

SS SOLIDITE

SOMMAIRE

1. GENERALITES EUROCODES	2
A. ORGANISATION DES TEXTES EUROPEENS ET NATIONAUX	2
B. BASES DE CONCEPTION ET DE CALCULS SELON L'EUROCODE 0	2
2. HYPOTHESES DE CHARGEMENT.....	4
A. TYPES D' ACTIONS	4
B. CHARGES VERTICALES	4
C. CHARGES HORIZONTALES.....	5
3. VERIFICATION DE LA RESISTANCE ET DE LA STABILITE	7
A. MURS	7
B. PLANCHERS.....	13
C. TOITURES.....	14
4. SITUATION DE SEISME.....	15
5. COMMUNICATION DES DESCENTES DE CHARGES GLOBALES AU GROS-OEUVRE	19

1. GENERALITES EUROCODES

A. ORGANISATION DES TEXTES EUROPEENS ET NATIONAUX

Pour l'ensemble des Eurocodes, on retrouvera un schéma identique avec des textes européens dans lesquels un certain nombre de clauses est soumis à un choix national que l'on retrouve dans les annexes nationales. On note que l'on peut également trouver des clauses complémentaires dans les annexes nationales.

On retrouvera l'architecture suivante :

- EN 1990 Eurocode 0 Bases de calcul des structures
- EN 1991 Eurocode 1 Actions sur les structures
- EN 1992 Eurocode 2 Calcul des structures en béton
- EN 1993 Eurocode 3 Calcul des structures en acier
- EN 1994 Eurocode 4 Calcul des structures mixtes acier - béton
- EN 1995 Eurocode 5 Calcul des structures en bois
- EN 1996 Eurocode 6 Calcul des structures en maçonnerie
- EN 1997 Eurocode 7 Calcul géotechnique
- EN 1998 Eurocode 8 Calcul des structures pour leur résistance aux séismes
- EN 1999 Eurocode 9 Calcul des structures en alliage d'aluminium

Pour les structures en bois, nous aurons besoin de :

Document	But
Eurocode 0	Combinaisons d'actions
Eurocode 1-1-1	Poids propres et charges imposées
Eurocode 1-1-3	Actions de la neige
Eurocode 1-1-4	Actions du vent
Eurocode 5-1-1	Vérification à froid des structures bois
Eurocode 5-1-2	Vérification au feu des structures bois
Eurocode 5-2	Vérification des ponts en structure bois
Eurocode 8	Actions dues aux séismes
Annexes Nationales de chaque document	Choix et Critères pour la France

B. BASES DE CONCEPTION ET DE CALCULS SELON L'EUROCODE 0

- Fiabilité et états limites

L'Eurocode 0, NF EN 1990 et son annexe nationale, décrit les bases de la conception et du calcul des structures. Notamment les notions de fiabilité et les combinaisons d'actions sur les structures.

La fiabilité structurale couvre diverses exigences : la sécurité structurale, l'aptitude au service, la tenue aux influences de l'environnement et la robustesse (situations accidentelles).

Ces exigences doivent considérer les différentes situations de projet suivantes :

- **Durable** : Conditions normales d'exploitation de l'ouvrage,
- **Transitoire** : situation faisant référence à des conditions temporaires de la structure, de son utilisation ou de son exposition, par exemple en cours d'exécution ou de réparation,
- **Accidentelle** : Incendie, chocs, neige exceptionnelle ou toutes conditions exceptionnelles,

- **Séisme** : Situation spécifique des zones à risque sismique.

Dans ce contexte, pour chacune d'elles, deux types d'états limites sont retenus :

- Les **États Limites Ultimes** qui sont les états associés aux différentes formes de défaillance structurale. Ils visent à satisfaire à la sécurité des personnes et des biens par la vérification de la résistance de la structure vis-à-vis des sollicitations.
- Les **États Limites de Service** qui correspondent à des conditions de fonctionnement des ouvrages et de confort des usagers. Ils visent à satisfaire les exigences d'aptitude au service spécifiées par la vérification notamment des déformations de la structure.

- **Combinaisons d'actions selon l'Eurocode 0**

À chacun des États Limites Ultimes et de Service est associé un type de combinaisons d'actions à vérifier.

Pour chaque situation de projet, **quatre types de combinaisons ELU** sont définis. Cependant, pour les structures bois courantes seules les combinaisons ELU suivantes sont à envisager :

- **STR** : Vérification de la résistance interne de la structure ou de composants structuraux.
- **EQU** : Vérification de l'équilibre statique de la structure ou d'une partie quelconque de celle-ci, en considérant un mouvement de corps rigide ;

Pour les structures bois courantes, seul l'ELU - STR sera nécessaire dans la majorité des projets. On envisagera éventuellement l'ELU – EQU pour les situations transitoires (par exemple, un portique levé non encore contreventé).

En l'absence de spécifications particulières, **deux types de combinaisons ELS** sont précisés :

- **DEF** – Vérification des déformations des composants horizontaux ou verticaux ;
- **VIB** – Vérification de la vibration des planchers bois.

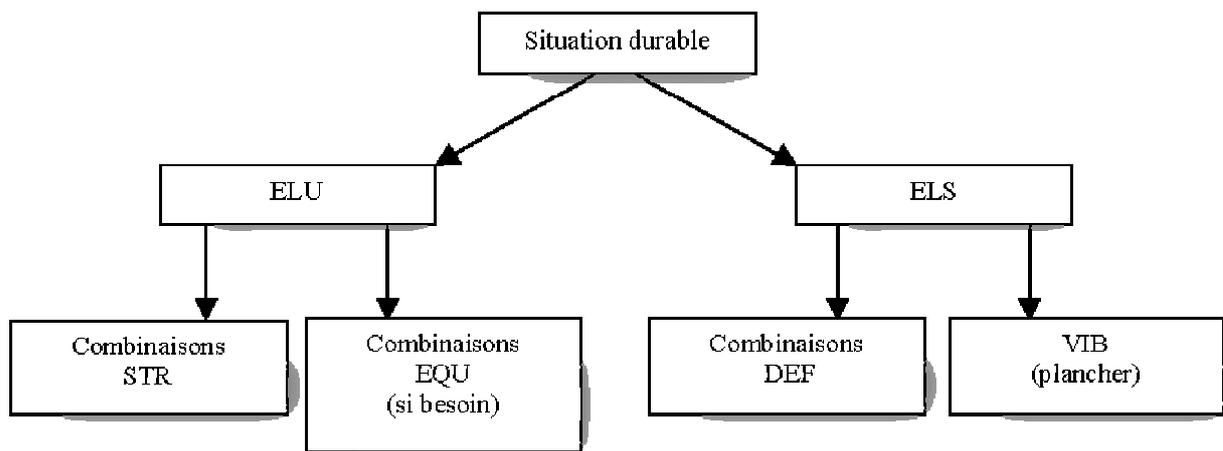


Figure 1 : Logigramme illustrant le cas de la situation durable

La méthode de construction de celles-ci est donnée dans l'Eurocode 0 et son annexe nationale.

2. HYPOTHESES DE CHARGEMENT

A. TYPES D' ACTIONS

Les actions sur les structures sont définies selon l'Eurocode 1.

Pour les calculs courants, trois types d'actions ou d'effets d'actions sont définis selon leurs variations d'intensité dans l'espace et avec le temps :

- les **actions permanentes** comme le poids propre des éléments de construction, noté G_k
- les **actions variables** comme les charges d'exploitation, notées Q_k , l'action de la neige, notée S_k , ou des effets du vent, notés W_k
- les **actions accidentelles** comme la neige exceptionnelle, notée S_{Ad}

B. CHARGES VERTICALES

- Charges permanentes

Les actions permanentes ont **pour origine le poids propre des éléments structuraux et la masse de tous les composants supportés par ces éléments**. Ces charges inertes comprennent les cloisons fixes, l'isolation, les revêtements, les éléments de finitions ou les équipements fixes. Les valeurs de ces charges sont déterminées à partir des dimensions nominales des composants et de la masse volumique moyenne des matériaux constitutifs.

