

EPSAA - construction A3
Guillaume NICOLAS - 2019-2020

S1-C02 / **Les éléments et la hiérarchie structurels**

cours en partie conçu à partir de l'enseignement de Sylvain Ebode et Marc Leyral,
avec leur autorisation, disponible sur www.construire-l-architecture.com

**Rappels de la séance précédente :
qu'a-t-on appris ?**

II. Quelques définitions et réflexions à propos...

typologie des ouvrages

II. Quelques définitions et réflexions à propos...

typologie des ouvrages

1. la structure porteuse
2. les ouvrages de clos et de couvert
et les divisions internes
3. les services et les équipements

II. Quelques définitions et réflexions à propos...

typologie des ouvrages ...et des corps d'état

1. la structure porteuse
2. les ouvrages de clos et de couvert
et les divisions internes
3. les services et les équipements

II. Quelques définitions et réflexions à propos...

typologie des ouvrages ...et des corps d'état

1. la structure porteuse
 - > maçonnerie, charpente
 - terrassement
2. les ouvrages de clos et de couvert
et les divisions internes
 - > couverture, étanchéité,
menuiseries ext., bardage
 - > cloisons, menuiseries int.
3. les services et les équipements
 - > électricité, plomberie, chauffage
 - ventilation, ascenseur, réseaux divers

II. Quelques définitions et réflexions à propos...

typologie des ouvrages ...et des gestes

1. la structure porteuse
2. les ouvrages de clos et de couvert
et les divisions internes
3. les services et les équipements

II. Quelques définitions et réflexions à propos...

typologie des ouvrages ...et des gestes

1. la structure porteuse > fonder, élever, franchir
2. les ouvrages de clos et de couvert > couvrir et clore
et les divisions internes > aménager
3. les services et les équipements > équiper

III. Les outils de la structure

Les différents types de calcul

III. Les outils de la structure

Les différents types de calcul

mental VS posé

réfléchi VS automatique

autonome VS assisté (calculatrice, ordinateur, smartphone)

exact VS approché

numérique VS graphique

III. Les outils de la structure

rappel sur la proportionnalité

astuce : **raisonner sur les unités**

ex. 1 : La maison à 100 000 € fait 50 m².

Un m² de la maison vaut donc $100\ 000\ \text{€} / 50\ \text{m}^2 = 2\ 000\ \text{€} / \text{m}^2$

Puis ramener à la quantité désirée : $65\ \text{m}^2 * 2\ 000\ \text{€/m}^2 = 130\ 000\ \text{€}$

ex. 2 : La surface initiale est de 50 m² ce qui représente 100%.

Donc 1m² vaut : $100\ \% / 50\ \text{m}^2 = 2\ \% / \text{m}^2$.

Une augmentation de 15 m² représente donc une augmentation de :

$15\ \text{m}^2 * 2\ \%/ \text{m}^2 = 30\ \%$

S1-C03 / Les éléments et la hiérarchie structurels

Qu'est-ce que la «structure» d'un bâtiment ?

Qu'est-ce que la «structure» d'un bâtiment ?

Proposition de définition :

La structure d'un bâtiment est l'ensemble des ouvrages qui sont nécessaires pour porter les activités humaines et porter l'enveloppe qui abrite ces activités.

Ne sont pas structurels le clos, le couvert, les aménagements intérieurs et les équipements.

Les trois conditions d'une structure :

1. **stabilité** : que ça ne tombe pas comme un château de carte

2. **solidité** : que ça ne casse pas

3. **rigidité** : que ça ne se déforme pas pas trop

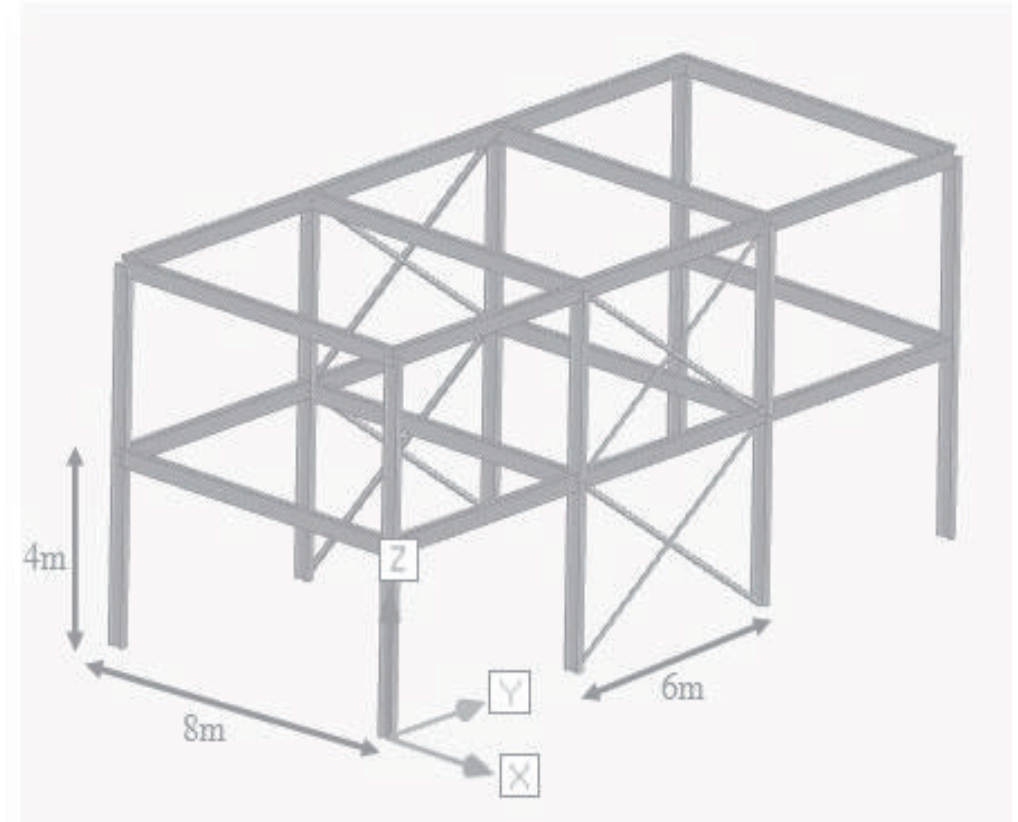
I. Les éléments des structures

I.a/ les trois fonctions structurelles :

1/ Franchir

2/ Porter

3/ Contreventer

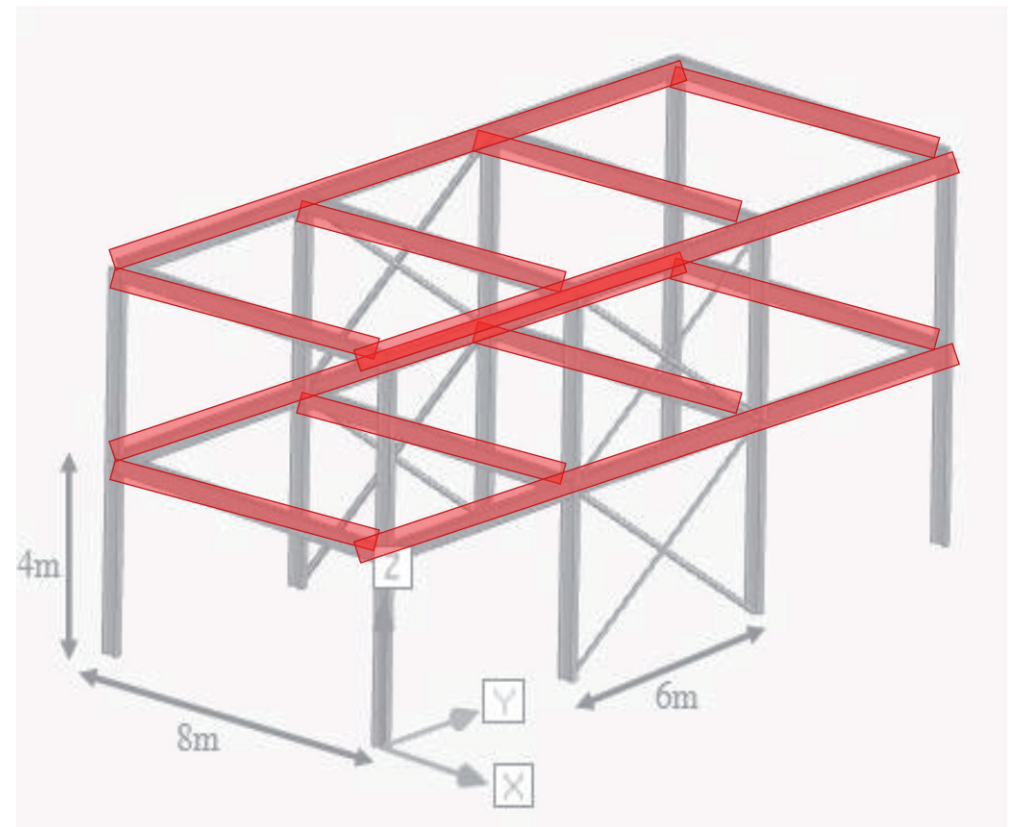


I. Les éléments des structures :

I.a/ les trois fonctions structurelles

1/ Franchir

- couvrir ou traverser les espaces
- reprendre et distribuer les charges vers les éléments qui portent
- d'allure horizontale
- fonctionnent **essentiellement en flexion**



I. Les éléments des structures :

I.a/ les trois fonctions structurelles

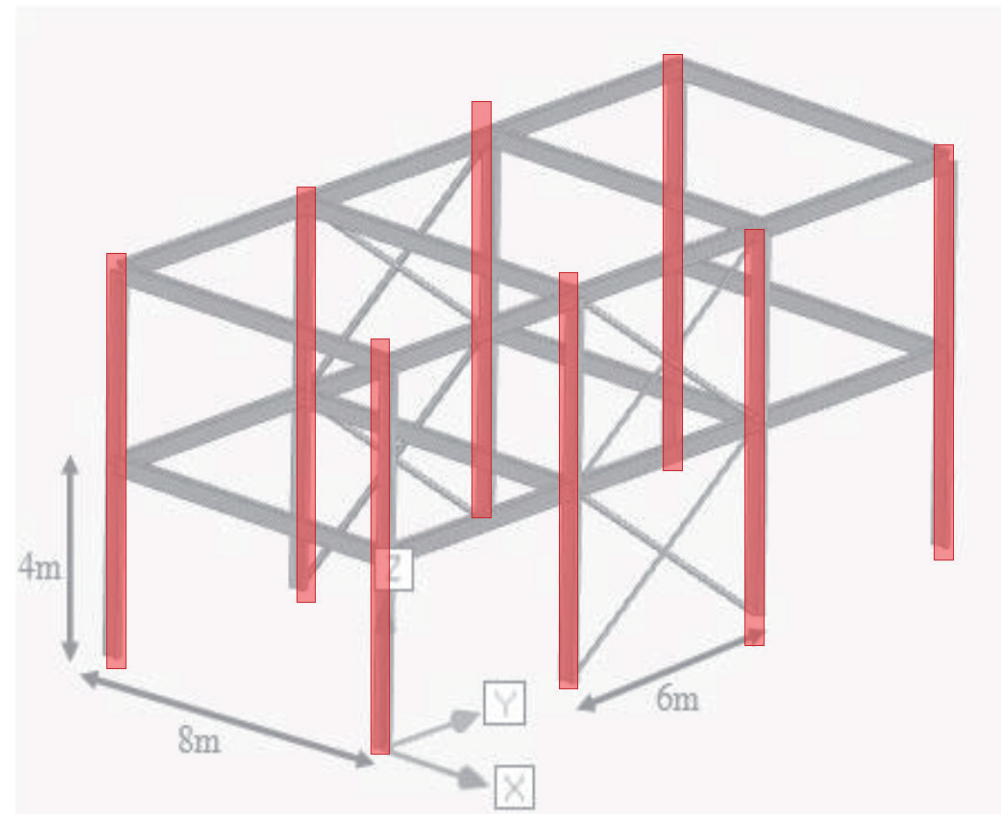
2/ Porter

- faire transiter l'ensemble des charges vers les fondations et le sol

- d'allure verticale

- fonctionnent essentiellement en **compression** (étais) ou* en **traction** (tirants)

* dépend de la position dans la structure et du chargement



I. Les éléments des structures :

I.a/ les trois fonctions structurelles

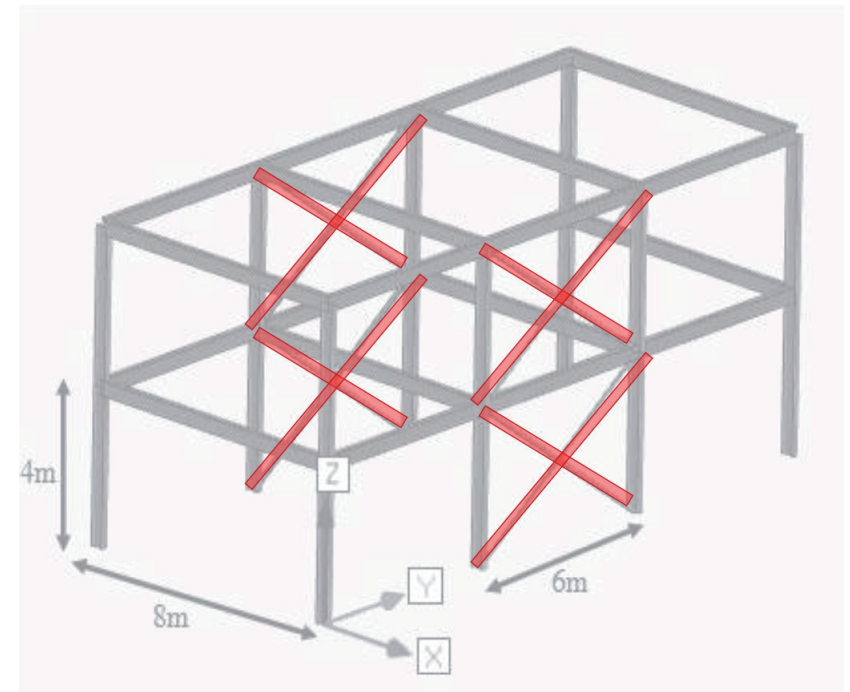
3/ Contreventer

- stabiliser le bâtiment lorsqu'il est soumis à des charges latérales (vent)

- d'allure diagonales

- fonctionnent essentiellement en **compression** (étais)
ou* en **traction** (tirants)

* dépend du sens du vent



application

grenier à Saint Macaire (33)







I. Les éléments des structures :

I.b/ éléments pour franchir

Les éléments de franchissement peuvent être :

linéaires (poutres) :

Les poutres fonctionnent principalement en **flexion**.

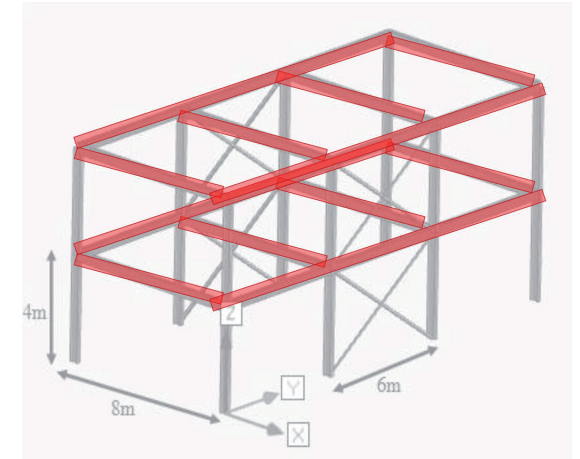
Dans une section de poutre, la flexion peut être décomposée en traction et compression.

