

# Enjeux techniques de la réhabilitation du bâti métallique congolais - le palais de justice de Mbanza-Ngungu comme cas d'étude

**A. Mpemba Nkole Kabongo**, J-P. Jaspart & J-F. Demonceau

Département UEE, Université de Liège (ULiège), Liège, Belgique

✉ [ankole@uliege.be](mailto:ankole@uliege.be)

# Plan de la présentation

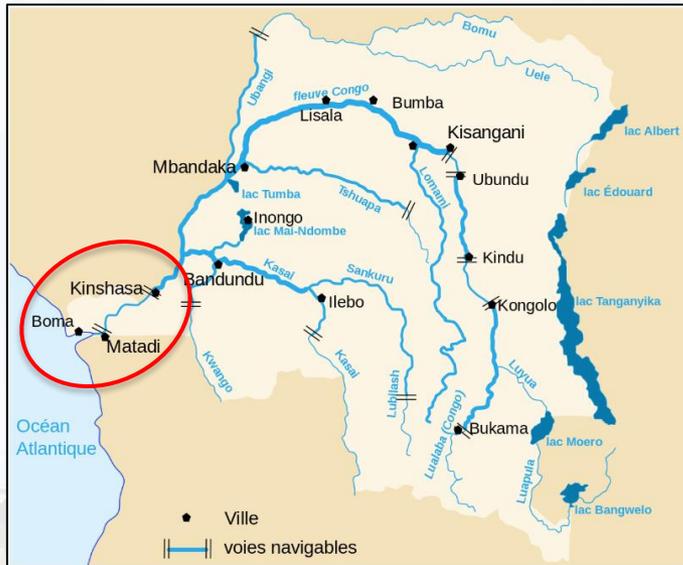




## *Bref rappel historique*



# Contexte de l'étude



Les fleuves et voies navigables de la Rep. Dém. du Congo (source : Aliesin, 2007)

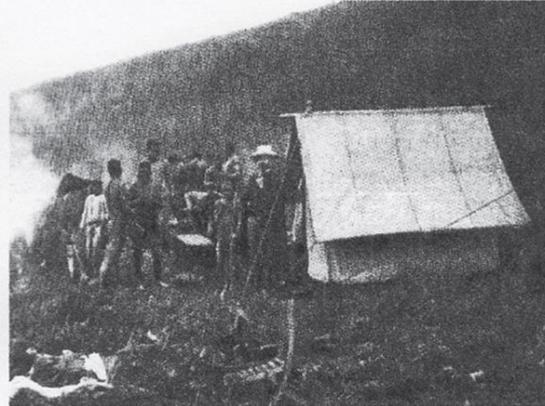


The railroad lines of the Democratic Republic of the Congo (source : Aliesin, 2007)

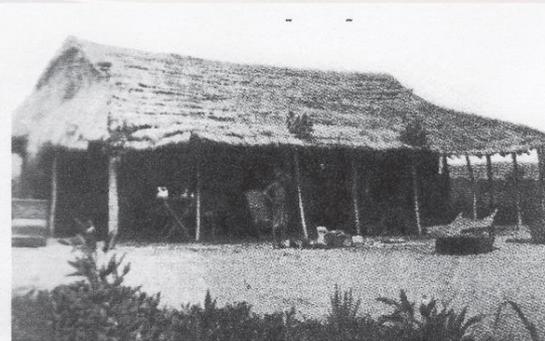
Le tronçon Matadi-Kinshasa du fleuve Congo n'étant pas navigable à cause de la succession des chutes et des rapides, était nécessaire de construire une voie de chemin de fer pour relier les deux villes et faciliter l'exploration du Congo.



# Adaptation du logement de l'européen au Congo



*Tentes (source : Thys van den Audenaerde Dirk, Naissance du Congo Belge, 1989, p. 6)*



*Huttes (source : Thys van den Audenaerde Dirk, Naissance du Congo Belge, 1989, p. 19)*

## Tentes et Huttes

Logements rudimentaires, inflammables et difficiles à entretenir. Bon pour un usage temporaire

# Adaptation du logement de l'européen au Congo



*Baraques de campement ou maison danoise  
(source : Goffin, 1907)*



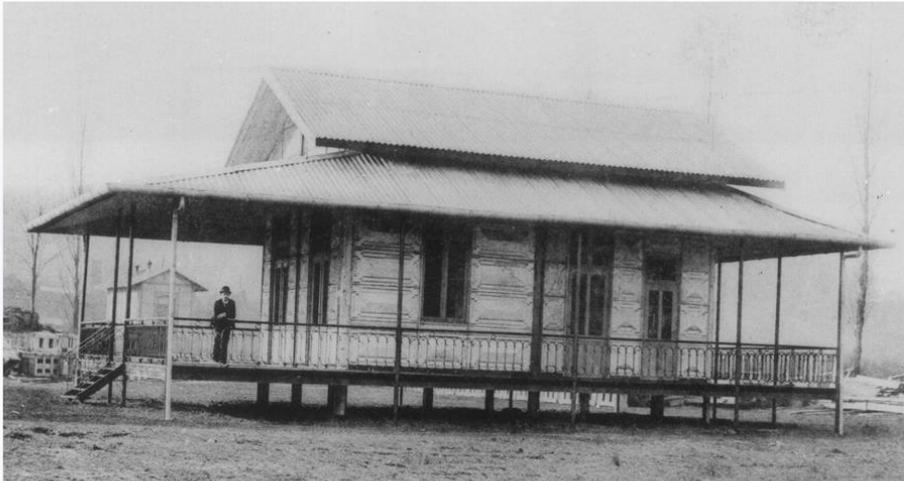
*Poste téléphonique (source : Trouet, 1898)*

## Maisons de campement et postes fixes

Maisons démontables et transportables  
utilisées pendant la construction du  
chemin de fer Matadi-Kinshasa



# Adaptation du logement de l'européen au Congo



*Pavillon d'habitation destiné à l'exportation, dans l'enceinte des Forges d'Aiseau (source : Pirson, 2012)*



*Maison métallique - système Sluysmans (source : Photo mise en vente sur le site delcampe.net, s. d.)*

## Maisons avec ossature et remplissage en éléments métalliques

Offrent des bonnes conditions sanitaires mais ne sont pas adaptées au climat chaud et humide du Congo par suite de leur faible inertie thermique (chaleur étouffante le jour et refroidissement rapide la nuit).

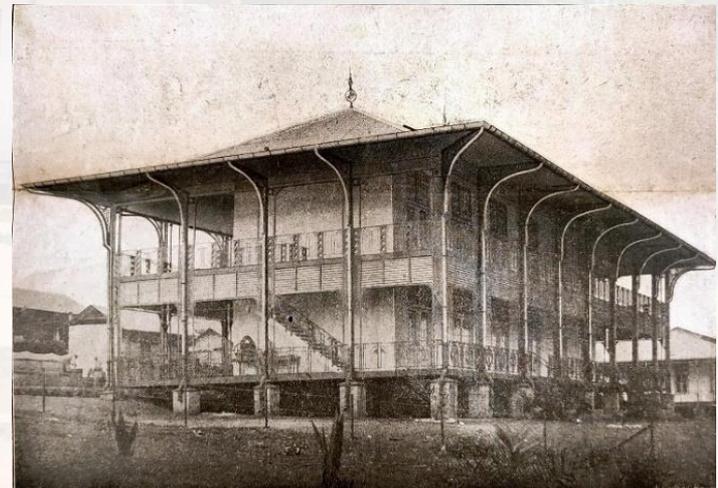


## Sur quoi se focalise l'étude ?



*Maisons à simple rez-de-chaussée (source : journal NEPTUNE du 20 Janvier 1914)*

*Maisons à ossature en acier et remplissage en bois ou en maçonnerie - société anonyme des **Grandes Chaudronneries de l'Escaut (G.C.E)***

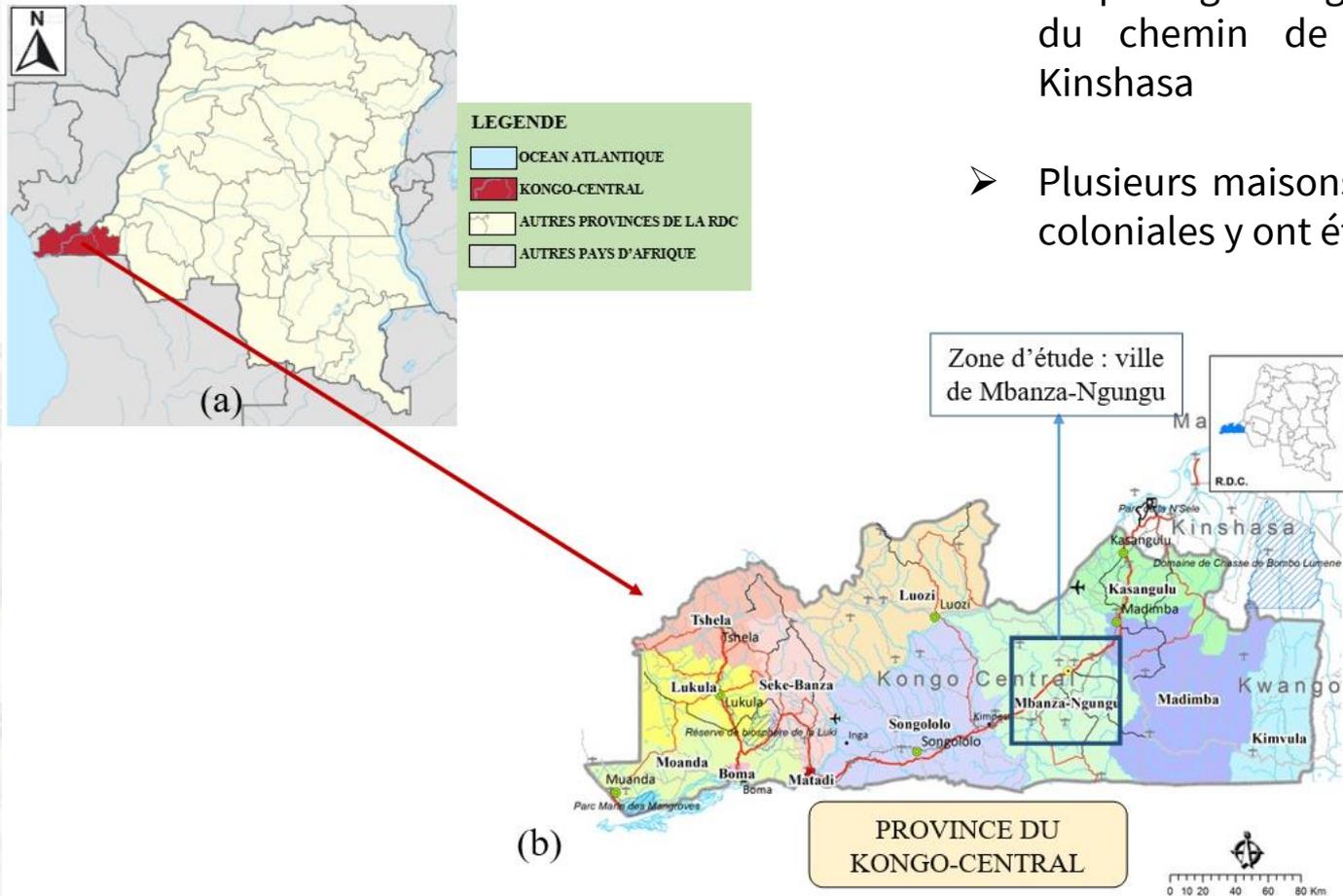


*Maisons à étages (source : journal NEPTUNE du 20 Janvier 1914)*



# La ville de Mbanza-Ngungu

- Ville de Mbanza-Ngungu, point de passage obligé de la ligne du chemin de fer Matadi-Kinshasa
- Plusieurs maisons métalliques coloniales y ont été identifiées

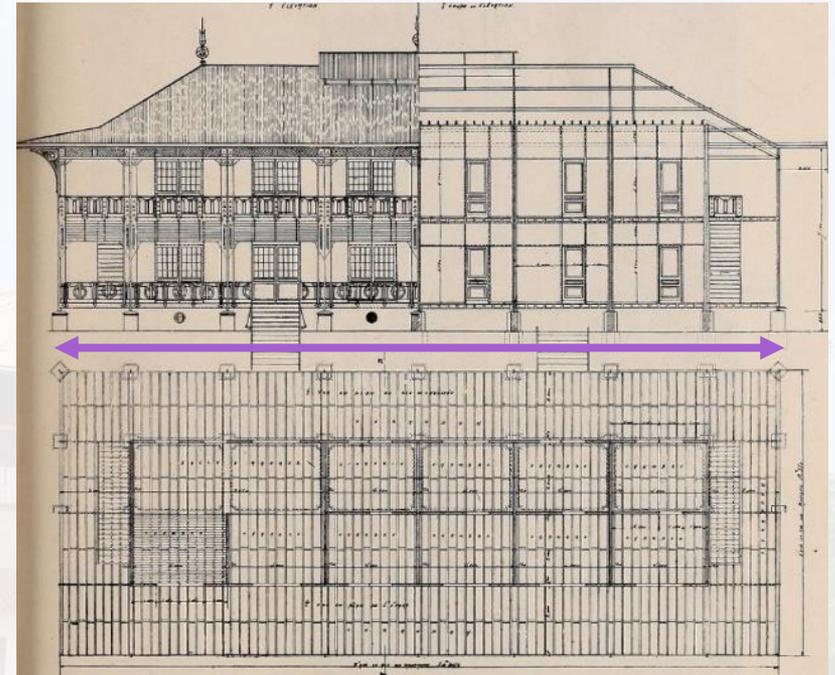
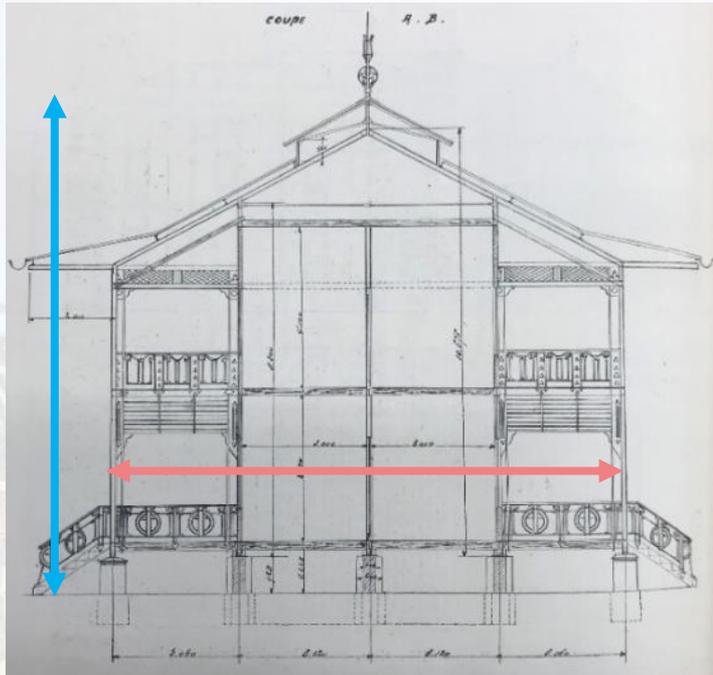