- Charges d'exploitation

Les charges d'exploitation sont données dans NF EN 1991-1-1 et son annexe nationale française NF EN 1991-1-1/NA. **Pour les bâtiments**, les actions d'exploitation correspondent à **des charges mobiles** (i.e. personnes, chariot de manutention, charges d'entretien) **ou à des charges déplaçables** (i.e. mobilier, cloisons paysagères, matières stockées).

- Action de la neige

La méthode de calcul de l'action de la neige sur les structures est donnée dans NF EN 1991-1-3 et son annexe nationale NF EN 1991-1-3/NA. Le domaine d'application de NF EN 1991-1-3 est limité à une altitude de 2000 m. Au-delà, les clauses techniques particulières du projet devront préciser les charges à considérer.

Le calcul de la charge de neige suit **3 étapes principales** :

1. Détermination de la charge de neige au sol
2. Prise en compte de la toiture (coefficients de forme, accumulation, obstacles, etc ...)
3. Calcul de la charge de neige sur la toiture

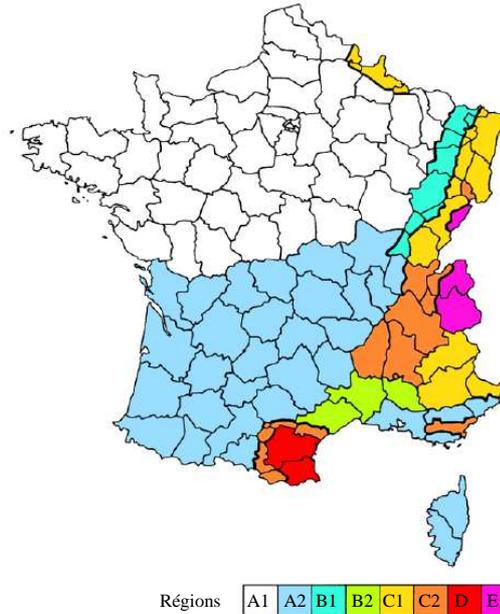


Figure 2 : Carte des régions de neige - NF EN 1991-1-3/NA

C. CHARGES HORIZONTALES

- Action du vent

La méthode de calcul de l'action des effets du vent sur les structures est donnée dans NF EN 1991-1-4 et son annexe nationale NF EN 1991-1-4/NA.

Le domaine d'application couvre les bâtiments courants d'une hauteur maximale $z_{max} = 200$ m.

Les effets du vent sont pris en compte soit à en terme de champ de pression, soit en terme de forces globales. Ces effets sont associés à la classe de durée de chargement instantanée.

Pour chaque direction principale, le calcul de l'action du vent suit **5 étapes principales** :

1. Détermination de la vitesse de référence
2. Prise en compte de l'orographie du terrain, de la rugosité du sol et de la hauteur de référence du bâtiment
3. Calcul de la pression dynamique de pointe due au vent
4. Détermination des coefficients de pression extérieurs et intérieurs
5. Calcul de l'action du vent sur la structure à partir des coefficients de pression et de la pression dynamique de pointe

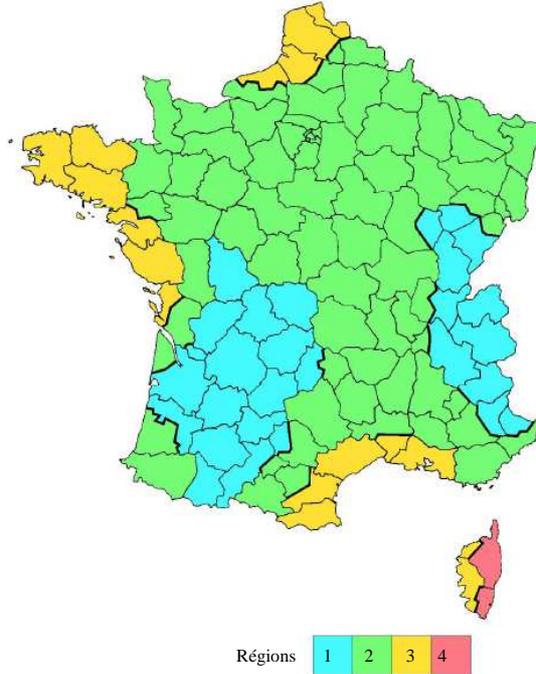


Figure 3 : Carte des régions de vent - NF EN 1991-1-4/NA

3. VERIFICATION DE LA RESISTANCE ET DE LA STABILITE

A. MURS

- Généralités

La descente de charges dans la structure commence chronologiquement par l'étude de la toiture (fréquemment des charpentes industrialisées ou des charpentes traditionnelles) qui va reporter des charges sur les parois verticales. Le dimensionnement des charpentes s'effectue maintenant généralement à l'aide de logiciels de calculs. Le projeteur devra veiller à récupérer les réactions d'appuis du modèle de la charpente, ceci pour chaque cas de charge (vent, neige, poids propre, etc) à la fin de sa vérification. On notera que le vent est une action qui produit principalement une pression normale aux parois sur lesquelles il s'applique. De fait, son action devra être décomposée dans les directions verticale et horizontale de l'ouvrage.

