



# Les nouveaux matériaux en bâtiment ?



**Dr. Cédric MONTERO**

Enseignant-Chercheur

[cedric.montero @ umontpellier.fr](mailto:cedric.montero@umontpellier.fr)

*Journée de Formation Activités du Bâtiment et des Travaux Publics*

*Thème : prendre en compte les contraintes environnementales, les intégrer au projet*

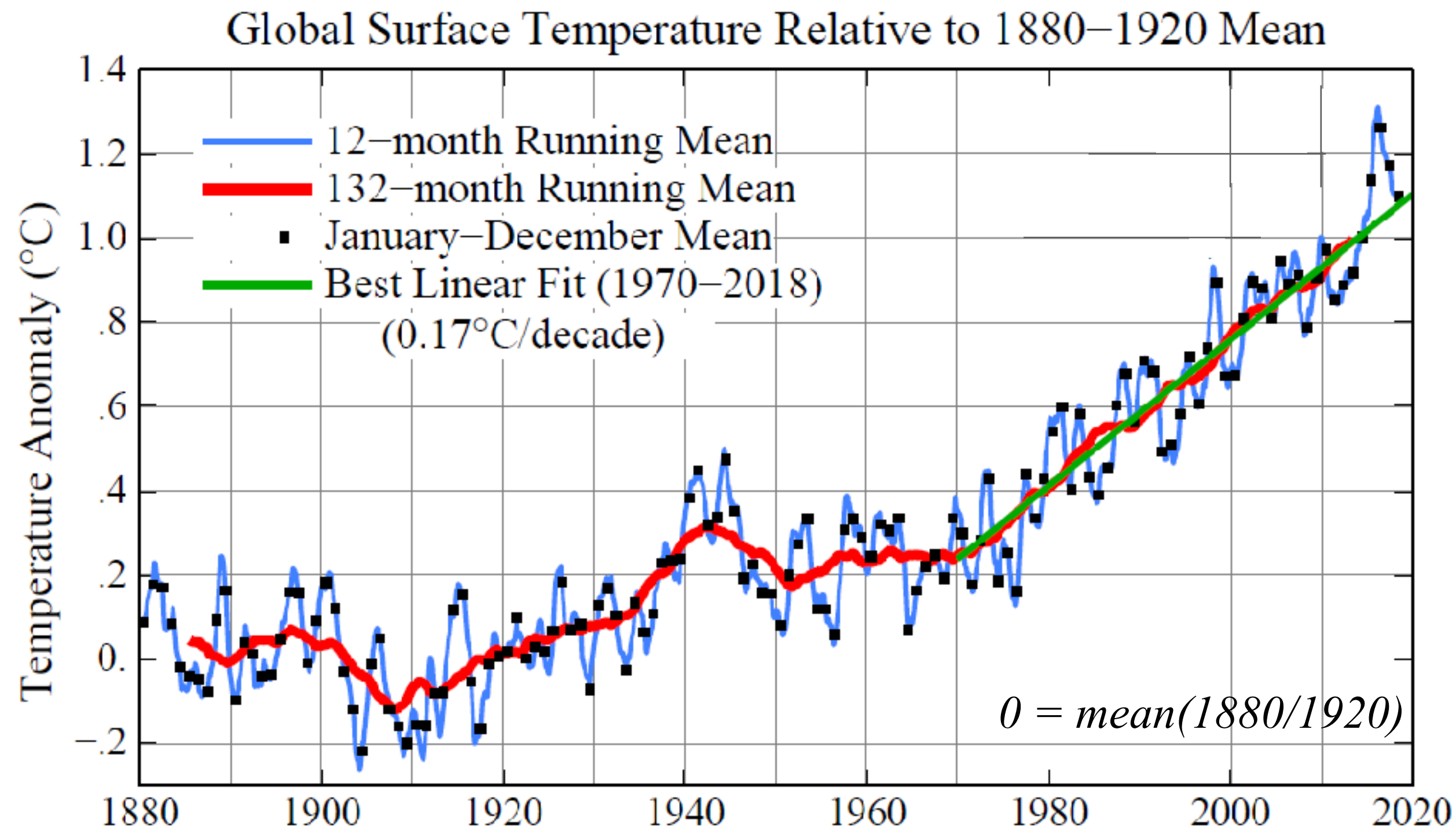
16 Octobre 2020

*Compagnie des experts de justice près la cours  
d'appel de Nîmes*

# Faut-il encore démontrer le réchauffement climatique ?

Les mesures le quantifient ...

et ses effets le prouvent.



Elévations des températures  
(annuelles, canicules...)



Sècheresses et incendies



Fontes des glaces



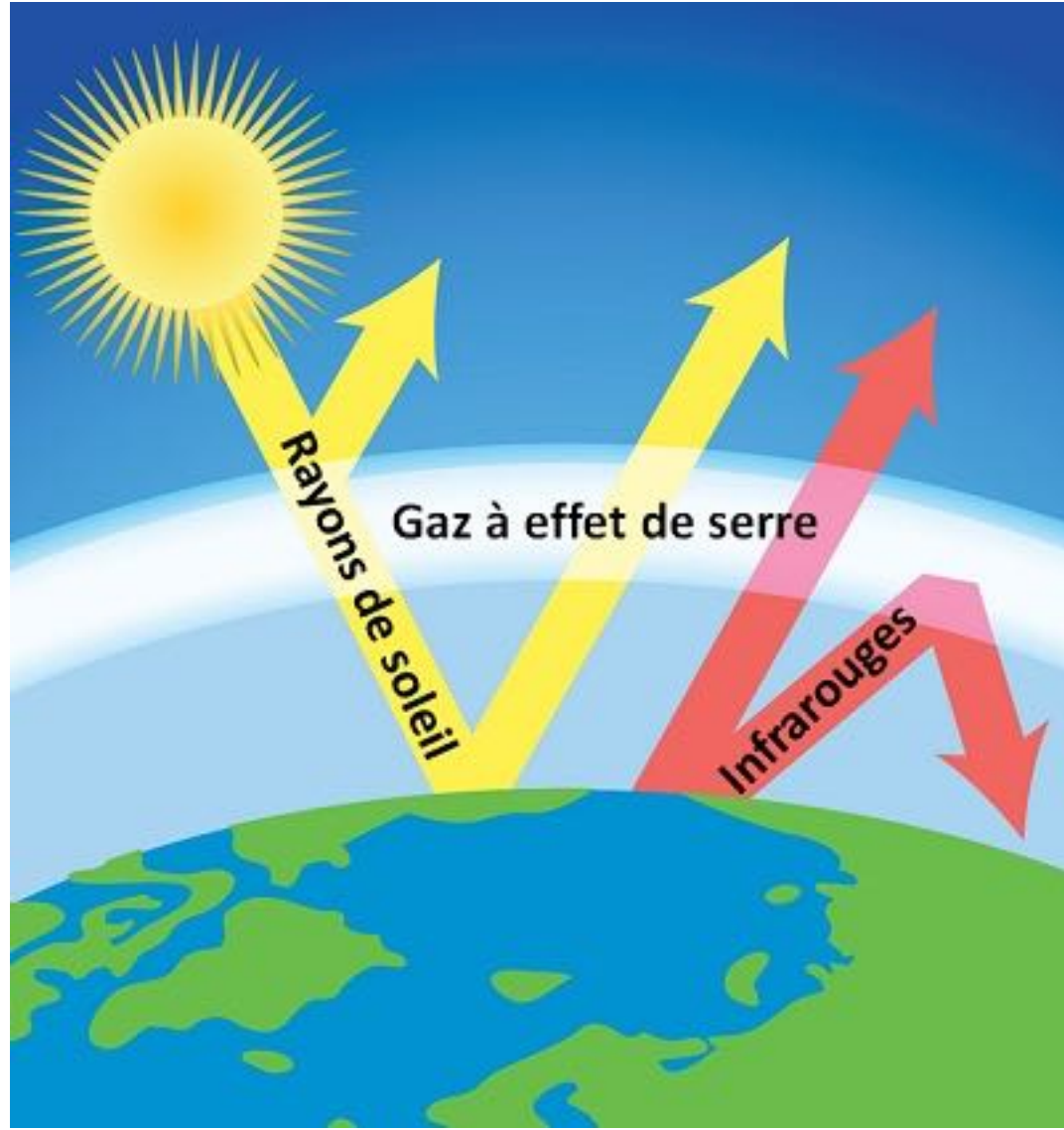
Biodiversité

L'humanité a bouleversé et modifie un équilibre fragile mais accélère.



# Les origines du réchauffement :

## Effet de serre nécessaire



Vapeur d'eau ~60%  
 CO2 ~25%  
 O2 ~7%  
 Methane ~5%

## Hausse population mondiale

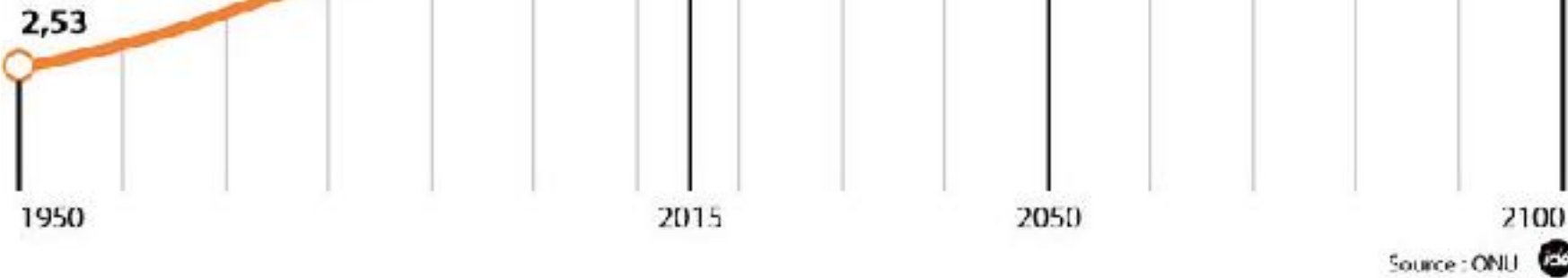
### La population mondiale en 2050 et au-delà

#### Les 5 pays les plus peuplés

En 2015	En 2050
Chine 1,38 Md	Inde 1,71 Md
Inde 1,31 Md	Chine 1,35 Md
États-Unis 321,8 M	Nigeria 398,5 M
Indonésie 257,6 M	États-Unis 388,9 M
Brésil 207,8 M	Indonésie 322,2 M
France 64,4 M	France 71,1 M
UE à 28 505,2 M	UE à 28 499,9 M

