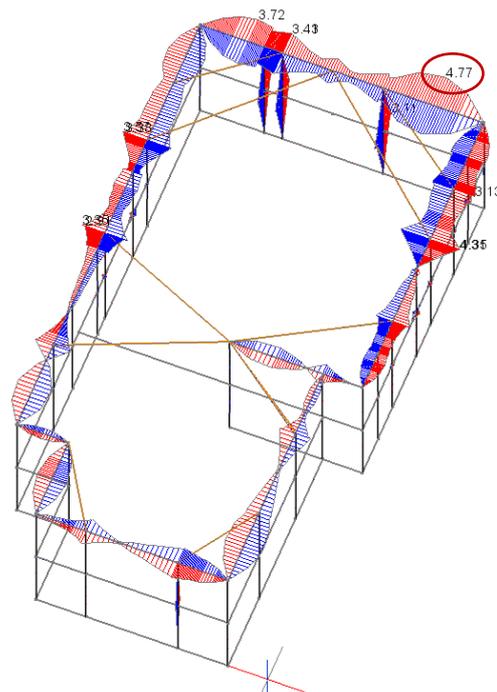
Figure 101 : Enveloppe des moments fléchissants hors plan des murs dans les chainages

Modèle 2D stab – Méthode des Forces Latérales



Déplacements=289.27mm umin=-21.97mm umax=288.34mm vmin=-194.74mm vmax=213.12mm

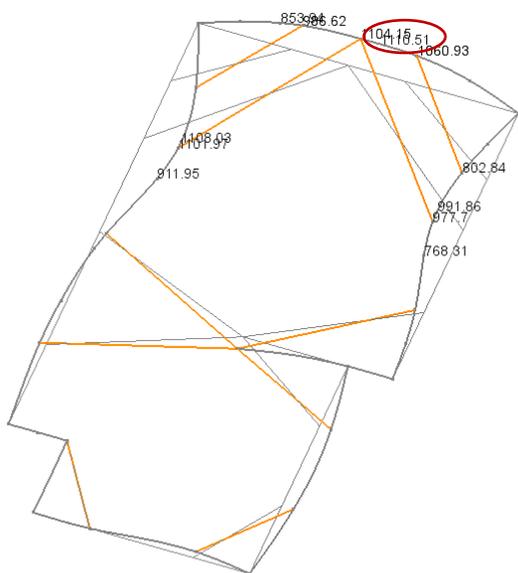
Figure 106 : Déplacements sous $Ex+0,3Ey$



Mzmin=-4.77kN*m (N0 66) Mzmax=4.77kN*m (N0 66)

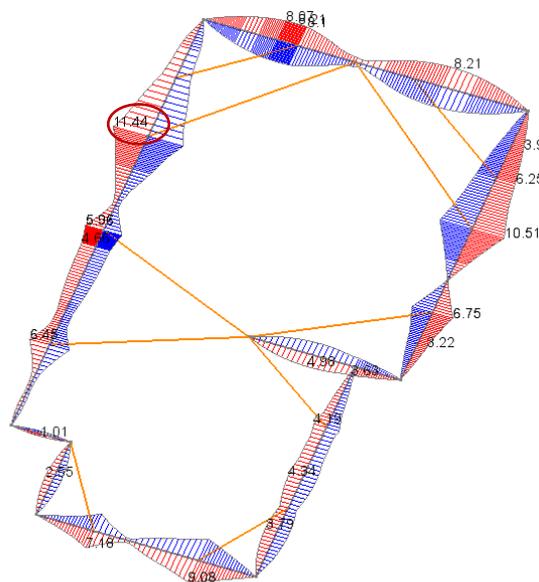
Figure 107 : Enveloppe des moments fléchissants hors plan des murs dans les chaînages

Modèle 2D stab – Méthode des Forces Latérales



Déplacements=1110.51mm umin=-496.14mm umax=1108.39mm vmin=-1101.97mm vmax=

Figure 108 : Déplacements sous $Ex-0,3Ey$



Mzmin=-11.44kN*m (N0 51) Mzmax=11.44kN*m (N0 51)

Figure 109 : Enveloppe des moments fléchissants hors plan des murs dans les chaînages

• Synthèse des résultats

Les efforts maximaux obtenus pour les différentes analyses effectuées sont récapitulés dans le tableau suivant :