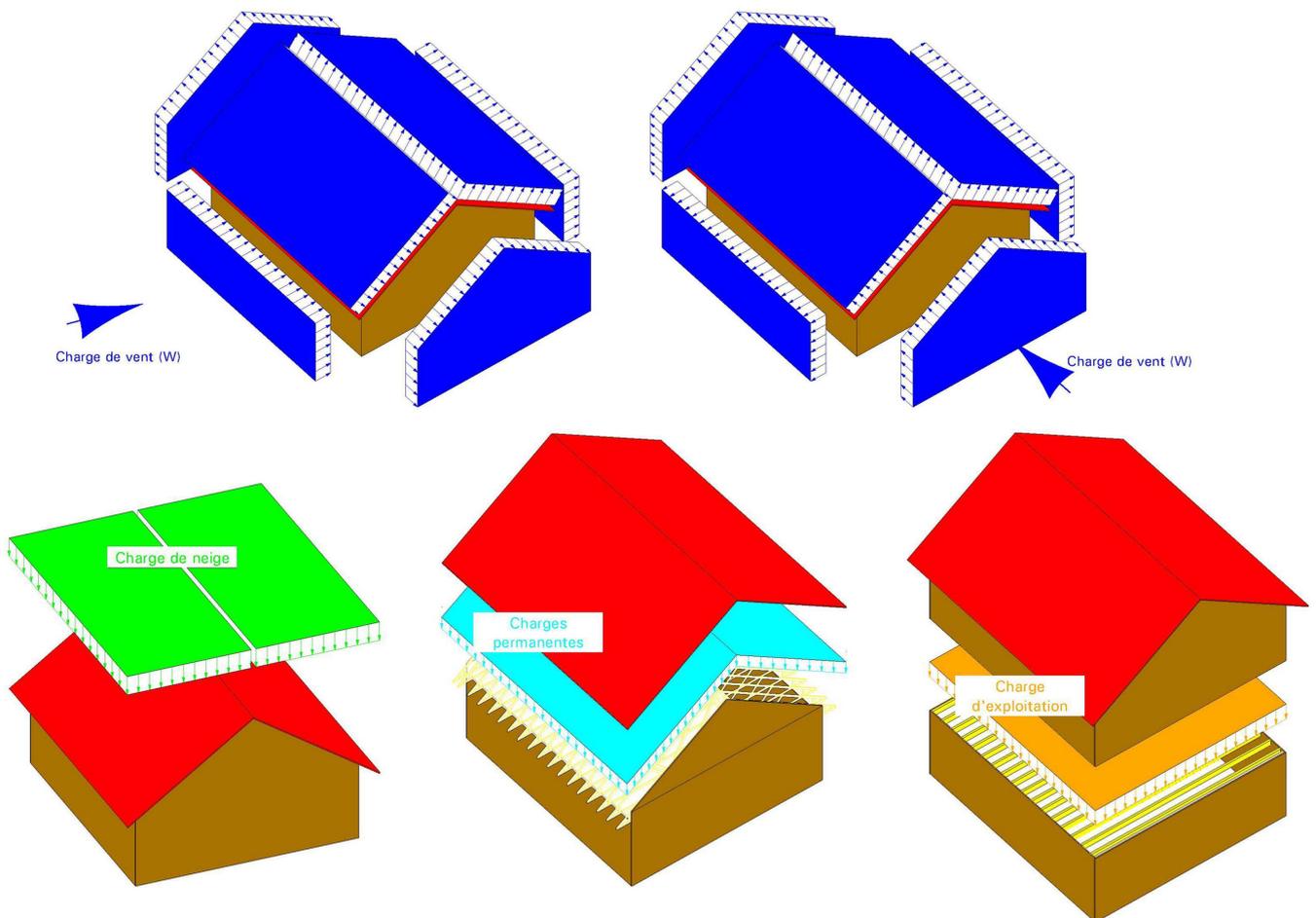


Figure 4 : Schéma de principe des efforts appliqués à une structure

- Vérification de la résistance due aux efforts verticaux

Les composantes verticales des charges permanentes, des actions de la neige et du vent sur la toiture, ainsi que les charges d'exploitation sur les planchers génèrent les charges verticales que doit reprendre l'ossature des murs. L'écoulement de ces efforts est schématisé dans la **Figure 5**.

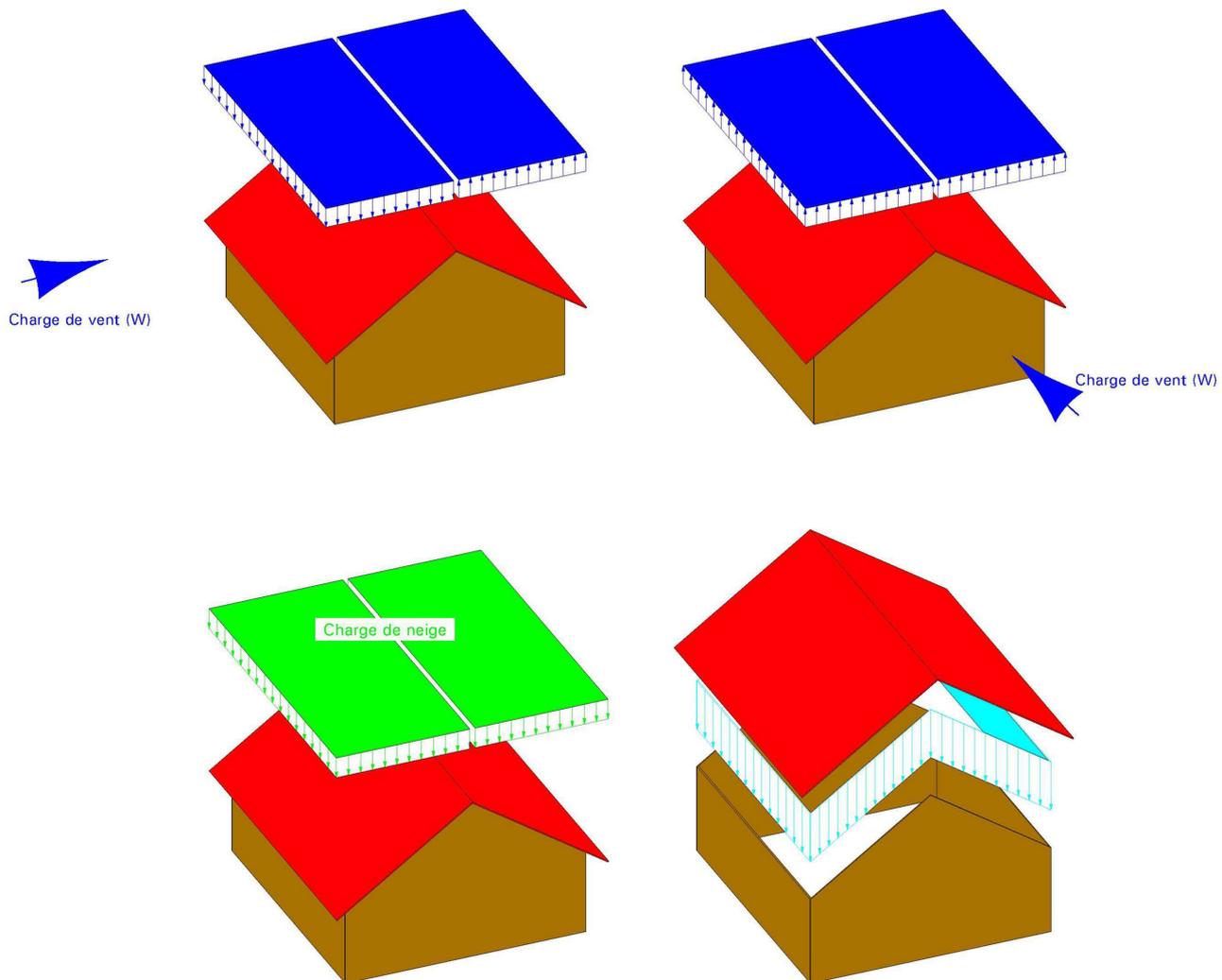


Figure 5 : Schéma de principe des écoulements d'efforts verticaux

Les principales sollicitations à vérifier dans l'ossature des murs sont :

- La compression axiale des montants
- La compression perpendiculaire des traverses et lisses au droit des montants

On note que le risque de flambement des montants doit être considéré. Cependant, on peut négliger le flambement des montants dans le plan des murs (sens de la petite inertie des montants) car les panneaux de contreventement assurent la fonction d'anti flambement continu.

L'ossature peut contenir des éléments fléchis au droit des ouvertures (linteaux, renforts, ...).

Dans ce cas, les sollicitations à vérifier sont :

- La flexion de l'élément
- Le cisaillement induit
- La compression perpendiculaire aux appuis

- Vérification de la résistance due aux efforts horizontaux

Les composantes horizontales des actions du vent sur la toiture et les murs génèrent les charges horizontales que doit reprendre l'ossature des murs et les voiles de contreventement. L'écoulement des efforts est schématisé dans la **Figure 6**.

