



Apollo Bridge
Architect: Ing. Miroslav Mat'aščík - Alfa 04 a.s., Bratislava
Design: Dopravoprojekt a.s., Bratislava

Calcul parasismique avec Scia Engineer

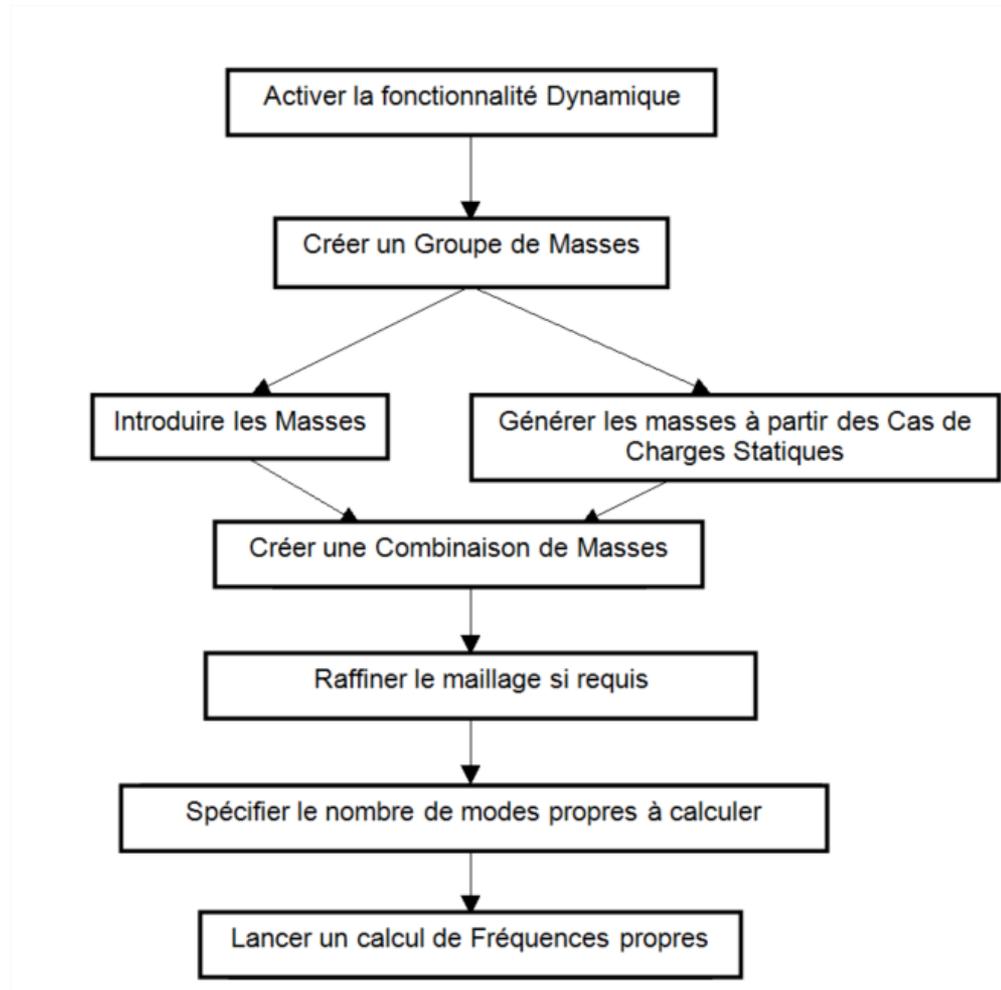
Décembre 2015
Nemetschek Scia

- Calcul des fréquences propres
- Pourquoi une modélisation 3D ?
- Modélisation spécifique pour le calcul dynamique
- Masse modale supérieure à 90% ?
- Modèle condensé IRS
- Altération des rigidités et des masses
- Concomitances et signature des résultats
- Combinaisons de charge pour le séisme
- Torsion & excentricité
- Efforts pour le dimensionnement
- Effets de cadre
- Conclusions

CALCUL DES FRÉQUENCES PROPRES

Calcul des fréquences propres

Procédure dans Scia Engineer

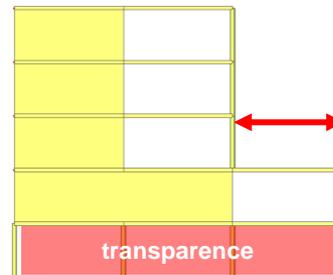
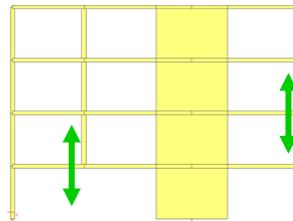
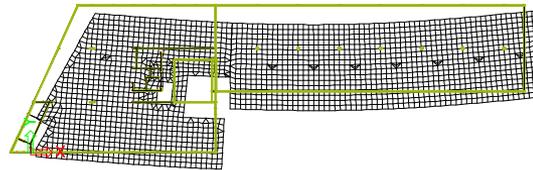
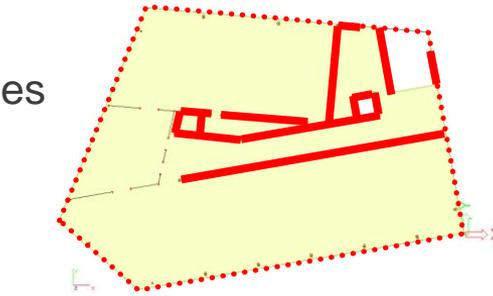


POURQUOI
UNE MODÉLISATION 3D ?

Pourquoi un modèle 3D ?

Bâtiments souvent complexes

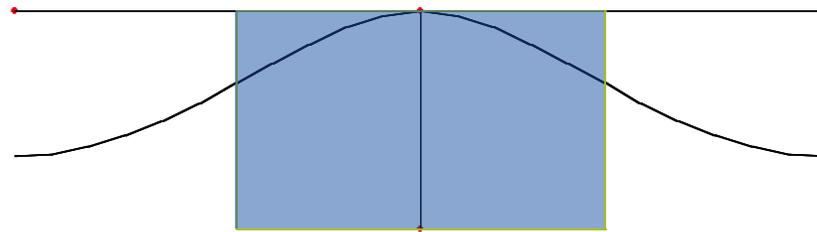
- Refends fortement asymétriques ou non orthogonaux
- Directions X-Y couplées
- Géométrie complexe en plan de la dalle
- Dalle relativement souple dans son plan
- Géométrie irrégulière en élévation
- Directions X-Z couplées
- Rigidités / masses irrégulières en élévation



- Distribution des efforts sur les refends ?
- Prise en compte de la rotation des dalles dans leur plan (torsion d'ensemble)
- Application distribuée des sollicitations sismiques et non pas concentrée au CG
- Prise en compte des déformations en plan des dalles
- Prise en compte des déplacements verticaux
- Distribution verticale des sollicitations non triangulaire

MODÉLISATION SPÉCIFIQUE POUR LE CALCUL DYNAMIQUE

- Modélisation comme « poteau large »



- liaison ponctuelle
- système trop souple
- déformations et efforts erronés dans la dalle
- descente de charges statique erronée
- atténue un éventuel effet de cadre

- Modélisation « poteau large » + raidisseur



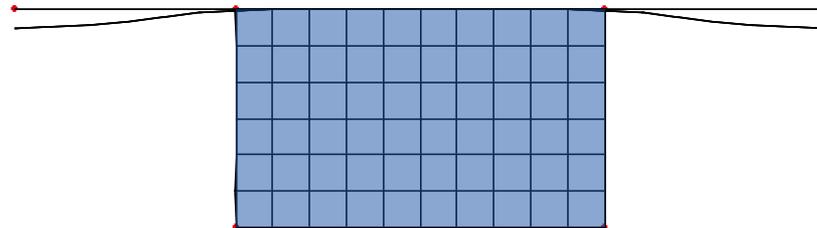
- liaison continue, plus réaliste
- encastrement de la dalle dans le mur
- comportement correct de la dalle
- descente de charges statique : prudence !
→ pas de diffusion des efforts
- effet de cadre non atténué

- **Modélisation comme voile**

Elément plan

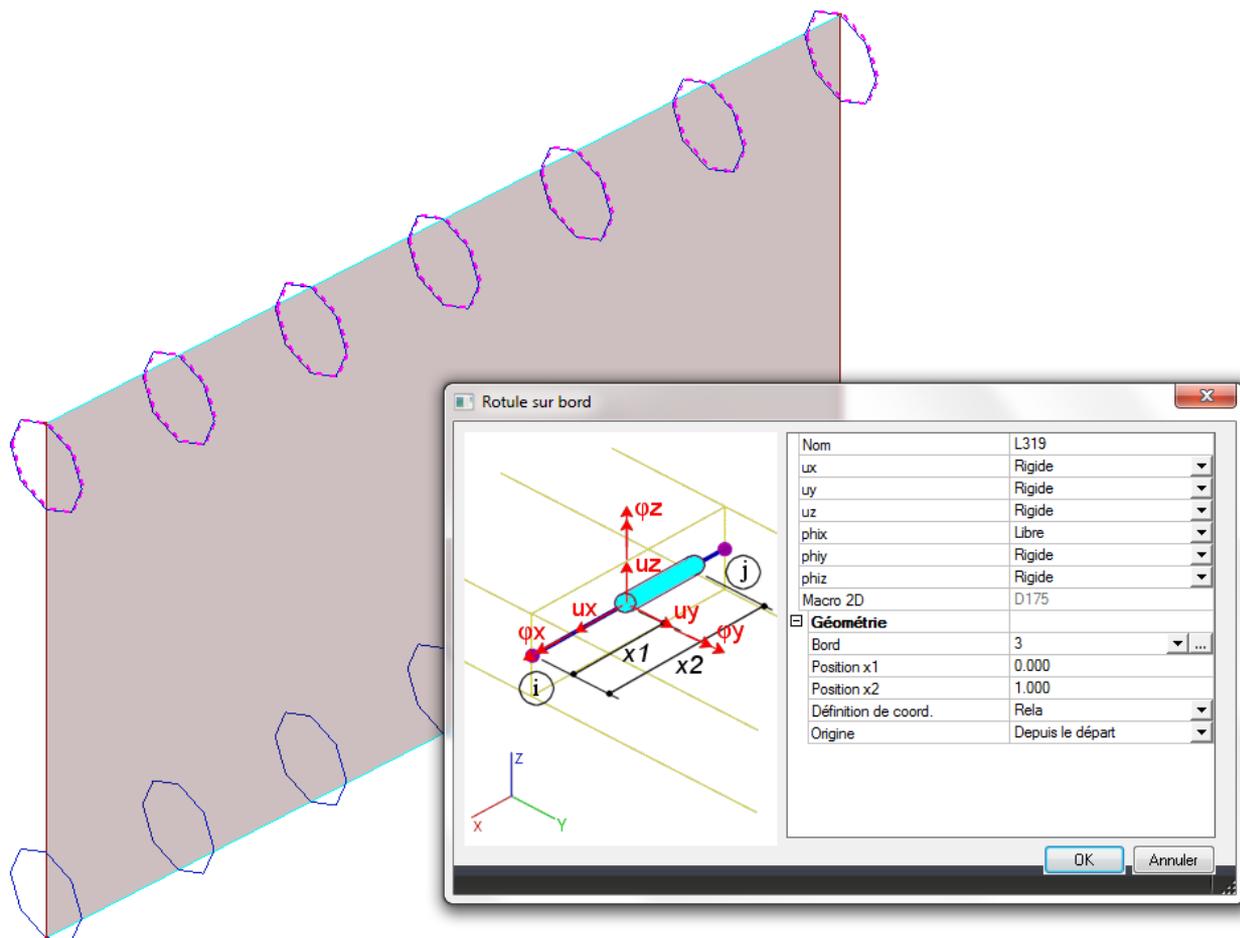
- + Modélisation immédiate (reprise du modèle statique tel quel)
- + Solution générale
- + Comportement correct de la dalle
- + Descente de charges statique correcte
- Résultats locaux, pas de résultante directe (NMV)

mais il y a des outils pour compenser cette lacune



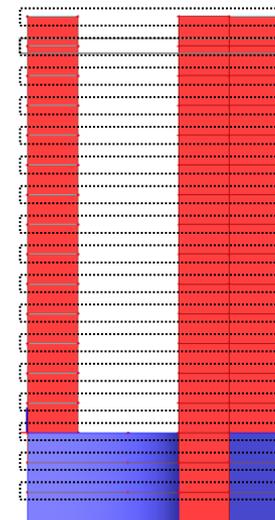
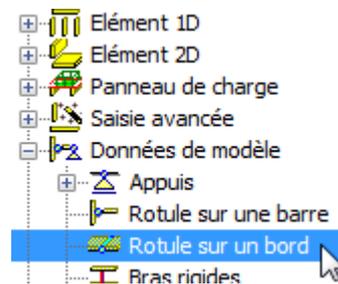
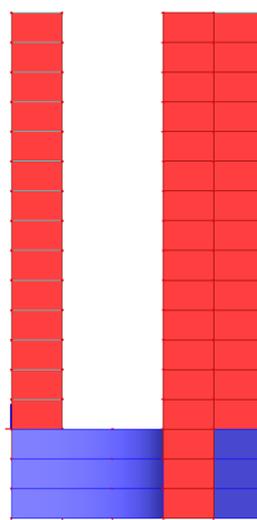
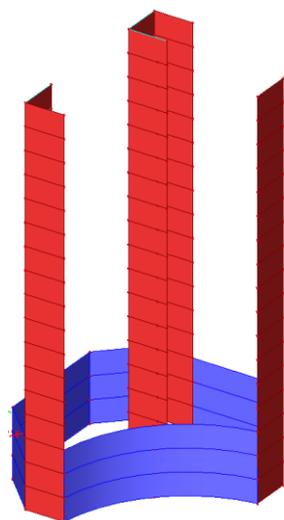
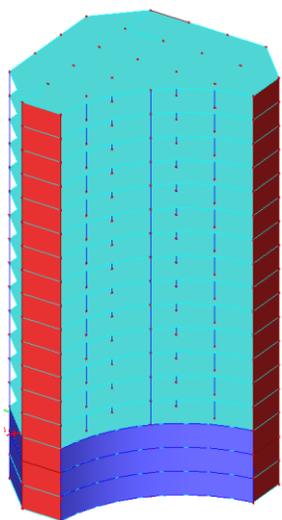
Modélisation des murs de refend

- Éliminer les liaisons hors plan
- → rotules en tête et en pied de tous les murs de refend



Modélisation des murs de refend

- **Éliminer les liaisons hors plan**
 - 1. ne garder à l'écran que les porteurs concernés (activités)
 - 2. choisir une vue en élévation
 - 3. dans le service « structure », choisir « rotule sur un bord »
 - 4. sélectionner successivement tous les pieds et têtes de murs



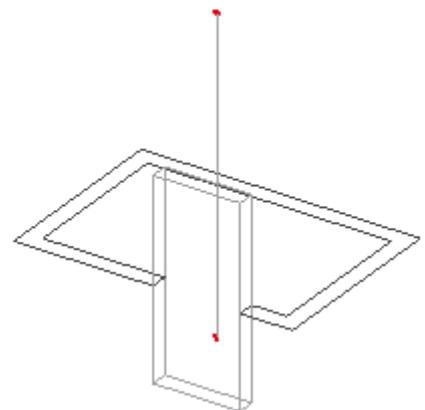
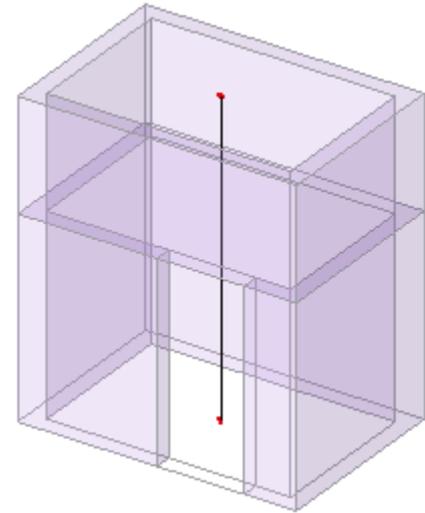
Modélisation des noyaux

- **Modélisation par 1 barre**

- + modèle de calcul léger (6 DDL)
- + résultats d'ensemble immédiats
- OK pour noyaux relativement simples,
noyaux plus complexes → ?

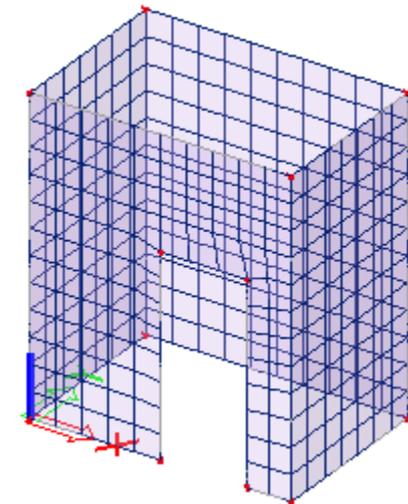
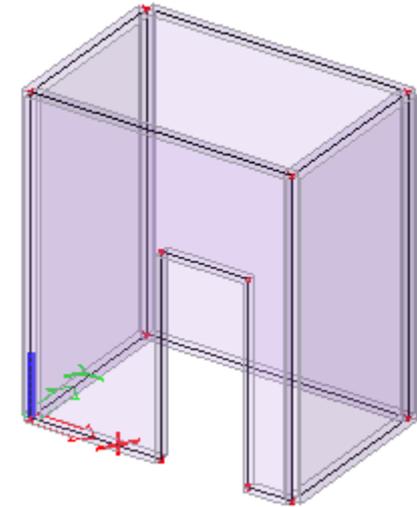
? torsion non uniforme ?

? répartition des efforts dans les murs ?



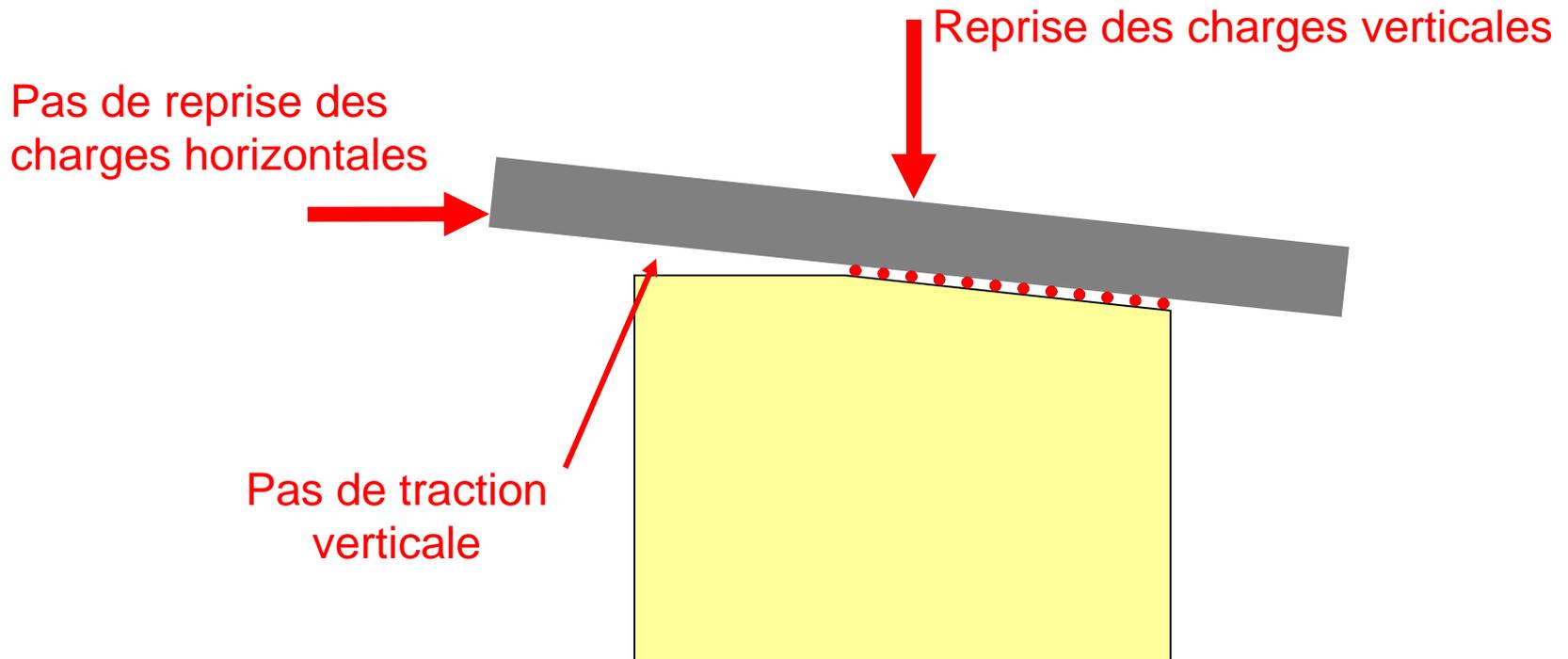
Modélisation des noyaux

- **Modélisation en coque**
 - + solution générale
 - + pas de limitation de géométrie
 - + torsion non uniforme traitée
 - + liaison correcte des murs
 - modèle de calcul lourd (>2000 DDL)
 - résultats locaux



Modélisation des porteurs non refends

- Poteaux
 - Pas de problème particulier, éléments pendulaires (bi-articulés)
- Murs non refend : ce qu'on voudrait



Modélisation des murs non refends

- Murs non refend : en pratique

- Pas de reprise de traction verticale ?

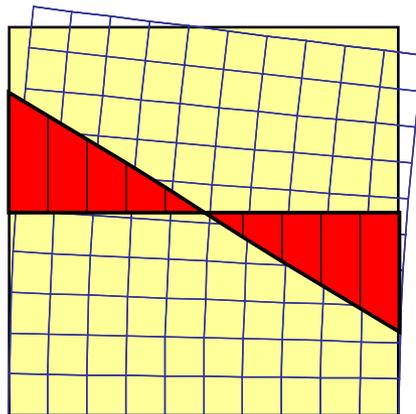
- non-linéarité (matérielle)

- Pas applicable dans un calcul par superposition modale

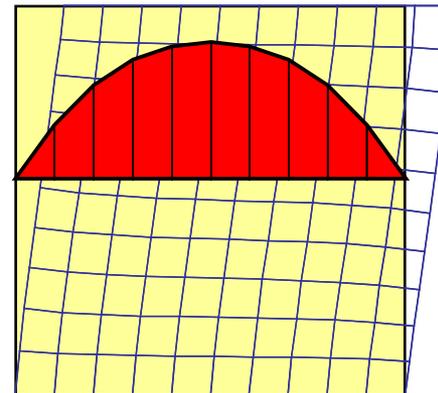
- Pas de reprise des charges horizontales ?

- Elles engendrent du cisaillement et de la flexion dans les murs

Flexion



Cisaillement

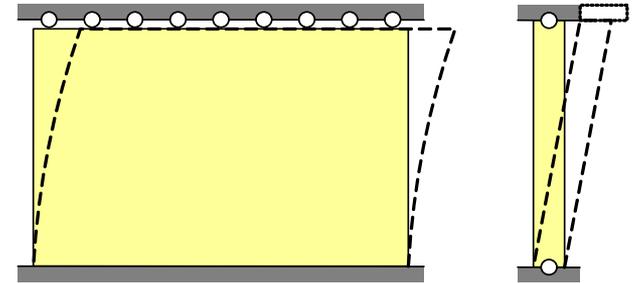


Modélisation des murs non refends

- **Panneau « pendulaire glissant »**

Articulations en pied et en tête du mur

Glissement longitudinal libéré en tête



- **Efforts dans le plan**

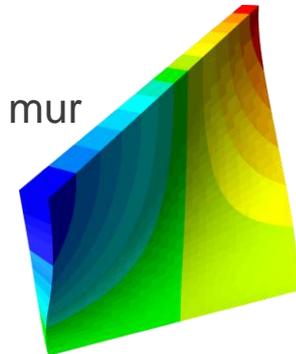
- Cisaillement non repris

- Efforts verticaux transmis → flexion, effet de cadre

- **Efforts hors plan**

- Non repris

- Sauf flexion hors plan du mur ↔ rigidité torsionnelle propre du mur

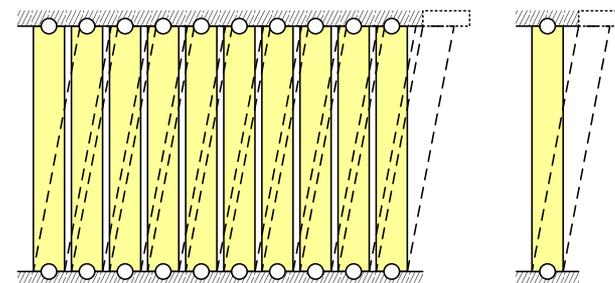


Modélisation des murs non refend

- Rideau de piliers pendulaires

Rangée de piliers

Articulés en pied et en tête



- + Efforts verticaux transmis

- + Aucun effort horizontal transmis

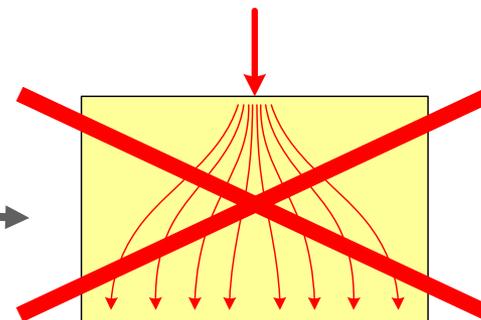
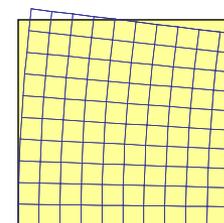
- + Aucune perturbation transversale

- + Pas de rigidification des dalles

- + Facile à mettre en œuvre

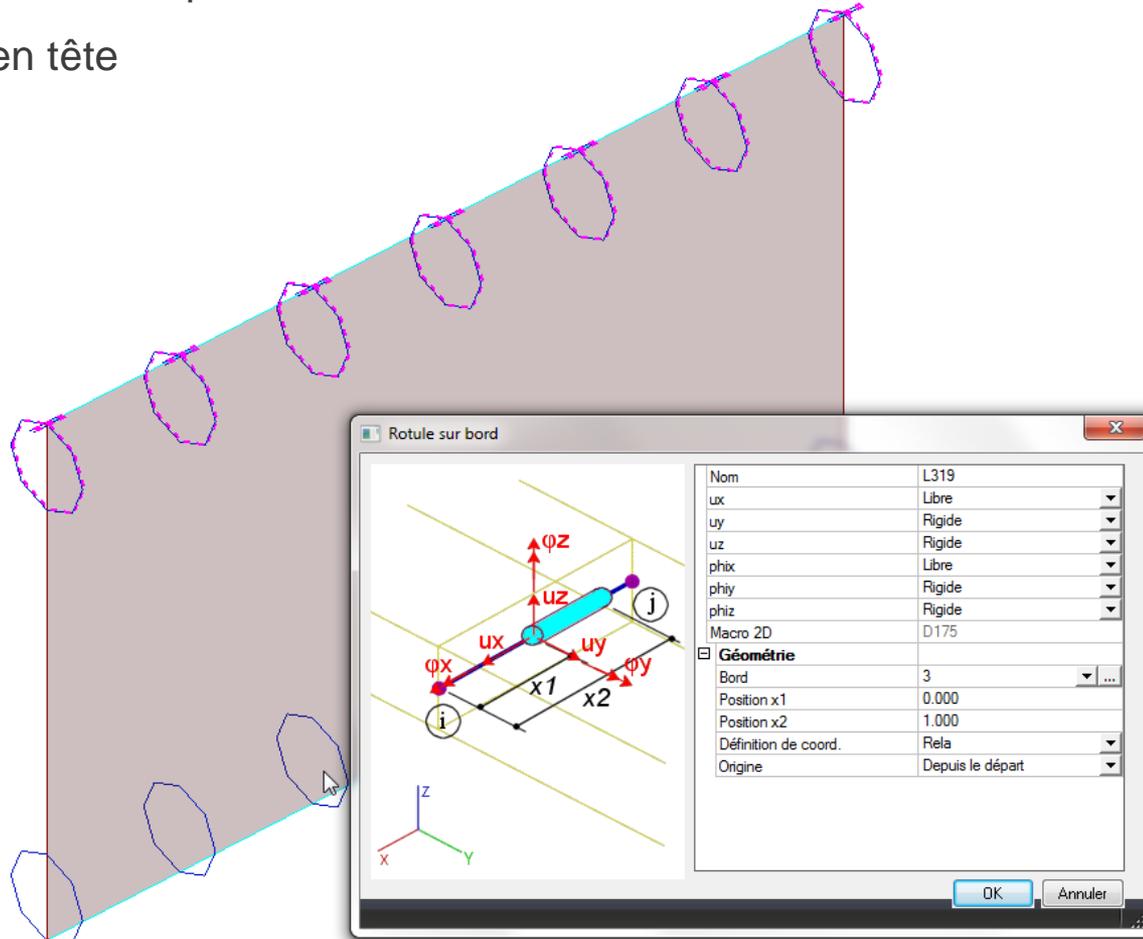
- – Perturbation flexionnelle

- – Pas de diffusion des efforts verticaux



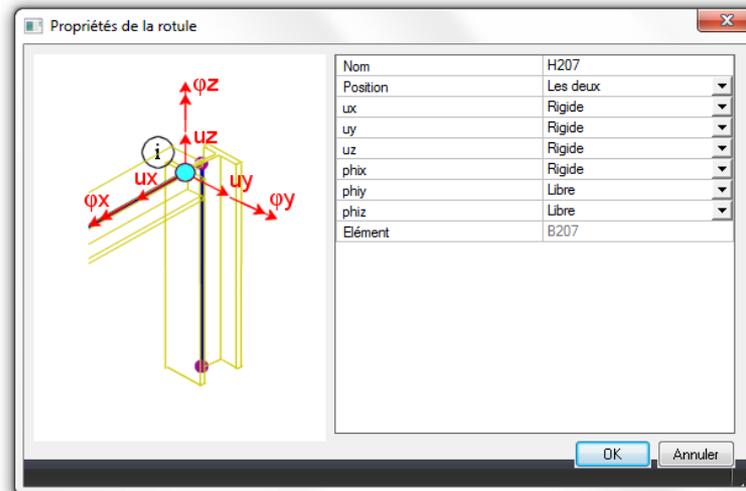
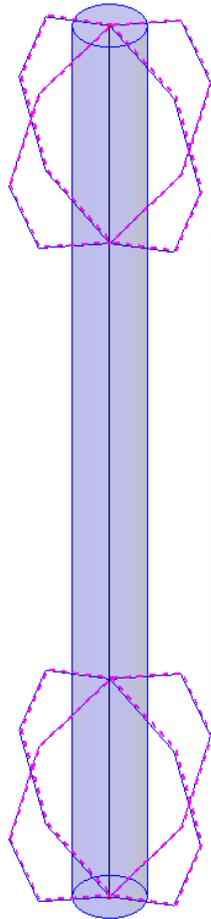
Modélisation des murs non refend