***Le Palais de Justice de Mbanza-Ngungu (ancien  
hôtel-A.B.C- de Thysville)***



# Description du bâtiment étudié



Bâtiment construit en  
**1906** par les **G.C.E** pour le  
compte de la **compagnie**  
**du chemin de fer du**  
**Congo (C.C.F.C)**



Dimensions :  
**Longueur : 31,00 m**  
**Largeur : 12,5 m**  
**Hauteur : 11,50 m**  
Nombre de chambres : 20



# Mode de fonctionnement

Tôles posées de manière isostatique sur les pannes - recours à la descente des charges par surfaces d'influence

**Pannes IPN 120** transmettent des charges ponctuelles sur les fermes

**Tirant métallique** pour la stabilisation des fermes

**Membrures fermes J 127 x 76**

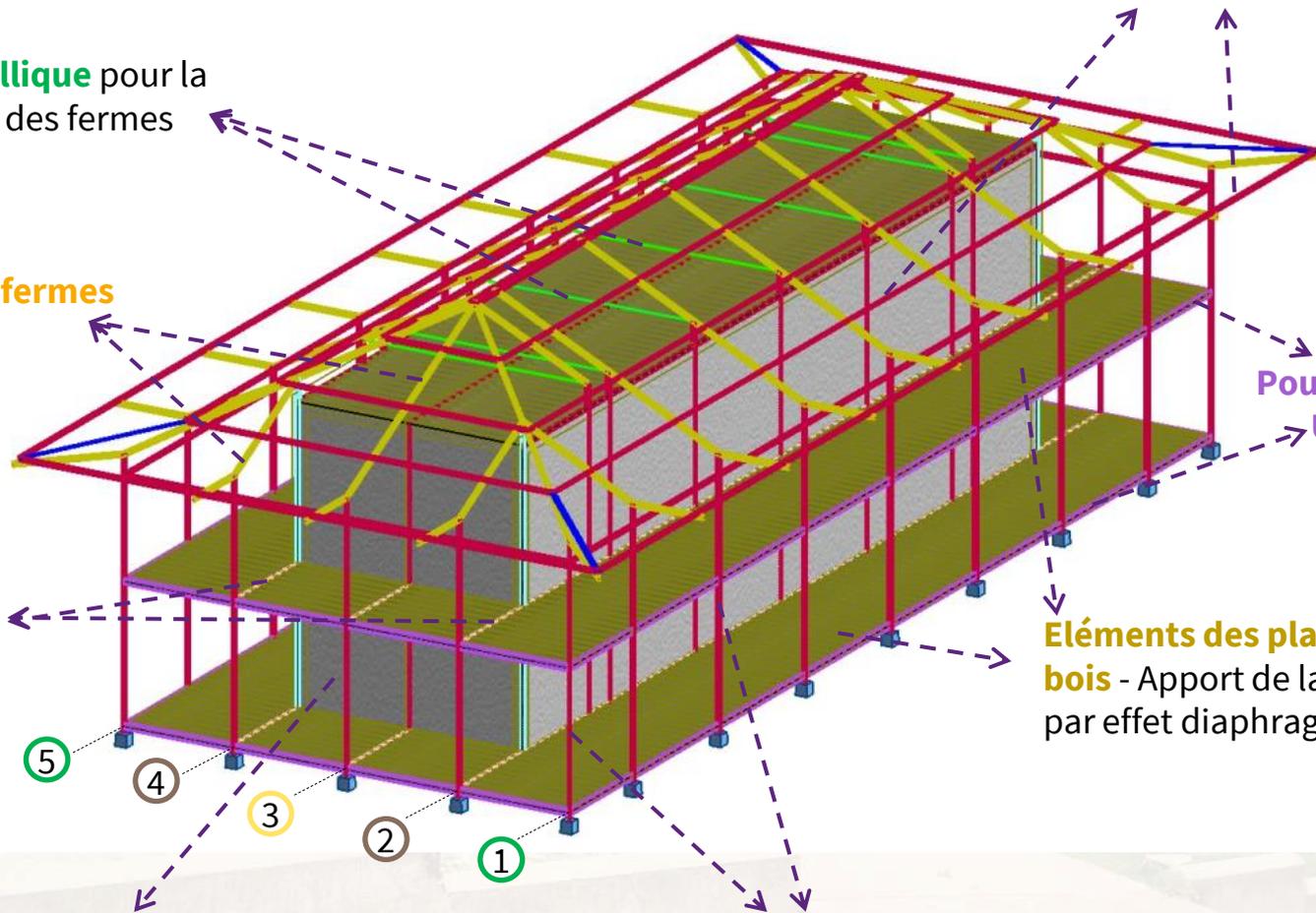
**Poutres IPN 180**

**Poutres de rive UPN 180**

**Éléments des planchers en bois** - Apport de la stabilité par effet diaphragme

**Mur de cloisonnement intérieur** - élément principal de stabilisation de la structure

**Poteaux IPN 120** - reprennent les charges verticales de la partie véranda



- 2 CAE 20x3
- IPN 120
- IPN 180
- J 127x76x16
- TRON 30x2.5
- UPN 120
- UPN 180

# Analyses et vérifications des éléments porteurs en acier

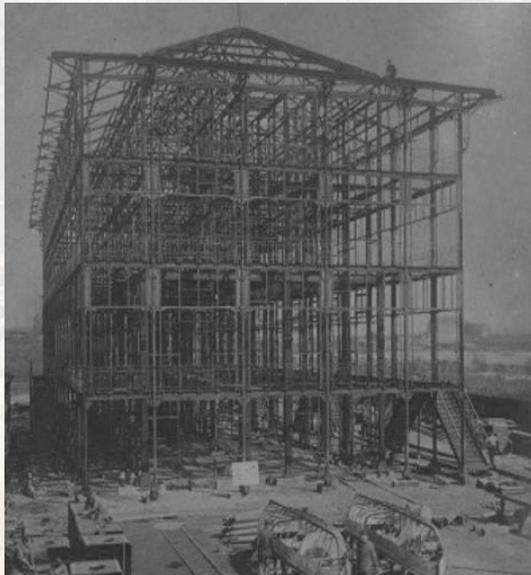


Deux phases principales

Phase de montage ou de construction

Phase de fonctionnement

Portique 1 (5), Portique 2 (4) et Portique 3



Configuration initiale

Configuration actuelle

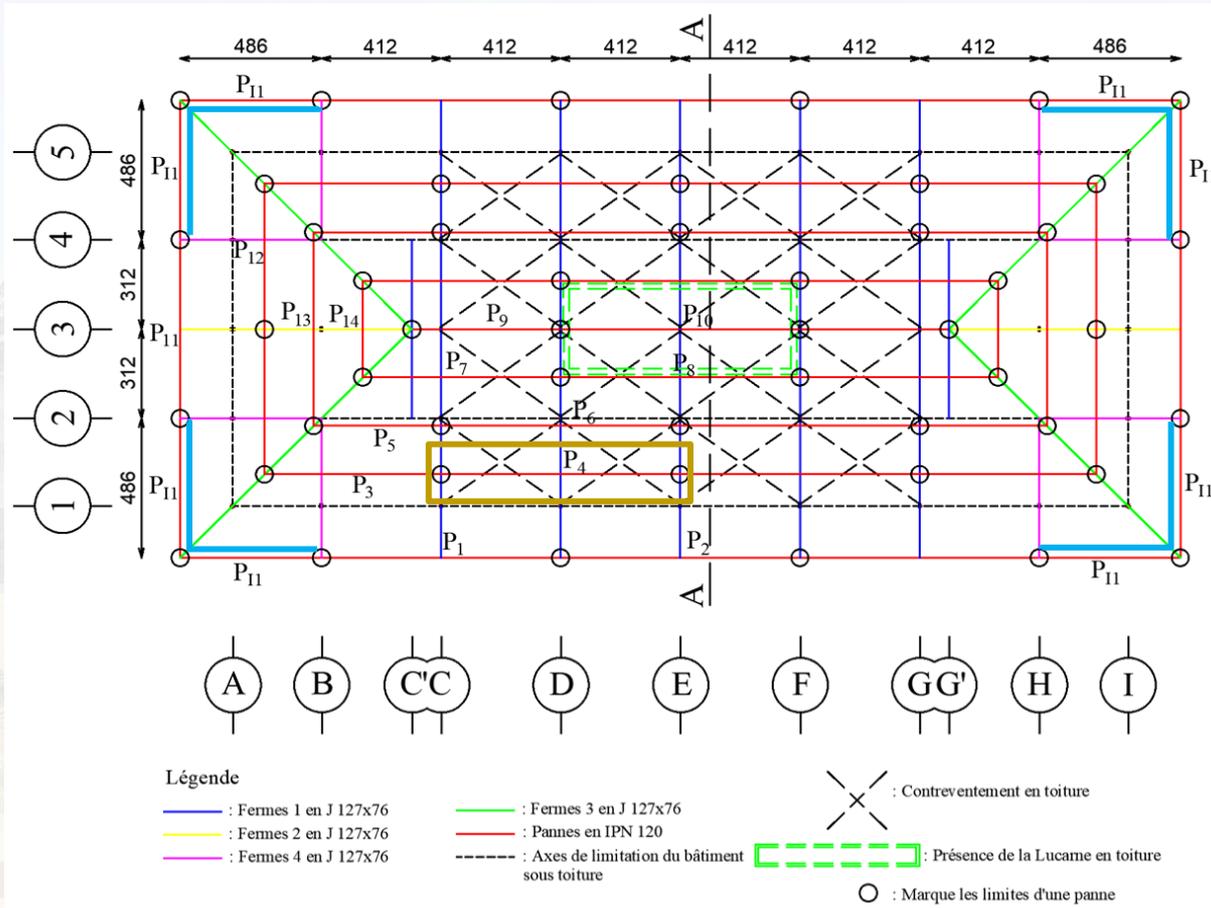
Pannes  
Membres de fermes  
Portique 1 (5)  
Portion de portiques 2(4) ou 3

Portique 1  
Portique 5  
Portion du portique 4 (2 ou 3)



## Les Pannes IPN 120

Pannes posées sur 3 appuis -  
panne  $P_4$  est la plus  
contraignante



Pannes de coin posées sur deux appuis - Pannes isostatiques  $P_{I1}$

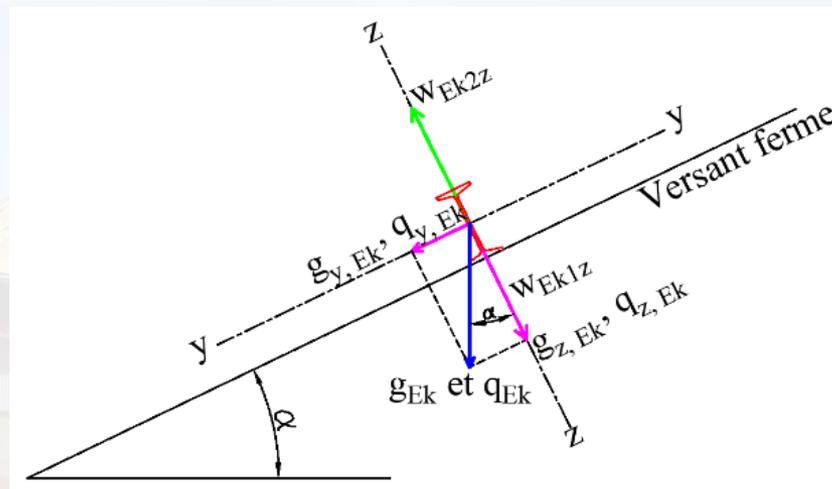
Note : l'acier utilisé est de nuance S235, les propriétés géométriques et mécaniques des profilés sont à trouver dans les catalogues de profilés en acier



## Les Pannes IPN 120

### Bilan de charges caractéristiques

Cas de charge		Symboles	Normes de référence
Charges permanentes	Poids propre	$g_{Ek1}$	EN1991-1-1
	Charge tôles	$g_{Ek2}$	EN1991-1-1
Charge variable d'entretien		$q_{Ek}$	EN1991-1-1 (§ 6.3.4.2)
Charges de vent	Pression	$w_{Ek1}$	l'EN 1991-1-4 & Règles NV65
	Dépression	$w_{Ek2}$	l'EN 1991-1-4 & Règles NV65



### Les combinaisons globales de charges ( $P_{i,Ed}$ ) - Norme EN1990

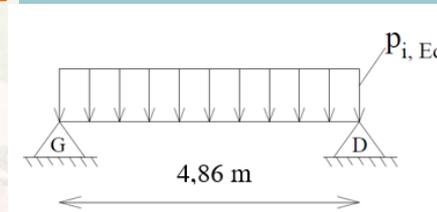
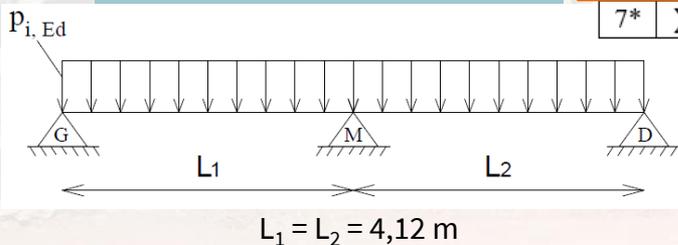
N°	ELS en kN/m	ELU en kN/m
1	$\sum g_{Eki} + q_{Ek}$	$1,35 \sum g_{Eki} + 1,5 q_{Ek}$
2	$\sum g_{Eki} + w_{Ek1}$	$1,35 \sum g_{Eki} + 1,5 w_{Ek1}$
3*	$\sum g_{Eki} + w_{Ek2}$	$\sum g_{Eki} + 1,5 w_{Ek2}$
4	$\sum g_{Eki} + q_{Ek} + 0,6 w_{Ek1}$	$1,35 \sum g_{Eki} + 1,5 q_{Ek} + (1,5 \times 0,6) w_{Ek1}$
5*	$\sum g_{Eki} + q_{Ek} + 0,6 w_{Ek2}$	$\sum g_{Eki} + 1,5 q_{Ek} + (1,5 \times 0,6) w_{Ek2}$
6	$\sum g_{Eki} + 0,7 q_{Ek} + w_{Ek1}$	$1,35 \sum g_{Eki} + (1,5 \times 0,7) q_{Ek} + 1,5 w_{Ek1}$
7*	$\sum g_{Eki} + 0,7 q_{Ek} + w_{Ek2}$	$\sum g_{Eki} + (1,5 \times 0,7) q_{Ek} + 1,5 w_{Ek2}$