**9,7 milliards d'humains en 2050**

#### Évolution de la population mondiale en milliards



## Consommation



## Urbanisation



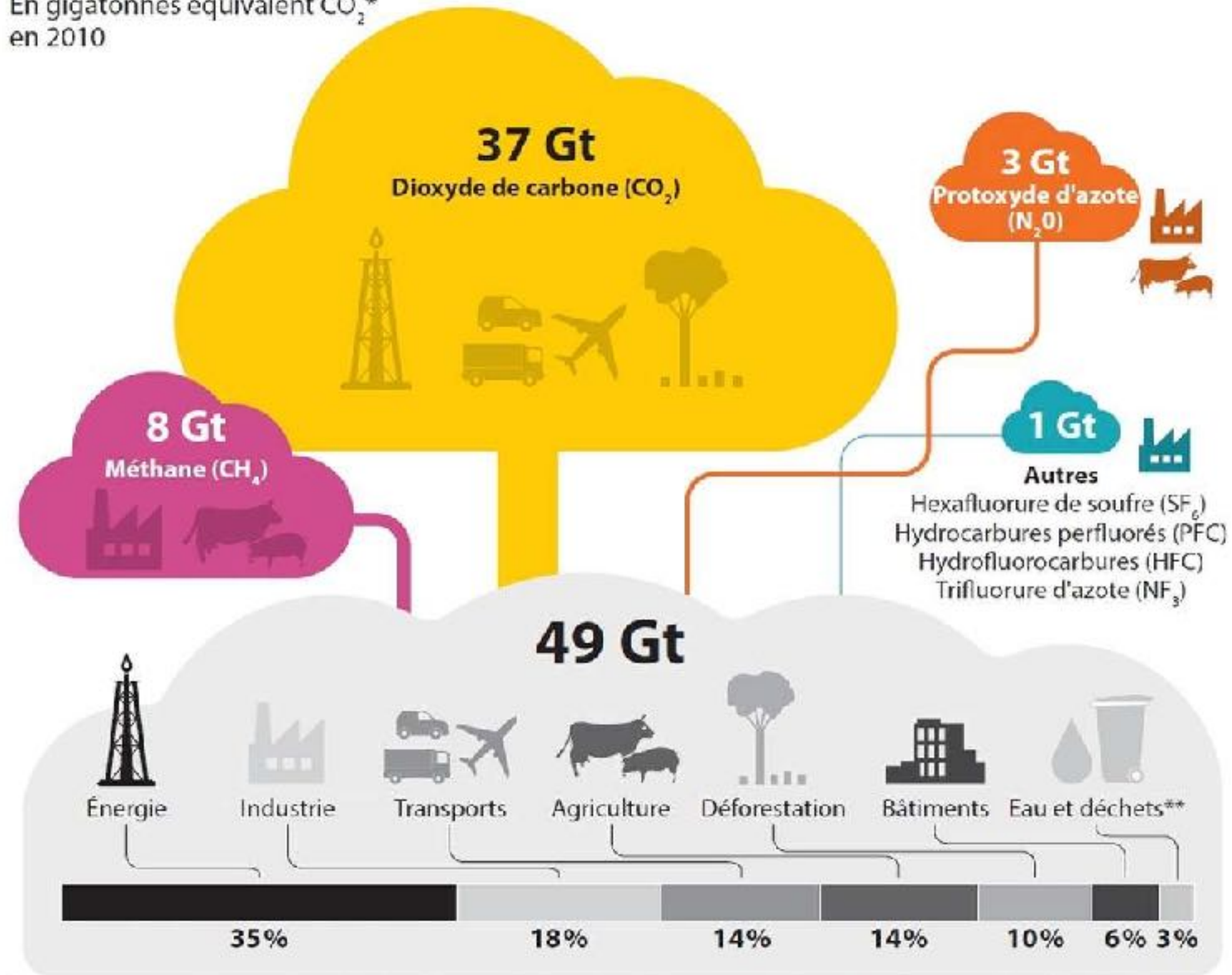
## Energie



# Les origines du réchauffement :

## Les gaz à effet de serre dans le monde

En gigatonnes équivalent CO<sub>2</sub>\* en 2010



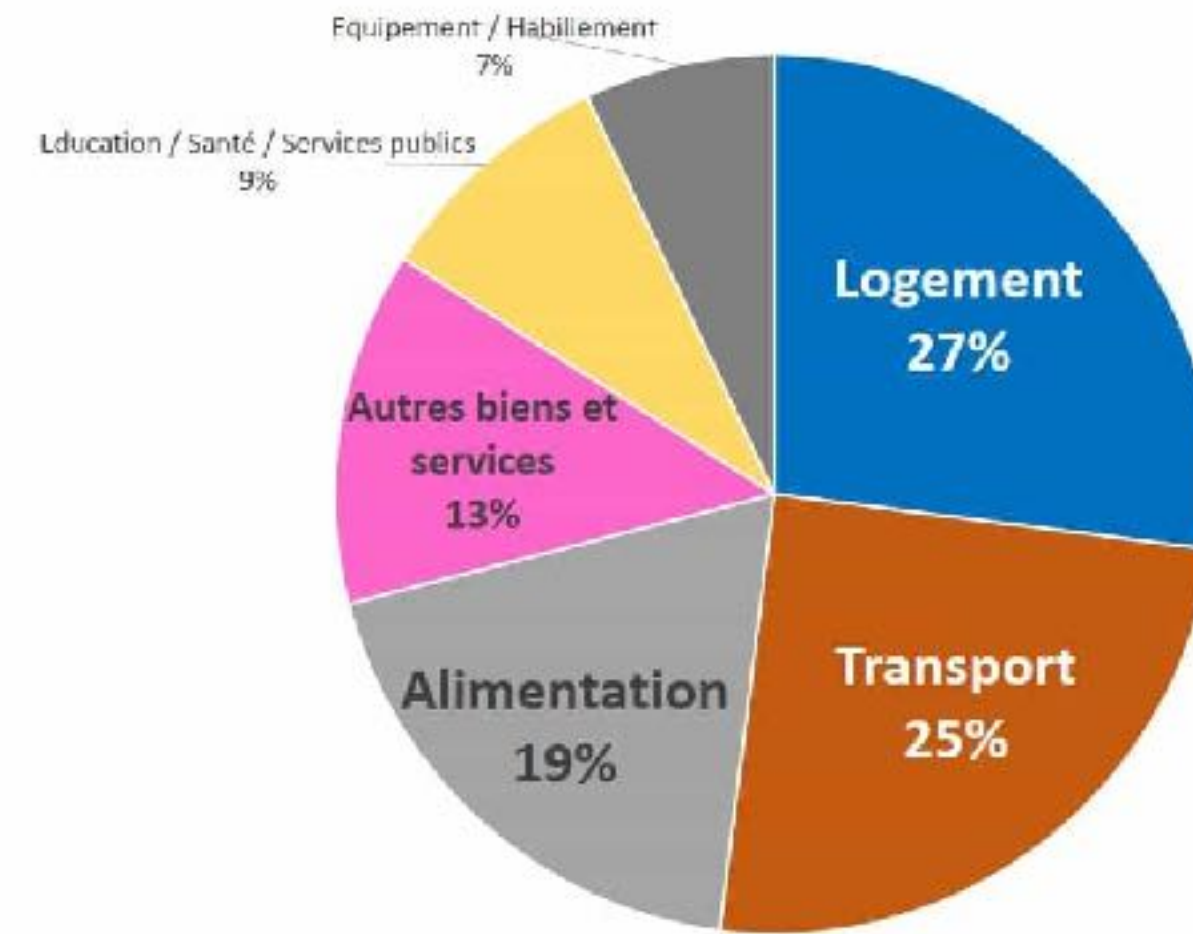
\*La valeur en millions de tonnes équivalent CO<sub>2</sub> est calculée en fonction du potentiel de réchauffement global (PRG) de chaque gaz, par rapport à un kilo de CO<sub>2</sub> (1 kg de CH<sub>4</sub> = 28-30 kg de CO<sub>2</sub>, 1 kg de N<sub>2</sub>O = 265 kg de CO<sub>2</sub>, etc.)

\*\*Traitement

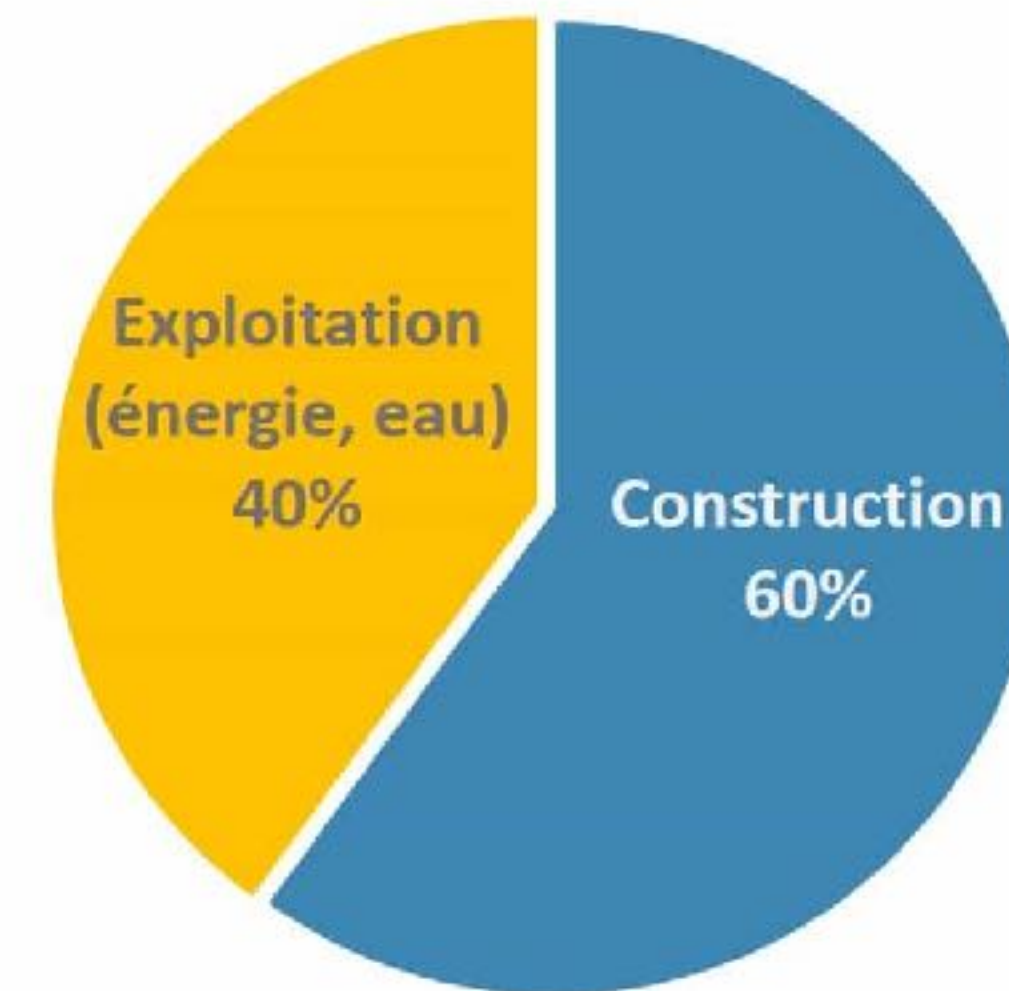
Sources : GIEC, cop21.gouv.fr, ministère de l'Écologie

A l'échelle de l'empreinte carbone de la France, le logement est le premier secteur en terme d'émissions de gaz à effet de serre avec **27% des émissions** et **44% de l'énergie consommée**. Si l'on considère également le secteur tertiaire, on voit bien que l'ensemble du **secteur du bâtiment est le champion des émissions**.

Source : Association BBKA, Ministère Transition écologique et solidaire



Composition par poste de consommation de l'empreinte carbone en France en 2010  
Source : Conseil général du Développement Durable



Répartition du poids CO<sub>2</sub> de l'acte de construire  
Résultats du test HQE Performance pour l'échantillon 2012-2013 bureaux et logements collectifs

fin de vie ?

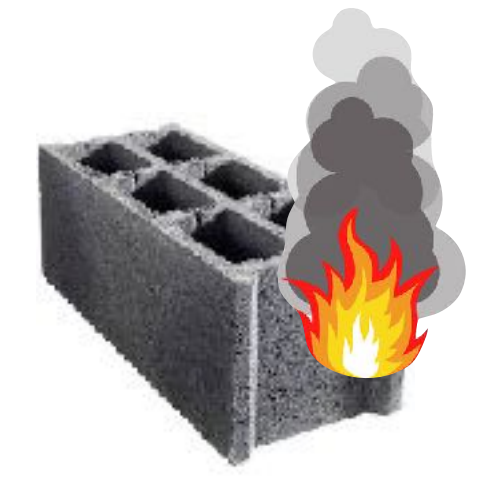
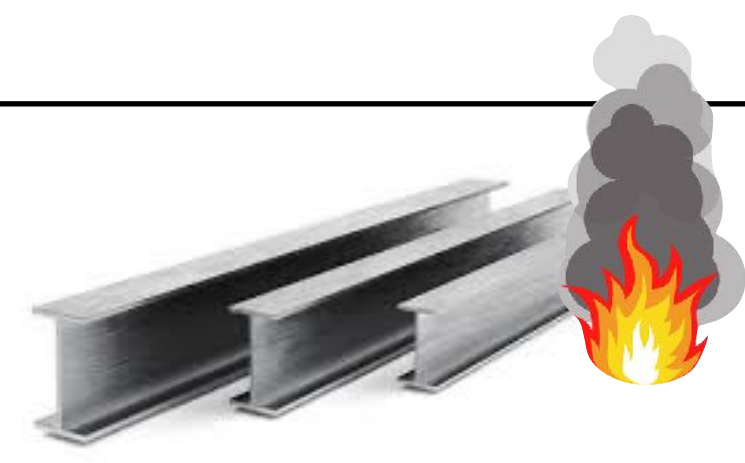


**Le choix de nos matériaux de construction est déterminant.**

# Nos matériaux de construction :



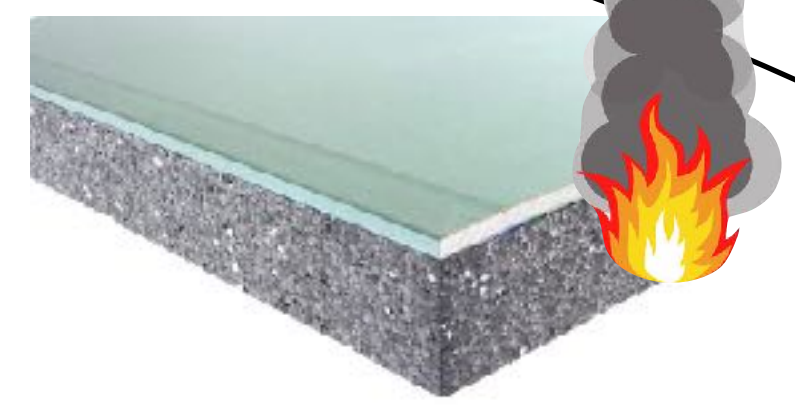
**Métalliques**



**Organiques**

**Plastiques**  
(d'origine synthétique)

**Cellulosiques**  
(d'origine naturelle)



*composites*

**Minéraux**  
Cimentaires  
Granulats  
Terre



# Quelques ouvrages en bois traditionnels :



- . aussi appelée **maison en rondins** ou **fuste**
- . spécifique aux régions de montagne et aux pays nordiques (Canada, USA, Scandinavie, Russie)
- . usage dominant de bois ronds (troncs ou *fûts*) écorcés, ajustés et empilés. Section entre 15 et 50 cm.
- . le bois à une double fonction : support de structure et résistance thermique
- . usage de ressource locale et rapidité de construction (requis par le climat !)