Modèle	sans stabilisation	avec stabilisation
--------	--------------------	--------------------

	Méthode d'analyse	Chainages		Chainages		Bracons
		MZ _{Max} (kN.m)	N _{concom} (kN)	MZ _{Max} (kN.m)	N _{concom} (kN)	N _{Max} (kN)
3D	Modale	3,0	1,9	3,4	2,8	9,3
3D	Forces latérales	9,9	1,9	4,8	1,2	14,5
2D stab	Forces latérales	49,4	0	10,7	8,0	25,2

Tableau 20 : Efforts maximaux – Cas 2 « Quatre pans » avec étage

6. SYNTHÈSE

6.1 Configurations de base

Les quatre cas d'étude qui nous ont été soumis sont des bâtiments à simple RDC.

Les principales caractéristiques de régularité en plan (compacité et excentricité structurale) et les valeurs maximales d'effort dans les chaînages horizontaux en tête de murs et dans les bracons obtenus pour les différentes analyses effectuées sont récapitulés ci-dessous.

Cas	Régularité en plan			Modèle	Méthode d'analyse	Efforts maxi		
	compacité $S_{\text{retrait max}}/S_{\text{plancher}}$	excentricité structurale				Chainages		Bracons N_{Max} (kN)
		$[e_0/r]$ max	$[r/l_s]$ min			Mz_{Max} (kN.m)	N_{concom} (kN)	
1 « Croupes imbriquées »	13%	0,6	1,2	3D	Modale	4,3	4,2	15,5
					FL	6,4	7,0	27,1
				2D-stab	FL	7,5	3,0	30,0
				2D stab/3DFL		117%		111%
2 « Quatre pans »	3%	0,7	1,2	3D	Modale	3,1	0,5	6,6
					FL	8,9	1,3	15,9
				2D-stab	FL	9,9	5,9	15,9
				2D stab/3DFL		111%		100%
3 « Deux pans avec avancée »	17%	0,4	1,2	3D	Modale	4,7	1,5	12,9
					FL	6,7	2,3	22,3
				2D-stab	FL	9,8	4,5	22,4
				2D stab/3DFL		146%		100%
4 « Bâtiment en L »	10%	0,55	0,7	3D	Modale	4,9	2,1	8,9
					FL	9,7	8,7	20,7
				2D-stab	FL	9,9	11,7	21,5
				2D stab/3DFL		102%		104%

Tableau 21 : Synthèse résultats configurations de base

Les quatre bâtiments étudiés sont irréguliers en plan :

- trois des quatre bâtiments comportent au moins un retrait de surface supérieure à 5% de la surface de plancher
- les critères d'excentricité structurale ($e_0/r \leq 0,3r$ et $r/l_s \geq 1$) ne sont vérifiés sur aucun des bâtiments.

Les analyses par la méthode des forces latérales, effectuées avec une valeur approchée de la période fondamentale conduisant à la valeur d'accélération au plateau, sont plus défavorables que les analyses modales.

Pour les quatre cas étudiés, les efforts les plus importants dans les chaînages et les bracons sont toujours obtenus avec l'analyse par la méthode simplifiée dans le plan du système de stabilisation.

Par rapport aux résultats sur modèles spatiaux analysés avec la méthode des forces latérales, les niveaux d'effort maximaux atteignent :

- 102% (cas 4) à 146% (cas 3) pour les moments maximaux dans les chaînages
- 100% (cas 2 et 3) à 111% (cas 1) pour les efforts normaux dans les bracons.

6.2 Configurations modifiées

6.2.1 Réduction des longueurs de mur travaillantes

Les ratios de longueurs travaillantes des murs dans la direction considérée et les valeurs maximales d'effort dans les chainages horizontaux en tête de murs et dans les bracons obtenus pour les différentes analyses effectuées sont récapitulés ci-dessous.