Configuration initiale

Configuration actuelle

Panne hyperstatique  $P_4$

Panne isostatique  $P_{II}$



$$L_1 = L_2 = 4,12 \text{ m}$$

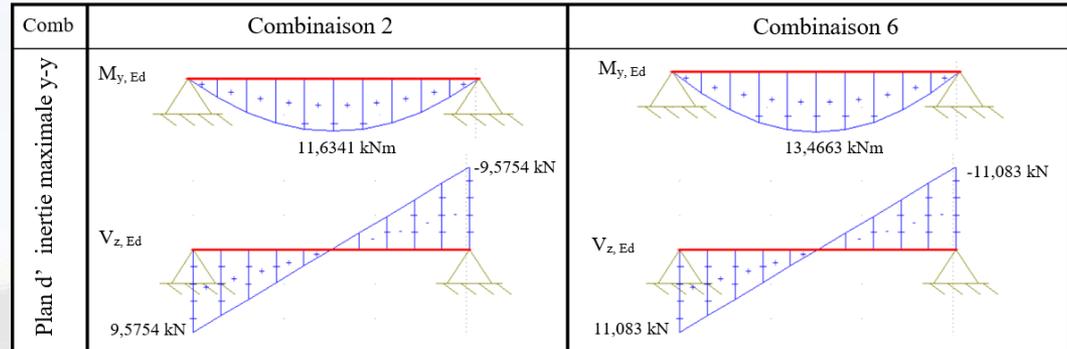
# Analyses et vérifications des éléments porteurs en acier



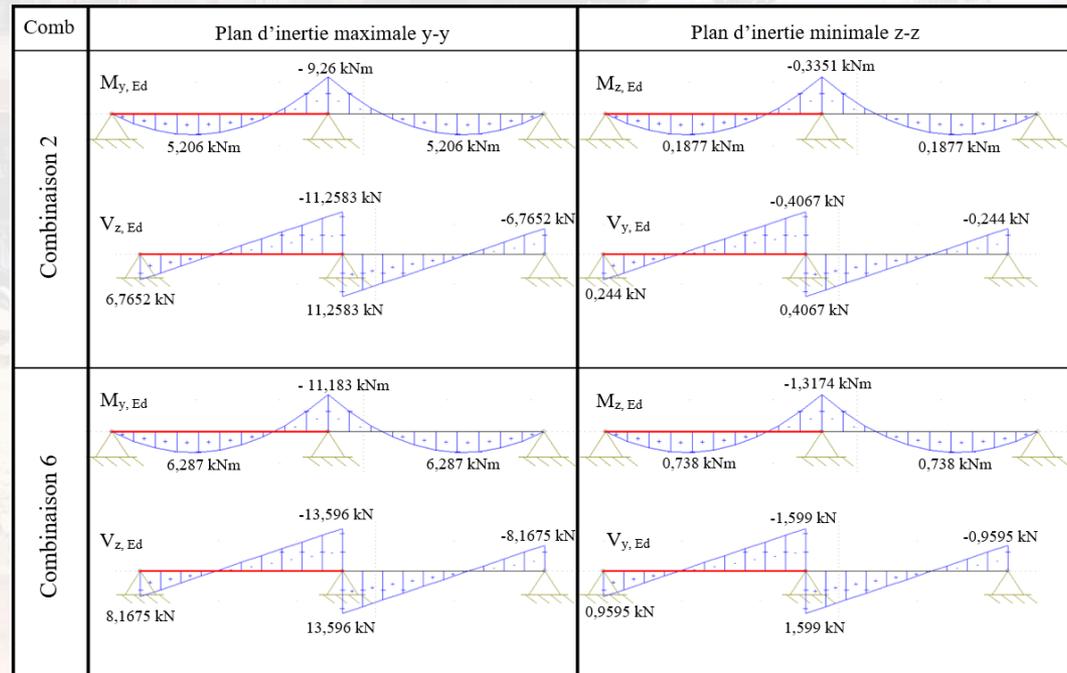
## Les Pannes IPN 120

Les efforts internes sur les pannes sont calculés via le **logiciel Ossa2d de l'Université de Liège**

Panne isostatique  $P_{II}$  :



Panne hyperstatique  $P_4$  :



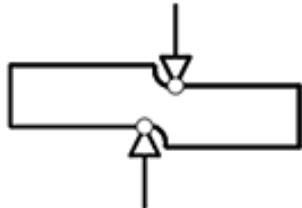
# Analyses et vérifications des éléments porteurs en acier



## Les Pannes IPN 120

### Vérifications aux ELU

Sous efforts tranchant  $V_{Ed}$



**Toutes les pannes** ont satisfait le critère de résistance au cisaillement ( $V_{pl, Rd} > V_{Ed}$ ) sous **toutes les combinaisons de charges**

Sous moments de flexion  $M_{Ed}$

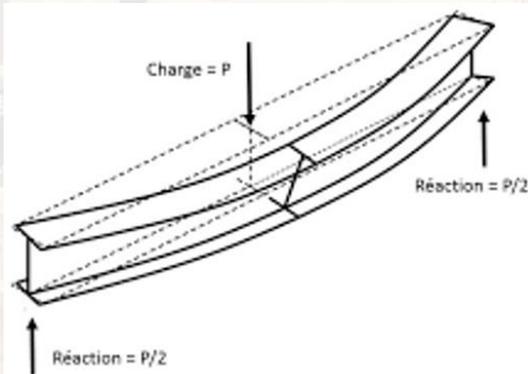
Critère de résistance



**Configuration initiale :**

Critère satisfait avec un taux de chargement maximum de **61%** (panne isostatique  $P_{II}$ )

Critère de stabilité



**Configuration actuelle :**

Critère satisfait de justesse avec un taux de chargement maximum de **101%** (panne hyperstatique  $P_4$ )

**Configuration initiale :**

Critère **non** satisfait pour la panne isostatique  $P_{II}$ . Pour la panne hyperstatique  $P_4$ , le taux de chargement maximum est de **93%**

**Configuration actuelle :**

Critère **non** satisfait pour **toutes les pannes** vérifiées (taux de chargement dépassant **140%**)



## Les Pannes IPN 120

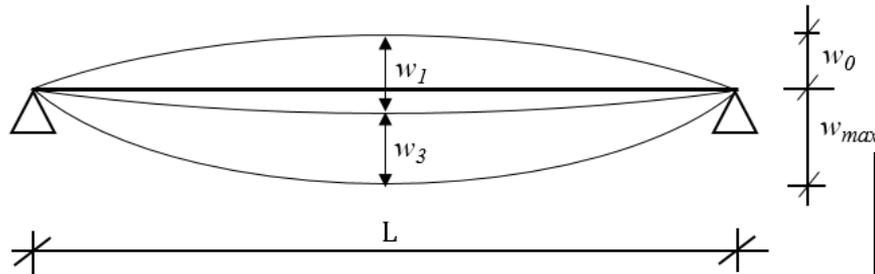
### Vérifications aux ELS

$w_0$ : contre-flèche

$w_1$ : flèche sous actions permanentes,

$w_3$ : flèche sous actions variables,

$w_{max}$ : déplacement mesuré par rapport à la corde de la poutre dans l'état final de mise en charge



$$w_{lim, max} = L/150$$

Panne isostatique **P<sub>II</sub>**

Vérification satisfaite avec un taux de chargement de **86 %**

Panne hyperstatique **P<sub>4</sub>**

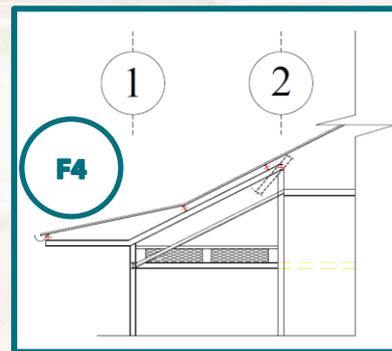
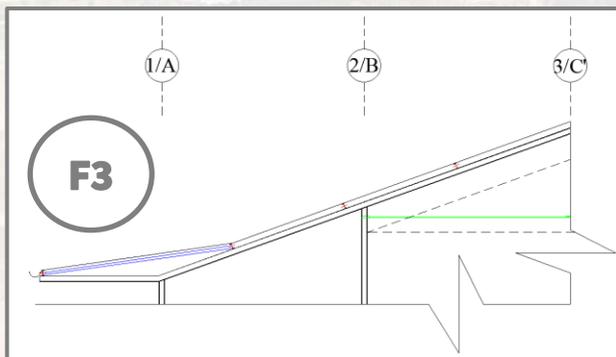
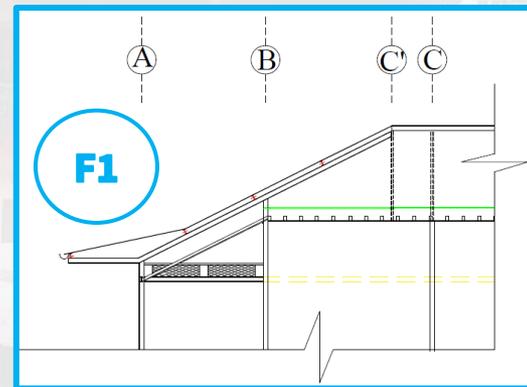
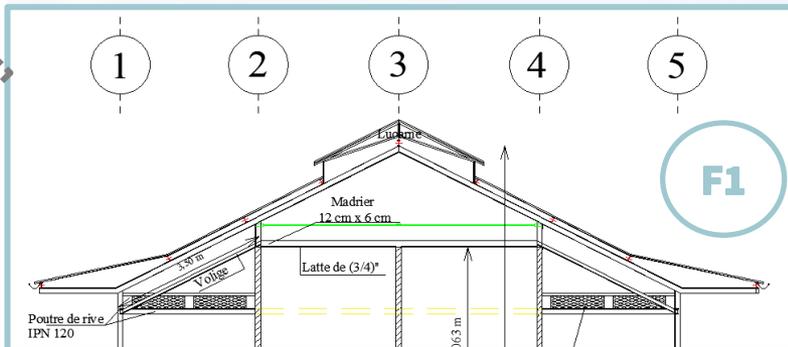
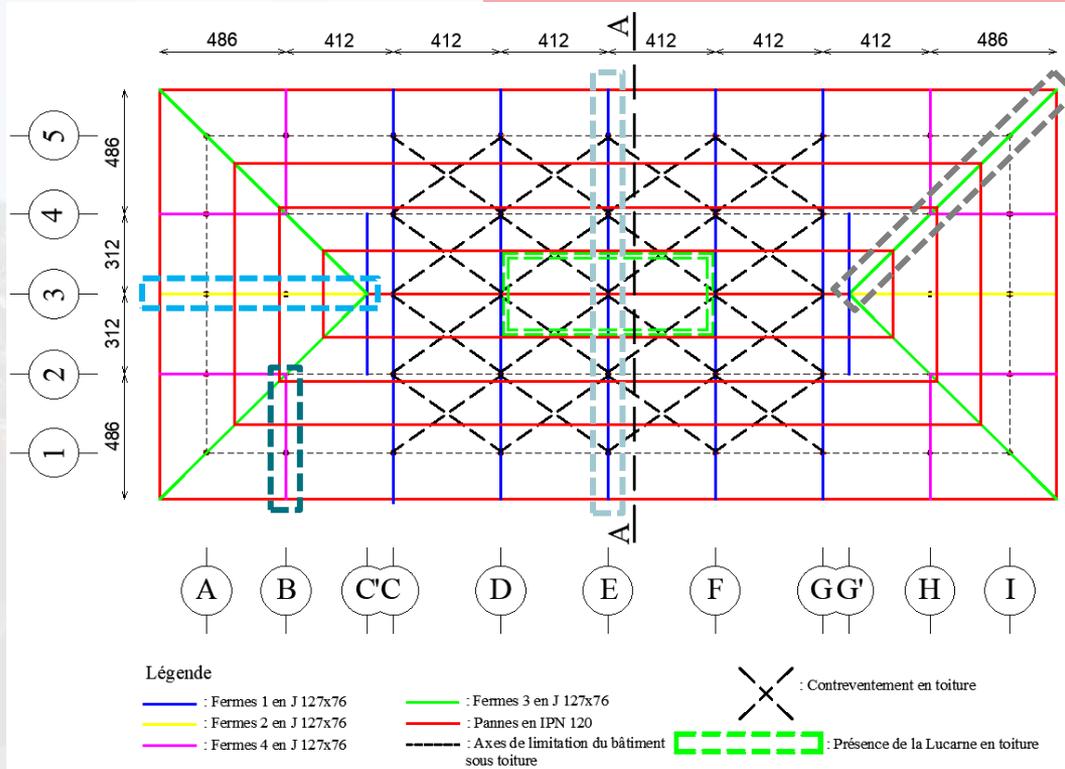
Vérification satisfaite avec un taux de chargement de **70 %**



# Analyses et vérifications des éléments porteurs en acier



## Les fermes à membrures J 127 x 76



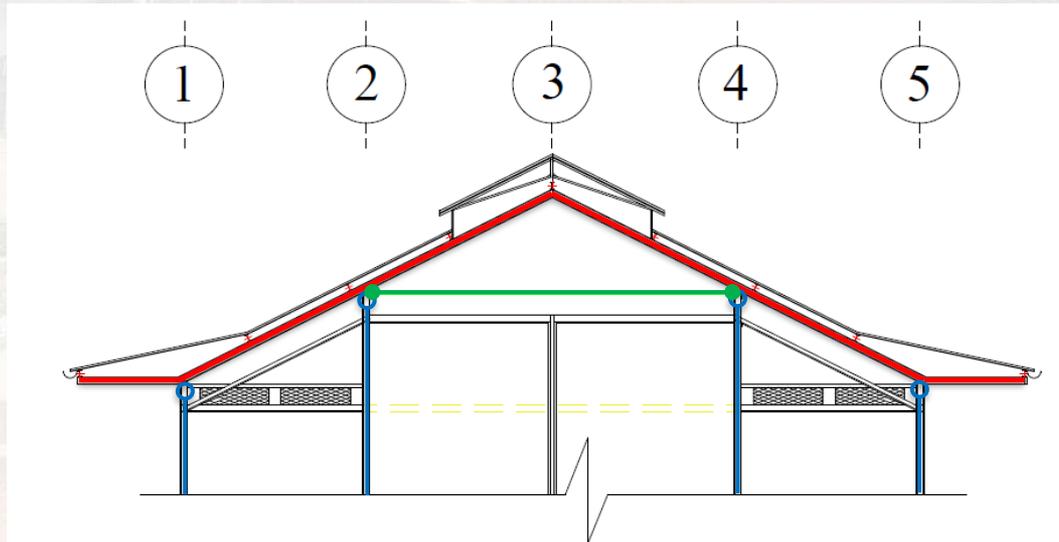
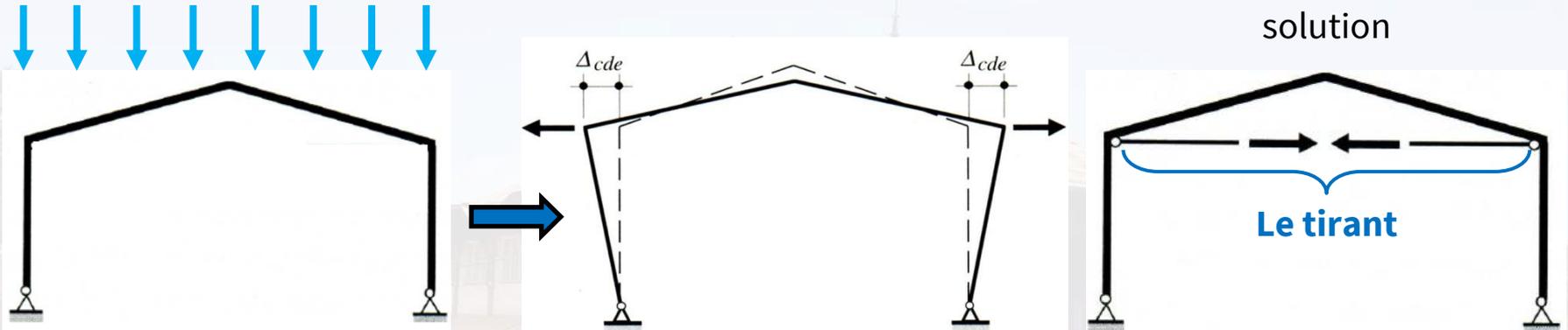
# Analyses et vérifications des éléments porteurs en acier



