



## Projet collaboratif Archis-Ingés : Les balcons de l'INSA

### Groupe:

Architecte

Joachim Boyries  
Alice Geber  
Domitille Jalard

Génie climatique et énergétique

Marius Muller  
Florence Radoch  
Christoph Vollmer

Génie civil

Aleth Confais  
Ilham Elhaimer  
Jean-Yves Pellen



# Introduction

Ce module électif s'inscrit dans un projet plus global intitulé « les balcons de l'INSA » dont la finalité est de concevoir et mettre en œuvre à l'échelle 1, une technique particulière de rénovation de bâtiments par l'ajout d'espaces tampon en façade. Cette expérimentation sera réalisée sur la façade sud du bâtiment C de l'INSA à l'échéance de septembre 2015. La réussite d'un tel projet est bien entendu conditionnée par la réunion de compétences en architecture et en ingénierie (énergétique, structure ....).

Deux séminaires architectes ont déjà eu lieu et ont permis d'identifier deux typologies d'espace tampon : un mur rideau et un balcon suspendu.

L'objet de ce module électif est de réaliser une étude d'exécution de ces deux typologies, complétée si possible par la réalisation d'un prototype .

# Boîte à outil

À partir des séminaire précédent, nous avons pu déterminer des principes énergétiques et structurels repris par les architectes et pouvant faire l'objet de recherches plus approfondis.

types balcons	structure / matériaux	éviter les surchauffes dans les pièces attenantes	valorisation de l'énergie solaire passive	apports techniques	acoustique	ventilation naturelle
le jardinet	Boite accrochée	plante caduc suspendue depuis le toit ou qui grimpe depuis le bas du balcon	plante = perd ses feuilles en hiver	plante = brise soleil	plante = effet de masse	ouverture bi-latérale
la boite noire	boite suspendue	Films colorés sur les fenêtres				
le photovoltaïque	boîtes et passerelles	panneaux photovoltaïques créent de l'ombre + toitures plus ou moins avancées pour faire de l'ombre dans les pièces inférieures		panneaux photo = énergie élec		
le tout verre		possibilité de ventiler	vitres laissent entrer lumière et chaleur			

# État des lieux de la façade Sud

La construction du bâtiment date de 1955.

L'ensemble du bâtiment C, y compris la façade sud, comprennent plusieurs pathologies.

Structure :

On remarque beaucoup de bulles d'air, qui dénote une porosité excessive du béton.

L'enrobage est aussi très faible, comme on peut le constater au travers des ferrillages présents (<3cm, qui est l'enrobage minimum actuel).

On remarque également plusieurs fissures d'ordre structurelles.

Avant toute greffe sur la façade, il serait indispensable de la rénover, ou au moins de rénover la partie sur laquelle nous souhaiterions nous greffer.

Énergétique du bâtiment  
cf. en annexe

# Implantation de la greffe

Nous travaillons sur l'implantation d'un balcon. Après avoir étudié les plans du bâtiment, nous avons choisis de nous implanter au 3e étage, au niveau des bureaux C315 et C317. Ce choix a été fait de manière à ce qu'il y ai le moins de travaux interne à faire, qu'il n'y ai pas à diviser des salles de classes, et ainsi pouvoir évaluer par la suite de l'efficience de la nouvelle structure dans une pièce entièrement doublée par l'extérieur.

*Plan de repérage*

# Que peut reprendre la façade?

Tels que nous nous sommes implantés, les charges que nous ajouterons seraient reprises par le poteau central (section de 25x70cm), et par la poutre longitudinale située sous le plancher haut du niveau considéré.

Au stade de nos études, nous ne savons pas calculer la résistance d'un poteau (simple ou en étage).