Cas	Ratio longueurs travaillantes				Modèle	Méthode d'analyse	Efforts maxi			
							Chainages		Bracons	
							Mz _{Max} (kN.m)	N _{concom} (kN)	N _{Max} (kN)	
1		Lm ₁ /Lx	Lm ₂ /Lx	Lm ₃ /Lx	Lm ₄ /Lx	2D-stab	FL	7,5	3,0	30,0
	config. de base	42 %	32 %	13 %	45 %	3D	Modale	4,3	4,2	15,5
							FL	6,4	7,0	27,1
							2D stab/3DFL	117%		111%
	murs 2.1 non travaillant	42 %	32 %	7%	45 %	3D	Modale	4,6	3,0	15,8
							FL	6,4	7,0	27,1
							2D stab/3DFL	117%		100%
	murs 2.1 et 2.2 non travaillants	73 %	73 %	0%	45 %	3D	Modale	4,3	4,4	31,3
							FL	6,5	7,2	51,1
							2D stab/3DFL	115%		59%
	mur 3.4 non travaillant	73 %	73 %	13 %	21 %	3D	Modale	4,7	5,1	17,8
							FL	6,5	16,3	26,8
2D stab/3DFL							115%		101%	
2		Lm _A /Ly	Lm _B /Ly	Lm _C /Ly	Lm _D /Ly	2D-stab	FL	9,9	5,9	15,9
	config. de base	35 %	9%	33 %	94 %	3D	Modale	3,1	0,5	6,6
							FL	8,9	1,3	15,9
							2D stab/3DFL	111%		100%
	mur B.1 non travaillant	35 %	0%	33 %	94 %	3D	Modale	2,43	0,7	5,5
							FL	16,2	0,4	18,4
2D stab/3DFL							61%		84%	

Tableau 22 : Synthèse résultats configurations modifiées par réduction de longueurs travaillantes

Pour les deux cas étudiés, en réduisant les ratios de longueurs travaillantes de certains murs, même à des ratios inférieurs à 10% de la longueur maximale du bâtiment dans la direction considérée, on ne constate pas d'accroissement significatif des valeurs maximales d'efforts dans les bracons et/ou les chainages pour les modèles spatiaux analysés.

Seule la suppression complète de la résistance en contreventement d'un mur conduit à l'obtention de valeurs maximales excédant celles précédemment obtenues avec l'analyse par la méthode simplifiée dans le plan du système de stabilisation. Dans ce cas, l'hypothèse d'un appui bloquant les translations dans la direction du mur à chaque extrémité n'est plus valable.

Une telle situation est principalement à craindre en angle saillant de mur où les longueurs travaillantes sont nécessairement réduites.

Afin de rester sécuritaire, il est donc nécessaire de définir des valeurs minimales de longueur ou de ratio de longueurs travaillantes pour pouvoir considérer un blocage cette méthode simplifiée.

6.2.2 Bâtiment à étage

Les valeurs maximales d'effort dans les chainages horizontaux en tête de murs et dans les bracons obtenus pour les différentes analyses effectuées sont récapitulés ci-dessous.

Cas	Ratio surface planchers	Modèle	Méthode d'analyse	Efforts maxi			
				Chainages		Bracons	
				Mz _{Max} (kN.m)	N _{concom} (kN)	N _{Max} (kN)	
1	config. de base	3D	Modale	4,3	4,2	15,5	
			FL	6,4	7,0	27,1	
		2D-stab	FL	7,5	3,0	30,0	
			2D stab/3DFL	117%		111%	
	Etage identique au RdC	S _{pR+1} /S _{pRdc} =1	3D	Modale	6,4	7,7	17,8
				FL	6,3	16,7	16,1
2D-stab			FL	7,9	3,2	31,8	
			2D stab/3DFL	125%		198%	
2	config. de base	3D	Modale	3,1	0,5	6,6	
			FL	8,9	1,3	15,9	
		2D-stab	FL	9,9	5,9	15,9	
		2D stab/3DFL	111%		100%		
	Etage identique au RdC	S _{pR+1} /S _{pRdc} =1	3D	Modale	3,4	2,8	9,3
				FL	4,8	1,2	14,5
2D-stab			FL	10,7	8,0	25,2	
			2D stab/3DFL	223%		174%	

Tableau 23 : Synthèse résultats configurations modifiées par ajout d'étage

Avec l'ajout d'un étage de configuration strictement identique à celle du RdC, les valeurs maximales d'efforts obtenues avec l'analyse par la méthode simplifiée dans le plan du système de stabilisation sont nettement supérieures à celles obtenues avec les modèles spatiaux analysés avec la méthode des forces latérales.