# Quelques ouvrages en bois traditionnels :



## Construction à colombage

Maison d'Adam, Angers (FR), construite en 1491.



# Quelques ouvrages en bois traditionnels :



**Sous les toits de Paris ...**  
.... et au dessus.



# Quelques ouvrages en bois contemporains :



## Maison à ossature en bois (Béligneux, FR)

Structure verticale Ossature Epicéa, Revêtement extérieur en bardage à claire-voie bois massif Western Red Cedar



# Quelques ouvrages en bois contemporains :



## **Villa Timberteam (Ramatuelle, FR)**

Année : 2013, Superficie : 280 m<sup>2</sup>

Murs & plancher en panneaux lamellés-croisés

# Quelques ouvrages en bois contemporains :



Surélévation en ossature bois de maison individuelle avant/après (Lunel, FR)



Surélévation en ossature bois de logements collectifs (Paris, FR)



Extension de maison individuelle (Vigneux-de-Bretagne, FR)

# Construire en bois de plus en plus haut

Logarithm of height (m)

80 m

50 m

30 m

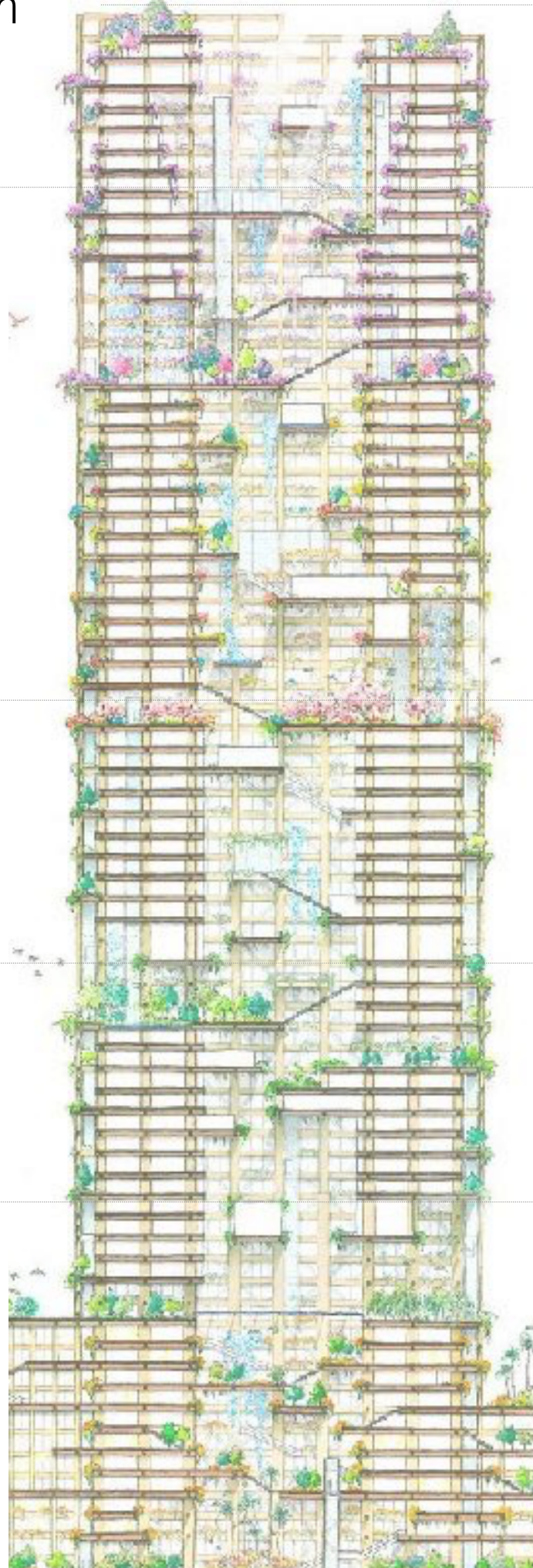
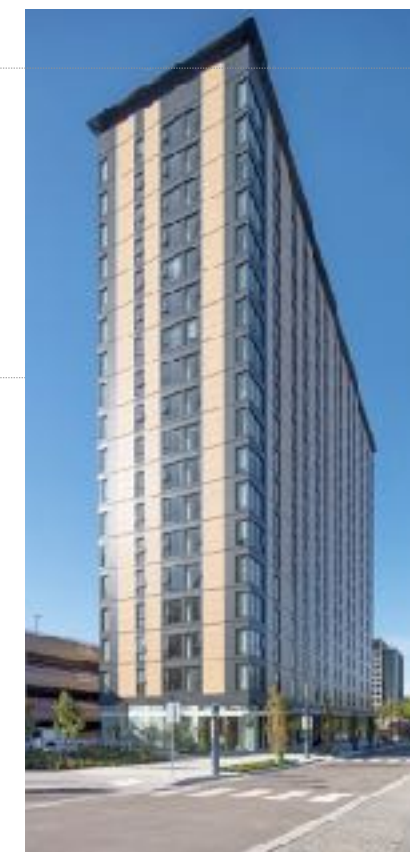
...

...

300 m

350 m

750 m



**Résidence Stadthaus (Londres, UK)**  
2009, 9 niveaux, hauteur 30 m, 27 jours de chantier

**Bâtiment Forte Living (Melbourne, Australie)**  
2012, 10 niveaux, hauteur 32 m, 50 logements,

**Le Toit Vosgien (St. Dié des Voges, FR)**  
2014, R+7, panneaux structuraux CLT + isolation paille

**Brock Commons (Vancouver, Canada)**  
2017, 18 niveaux, 53 m, lot bois : 2 étages/semaine, 9 personnes

**Tour Mjøstårnet (Brumunddal, NO)**  
livré 2019, R+18, hauteur 85.4 m, mixte logement/ bureau/hôtel

**Oakwood Tower (Londres, UK)**  
315m de haut, 80 niveaux

**W350 Project (Tokyo, Japon)**  
Groupe Sumimoto Forestry Co., 350m de haut, 70 niveaux, à livrer en 2041, 4,6T€

**Mandragore Tower (New-York, USA)**  
737m de haut, 160 niveaux

aujourd'hui    demain

# Quelques ouvrages en bois contemporains :



## « Allianz Riviera » (Nice, FR)

Année : 2013, coût 155 M€ht, MOE :Vinci Construction, lot bois :Arbonis. C

Charpente de couverture mixte lamellé-collé & métal. 30 m de haut, 46 m de porte-à-faux englobant gradins et déambulateurs.



# Quelques ouvrages en bois contemporains :



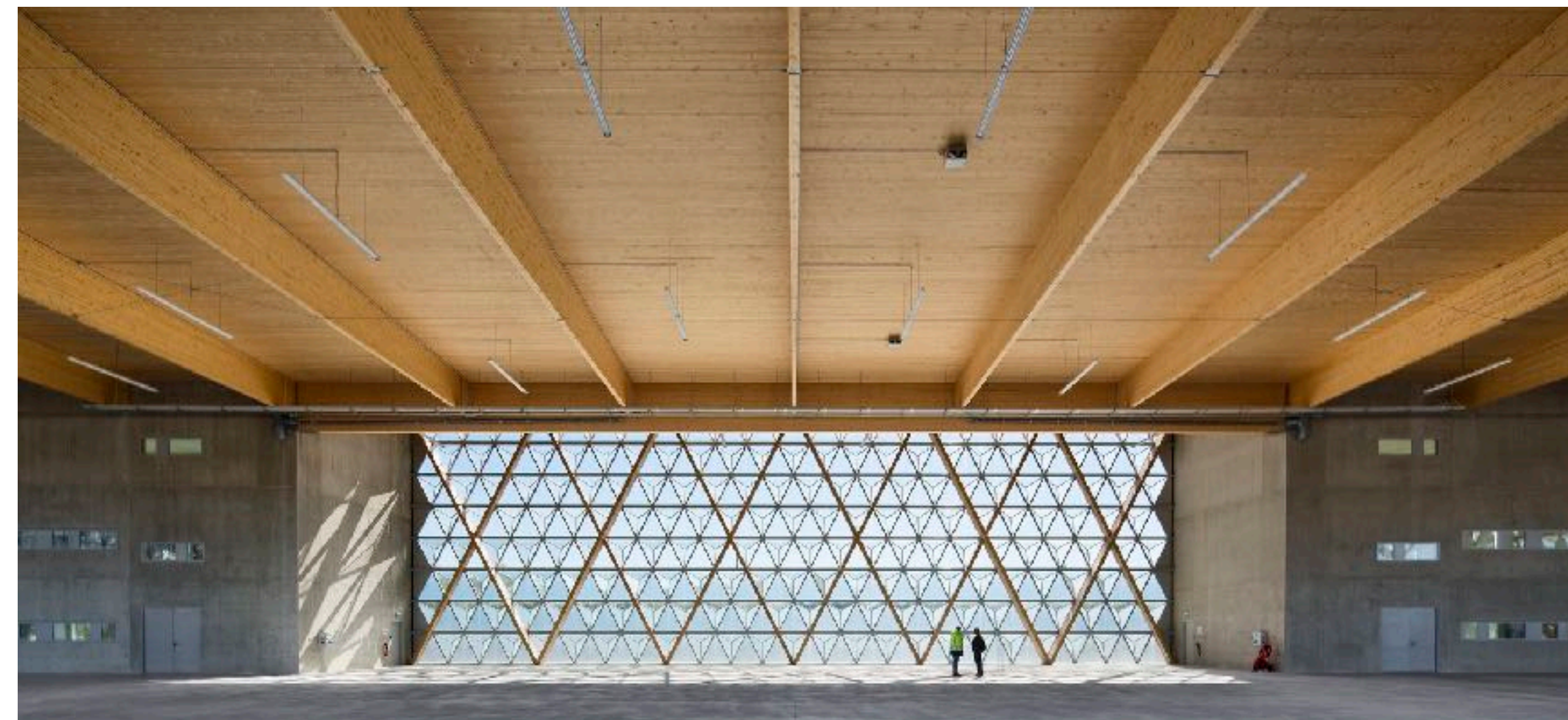
## Forest Green Rovers FC Stadium (UK)

Intégralement en bois (gradins, structure, couverture,...), 5000 places, 100M£

Projet Architecte Zaha Hadid déposé en 2017, abandonné en juin 2019 et finalement accepté en décembre 2019



# Quelques ouvrages en bois contemporains :



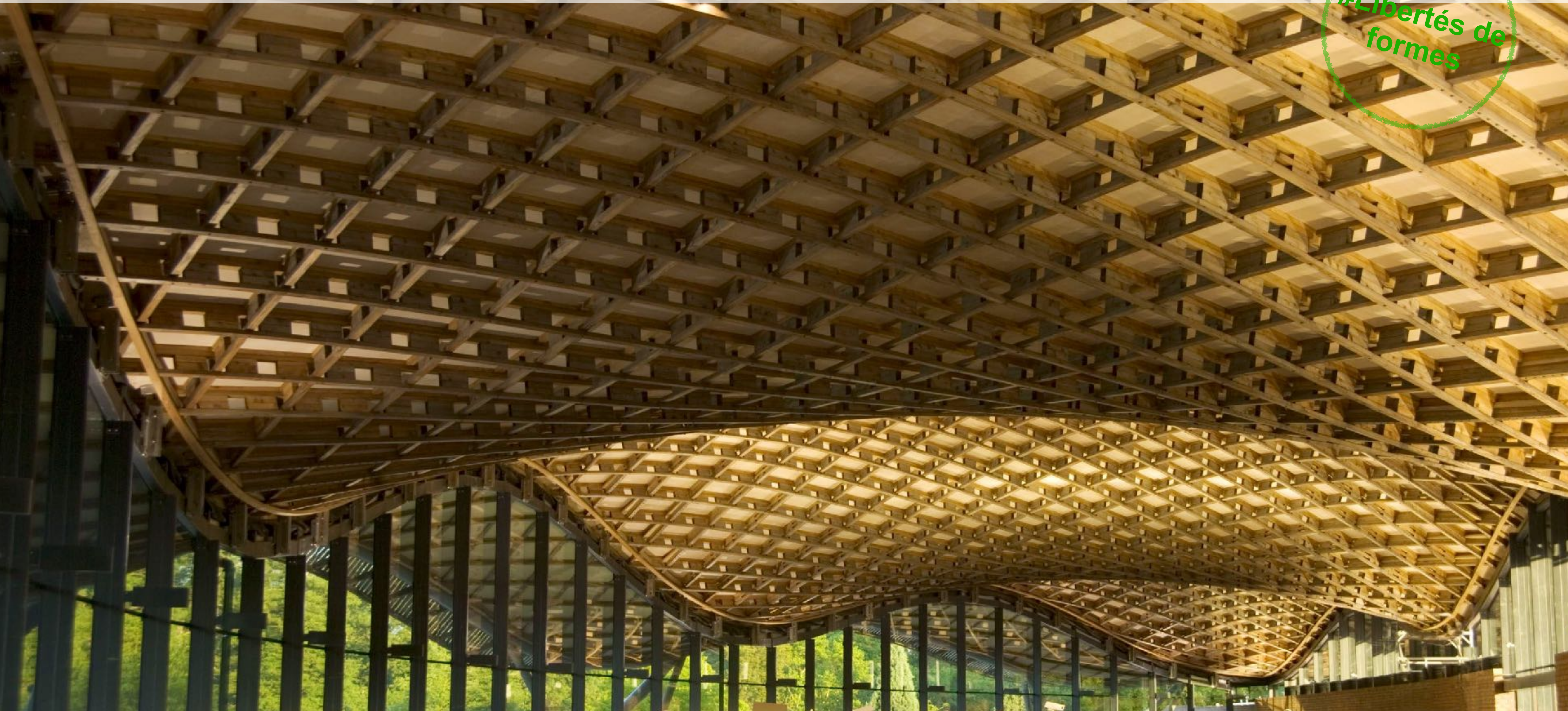
**Hangar H16 aéroport d'affaires Cannes-Mandelieu (FR), 2013**