## Les fermes à membrures J 127 x 76

### Le tirant métallique pour la stabilité de fermes à membrures sans entrain

Charges gravitaires (G, Q, ou G+Q)

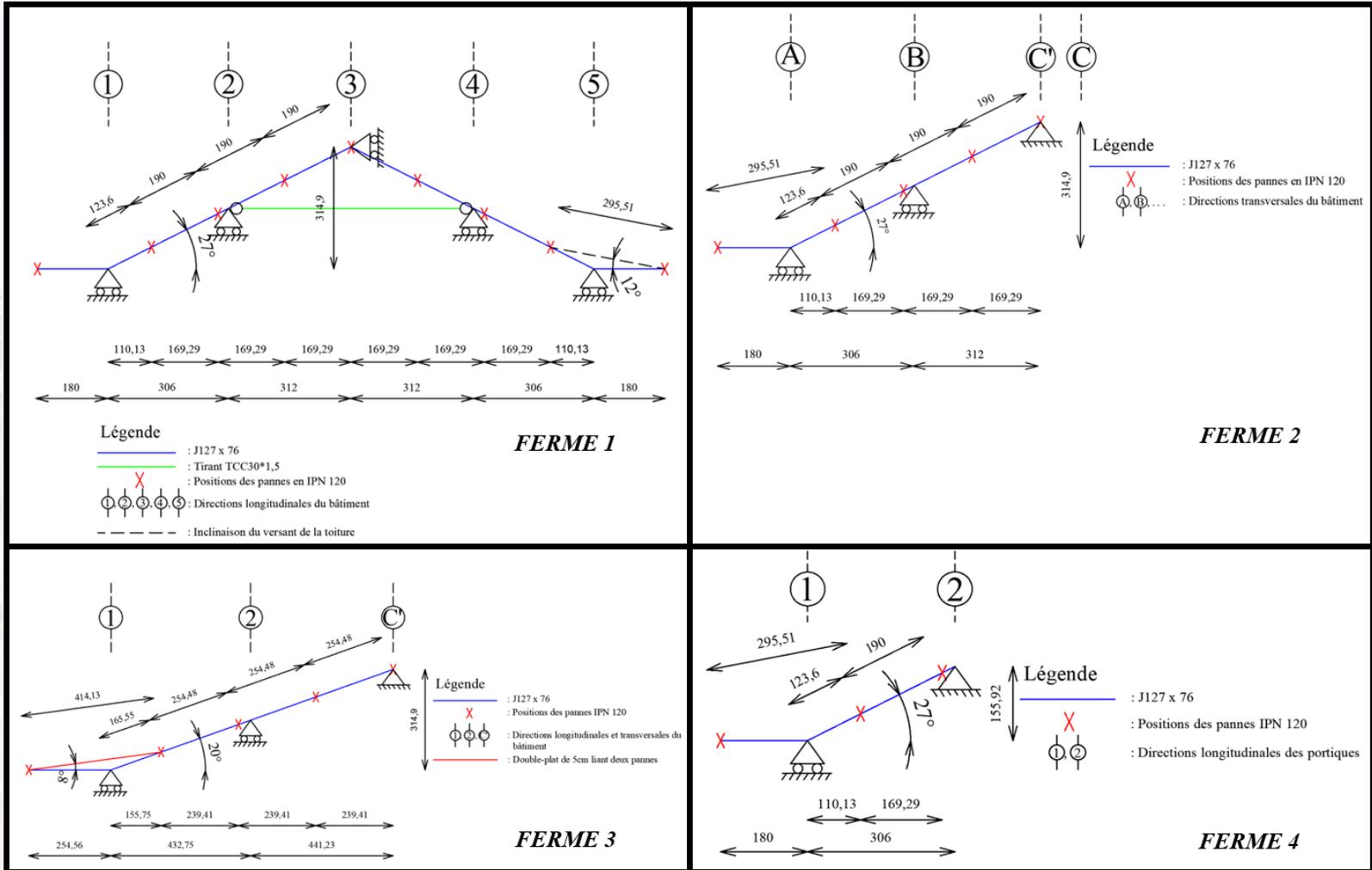


# Analyses et vérifications des éléments porteurs en acier



## Les fermes à membrures J 127 x 76

### Schémas statiques des fermes



# Analyses et vérifications des éléments porteurs en acier



## Les fermes à membrures J 127 x 76

Cas de charge - Poids propre des membrures et réactions d'appui (R) des pannes sur les membrures

Cas de charge		Symbole	Ferme 1	Ferme 2	Ferme 3	Ferme 4
Charges permanentes	Poids propre	$G_{Ek1}$	✓	✓	✓	✓
	Pannes et tôles	$G_{Ek2} = R (\sum g_{Ek2})$	✓	✓	✓	✓
	Pannes seules	$G_{Ek3} = R (\sum g_{Ek1})$	✓	✓	✓	✓
	lucarne	$G_{Ek4}$	✓	✗	✗	✗
Charge variable		$Q_{Ek} = R (q_{Ek})$	✓	✓	✓	✓
Charges de vent	Pression	$W_{Ek1} = R (w_{Ek1})$	✓	✓	✓	✓
	Dépression	$W_{Ek2} = R (w_{Ek2})$	✓	✓	✓	✓

Configuration initiale

Phase de construction

Les combinaisons de charges - Norme EN1990

Configuration actuelle

N°	ELS	ELU
1	$\sum G_{Eki}$	$1,35 \sum G_{Eki}$
2*	$\sum G_{Eki} - \text{Tôles } [R (\sum g_{Ek2})]$	$1,35 (\sum G_{Eki} - \text{Tôles} [R (\sum g_{Ek2})])$
3	$\sum G_{Eki} + Q_{Ek}$	$1,35 \sum G_{Eki} + 1,5 Q_{Ek}$
4	$\sum G_{Eki} + W_{Ek1}$	$1,35 \sum G_{Eki} + 1,5 W_{Ek1}$
5	$\sum G_{Eki} + W_{Ek2}$	$\sum G_{Eki} + 1,5 W_{Ek2}$
6	$\sum G_{Eki} + Q_{Ek} + 0,6 W_{Ek1}$	$1,35 \sum G_{Eki} + 1,5 Q_{Ek} + 0,9 W_{Ek1}$
7	$\sum G_{Eki} + Q_{Ek} + 0,6 W_{Ek2}$	$\sum G_{Eki} + 1,5 Q_{Ek} + 0,9 W_{Ek2}$
8	$\sum G_{Eki} + 0,7 Q_{Ek} + W_{Ek1}$	$1,35 \sum G_{Eki} + 1,05 Q_{Ek} + 1,5 W_{Ek1}$
9	$\sum G_{Eki} + 0,7 Q_{Ek} + W_{Ek2}$	$\sum G_{Eki} + 1,05 Q_{Ek} + 1,5 W_{Ek2}$

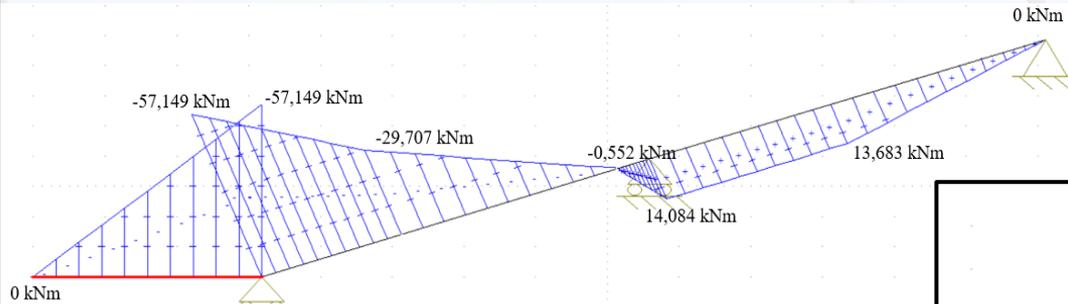
# Analyses et vérifications des éléments porteurs en acier



## Les fermes à membrures J 127 x 76

### Contribution structurale des jarrets décoratifs

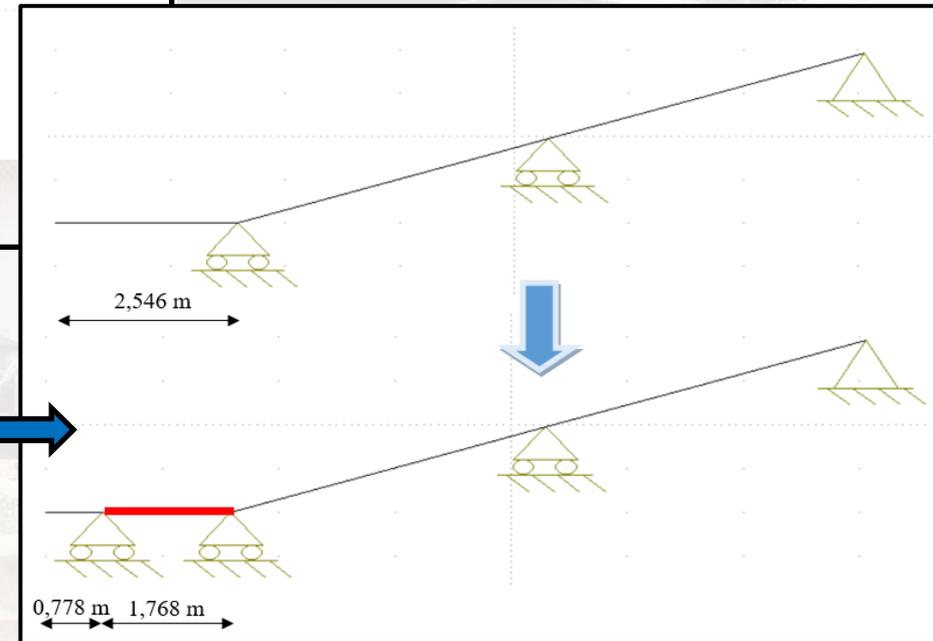
Diagramme des moments  $M_{Ed}$   
(ferme 3 - combinaison 8)



Critère de vérification non satisfaite vue que  
 $M_{ply, Rd} = 24, 21 \text{ kNm} < M_{Ed} = 57,15 \text{ kNm}$



Elément décoratif



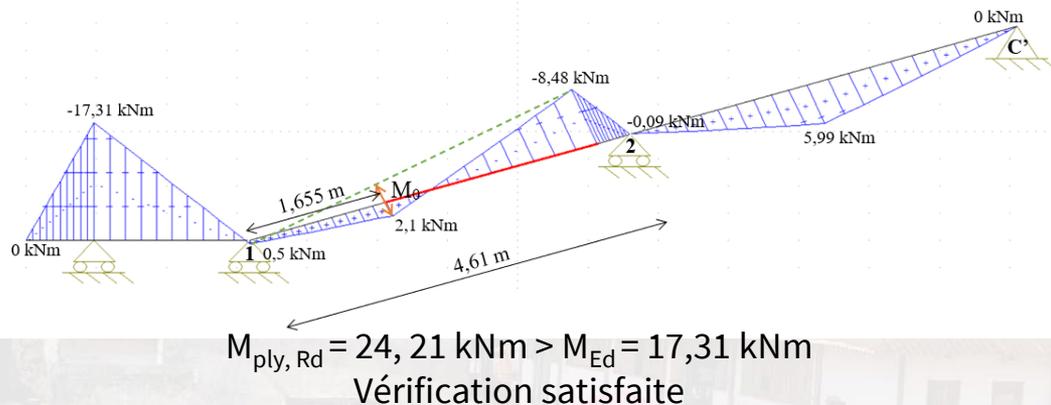
# Analyses et vérifications des éléments porteurs en acier



## Les fermes à membrures J 127 x 76

### Vérifications aux ELU

Diagramme des moments  $M_{Ed}$   
(ferme 3 - combinaison 8)



Vérifications satisfaites avec pour taux de chargement maximum :

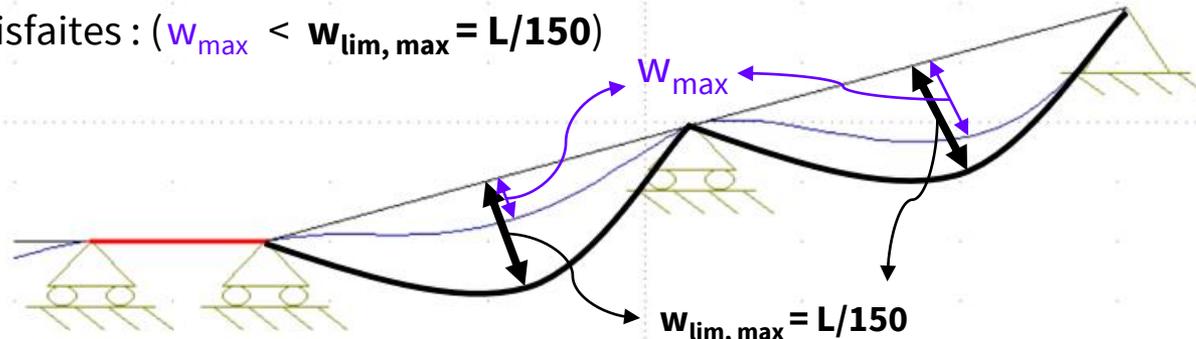
**33 %** pour la résistance au cisaillement

**86 %** pour la résistance en flexion-compression

**93 %** pour la stabilité au déversement

### Vérifications aux ELS

Vérifications satisfaites : ( $w_{max} < w_{lim, max} = L/150$ )