7. METHODE SIMPLIFIEE

7.1 Domaine d'application

7.1.1 Zones sismiques et catégorie d'importance

- Zones sismiques 2 à 4
- Catégorie d'importance II

7.1.2 Type de construction

- Maisons individuelles et petits bâtiments d'habitation collectifs limités à R+1 avec combles non aménageables
- Charpentes industrialisées en bois suivant NF DTU 31.3
- Murs en maçonnerie de petits éléments suivant NF DTU 20.1

7.1.3 Configuration en plan

- Dimensions maximales du rectangle ($L_{max} \times L_{min}$) dans lequel s'inscrit le bâtiment :
 - $L_{max} \leq 20$ m
 - Elancement L_{max}/L_{min} limité à 2,5
- Disposition des murs de contreventement :
 - longueur maximale de façade entre murs de refend limitée à 12 m ;
 - présence dans chaque direction principale d'au moins deux murs de contreventement parallèles, de longueur supérieure à 30% de la longueur du bâtiment dans la direction considérée ; ces deux murs doivent être distant d'au moins 75% de la longueur du bâtiment dans la direction perpendiculaire à leur plan.
- Limitation des retraits par rapport au polygone convexe circonscrit au plancher de surface S_p :
 - Nombre de retraits ≤ 6
 - Surface d'un retrait $A_i \leq 0,15 S_p$
 - Somme des surfaces de tous les retraits $\sum A_i \leq 0,3 S_p$

7.1.4 Configuration en élévation

- Hauteur des façades limitée à 3,3 m en RDC et 6,6 m en R+1
- Surface de plancher d'étage n'excédant pas celui du RdC : $S_{pR+1} \leq S_{pRdC}$
- Continuité des murs de contreventement sur toute la hauteur du bâtiment

7.2 Système de stabilisation

7.2.1 Bracons bois

Les éléments de stabilisation en bois massif ou reconstitué, dénommés « bracons » sont disposés dans le plan des entrants.

Les bracons sont fixés en sous-face des entrants de manière à assurer leur stabilisation vis-à-vis du risque de flambement.

Aux extrémités des bracons, la liaison avec le chaînage horizontal en béton armé est assurée par des connecteurs métalliques tridimensionnels (étriers, équerres) dont les performances sont définies par une Evaluation Technique Européenne.

L'ancrage dans le béton est effectué par des chevilles métalliques dont les caractéristiques essentielles et qualification en zone sismique sont définies par une Evaluation Technique Européenne.

7.2.2 Chainages

Les chainages respectent les dispositions complémentaires définies au §9.5.3 de l'EC8.

7.3 Principes d'analyse

7.3.1 Coefficient de comportement

Le coefficient de comportement q à utiliser pour les maçonneries chaînées est $q=2,5$, conformément au § 9.3 NA de l'EC8.

7.3.2 Détermination des actions sismiques

Les actions sismiques agissant dans le plan de la stabilisation sont déterminées suivant la méthode des forces latérales, telle que décrite au §3.1.

Pour cette étape, il y a lieu d'estimer précisément les masses appliquées en tête de chacun des murs pour l'analyse sismique.

Ces masses sont constitués par:

- Les masses de murs associée à la moitié de la hauteur de chacun des murs concernés,
- Les masses associées à la descente de charges de la toiture pour chacun des murs.

7.3.3 Modélisation de la stabilisation

Aux extrémités des chainages horizontaux les liaisons sont considérées articulées aux intersections de murs.

Aux extrémités des bracons, les liaisons avec le chaînage sont considérées articulées.

Aux intersections de mur, chaque extrémité de mur constitue un point d'appui qui bloque les translations dans la direction du mur.

7.4 Justifications

Suivant le §4.4.2.5 de l'EC8, les éléments du système de stabilisation et leurs liaisons doivent être sur-résistants par rapport aux effets de l'action sismique.

7.4.1 Chainages

Les chainages soumis à de la flexion composée doivent être justifiés conformément à l'EC2.