De plus, les méthodes de calculs de dimensionnement dans les années 1950 étaient différentes de celles d'aujourd'hui. Les ingénieurs ne prenaient alors pas en compte le comportement à la rupture (ils considéraient simplement les contraintes admissibles, sans pondération des actions variables)

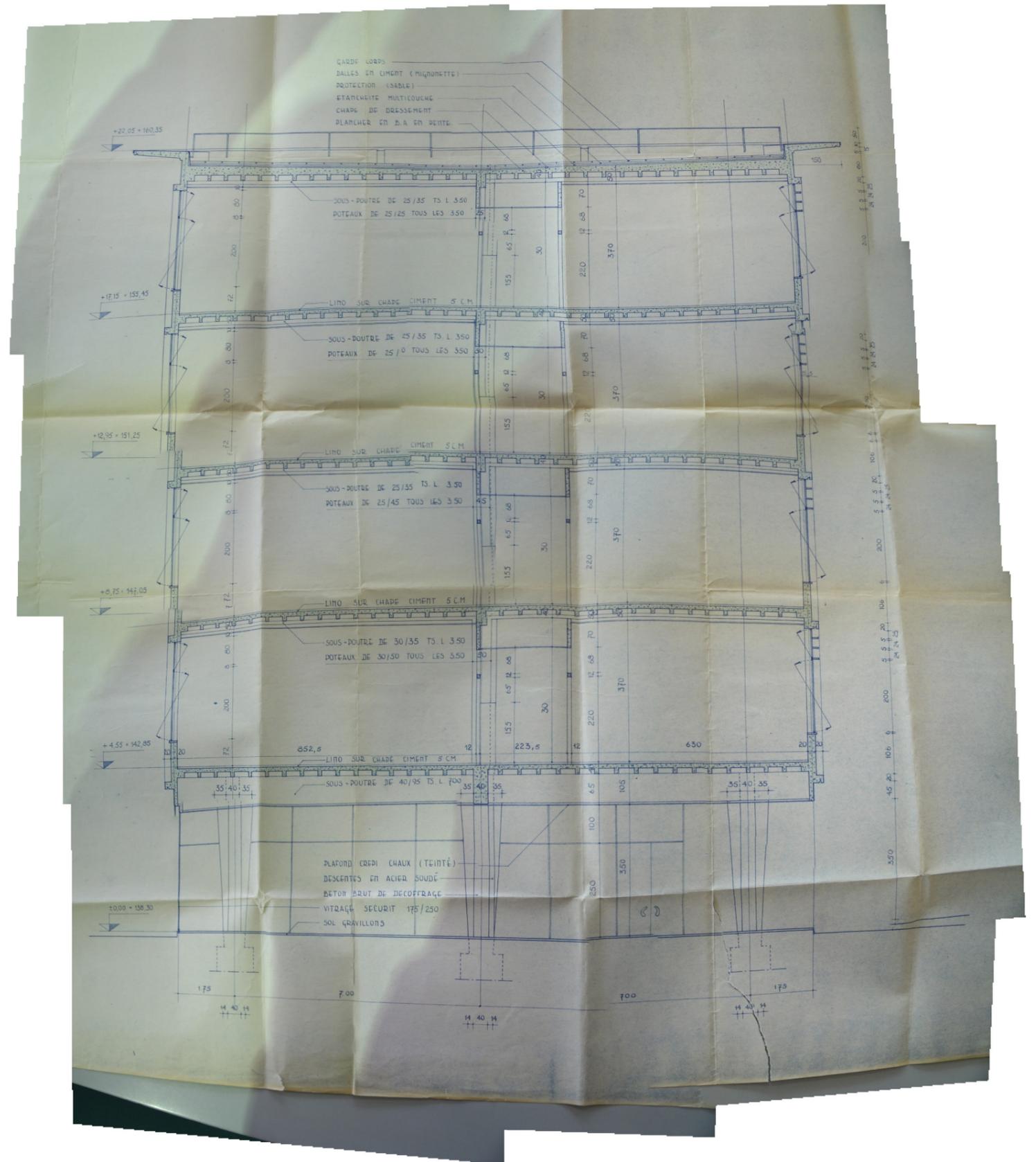
Néanmoins, après un simple calcul, nous pouvons dire que le poteau reprend une charge d'environ 400 kN (calcul approximatif, en partant du postulat que le béton avait la même densité qu'aujourd'hui).

En faisant quelques recherches, on trouve un résultat qui peut aider à savoir si notre poteau peut ou non reprendre des charges supplémentaires (sur un forum d'ingénieurs). Un poteau de section 20x45 cm bi-articulé, armé au minimum (0.6% de se section) et soumis uniquement à un effort normal (pas de prise en compte du flambement et de la torsion), peut reprendre 860kN.