C'est-à-dire que dans une poutre :

- la longueur de certaines parties aura tendance à diminuer (là où il y a de la compression). Ces zones peuvent être soumises au flambement.
- la longueur de certaines parties aura tendance à croître (là où il y a de la traction).

surfacciques (plaques ou dalles) :

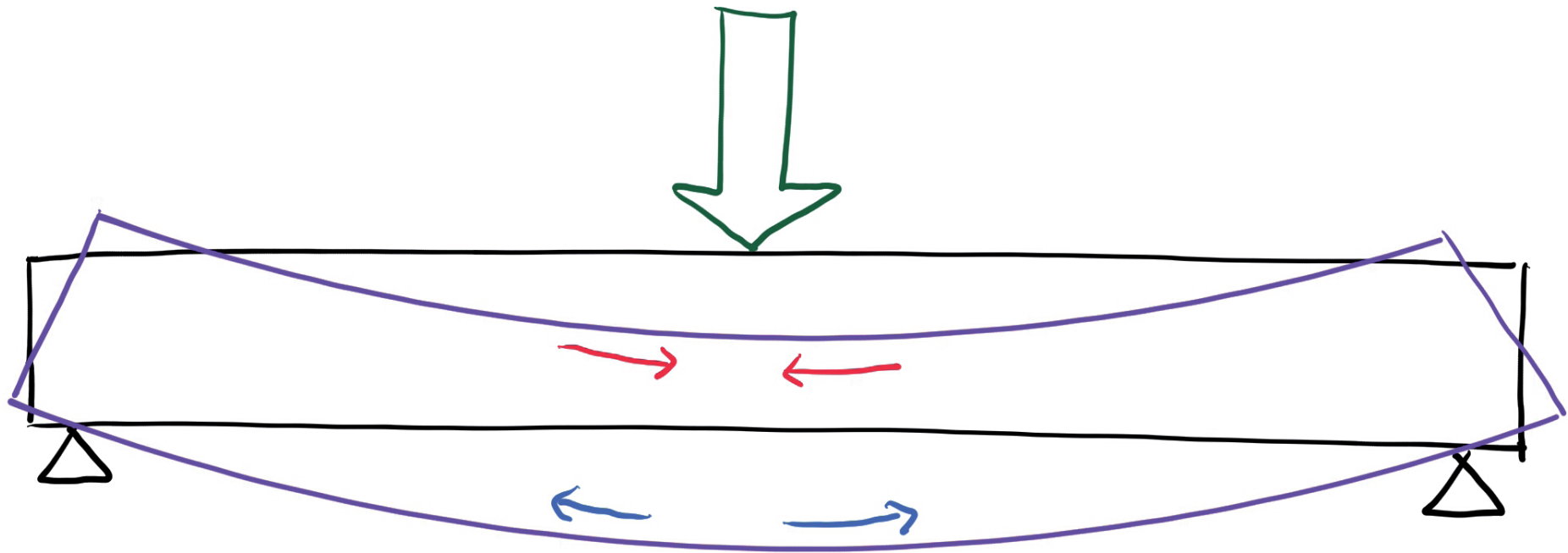
Les dalles fonctionnent principalement en **flexion** et peuvent, en première approche, être assimilées à une succession de poutres accolées



I. Les éléments des structures :

I.b/ éléments pour franchir

Fonctionnement des éléments de franchissement



— déformation

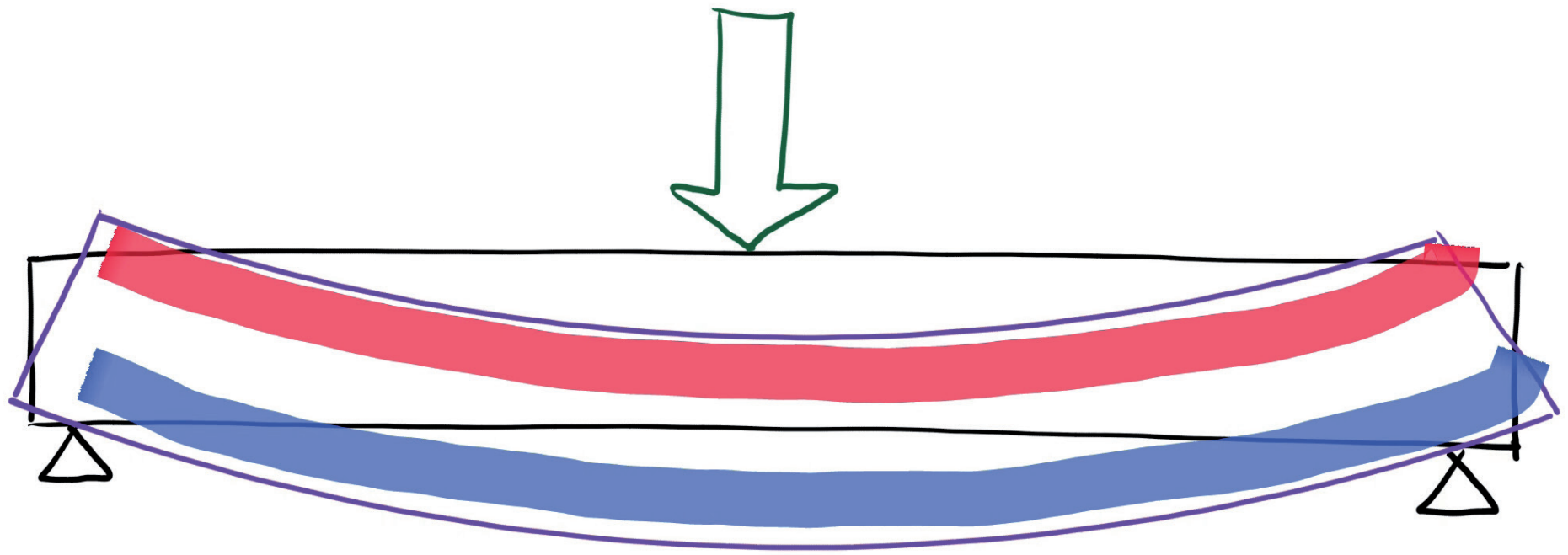
— compression

— traction

I. Les éléments des structures :

I.b/ éléments pour franchir

Déformation des poutres selon les conditions d'appui / **cas 1 : deux appuis simples**



— déformation

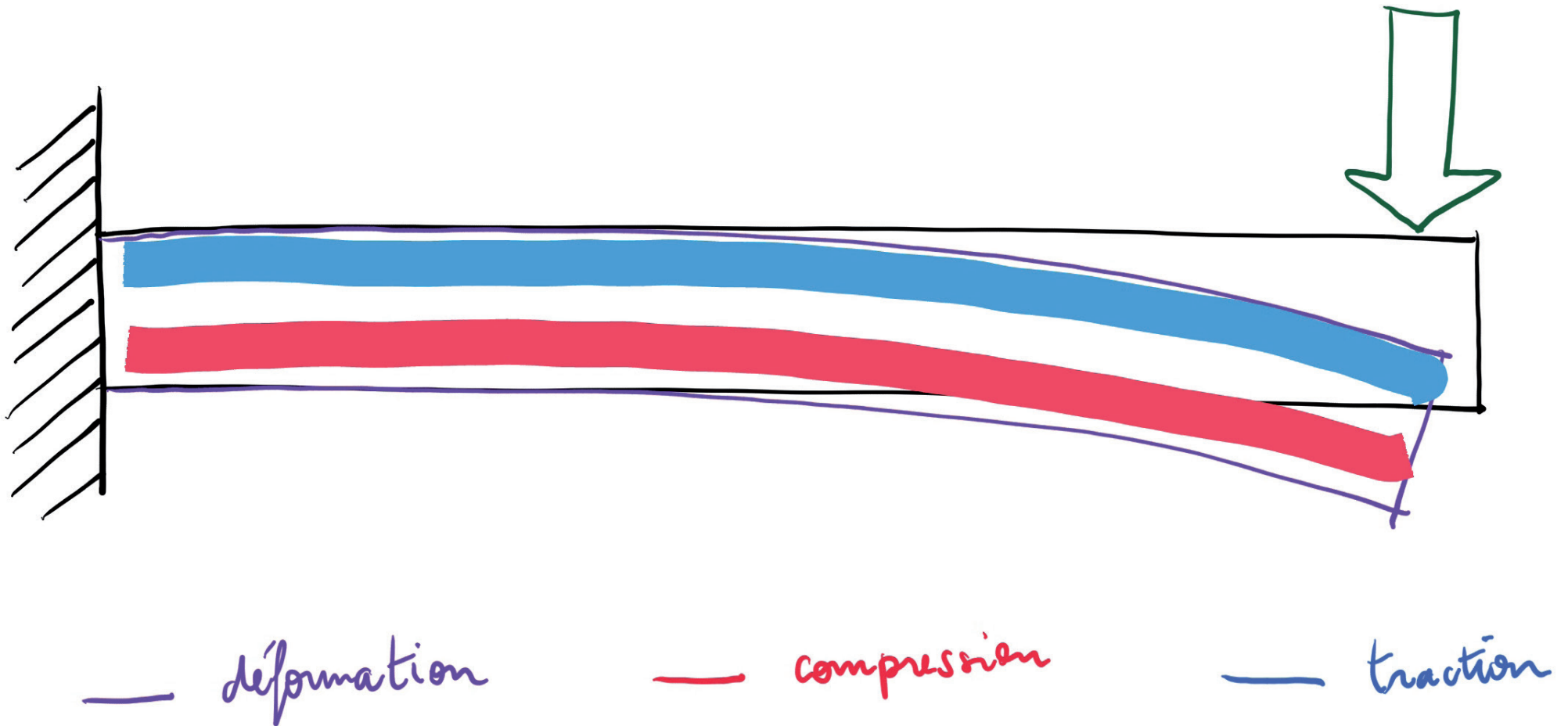
— compression

— traction

I. Les éléments des structures :

I.b/ éléments pour franchir

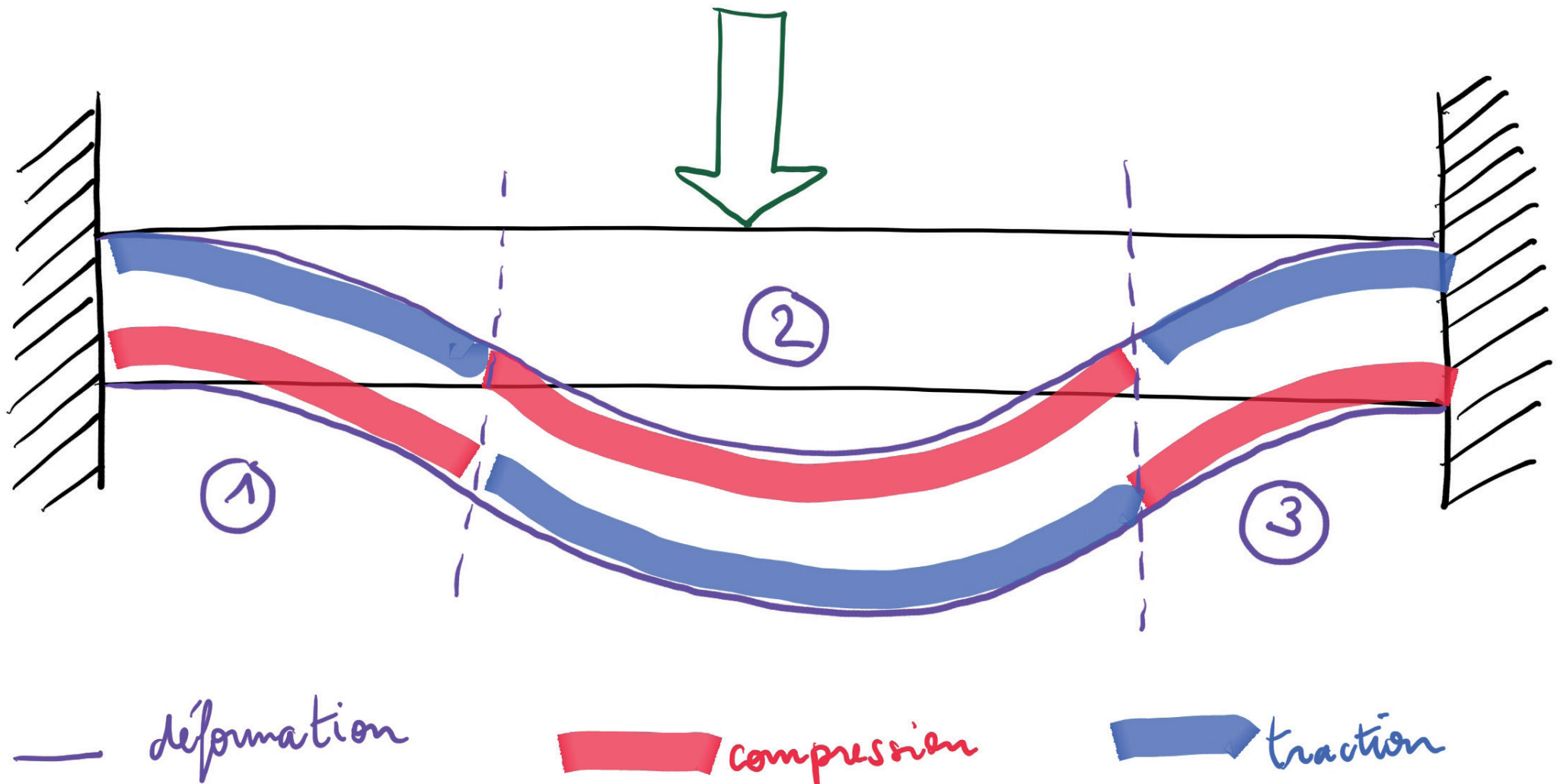
Déformation des poutres selon les conditions d'appui / **cas 2 : porte-à-faux**



I. Les éléments des structures :

I.b/ éléments pour franchir

Déformation des poutres selon les conditions d'appui / **cas 3 : bi-encastrement**