- Éliminer les liaisons hors plan et le cisaillement
- → rotules en tête et en pied de tous les murs non refend
- → libérer u_x en tête



Modélisation des poteaux

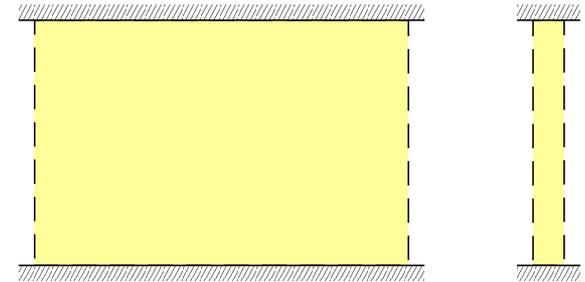
- Éliminer les liaisons hors plan
- → rotules en tête et en pied de tous les poteaux



- **Désactivation**

Calcul des cas de charge **statiques** avec les murs

Calcul des cas de charge **sismiques** sans les murs



- + **Aucune perturbation due aux murs en question**

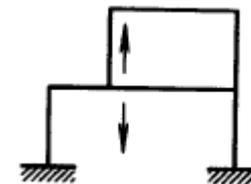
- + **Très facile à mettre en œuvre**

- – **Suppression de porteurs**

- « création » de grandes portées

- Risque d'apparition de modes de vibration des dalles en flexion

- – **Pas valable si les modes principaux comportent des composantes verticales à proximité de ces murs**

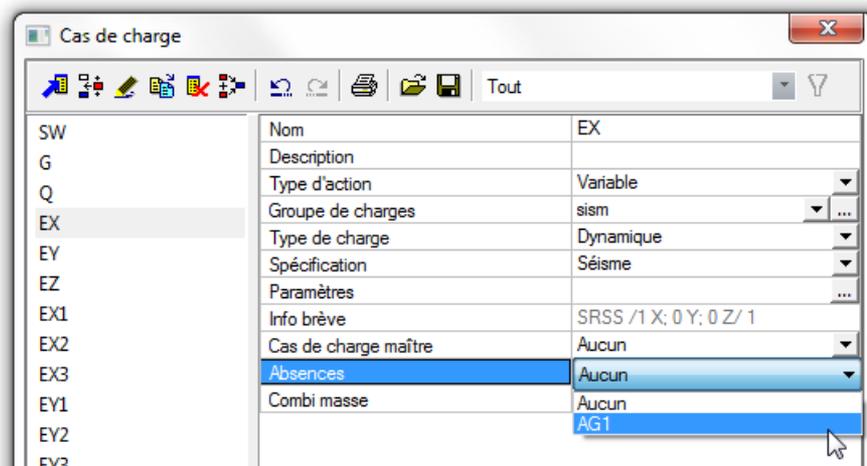
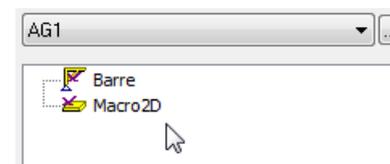
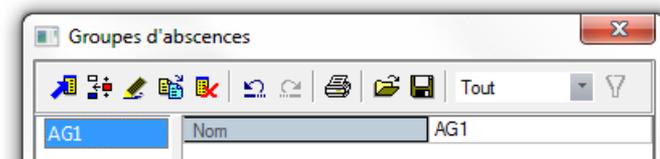
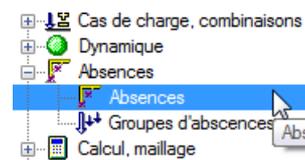
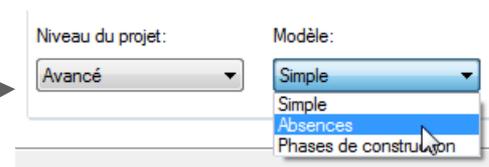


Calcul parasismique avec Scia Engineer

Modélisation des murs non refend

■ Désactivation – utilisation des absences

- 1. activer la fonctionnalité « absences » dans le projet
- 2. aller dans le service « absences »
- 3. créer un groupe d'absences
- 4. « absenter » chaque porteur non refend
- 5. associer le groupe d'absences ainsi créé à chaque cas de charge sismique

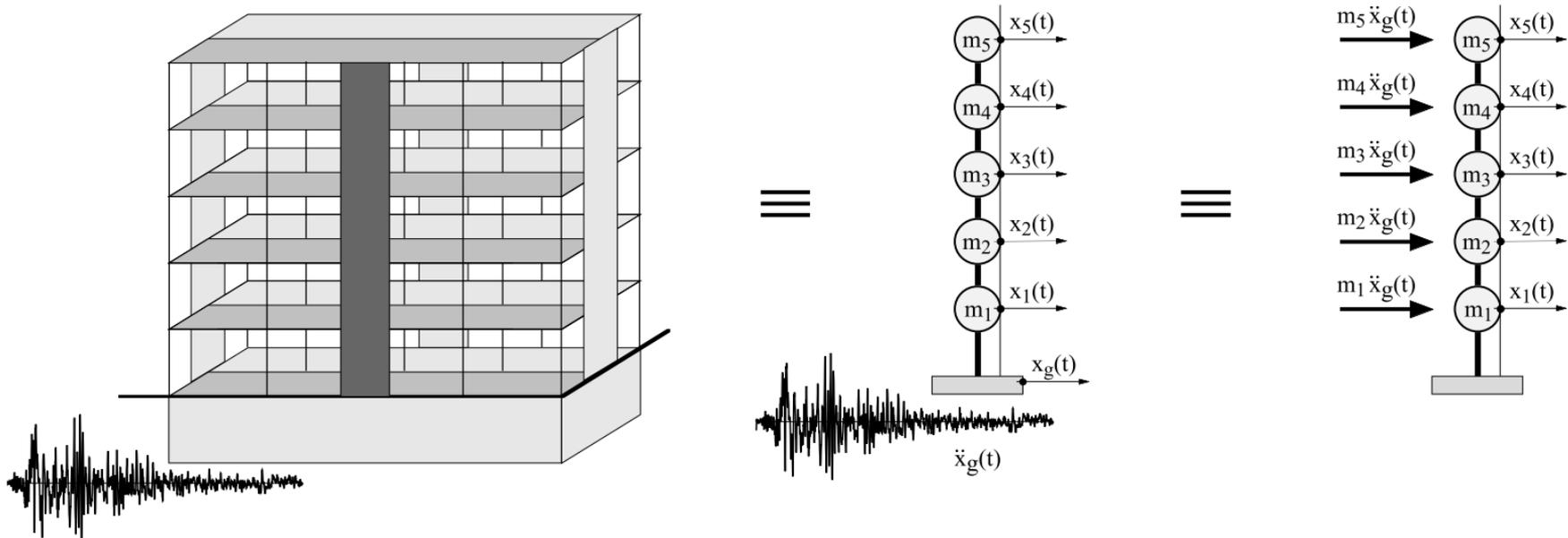


Composantes d'appui horizontales

Sous l'effet du séisme, le sol entraine le bâtiment avec lui

→ Bâtiment supposé solidaire du terrain qui, lui, bouge

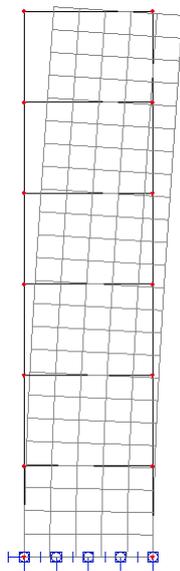
→ Composantes d'appui horizontales = **rigide**



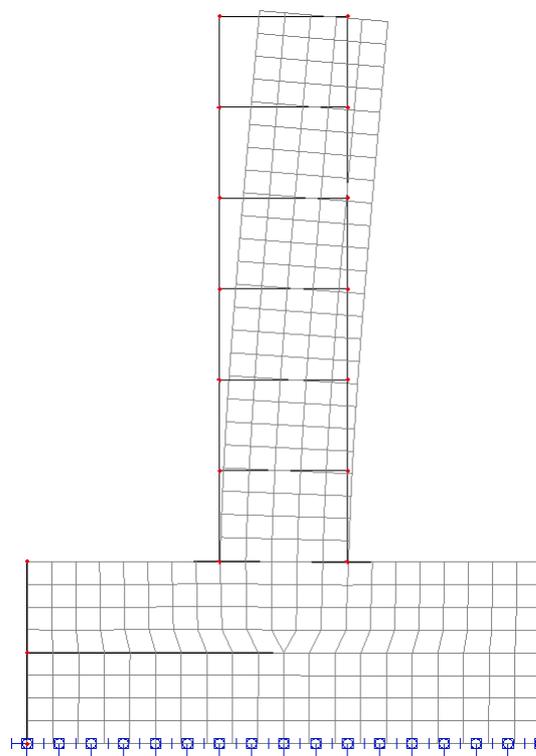
Modélisation des conditions d'appui

Composantes d'appui verticales

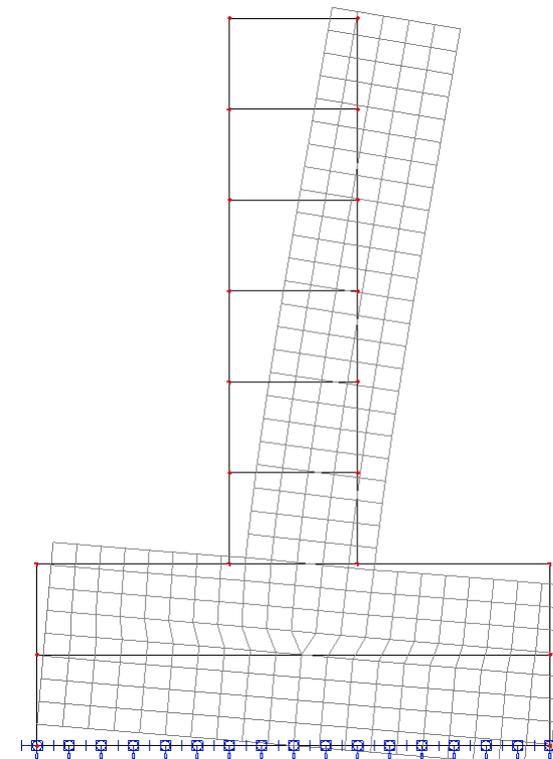
Appui rigide au niveau d'encastrement admis



Appui rigide au niveau des fondations



Appui flexible au niveau des fondations



Rigidité : 1

$\frac{2}{3}$

$\frac{1}{3}$

Fréquence : 2 Hz

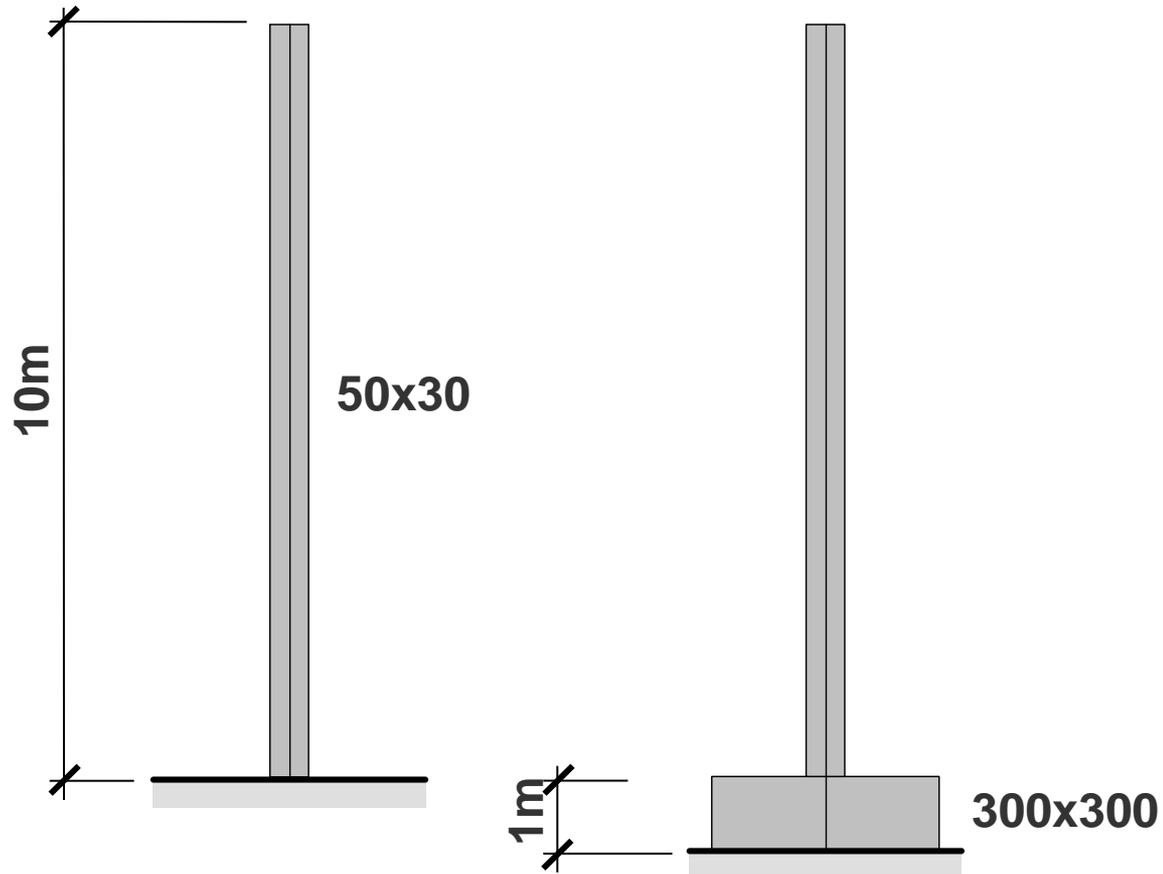
1.6 Hz

1.2 Hz

MASSE MODALE \geq 90% ?

Masse Modale P 90% ?

Comparaison de 2 exemples simples



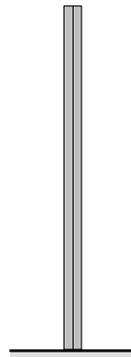
Masse Modale ρ 90% ?

Comparaison des Fréquences & Masses Modales

Modèle 1 (3.5 t)

Mode	f [Hz]	m [%]
1	2.6	64.4 %
2	15.9	20.0 %
3	43.5	6.9 %

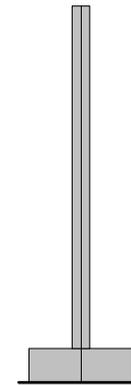
90.3 %



Modèle 2 (25 t)

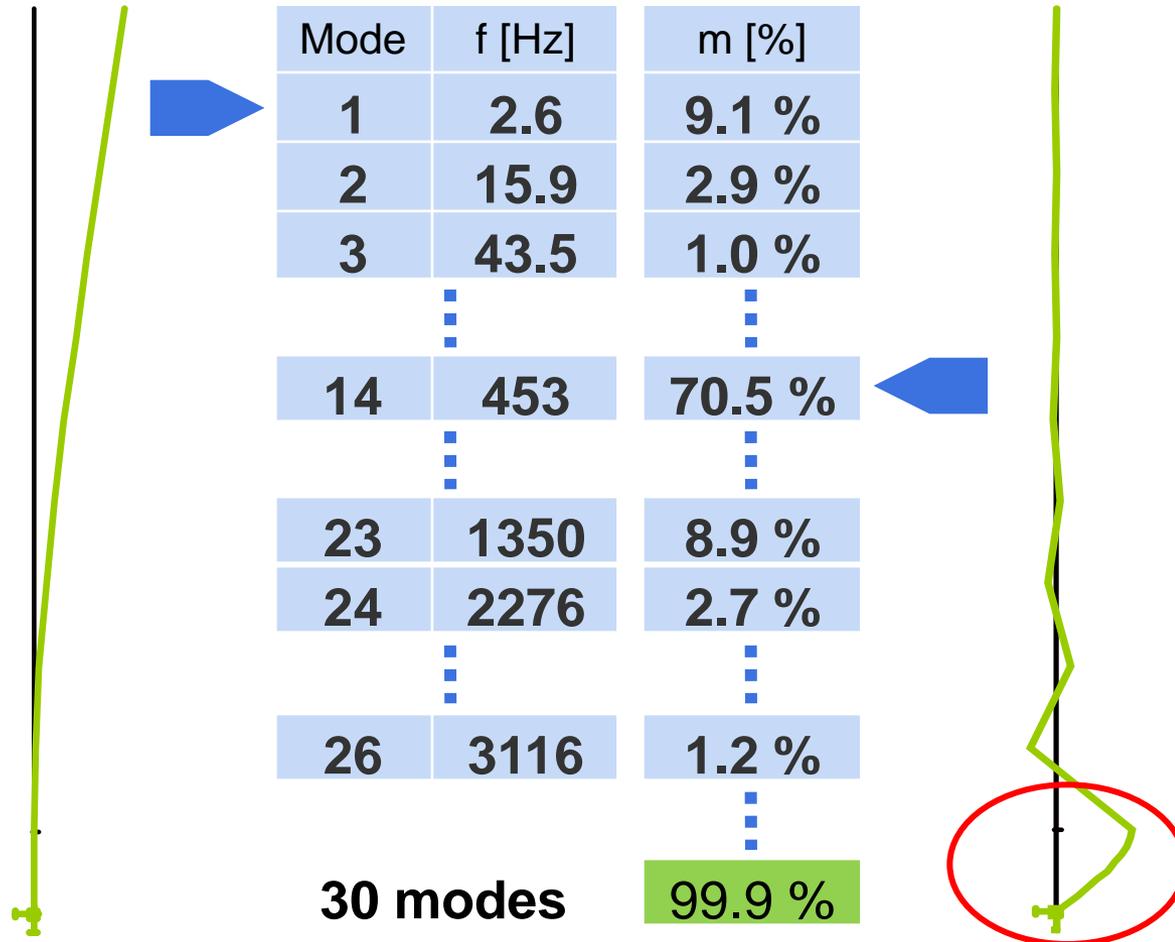
f [Hz]	m [%]
2.6	9.1 %
15.9	2.9 %
43.5	1.0 %

13.0 %



Masse Modale P 90% ?

Modèle 2 → hautes fréquences



Masse Modale P 90% ?

Résultats

- 2 exemples avec masses et masses modales complètement différentes
- Résultats pour la partie supérieure:
 - Déplacement en tête : identique
 - Efforts en pied (M et V) : identiques

Modèle 1
10 modes
19.8 mm



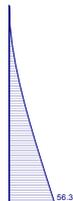
Modèle 2
10 modes
19.8 mm



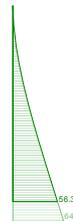
Modèle 2
30 modes
19.8 mm



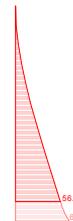
Modèle 1
10 modes
56.3 kNm



Modèle 2
10 modes
56.3 kNm



Modèle 2
30 modes
56.3 kNm



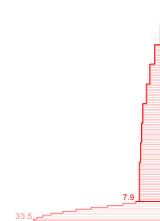
Modèle 1
10 modes
7.9 kN



Modèle 2
10 modes
7.9 kN



Modèle 2
30 modes
7.9 kN

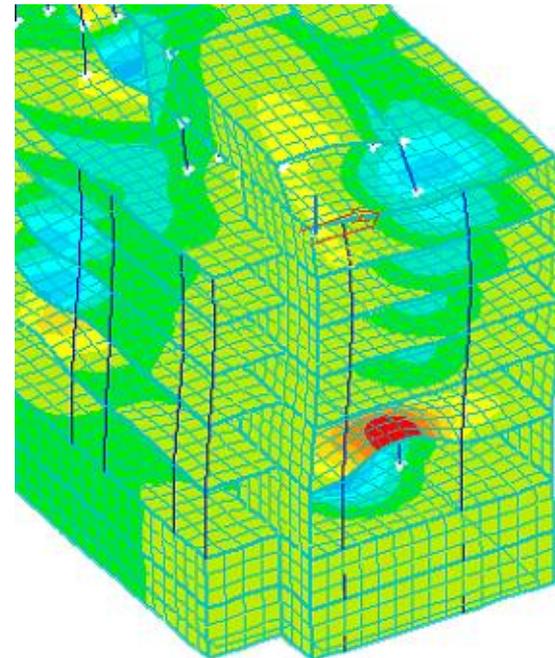


Masse Modale ρ 90% ?

Points clefs à garder en tête

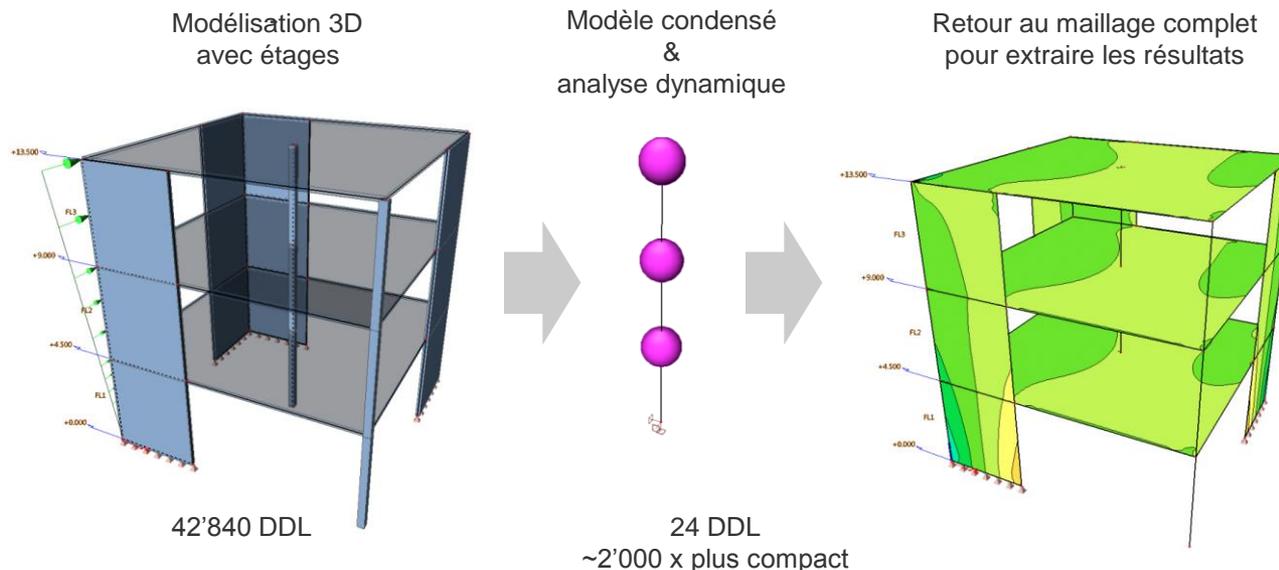
- **Attention aux masses immobilisées !**
 - éléments rigides
 - éléments proches des d'appuis (p.ex. radier sur sol élastique)

- **Complexité du modèle**
 - Répartition des masses
 - Modes locaux
 - Hautes fréquences



MODÈLE CONDENSÉ IRS POUR L'ANALYSE SISMIQUE

- Analyse modale rapide de grands modèles 3D
 - ➔ Techniques de condensation matricielle
 - ➔ Improved Reduced System (IRS) pour l'analyse dynamique
- IRS prend la matrice de masse en compte durant la condensation

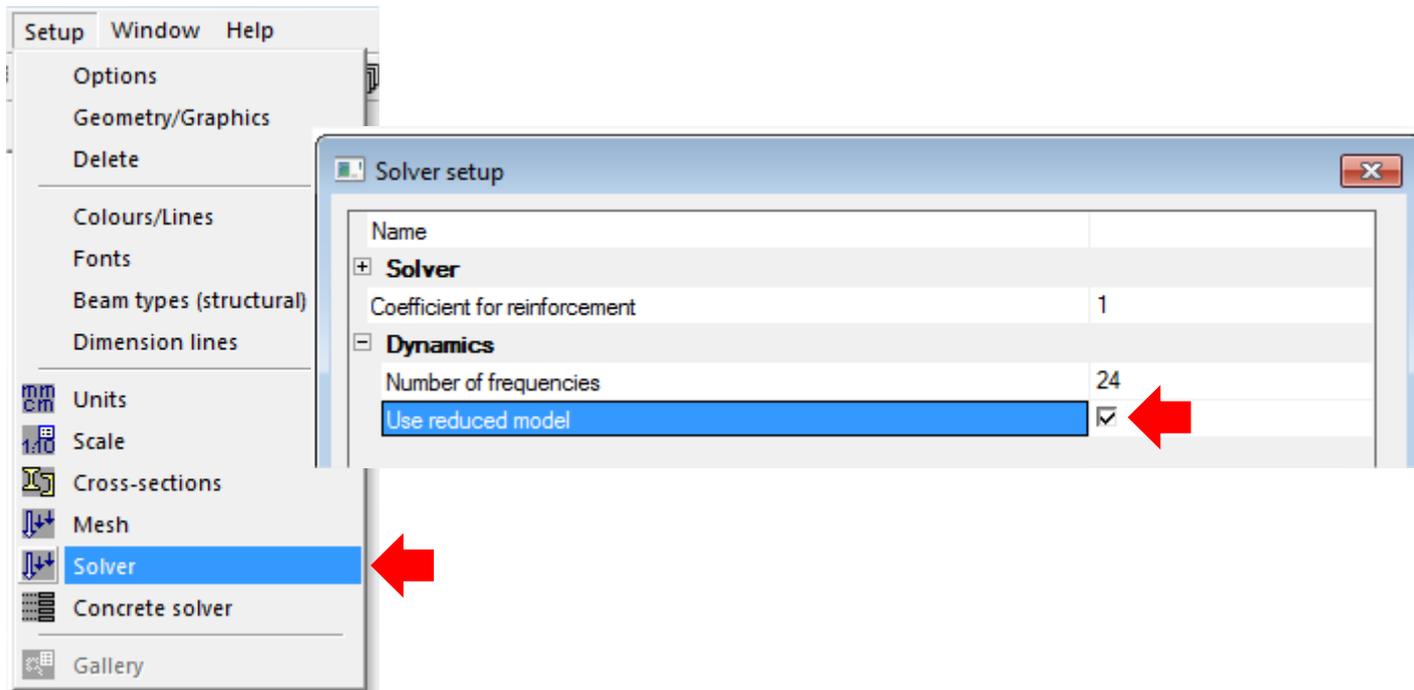


- **Modèle d'analyse compact**
 - typiquement 1'000 fois moins de DDL que le maillage d'origine
- **Élimination des modes locaux**
 - meilleure représentation du comportement d'ensemble
 - meilleure convergence de la masse modale (critère des 90%)
- **Matrice de masses dense**
 - un seul système pour plusieurs distributions de masses
 - possibilité d'excentrer les masses (développement futur)