Les efforts résistants dans les chainages en béton armé pourront être déterminés à partir des diagrammes d'interaction Moment résistant / Effort Normal résistant à l'ELU-sismique présentés ci-dessous :

Section BA : 150x150mm² - Classe béton C20/25

- **Armatures 4 HA10**

Section béton armé 150*150 mm²

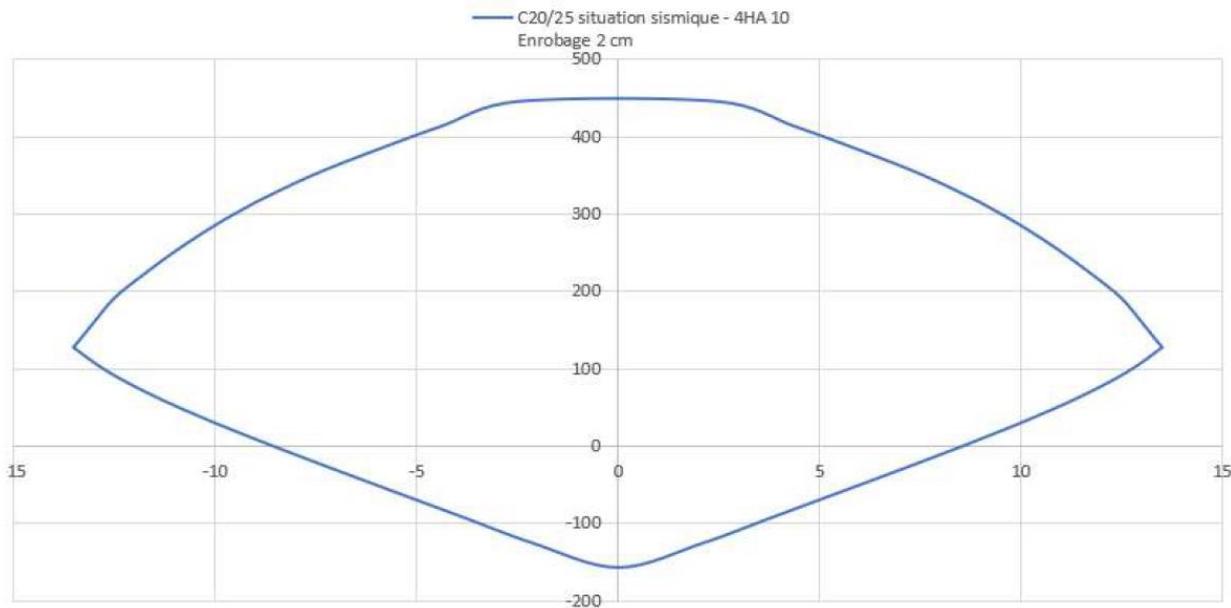


Figure 110 : Diagramme d'interaction Moment résistant (abscisses en KN.m) / Effort Normal (ordonnées en kN) C20/25 – 4 HA10 (source CSTB)