94 m de long, 12 m de haut, 34 m de large en zone sismique et sol sableux, poutres allant jusqu'à 2,5 m de hauteur



# Quelques ouvrages en bois contemporains :

#Libertés de formes



**The Savill visitor center (Windsor, UK), 2006**  
90 m de long x 25 m de large, fils de bois de mélèze et chêne de 50 x 80 mm



# Quelques ouvrages en bois contemporains :



- 590 t CO<sub>2</sub>

# Ambiances multiples

**Village Nature Aqua-Lagon (Marnes-la-vallée, FR)**

Année : 2017, pyramide de verre incluant 7000 m<sup>2</sup> de planchers sur 4 niveaux, assemblages par tiges scellées [Vinci Construction]

# Quelques ouvrages en bois contemporains :

#Ouvrages  
d'art



- 825 t CO<sub>2</sub>

## Mistissini bridge (CA)

Année : 2014, longueur : 160 m, portées : 37 / 43 / 43 / 37 m, largeur 9,25m  
4 poutres droites en lamellé-collé de 24 m de longueur chaque soutenues par des arches de 15 m



# Quelques ouvrages en bois contemporains :

---



**Bow River pedestrian Bridge (CA)**

80 m de portée, Année : 2013. 3 arches en lamellé-collé de 40 m / 34 m / 40 m

# Quelques ouvrages en bois contemporains :

---



**Pont du lac Mjøsa (Norvège)**  
Année : livraison 2025, longueur : 1350 mètres, tronçon autoroutier 4 voies

# De nouveaux matériaux à base de bois :



Bois Massif



Bois Massif Abouté



Bois Massif Reconstitué



Bois Lamellé-collé



Bois Lamellé-Croisé



Bois Lamellé-Nervuré



Bois Lamellé-Cloué



Lamibois



Dalles Lamelles Orientées



Dalles Contre-plaqués



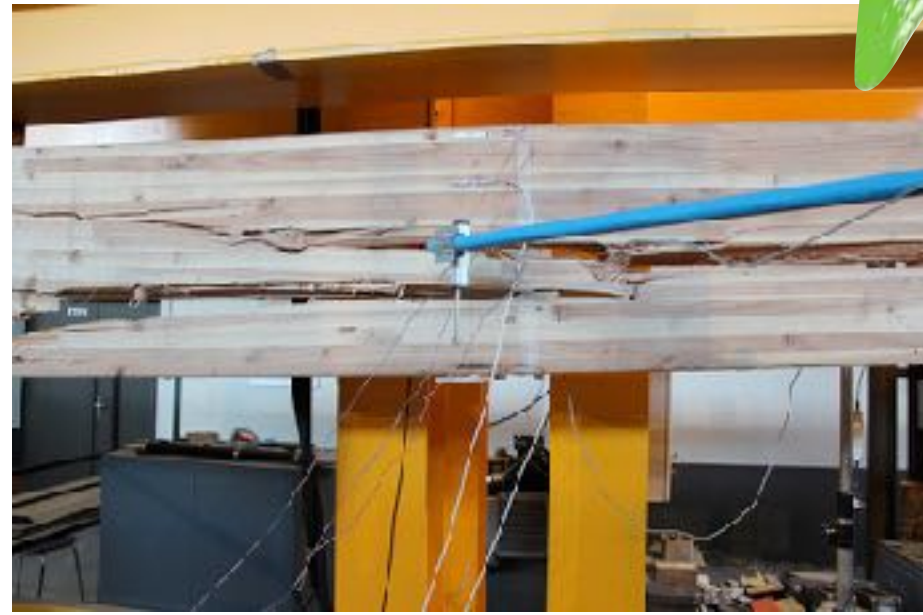
Poutres en I



Poutres mixtes

.....

# Oui mais le bois ...



... ça casse !



... ça fissure !



... ça pourri !



... ça brule !



... ça grisaille !

# Les métaux ...



... ça rouille !

# Les bétons ...



... ça fissure !

# Les plastiques ...



... ça casse !

**Tous les matériaux ont leurs limites de performances et leurs pathologies.**

# Oui mais le bois ... les règles de construction s'appliquent.

Analyse structurale : Eurocode 5



Document Technique Unifié (DTU) :

Reflète une expérience reconnue et réussie de la réalité de chantier.

Environ 16 DTU concernent le bois sur les env. 100 en vigueur pour le bâtiment.

Structure :

NF DTU 31.1 Charpente et escaliers en bois

NF DTU 31.2 Maisons et bâtiments à ossature en bois

NF DTU 31.3 Charpentes en bois assemblées par des connecteurs métalliques ou goussets

NF DTU 31.4 Façade à ossature bois



Enveloppe :

NF DTU 36.2 Menuiseries intérieures en bois

NF DTU 36.3 Escaliers en bois et garde-corps associé

NF DTU 36.5 Menuiseries extérieures

Revêtement de façade :

NF DTU 41.2 Revêtement extérieurs en bois

Étanchéité :

NF DTU 43.6 Toitures en éléments porteurs en bois et panneaux dérivés du bois avec revêtement d'étanchéité

Planchers :

NF DTU 51.1 Pose des parquets à clouer

NF DTU 51.11 Pose flottante des parquets contrecollés et revêtements à placage bois

NF DTU 51.3 Planchers en bois ou en panneaux dérivés du bois

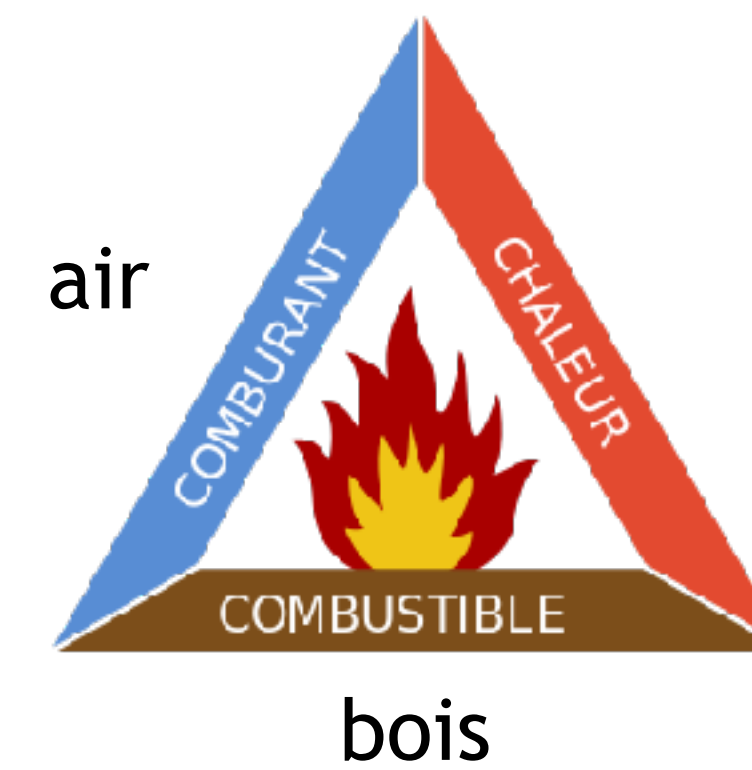
NF DTU 51.4 Platelages extérieurs en bois

Guides RAGE, ressources CNDB/CODIFAB/FCBA



# Oui mais le bois ...

- OUI le bois brûle ... !
  - C'est un combustible. Comme tout les autres matériaux de construction, suivant le niveau de température.
- La construction bois ne déroge pas à la loi
  - La réglementation sur la sécurité incendie est la même pour toutes les constructions (maçonneries, métalliques, bétons, ...) par type de bâtiment (habitation, bureaux, ...)
- Le bois à une bonne tenue mécanique au feu
  - 10x moins de transmission de chaleur que le béton, 250x moins que l'acier.
  - n'explose pas mais se consume
  - préserve sa capacité portante durant carbonisation.
    - > plus de temps d'intervention pour les pompiers, pas de surcôte assurance



Triangle du feu

Ne pas confondre réaction au feu et résistance au feu !

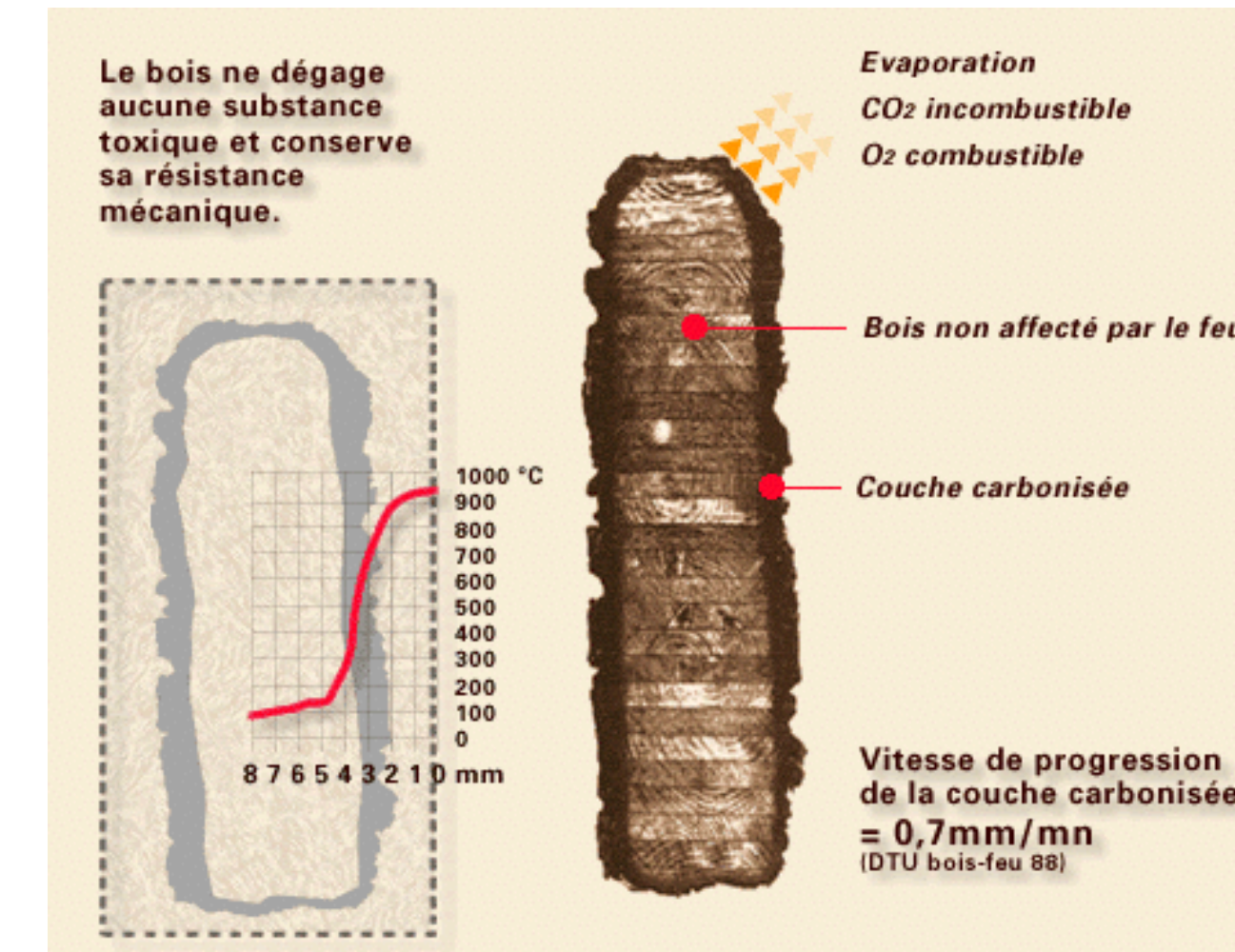
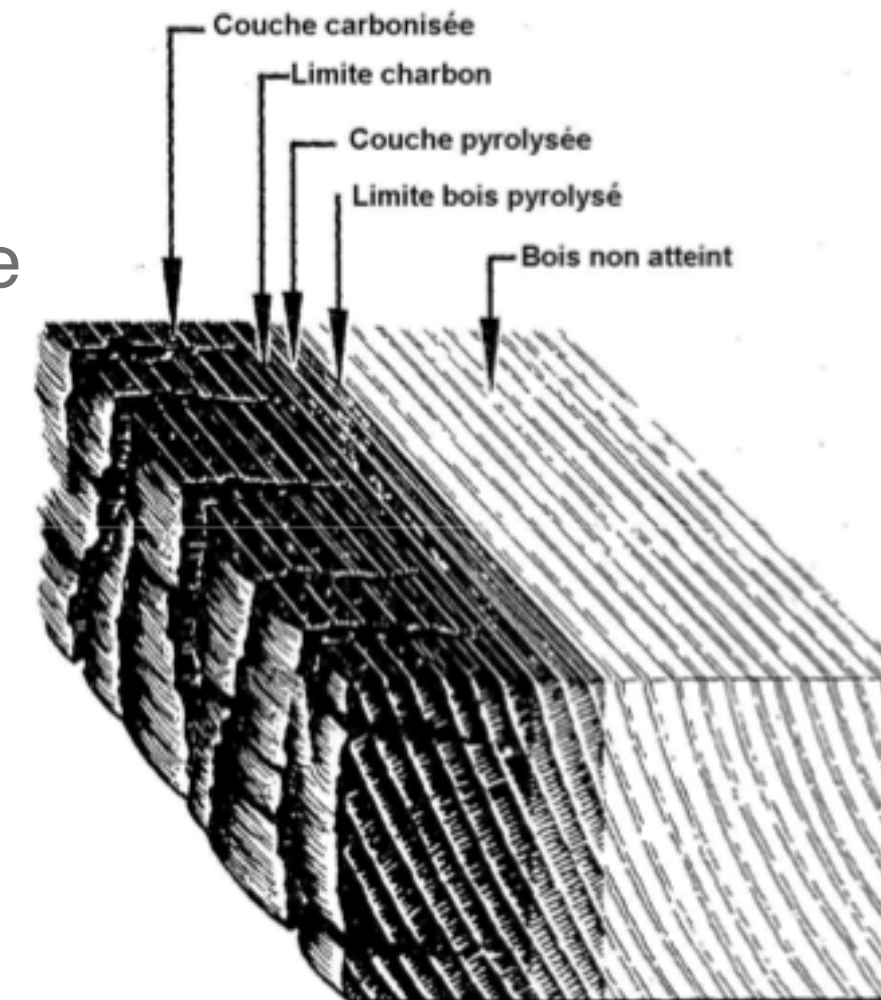
Réglementation européenne NF EN 13501-1			Réglementation française
A1			Incombustible
A2	s1	d0	M0
A2	s1	d1	M1
A2	s2	d0	
	s3	d1	
B	s1	d0	
	s2	d1	
	s3		
C	s1	d0	M2
	s2	d1	
	s3		
D	s1	d0	M3