Modèle condensé IRS

Définition du modèle

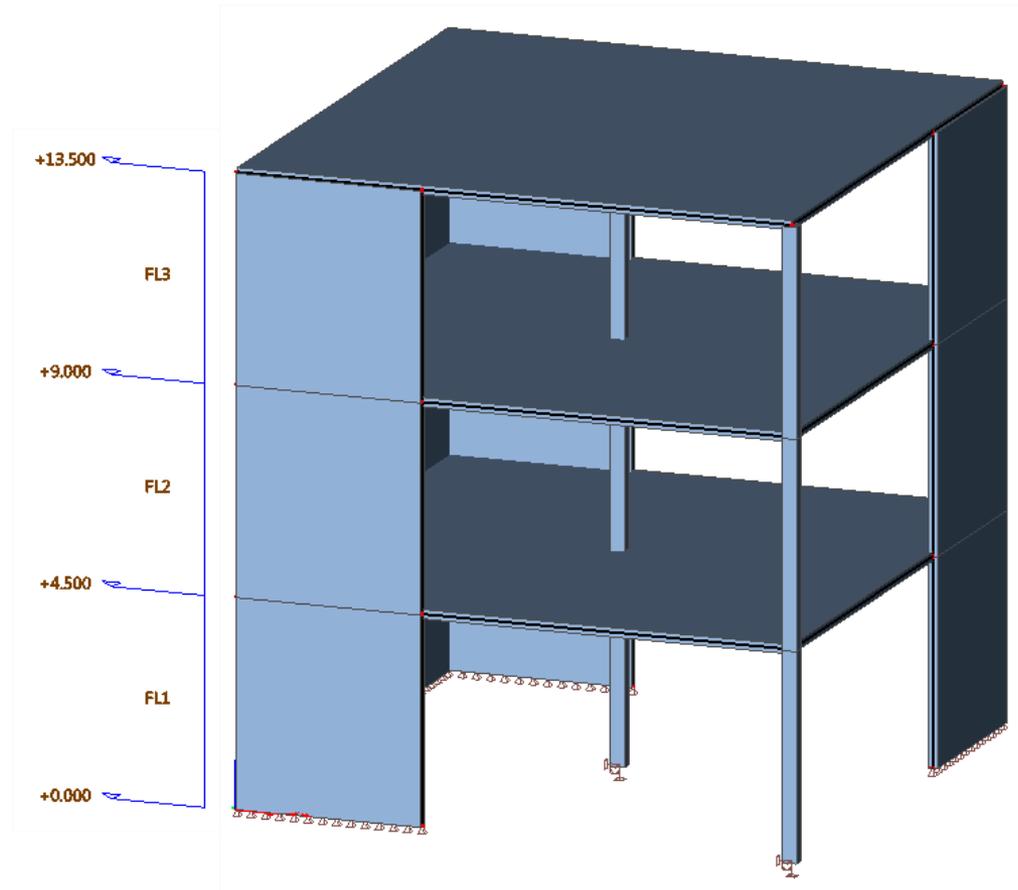
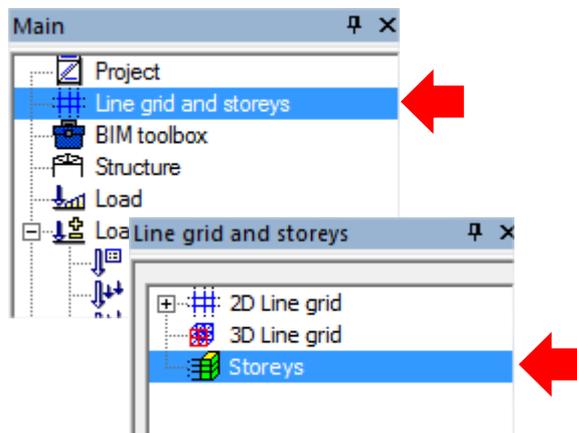
- Étape 1: activer le modèle condensé



Modèle condensé IRS

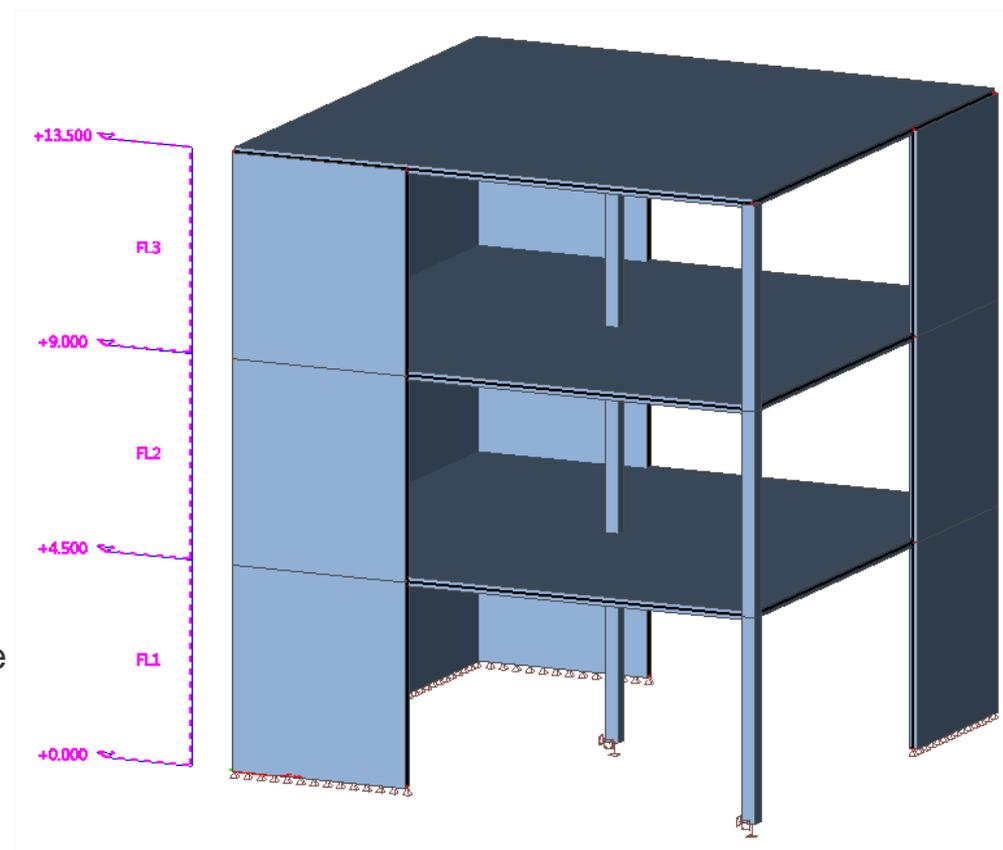
Définition du modèle

- Étape 2: définir les étages



- Étape 3 (optionnel): niveau des points de condensation

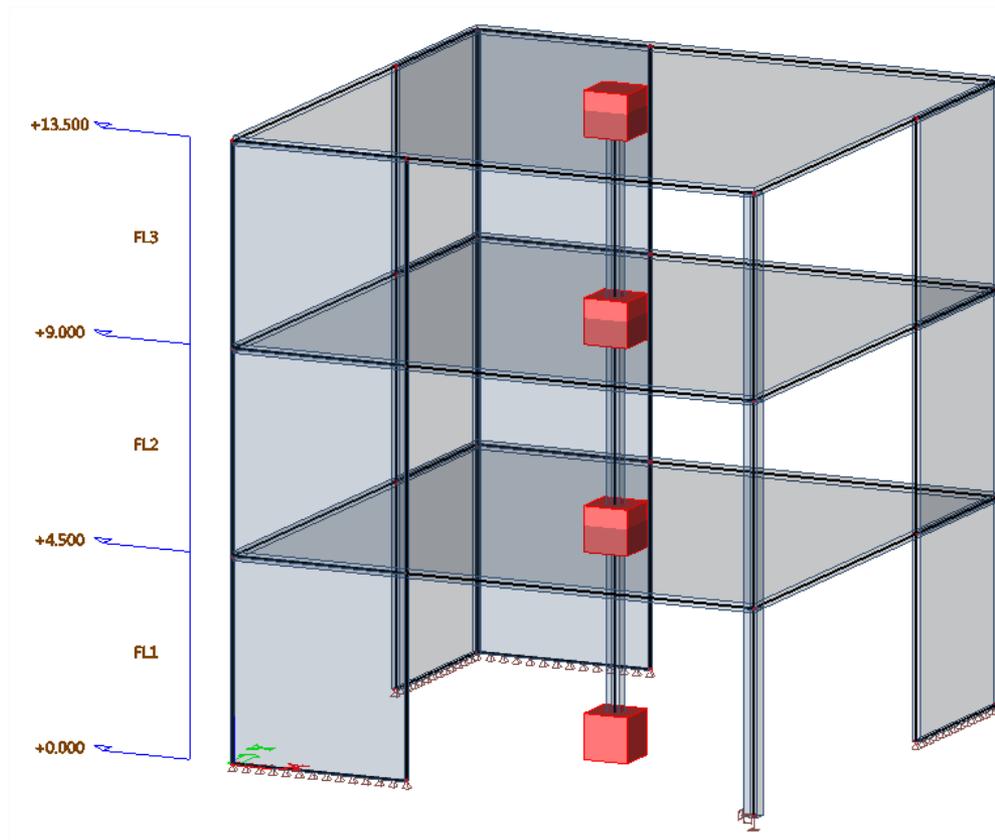
Properties	
Storey (4)	
Description	
Allocation type	All inside
Include members on top	<input type="checkbox"/> no
Include members on bottom	<input checked="" type="checkbox"/> yes
Current used activity	<input checked="" type="checkbox"/> yes
Level of reduction point	0.000



0.0 = bas de l'étage
1.0 = haut de l'étage

Par défaut, la dalle est considérée au pied de chaque étage;
il en est de même pour les points de condensation

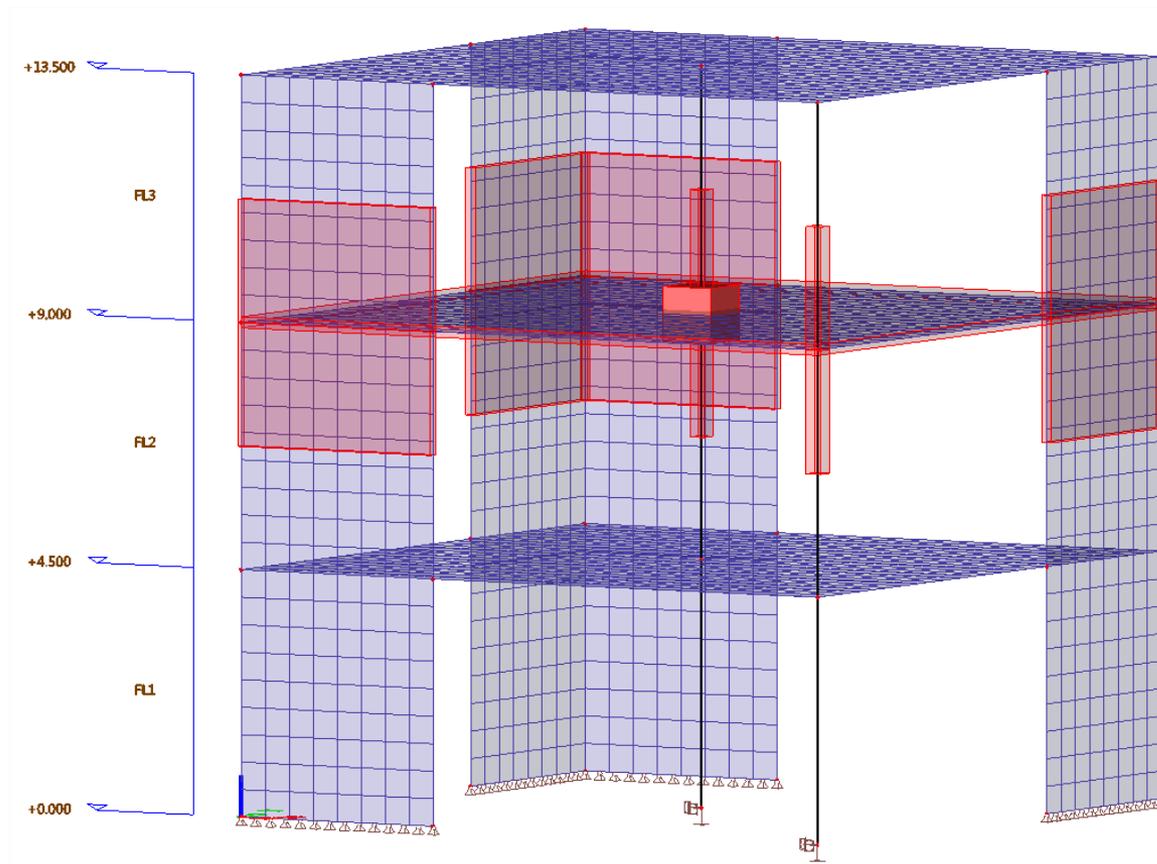
- C'est tout !



Les nœuds du modèle condensé sont générés en arrière-plan durant l'analyse. Ils ne sont pas affichés.

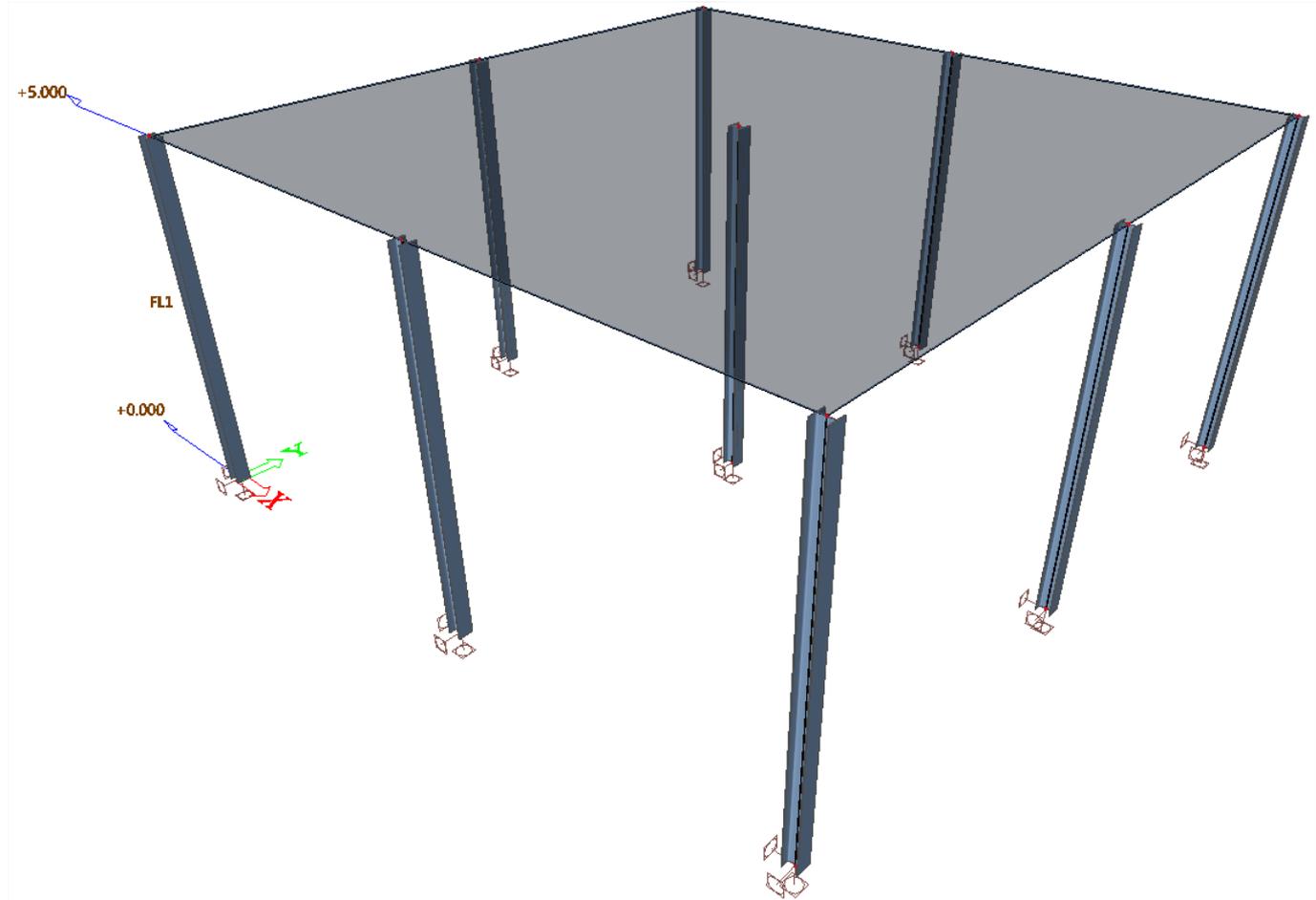
Les nœuds du modèle condensé n'ont pas à correspondre au centre de masse de chaque étage. Ils sont alignés sur une verticale au centre du bâtiment.

- Mappage des éléments finis au point de condensation le plus proche



Modèle condensé IRS

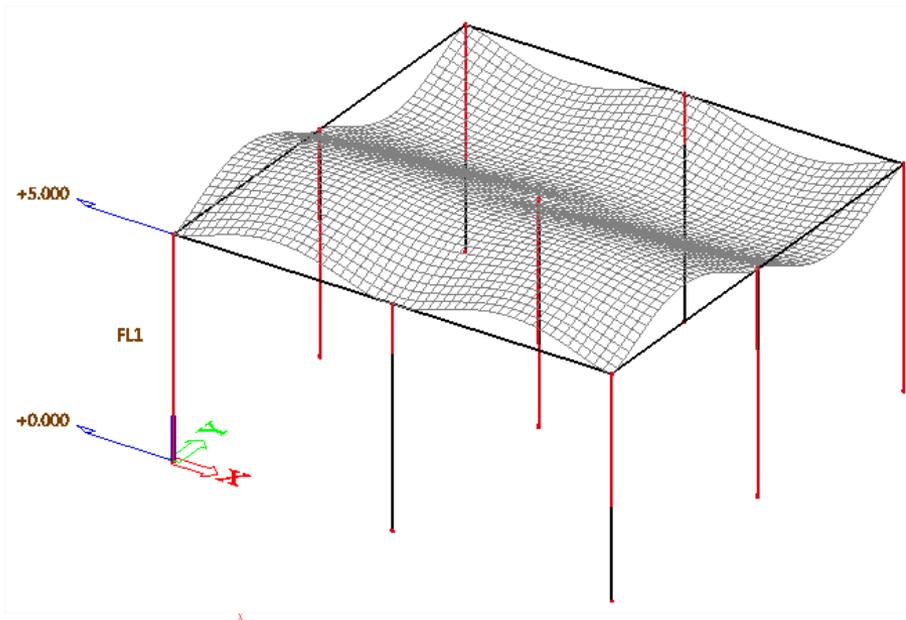
Comparaison : Modèle condensé vs Maillage complet