I. Les éléments des structures :

I.b/ éléments pour franchir

Exemples de franchissement à l'échelle du bâtiment

1/ Musée d'art contemporain de Sao Paulo, Lina Bobardi arch., 1958



I. Les éléments des structures :

I.b/ éléments pour franchir

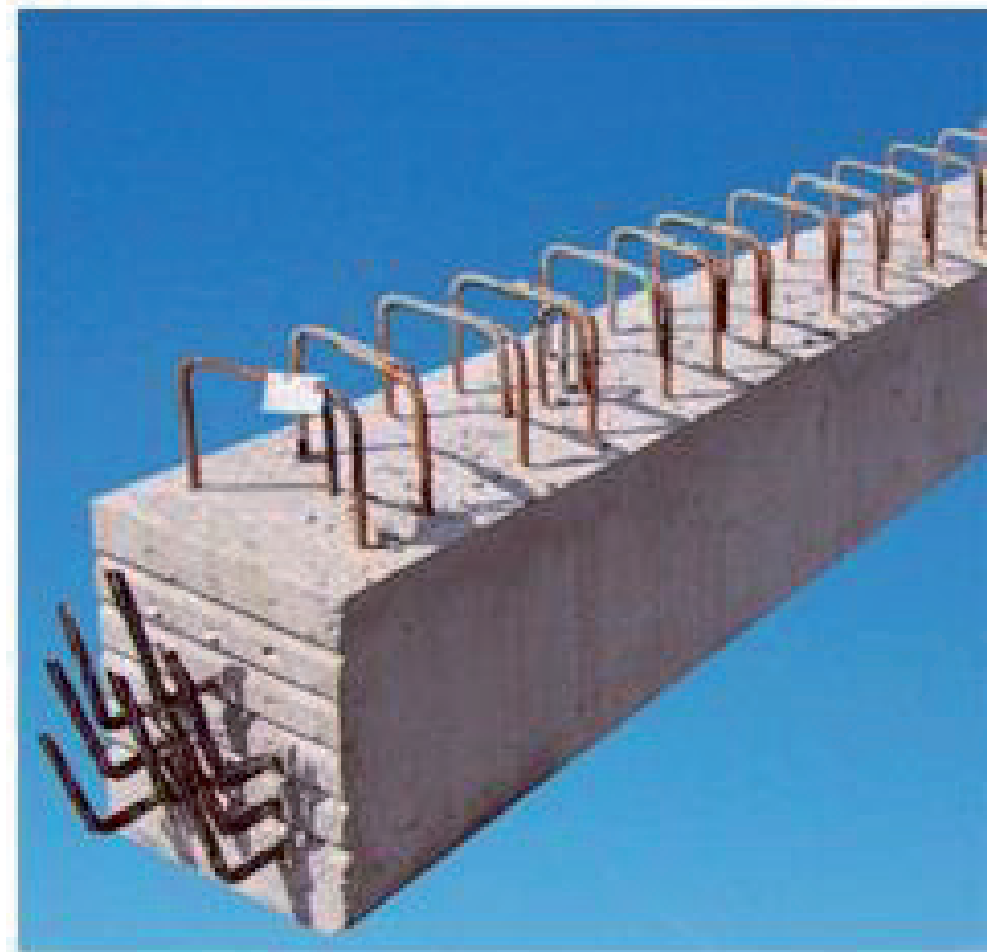
Exemples de franchissement à l'échelle du bâtiment
2/ Médiathèque Milstein Hall Cornell University, OMA, 2009



I. Les éléments des structures :

I.b/ éléments pour franchir

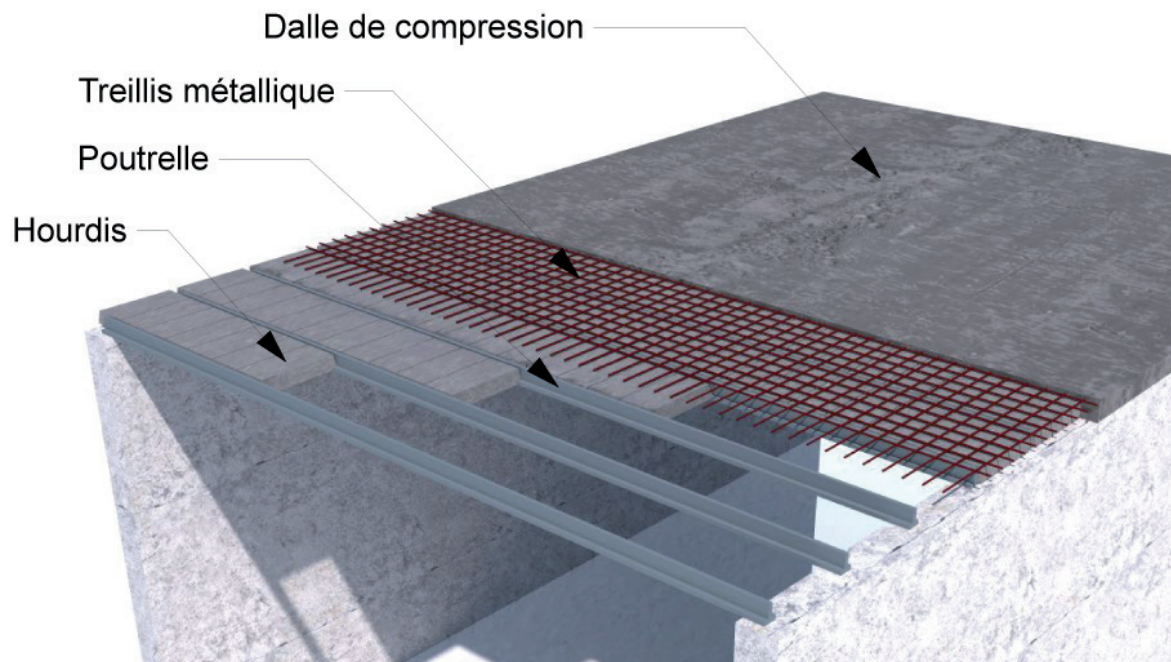
Quelques éléments de franchissement linéaires :



I. Les éléments des structures :

I.b/ éléments pour franchir

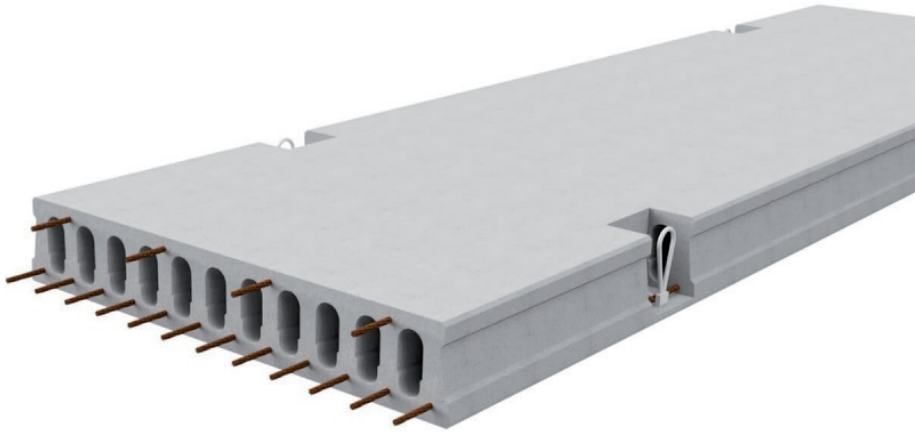
Quelques éléments de franchissement surfaciques :
plancher poutrelles et hourdis (ou entrevous)



I. Les éléments des structures :

I.b/ éléments pour franchir

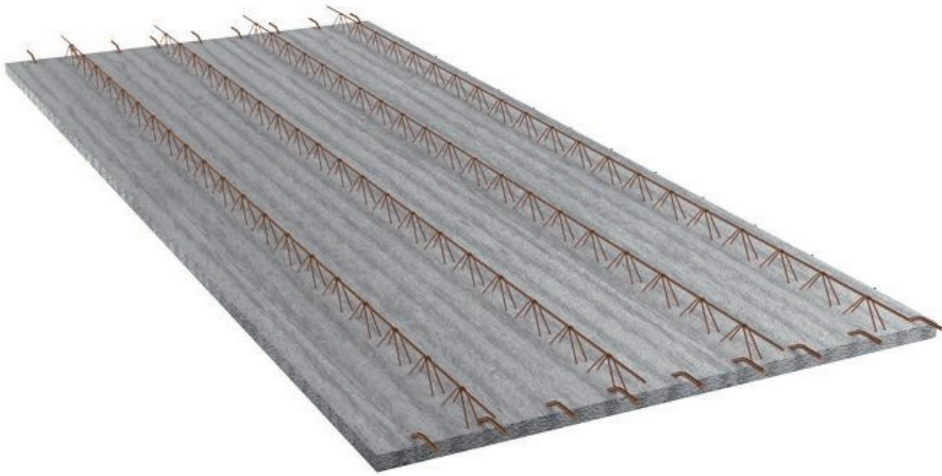
Quelques éléments de franchissement surfaciques :
plancher en dalles alvéolées



I. Les éléments des structures :

I.b/ éléments pour franchir

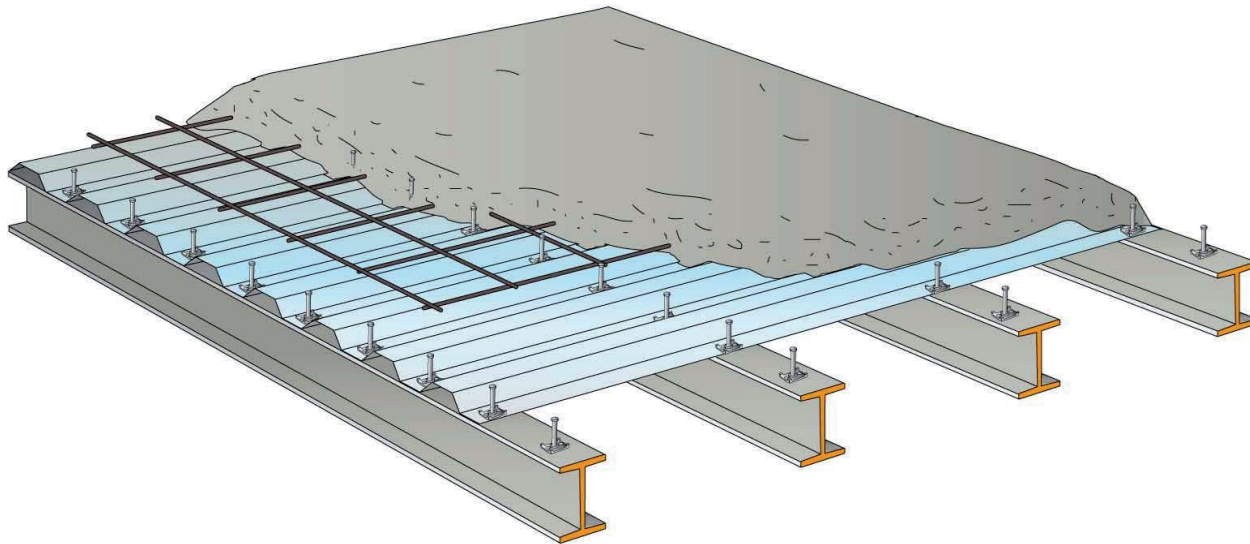
Quelques éléments de franchissement surfaciques :
plancher en dalles ou prédalles



I. Les éléments des structures :

I.b/ éléments pour franchir

Quelques éléments de franchissement surfaciques :
plancher collaborant



I. Les éléments des structures :

I.c/ éléments pour porter

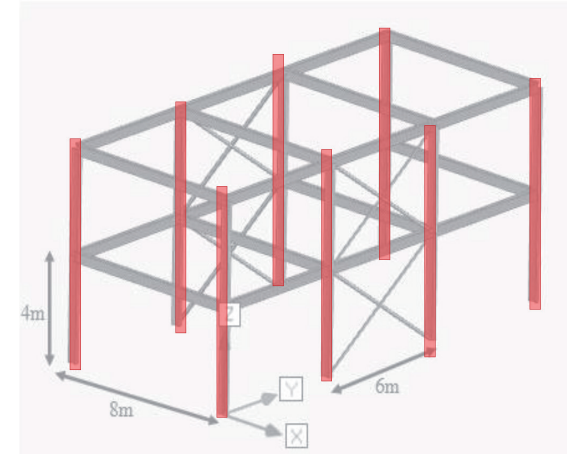
Les éléments porteurs sont de deux natures :

les étais :

- fonctionnent principalement en **compression** :
c'est à dire que la charge pousse et tend à réduire leur longueur
- **peuvent devenir instables** et subir une déformation brutale : le **flambement**
- Pour éviter ce phénomène, ils sont **en général épais** : leur élancement est faible.
- Les poteaux sont un cas particulier d'étais.

les tirants :

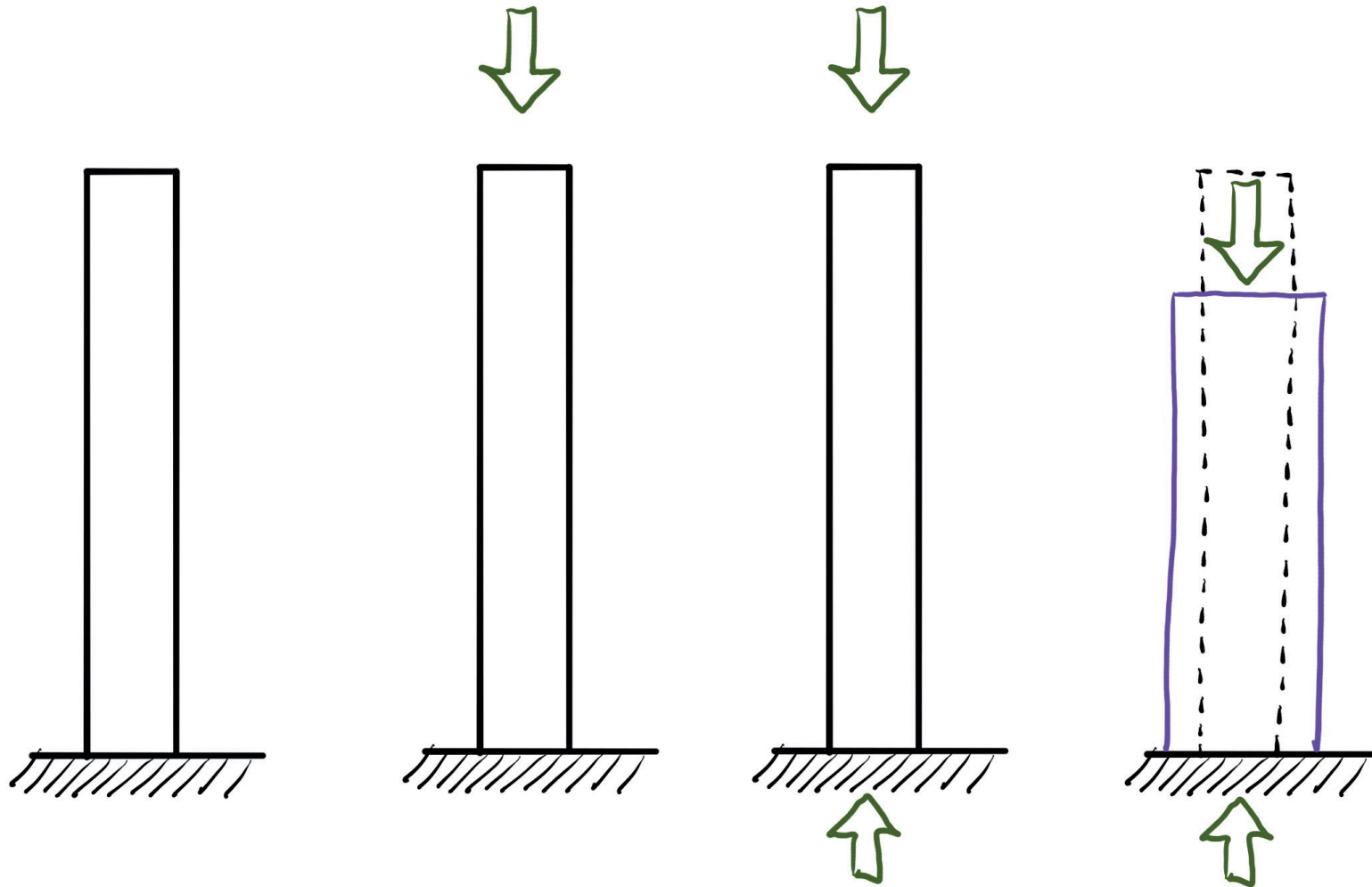
- fonctionnent principalement en **traction** :
c'est à dire que la charge tire et tend à accroître leur longueur
- **stables** et en **général fins** : leur élancement est élevé
- Les **câbles** sont des cas particuliers de tirant **sans rigidité**.