- **Armatures 4 HA12**

Section béton armé 150*150 mm²

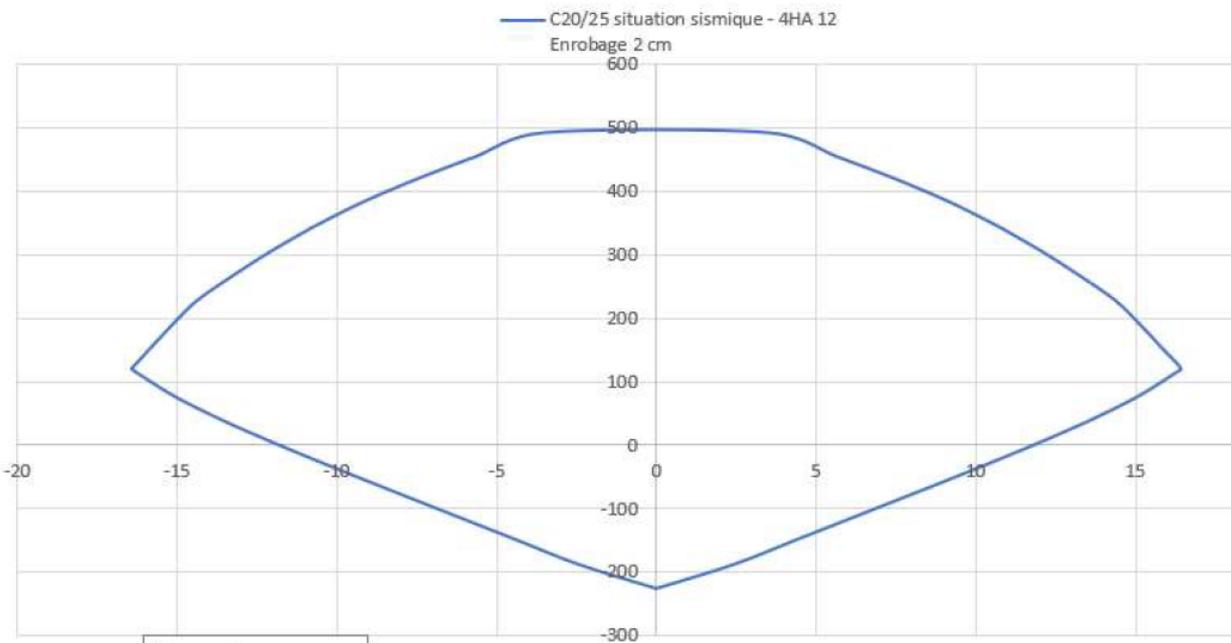


Figure 111 : Diagramme d'interaction Moment résistant (abscisses en KN.m) / Effort Normal (ordonnées en kN) C20/25 – 4 HA12 (source CSTB)

Section BA : 150x150mm² - Classe béton C25/30

- **Armatures 4 HA10**

Section béton armé 150*150 mm²

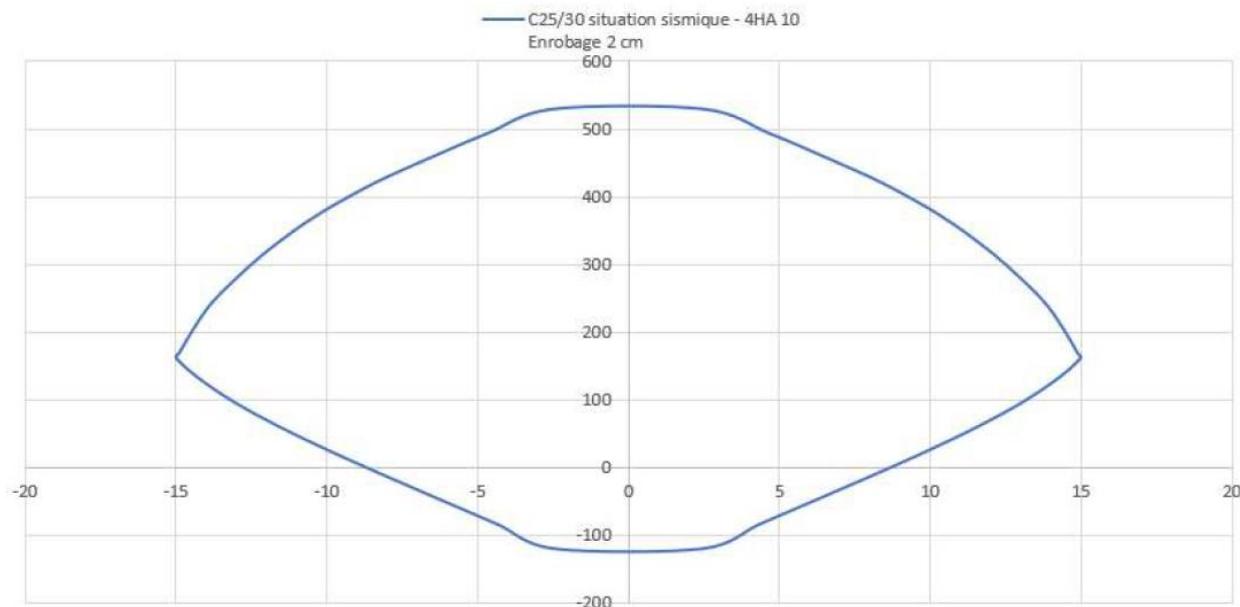


Figure 112 : Diagramme d'interaction Moment résistant (abscisses en KN.m) / Effort Normal (ordonnées en kN) C25/30 – 4 HA10 (source CSTB)