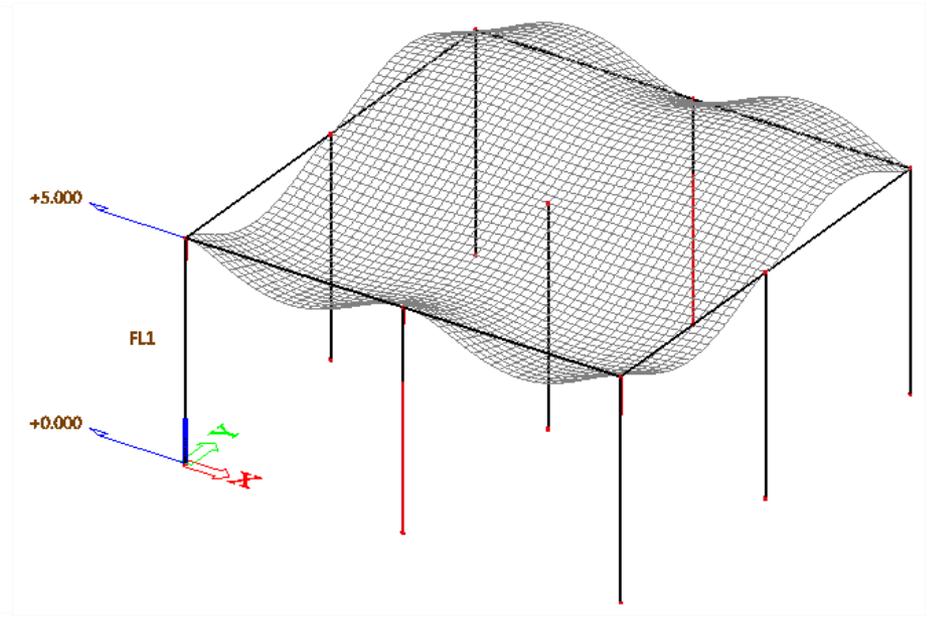
Modèle condensé IRS

Comparaison : modes propres

Complet – Mode 1 – 1.15 Hz



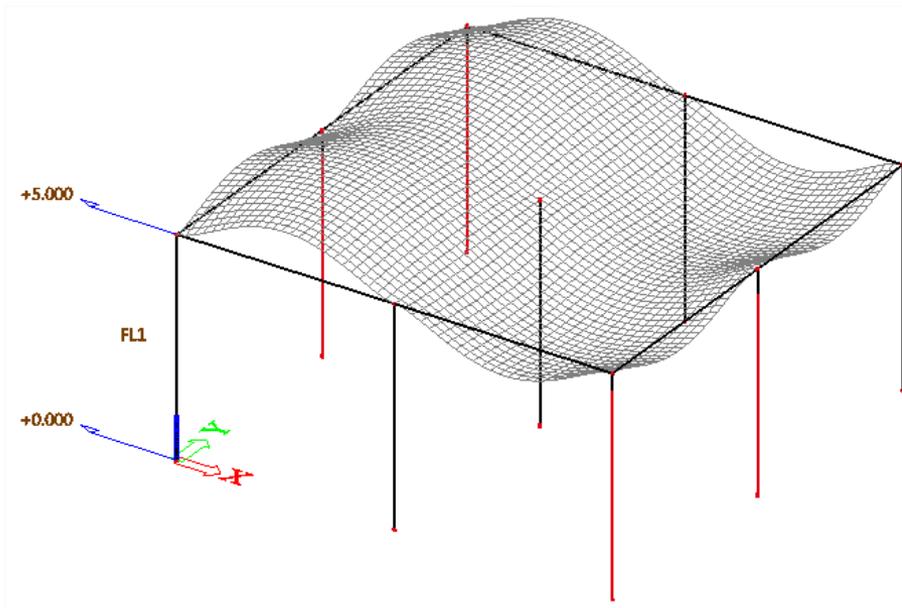
IRS – Mode 1 – 1.17 Hz



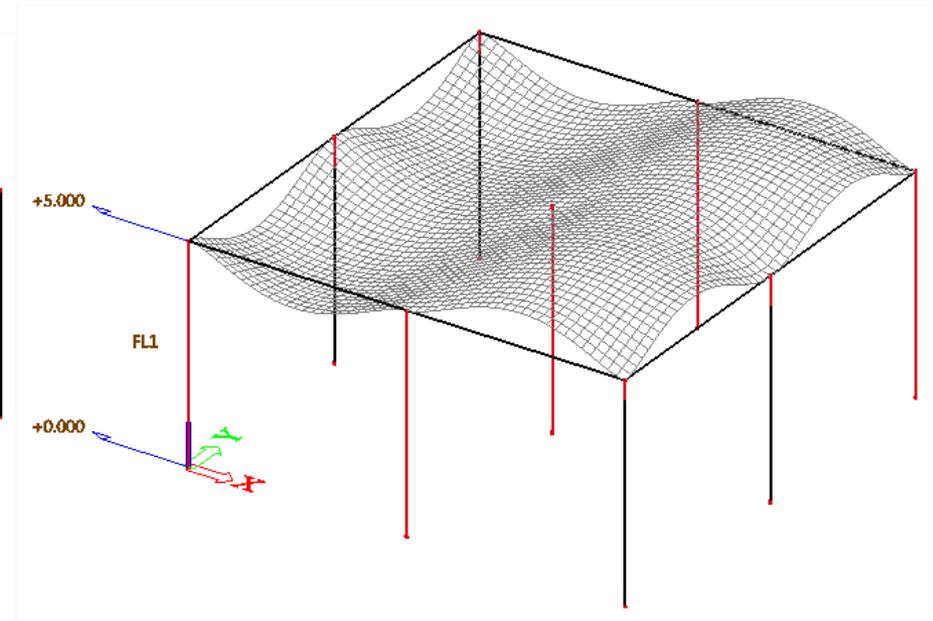
Modèle condensé IRS

Comparaison : modes propres

Complet – Mode 2 – 1.15 Hz



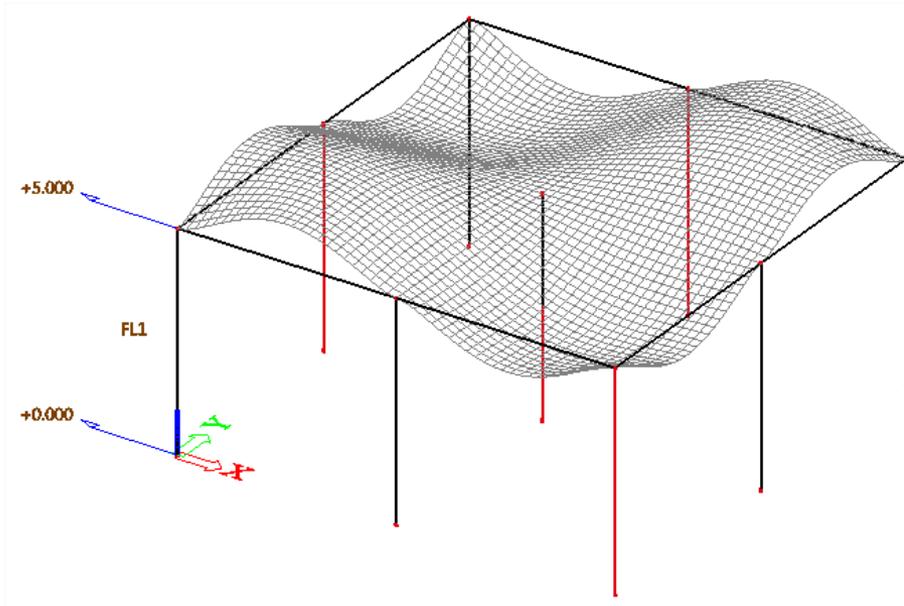
IRS – Mode 2 – 1.17 Hz



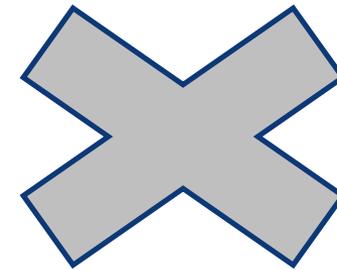
Modèle condensé IRS

Comparaison : modes propres

Complet – Mode 3 – 1.21 Hz



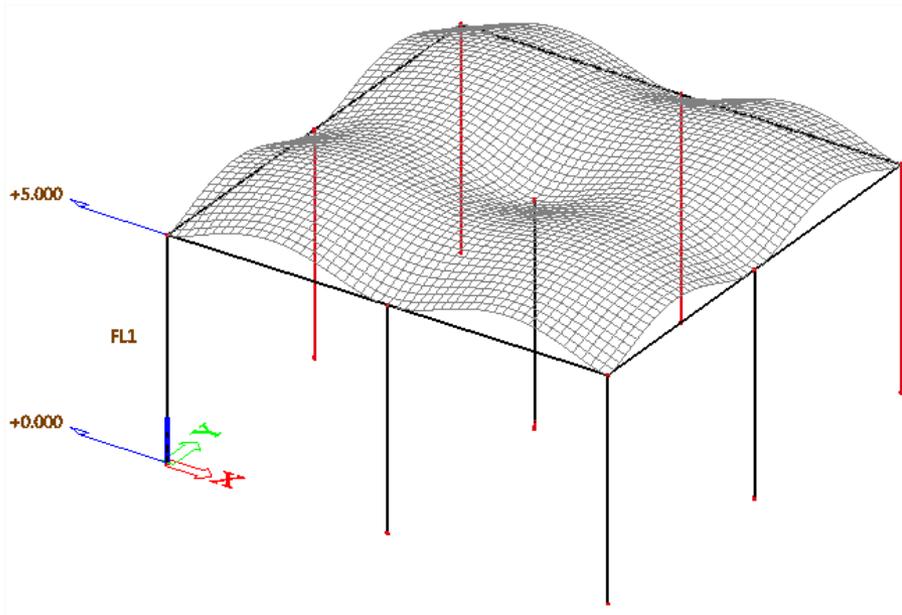
IRS



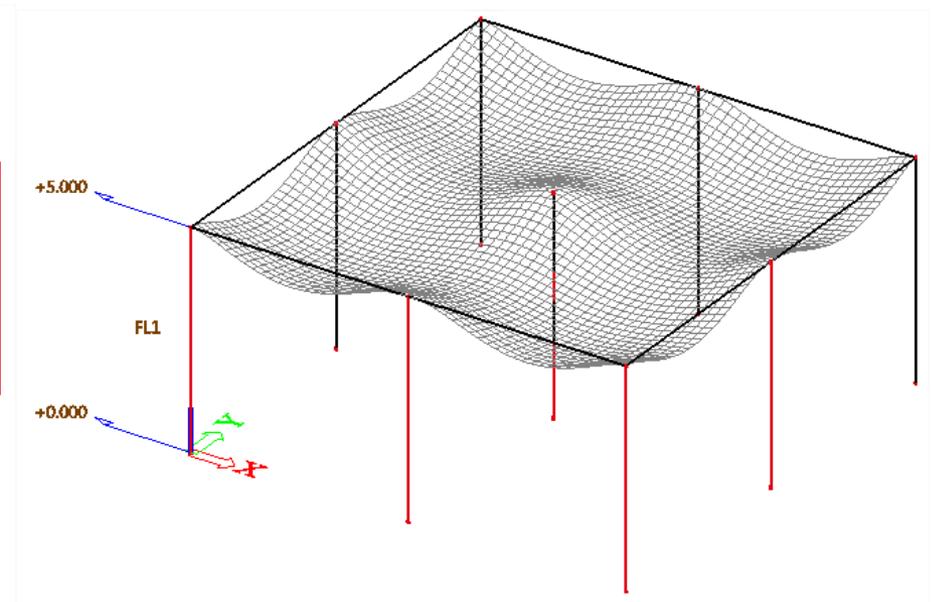
Modèle condensé IRS

Comparaison : modes propres

Complet – Mode 4 – 1.23 Hz



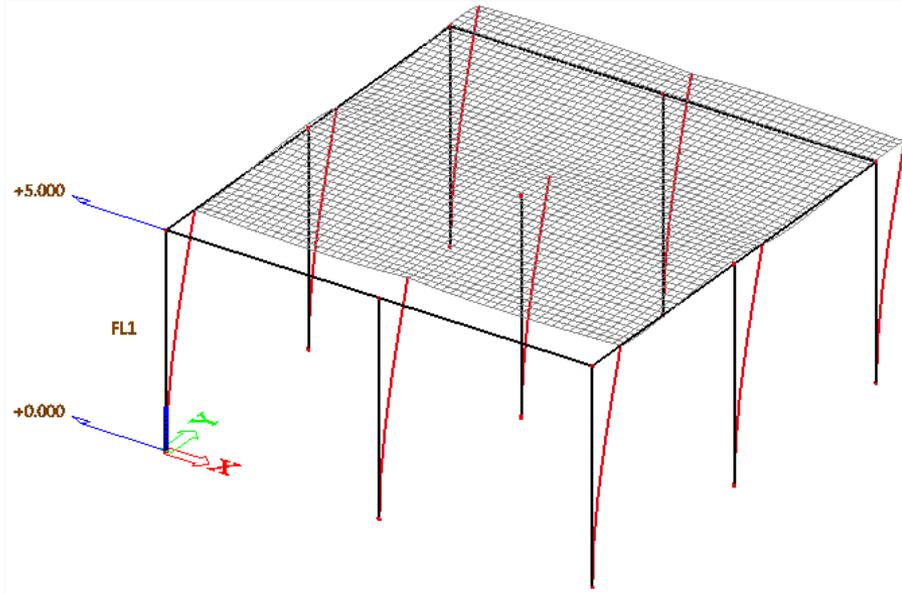
IRS – Mode 3 – 1.23 Hz



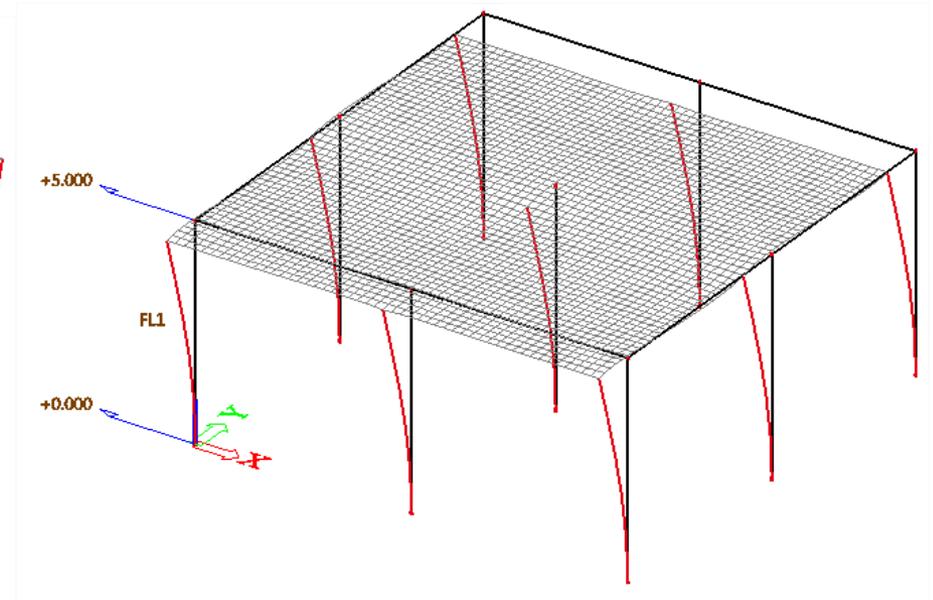
Modèle condensé IRS

Comparaison : modes propres

Complet – Mode 5 – 1.42 Hz



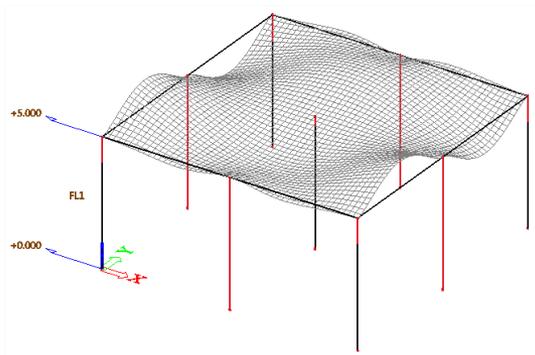
IRS – Mode 4 – 1.42 Hz



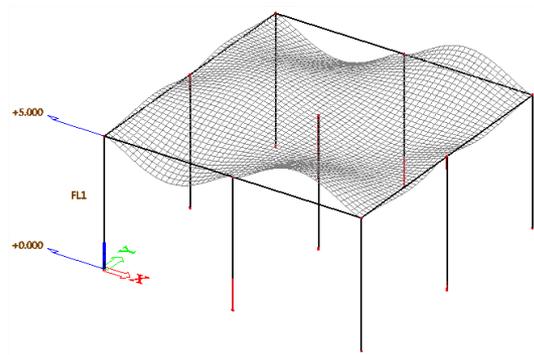
Modèle condensé IRS

Comparaison : modes propres

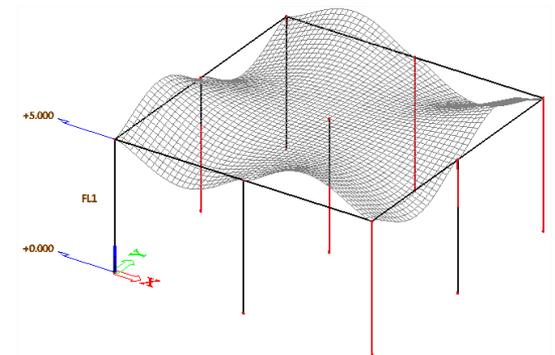
Complet – Mode 6 – 2.10 Hz



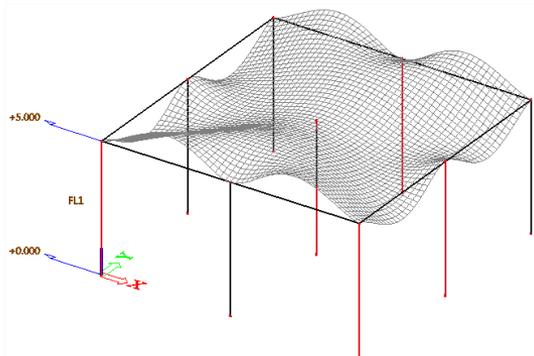
Complet – Mode 7 – 2.10 Hz



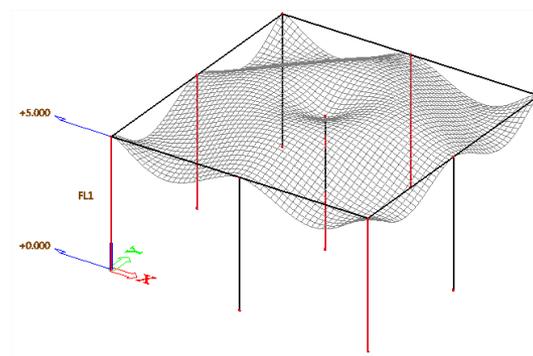
Complet – Mode 8 – 2.15 Hz



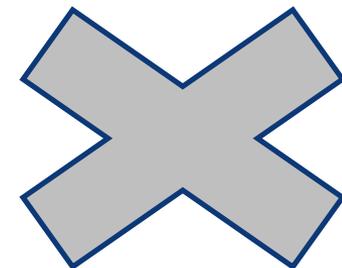
Complet – Mode 9 – 2.27 Hz



Complet – Mode 10 – 2.30 Hz



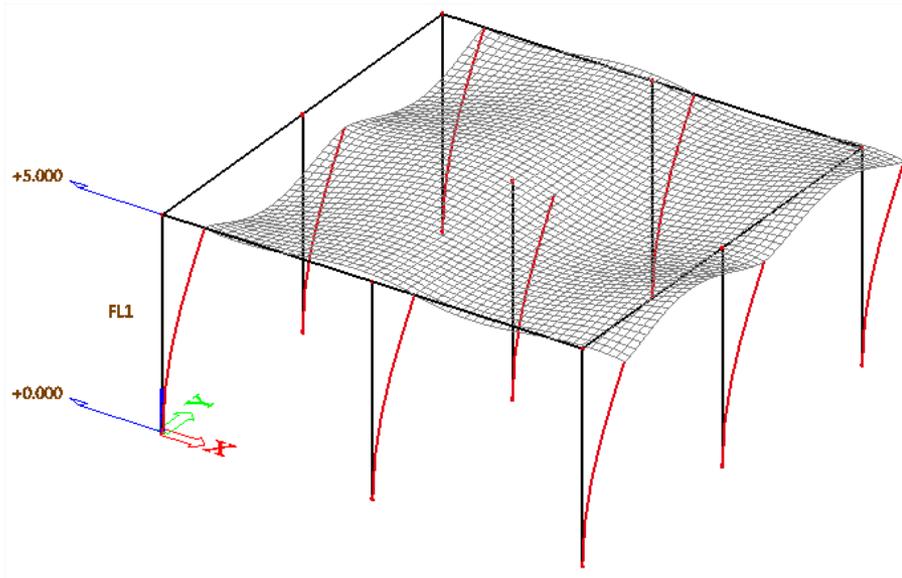
IRS



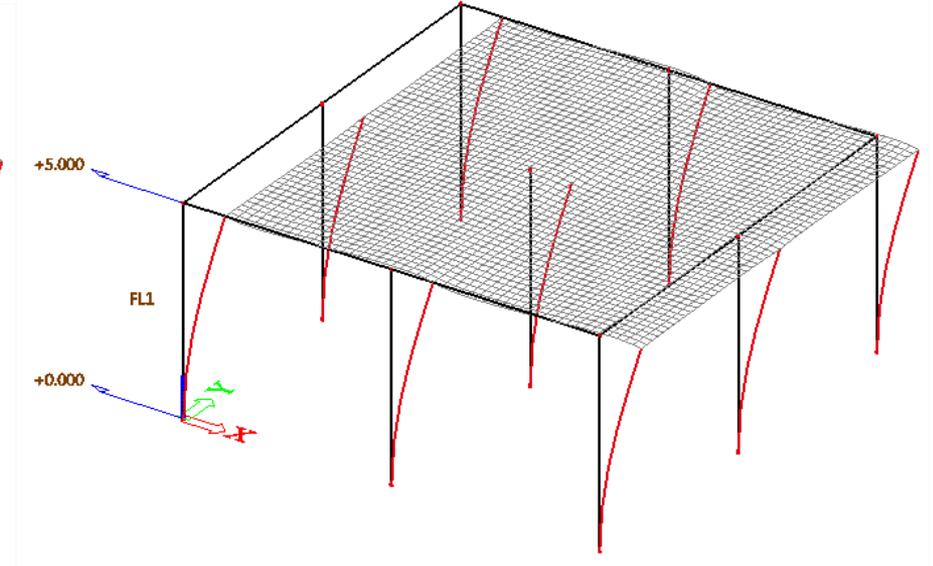
Modèle condensé IRS

Comparaison : modes propres

Complet – Mode 11 – 2.32 Hz



IRS – Mode 5 – 2.32 Hz



Analyse avec maillage complet

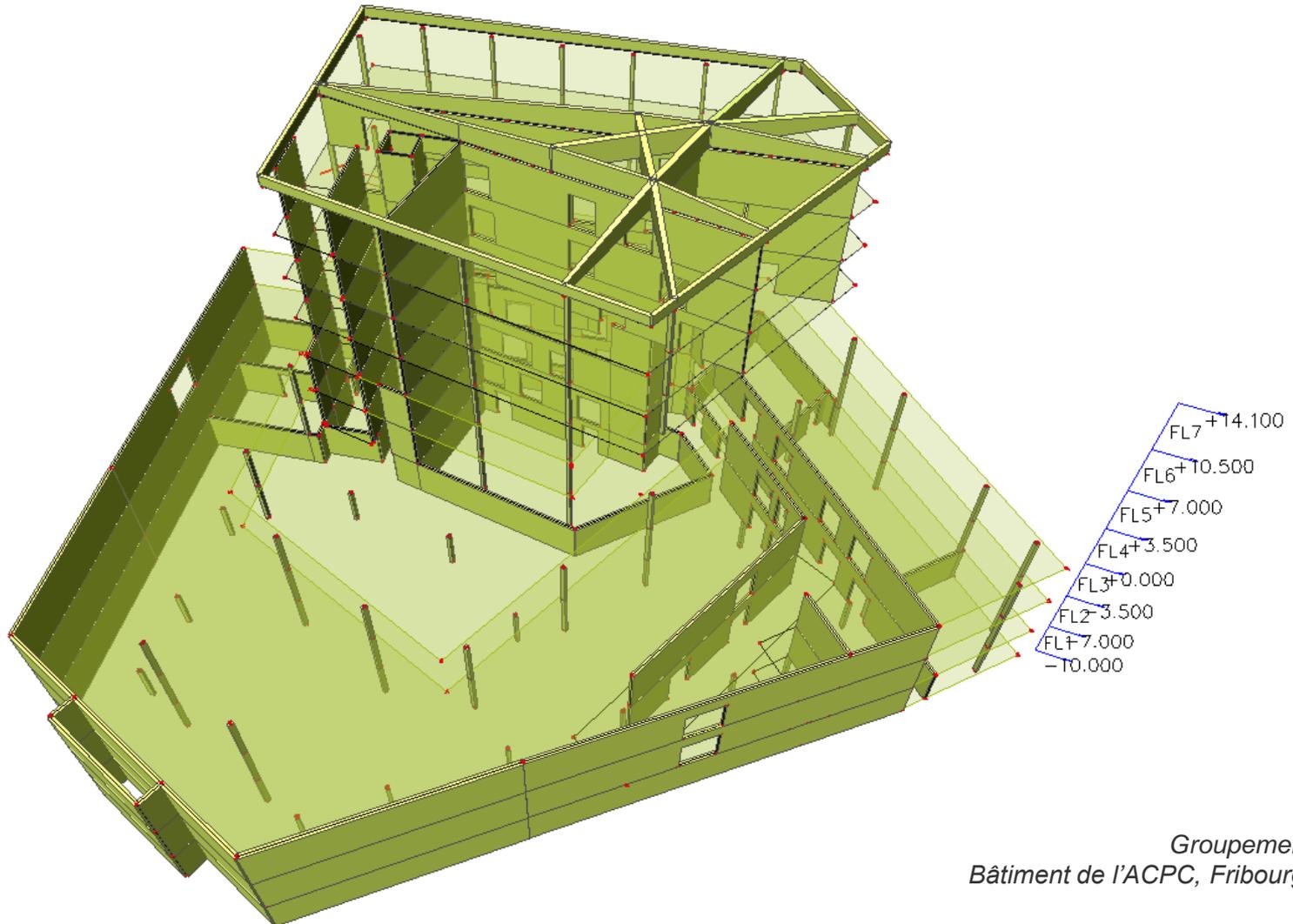
Mode	Freq. [Hz]	Wxi / Wxtot	Wyi / Wytot	Wzi / Wztot
1	1.15	0	0.0001	0
2	1.15	0	0	0
3	1.21	0	0	0
4	1.23	0	0	0.887
5	1.42	0	0.9981	0
6	2.10	0	0.0001	0
7	2.10	0.0004	0	0
8	2.15	0	0	0
9	2.27	0	0	0
10	2.30	0	0	0.0001
11	2.32	0.9644	0	0
12	2.47	0	0.0011	0
		0.9648	0.9994	0.8871

Analyse IRS (modèle condensé)

Mode	Freq. [Hz]	Wxi / Wxtot	Wyi / Wytot	Wzi / Wztot
1	1.17	0	0.0003	0
2	1.17	0	0	0
3	1.23	0	0	0.8934
4	1.42	0	0.9987	0
5	2.32	0.999	0	0
6	2.71	0	0	0
7	130.72	0	0.001	0
8	205.43	0.001	0	0
9	248.14	0	0	0
10	413.53	0	0	0.1066
11	711.66	0	0	0
12	737.23	0	0	0
		1	1	1

Modèle condensé IRS

Bâtiment réel

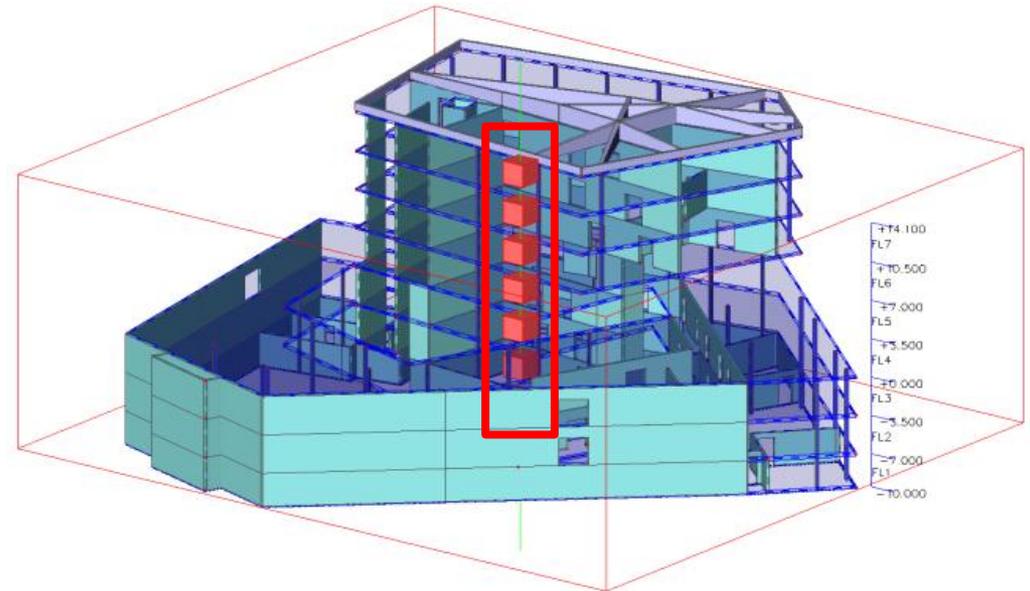
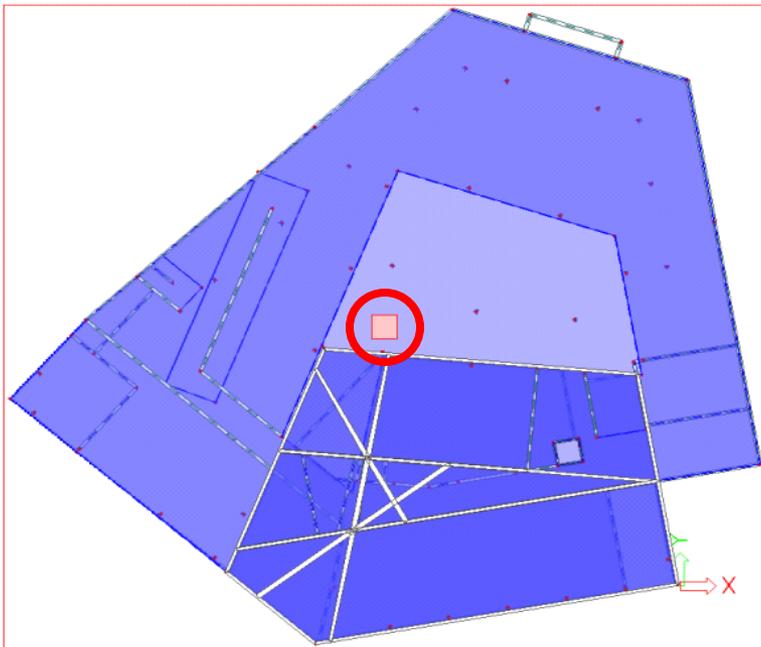


Groupement GIBES
Bâtiment de l'ACPC, Fribourg, Suisse

Modèle condensé IRS

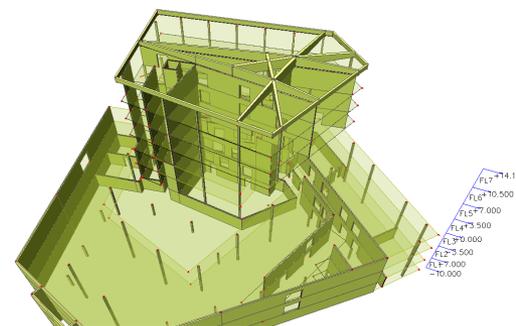
Bâtiment réel

- Point de réduction générés en arrière-plan
- Ne doivent pas correspondre au centre de masse des étages



Modèle condensé IRS

Bâtiment réel

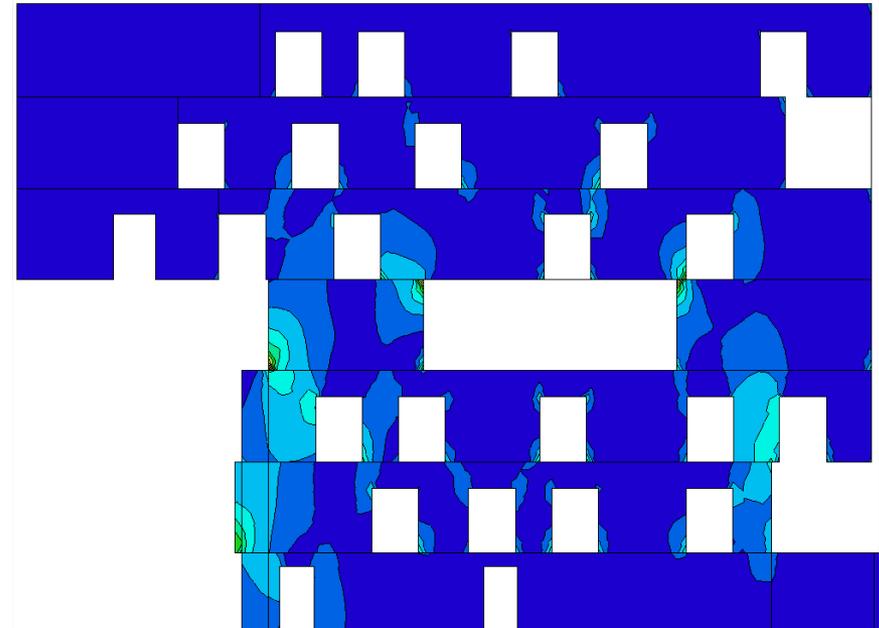
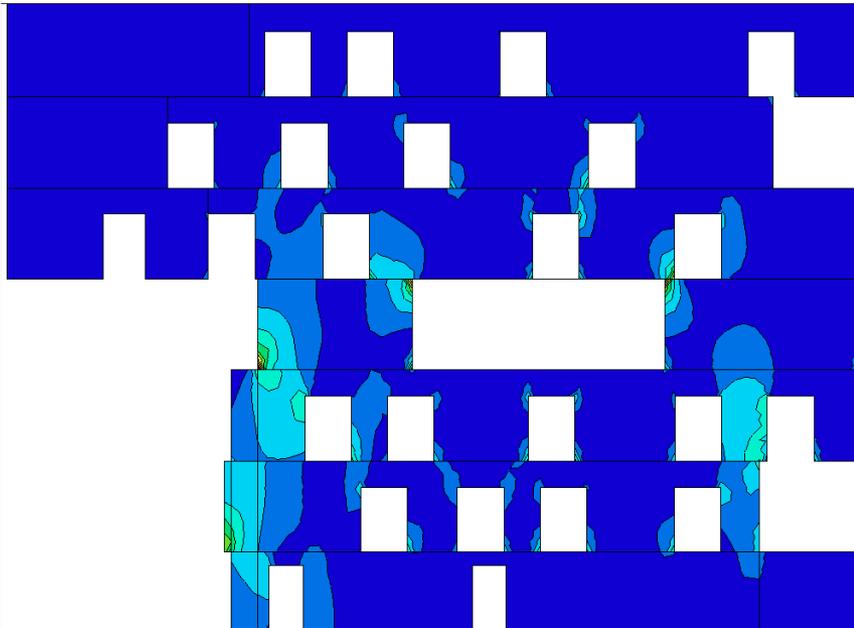


Données	Maillage complet		Modèle condensé
Taille du maillage	155'000 DDL		48 DDL
Modes demandés	320	48	48

Résultats	Maillage complet		Modèle condensé
Préparation	18''	18''	16''
Analyse modale	7'10''	35''	12''
Masse modale X	90%	63%	95%
Masse modale Y	94%	61%	96%
Masse modale Z	78%	50%	98%

Modèle condensé IRS

Bâtiment réel



	Complet	Condensé IRS
$n_{y,max}$ [kN/m]	2'362	2'416
Déviation		+2.2%

MASSE MODALE $\geq 90\%$?

TECHNIQUES COMPLÉMENTAIRES

Masse Modale ρ 90% ?