Notre section étant de 25x70cm, on peut aisément admettre que notre poteau pourrait reprendre 860kN. Nous aurions donc près de 400kN de charge que nous pourrions ajouter.

La structure que nous souhaitons mettre en place sera la plus légère possible, on ne devrait donc pas avoir de problèmes à la greffer.

Il faudra aussi faire attention à l'encastrement, sa réalisation, de manière à éviter l'arrachement.



Coupe du bâtiment C  
Archives de Strasbourg

# Parti architectural

Souhait d'une structure apparente

Les haubans ne sont pas forcément au-dessus des balcons, ils peuvent être sur les côtés.

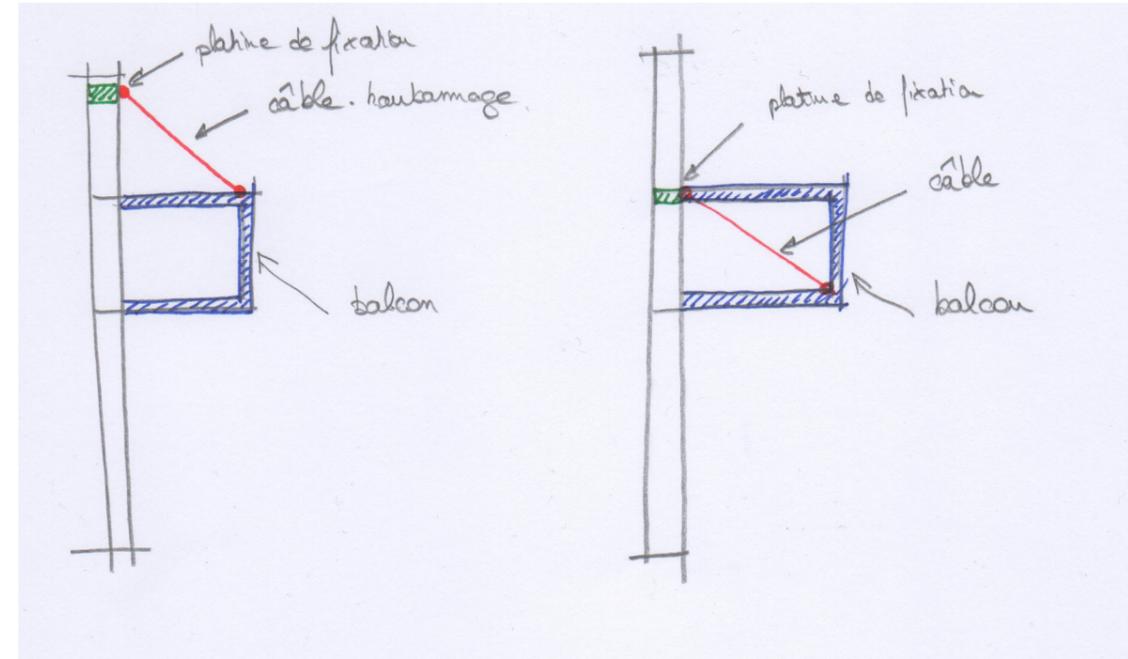
Possibilité d'étendre le principe des balcons sur toute la façade