- **Armatures 4HA 12**

Section béton armé 150*150 mm²

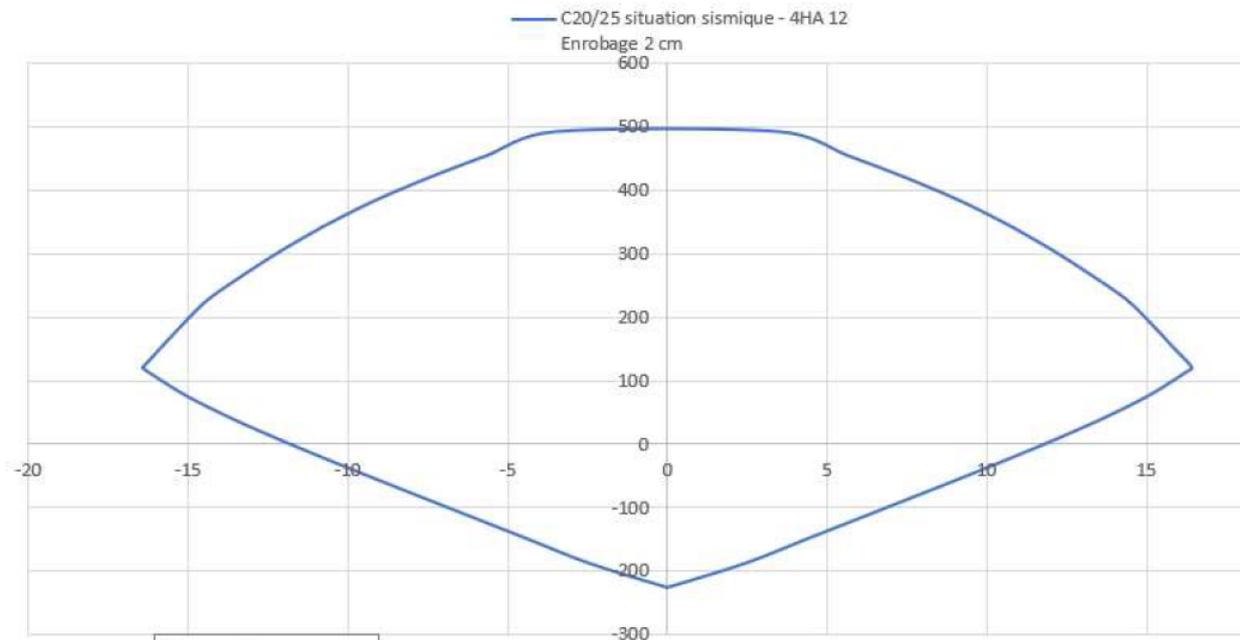


Figure 113 : Diagramme d'interaction Moment résistant (abscisses en KN.m) / Effort Normal (ordonnées en kN) C25/30 – 4 HA12 (source CSTB)