Techniques « paliatives » : Masse dans l'analyse

■ Masse participante seule

- Uniquement les masses dans les modes calculés

■ Masse manquante dans les modes

- Majoration des résultats obtenus avec les modes calculés
- p.ex. masse modale obtenue = 80% → amplification des résultats par $1 / 0.8 = 1.25$

■ Mode résiduel

- Hypothèse: les masses manquantes sont associées à des parties rigides de la structure et ne sont donc pas mises en vibration
- Par contre, ces masses subissent l'accélération du sol comme un corps rigide

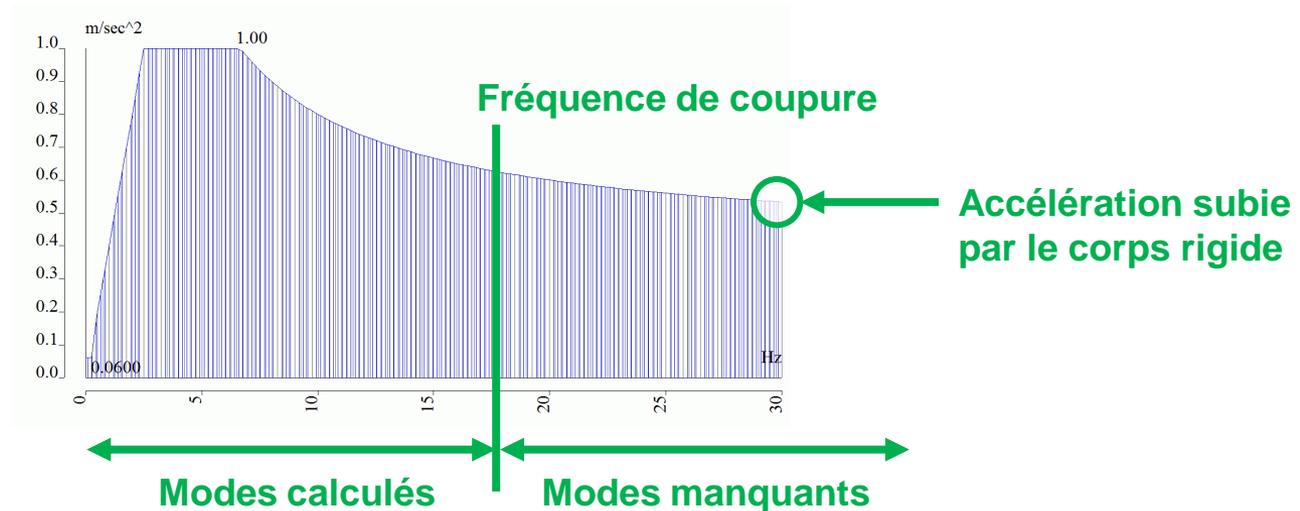
Masse dans l'analyse

Masse participante seule	<input checked="" type="radio"/>
Masse manquante dans les modes	<input type="radio"/>
Mode résiduel	<input type="radio"/>



■ Mode résiduel

- Hypothèse: les masses manquantes sont associées à des parties rigides de la structure et ne sont donc pas mises en vibration
- Par contre, ces masses subissent l'accélération du sol comme un corps rigide



Attention : Masse modale calculée minimum 70%

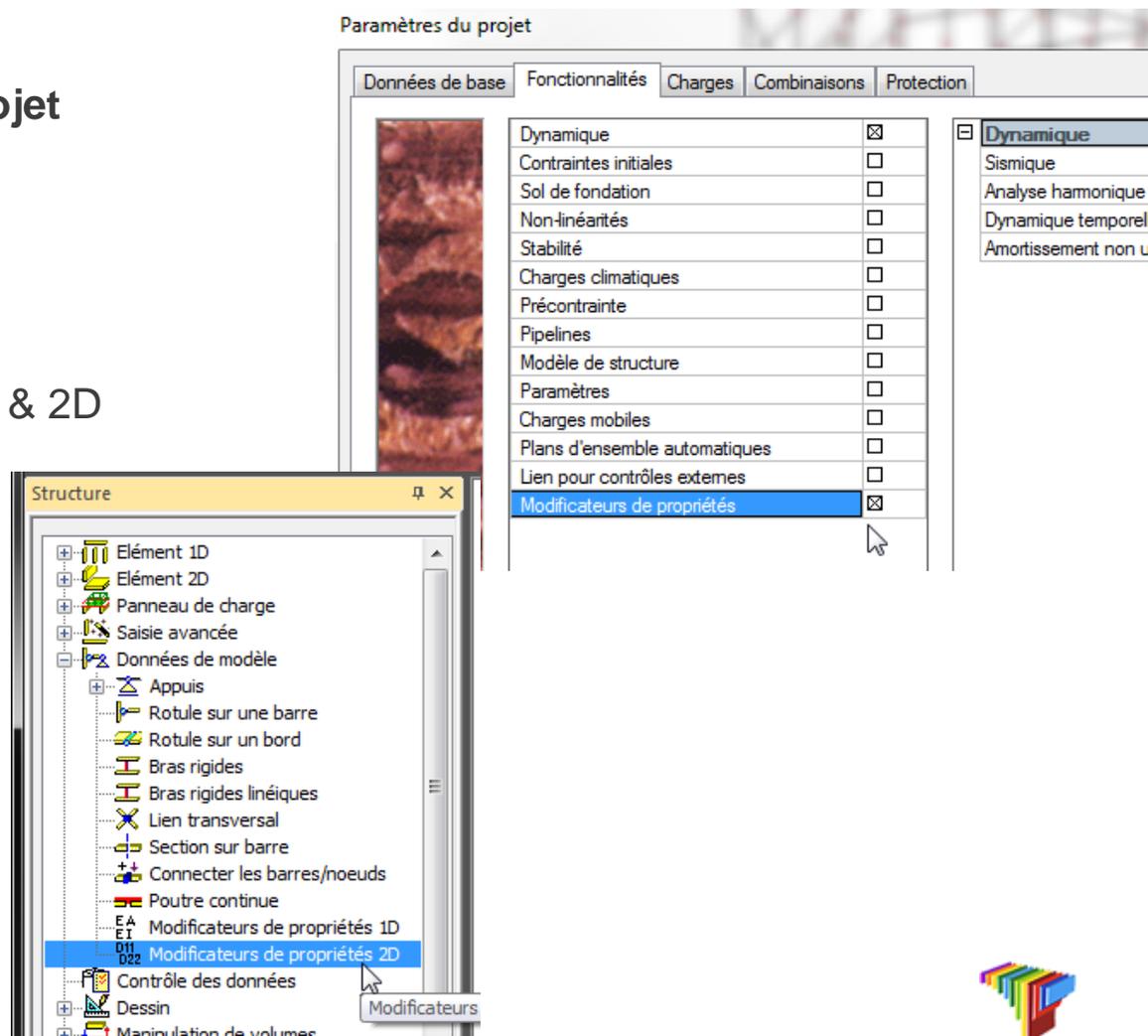


ALTÉRATION DES RIGIDITÉS & MASSES

Altération des rigidités & masses

Modificateurs de propriétés

- Dans les fonctionnalités de projet
 - Modificateurs de propriétés
- Dans le service « structure »
 - Modificateurs de propriétés 1D & 2D



The image shows two overlapping windows from a software application. The top window is titled 'Paramètres du projet' (Project Parameters) and has several tabs: 'Données de base', 'Fonctionnalités', 'Charges', 'Combinaisons', and 'Protection'. The 'Fonctionnalités' tab is active, displaying a list of features with checkboxes. The 'Modificateurs de propriétés' (Property Modifiers) option is checked and highlighted in blue. The bottom window is titled 'Structure' and shows a tree view of the project's structure. The 'Modificateurs de propriétés 2D' (2D Property Modifiers) option is highlighted in blue. A mouse cursor is pointing at the 'Modificateurs' label at the bottom of the tree view.

Paramètre	État
Dynamique	<input checked="" type="checkbox"/>
Contraintes initiales	<input type="checkbox"/>
Sol de fondation	<input type="checkbox"/>
Non-linéarités	<input type="checkbox"/>
Stabilité	<input type="checkbox"/>
Charges climatiques	<input type="checkbox"/>
Précontrainte	<input type="checkbox"/>
Pipelines	<input type="checkbox"/>
Modèle de structure	<input type="checkbox"/>
Paramètres	<input type="checkbox"/>
Charges mobiles	<input type="checkbox"/>
Plans d'ensemble automatiques	<input type="checkbox"/>
Lien pour contrôles externes	<input type="checkbox"/>
Modificateurs de propriétés	<input checked="" type="checkbox"/>

Structure

- Elément 1D
- Elément 2D
- Panneau de charge
- Saisie avancée
- Données de modèle
 - Appuis
 - Rotule sur une barre
 - Rotule sur un bord
 - Bras rigides
 - Bras rigides linéiques
 - Lien transversal
 - Section sur barre
 - Connecter les barres/noeuds
 - Poutre continue
 - EA
 - EI
 - D11
 - D22
 - Modificateurs de propriétés 1D
 - Modificateurs de propriétés 2D
 - Contrôle des données
- Dessin
- Manipulation de volumes

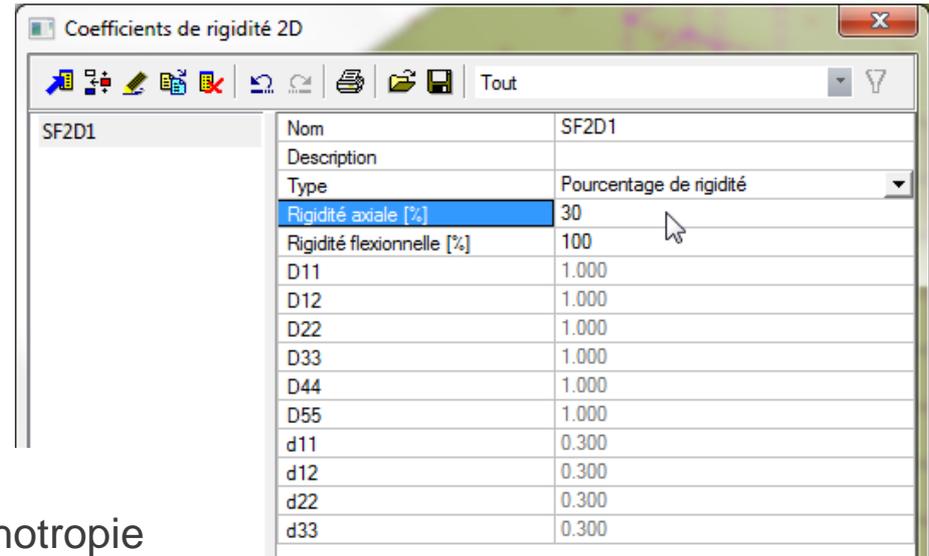


Altération des rigidités & masses

Modificateurs de propriétés

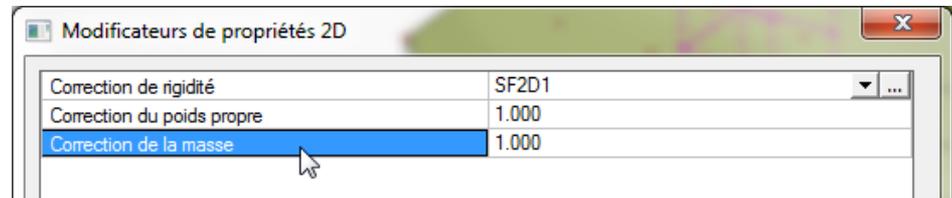
■ Altération des rigidités

- Pour les barres (éléments 1D)
 - Coefficients de correction de rigidité des 6 composantes usuelles
- Pour les plaques, voiles et coques (éléments 2D)
 - Coefficients de correction de rigidité des composantes de la matrice d'orthotropie
 - Modèles simplifiés disponibles (cf ci-contre)



Nom	SF2D1
Description	
Type	Pourcentage de rigidité
Rigidité axiale [%]	30
Rigidité flexionnelle [%]	100
D11	1.000
D12	1.000
D22	1.000
D33	1.000
D44	1.000
D55	1.000
d11	0.300
d12	0.300
d22	0.300
d33	0.300

■ Altération séparée des poids et masses



Modificateur	SF2D1
Correction de rigidité	1.000
Correction du poids propre	1.000
Correction de la masse	1.000

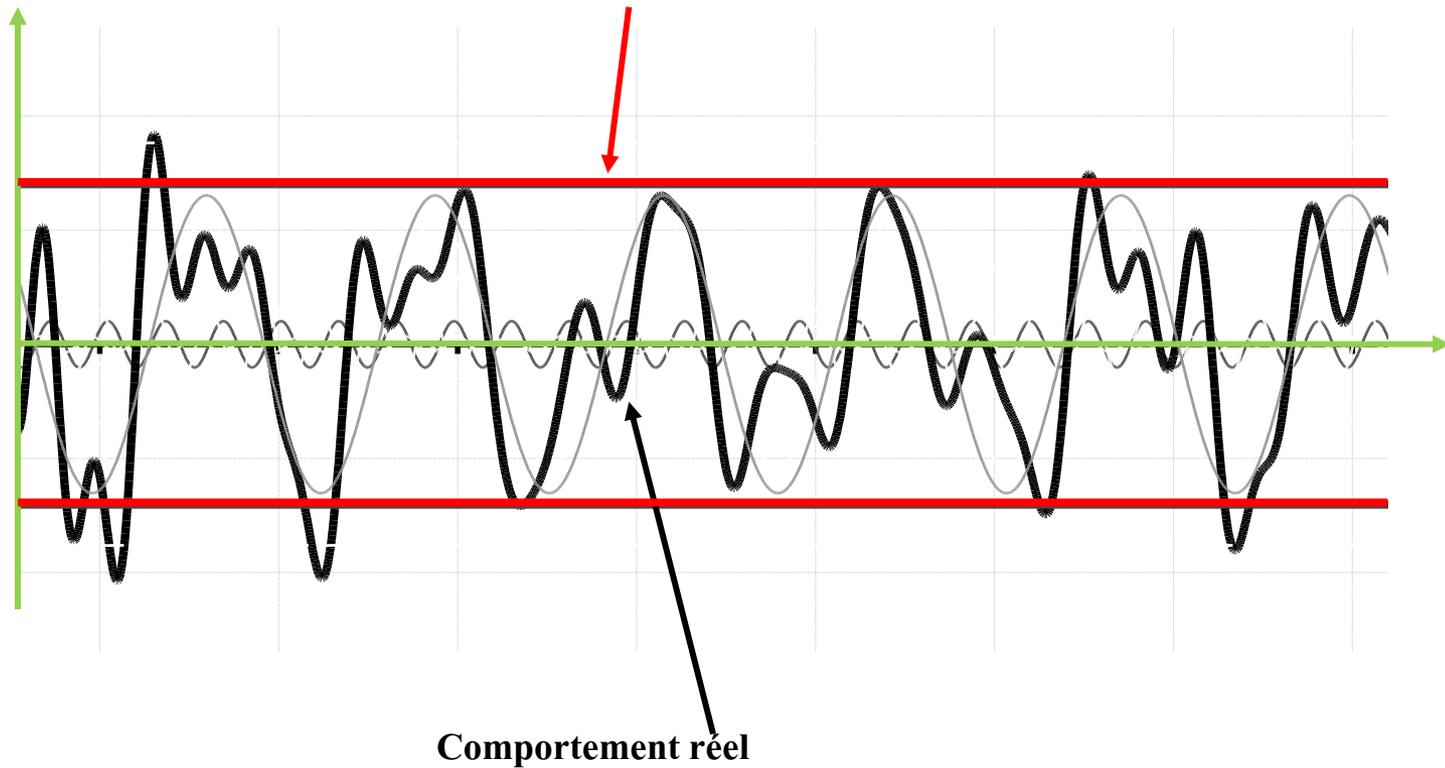
MÉTHODE DU SPECTRE DE RÉPONSE:

CONCOMITANCE & SIGNATURE

Méthode du spectre de réponse

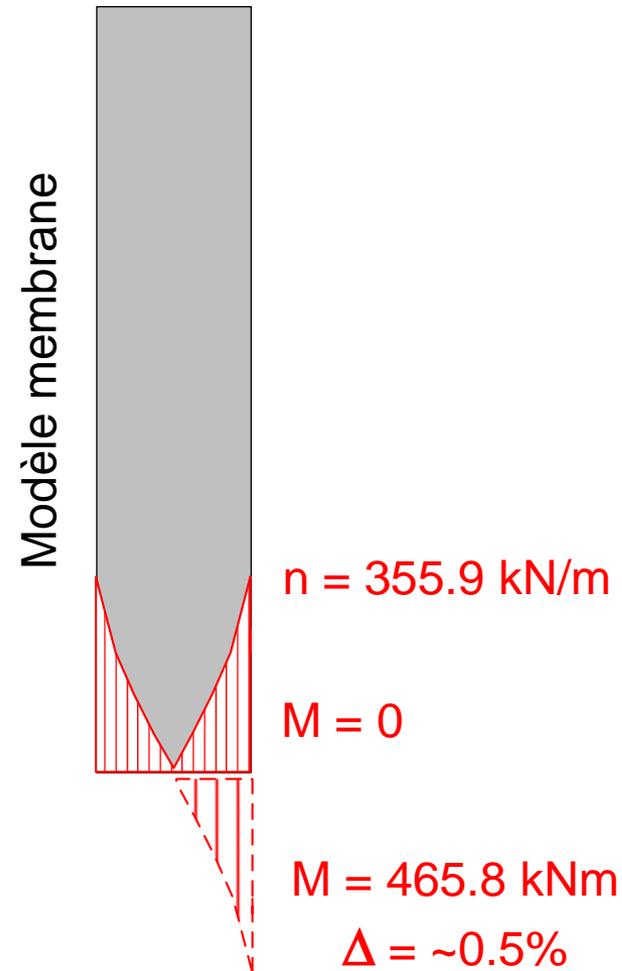
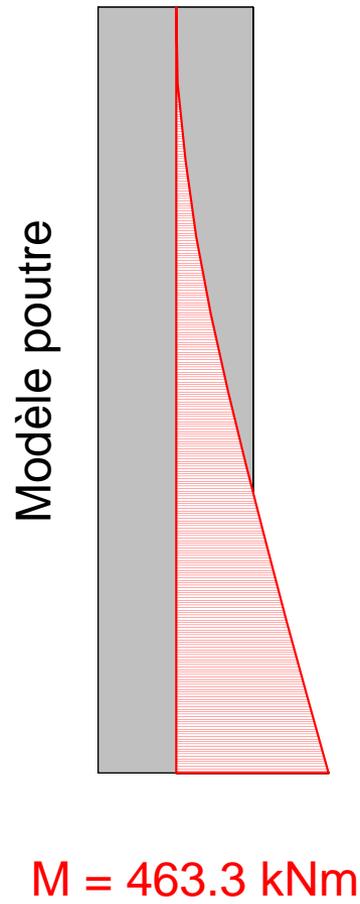
Concomitance & Signature

SRSS – Méthode du spectre de réponse



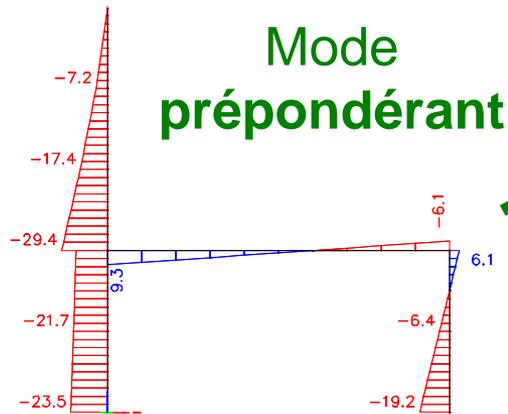
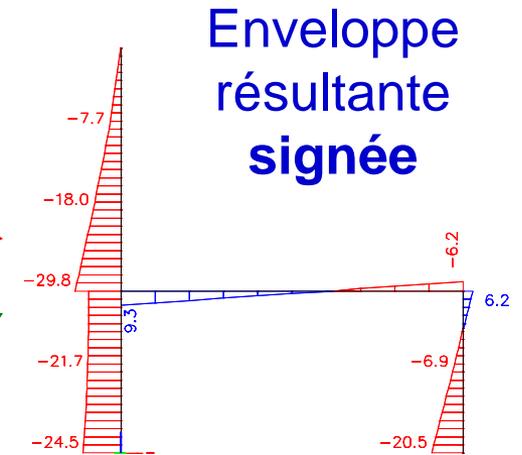
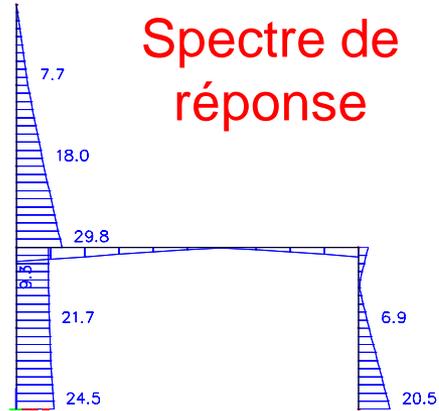
Méthode du spectre de réponse

Efforts résultants dans un voile



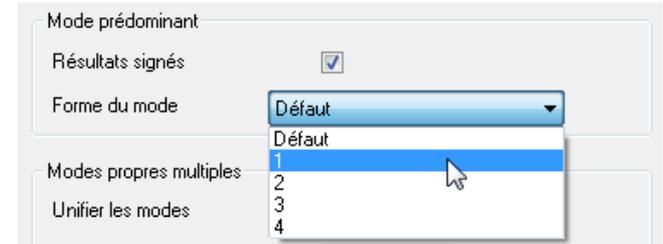
Méthode du spectre de réponse

Signature des résultats



amplitude

signe



➔ 1 mode prépondérant

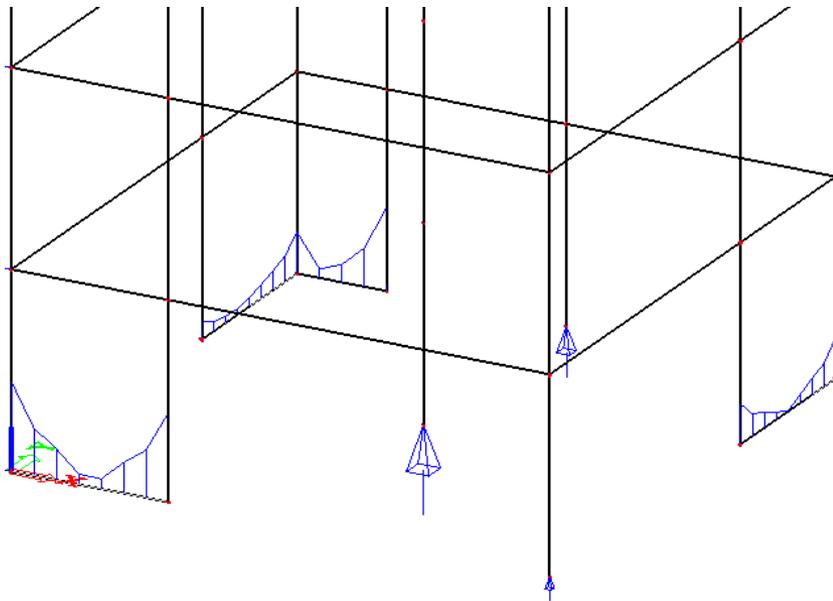
➔ Même mode pour toute la structure ?



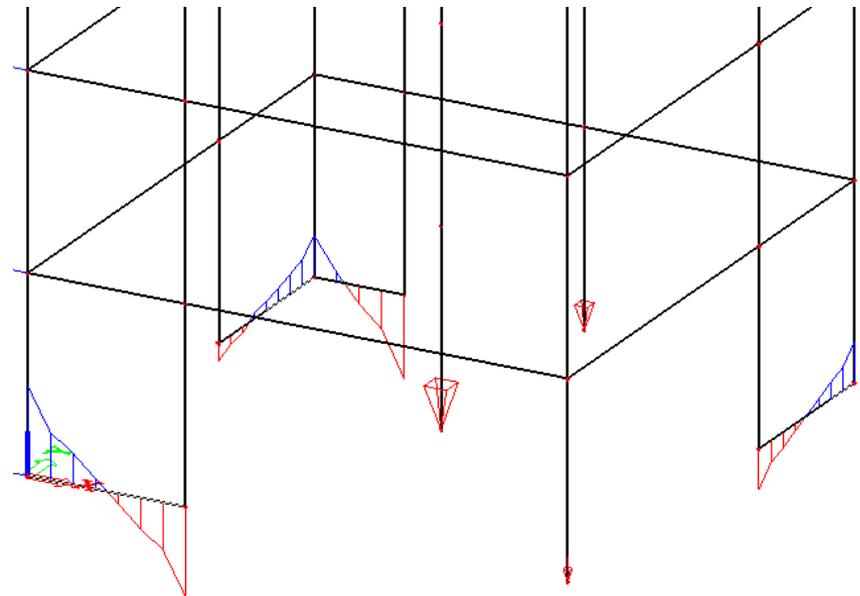
Méthode du spectre de réponse

Signature des résultats

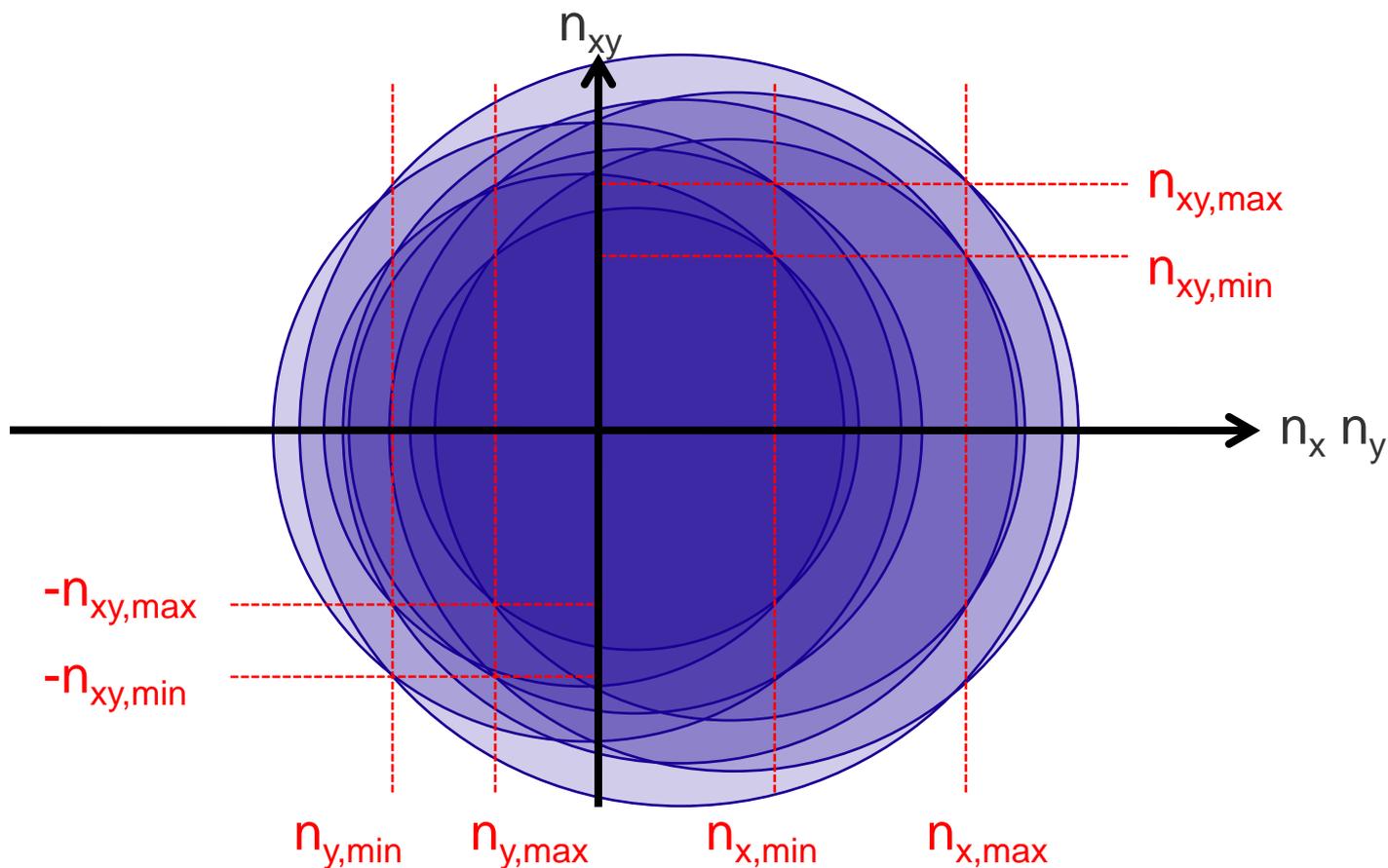
Résultats non signés



Résultats signés



Cas général – Éléments finis de voile – Exemple



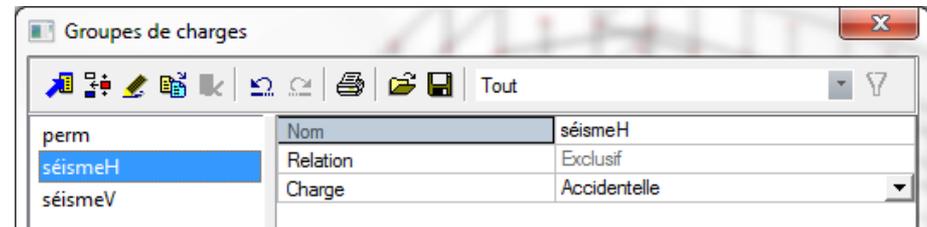
CAS DE CHARGES & COMBINAISONS SISMIQUES

Combinaisons de charges sismiques

Cas de charges & groupes de charges

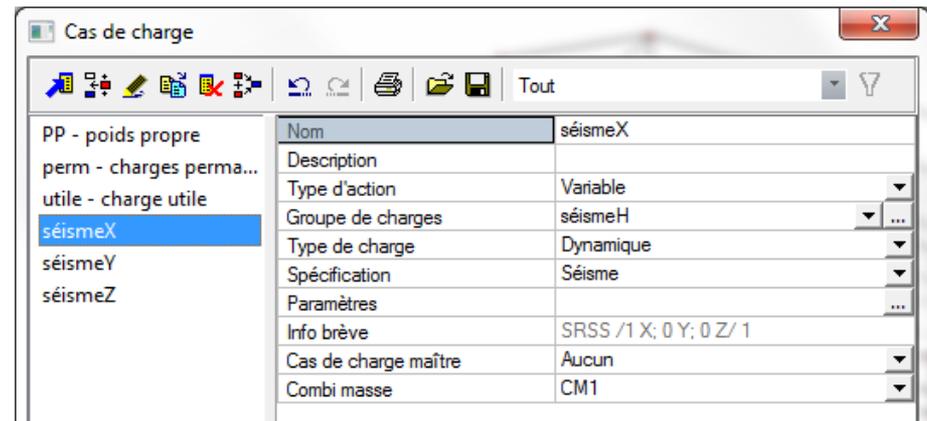
- **Groupes de charges**

- 2 groupes sismiques accidentels
« horizontal » et « vertical »