Étude avec un module

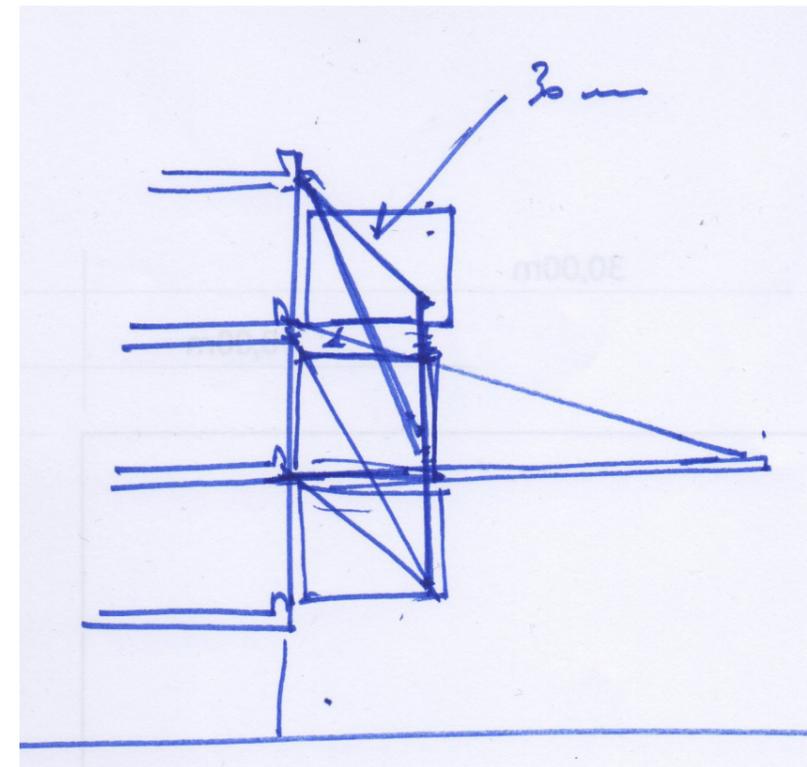
Étude avec plusieurs modules

Pas de poteaux

Parois mobiles (joint GCE, câble GC,...)



Parti architectural à déterminer pour un module



Pour ensuite avoir la possibilité de le décliner à plusieurs modules

# Systemes d'accroches

## Platine d'accroche plane

Les boulons à expansion ou les goujons d'ancrage permettent d'accrocher des charges moyennes et lourdes dans les matériaux pleins. Les boulons sont composés d'une vis ou d'un boulon et d'une cheville métallique. Les goujons d'ancrage se composent d'une tige filetée à embout conique munie d'une bague, sans cheville. Le protocole de mise en place se déroule en 3 phases :

1. Perçage du trou au perforateur,
2. Pose du boulon dans le trou,
3. Serrage de la pièce à fixer.

NB : Dans le béton, les goujons résistent à une charge allant jusqu'à 8 kN.

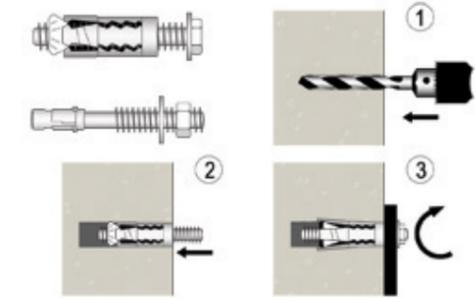
## Platine en U

### Avantages

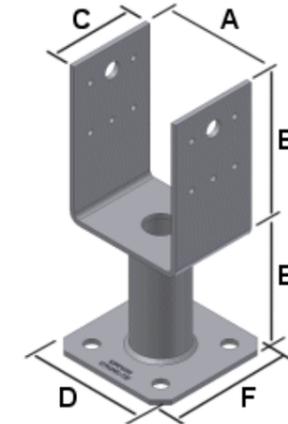
Montage rapide et offre des points où accrocher les câbles  
 Platine de base robuste pour une fixation sûre au corps du bâtiment  
 Pouvant tenir soutenir une forte charge  
 Si en aluminium assure une utilisation flexible en intérieur et en extérieur



platine d'accroche plane



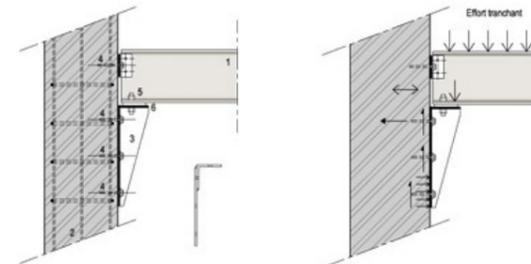
platine d'accroche plane - méthode



platine d'accroche en U (note : ici pour pied de poteau mais adaptable pour serrer sur un poteau, servant par la suite de système d'accroche pour les câbles et poutres)

## Console

Mise en place d'une console en-dessous du balcon afin d'éviter un basculement.