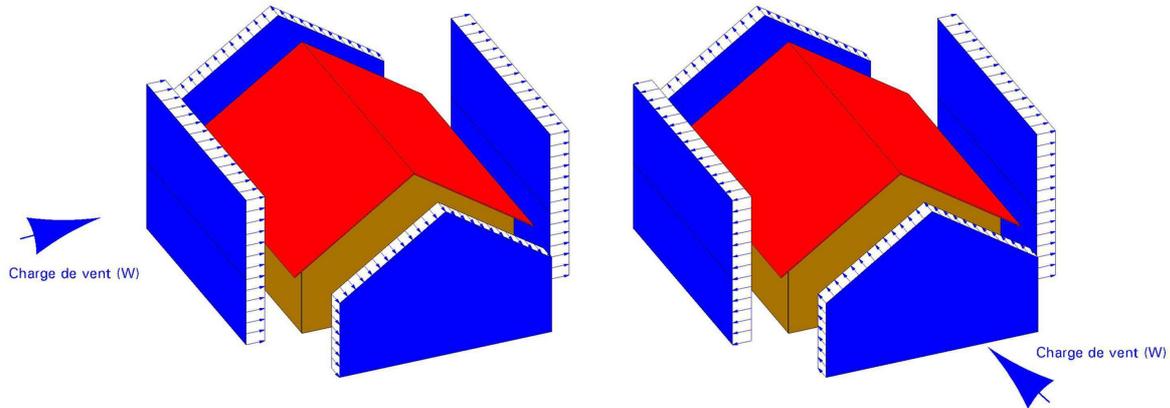


Figure 6 : Schéma de principe des écoulements d'efforts horizontaux

Les sollicitations à vérifier dans les voiles de contreventement (voir **Figure 7** :) sont :

- L'effort de cisaillement appliqué en tête de voile
- La traction / compression des ancrages d'extrémités de chaque voile
- La compression induite dans les montants de l'extrémité comprimée de chaque voile
- L'effort tranchant à la base dans les goujons d'ancrage
- Le cas échéant, les efforts tranchants entre voiles assemblés (voir

- Figure 8)

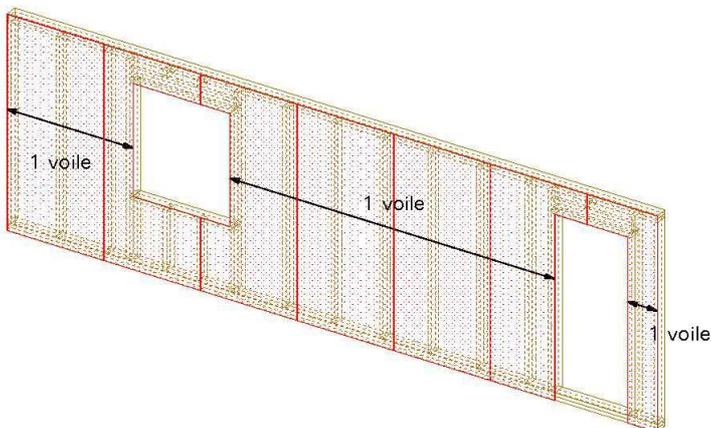


Figure 7 : Description d'un voile de contreventement

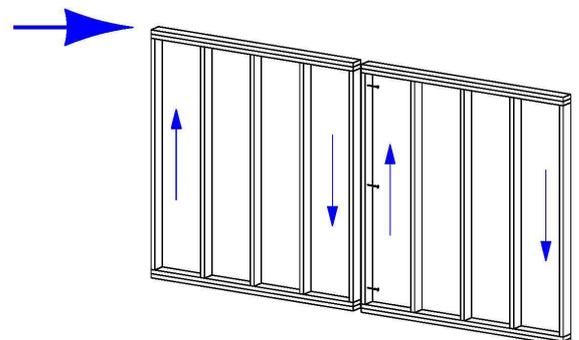
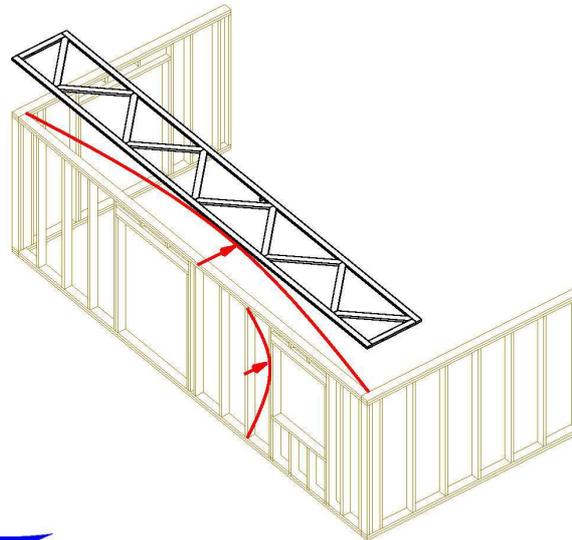


Figure 8 : Schéma de principe des écoulements

d'efforts horizontaux – Contreventement

Les principales sollicitations dues au vent perpendiculaire à la façade à vérifier dans l'ossature des murs sont :

- La flexion des montants (voir **Figure 9**)
- L'effort base dans les d'ancrage
- Le cas échéant, flexion sur la poutre au vent



tranchant à la goujons

les efforts de lisse haute ou la (voir **Figure 9**)

Figure 9 : Schéma de principe des écoulements d'efforts horizontaux – Façade

- Vérification du contreventement - Utilisation de la règle simplifiée du NF DTU 31.2

La justification de la stabilité (voile de contreventement) par la règle simplifiée du NF DTU 31.2, pour autant que la construction satisfasse aux spécifications du NF DTU 31.2 et que les conditions architecturales (notamment limité aux ouvrages simples R+1 maximum et de petite dimension) soient compatibles, est réputée satisfaite pour les murs en maisons individuelles ou en bande entrant dans un domaine d'emploi donné.

Dans ce cas, les efforts de vent à reprendre en contreventement par façade et par niveau, notés $F_{v,Ed}$, sont donnés dans des tableaux en kN. Ils permettent de couvrir l'ensemble des quatre régions de vent et des cinq catégories de rugosité telles que définies dans la norme NF EN 1991-1-4 et son annexe nationale NF EN 1991-1-4/NA.

ETAPE 1 : Déterminer les efforts de vent à reprendre en contreventement par façade et par niveau notés $F_{v,Ed}$.

Par exemple, R + 1 + combles perdus, pente < 50%

Terrain plat ($C_0 = 1,00$)					
kN	rugosité				
Zone	0	II	IIIa	IIIb	IV

1	42,2	33,6	25,8	20,4	19,6
2	50,2	39,9	30,7	24,3	23,3
3	58,9	46,9	36,1	28,5	27,4
4	68,3	54,4	41,8	33,1	31,7

ETAPE 2 : Calculer la résistance d'un voile de contreventement de la façade.

Pour vérifier la résistance des voiles de contreventement de la façade, on doit cumuler les résistances de chaque panneau individuel constituant les voiles de contreventement de cette façade.

La résistance d'un élément de panneau, notée $F_{v,i,Rd}$ en kN, est donnée par la règle simplifiée :

$$F_{v,i,Rd} = 7,05 \cdot \frac{b^2}{h} \cdot C_{fix}$$

Avec

h hauteur du panneau en m

b largeur du panneau en m

C_{fix} coefficient dépendant du choix des fixations

C_{fix}		Pointes				Agrafes	
Diamètre (mm)	Ø	2,1	2,5	2,8	3,1	1,5	1,8
Espacement (mm)	150	1	1,2	1,4	1,6	1,5	1,8
	100	1,5	1,8	2,1	2,3	2,3	2,7
	75	2	2,4	2,8	3,1	3	3,6

ETAPE 3 : Calculer l'effort maximum d'arrachement des ancrages d'extrémités des voiles.

La méthode de calcul des voiles de contreventement de la norme NF EN 1995-1-1 (méthode A) suppose que chaque voile dispose à chacune de ses extrémités d'un ancrage rigide et suffisamment résistant en arrachement. L'effort maximum d'arrachement (traction) des ancrages d'extrémité d'un voile est donné par :

$$F_{ax,vent,Ed} = \frac{F_{v,Ed} \cdot h}{b_{tot}}$$

où

$F_{v,Ed}$ est l'effort de vent à reprendre par le contreventement de la façade considérée en kN

h est la hauteur du mur en m

b_{tot} est la longueur totale cumulée des voiles de contreventement de la façade en m

NOTE : on peut prendre en compte la charge permanente descendante qui s'oppose au soulèvement du voile pour réduire cet effort d'arrachement.