Dégagement de fumée :

- s1 : pas de fumée
- s2 : fumée
- s3 : production importante

Production de gouttes enflammées :

- d0 : pas de gouttes
- d1 : gouttelettes
- d2 : nombreuses gouttes

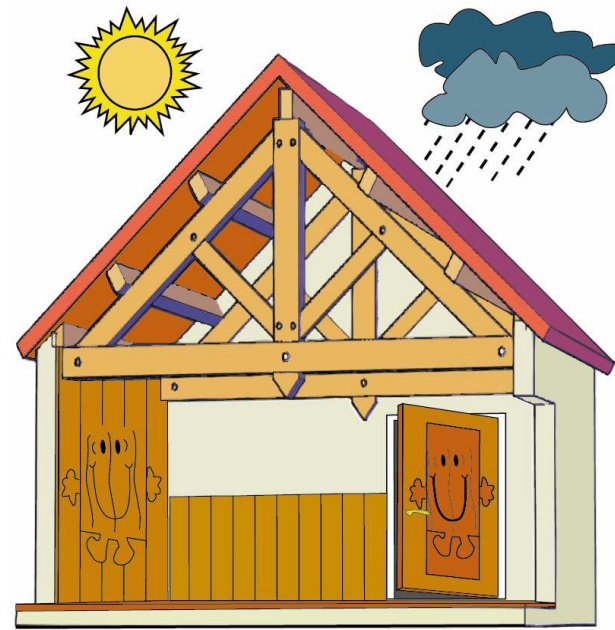


Matériaux  
mais surtout  
conception



# Oui mais le bois ...

## Classements d'emplois

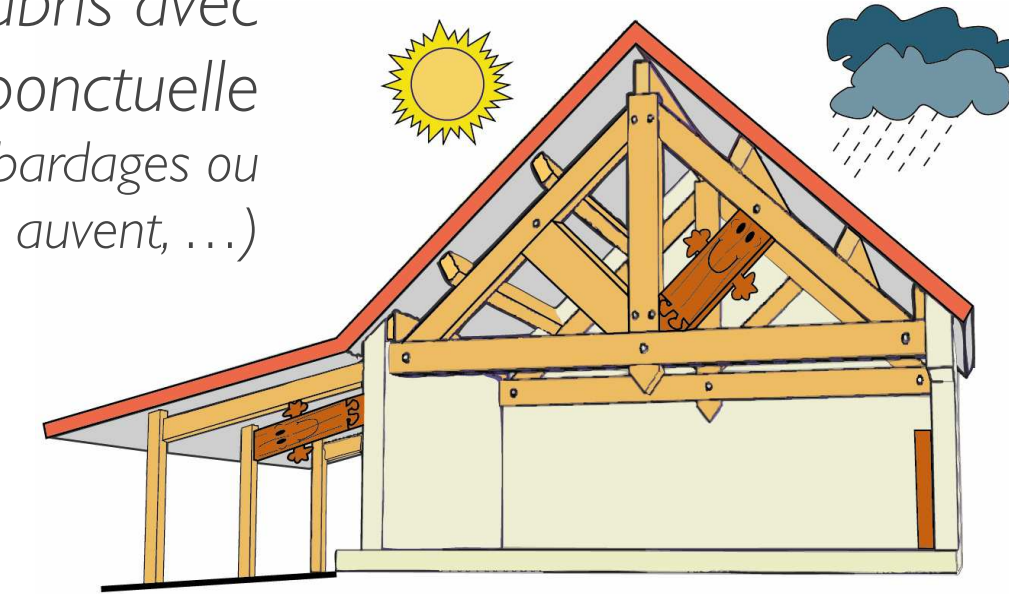


### Classe I

bois toujours en intérieur sec  
(lambris, portes intérieures, parquets, ...)

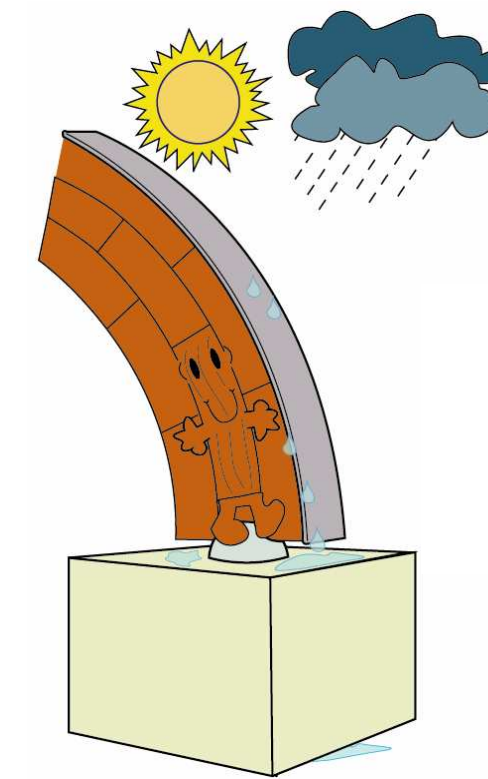
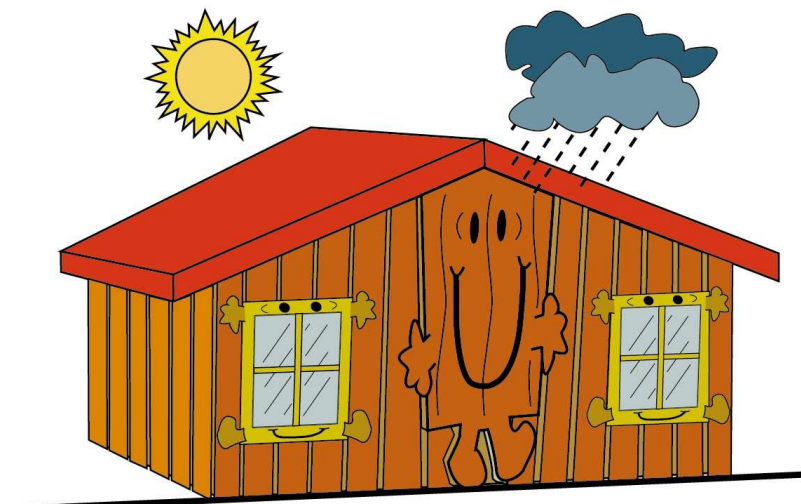
### Classe II

bois en intérieur ou sous abris avec  
humidification très ponctuelle  
(charpentes, ossatures, bardages ou  
menuiseries abritées sous auvent, ...)



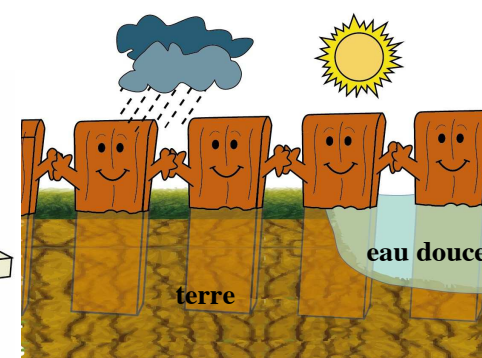
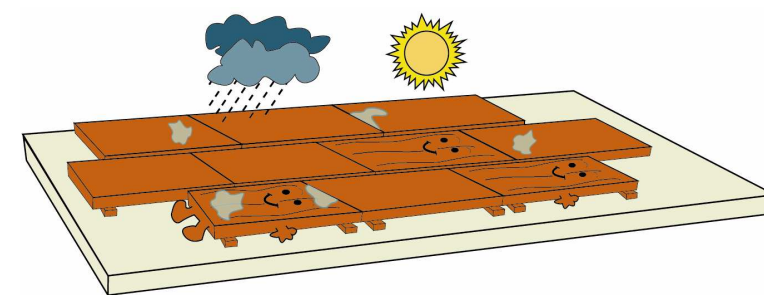
### Classe III.1

bois extérieur hors sol,  
humidification fréquente sur des  
périodes courtes (quelques jours)  
séchage complet et rapide avant  
réhumidification  
(bardages en climat modérés peu exposés et  
bien drainés, menuiseries extérieures en  
climat sec ou modéré)



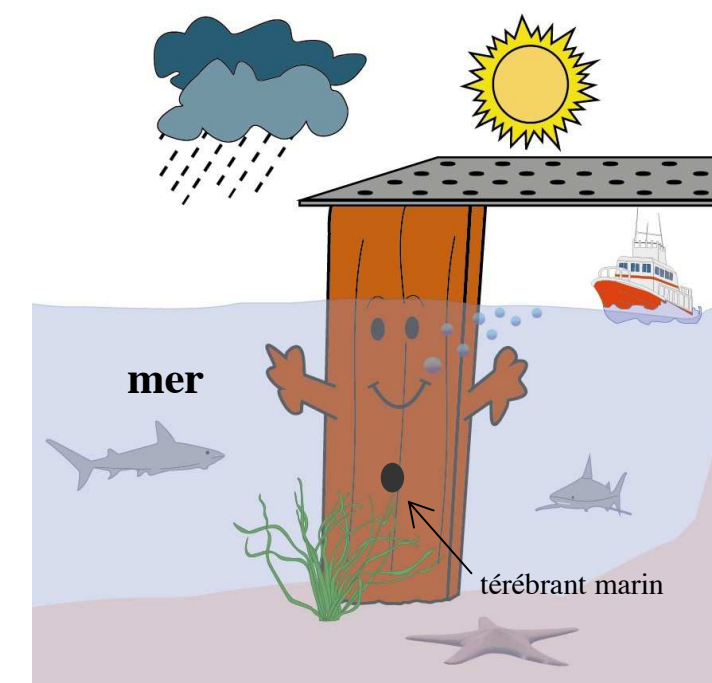
### Classe III.2

bois extérieur hors sol,  
humidification très fréquente sur  
des périodes significatives  
(quelques semaines) séchage  
complet mais lent avant  
réhumidification  
(bardages, menuiseries, éléments structurels  
en conditions relativement exposées et  
moyennement drainantes, menuiseries  
extérieures en climat humide)



### Classe IV

bois en extérieur en contact  
récurrent avec le sol et/ou l'eau  
voire immergé en eau douce  
(piquets ou poteaux plantés en terre,  
solivage de terrasse, ...)