1. Poutre acier
2. Poteau béton existant
3. Console d'assise
4. Boulons scellés ou cheville à expansion
5. Boulons
6. Pièce de calage



Attache d'une poutre en acier

Schéma d'un détail d'attache d'une poutre sur un poteau existant

## Contreventement

Composé de diagonales en forme de croix de Saint-André, câble galvanisé, assemblage par piton et boulonnage en pied et tête de poteau, avec fourniture : ridoir, manchon, cosse-cœur . Implanté dans l'axe des profils porteurs des portiques.



assemblage



piton

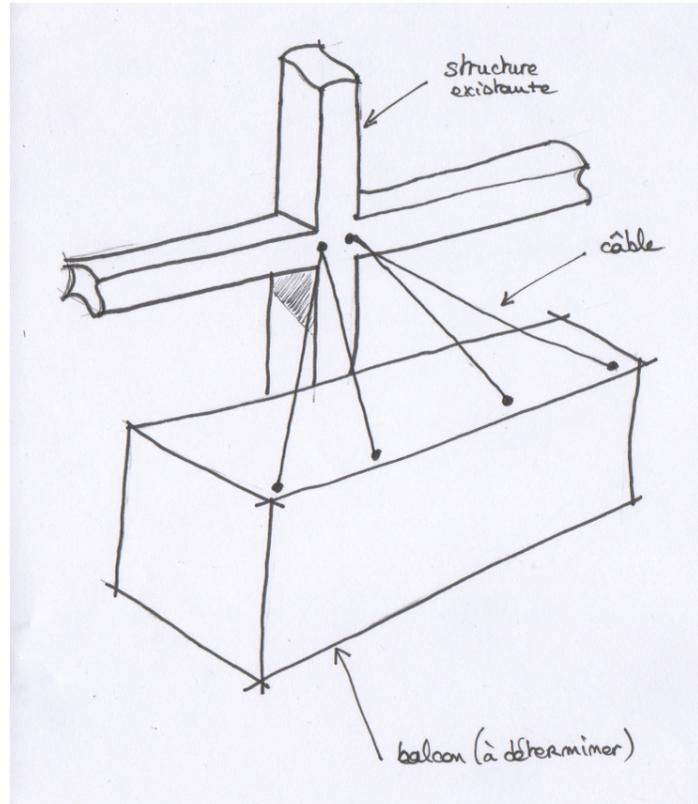


tendeur

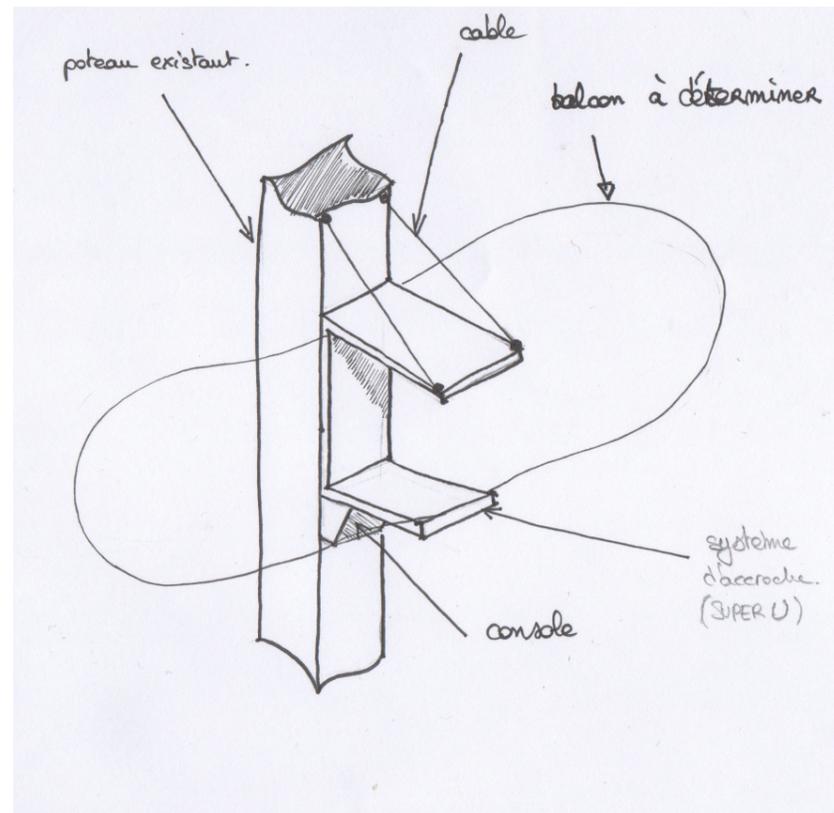


cosse-cœur

## Autres propositions d'accroches



Proposition 1 : Balcon suspendu grâce à des câbles accroché sur le poteau



Proposition 2 : Mise en place d'une superstructure dans laquelle on glisserait le balcon