Cet effort d'ancrage doit être repris par le système d'ancrage (équerre, feuillard, boulons, etc...). On se référera aux documents techniques du fabricant, aux Agréments Techniques Européens, ... afin d'en connaître les capacités résistantes.

ETAPE 4 :

Si les voiles de contreventement sont constitués de plusieurs panneaux assemblés sur site, il est indispensable d'assurer la continuité du voile par la fixation des montants d'extrémité de panneaux entre eux. Afin de couvrir l'ensemble du domaine d'emploi de la règle simplifiée, cet assemblage sera réalisé comme suit :

Fixations	Nombre
Boulons 8 mm mini	4
Pointes 3,1 mm mini	23
Vis 6 mm mini	6

ETAPE 5 : Déterminer le nombre d'ancrage minimum nécessaire par mur.

Pour reprendre l'effort tranchant à la base de chaque niveau, les ancrages des lisses basses doivent avoir un espacement maximum de 1 m. La résistance totale en cisaillement $F_{v, ancrage, tot, Rd}$, est définie comme la somme des résistances en cisaillement des ancrages. Conformément aux règles NF EN 1995-1-1, la résistance de calcul en simple cisaillement d'un ancrage est :

Diamètre ancrage	$F_{v, ancrage, Rd}$	
	Bois/Bois	Bois/Béton
8 mm	3,2 kN	4,2 kN
10 mm	3,9 kN	5,7 kN
12 mm	4,6 kN	7,4 kN

On détermine alors, pour chaque niveau, le nombre minimum d'ancrage nécessaire par mur.

- Éléments de stabilité

La nécessité d'avoir un diaphragme horizontal peut avoir plusieurs origines.

Les principaux cas sont :

- Assurer la bonne répartition des efforts horizontaux en tête des murs sur l'ensemble des voiles de contreventement
- Assurer la stabilité en plan d'un ouvrage
- Assurer la stabilité hors plan d'une toiture

Cette fonction de diaphragme peut être obtenue soit par des voiles continus (planchers par exemple), soit par des systèmes triangulés (poutres au vent par exemple).

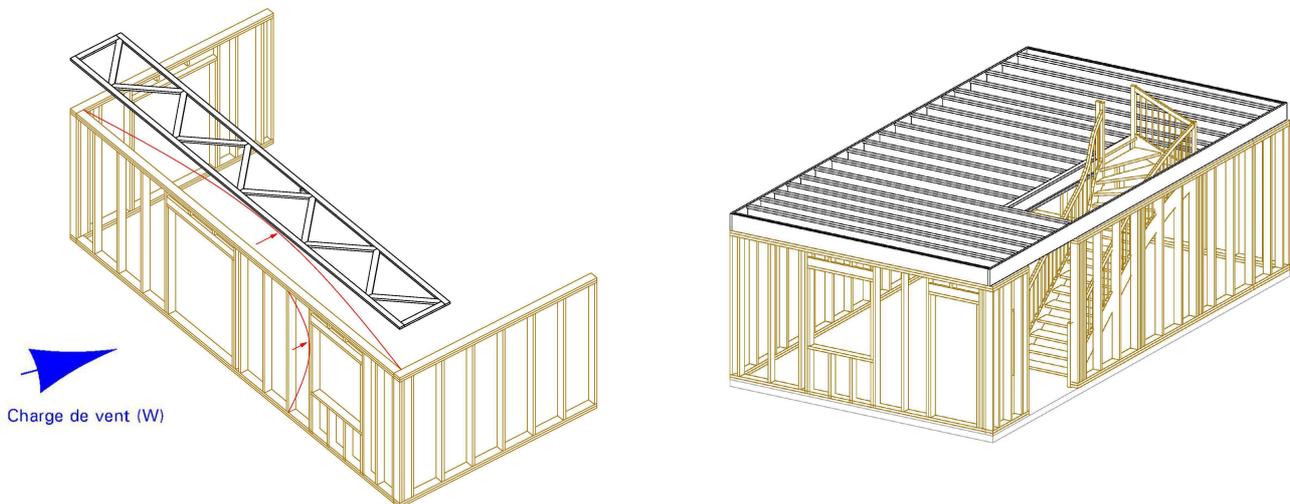
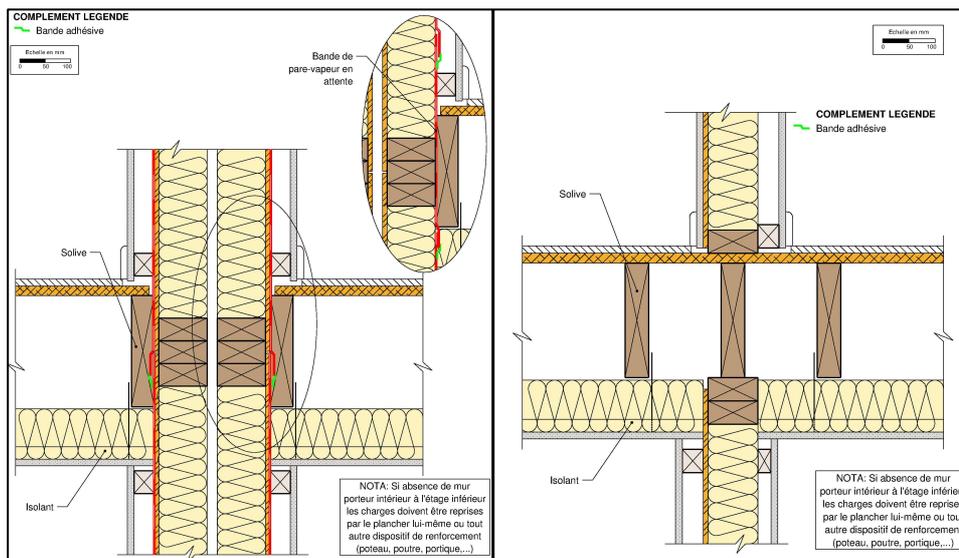
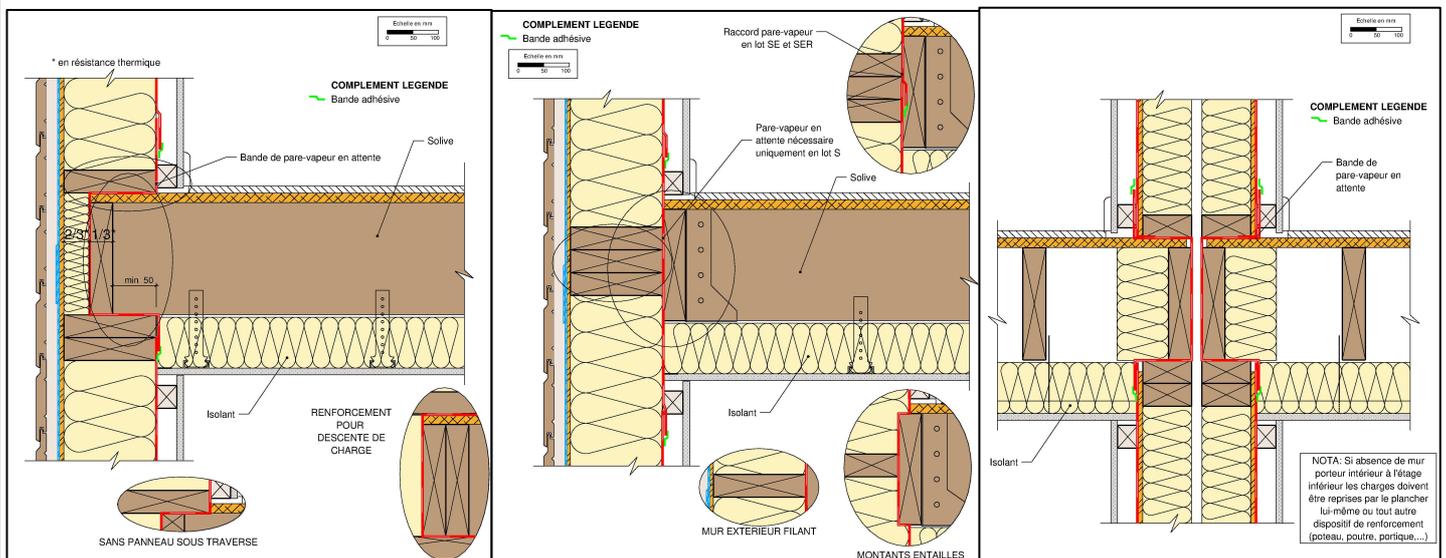