Section BA : 150x150mm² - Classe béton C30/37

- **Armatures 4 HA10**

Section béton armé 150*150 mm²

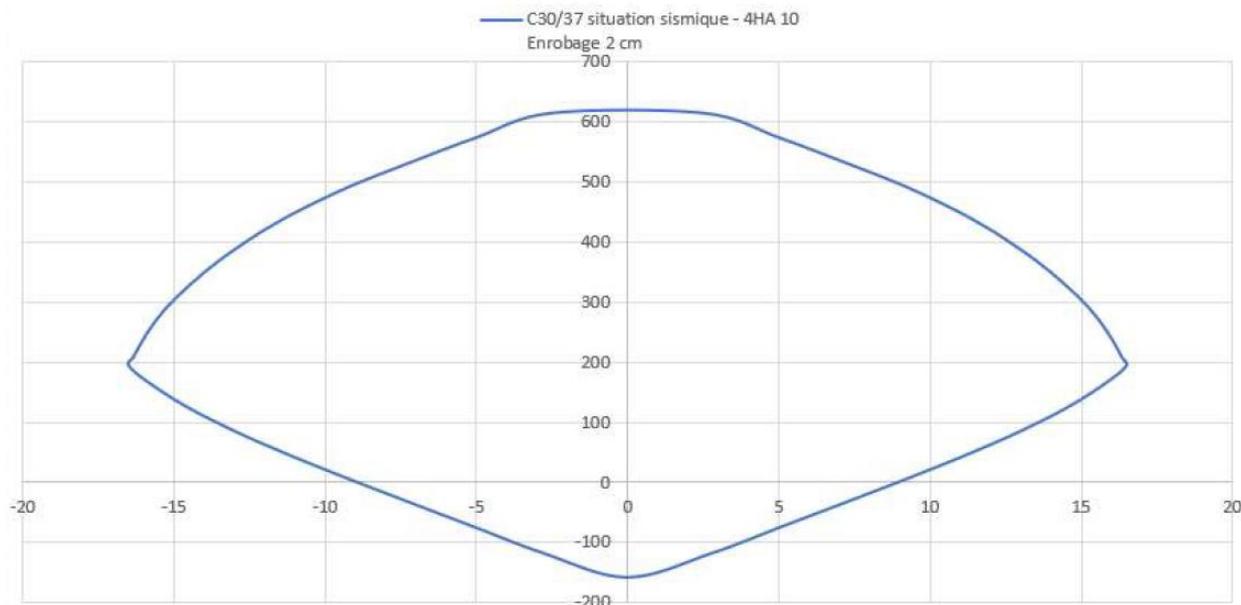


Figure 114 : Diagramme d'interaction Moment résistant (abscisses en KN.m) / Effort Normal (ordonnées en kN) C30/37 – 4 HA10 (source CSTB)

- **Armatures 4HA 12**

Section béton armé 150*150 mm²

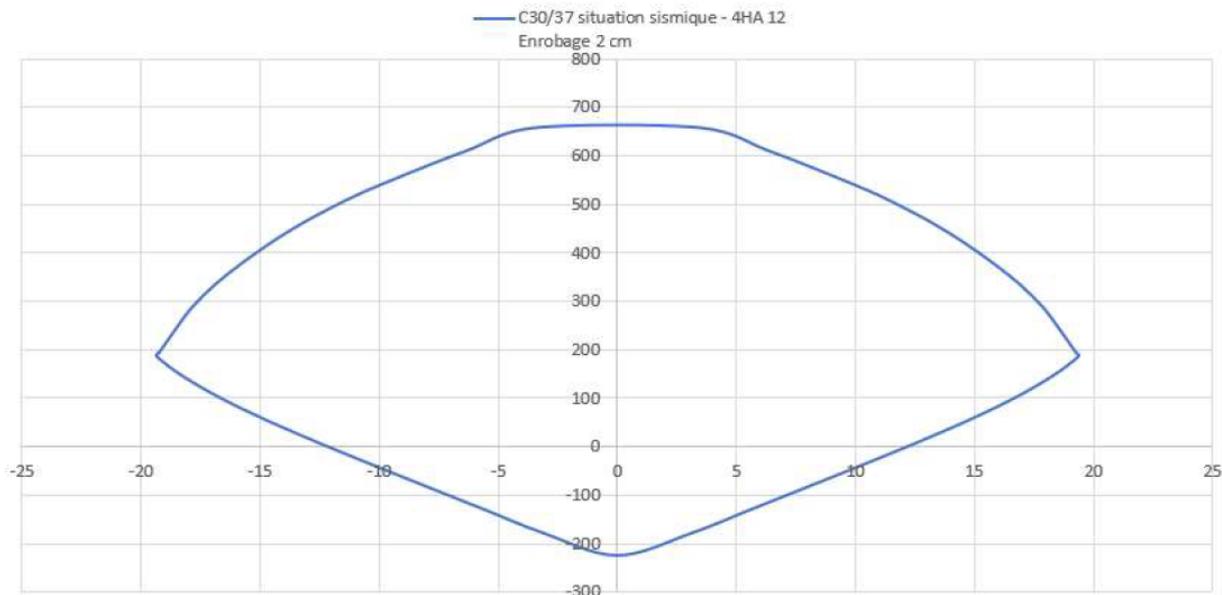


Figure 115 : Diagramme d'interaction Moment résistant (abscisses en KN.m) / Effort Normal (ordonnées en kN) C30/37 – 4 HA12 (source CSTB)

7.4.2 Bracons

Les bracons soumis à un effort normal (traction ou compression) sont justifiés conformément à l'EC5.

Le dimensionnement est mené en majorant les efforts de calcul par le coefficient de sur-résistance $\gamma_d=1,3$, compte tenu du risque de rupture fragile.