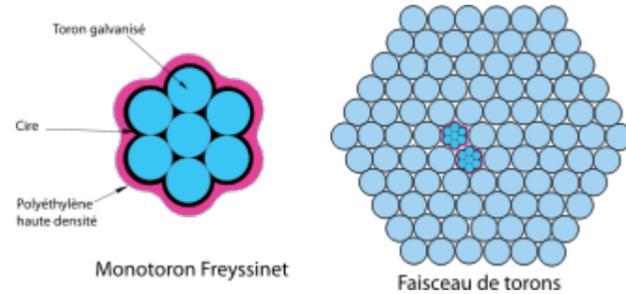
Aussi afin de déterminer le système d'accroche le plus adéquat, il serait intéressant de confronter ces propositions avec les intentions architecturales. Certaines de ces propositions offrent une grande liberté de projet, néanmoins les moyens mis en œuvre peuvent parfois être trop importants par rapport à l'objectif (en particulier dans le cas 2).

Il serait également intéressant de confirmer le résultat que peut reprendre la façade de l'INSA via un test de chargement. En effet cela permettra de confirmer les modèles théoriques mis en place lors de l'analyse, vérifier la charge que peut reprendre la façade et de vérifier les fixations au niveau des poutres et au niveau des câbles.

# Etudes sur les câbles

## Les câbles

*Coupe d'un câble composé de torons Freyssinet utilisé sur le viaduc de Millau*



Les câbles sont des éléments de structure qui peuvent subir de grandes déformations. Cette caractéristique est essentielle à prendre en compte lors du dimensionnement des autres éléments auxquels ils sont reliés qui vont de ce fait subir des contraintes liées à ces déformations.

De plus, les câbles ne reprennent pas de moment et ne reprennent pas non plus d'effort tranchant. Ils ne subissent que l'effort normal. Ainsi, ils ne peuvent travailler qu'en traction pure. Cette caractéristique est recherchée dans les structures légères car l'effort normal est le seul qui soumette toute la section à une contrainte normale constante pendant la phase élastique ainsi le dimensionnement des pièces peut être minimal. De plus, les câbles sont des éléments légers, ils n'ajoutent ainsi une charge de poids propre minimale à la structure porteuse. Cependant, il ne faut pas le négliger lors des calculs en prenant également en compte le poids de la gaine protectrice et du produit liant tel que la cire.

L'environnement est également à prendre en compte lors du dimensionnement de câbles. Tout d'abord, l'action du vent ne doit pas être négligée. Elle dépend en partie de la rugosité de l'enveloppe des câbles qui doit donc être étudiée soigneusement. Ensuite, l'action de la température qui n'est pas la même à prendre que pour les autres éléments structurels adjacents car ils n'ont pas la même inertie thermique. Il faut donc considérer un écart de température avec le reste de la structure.

# Études thermique

## Etudes thermiques

### 1. Etude thermique simplifiée de l'existant

#### 1.1. Calcul du coefficient de déperditions U

La paroi sur laquelle nous allons faire la greffe de l'espace tampon est constituée de :

- mur en béton d'épaisseur 15cm
- couche de plâtre 2cm
- double vitrage supérieur d'épaisseur 1cm
- double vitrage inférieur d'épaisseur 4cm
- huisserie (cadre bois) de 7cm

En appliquant la formule suivante, on obtient alors :

$$U_p = \frac{1}{\frac{1}{h_{int}} + \frac{e_{béton}}{\lambda_{béton}} + \frac{e_{platre}}{\lambda_{platre}} + \frac{1}{h_{ext}}} \left[ \frac{W}{m^2 K} \right]$$

En faisant l'application numérique, on obtient alors :  $U_p = 2,16 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