Figure 10 : Exemples d'éléments de stabilité

B. PLANCHERS

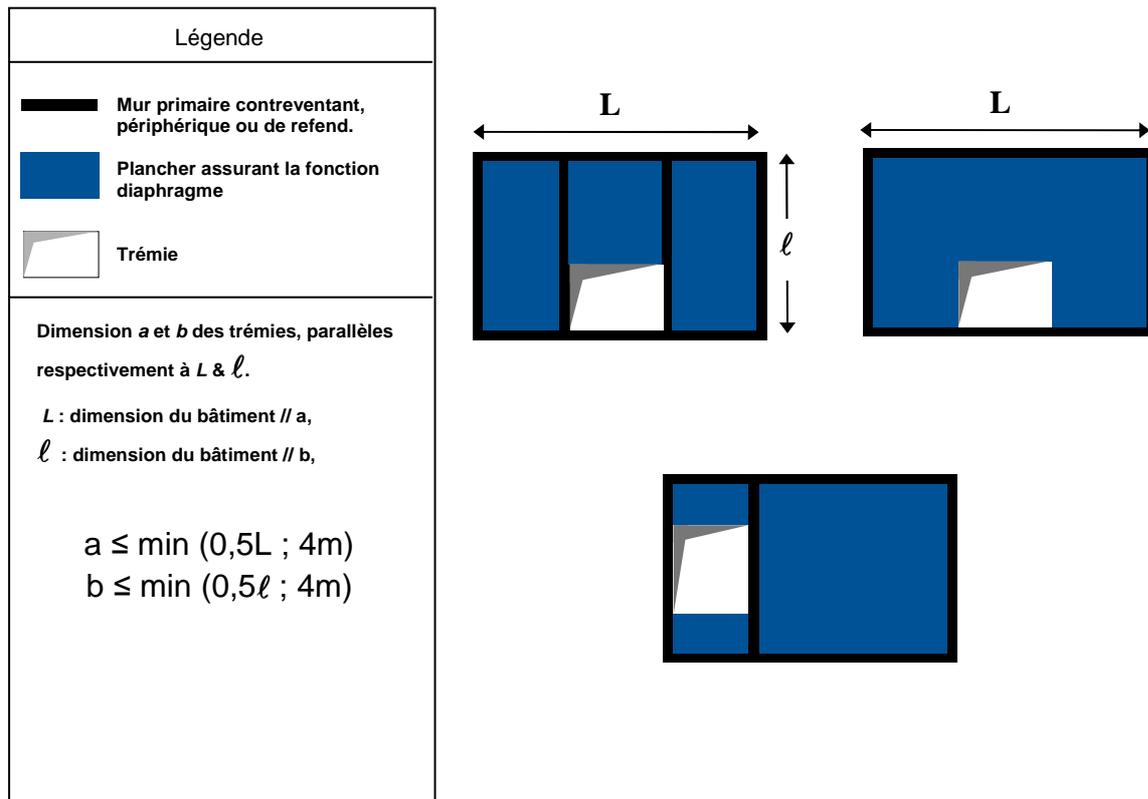
Les éléments porteurs du plancher doivent être mis en œuvre conformément aux prescriptions du NF DTU 31.1 et les panneaux de planchers doivent être mis en œuvre conformément aux prescriptions du NF DTU 51.3. Lorsque ceux-ci doivent assurer une fonction de diaphragme horizontal, la liaison entre les diaphragmes horizontaux de plancher et les contreventements verticaux de murs est primordiale.

Les figures qui suivent présentent des variantes de configuration de liaison entre le plancher et des murs extérieurs ou des murs porteurs intérieurs.



NOTA : Voir les détails des planchers (PI01-04, PI01-07, PI01-10, PI01-11, PI01-09) dans la partie PAROIS du site internet www.catalogue-construction-bois.fr

Lorsque le plancher intermédiaire comporte un percement important (nécessité par exemple pour la trémie d'escalier, ...), ce dernier doit respecter les règles suivantes :



NOTE : Dans le cas de plusieurs percements du diaphragme (trémies, passages de gaines, ...), les dimensions cumulées doivent également respecter ces règles.

Figure 11 : Règles de moyen pour le respect du rôle de diaphragme d'un plancher avec trémie

C. TOITURES

Voir NF EN 1995 (Eurocode 5), NF DTU 31.3 et NF DTU 31.3

4. SITUATION DE SEISME

Voir Arrêté du 22-10-2010, Modificatif du 30-10-2012, Décret 2010-1254 du 22-10-2010, Décret 2010-1255 du 22-10-2010, NF EN 1998-1 et son annexe nationale NF EN 1998-1/NA.

Parmi quelques principes de bon fonctionnement et risques d'une structure face à un séisme, on retiendra **qu'une structure en bois, légère, bien conçue (notamment en ce qui concerne ses fondations, ancrages, assemblages...), sans surcharge excessive en toiture, a de grandes chances de rester stable pendant un séisme.** De plus, il est préférable de **scinder les structures en différentes unités** dynamiquement indépendantes, notamment si la structure est longue et/ou présente des zones à hauteurs différentes ou à rigidités différentes (bâtiment en L par exemple).

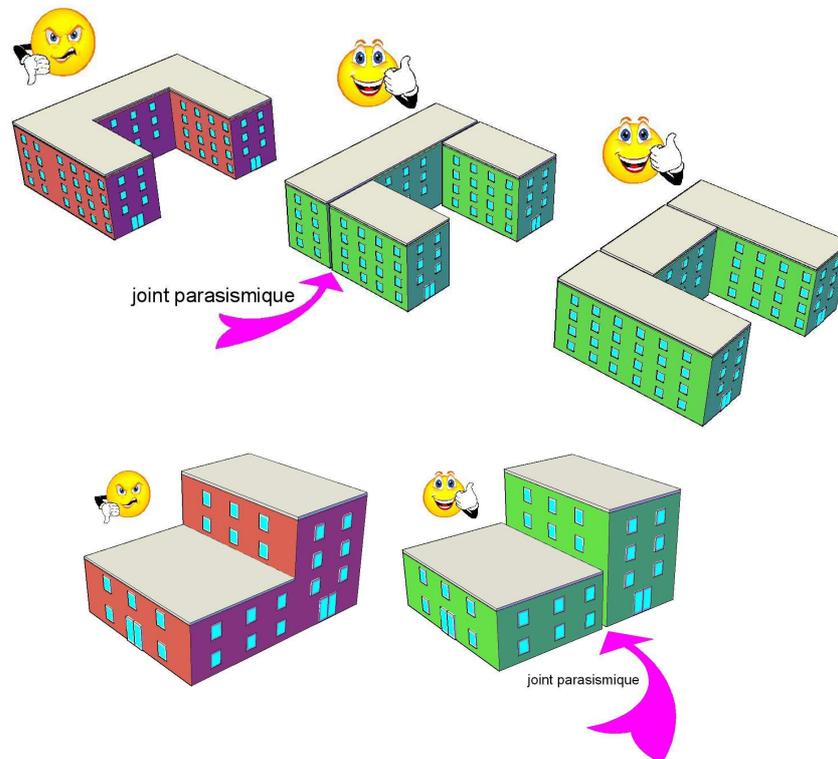


Figure 12 : Exemple de conception à privilégier pour une meilleure résistance au séisme

De fait, plusieurs principes de base pour un bon comportement sismique peuvent être énoncés :

- Nécessité de **soigner les dispositions constructives**,
- Capacité des **assemblages et ancrages à reprendre des efforts alternés**,
- Une structure **légère et peu élancée** est moins sensible aux effets dynamiques,
- Des structures, ou parties de structures, **homogènes, régulières** en plan et en coupe verticale, présenteront un comportement plus fiable et plus facile à appréhender.