### Classe V

bois en immersion dans l'eau de  
mer (pieds de ponton, jetée en milieu  
marin)

# Oui mais le bois ...

Durabilité mécanique

Les remèdes !

- **Protection 'intellectuelle' : choix de l'ingénieur !**

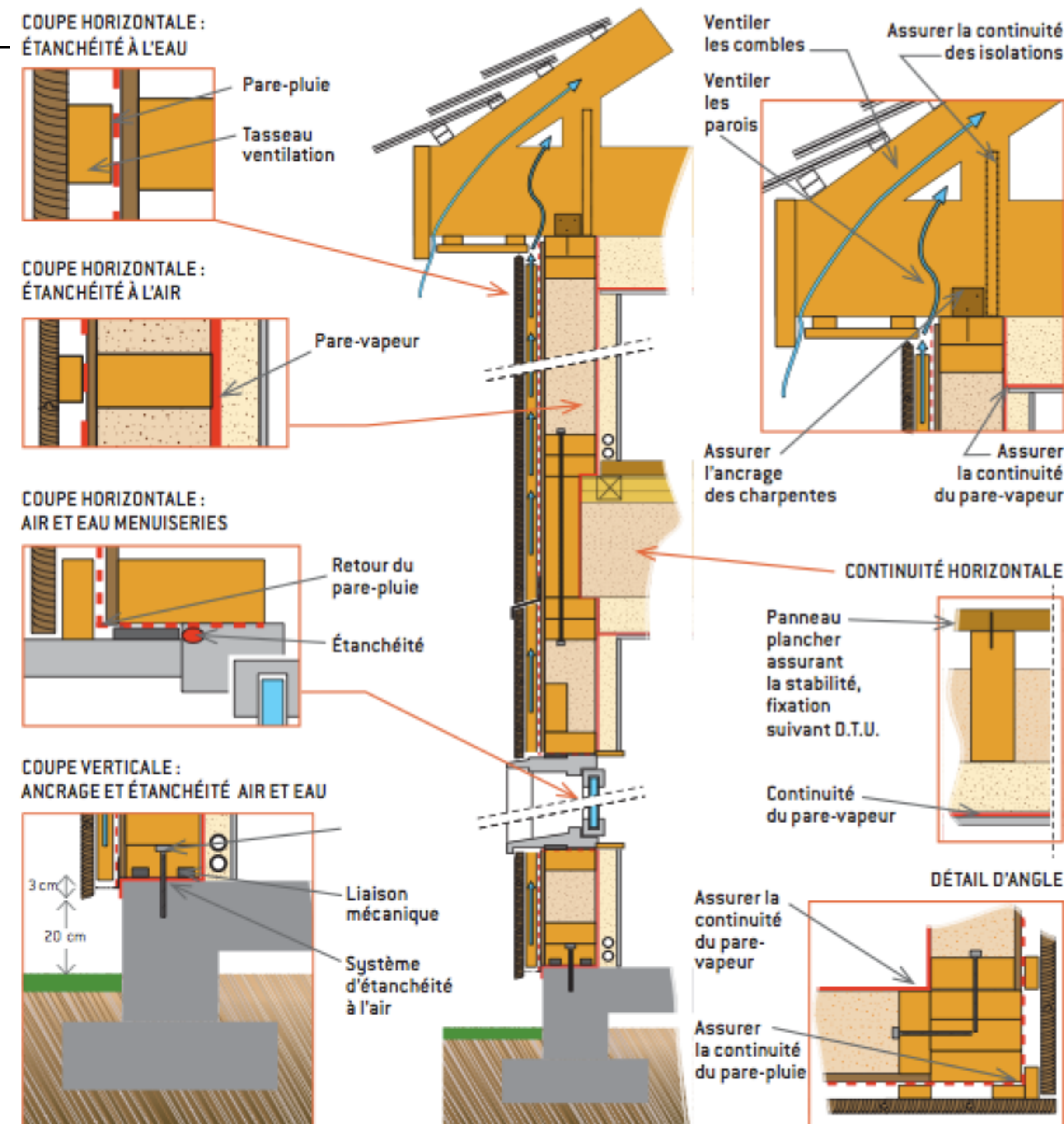
Utiliser des solutions constructives pertinentes :

- empêcher la pénétration en humidité
- permettre une évacuation rapide
- ...

Pré-requis de bonne mise en oeuvre

- choisir le bon bois (essence, traitement, performances mécaniques ...) et l'intégrer au bon endroit
- choisir des produits et des systèmes conformes aux normes
- réaliser une conception rigoureuse
- avoir une maîtrise globale, de la conception à la réalisation

DTU 31-2 : « bâtiments à ossature bois »



# Oui mais le bois ...

## Durabilité mécanique

Les remèdes !

- **Protection 'intellectuelle' : choix de l'ingénieur !**

Utiliser des solutions constructives pertinentes :

- empêcher la pénétration en humidité
- permettre une évacuation rapide
- ...

- **Protection naturelle : choix de l'essence**

→ Bois naturellement durable = pas de traitement

- Bois indigènes purgés d'aubier : Chêne, Châtaignier, Robinier, Mélèze, Douglas
- Bois exotiques : Azobé, Doussié, Ipé, Iroko, Teck, etc...

- **Protection chimique : choix du traitement suivant l'essence**

→ Bois non durable + traitement

- Par aspersion ou badigeonnage : classe d'emploi I et II
- Par trempage : classes d'emploi I, II et III
- En autoclave : classes d'emploi III et IV
- En imprégnation axiale : classes d'emploi III et IV

D'autres possibilités de traitement :

- Traitement haute température
- Traitement oléo-thermique



*trempage*



*badigeonnage*



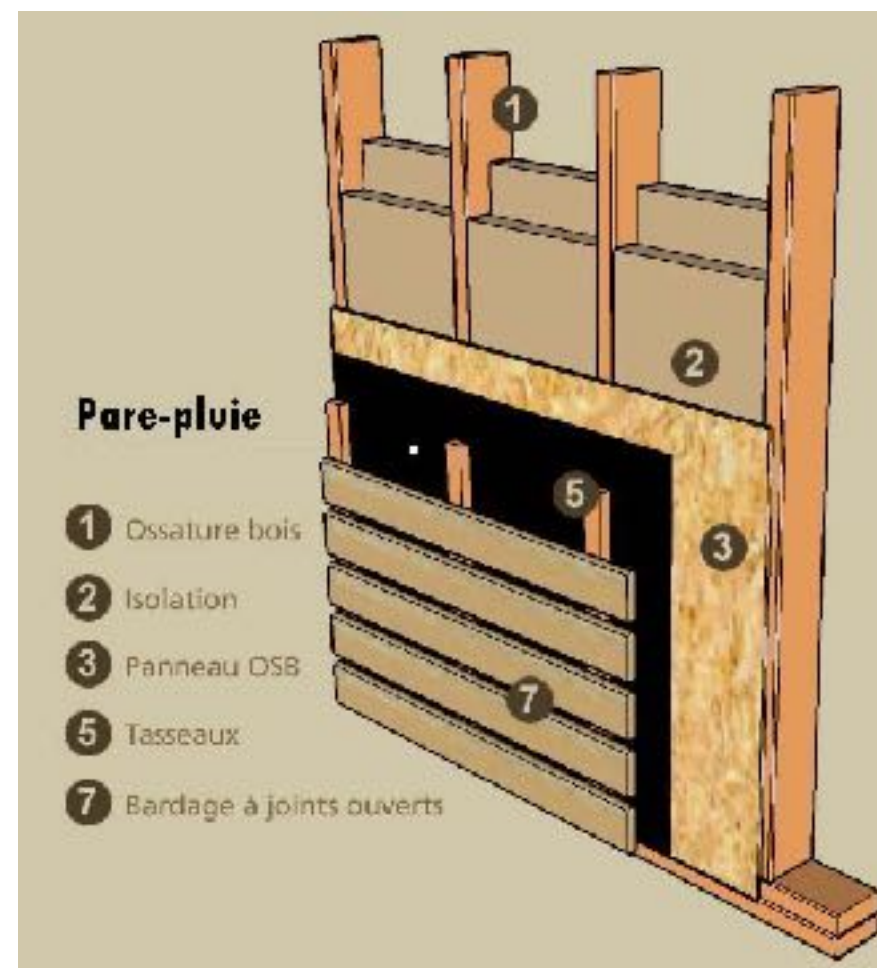
*autoclave*

# Oui mais le bois ...

Détails constructifs :

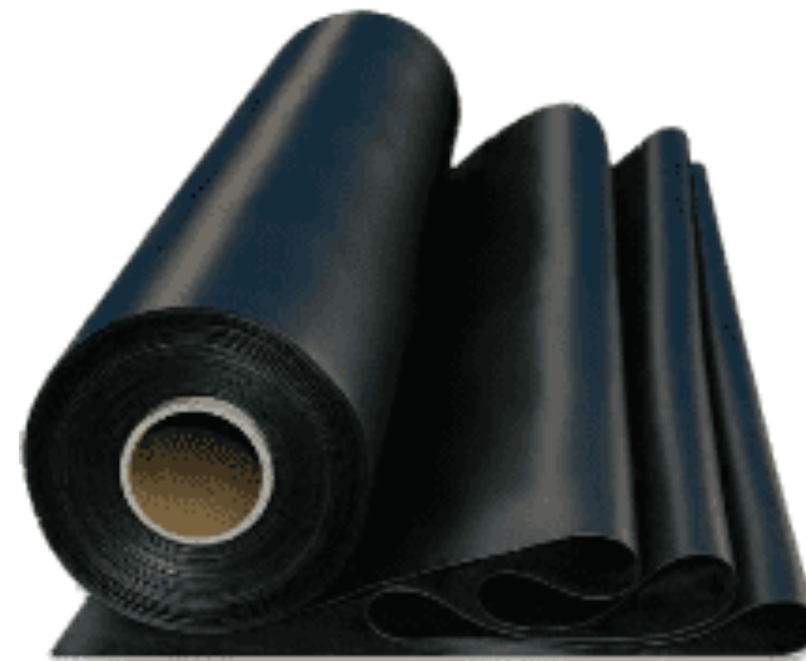
. Isolation hydrique

Extérieur



## Pare-pluie

membrane EPDM résistante à eau liquide et perméable à vapeur eau pour protéger une paroi coté froid de l'isolation thermique



- Critères :
- . perméabilité  $S_d$  (~0.02 à 0.1m)
  - . résistance déchirure
  - . stabilité UV (1 semaine à plusieurs mois)
  - . largeur (1,5 ou 3m)

$$S_d = \mu \times d \text{ [m]}$$

d : épaisseur de la membrane,

$\mu$  coefficient résistance à diffusion vapeur

Plus  $S_d$  est élevé moins il laissera l'humidité traverser



Perforations (fixation, prises, réseaux ...)  
Jonctions (bandes, angles, sols, plafonds, ...)