I. Les éléments des structures :

I.c/ éléments pour porter

fonctionnement des étais



I. Les éléments des structures :

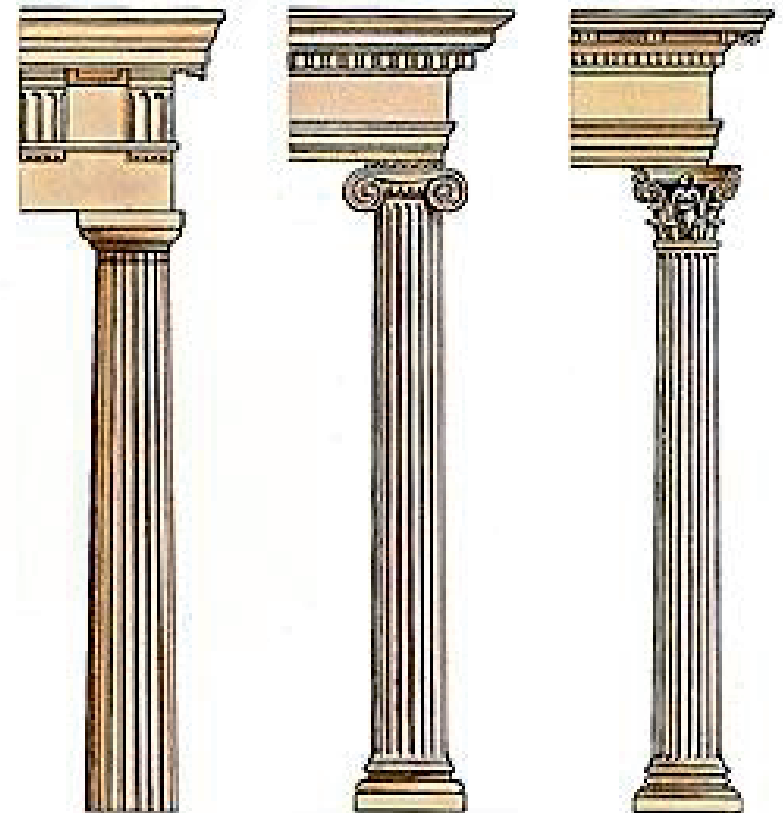
I.c/ éléments pour porter

exemple d'étais :

étais de chantier



colonnes classiques



I. Les éléments des structures :

I.c/ éléments pour porter

exemple d'étais :

pilastres



*Historiquement, il s'agit d'un support vertical maçonné à la différence de la colonne primitive qui est en bois ou en pierre monolithe. Puis il finit par désigner un élément vertical dont le corps a un plan massé quelconque, à l'exclusion du cercle et du polygone qui caractérise la colonne.

piliers*



I. Les éléments des structures :

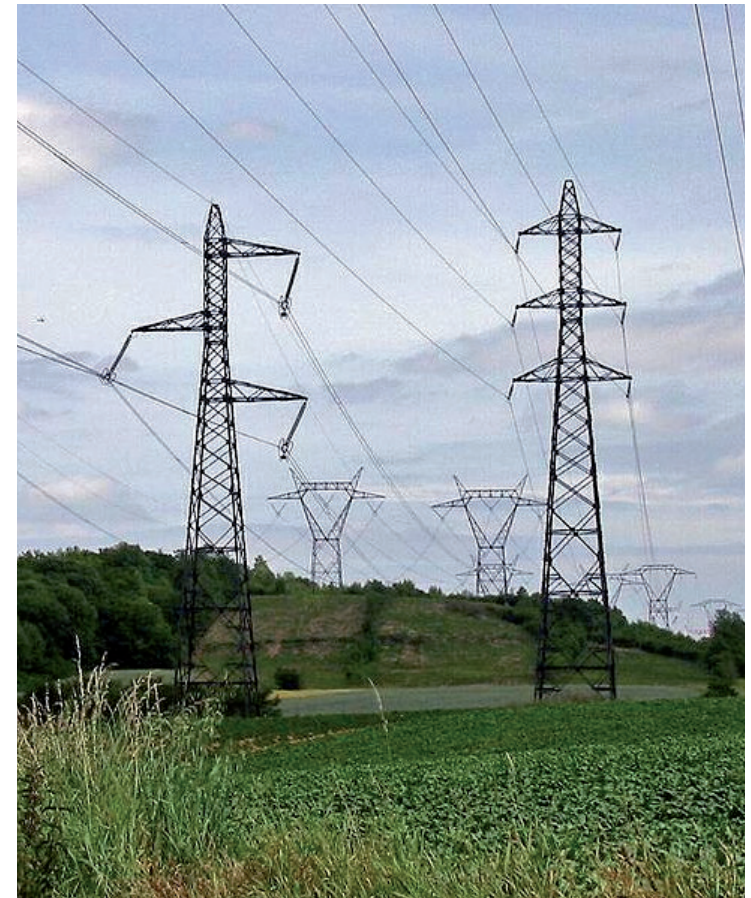
I.c/ éléments pour porter

exemple d'étais :

pires (de pont)



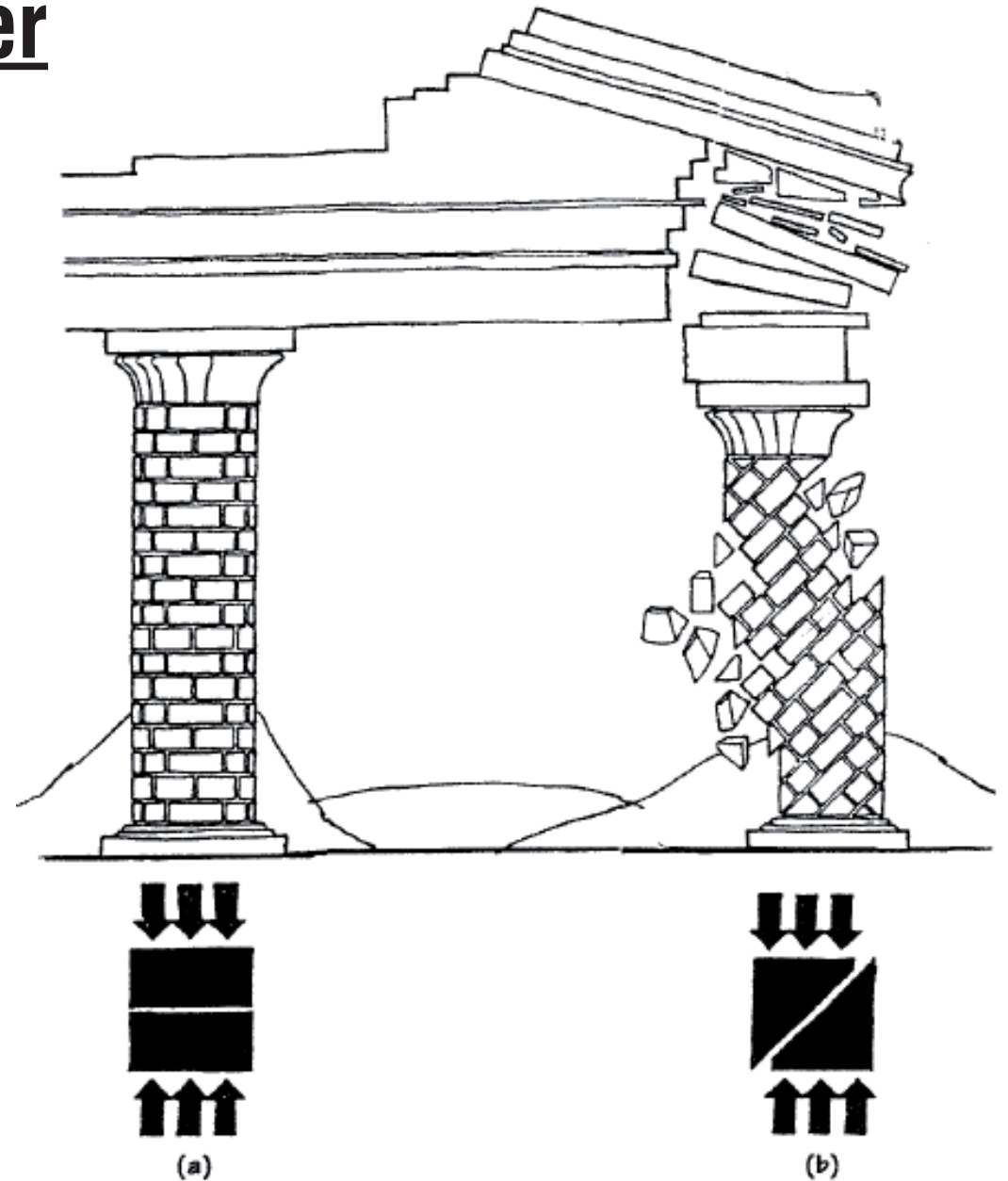
pylônes



I. Les éléments des structures :

I.c/ éléments pour porter

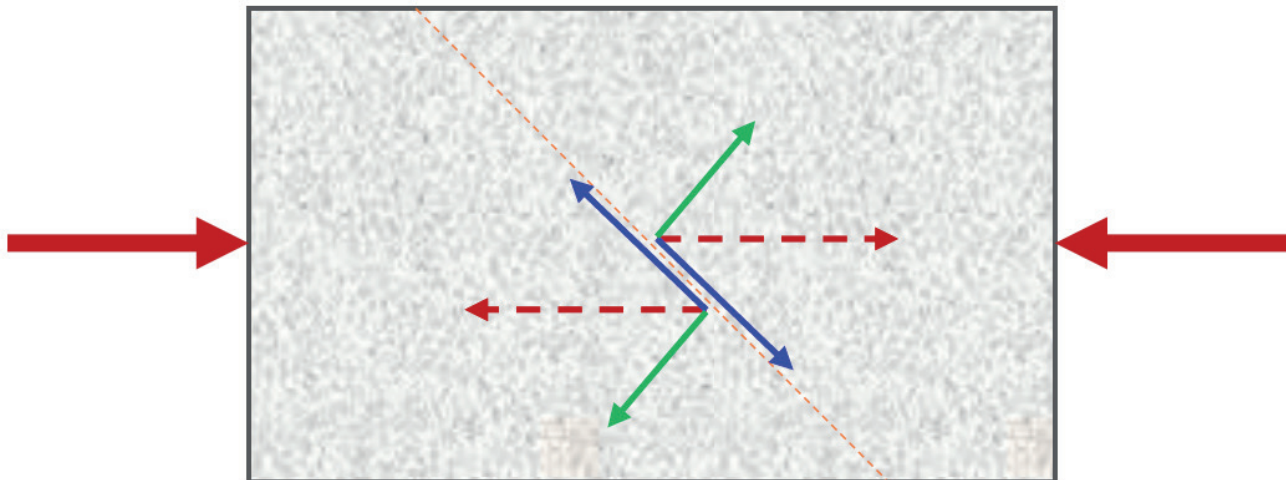
Les sollicitations du poteau expliquent les règles de mise en œuvre des matériaux de construction



I. Les éléments des structures :

I.c/ éléments pour porter

Le mode de rupture des poteaux non soumis au flambement dépend de la manière dont ils sont tenus en pied et en tête. Cependant, étant donné que l'énergie nécessaire pour arracher ou écraser les atomes est bien plus importante que celle mobilisée pour les faire glisser les uns sur les autres, la rupture par compression se produit généralement sur un plan à 45° celui où le cisaillement est maximal.

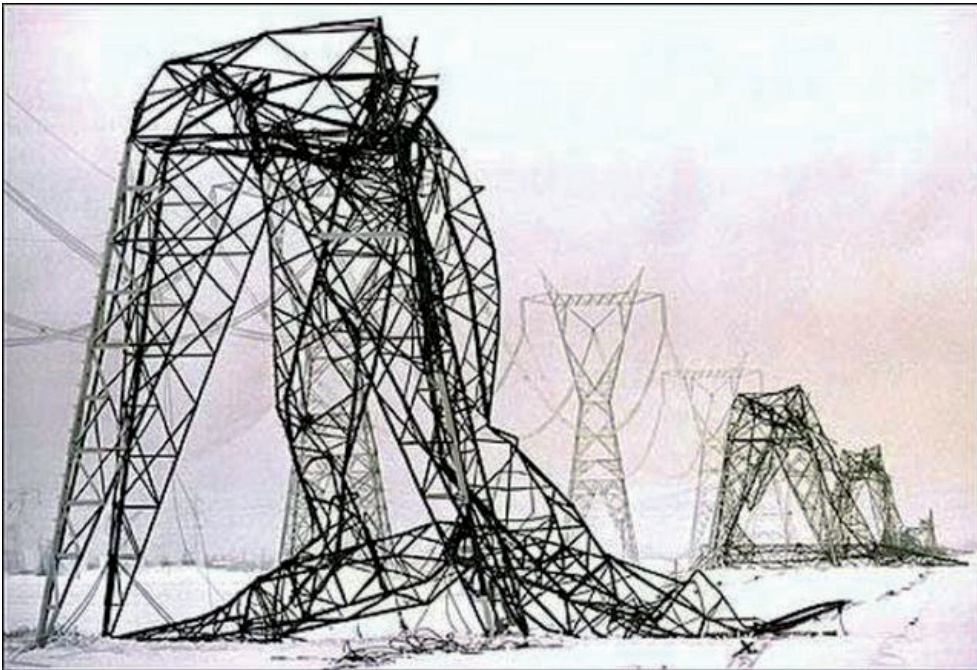


I. Les éléments des structures :

I.c/ éléments pour porter

Exemple de flambement (fera l'objet d'un cours spécifique) :

flambement global :
tempête de glace en 1998 en Ontario



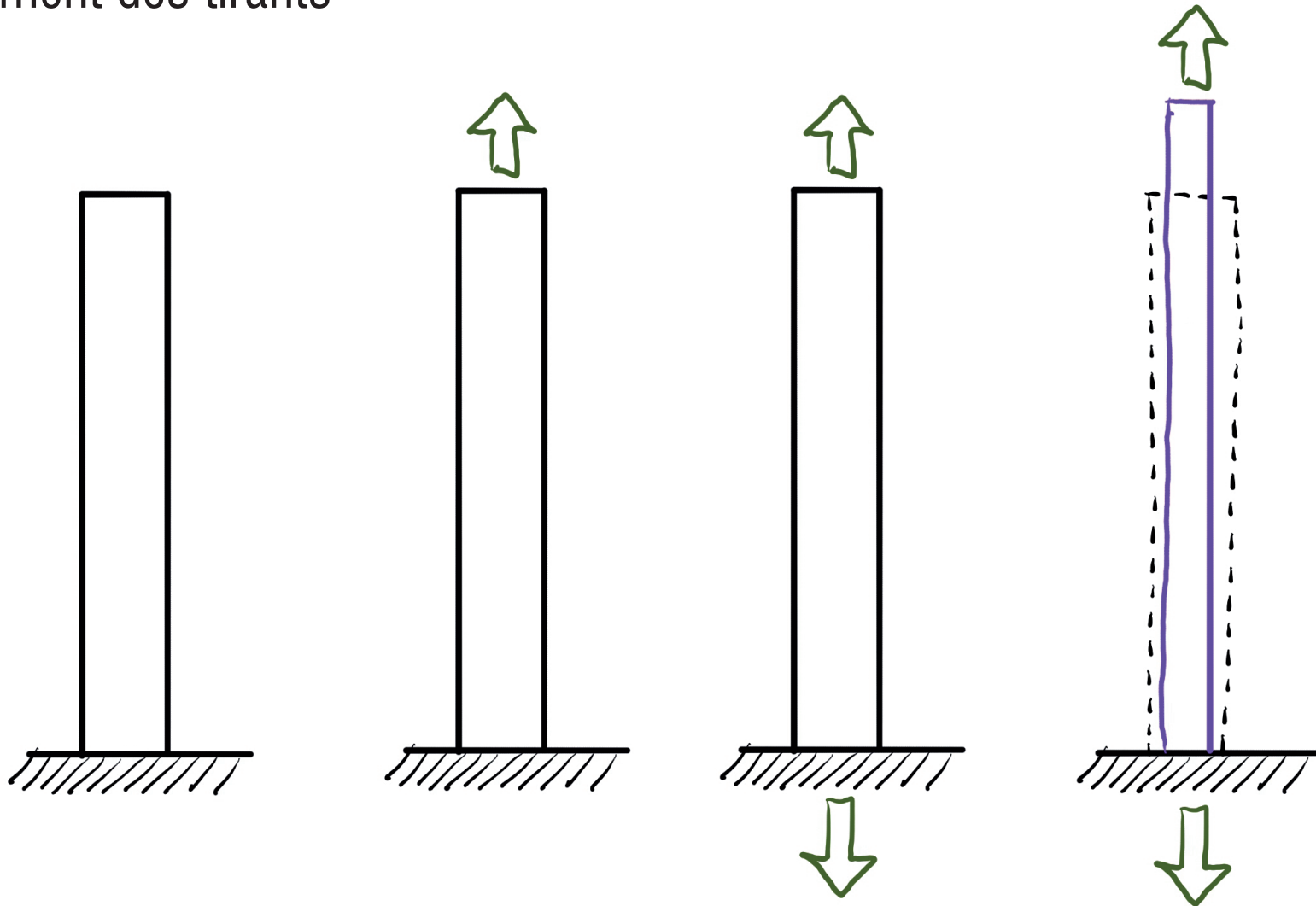
flambement local d'un poteau caisson
par défaut de soudure - Mexico 1995