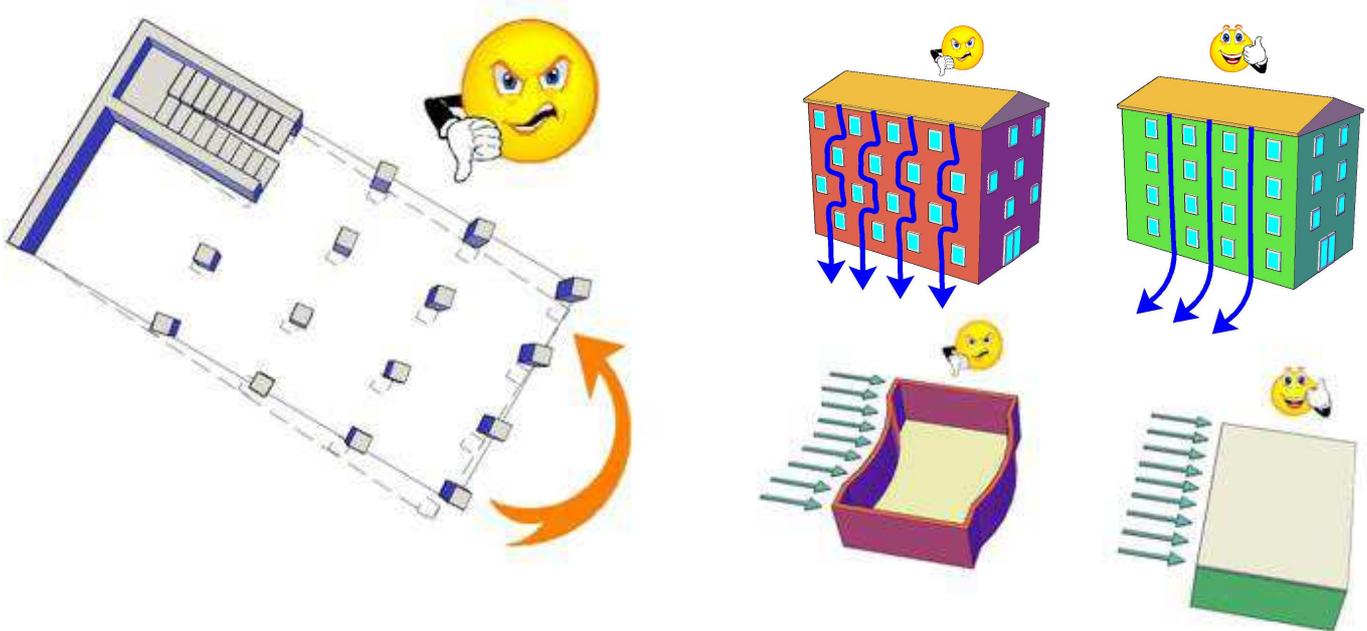


Figure 13 : Exemple de conception à privilégier pour une meilleure résistance au séisme

Un soin particulier à la conception des **liaisons intra et inter structures** et leur dimensionnement selon les principes de **sur-résistance** peuvent permettre de les respecter. Il est toutefois plus facile d'appliquer ces principes, si la **configuration du bâtiment n'est pas figée**, c'est à dire si le souci de construction parasismique est **pris en compte très tôt dans la conception**. La possibilité de disposer de **zones dissipatives** (assemblages ductiles avec capacité importante de dissiper l'énergie introduite par les mouvements du sol) servies par des liaisons et diaphragmes horizontaux dimensionnés en sur-résistance est un atout pour obtenir un bon comportement sismique d'une structure.

La méthode de calcul de l'action des effets du séisme sur les structures est donnée dans NF EN 1998-1 et son annexe nationale NF EN 1998-1/NA. Le domaine d'application couvre les **bâtiments dits à « risque normal »**. On entend par « risque normal » des ouvrages dont la ruine n'affecte que lui-même et son environnement immédiat (a contrario des ouvrages à « risque spécial » comme les barrages hydrauliques, centrales nucléaires, ...).

Les effets du séisme sont pris en compte en termes de forces inertielles. Ces effets sont associés à la classe de durée de chargement instantanée.

Le calcul de l'action du séisme suit 7 étapes principales :

1. Vérification des **critères de régularité** en plan et en élévation
2. Détermination de l'**accélération du sol de référence** selon la zone de sismicité
3. Prise en compte de la **catégorie d'importance de l'ouvrage**
4. Détermination des **périodes fondamentales**

5. Détermination de l'**accélération de calcul** sur le spectre élastique ou de calcul selon la méthode d'analyse retenue
6. Calcul de l'**effort tranchant à la base**
7. Calcul des **efforts à chaque niveau**

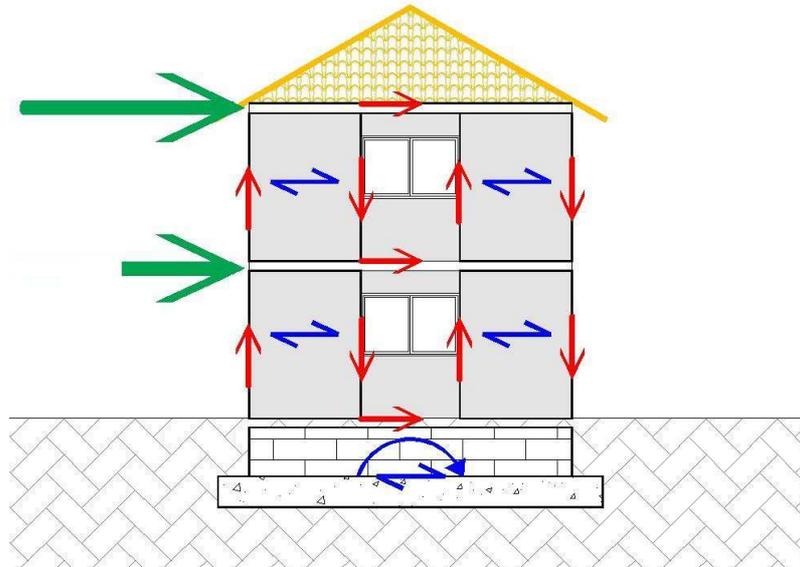


Figure 14 : Schéma présentant l'écoulement des efforts lors d'un séisme

La carte sismique, les accélérations de référence et les catégories d'importance relèvent de la compétence de l'autorité nationale par arrêtés et décrets.