#### 1.2. Calcul des déperditions

Nous allons calculer à présent les déperditions pour les mois de janvier et mai, afin de se donner un ordre de grandeur des déperditions pendant la période "la plus chaude" et "la plus froide". En effet, l'un des principal objectif est de réussir à utiliser toute la chaleur reçue en été, pour la restituer dans les locaux exposés Nord, ou d'exploiter autrement cette énergie perçue (via un ballon à eau chaude,...), faisant ainsi de cette faiblesse une force. C'est pourquoi nous avons également tenu à faire l'étude pour le mois de mai (nous n'avons pas pris les mois de juin ou juillet, car nous avons émis l'hypothèse que le local n'était plus utilisé durant cette période).

Pour les calculs, nous fixerons la température intérieure de consigne à 21°C et en ce qui concerne les températures extérieures nous prendront :

- pour le mois de mai  $T^{\circ}_{ext \text{ moy mensuelle}} = 13,7^{\circ}\text{C}$
- pour le mois de janvier,  $T^{\circ}_{ext \text{ moy mensuelle}} = 0,8^{\circ}\text{C}$ .

#### a) Par les parois opaques

Pour calculer les déperditions à travers les parois opaques, nous avons appliqué la formule suivante :  $\Phi_p = U_p \times S_p \times \Delta T$

$$\text{avec } \Delta T = T_{int} - T_{ext}$$

On obtient ainsi :

- pour le mois de mai :  $\Phi_p = 2,16 \times (25,9 - 18,9) \times (21 - 13,7) = 110,4 \text{ W}$
- pour le moi de janvier :  $\Phi_p = 2,16 \times (25,9 - 18,9) \times (21 - 0,8) = 305,4 \text{ W}$

#### b) Par l'huisserie

- pour le mois de mai :  $\Phi_f = U_f \times S_f \times \Delta T = 54,25 \times (21 - 13,7) = 299 \text{ W}$
- pour le mois de janvier :  $\Phi_f = 828 \text{ W}$

On obtient le facteur de  $U_f$  comme la suite:

$$U_f = \frac{S_{vitrage}}{S_{fenêtre}} \frac{1}{U_{vitrage}} + \frac{S_{menuiserie}}{S_{fenêtre}} \frac{1}{U_{menuiserie}}$$

#### c) Par infiltration

En ce qui concerne le calcul des déperditions dues aux infiltrations d'air, nous avons appliqué la formule qui suit :

$$\Phi = 0,34 \times Q_v \times \Delta T$$

Avec  $Q_v = 0,07 \times n_{50} \times \text{Volume} = 0,07 \times 7 \times (25,9 \times 6,2) = 78,7 \text{ m}^3/\text{h}$

D'où :

- En mai :  $\Phi = 0,34 \times 78,7 \times (21 - 13,7) = 195,3 \text{ W}$
- En janvier :  $\Phi = 0,34 \times 78,7 \times (21 - 0,8) = 540,4 \text{ W}$

d) Energie perdue sur le mois de mai

"Energie perdue sur le mois =  $\Sigma$  des déperditions calculées"

Pour le mois de mai :

$$\Phi_{\text{perdu}} = 110 + 299 + 195,3 = 604 \text{ W}$$

Si l'on considère ce flux constant sur tout le mois, on obtient une perte d'énergie pour le mois de mai égale à :

$$E_{\text{perdue}} = 604 \times (24 \times 31) = 449 \text{ kWh}$$

e) Energie perdue sur le mois de janvier

De même, pour le mois de janvier on obtient :

$$\Phi_{\text{perdu}} = 305 + 828 + 540,4 = 1673 \text{ W}$$

$$E_{\text{perdue}} = 1998,4 \times (24 \times 31) = 1244 \text{ kWh}$$

### 1.3. Energie solaire apportée au logement

a) sur le mois de mai

Données :

- énergie solaire incidente : 63,4 kWh/m<sup>2</sup>
- surface de vitrage : (3x1,2)x4= 14,4m<sup>2</sup>
- facteur solaire : 0,9

d'où l'apport d'énergie :  $E_s = 63,4 \times 14,4 \times 0,9 = \underline{822 \text{ kWh}}$

b) sur le mois de janvier

Données :