I. Les éléments des structures :

I.c/ éléments pour porter

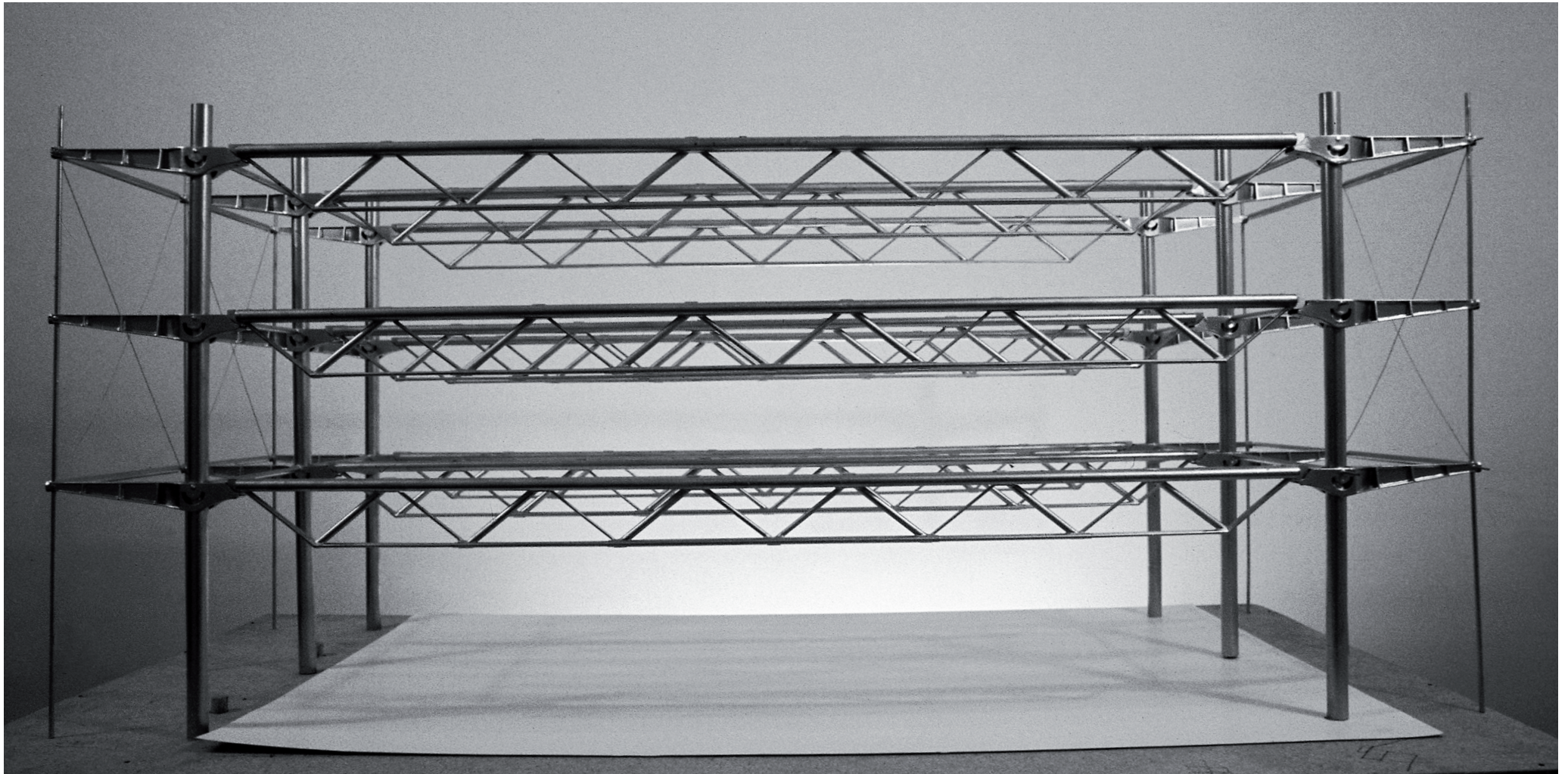
fonctionnement des tirants



I. Les éléments des structures :

I.c/ éléments pour porter

exemple de tirants : Centre Pompidou



I. Les éléments des structures :

I.c/ éléments pour porter

exemple de tirants : câbles d'un pont suspendu - Golden Gate, San Francisco



I. Les éléments des structures :

I.c/ éléments pour porter

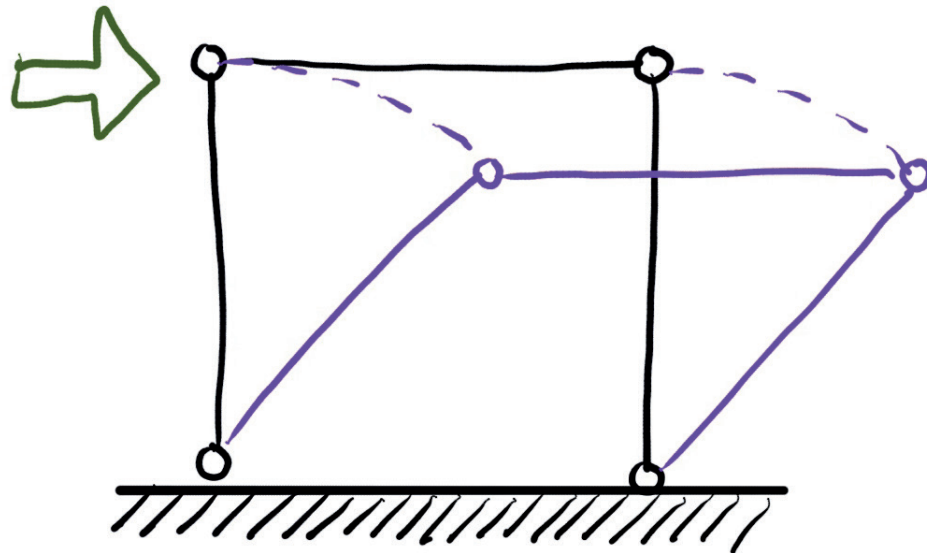
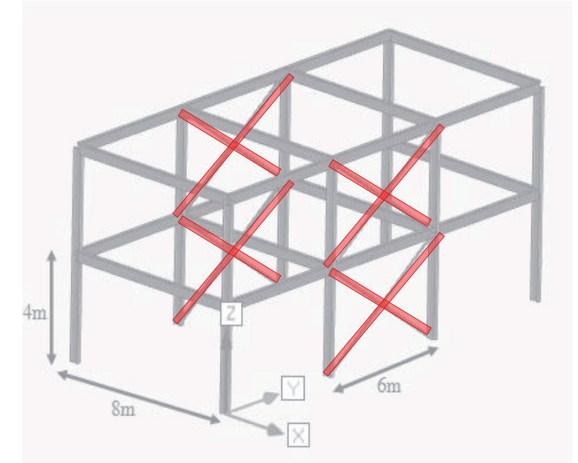
exemple de tirants : câbles d'un pont à haubans - viaduc de Millau



I. Les éléments des structures :

I.c/ éléments pour contreventer

En cas d'efforts horizontaux (vent, séisme, etc.) une structure mal contreventée peut se déformer excessivement, voire perdre sa stabilité et s'effondrer comme un château de carte.

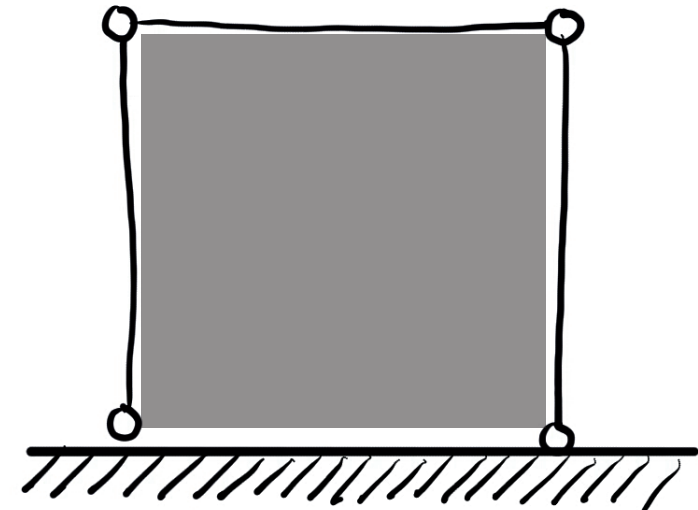
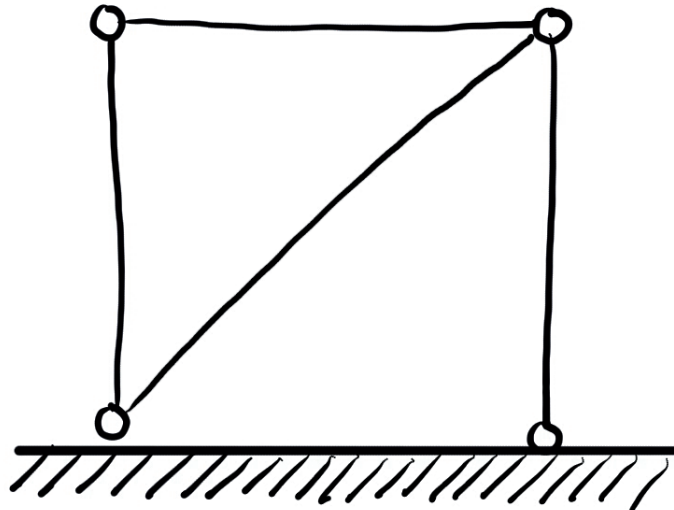
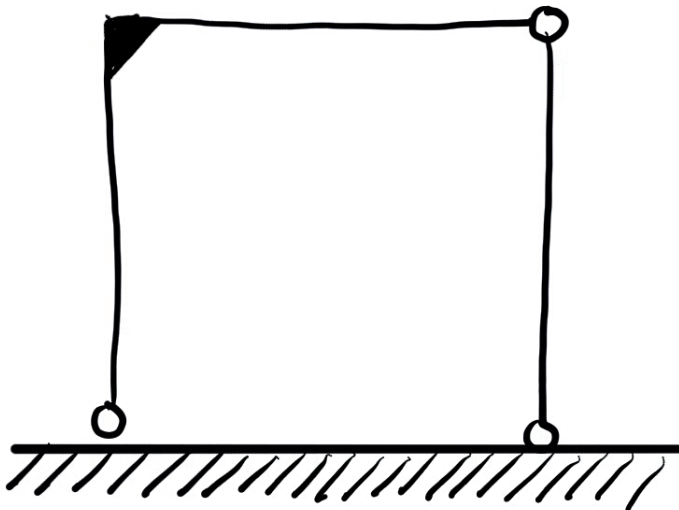


I. Les éléments des structures :

I.c/ éléments pour contreventer

Les contreventements peuvent être :

1. un encastrement à une liaison ou un appui (jonction ponctuelle)
2. une ou plusieurs barres de contreventement (élément linéique)
3. un panneau de remplissage, voire un voile (élément surfacique)

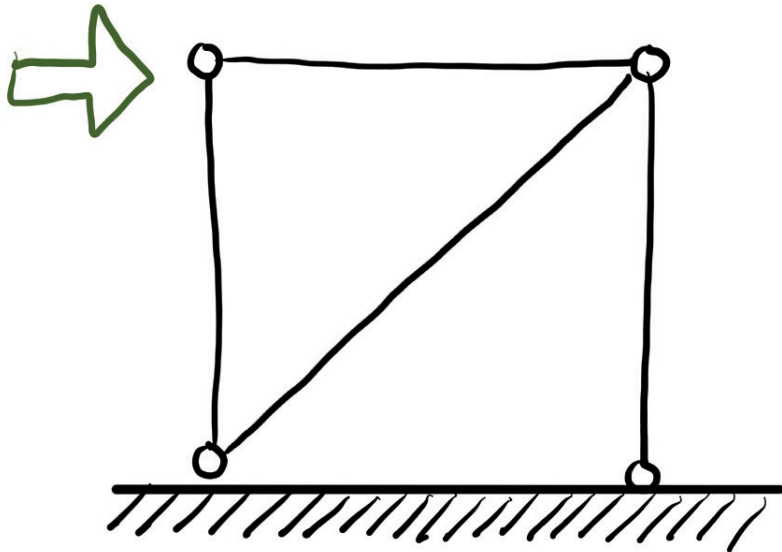


I. Les éléments des structures :

I.c/ éléments pour contreventer

En cas d'usage d'une seule diagonale, celle-ci sera tantôt en traction, tantôt en compression **selon le sens du vent**

Dans l'exemple ci-dessous, la diagonale est-elle en traction ou en compression ?