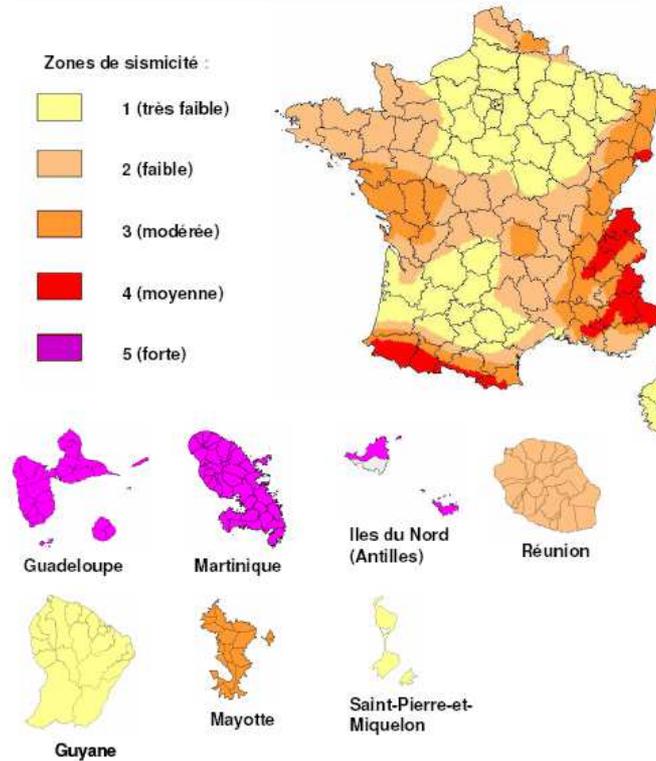


Figure 15 : Carte sismique selon le Décret 2010-1255 du 22-10-2010

Pour **déterminer les différents efforts statiques latéraux équivalents** permettant d'utiliser des calculs linéaires identiques à la justification au vent, plusieurs modélisations et méthodes de calculs sont proposées par l'EN 1998-1.

Si on ne retient que ces méthodes linéaires, **deux techniques principales sont proposées** (méthode modale et force latérale) et **une intermédiaire**, méthode de Rayleigh. Le degré de complexité, ainsi que la possibilité d'utiliser l'une ou l'autre de ces méthodes sont assujettis aux caractéristiques de régularité de la structure. Ces critères relèvent de deux considérations, une géométrique et l'autre mécanique.

En fonction du respect ou non des critères de régularité, ces méthodes d'analyse sont présentées ci-après :

Régularité		Simplifications admises		Coefficient de comportement q (analyse linéaire)
Plan	Élévation	Modèle	Analyse élastique linéaire	
Oui	Oui	2D	Force latérale	Valeur de référence
Oui	Non	2D	Modale	Valeur minorée
Non	Oui	3D	Force latérale	Valeur de référence
Non	Non	3D	Modale	Valeur minorée

Enfin, on pourrait également ajouter un contrôle de bonne réalisation des dispositions retenues. Si cet aspect ne relève pas directement des Eurocodes, l'EN 1998 souligne **la nécessité d'établir des documents stipulant :**

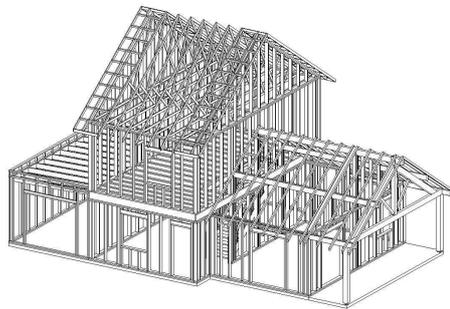
- la **définition des matériaux** utilisés avec leurs caractéristiques,

- la **définition des éléments principaux** pour la stabilité de l'ouvrage sous sollicitations sismiques,
- un **plan de système qualité** pour leur réalisation.

5. COMMUNICATION DES DESCENTES DE CHARGES GLOBALES AU GROS-OEUVRE

A. PRISE EN COMPTE DE L'ECOULEMENT DES EFFORTS

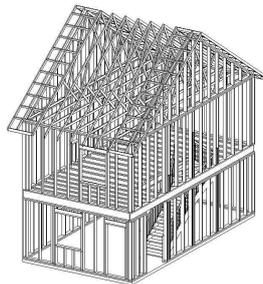
DECOMPOSITION DU BATIMENT ETUDE POUR APPLICATION DES CHARGES



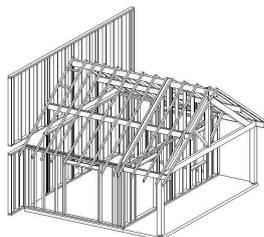
Volume 1



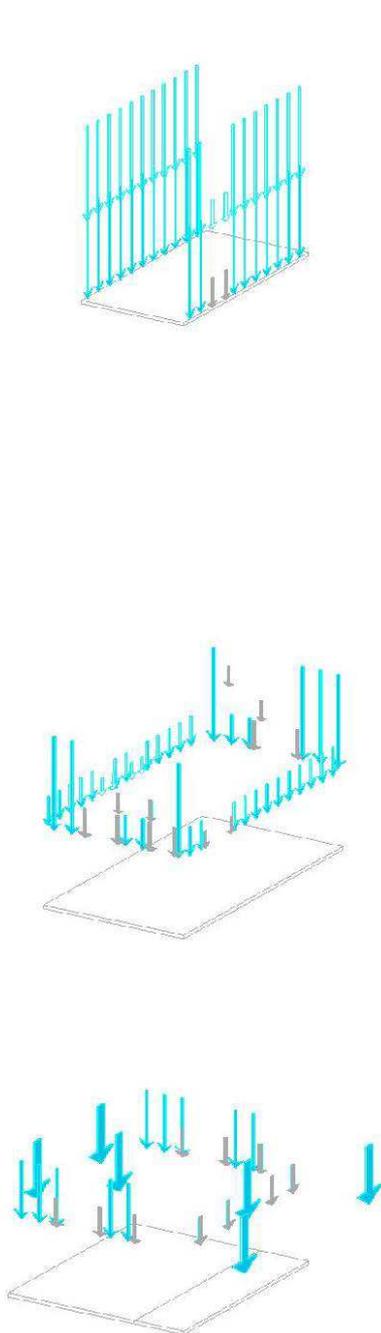
Volume 2



Volume 3



CHARGES DE NEIGE



CHARGES PERMANENTES



CHARGES DE VENT

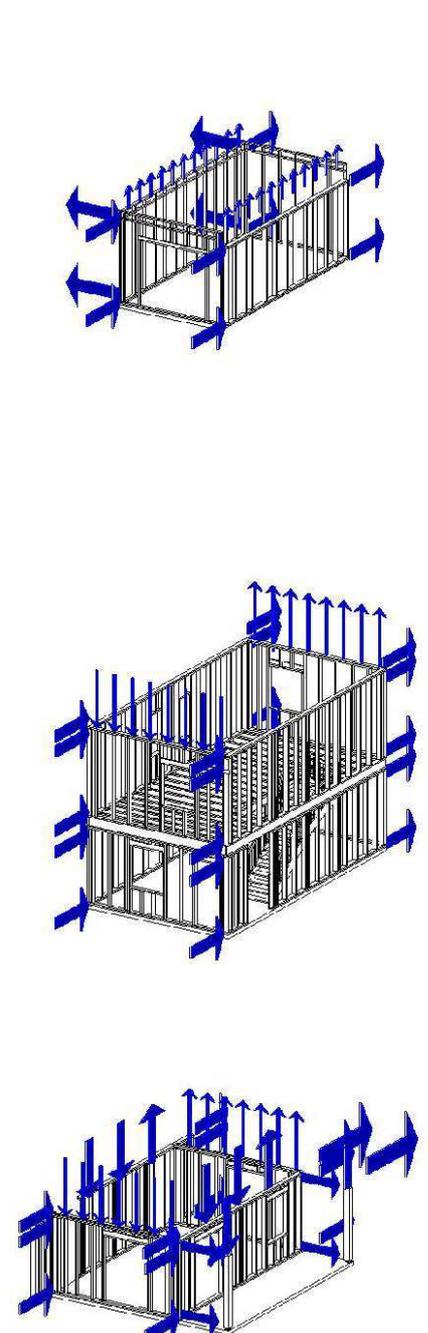


Figure 16 : Détail de l'écoulement des efforts