- **Cas de charge sismiques**

- X & Y dans le groupe « horizontal »
- Z dans le groupe « vertical »



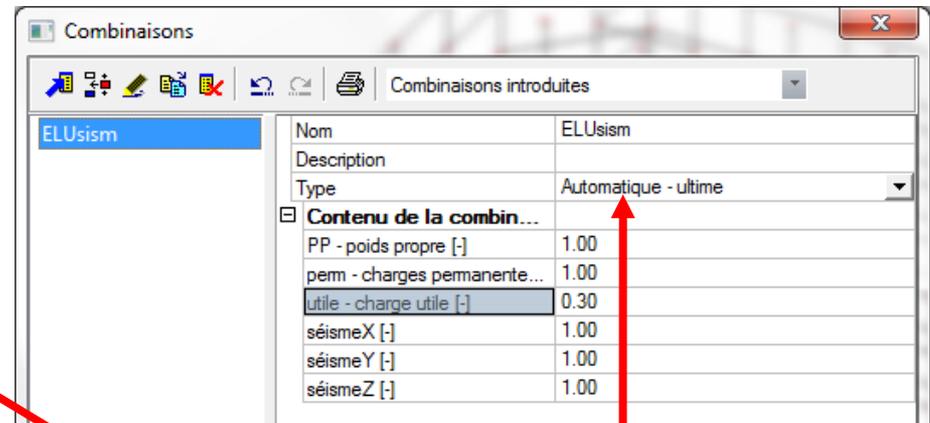
- **Cas de charges statiques**

- déclarés comme « permanent »

- 1 seule combinaison suffit

- Type « automatique »

1. $Stat$
2. $Stat + SX$
3. $Stat - SX$
4. $Stat + SY$
5. $Stat - SY$
6. $Stat + SZ$
7. $Stat - SZ$
8. $Stat + SX + SZ$
9. $Stat + SX - SZ$
10. $Stat - SX + SZ$
11. $Stat - SX - SZ$
12. $Stat + SY + SZ$
13. $Stat + SY - SZ$
14. $Stat - SY + SZ$
15. $Stat - SY - SZ$



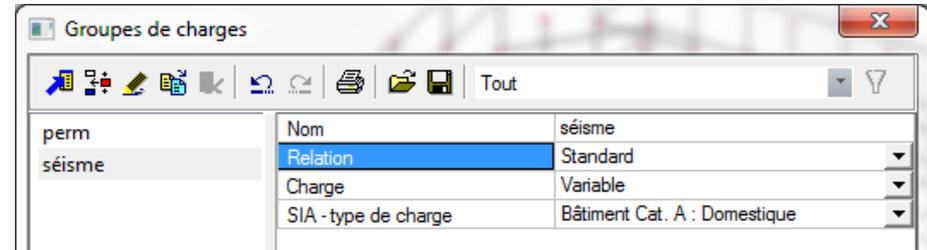
Alternance des signes par
composantes séparées



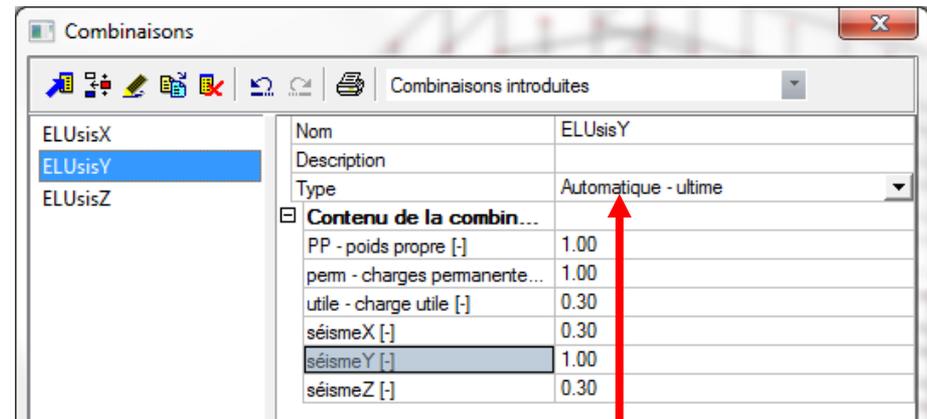
Combinaisons de charges sismiques

Combinaisons de Newmark (variante Eurocode)

- 1 seul groupe de charge sismique
 - relation « standard »
 - tous les CC sismiques dans ce groupe



- 3 combinaisons sismiques
 - type « automatique »
 - dir X : $1.0 * SX + 0.3 * SY + 0.3 * SZ$
 - dir Y : $0.3 * SX + 1.0 * SY + 0.3 * SZ$
 - dir Z : $0.3 * SX + 0.3 * SY + 1.0 * SZ$



- 1 classe de résultats
 - incluant les 3 combinaisons ci-dessus

**Alternance des signes par
composantes séparées**

- Statique : $1.35 * G + 1.5 * Q$
- Sismique : $1.00 * G + 0.3 * Q + EZ$

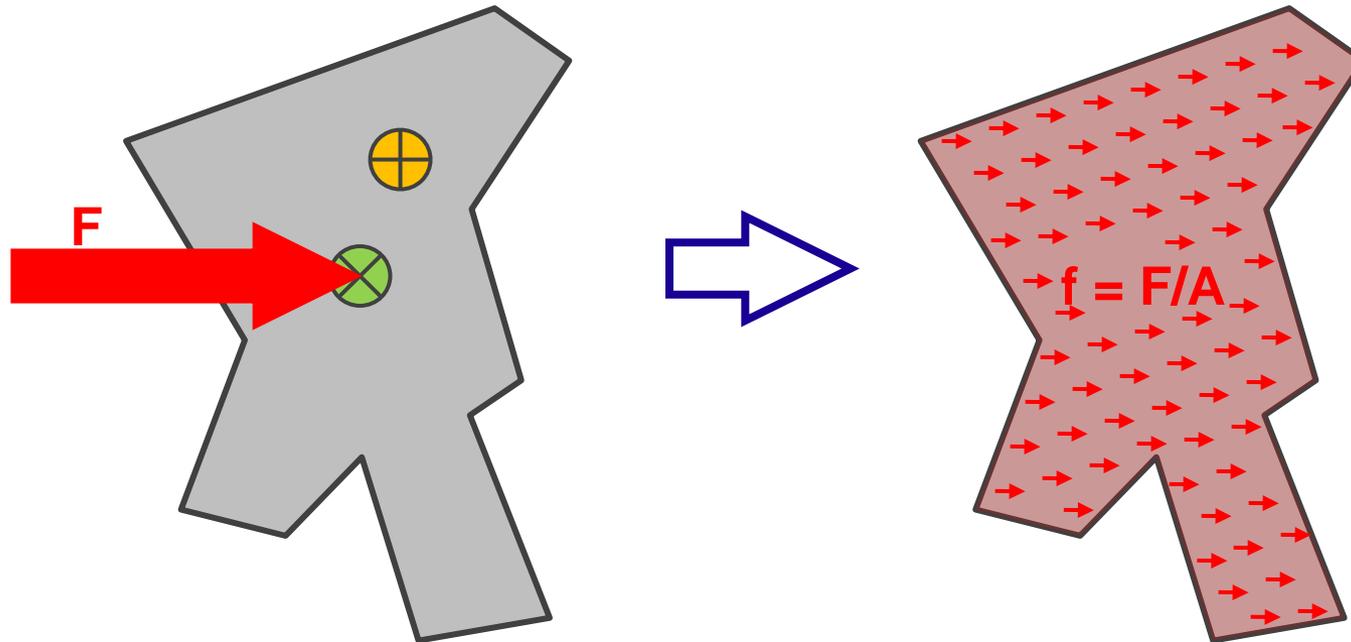
- Pour que le séisme vertical soit déterminant par rapport au cas statique, en admettant 10 kN/m² pour G (dalle 30cm + chape + galandages) et Q = 2 kN/m² :
 - $EZ > 0.35 * G + 1.2 * Q \approx 0.59 * G \rightarrow$ accélération verticale ~5.9 m/s²

 - Cas extrême selon SIA 261: sol E, zone 3b, CO III
 - \rightarrow valeur de plateau accélération verticale = 5.5 m/s² < 5.9

BONUS

TORSION & EXCENTRICITÉ

- Modèle 3D : excentricité structurale automatiquement prise en compte



 Centre de rigidité

 Centre de gravité

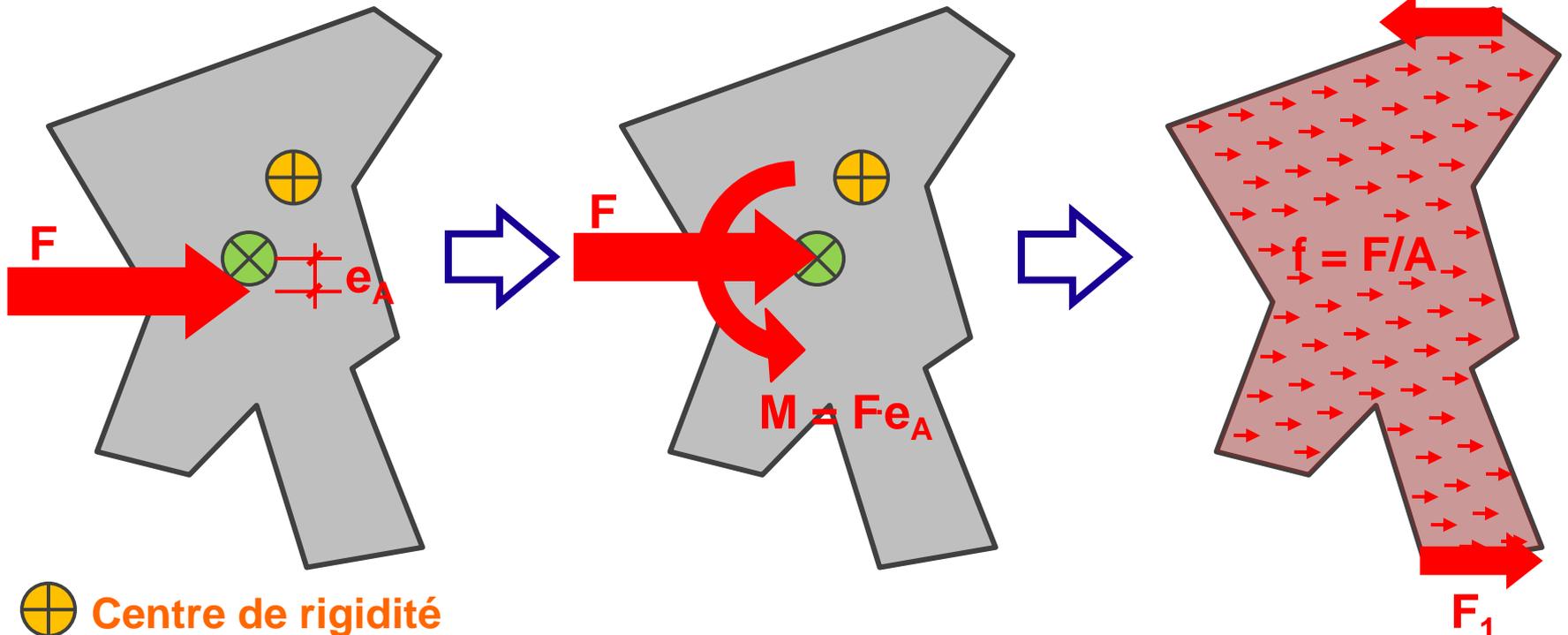
→ Application répartie des forces (réel)

→ Pas besoin de connaître  et 

Torsion & Excentricité

Excentricité accidentelle

- Selon SIA : $e_A = \pm 0.05 b$



 Centre de rigidité

 Centre de gravité

→ Pas besoin de connaître  et 



- Méthode du spectre de réponse & modélisation 3D

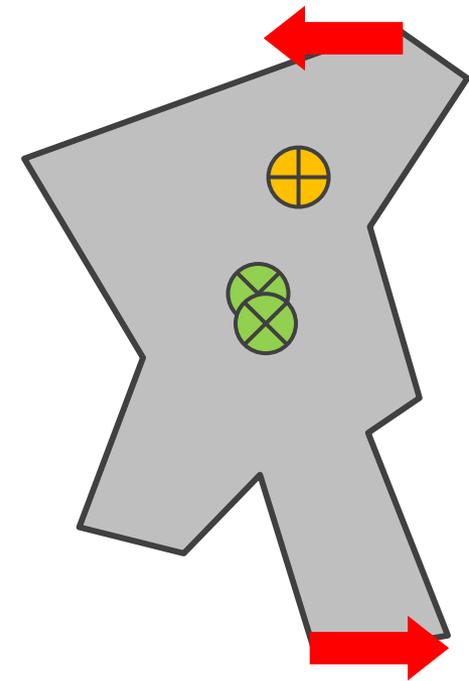
- Excentricité structurelle

- Automatiquement prise en compte

- Excentricité accidentelle

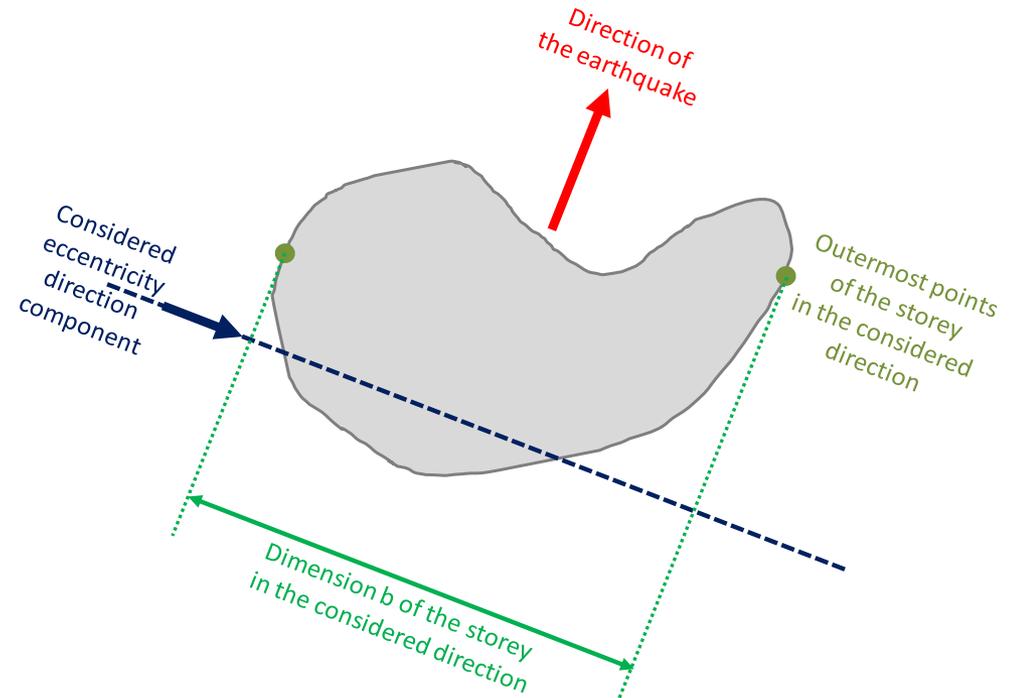
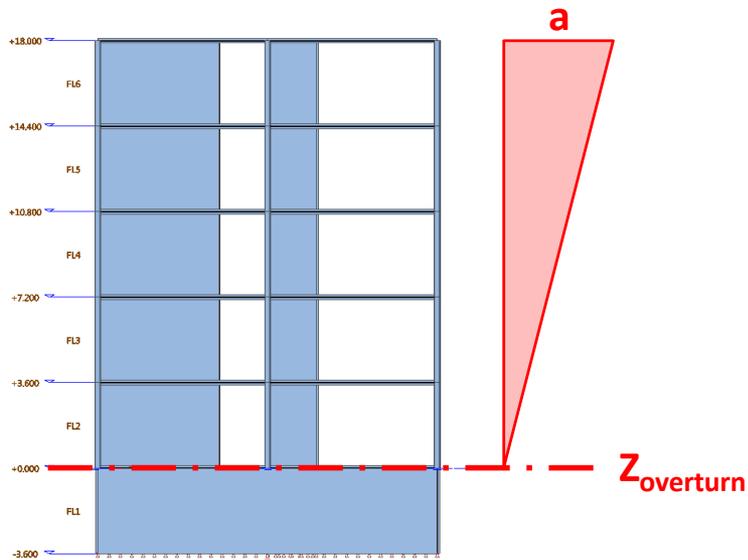
- 3 possibilités:

- Excentrer les masses
 - Appliquer un couple équivalent
 - Moment appliqué sur le modèle condensé



Force d'étage

$$F_j = F_{base} \cdot \frac{\alpha_j \cdot m_j}{\sum_k \alpha_k \cdot m_k}$$



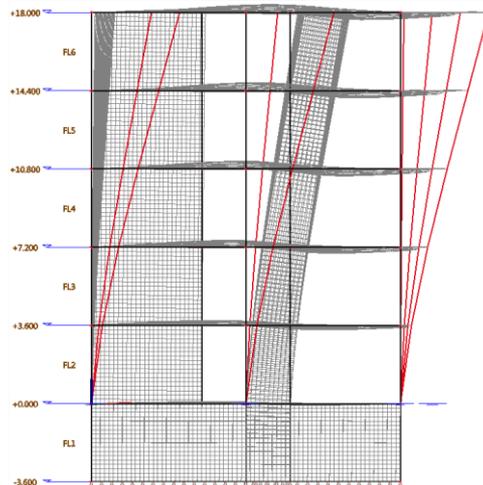
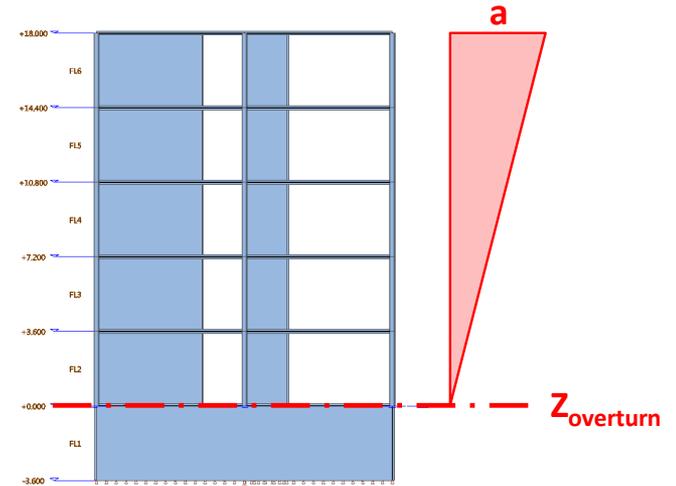
Moment accidentel

$$M_{Z,j} = F_j \cdot e_{A,j}$$

Torsion & Excentricité

Excentricité accidentelle dans Scia Engineer

Name	EQX1
Description	seismic load case - unsigned
Action type	Variable
LoadGroup	EQ
Load type	Dynamic
Specification	Seismicity
Parameters	
+ Direction X	
+ Direction Y	
+ Direction Z	
Acceleration factor	1
Overtuning [m]	0.000000
Accidental eccentricity	
Accidental eccentricity	Disabled
+ Type of superposition	
+ Unify eigenshapes	
+ Mode filtering	
Mass in analysis	Participating mass only
+ Predominant mode	
Master load case	None
Mass combi	CM1



Torsion & Excentricité

Excentricité accidentelle dans Scia Engineer

[-] Accidental eccentricity	
Accidental eccentricity	Linear distribution of accelerations
Eccentricity	0.05

Load cases	
SW	Name EQX_AE
EQX - seismic load case	Description Accidental eccentricity for EQX
EQY - seismic load case	Action type Variable
EQX_AE - Accidental eccentricity for EQX	LoadGroup EQX_AE
EQY_AE - Accidental eccentricity for EQY	Load type Static
	Specification Seismic accidental eccentricity
	Duration Short
	Master load case EQX - seismic load case

Load groups	
LG1	Name EQX_AE
CatA	Relation Exclusive
EQ	Load Seismic Accidental Eccentricity
EQX_AE	
EQY_AE	

RÉSULTATS

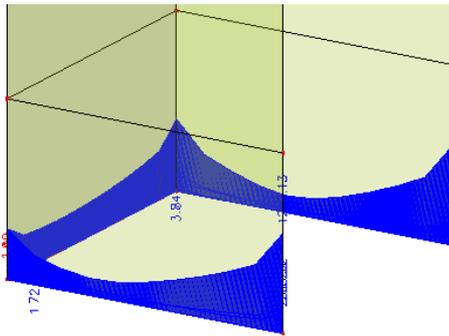
EFFORTS POUR LE DIMENSIONNEMENT

RÉSULTATS PAR ÉTAGE

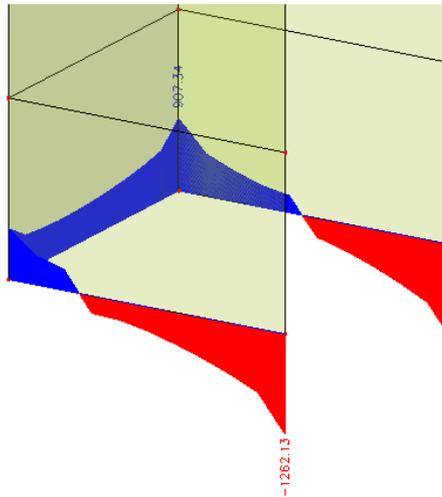
Efforts pour le dimensionnement

Coupes dans les surfaces & efforts résultants

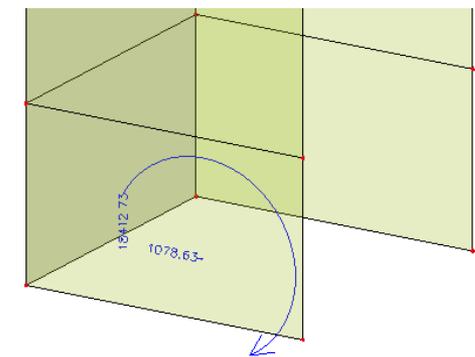
Exemple : coupe au pied d'un noyau en U



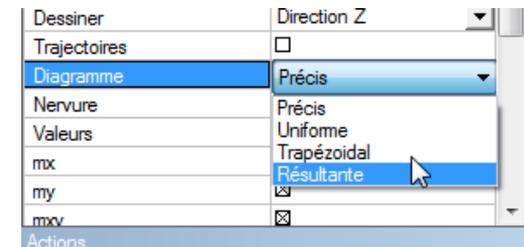
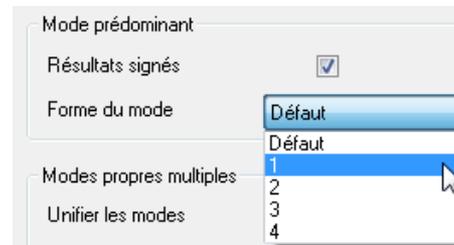
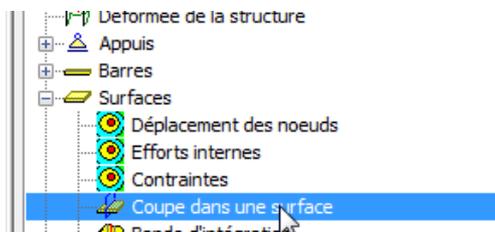
Efforts membranaires non signés



Efforts membranaires signés



Efforts résultants

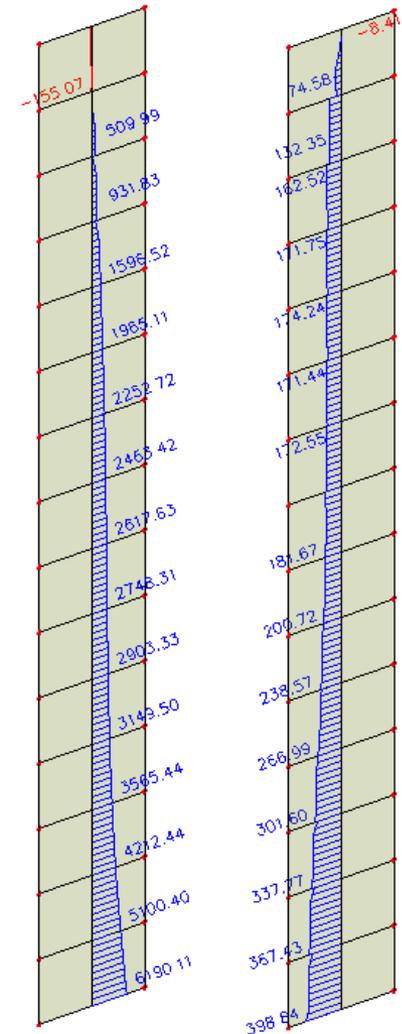
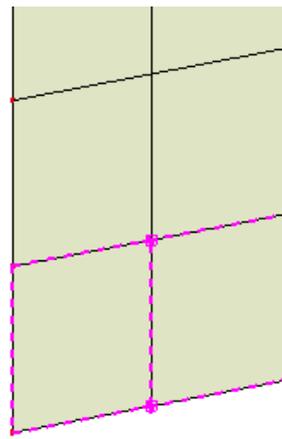
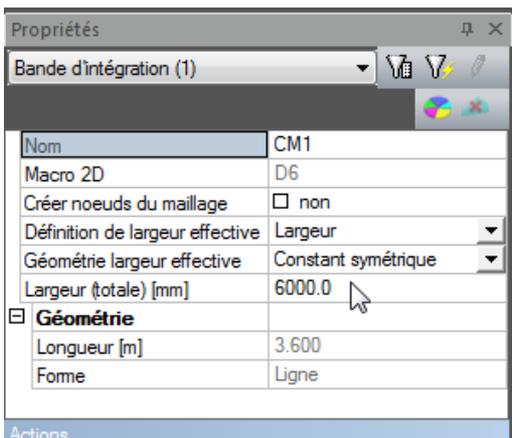
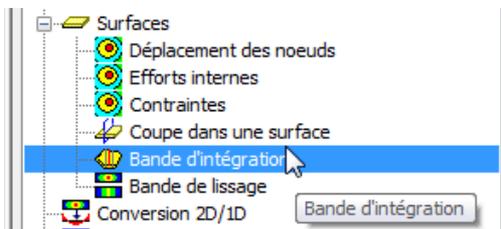


Efforts pour le dimensionnement

Bandes d'intégration

Exemple : efforts dans un mur de refend

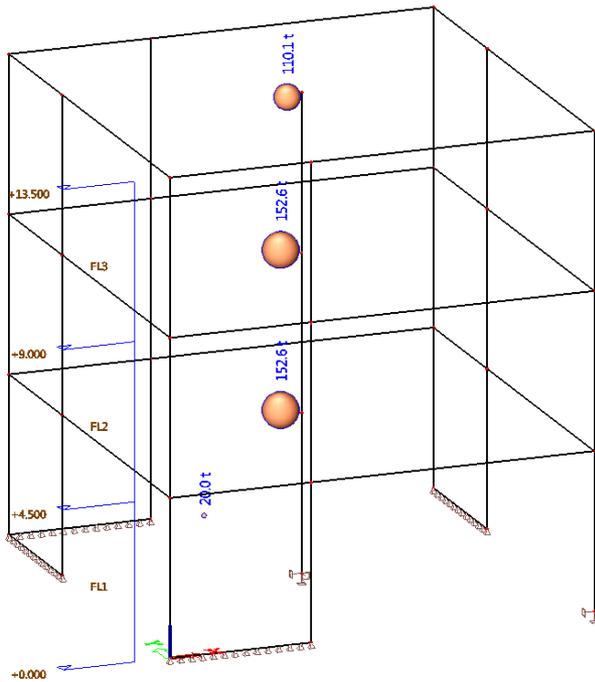
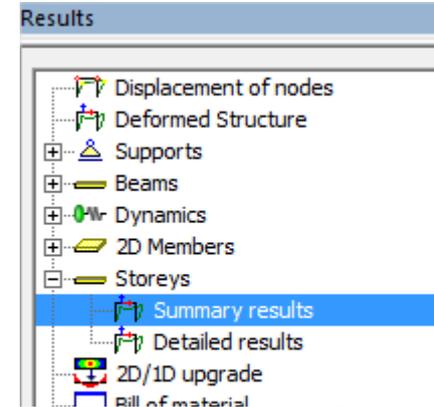
Pré-requis: comme pour la résultante de coupe, les résultats sismiques doivent être préalablement signés



Résultats par étage

Résultats d'ensemble

- Pour une combinaison de masses
 - Données d'étage: masse & centre de masse
 - Déplacement modal au centre de masse
 - Accélération modale au centre de masse



Summary storey result

Storey Displacements:

Eigen solution, Extreme: No, System: Principal
 Selection: All
 Mass combinations : CM1/1 - 2.07