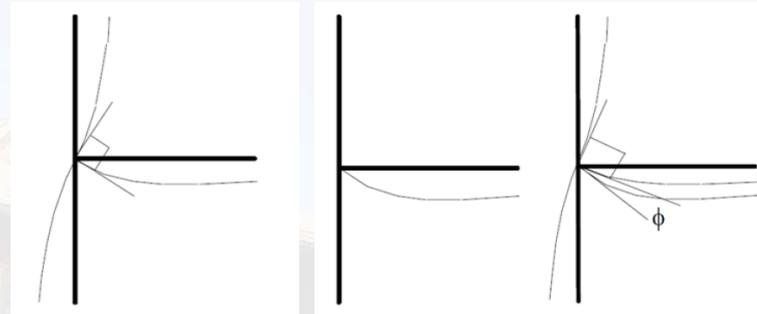
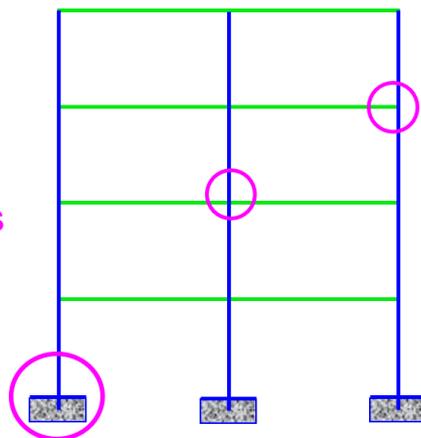


## Les Portiques

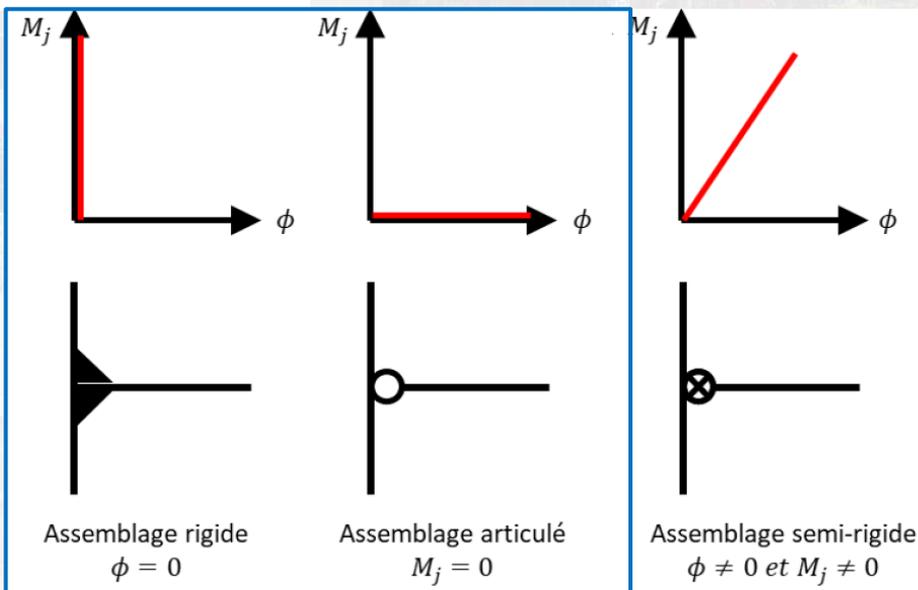
### Comportement des assemblages

#### Éléments constitutifs

- Poutres
- Poteaux
- Assemblages et appuis extérieurs



Classification des assemblages selon leur rigidité en rotation

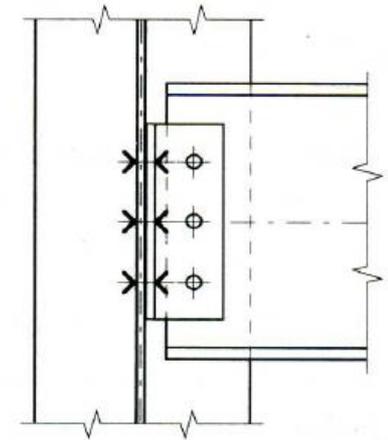
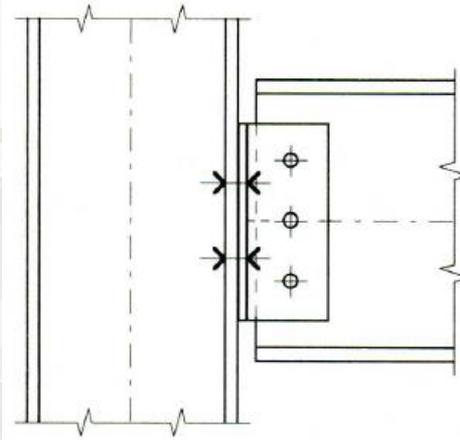
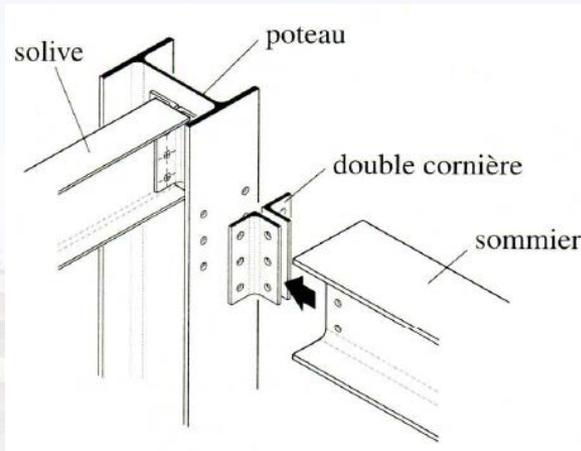




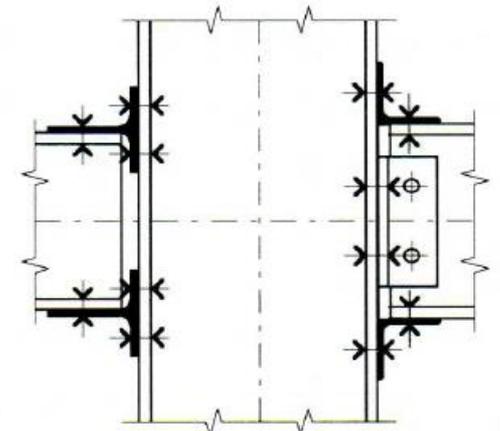
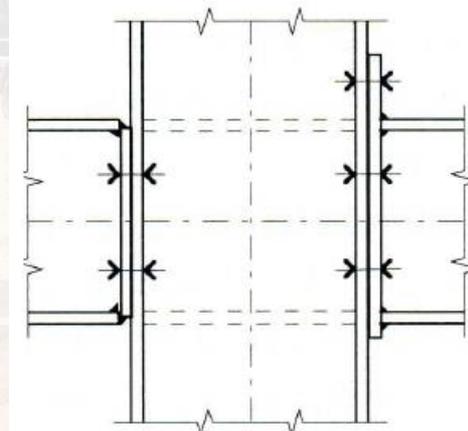
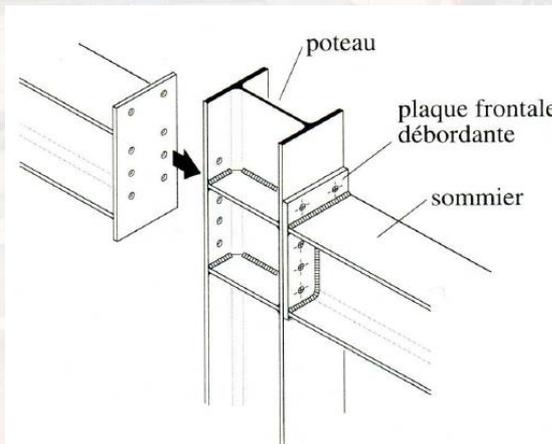
## Les Portiques

### Comportement des assemblages

#### Assemblage articulé poteau-poutre



#### Assemblage rigide poteau-poutre

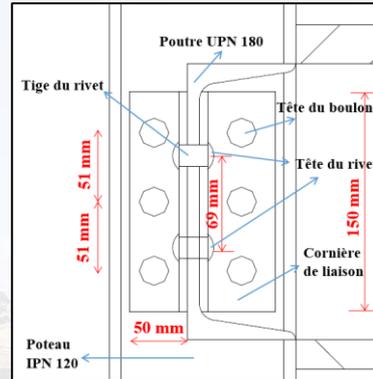
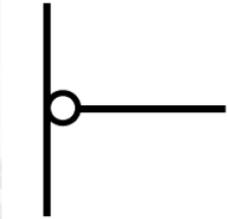




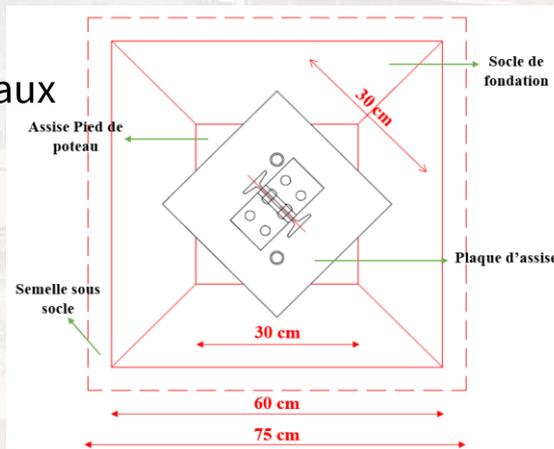
## Les Portiques

### Hypothèses assemblages au bâtiment du palais de Justice

Liaisons articulées poteaux-poutres



Pieds de poteaux encastrés

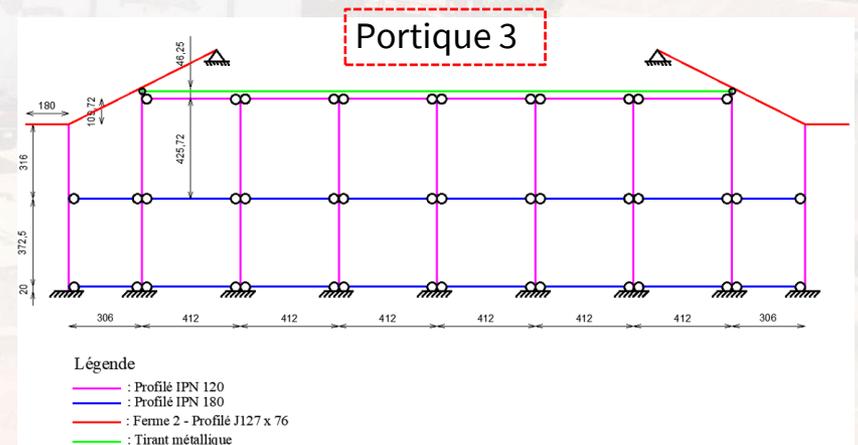
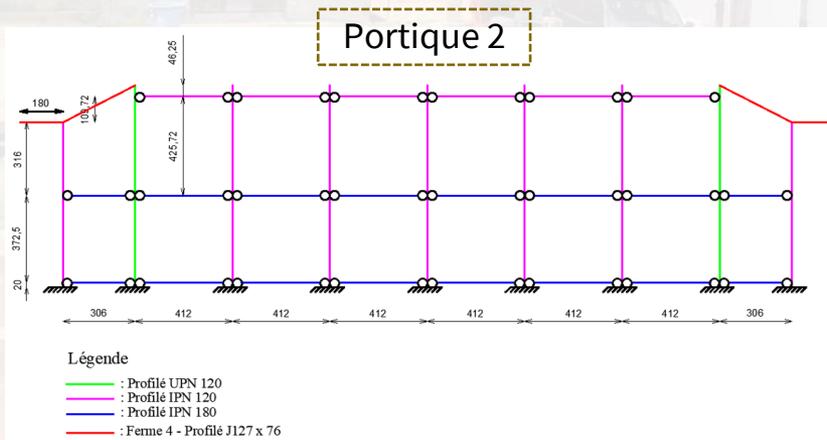
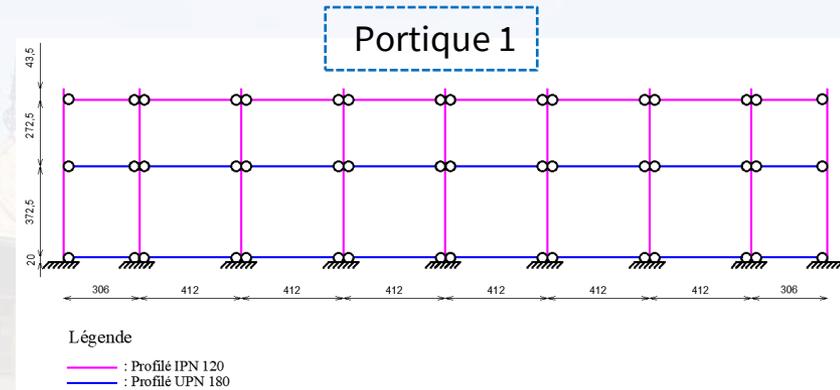
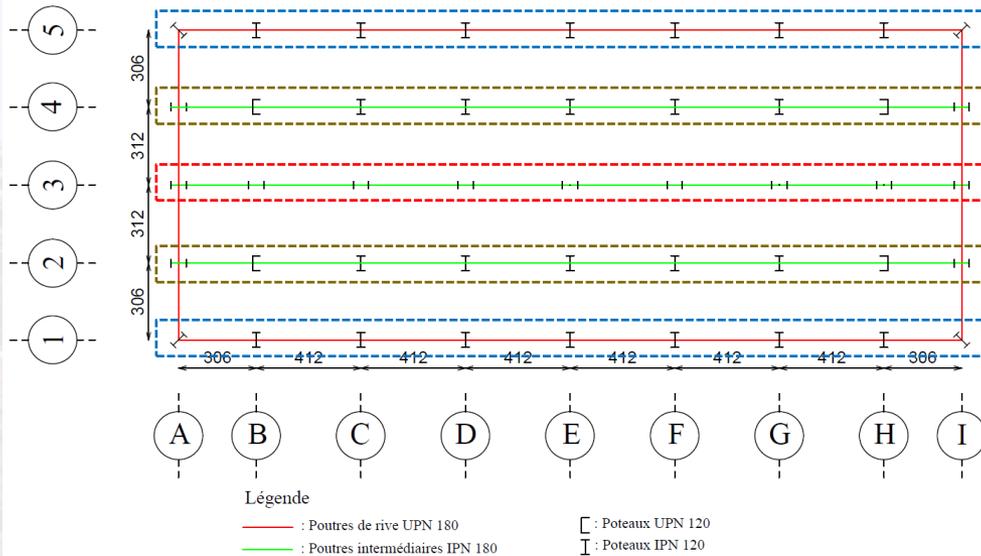