Adhésif spécifique



## Pare-vapeur

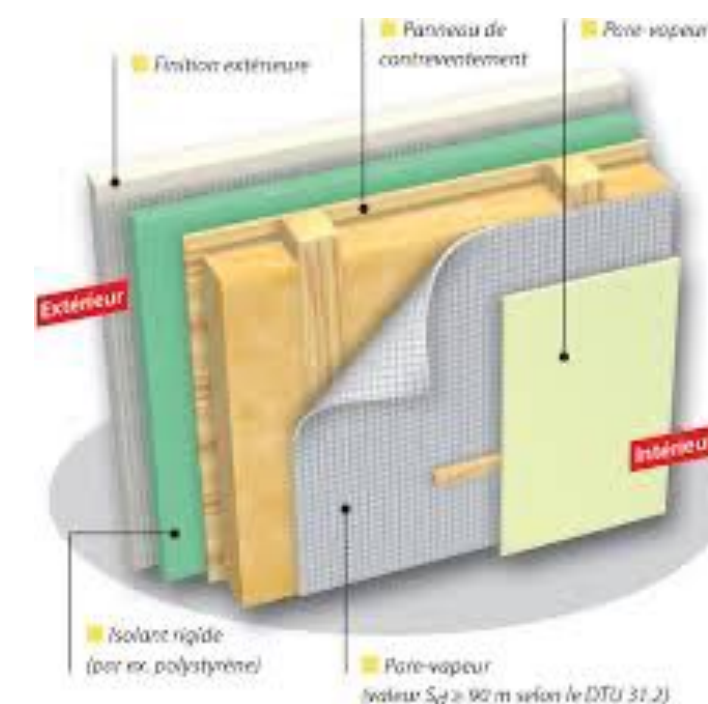
$S_d > 90m$

Intérieur



## ou Frein-vapeur

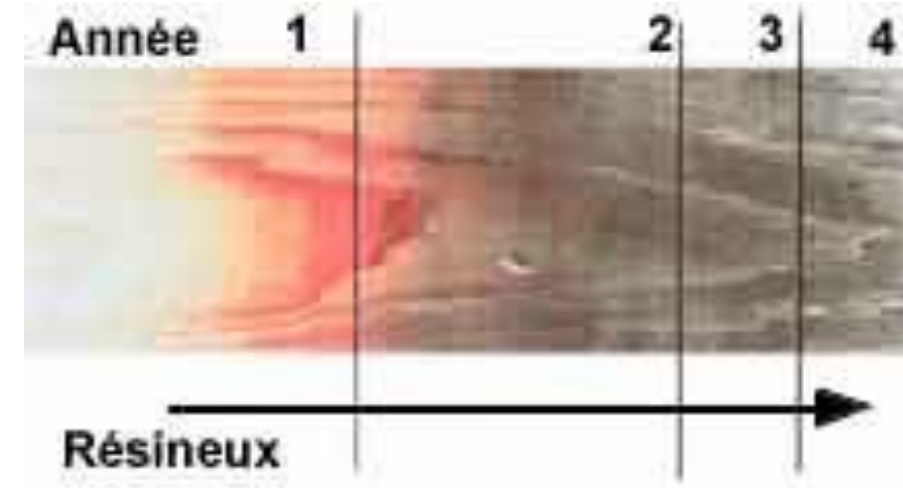
$S_d$  entre 2 à 18m



# Oui mais le bois ...

Durabilité

Durabilité esthétique



# Oui mais le bois ...

Durabilité

Durabilité esthétique



Bardage en mélèze 3 an après application d'un protecteur (gauche) et non traité (droite)

Sinon quelles solutions ? L'accepter ou appliquer un protecteur chimique :

- Une **peinture** ou un **verniss** sont des protections filmogènes (couche apposée en surface). Protège le bois d'infiltrations d'eau mais s'écaille en fin de vie, nécessitant ponçage avant ré-application.
- Une **lasure** est un type de verni qui laisse respirer le bois (microporeux). Durée de vie plus longue mais moins efficace.
- Un **saturateur** ou une **huile** imprègne le bois plus en profondeur mais souvent lessivable sous l'action de la pluie nécessitant ré-application tous les 1 à 5 ans (suivant climat, exposition eau, exposition UV....)

**Nécessaire adéquation entre les choix architecturaux & matériaux mis en oeuvre**

# Le bois n'est pas le seul bio-sourcé pour la construction

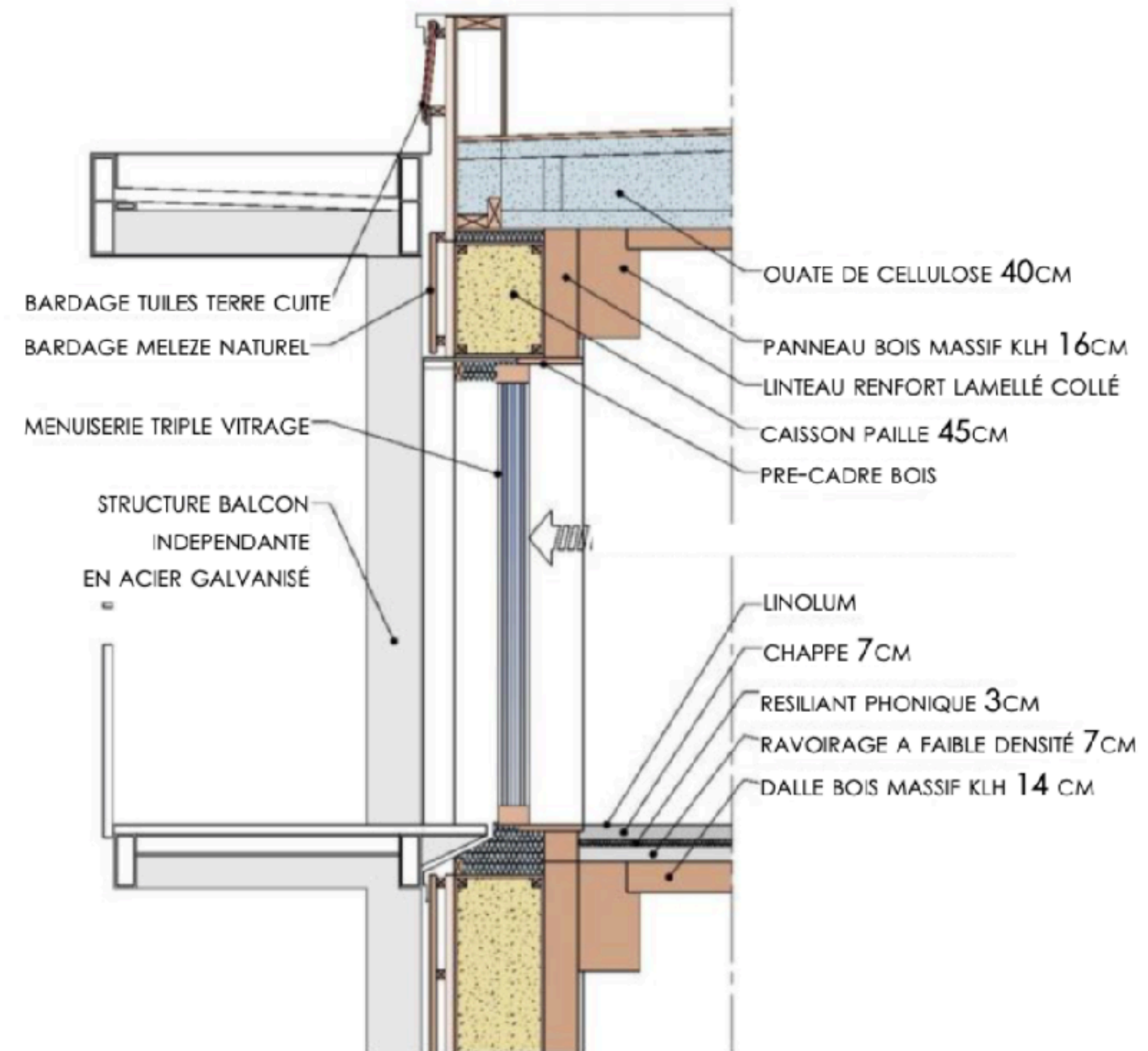
## Des isolants naturels :

- Fibre de bois (rigide ou souple)
- Laine de bois
- Laine de chanvre
- Cotons recyclés
- ouate de cellulose
- Liège
- Laine de moutons
- Fibre de lin



### Le Toit Vosgien (St. Dié des Voges, FR)

2014, R+7, panneaux structuraux CLT + isolation paille  
1576€/m<sup>2</sup> SHON, 1100t eq. CO<sub>2</sub> (10 ha de paille)  
25kWh/m<sup>2</sup>/an (2x mieux sur CEP que RT2012)



# Le bois n'est pas le seul bio-sourcé pour la construction

## De la paille en structure :

### De la ressource

- + Matériaux peu cher (3 à 6€ le m<sup>2</sup>)
  - + Disponible en quantité
  - + bonne conductivité  $\lambda = 0,048 W/m \cdot K$
  - Densité 80 à 120 kg/m<sup>3</sup>
  - + bon déphasage (12 à 16 heures)
  - + Réaction au feu avec enduit B-S1-d0
- 
- ressource saisonnière (-> stockage)
  - localisée (-> transport)

### aux techniques

TECHNIQUE : **REPLISSAGE**



- 1 OSSATURE BOIS
- 2 BOTTES DE PAILLE
- 3 PANNEAU DE CONTREVENTEMENT
- 4 PARE-PLUIE
- 5 BARDAGE

TECHNIQUE : **PAILLE STRUCTURELLE**



- 1 LISSE BASSE
- 2 MONTANT
- 3 PRÉCADRE DE MENUISERIE
- 4 BOTTES DE PAILLE
- 5 LISSE HAUTE
- 6 GROSSE SANGLE DE COMPRESSION
- 7 PAREMENT EXTÉRIEUR



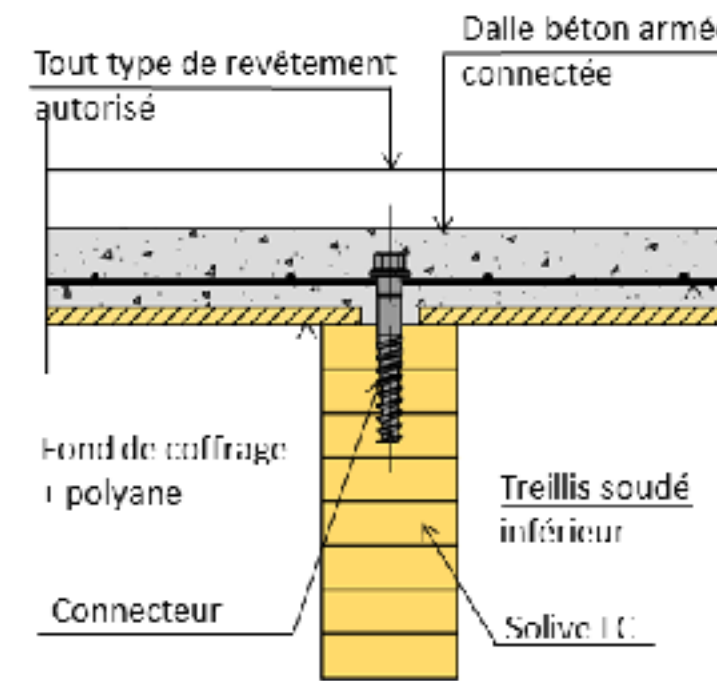
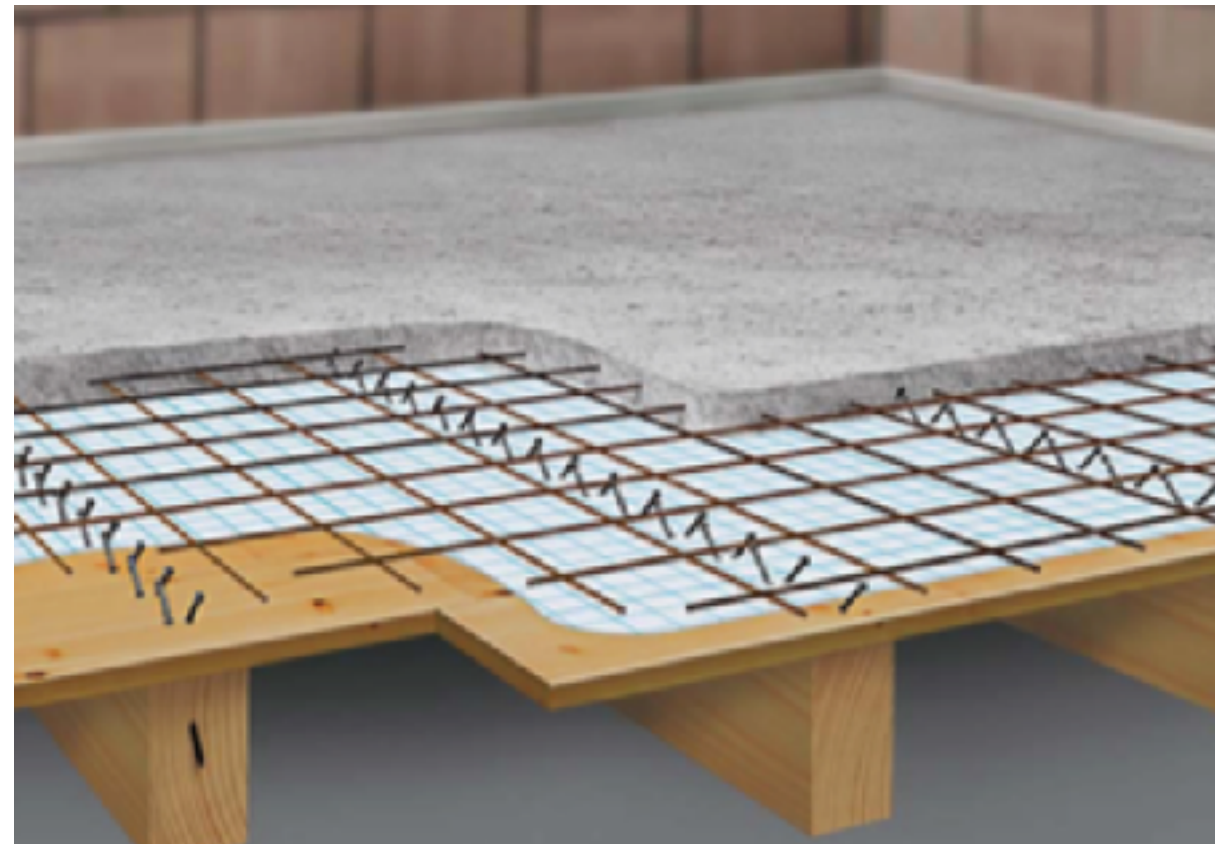
Guide des règles pro.