Name	Ux [mm]	Uy [mm]	Uz [mm]	Phix [mrad]	Phiy [mrad]	Phiz [mrad]
FL1	-6.1e-02	6.1e-02	0.0e+00	-2.0e-03	-2.0e-03	0.0e+00
FL2	-3.3e-01	3.3e-01	7.7e-02	-8.0e-03	-8.0e-03	0.0e+00
FL3	-9.9e-01	9.9e-01	1.1e-01	-1.1e-02	-1.1e-02	0.0e+00
FL4	-1.7e+00	1.7e+00	1.3e-01	-1.0e-02	-1.0e-02	0.0e+00

Summary storey result

Storey Accelerations:

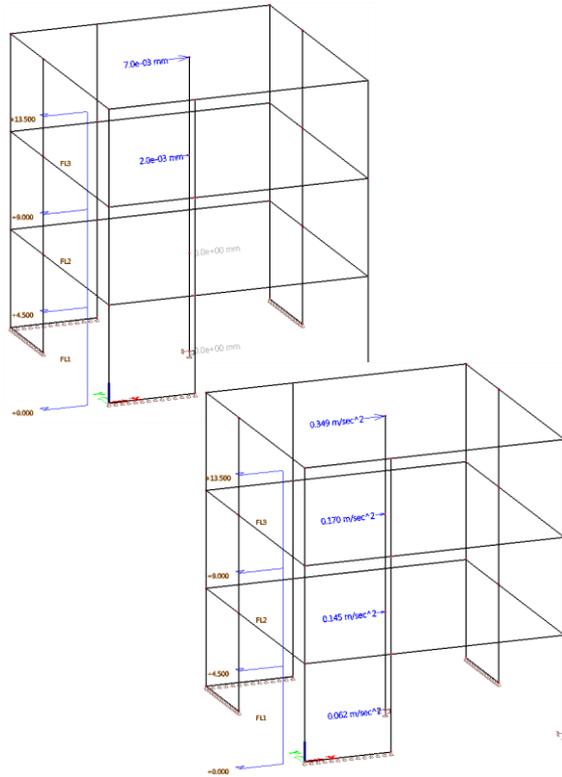
Eigen solution, Extreme: No, System: Principal
 Selection: All
 Mass combinations : CM1/1 - 2.07

Name	Ax [m/sec^2]	Ay [m/sec^2]	Az [m/sec^2]	Alpha X [mrad/sec^2]	Alpha Y [mrad/sec^2]	Alpha Z [mrad/sec^2]
FL1	-0.010	0.010	0.000	-3.38e-01	-3.38e-01	0.00e+00
FL2	-0.056	0.056	0.013	-1.35e+00	-1.35e+00	0.00e+00
FL3	-0.167	0.167	0.019	-1.86e+00	-1.86e+00	0.00e+00
FL4	-0.291	0.291	0.022	-1.69e+00	-1.69e+00	0.00e+00

Résultats par étage

Résultats d'ensemble

- Pour un cas de charge sismique
 - Déplacements au centre de masse
 - Accélérations au centre de masse



Results

- Displacement of nodes
- Deformed Structure
- Supports
- Beams
- Dynamics
- 2D Members
- Storeys
- Summary results**
- Detailed results
- 2D/1D upgrade
- Bill of material
- Calculation protocol

Summary storey result

Storey Displacements:

Linear calculation, Extreme: No, System: Principal
 Selection: All
 Load cases : EQX

Name	Ux [mm]	Uy [mm]	Uz [mm]	Phix [mrad]	Phiy [mrad]	Phiz [mrad]
FL1	0.0e+00	0.0e+00	0.0e+00	0.0e+00	0.0e+00	0.0e+00
FL2	0.0e+00	0.0e+00	0.0e+00	0.0e+00	0.0e+00	0.0e+00
FL3	2.0e-03	2.0e-03	0.0e+00	0.0e+00	0.0e+00	0.0e+00
FL4	7.0e-03	7.0e-03	0.0e+00	0.0e+00	0.0e+00	0.0e+00

Summary storey result

Storey Accelerations:

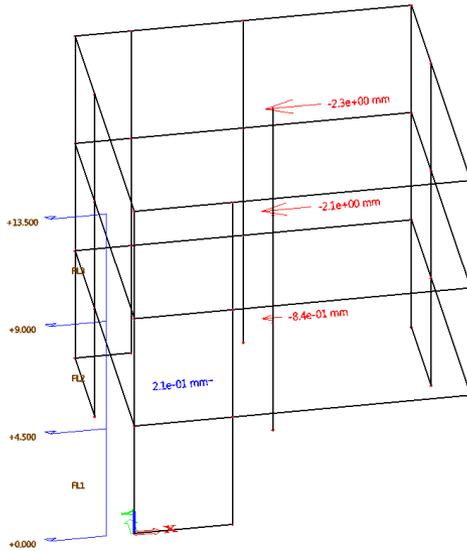
Linear calculation, Extreme: No, System: Principal
 Selection: All
 Load cases : EQX

Name	Ax [m/sec^2]	Ay [m/sec^2]	Az [m/sec^2]	Alpha X [mrad/sec^2]	Alpha Y [mrad/sec^2]	Alpha Z [mrad/sec^2]
FL1	0.062	0.062	0.000	1.10e-02	1.10e-02	2.37e-01
FL2	0.145	0.145	0.001	1.55e-01	1.55e-01	8.13e-01
FL3	0.170	0.170	0.003	3.32e-01	3.32e-01	2.13e+00
FL4	0.349	0.349	0.007	4.99e-01	4.99e-01	5.27e+00

Résultats par étage

Résultats d'ensemble

- Pour un cas de charge sismique
 - Déplacement inter-étages



Results

- Displacement of nodes
- Deformed Structure
- Supports
- Beams
- Dynamics
- 2D Members
- Storeys
- Summary results**
- Detailed results
- 2D/1D upgrade
- Bill of material
- Calculation protocol

Summary storey result

Inter-storey Drift:

Linear calculation, Extreme: No, System: Principal
Selection: All
Load cases : EQX

Name	Delta Ux [mm]	Delta Uy [mm]	Delta Uz [mm]	Delta Phix [mrad]	Delta Phiy [mrad]	Delta Phiz [mrad]
FL1	2.1e-01	4.6e-02	1.2e-03	2.4e-03	4.4e-03	5.0e-03
FL2	-8.4e-01	-2.6e-01	-1.0e-01	-1.6e-02	-1.1e-02	-1.2e-02
FL3	-2.1e+00	-6.2e-01	-4.7e-02	-8.2e-03	-7.2e-03	-2.9e-02
FL4	-2.3e+00	-7.1e-01	-3.1e-02	-6.5e-03	-2.6e-03	-3.0e-02

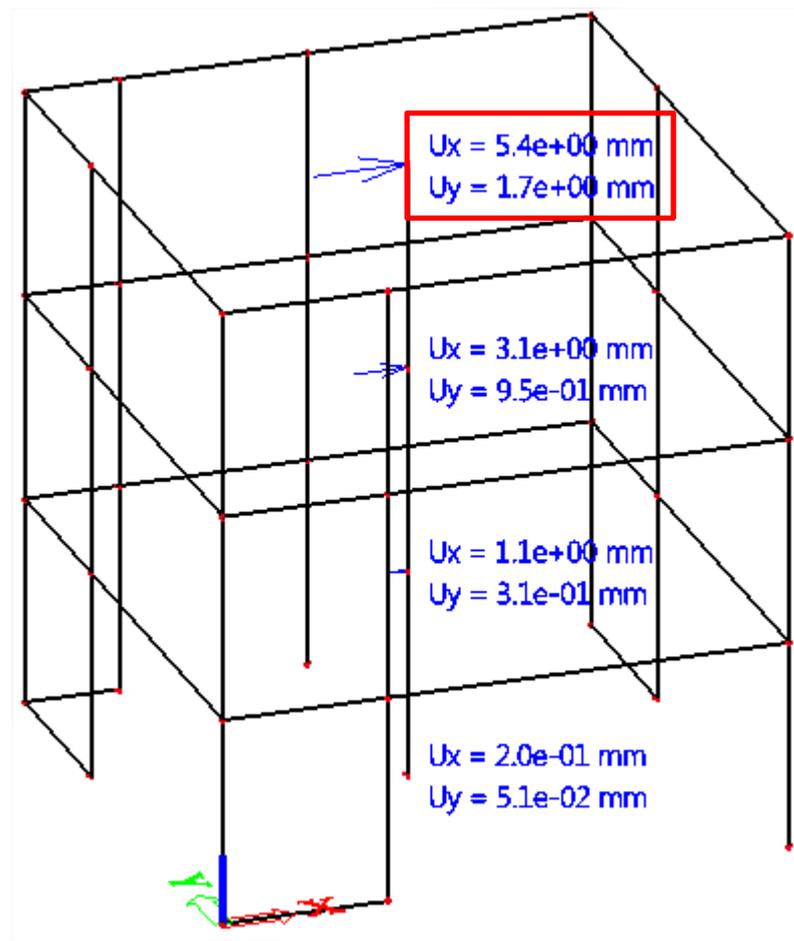
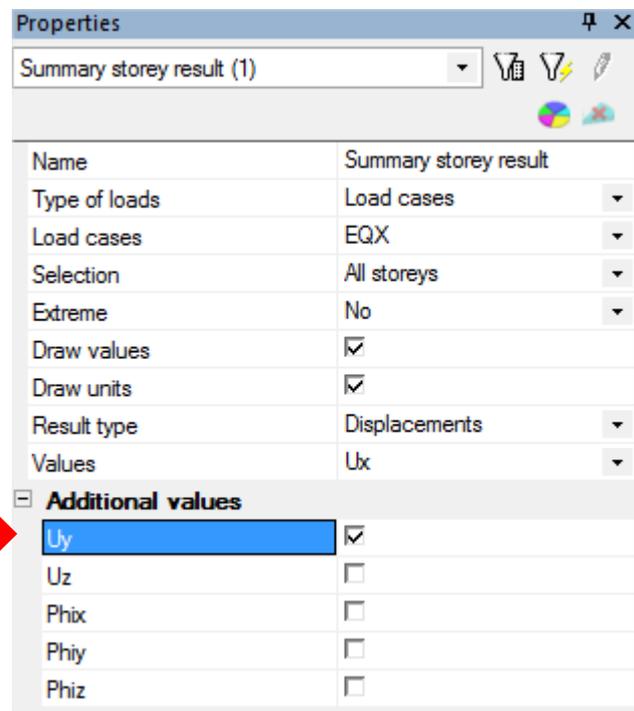
Résultats par étage

Résultats d'ensemble

« Plusieurs composantes »

Valeur principale

Valeurs additionnelles

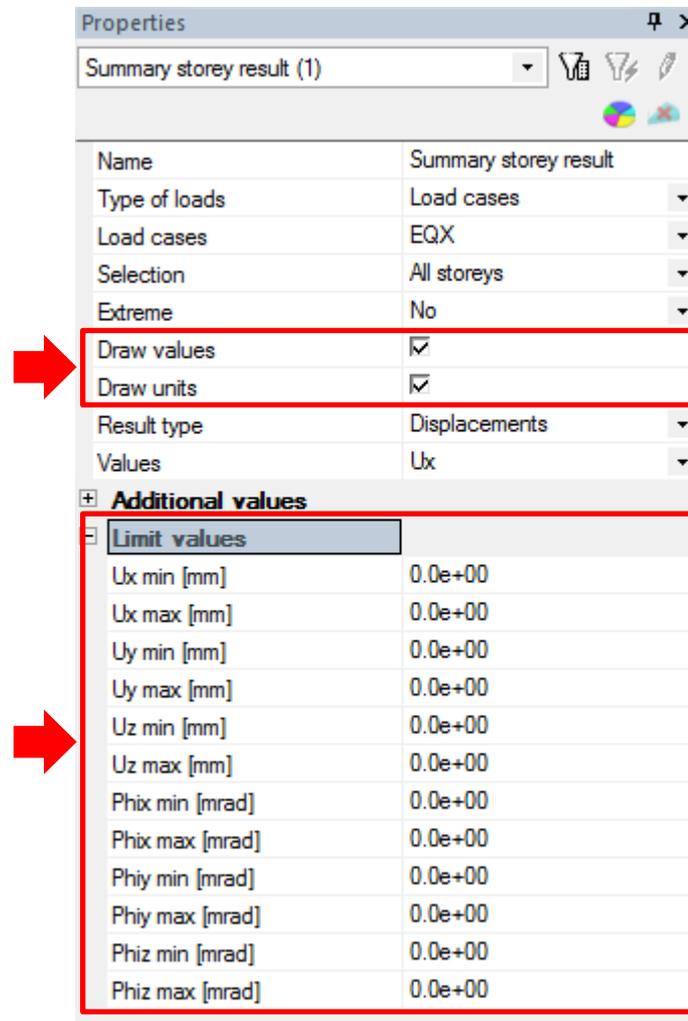
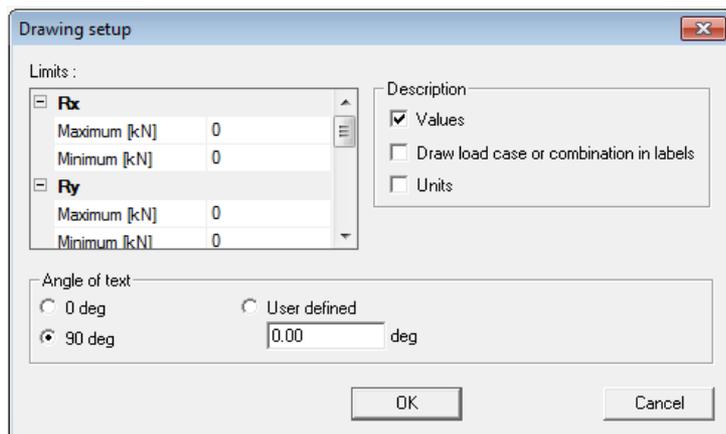


Résultats par étage

Résultats d'ensemble

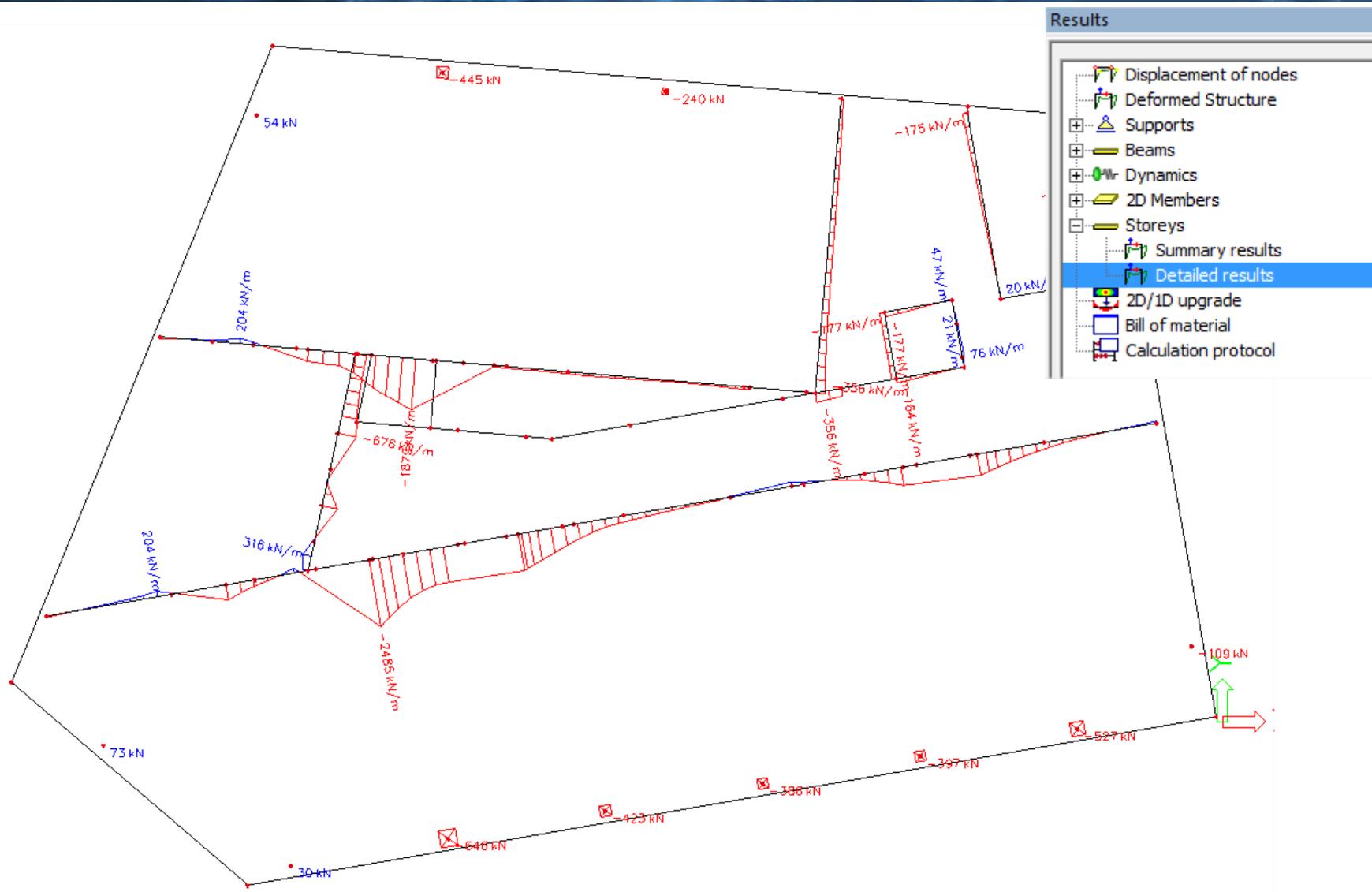
Configuration du dessin

Ancienne boîte de dialogue
remplacée par des options
directement dans la feuille
de propriétés



Résultats par étage

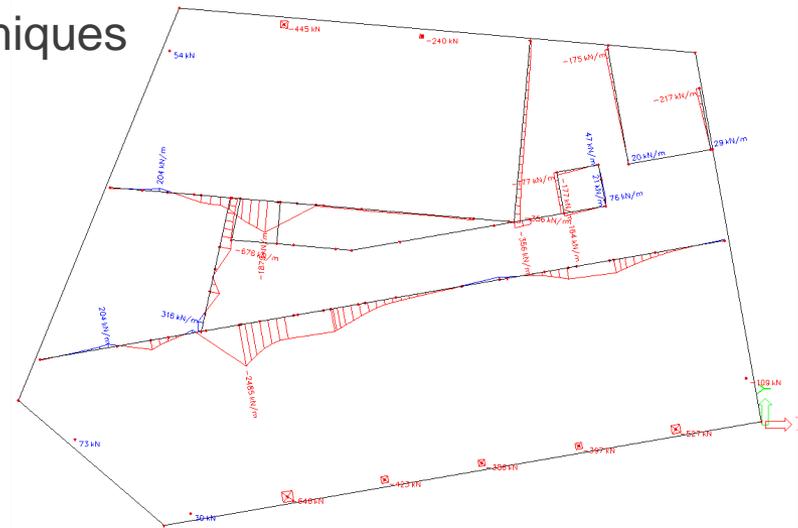
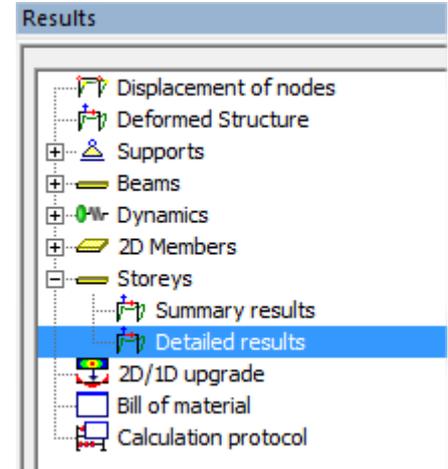
Résultats détaillés – efforts internes



Résultats par étage

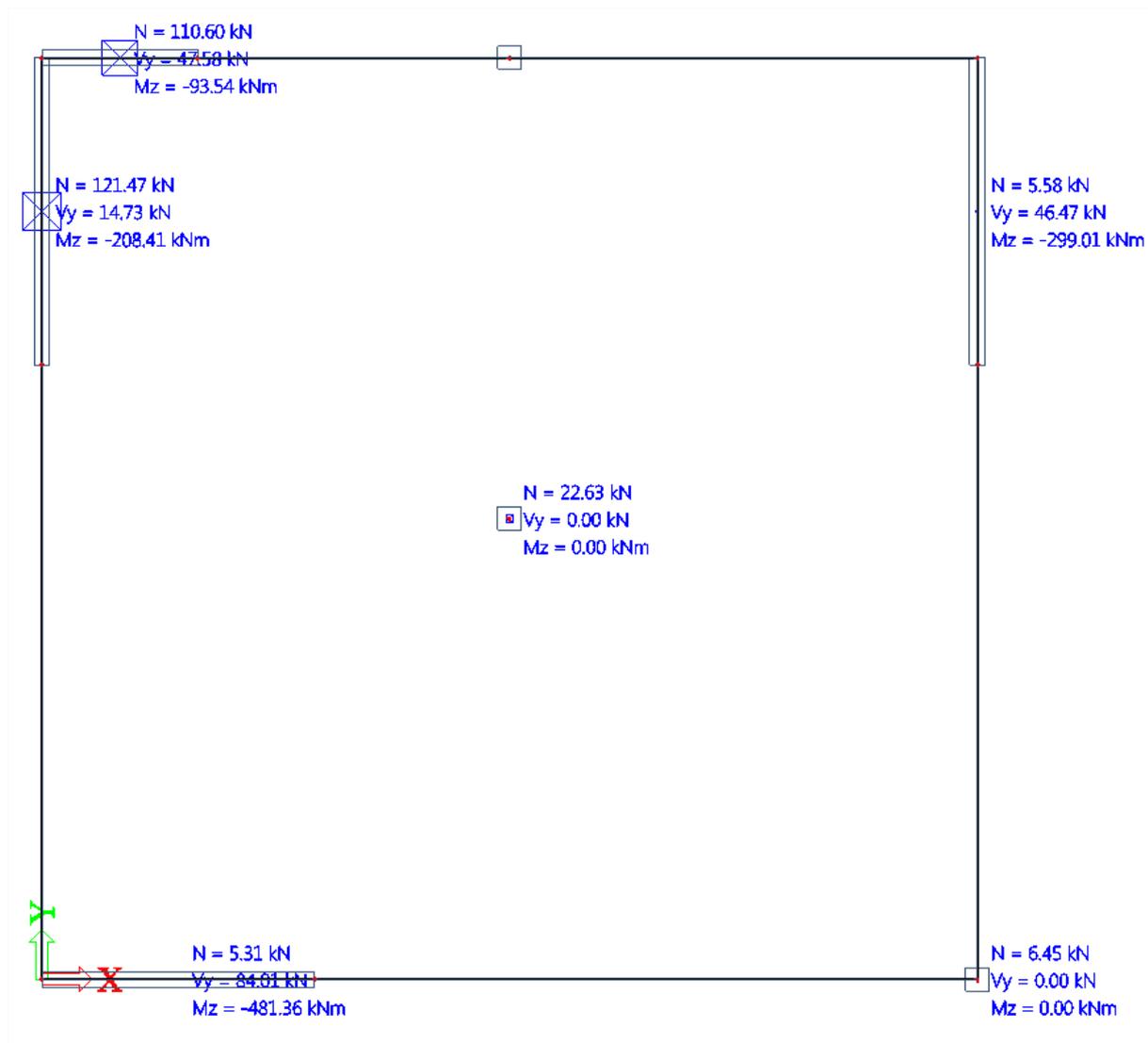
Résultats détaillés – efforts internes

- Efforts internes dans les éléments porteurs
 - Sélection par étage
 - Extrême par élément (aussi pour les murs !)
 - Murs et poteaux sur le même dessin
 - Choix simple du niveau de coupe
 - Valeurs totale et moyenne par mur
 - Utilisable pour résultats statiques & sismiques
 - Adapté pour les descentes de charges
- Pré-requis: définition des étages



Résultats par étage

Résultats détaillés – résultantes par élément



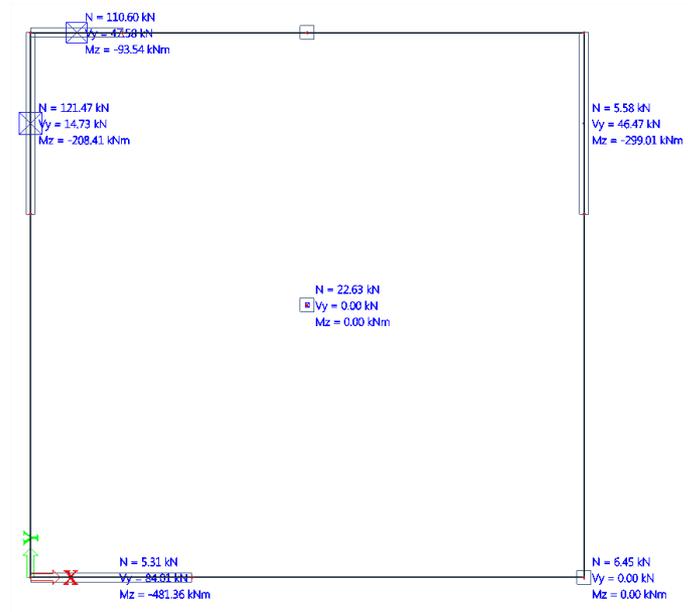
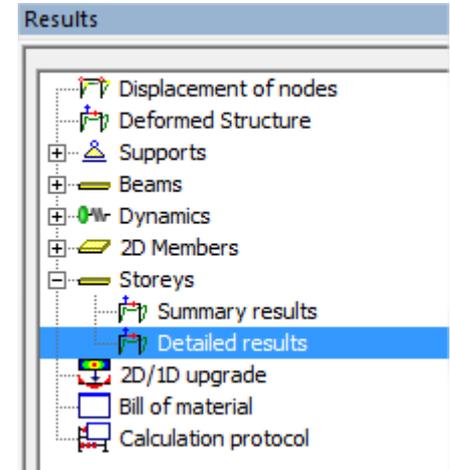
Results

- Displacement of nodes
- Deformed Structure
- Supports
- Beams
- Dynamics
- 2D Members
- Storeys
- Summary results
- Detailed results**
- 2D/1D upgrade
- Bill of material
- Calculation protocol

Résultats par étage

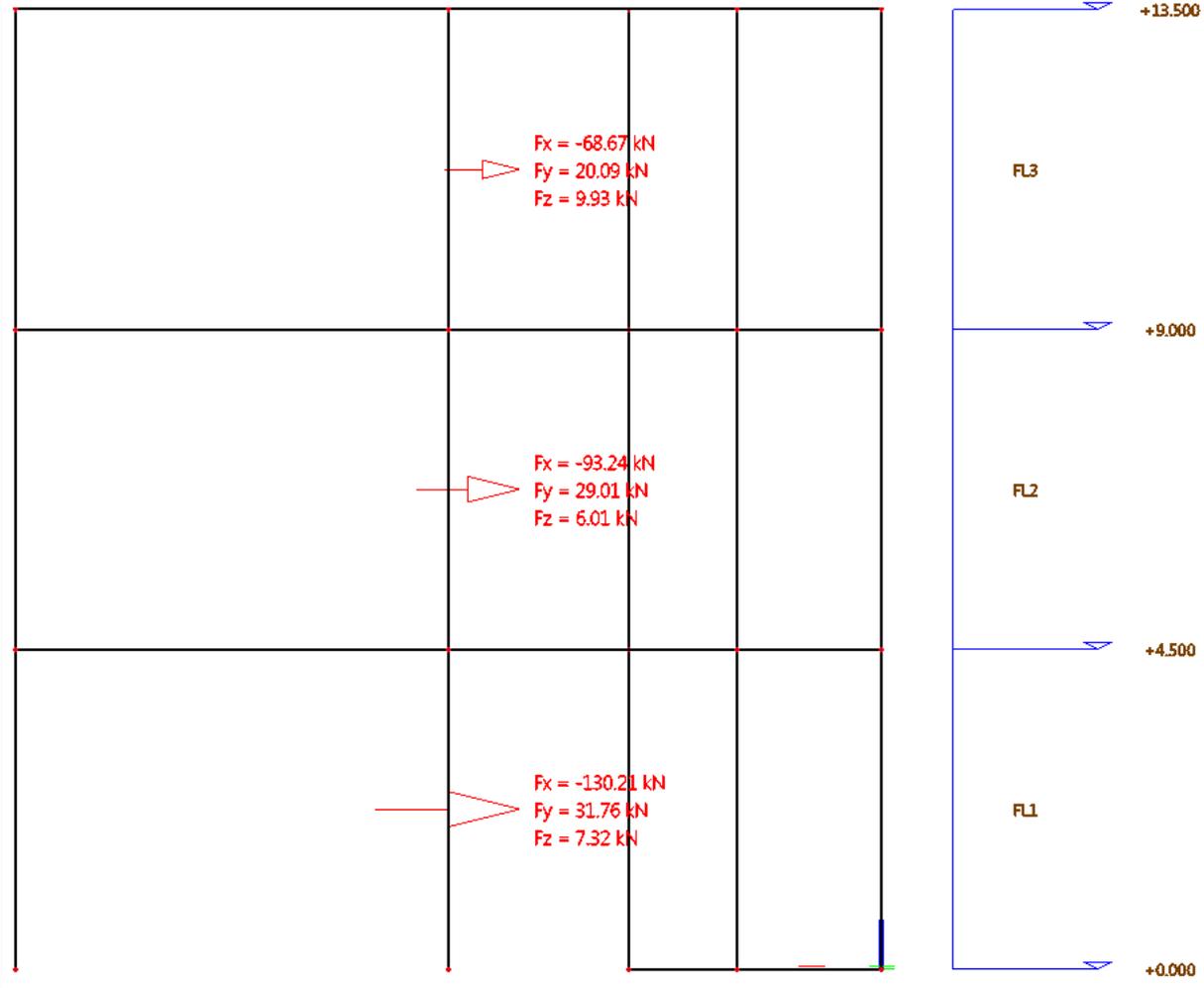
Résultats détaillés – résultantes par élément