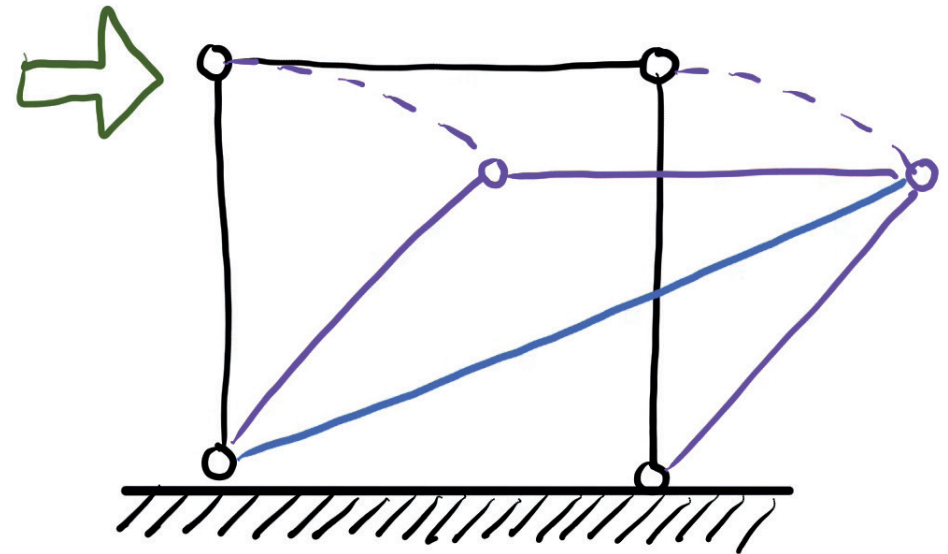
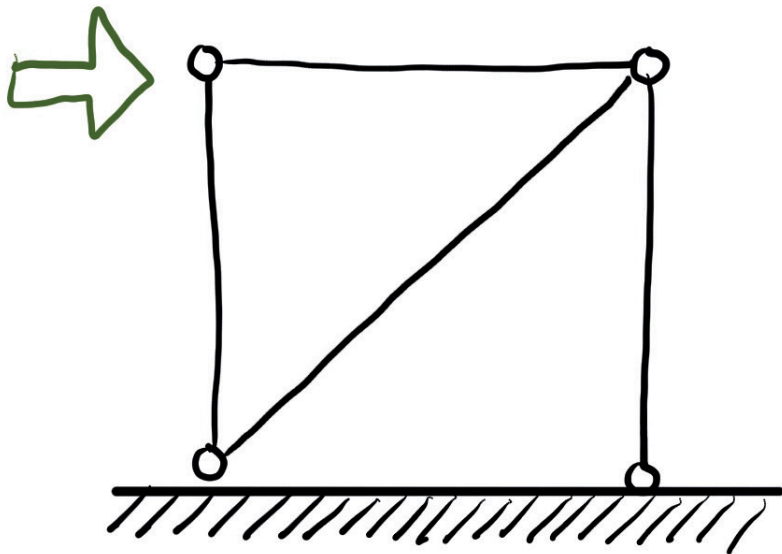


I. Les éléments des structures :

I.c/ éléments pour contreventer

En cas d'usage d'une seule diagonale, celle-ci sera tantôt en traction, tantôt en compression **selon le sens du vent**

allongement de la diagonale = traction

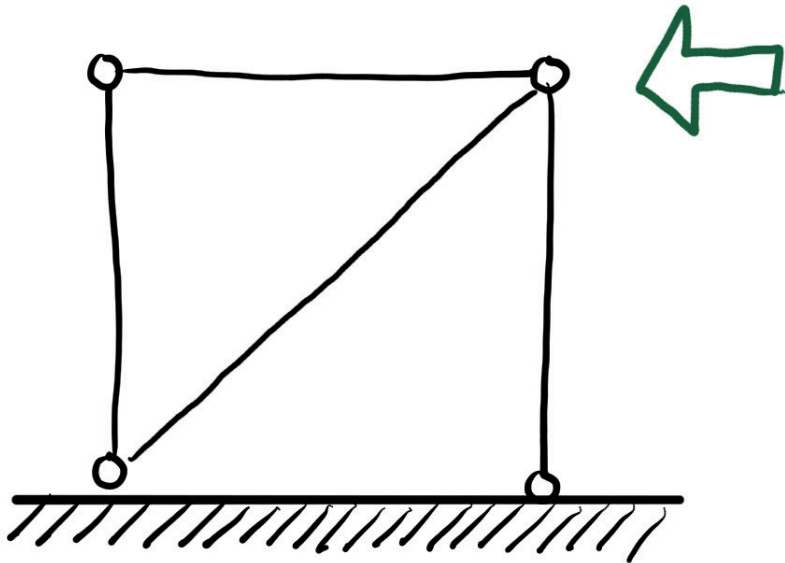


I. Les éléments des structures :

I.c/ éléments pour contreventer

En cas d'usage d'une seule diagonale, celle-ci sera tantôt en traction, tantôt en compression **selon le sens du vent**

Dans l'exemple ci-dessous, la diagonale est-elle en traction ou en compression ?

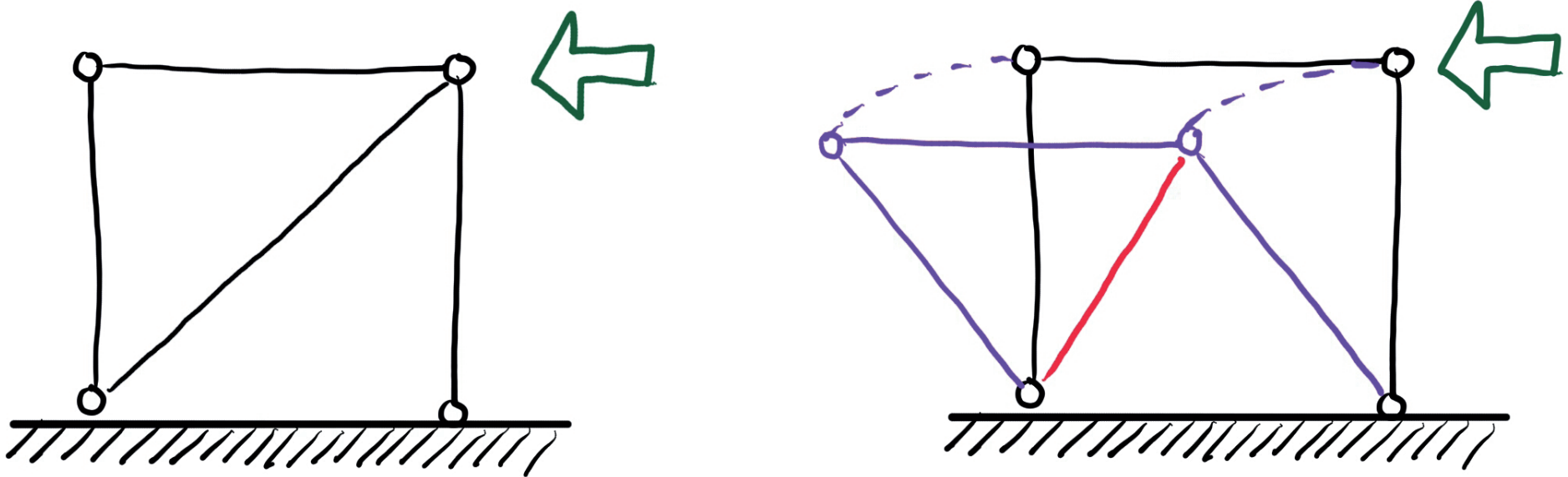


I. Les éléments des structures :

I.c/ éléments pour contreventer

En cas d'usage d'une seule diagonale, celle-ci sera tantôt en traction, tantôt en compression **selon le sens du vent**

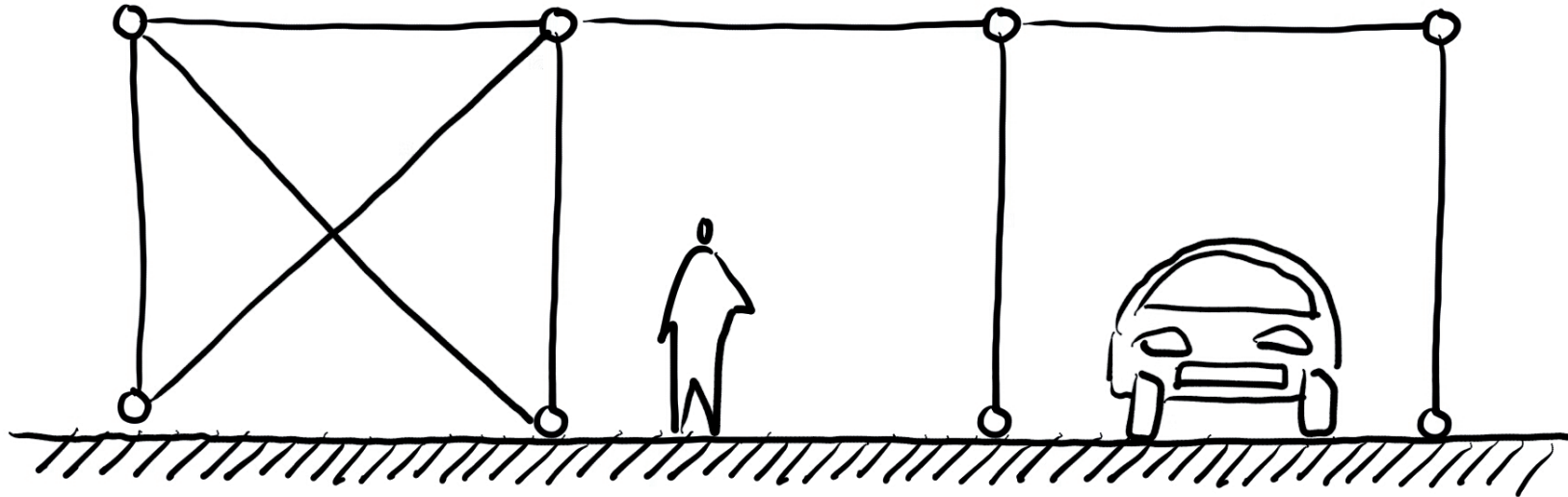
raccourcissement de la diagonale = compression



I. Les éléments des structures :

I.c/ éléments pour contreventer

Dans un même plan, en cas de successions de plusieurs travées, il n'est pas **nécessaire** de toutes les contreventer.
En principe, Il **suffit** d'en contreventer une seule.



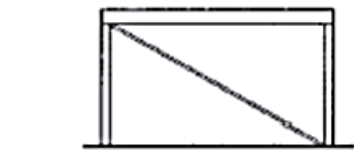
I. Les éléments des structures :

I.c/ éléments pour contreventer

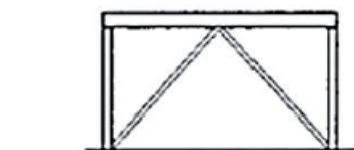
Dans l'espace tridimensionnel, il faut contreventer plans. Il est d'usage de contreventer **deux plans verticaux orthogonaux et un plan horizontal**.

Les deux plans verticaux peuvent être contreventés suivant divers procédés, qui ont tous pour caractéristique d'empêcher la déformation de l'élément.

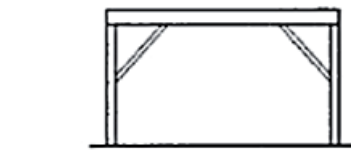
- a. Contreventement par étais – compression et traction
- b. Par étais en croix de Saint-André – compression et traction alternée, ou par tirants – traction alternée
- c. Contreventement en A
- d. Contreventement en V
- e. Jambes de forces
- f. Encastrement poteau/poutre = portique ou remplissage par voile (diaphragme)
- g. Étais ou tirants extérieur



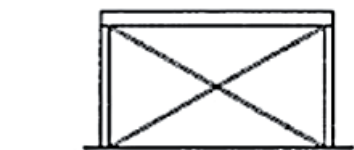
(a)



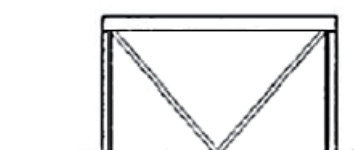
(c)



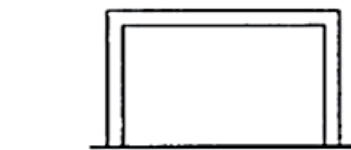
(e)



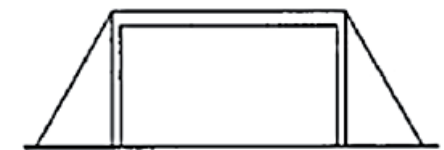
(b)



(d)



(f)



(g)

I. Les éléments des structures :

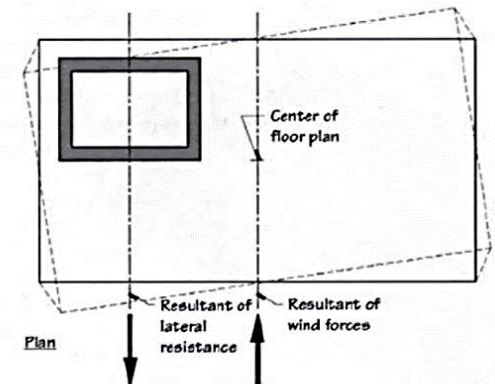
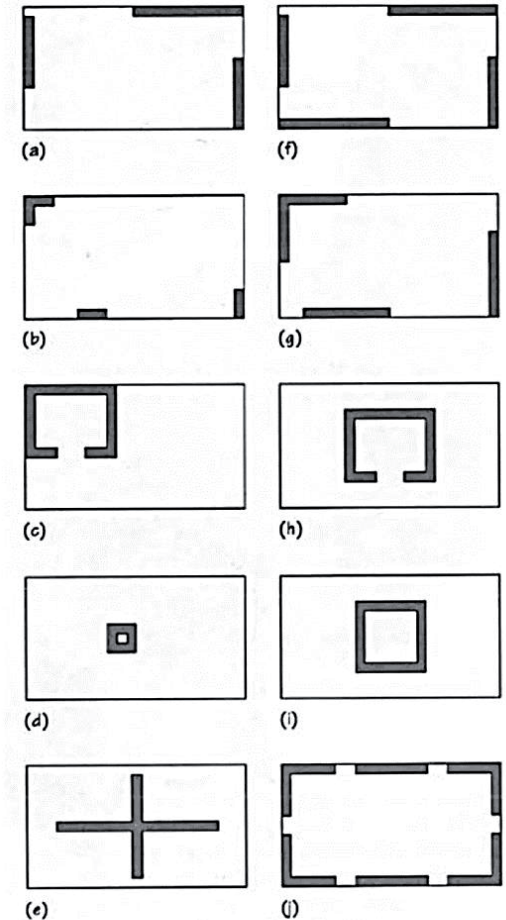
I.c/ éléments pour contreventer

Le contreventement des structures doit être défini dès l'origine du projet.

Pour que les dispositifs de contreventement verticaux soient efficaces, il faut qu'ils soient continus sur toute la hauteur du bâtiment : ils doivent se superposer, c'est-à-dire **plomber**.

La position des voiles de contreventement possède une certaine souplesse en plan.

Plus les voiles sont excentrés par rapport au centre de gravité du bâtiment, plus les phénomènes de torsion (rotation de plan du bâtiment) seront importants en cas de séisme.