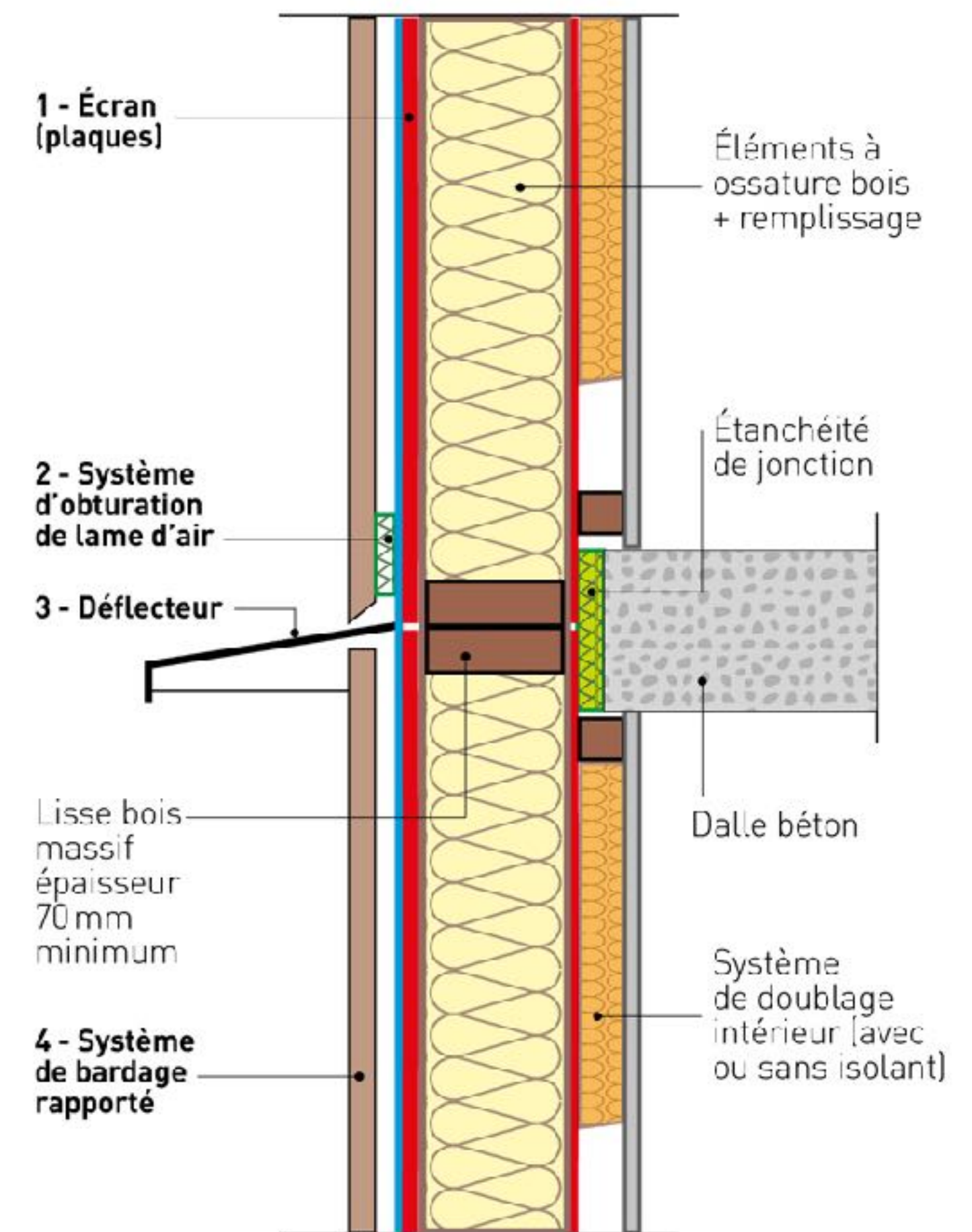


# Les contraintes des bio-sourcés

Bois léger -> faible inertie thermique, confort acoustique



## QUATRE DISPOSITIONS À RESPECTER POUR RÉPONDRE AUX EXIGENCES DE L'IT 249



Sensibilité à l'eau



Propagation du feu

Formation : matériaux, techniques,...

# Des nouveaux matériaux et de nouvelles méthodes

## Usinages CNC



Charles & Mouisset



EPFL iBois

gare TGV Nîmes Manduel



Pavillon Buga, Allemagne



## Modulaire & Pré-fabrication

### 2D (Murs)



Prefabrication-Bois

Mobic



### 3D (Modules)



Selvea



Dhomino

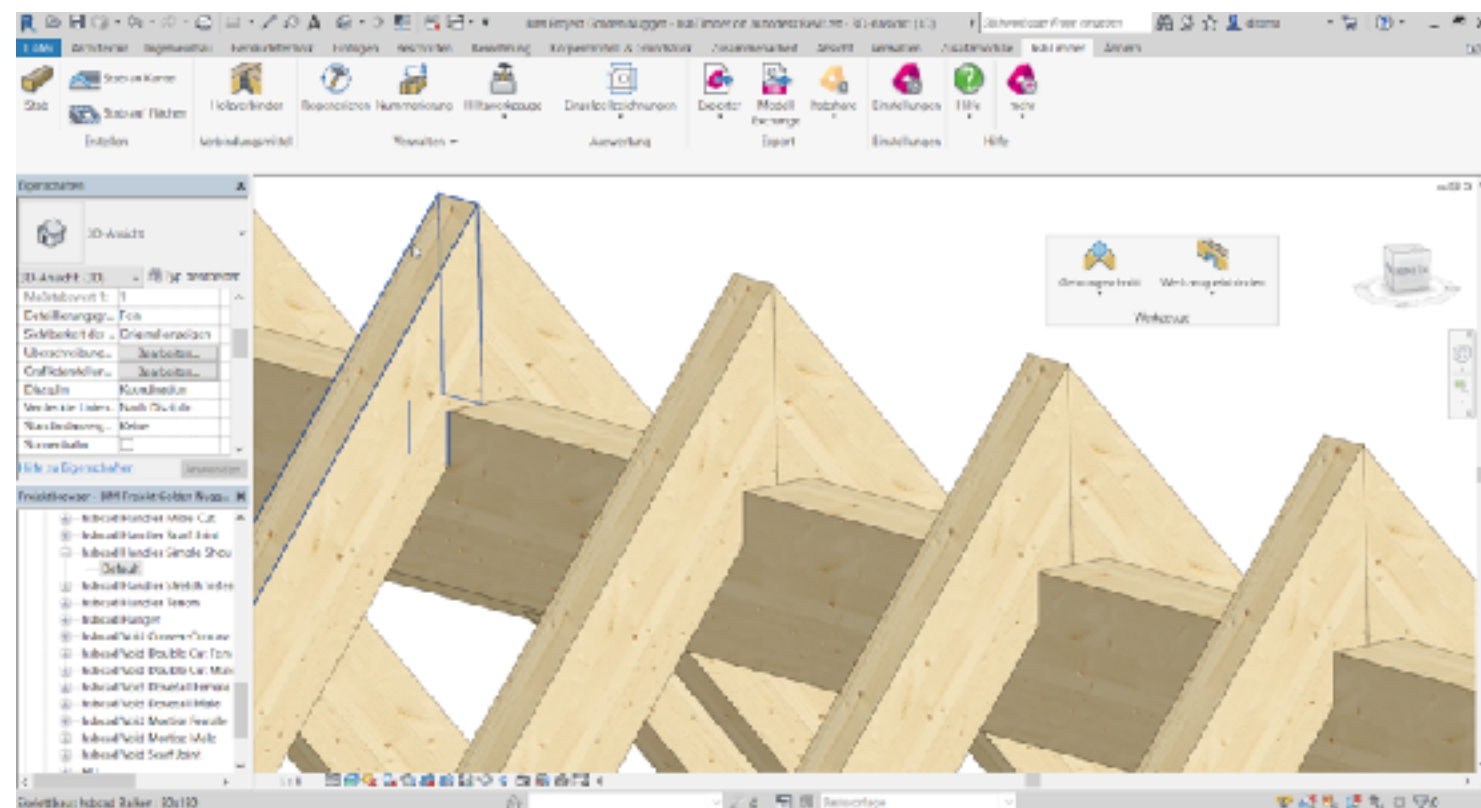
# Des nouveaux matériaux et de nouvelles méthodes

## BIM

Maquette 3D Architecte / Conception / Chantier / Exploitation



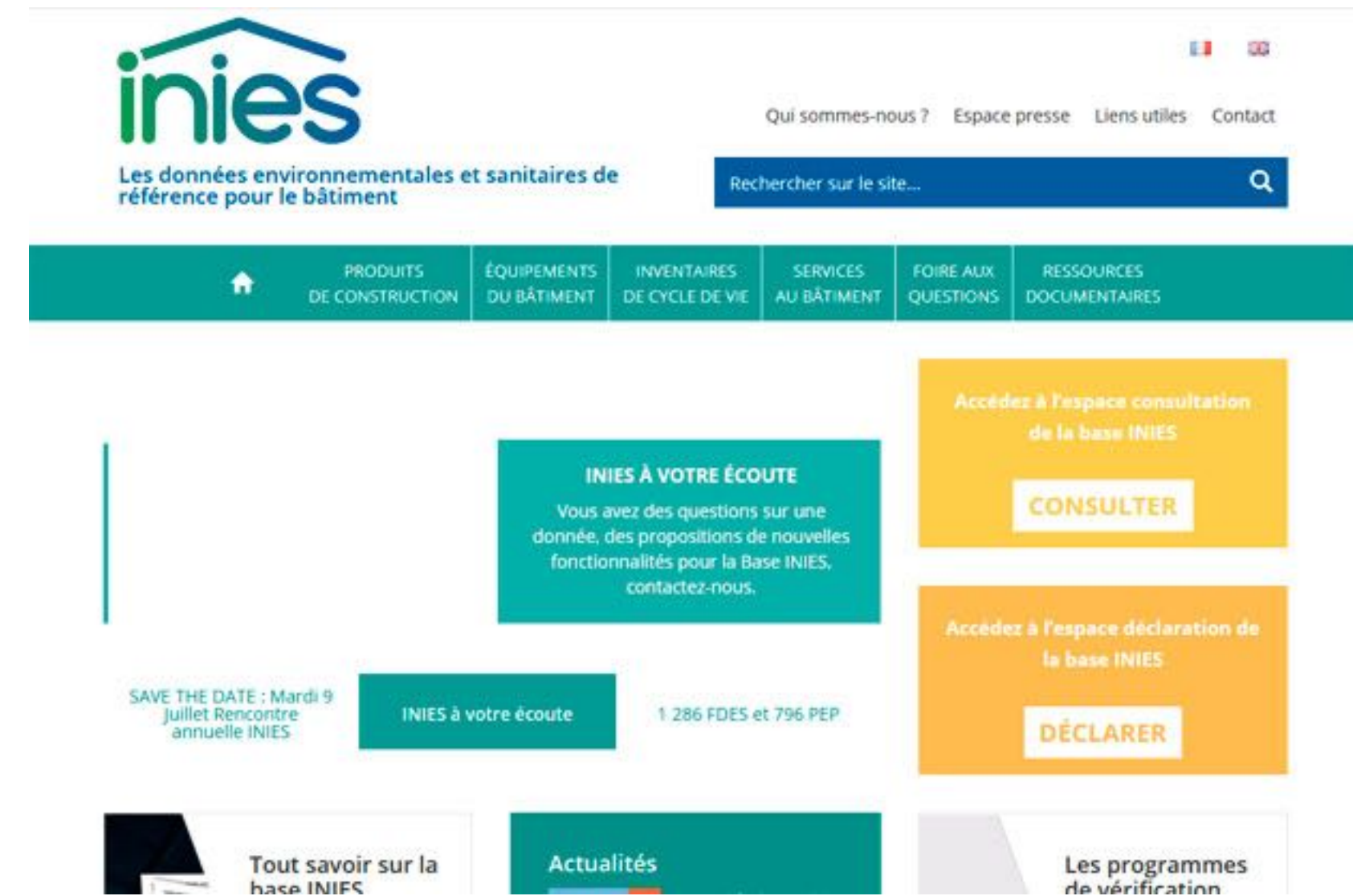
cadwork



Revit

## FDES

Analyse environnementale



Evaluer la performance environnementale des constructions (NF EN 15978)

Normes calcul m<sup>3</sup> bois -> kg eq. CO<sub>2</sub> (NF EN 16449)

### Une démarche opérationnelle de conception



# re Les nouveaux matériaux en bâtiment .

des



**Dr. Cédric MONTERO**

Enseignant-Chercheur - *Maître de Conférences*  
[cedric.montero @ umontpellier.fr](mailto:cedric.montero@umontpellier.fr)

Journée de Formation Activités du Bâtiment et des Travaux Publics - Thème : prendre en compte les contraintes environnementales, les intégrer au projet  
Compagnie des experts de justice près la cours d'appel de Nîmes  
16 Octobre 2020