- Efforts résultants dans les éléments porteurs
 - Résultante pour **chaque** mur sur un seul dessin
 - Affichage clair de plusieurs composantes
- + toutes les possibilités mentionnées précédemment
- Pré-requis: définition des étages



Résultats par étage

Résultats détaillés – résultantes par étage



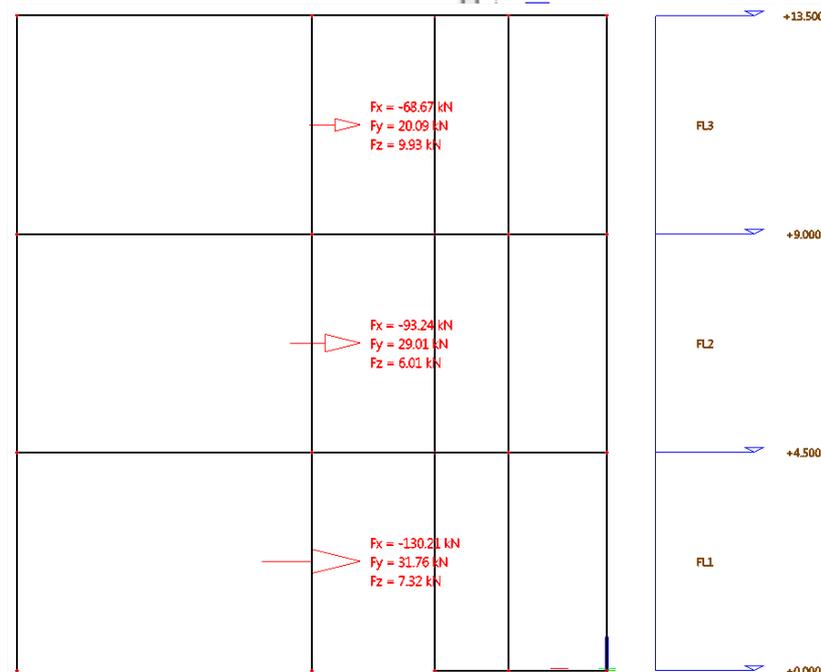
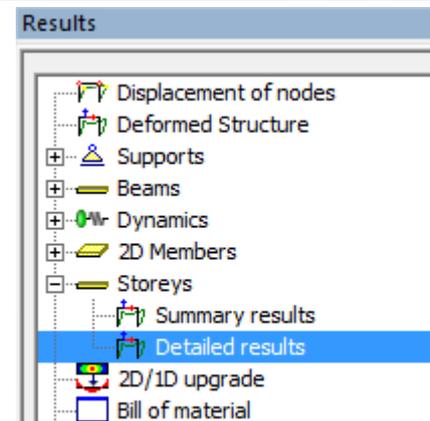
Results

- Displacement of nodes
- Deformed Structure
- Supports
- Beams
- Dynamics
- 2D Members
- Storeys
- Summary results
- Detailed results**
- 2D/1D upgrade
- Bill of material
- Calculation protocol

Résultats par étage

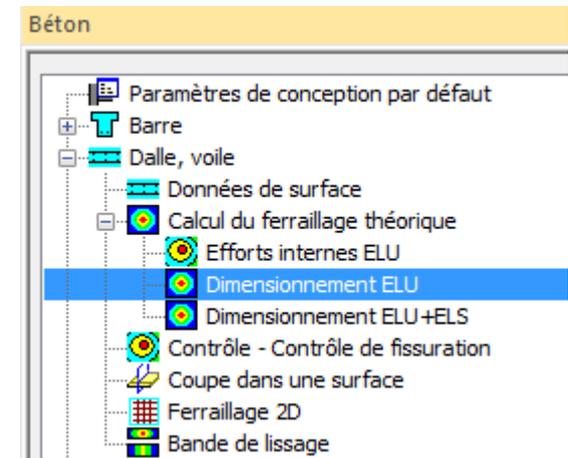
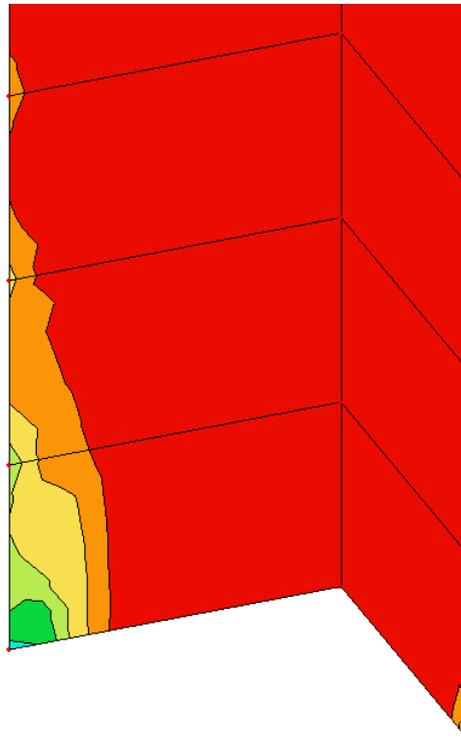
Résultats détaillés – résultantes par étage

- Efforts résultants des éléments porteurs par étage
 - Résultante de **tous** les éléments porteurs (murs + poteaux combinés)
- + toutes les possibilités mentionnées précédemment
- Pré-requis: définition des étages



Exemple : armatures dans un mur de refend en L

Application directe des fonctionnalités de dimensionnement standard de Scia Engineer



Efforts pour le dimensionnement

Dimensionnement ductile



Dimensionnement en capacité selon l'Eurocode 8

BONUS

EFFETS DE CADRE

- **En général, effet favorable**

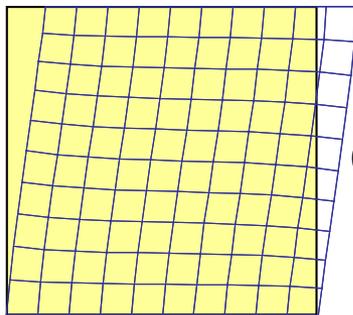
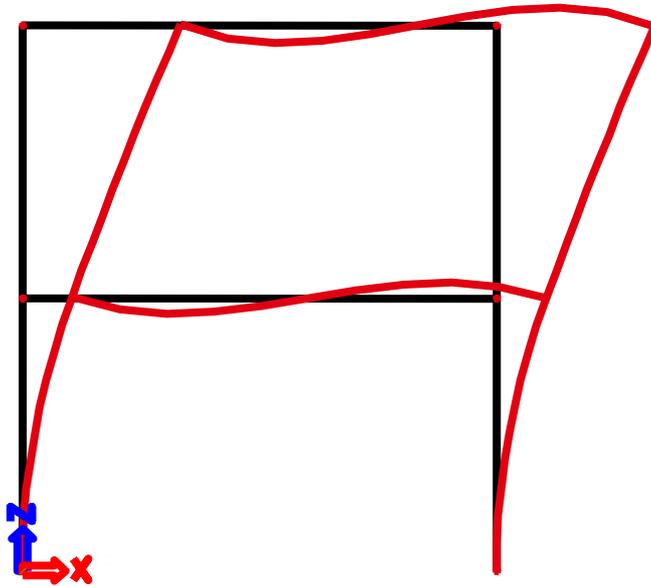
Surtout pour l'évaluation de bâtiments existants

- **Résultats surprenants...**

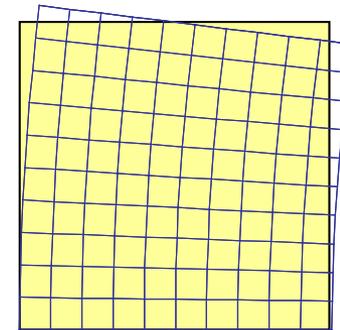
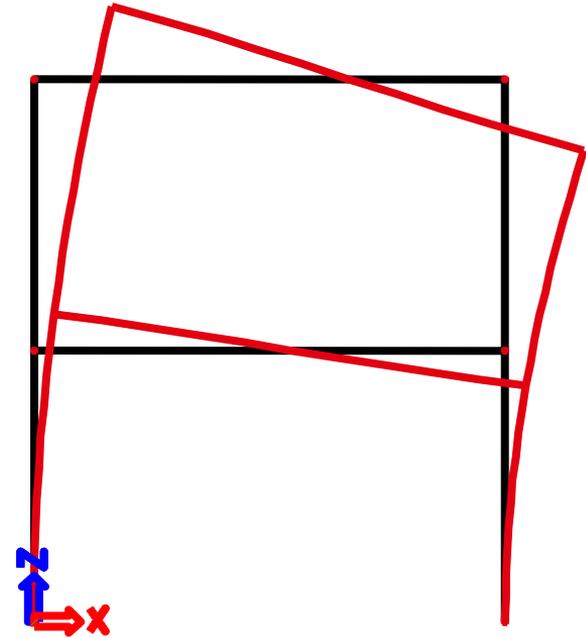
Calcul 2D / 3D comparé au calcul simplifié 1D:

Efforts tranchants OK

Moments de flexion faibles → ?



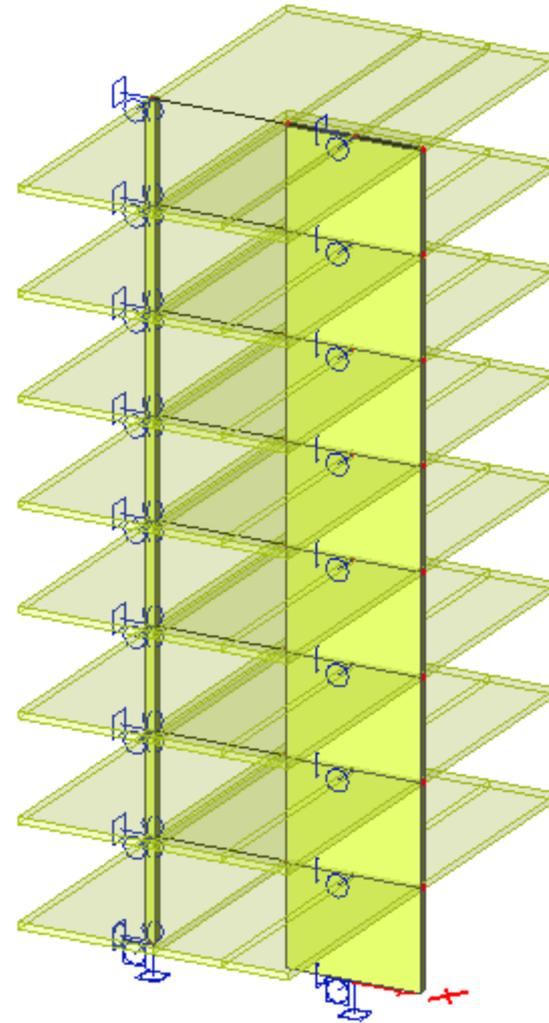
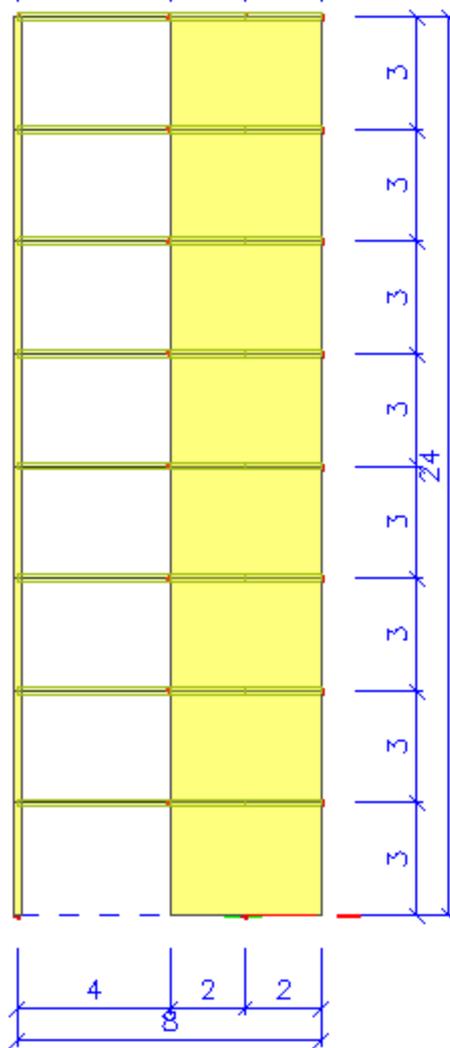
Cisaillement



Flexion

Effets de cadre (3)

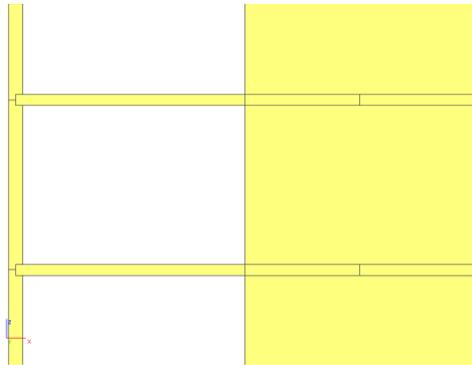
Réduction des moments par effet de couple



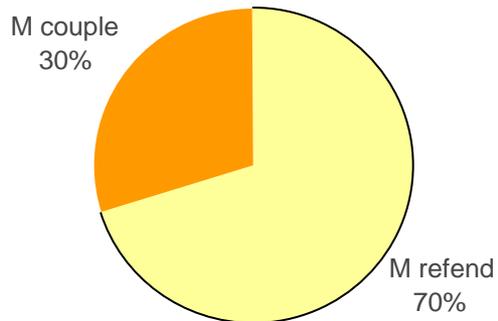
Effets de cadre (4)

Réduction des moments par effet de couple

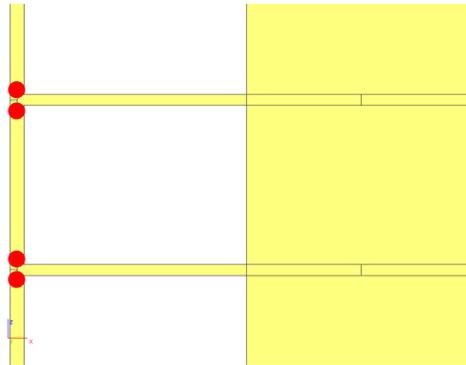
tout encastré



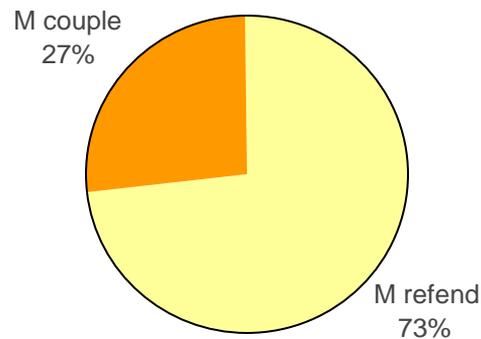
$f_1 = 1.06 \text{ Hz}$



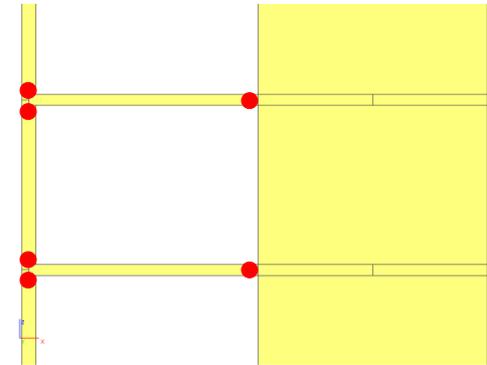
poteaux pendulaires



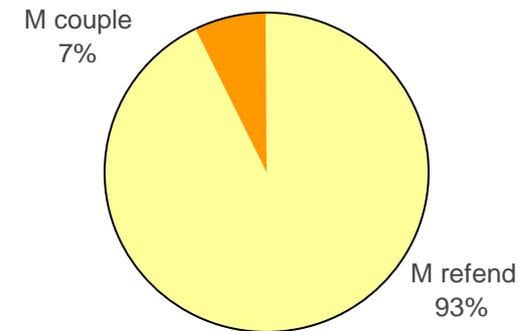
$f_1 = 1.03 \text{ Hz}$



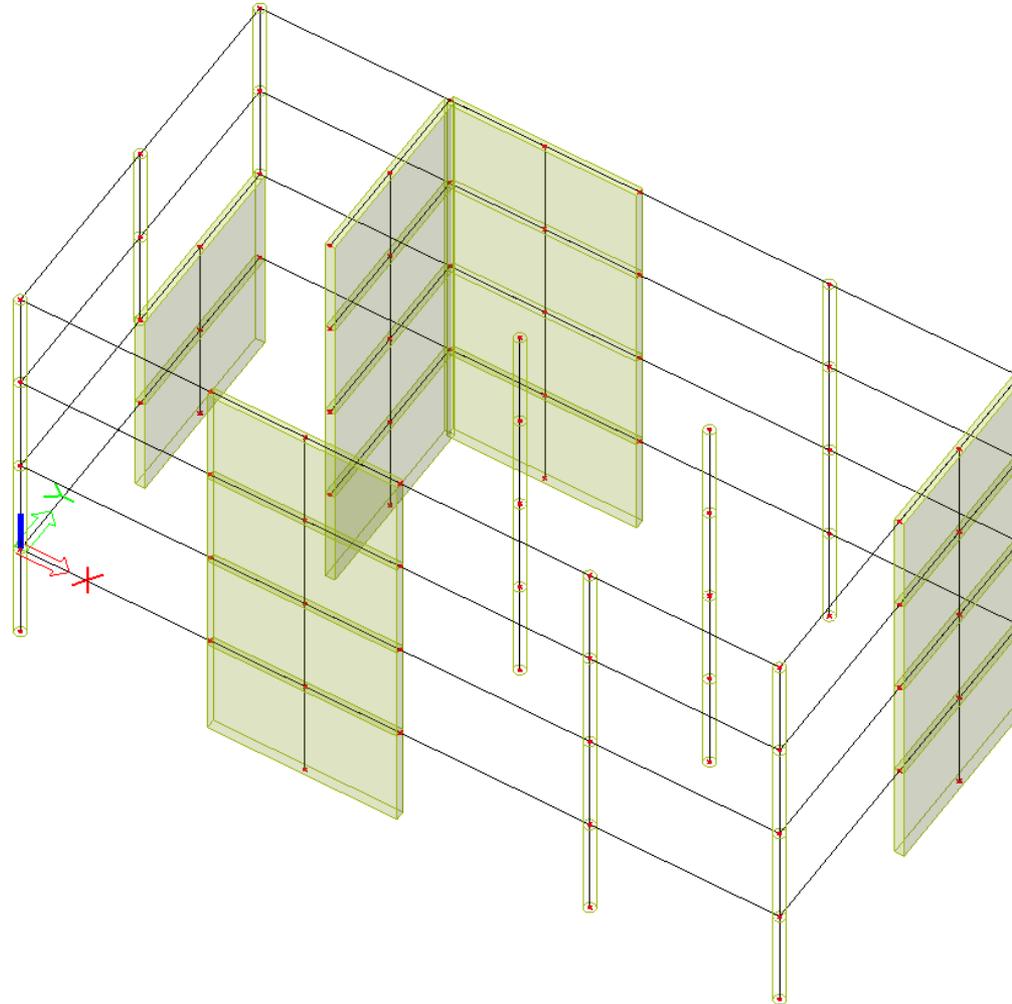
dalles articulées



$f_1 = 0.83 \text{ Hz}$



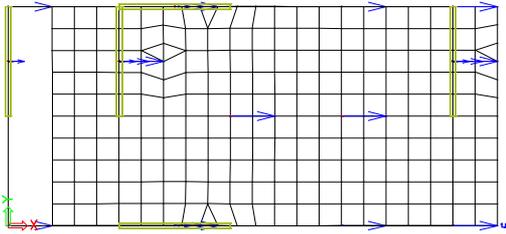
Batiment avec système de refends asymétrique



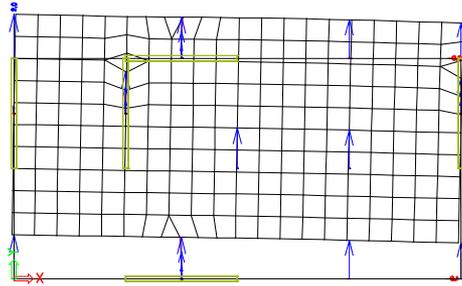
Effets de cadre (6)

Torsion induite par l'effet de cadre

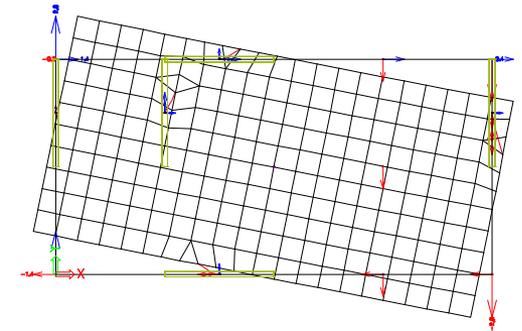
Calcul sans effet de cadre



Mode 1
4.4 Hz



Mode 2
4.8 Hz



Mode 3
7.0 Hz

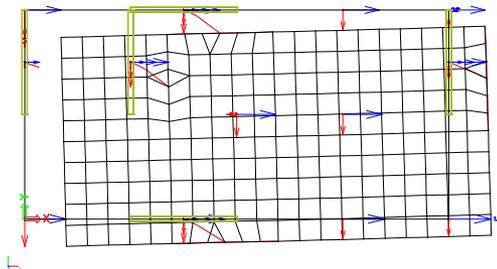
Masses modales

X: 73%
Y: 0%

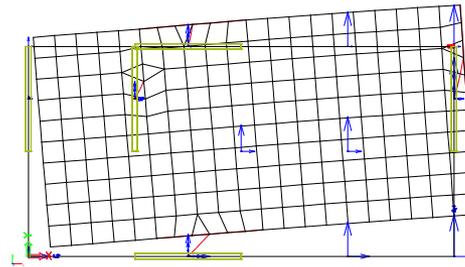
X: 0%
Y: 69%

X: 0%
Y: 1%

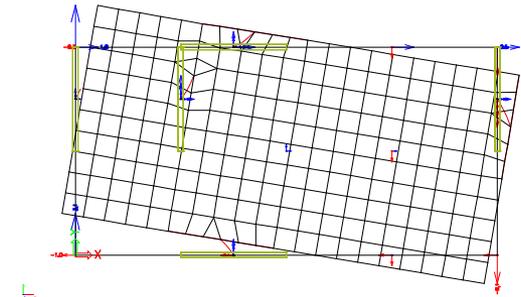
Calcul avec effet de cadre



Mode 1
4.7 Hz



Mode 2
5.6 Hz



Mode 3
8.8 Hz

Masses modales

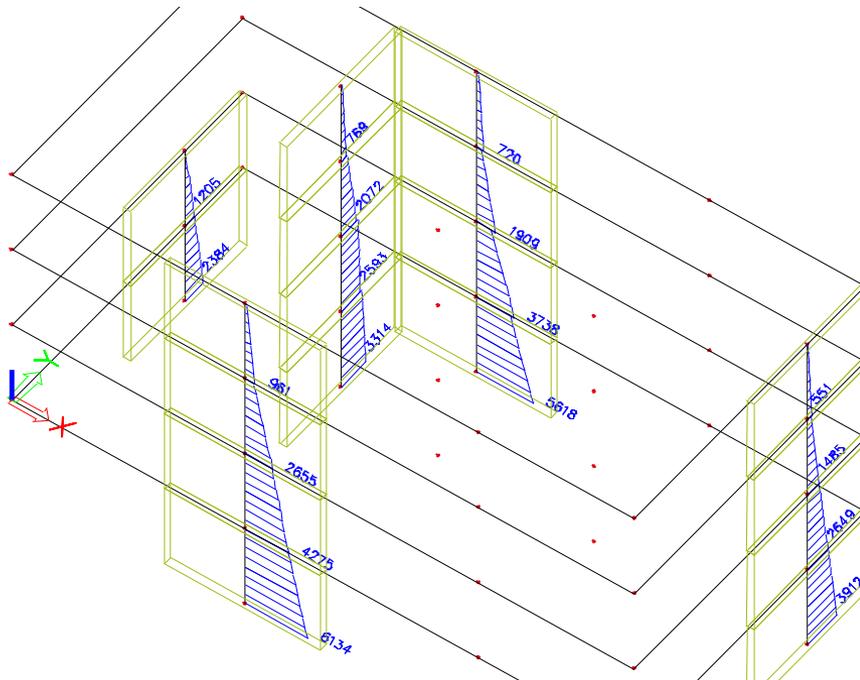
X: 56%
Y: 16%

X: 14%
Y: 51%

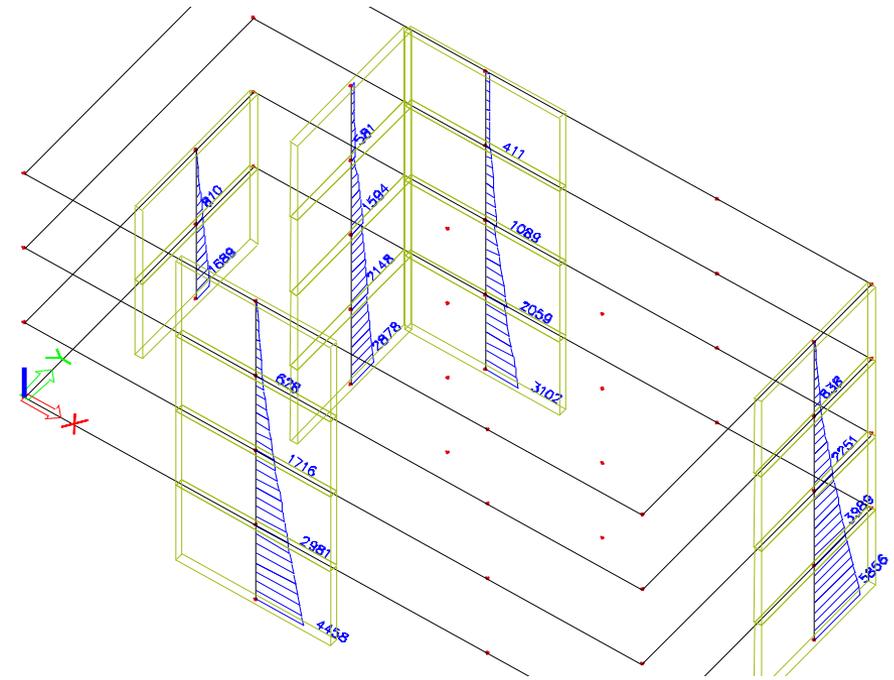
X: 4%
Y: 4%

Calcul avec effet de cadre – moments dans les refends

Séisme X



Séisme Y



- **Impossible d'éliminer complètement l'effet de cadre**
 - Sauf en supprimant les DDL verticaux
 - Mais souvent, on a justement besoin de ces déplacements verticaux dans le modèle
- **Possibilités d'atténuer l'effet de cadre**
 - En libérant des connections (rotules)
 - En assouplissant des connections (refends comme poteaux larges sans raidisseur de dalle)
 - En assouplissant les dalles (module E, épaisseur)
- **Mais attention**
 - Tout est lié: influence sur les modes, fréquences, efforts...
 - Rester vigilant ! Ne pas introduire de comportement aberrant dans la structure en corrigeant un problème !
- **Ceci vaut pour les modèles 2D et 3D**

- **Modélisation 3D pour la conception parasismique**
 - Adaptation aisée d'un modèle statique pour le calcul sismique
 - Masses prises en compte pour calcul
 - Validation du modèle sur la masse modale
 - Rigidité des refends

- **Modélisation des refends en éléments « coque »**
 - Solution générale pour toutes les géométries
 - Méthodes de calcul adaptées à ces éléments
 - Outils pour l'exploitation des résultats

- **Solutions pour le dimensionnement**

■ Vos questions...