# Analyses et vérifications des éléments porteurs en acier



## Les Portiques

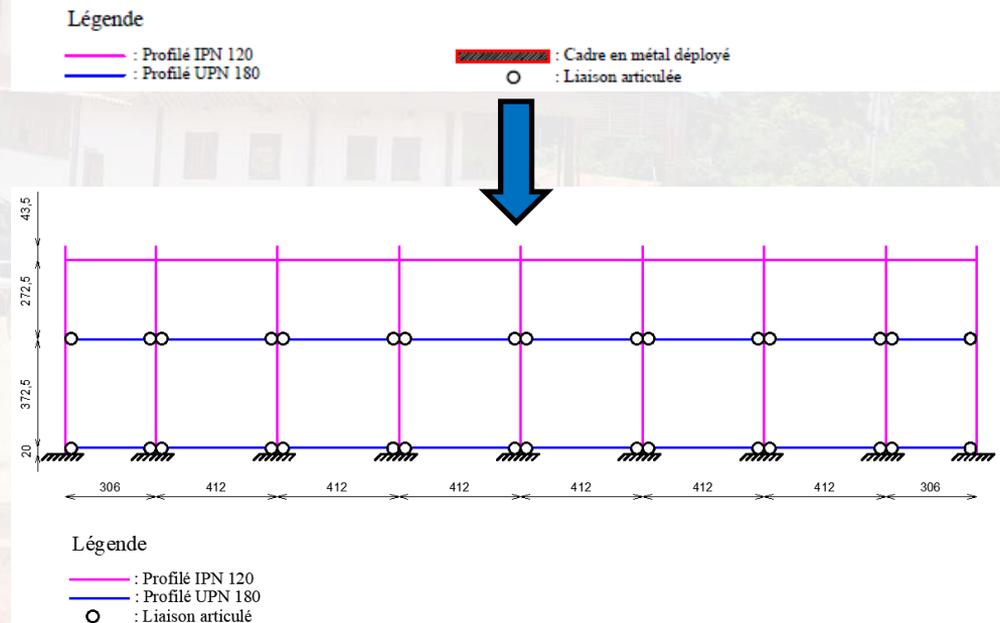
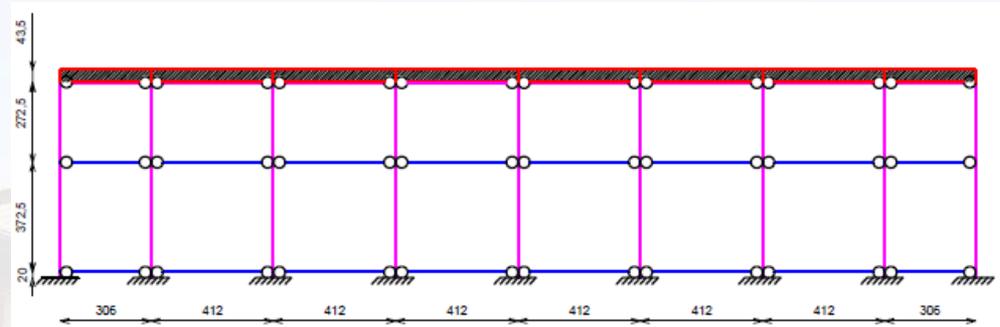
### Phase de construction





## Les Portiques

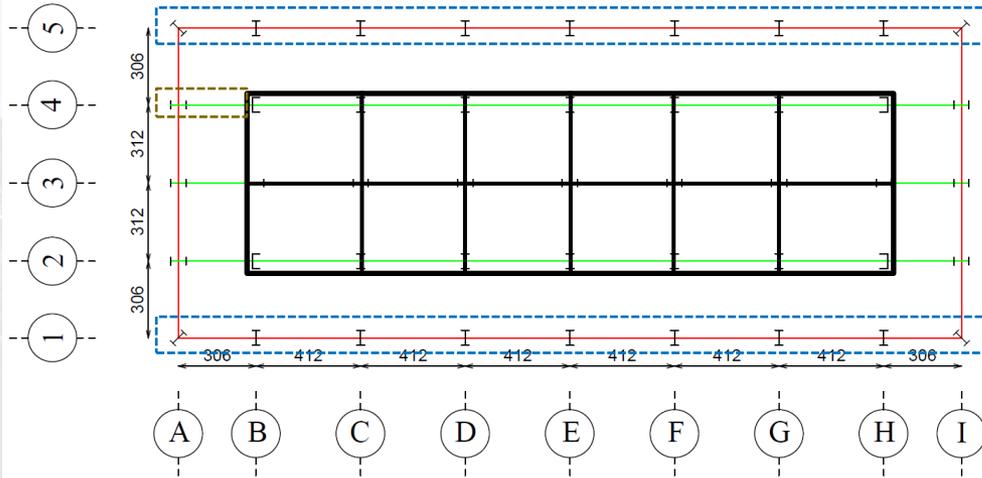
### Effet Vierendeel des cadres en métal déployé sur les portiques externes (portique 1)





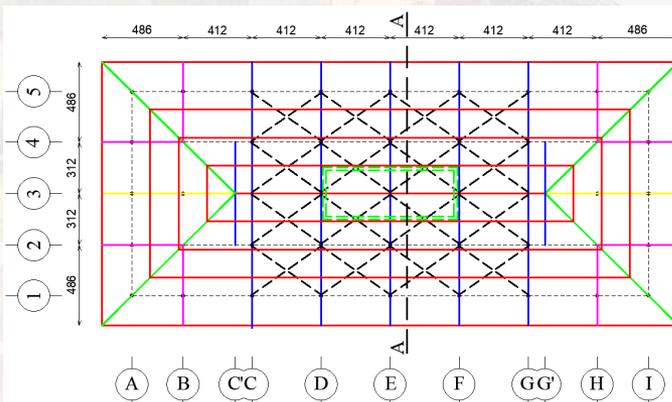
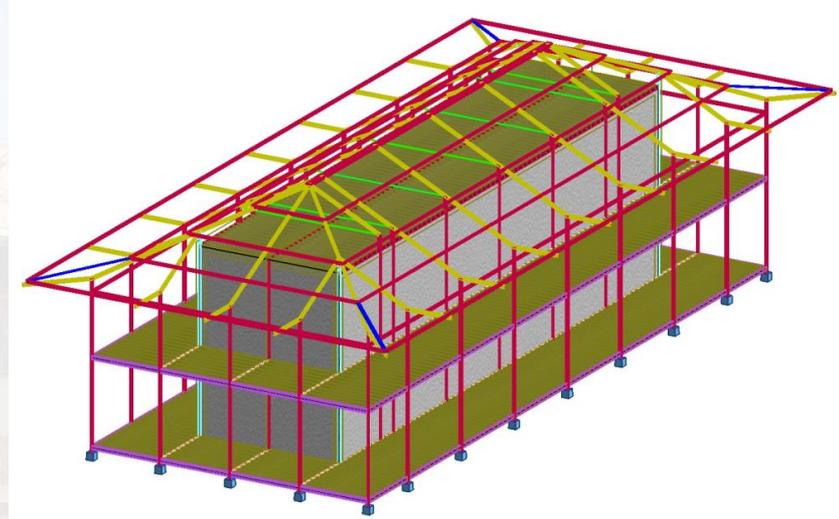
## Les Portiques

### Configuration initiale - phase de fonctionnement



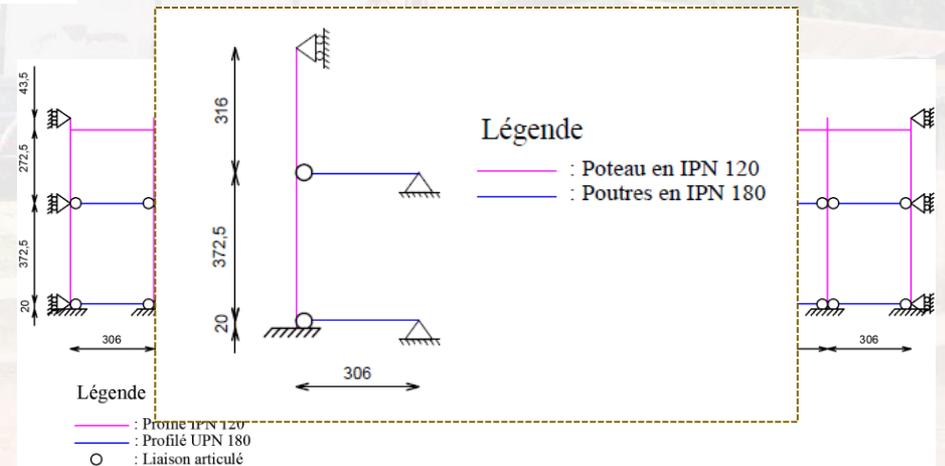
Légende

- : Poutres de rive UPN 180
- : Poutres intermédiaires IPN 180
- : Poteaux UPN 120
- : Poteaux IPN 120



Légende

- : Fermes 1 en J 127x76
- : Fermes 3 en J 127x76
- : Pannes en IPN 120
- : Fermes 4 en J 127x76
- : Axes de limitation du bâtiment sous toiture
- : Présence de la Lucarne en toiture
- : Contreventement en toiture



Légende

- : Poteau en IPN 120
- : Poutre en IPN 180
- : Liaison articulée

Légende

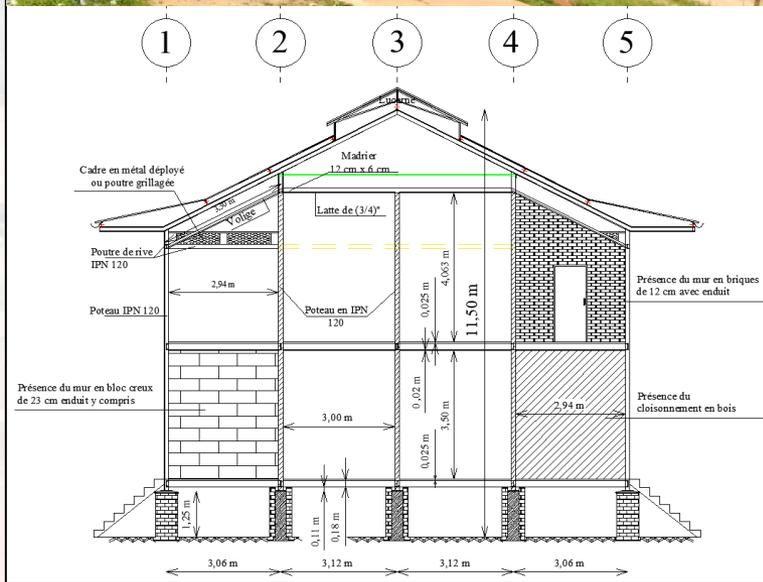
- : Poteau IPN 120
- : Profilé UPN 180
- : Liaison articulée

# Analyses et vérifications des éléments porteurs en acier

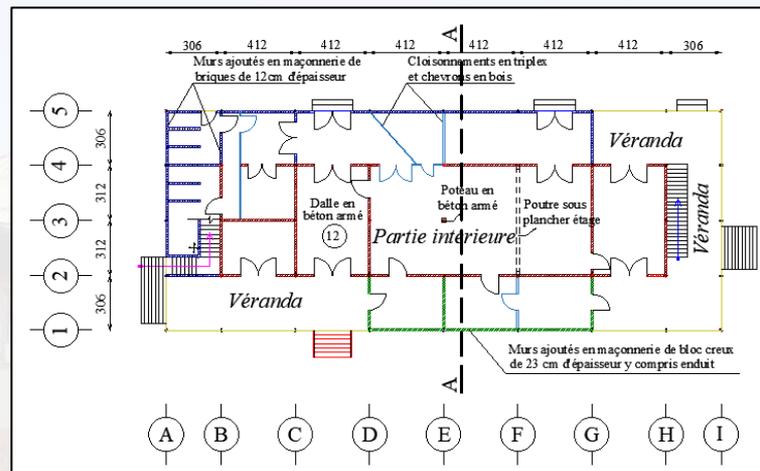


## Les Portiques

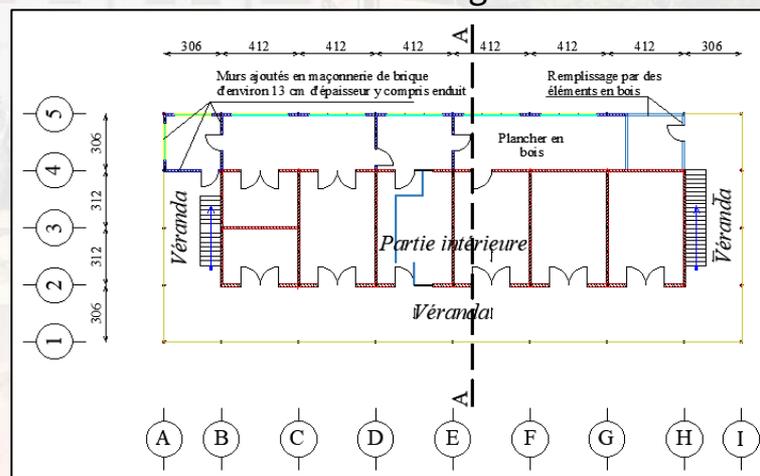
### Configuration actuelle



Plan rez-de-chaussée



Plan étage



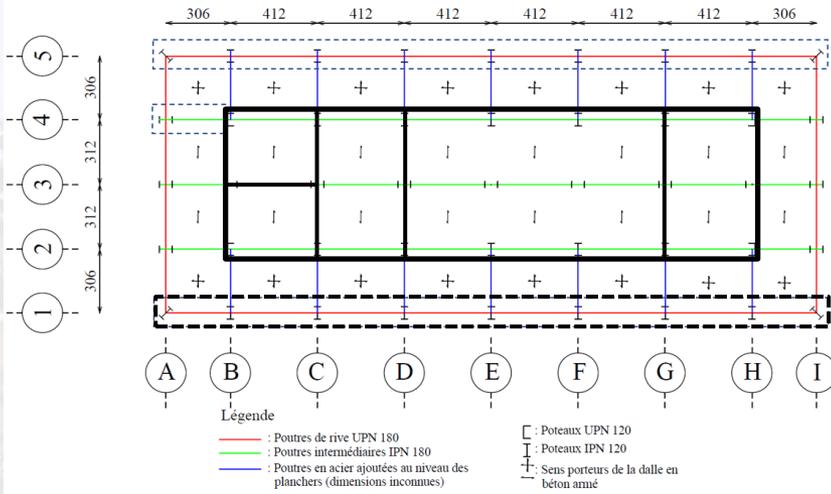
# Analyses et vérifications des éléments porteurs en acier