I. Les éléments des structures :

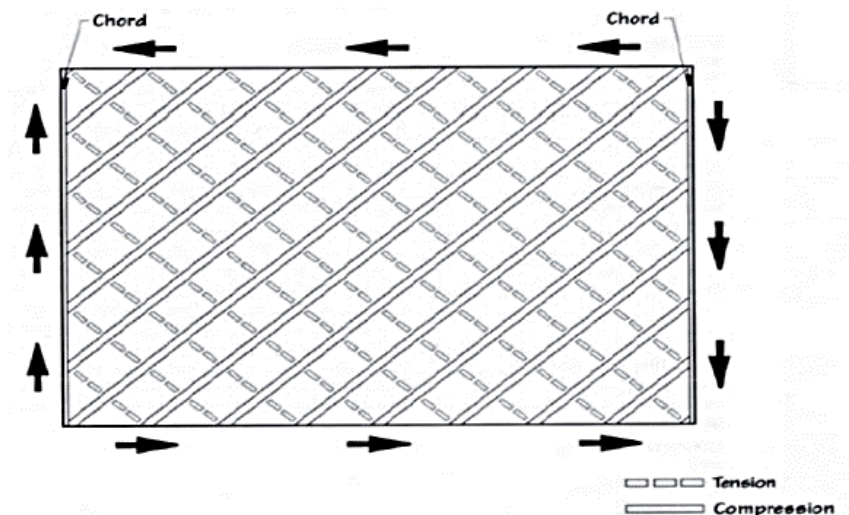
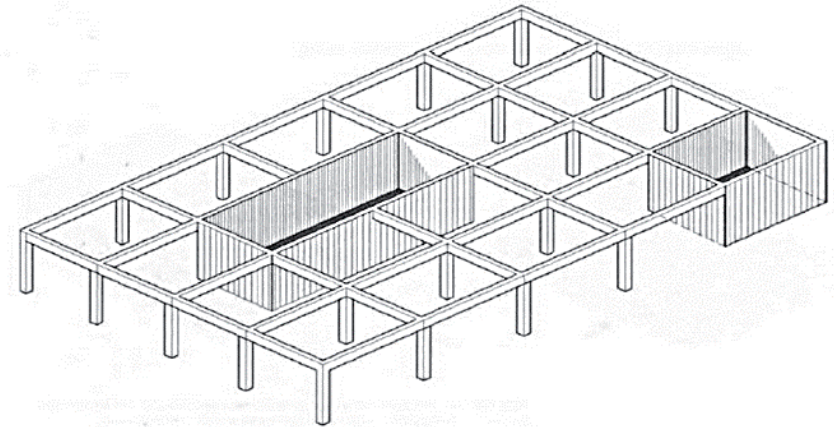
I.c/ éléments pour contreventer

Le **plan horizontal** peut être contreventé avec les mêmes dispositifs que ceux utilisés dans les plans verticaux.

La plupart du temps, ce sont les planchers qui jouent ce rôle (principe de contreventement du plan par un panneau).

Lorsqu'il est rigide, le plancher joue le rôle de **diaphragme** : il permet alors aussi de distribuer les charges horizontales sur les contreventements verticaux.

Par exemple pour distribuer les efforts du vent des façades vers les noyaux centraux.



I. Les éléments des structures :

I.c/ éléments pour contreventer

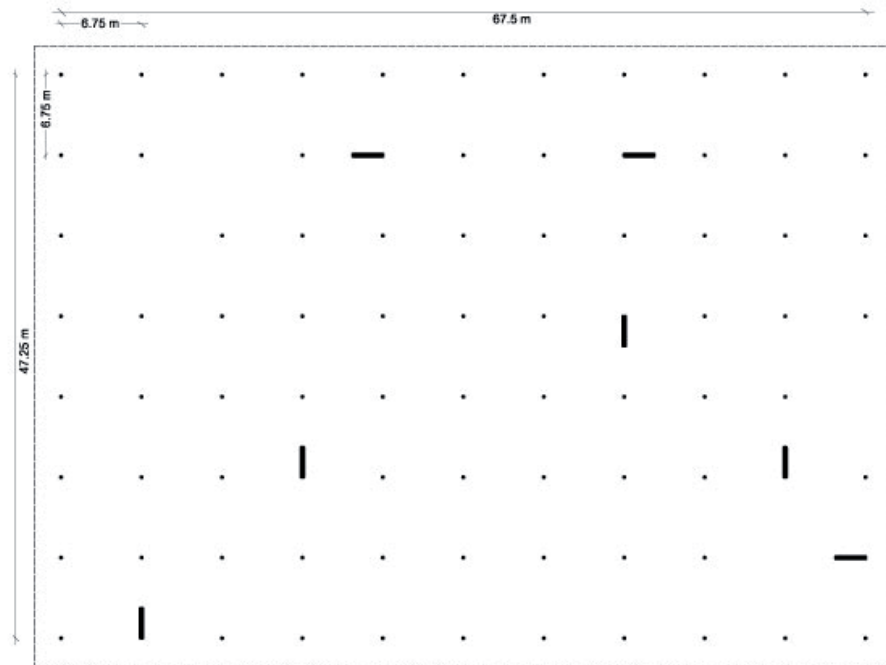
Exemple d'usage architectural du contreventement :
Terminal Ferry à Naoshima, Sanaa, arch., 2006



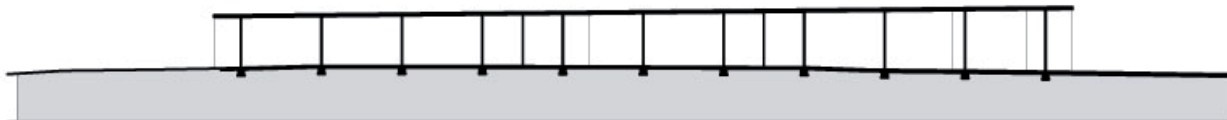
I. Les éléments des structures :

I.c/ éléments pour contreventer

Exemple d'usage architectural du contreventement :
Terminal Ferry à Naoshima, Sanaa, arch., 2006



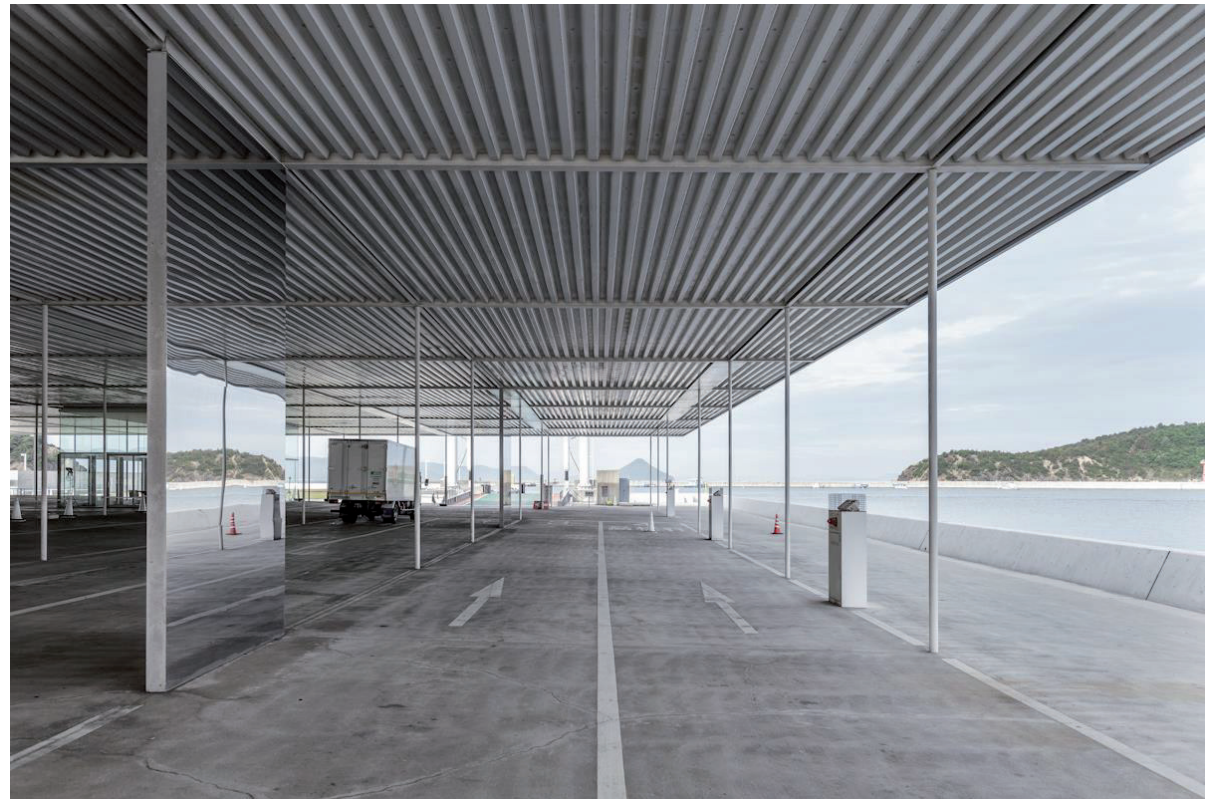
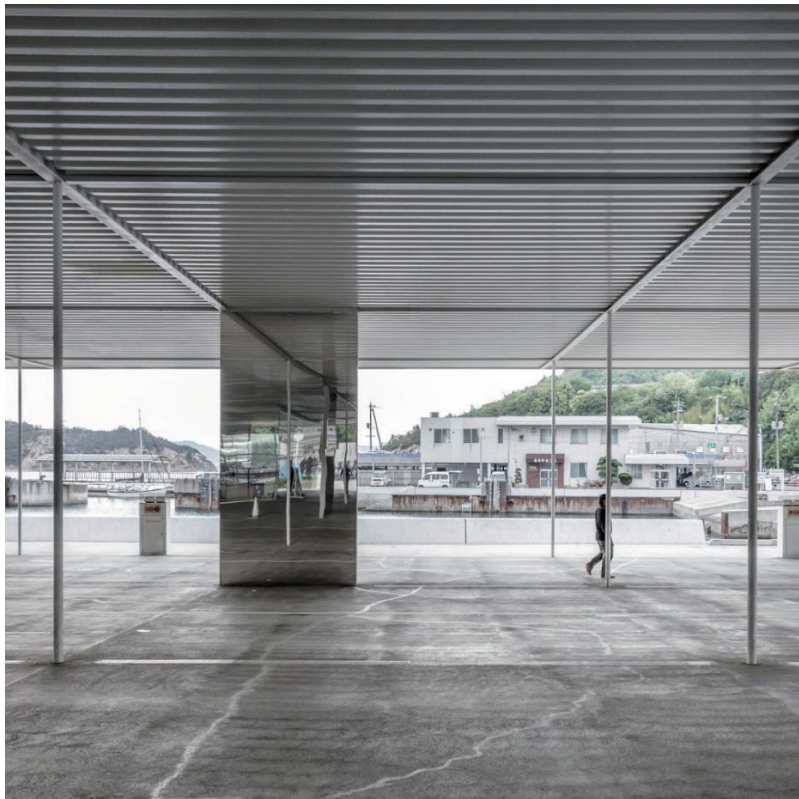
Scale: 1"=32' Structural Plan



I. Les éléments des structures :

I.c/ éléments pour contreventer

Exemple d'usage architectural du contreventement :
Terminal Ferry à Naoshima, Sanaa, arch., 2006



II. La hiérarchie structurelle

Petite philosophie de la hiérarchie.

Hiérarchiser c'est définir l'ordre d'importance ou de priorité des choses.

C'est **distinguer ce qui est principal de ce qui est secondaire**, voire tertiaire.

Le besoin de hiérarchiser est une conception classique de l'architecture, valable :

- pour les activités d'un bâtiment (la distribution du plan)
- pour l'expression du bâtiment (composer un tout au service d'un effet principal)
- pour les éléments de structure (qui porte quoi)

Pour un étudiant en architecture, hiérarchiser, c'est choisir, c'est faire un projet.

A noter que certains courants du XXème siècle ont cherché à opposer, à la hiérarchisation, une neutralité. Voir *Composition, non-composition*, J. Lucan, 2009.

II. La hiérarchie structurelle

Structure hiérarchisée

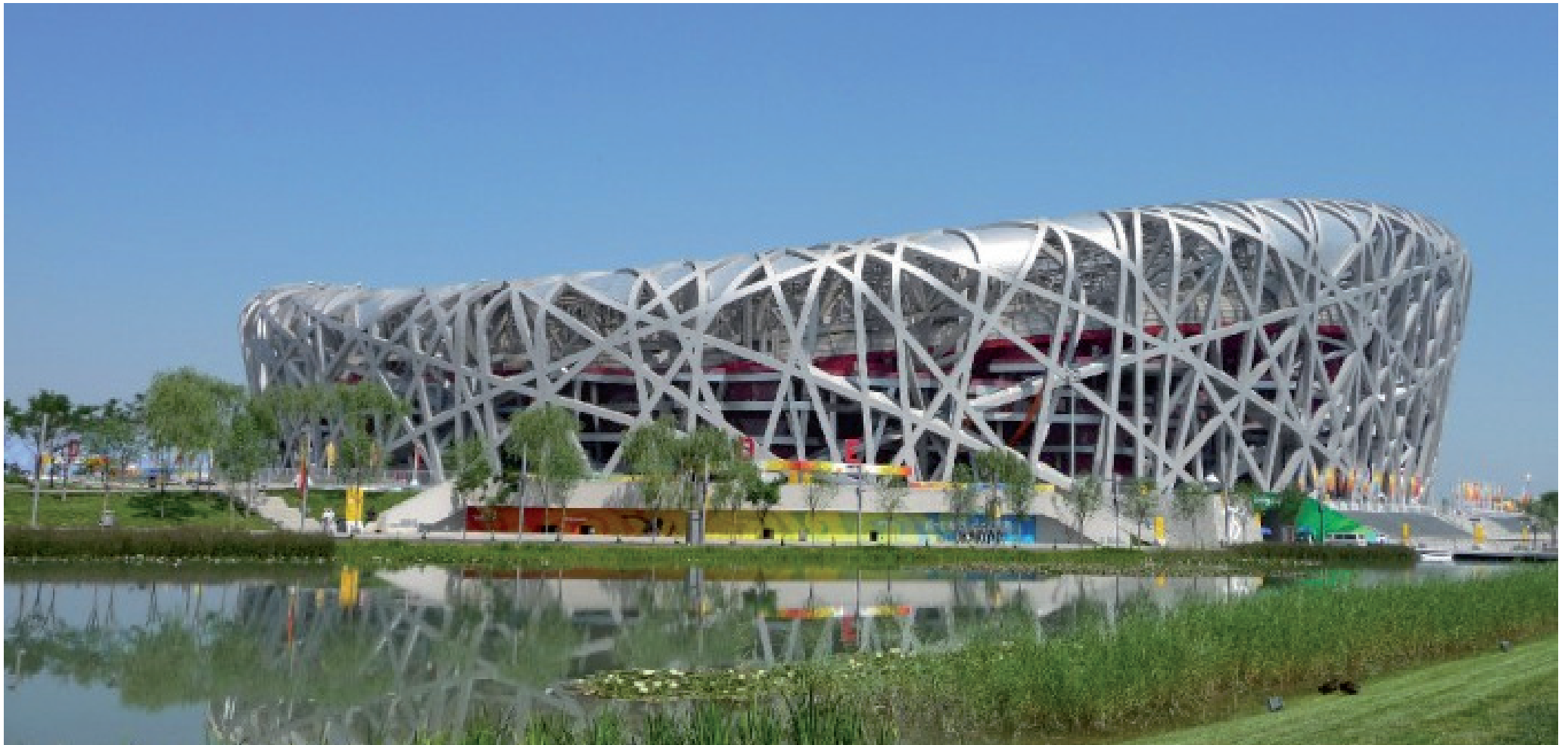
Mobilier National, Paris Auguste Perret arch., 1937