- énergie solaire incidente : 36,6 kWh/m<sup>2</sup>
- surface de vitrage : (3x1,2)x4= 14,4m<sup>2</sup>
- facteur solaire : 0,9

d'où l'apport d'énergie :  $E_s = 36,6 \times 14,4 \times 0,9 = \underline{474,4 \text{ kWh}}$

### Bilan énergétique de l'existant :

- pour le mois de **mai** :  $E_{\text{bilan}} = E_s - E_{\text{perdue}} = 822 - 449 = 373 \text{ kWh}$

On constate donc que les apports solaires compensent très largement les déperditions totales, ce qui entraîne donc un **apport d'énergie** sur le mois de mai de 373 kWh.

- pour le mois de **janvier** :  $E_{\text{bilan}} = E_s - E_{\text{perdue}} = 474,7 - 1244 = - \underline{769 \text{ kWh}}$

On constate donc que les apports solaires ne suffisent pas à compenser les déperditions totales. On observe donc une déperdition d'énergie sur le mois de janvier de 769 kWh, et par conséquent des **besoins de chauffage de 769 kWh**.

## 2. Etude thermique simplifiée de l'espace tampon

Pour l'étude thermique de l'espace tampon, nous avons défini une surface au sol de l'espace tampon d'environ 20m<sup>2</sup> (soit 7mètres de long par 3mètres de large)

### 2.1 Estimation de la température de l'espace tampon

#### 2.1.1 Sans apport solaire

Si l'on réalise le bilan thermique de l'espace tampon, on obtient :

$$(U_b S_b + U_w^2 S_w^2 + 0,34 \cdot Q_{vi}) \cdot (\theta_b - \theta_{\text{ext}}) = (U_p S_p + U_w S_w) \cdot (21 - \theta_b) = c_{\text{ste}}$$

D'où, si on isole le  $\theta_b$ :

$$\theta_b \cdot (U_b \cdot S_b + U_w^2 \cdot S_w^2 + 0,34 \cdot Q_{vi} + U_p S_p + U_w S_w) = (U_p \cdot S_p + U_w \cdot S_w) \cdot 21 + (U_b \cdot S_b + U_w^2 \cdot S_w^2 + 0,34 \cdot Q_{vi}) \cdot \theta_{ext}$$

$$\Rightarrow \theta_b = \frac{(U_p \cdot S_p + U_w \cdot S_w) \cdot 21 + (U_b \cdot S_b + U_w^2 \cdot S_w^2 + 0,34 \cdot Q_{vi}) \cdot \theta_{ext}}{(U_b \cdot S_b + U_w^2 \cdot S_w^2 + 0,34 \cdot Q_{vi} + U_p S_p + U_w S_w)}$$

En passant à l'application numérique, on a :

$\theta_b =$

### Calcul des apports solaires pour l'espace tampon

a) sur le mois de mai

Données :

- énergie solaire incidente coté sud : 63,4 kWh/m<sup>2</sup>
- énergie solaire incidente coté ouest : 56,8 kWh/m<sup>2</sup>
- énergie solaire incidente coté nord : 0 kWh/m<sup>2</sup>
- énergie solaire incidente coté est : 179,8 kWh/m<sup>2</sup>
- facteur solaire : 0,9

d'où l'apport d'énergie solaire coté sud: E= 821,7 kWh

d'où l'apport d'énergie solaire coté ouest: E= 341 kWh

d'où l'apport d'énergie solaire coté nord: E=0 kWh

d'où l'apport d'énergie solaire coté est: E= 412 kWh

b) sur le mois de janvier

Données :

- énergie solaire incidente coté sud : 36,6 kWh/m<sup>2</sup>
- énergie solaire incidente coté ouest : 13,2 kWh/m<sup>2</sup>
- énergie solaire incidente coté nord : 0 kWh/m<sup>2</sup>
- énergie solaire incidente coté est : 26,2 kWh/m<sup>2</sup>
- facteur solaire : 0,9

d'où l'apport d'énergie solaire coté sud: E= 474 kWh

d'où l'apport d'énergie solaire coté ouest: E= 79 kWh

d'où l'apport d'énergie solaire coté nord: E=0 kWh

d'où l'apport d'énergie solaire coté est: E= 157 kWh