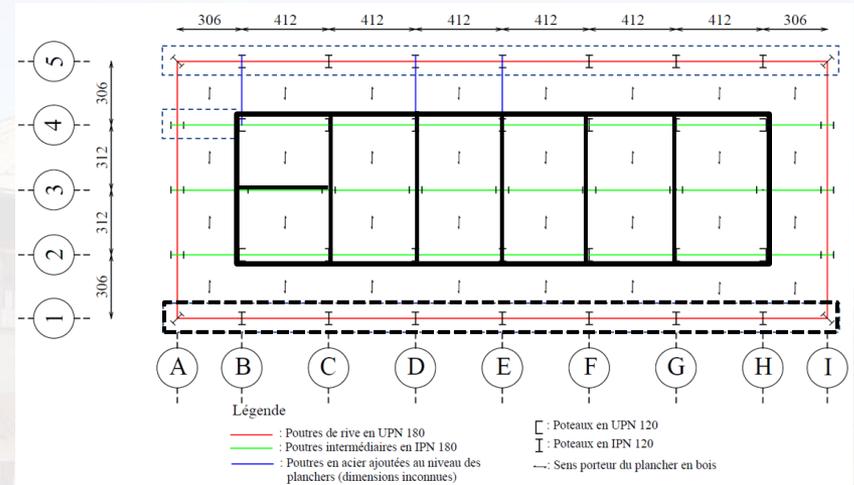
## Les Portiques

### Configuration actuelle

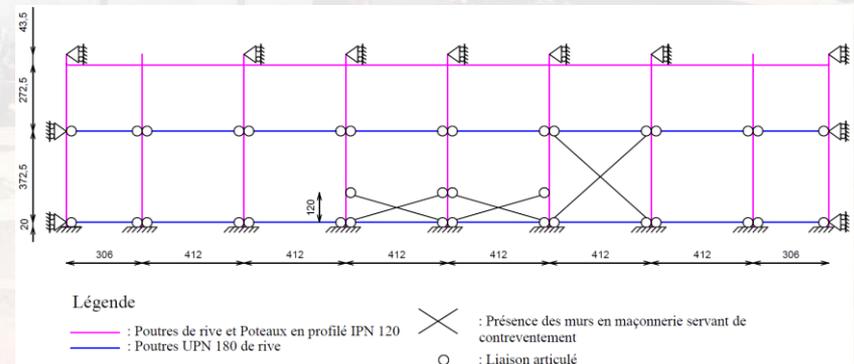
Rez-de-chaussée



Etage



### Murs ajoutés servant d'éléments de contreventement



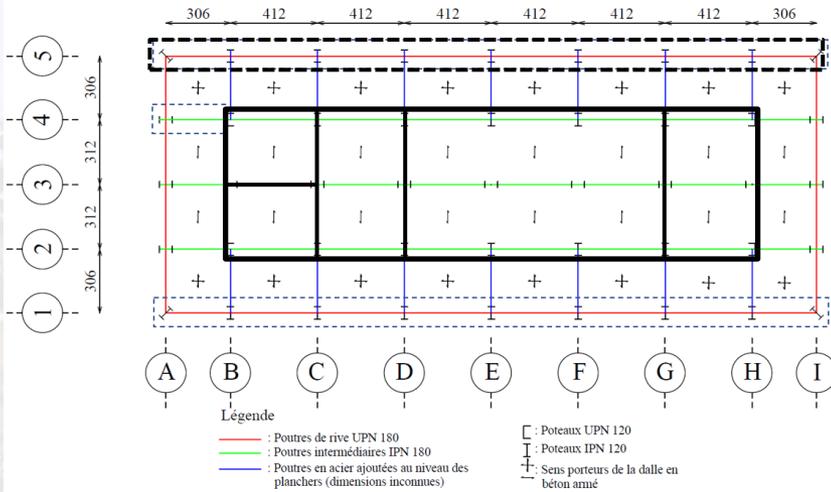
# Analyses et vérifications des éléments porteurs en acier



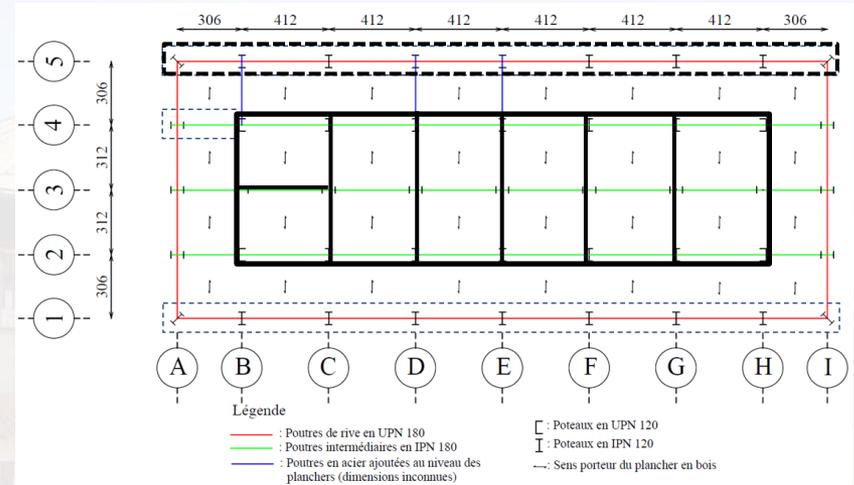
## Les Portiques

### Configuration actuelle

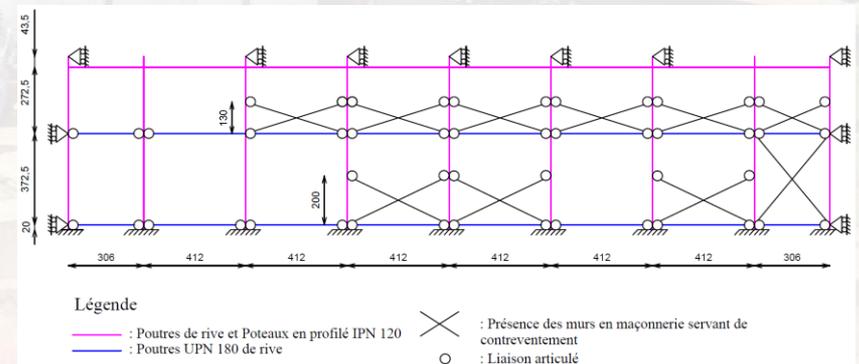
Rez-de-chaussée



Etage



### Murs ajoutés servant d'éléments de contreventement



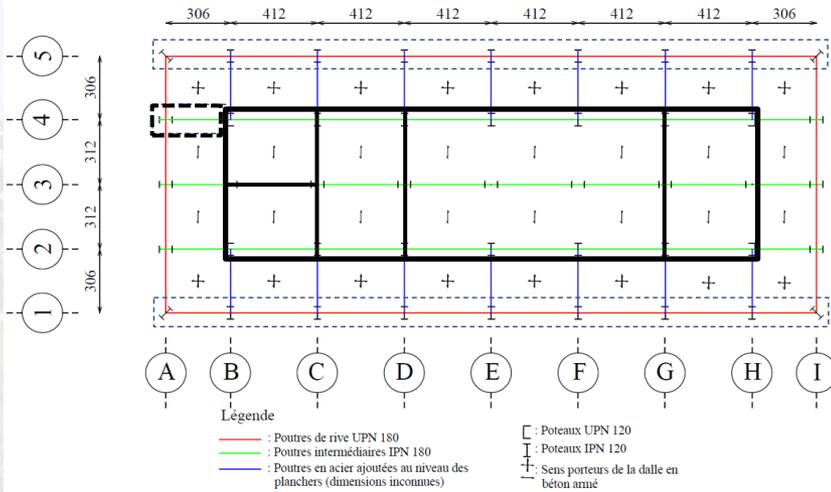
# Analyses et vérifications des éléments porteurs en acier



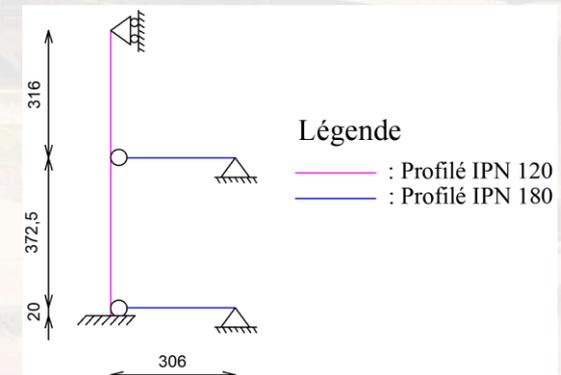
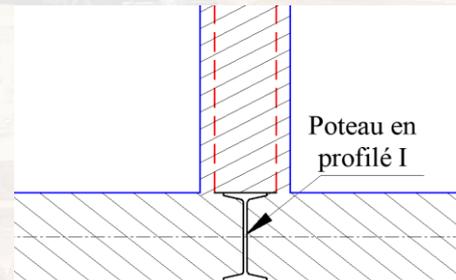
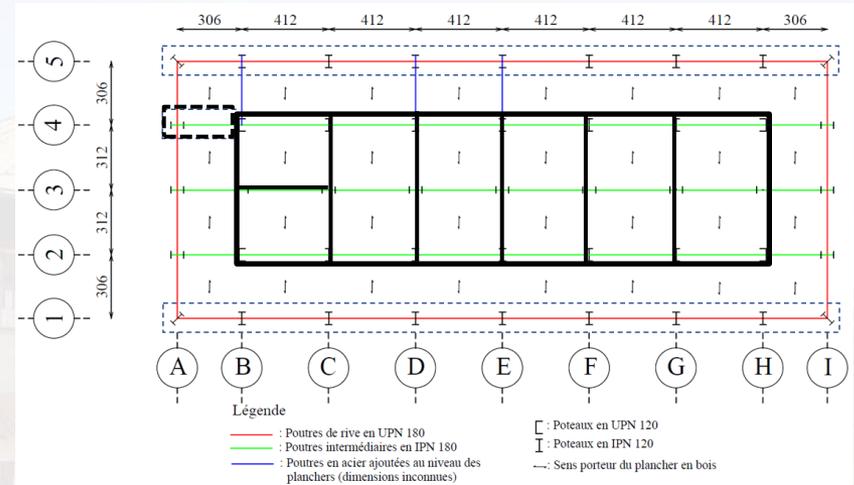
## Les Portiques

### Configuration actuelle

Rez-de-chaussée



Etage



# Analyses et vérifications des éléments porteurs en acier



## Les Portiques

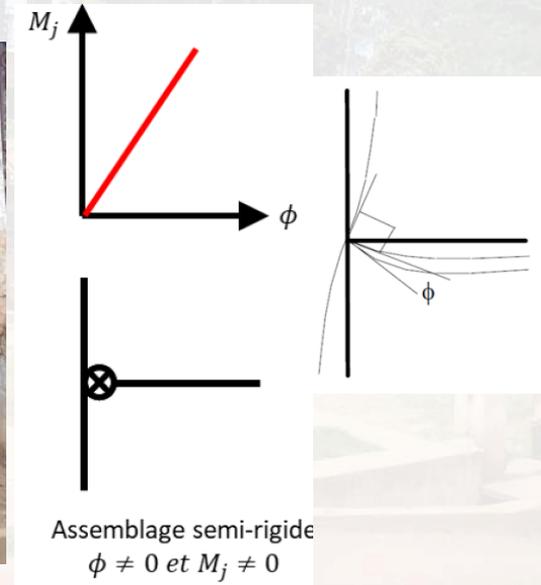
### Résultats - études portiques

**Phase de construction** : Toutes les vérifications, aux ELU et ELS, sont satisfaisantes

**Configuration initiale - phase de fonctionnement** : Idem phase de construction

**Configuration actuelle** : Stabilité des portiques garantie

L'ajout des murs en maçonnerie influence fortement la stabilité des poutres





## *Effets du temps*



# Causes de détérioration des profilés en acier

Corrosion

surcharges locales, non initialement prévues, sur les éléments porteurs

Problème d'entretien et de maintenance

Détérioration de la protection anticorrosion



**Corrosion : Altération du métal**, par action chimique ou électrochimique de son **milieu environnant**, conduisant à la formation de **rouille** (produit composé d'oxydes plus ou moins hydratés se formant sur **le métal en présence d'oxygène et d'eau** à température ordinaire) (Bouillette, 1983)



# Causes de détérioration des profilés en acier

## Corrosion

### Formes de corrosion

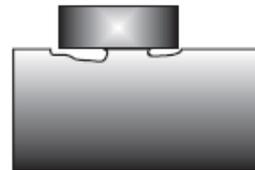
Group I: Identifiable by visual inspection



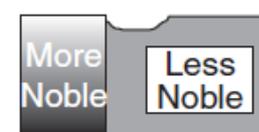
Uniform corrosion



Pitting

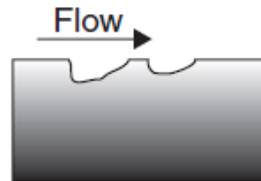


Crevice corrosion



Galvanic corrosion

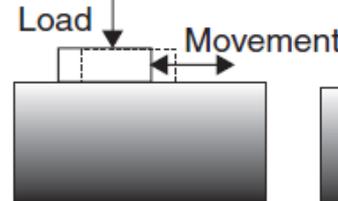
Group II: Identifiable with special inspection tools



Erosion



Cavitation



Fretting



Intergranular

Group III: Identifiable by microscopic examination

Cracking



Stress corrosion cracking



Corrosion fatigue

*principales formes de corrosion (source : Roberge, 2008)*



# Causes de détérioration des profilés en acier

## Corrosion

### Corrosion générale ou uniforme

#### Les milieux corrosifs

- L'atmosphère
- L'eau
- Les sols

#### Corrosion atmosphérique

Facteurs intervenant dans le processus de la corrosion atmosphérique :

- Facteurs climatologiques : température, ensoleillement, vitesse et direction des vents, hauteur des précipitations et **humidité relative (HR)** ;
- **Nature et teneur en agents agressifs** ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}_2$ , chlorures,...) rendant l'atmosphère plus ou moins polluée.

# Etude du comportement dans le temps des éléments porteurs en acier du palais de justice de Mbanza-Ngungu



## Prédiction de l'attaque par corrosion des éléments en acier

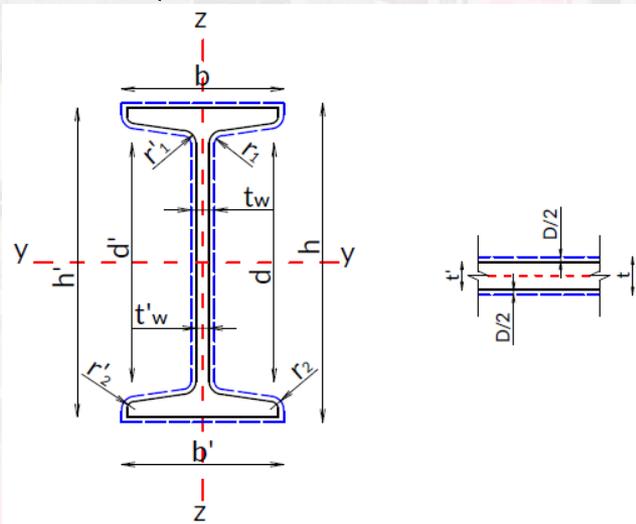
L'attaque totale par corrosion d'un métal " D " exprimée en g/(m<sup>2</sup>. an) ou en µm/an, est déterminée par les formules suivantes (voir norme ISO 9224) :

$$D = r_{\text{corr}} \cdot t^b \text{ pour } t \leq 20 \text{ ans}$$

$$D = r_{\text{corr}} \cdot [20^b + b (20^{b-1}) (t-20)] \text{ pour } t > 20 \text{ ans}$$

Avec :

- t : temps d'exposition exprimé en année
- r<sub>corr</sub> : la vitesse de corrosion à la première année exprimée en µm/an (voir **tableau suivant**).
- b : (B2 = 0,575) exposant du temps spécifique à la relation métal-environnement (voir norme ISO 9224) .



Nouvelles dimensions du profil corrodé au temps t :

$$(h', b', t'_w, t'_f) = [(h, b, t_w, t_f) - D] \text{ (mm)}$$

$$(r'_1, r'_2) = [(r_1, r_2) + D/2] \text{ (mm)}$$

Nouvelles caractéristiques géométriques (A', I'<sub>y</sub>, I'<sub>z</sub>, W'<sub>pl,y</sub>, W'<sub>pl,z</sub>...)