II. La hiérarchie structurelle

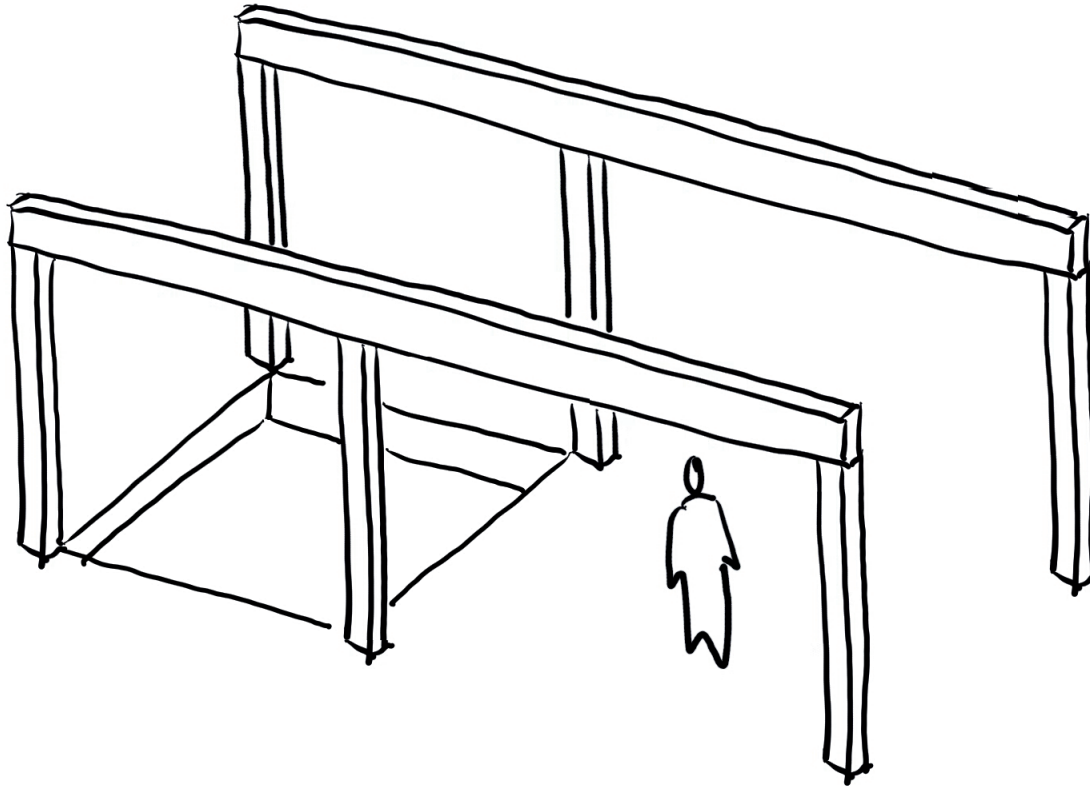
Structure d'apparence non hiérarchisée

Stade olympique de Pékin, Herzog et De Meuron arch., 2008



II. La hiérarchie structurelle

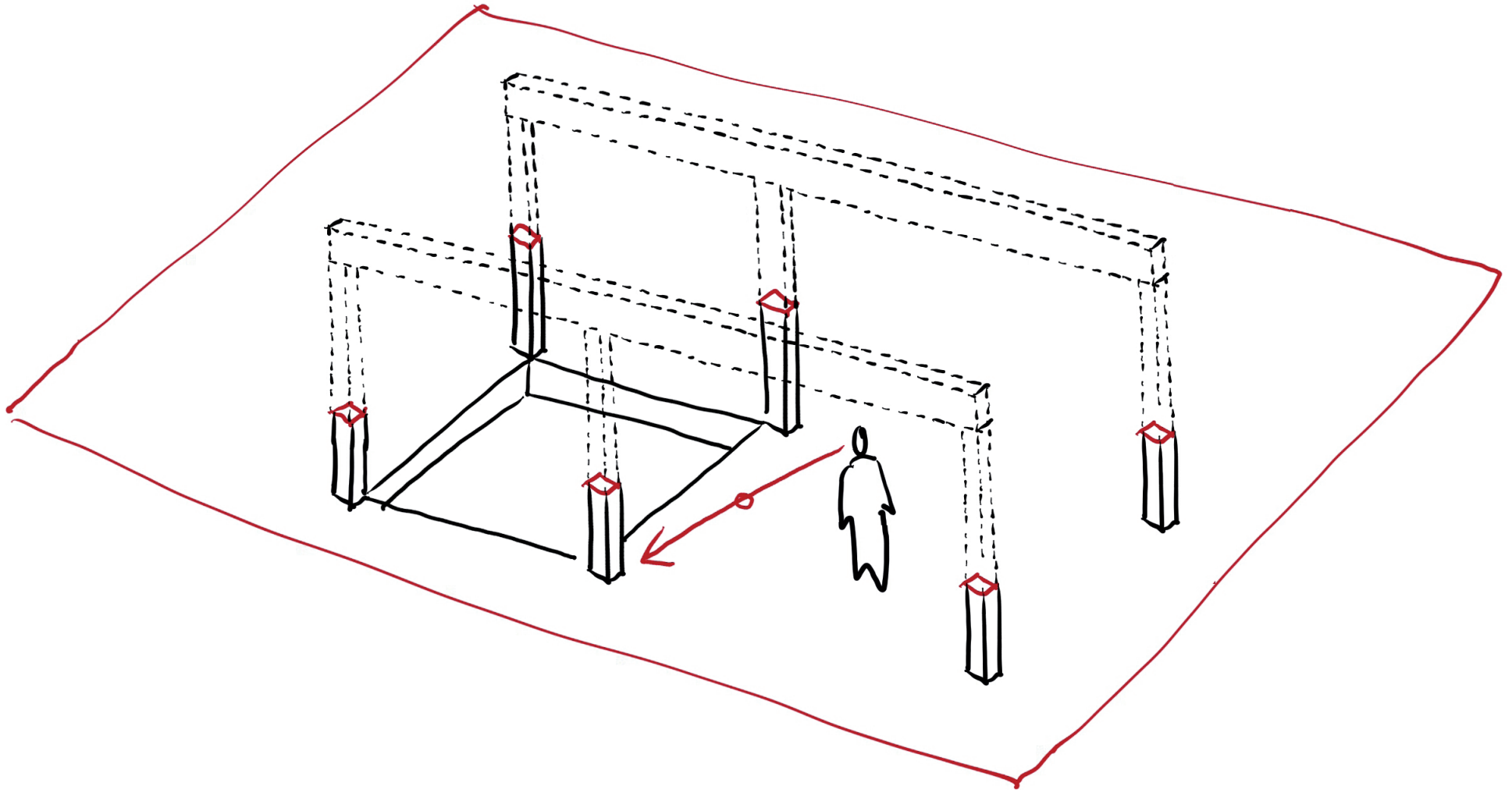
II.a dessiner la structure



II. La hiérarchie structurelle

II.a dessiner la structure

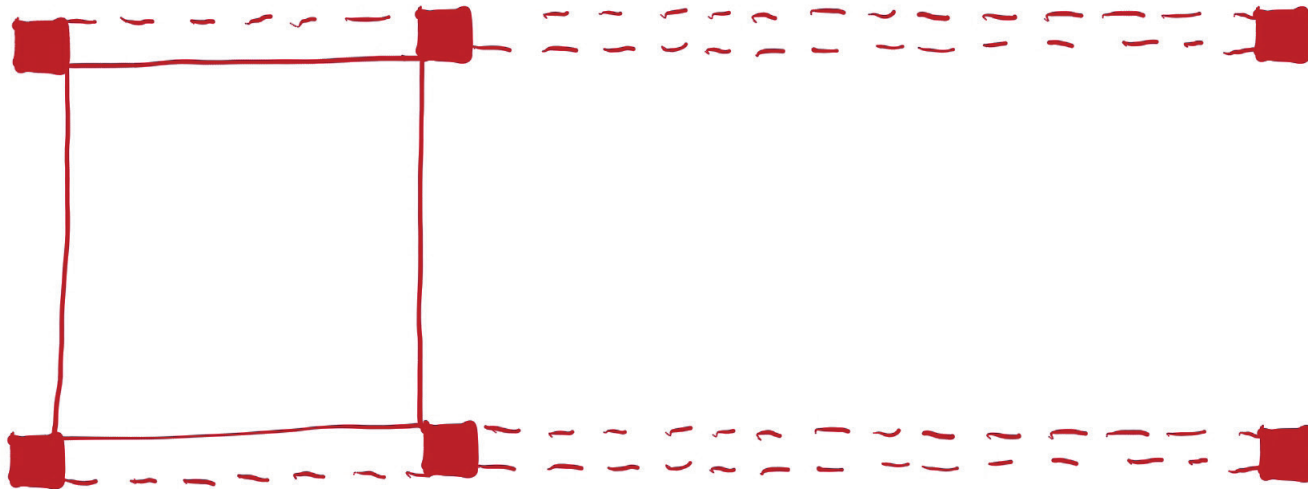
> le «plancher bas»



II. La hiérarchie structurelle

II.a dessiner la structure

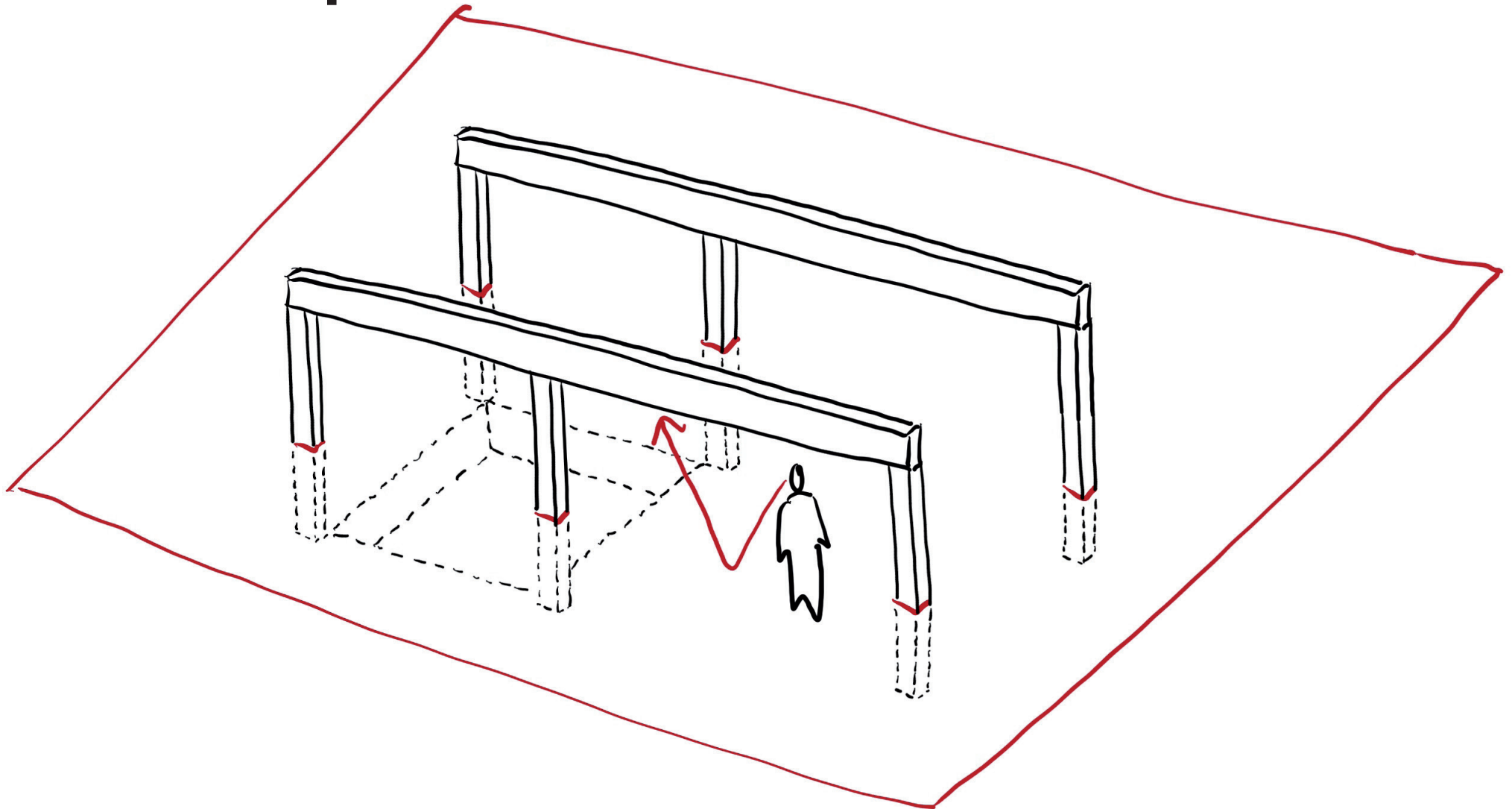
- > le «plancher bas»



II. La hiérarchie structurelle

II.a dessiner la structure

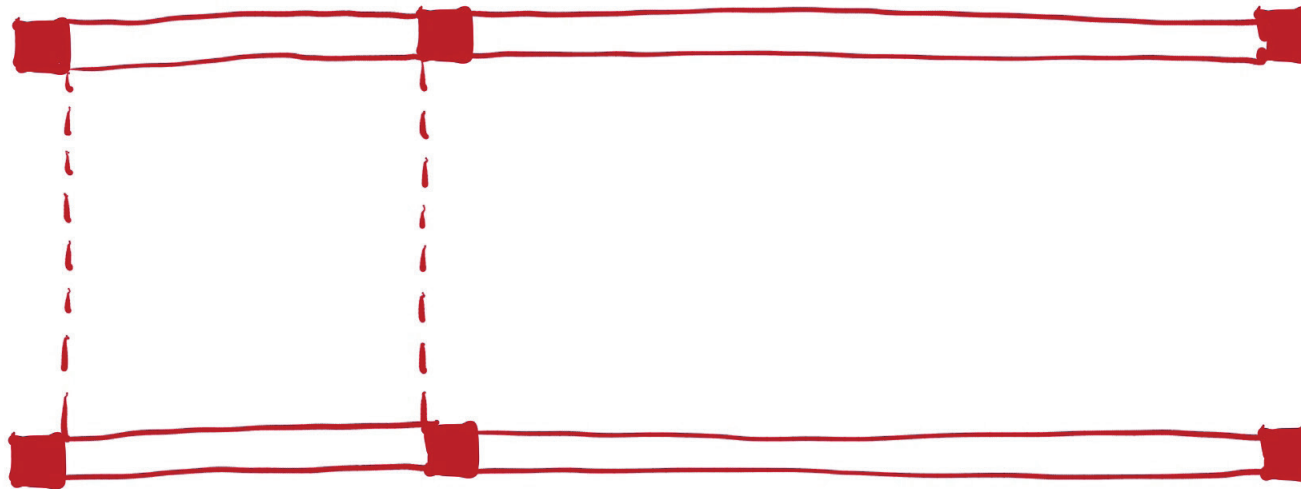
> le «plancher haut»



II. La hiérarchie structurelle

II.a dessiner la structure

> le «plancher haut»



II. La hiérarchie structurelle

II.b le sens de portée / hiérarchie de 2 niveaux



II. La hiérarchie structurelle

II.b le sens de portée / hiérarchie de 3 niveaux



II. La hiérarchie structurelle

II.b le sens de portée / hiérarchie de 3 niveaux



II. La hiérarchie structurelle

II.b le sens de portée / hiérarchie de 5 niveaux



II. La hiérarchie structurelle

II.b le sens de portée / hiérarchie de 17 niveaux