# Etude du comportement dans le temps des éléments porteurs en acier du palais de justice de Mbanza-Ngungu



## valeurs des vitesses de corrosion de l'acier après une année

Catégorie de corrosivité atmosphérique et exemples d'environnements types (sources : ISO 9223 & EN 12500)

Catégorie de corrosivité		Vitesse de corrosion de l'acier		Exemples d'environnements types	
Classe de corrosivité	Corrosivité	g / (m <sup>2</sup> . an)	µm/an	Intérieur	Extérieur
C1	Très faible	$r_{\text{corr}} \leq 10$	$r_{\text{corr}} \leq 1,3$	Bâtiments chauffés à atmosphère propre, par exemple bureaux, magasins, écoles, hôtels	Zone sèche ou froide, environnement atmosphérique très faiblement pollué et très peu humide (certains déserts, centre de l'Antarctique, ...)
C2	Faible	$10 < r_{\text{corr}} \leq 200$	$1,3 < r_{\text{corr}} \leq 25$	Bâtiments non chauffés. Faible risque de condensation et peu de pollution (stockage, salles de sports, ...)	Zone tempérée, atmosphère faiblement polluée ( $\text{SO}_2 < 12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) (régions rurales, petites villes, ...) Zone sèche ou froide, environnement atmosphérique peu humide (déserts, régions subarctiques, ...)
C3	Moyenne	$200 < r_{\text{corr}} \leq 400$	$25 < r_{\text{corr}} \leq 50$	Volumes à fréquence modérée de condensation et pollution modérée due à un procédé de fabrication (usines agroalimentaires, laveries, brasseries, laiteries, ...)	Zone tempérée, environnement atmosphérique moyennement pollué ( $\text{SO}_2 : 12$ à $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ou moyennement affecté par les chlorures (régions urbaines, régions côtières à faible dépôt de chlorures, ...) Zone tropicale, atmosphère faiblement polluée
C4	Forte	$400 < r_{\text{corr}} \leq 650$	$50 < r_{\text{corr}} \leq 80$	Volumes à fréquence élevée de condensation et à forte pollution due à un procédé de fabrication (usines, piscines, ...)	Zone tempérée, environnement atmosphérique fortement pollué ( $\text{SO}_2 : 40$ à $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ou substantiellement affecté par les chlorures (régions urbaines polluées, régions industrielles, régions côtières sans embruns salins, régions fortement affectées par les sels de déverglaçage, ...) Zone tropicale, atmosphère moyennement polluée
C5	Très forte	$650 < r_{\text{corr}} \leq 1500$	$80 < r_{\text{corr}} \leq 200$	Volumes où la condensation est quasi permanente et/ou la pollution due à un procédé de fabrication est très élevée (mines, grottes pour installations industrielles, hangars non ventilés en région tropicale humide, ...)	Zone tempérée, environnement atmosphérique très fortement pollué ( $\text{SO}_2 : 80$ à $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) et/ou très fortement affecté par les chlorures (régions industrielles, régions côtières, atmosphères marines avec embruns salins, ...) Zone tropicale, atmosphère fortement polluée et/ou affecté par les chlorures
CX	Extrême	$1500 < r_{\text{corr}} \leq 5500$	$200 < r_{\text{corr}} \leq 700$	Zones industrielles avec une humidité extrême et une atmosphère agressive	Zones maritimes à salinité élevée, zones industrielles avec une humidité extrême et une atmosphère agressive, et atmosphères tropicales et subtropicales

# Etude du comportement dans le temps des éléments porteurs en acier du palais de justice de Mbanza-Ngungu



## Evolution de la résistance au cisaillement (cas de la panne IPN 120)

### Plan d'inertie d'axe fort (y-y)

Au temps  $t = 0$

$$V_{pl,y,Rd} = 89,95 \text{ kN}$$

$$0.5V_{pl,y,Rd} = 44,975 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 42 \text{ kN}$$

Pas d'interaction M-V

Au temps  $t = 120$  ans

$$V_{pl,y,Rd} = 56,14 \text{ kN}$$

$$0.5V_{pl,y,Rd} = 28,07 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 42 \text{ kN}$$

Interaction M-V

### Plan d'inertie d'axe faible (z-z)

Au temps  $t = 0$

$$V_{pl,y,Rd} = 120,28 \text{ kN}$$

$$0.5V_{pl,y,Rd} = 60,14 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 5,03 \text{ kN}$$

Pas d'interaction M-V

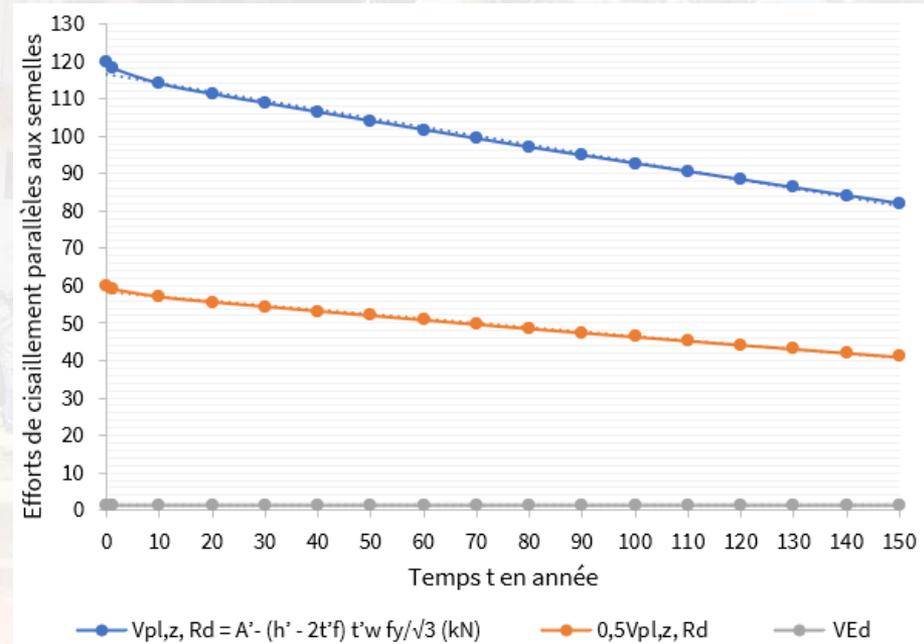
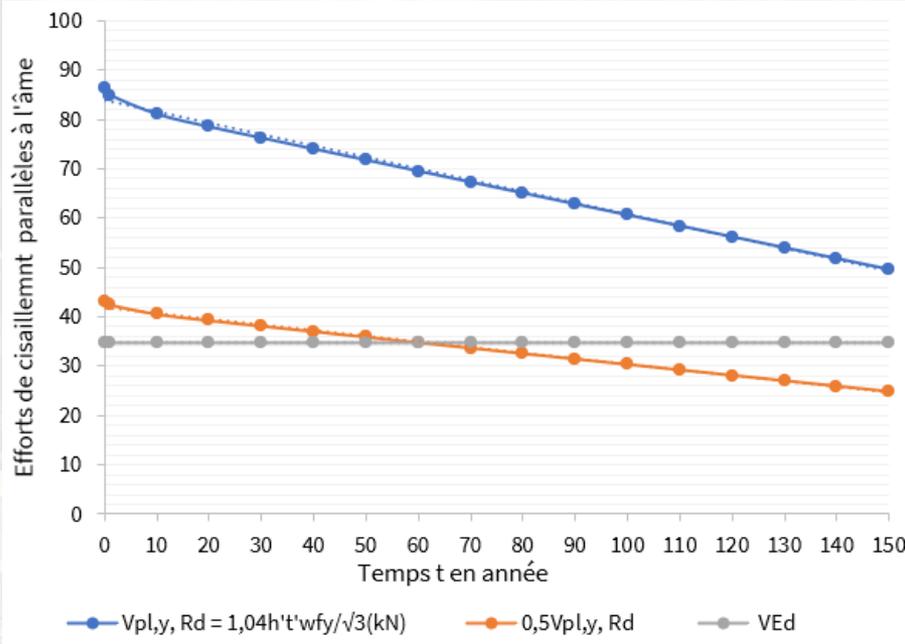
Au temps  $t = 120$  ans

$$V_{pl,y,Rd} = 88,41 \text{ kN}$$

$$0.5V_{pl,y,Rd} = 44,2 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 5,03 \text{ kN}$$

Pas d'interaction M-V



# Etude du comportement dans le temps des éléments porteurs en acier du palais de justice de Mbanza-Ngungu



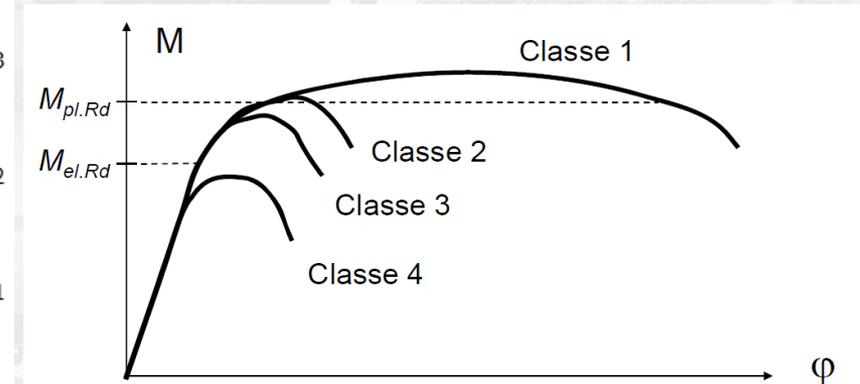
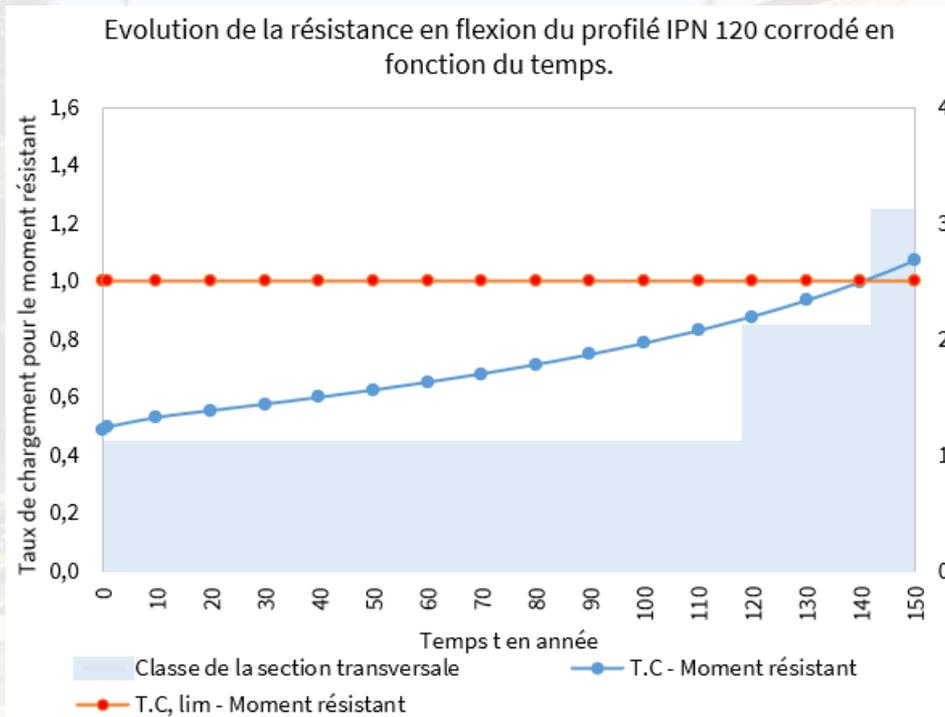
## Evolution de la résistance en flexion (cas de la panne IPN 120)

Au temps  $t = 0$

$$[M_{y, Ed}/M_{C, y, Rd}]^\alpha + [M_{z, Ed}/M_{C, z, Rd}]^\beta = 0.51 < 1$$

Au temps  $t = 120$  ans

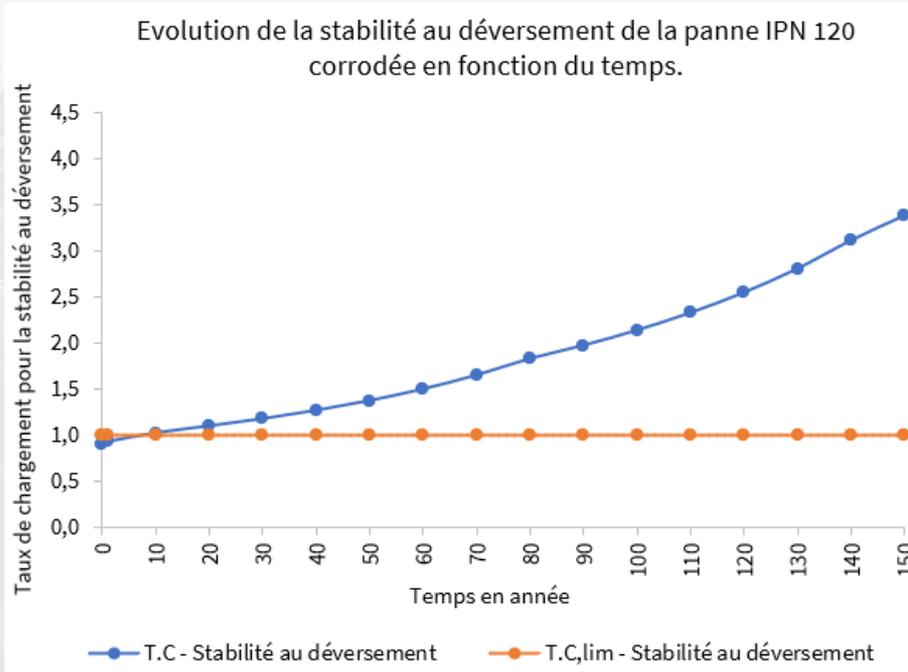
$$[M_{y, Ed}/M_{C, y, Rd}]^\alpha + [M_{z, Ed}/M_{C, z, Rd}]^\beta = 0.906 < 1$$



# Etude du comportement dans le temps des éléments porteurs en acier du palais de justice de Mbanza-Ngungu



## Evolution de la stabilité au déversement (Panne IPN 120)





## *Conclusion et Perspectives*



# Conclusion & Perspectives

- ❑ L' étude structurale de ce bâtiment a démontré un haut niveau de compétences en ingénierie dans la conception de maisons très légères dans lesquelles chaque élément était optimisé en vue de son efficacité structurale avec un réel souci d'élégance.
- ❑ Les éléments en acier de la structure, comme la panne étudiée, sont sensibles aux effets de la corrosion (influençant leur capacité portante) et ont une durée de vie limitée.
- ❑ **Intégration de la notion de la semi-rigidité des assemblages dans les analyses globales de la structure**
- ❑ **Prise en compte de l'influence de la corrosion sur le comportement global de la structure**
- ❑ **Proposition de solutions de réaffectation, renforcement et réparation de la structure**

# Merci pour votre attention !

Aris Mpemba Nkole Kabongo

Doctorant  
Université de Liège (ULiège/Belgique)

✉ [ankole@uliege.be](mailto:ankole@uliege.be)