

SERBA Ingénierie

Béton armé et précontraint
Etudes et Calculs Structures
Charpente Métallique - Bois - Lamellé Collé

10 bis Avenue du Maréchal de Tassigny
44400 REZÉ

02 51 11 10 99

serba44@serba.fr
<http://www.serba.fr>

Note établie par K. EMERIAU
Noté visée par KEM

AS44 23.1226
DIAG 01



Bâtiments 1 & 10, Campus Lombarderie, 2 Rue de la Houssinière Nantes (44) *Diagnostic structure des toitures-terrasses*

0	Première émission
Indice	Modifications

Rezé, le 16 novembre 2023



MODIFICATION DU PRÉSENT DOCUMENT

Référence affaire : **SA44 23.1226**

Indice	Observations	Rédacteur	Visa	Date
0	1ère émission	KEM	KEM	16/11/2023

GRILLE DE RÉVISION

Paragraphe(s) modifié(s)	Nature de la dernière modification



SOMMAIRE

1	OBJET DE LA NOTE	4
2	DOCUMENTS DE REFERENCE	4
2.1	DOCUMENTS NORMATIFS	4
2.2	DOCUMENTS TRANSMIS PAR LE CLIENT	4
2.3	DOCUMENTS REALISES DANS LE CADRE DU PROJET	4
2.4	AUTRES DOCUMENTS	4
3	RAPPELS CONCERNANT LA MISSION DE DIAGNOSTIC	5
4	PRESENTATION DE L'OUVRAGE	6
5	ANALYSE DES PLANS EXISTANTS	8
5.1	BATIMENT 01	8
5.2	BATIMENT 10	12
6	ANALYSE DE LA RECONNAISSANCE DE STRUCTURES	14
6.1	PREAMBULE	14
6.2	BATIMENT 01	14
6.2.1	Localisation des sondages	14
6.2.2	Bâtiment Est	15
6.2.3	Bâtiment Ouest	16
6.3	BATIMENT 10	17
6.3.1	Localisation des sondages	17
6.3.2	Résultats	17
7	VERIFICATION DE LA COUVERTURE SOUS CHARGES COMPLEMENTAIRES	19
7.1	HYPOTHESES DE CALCUL	19
7.1.1	Matériaux	19
7.1.2	Géométrie	19
7.1.3	Chargement	19
7.1.4	Combinaisons	19
7.2	BATIMENT 1 – PARTIE EST	20
7.2.1	Hypothèses	20
7.2.2	Calcul du moment résistant	20
7.2.3	Calcul du moment agissant	20
7.3	BATIMENT 1 – PARTIE OUEST	21
7.3.1	Hypothèses	21
7.3.2	Calcul du moment résistant	21
7.3.3	Calcul du moment agissant	21
7.4	BATIMENT 10	23
7.4.1	Préambule	23
7.4.2	Hypothèses	23
7.4.3	Analyse des charges existantes	23
7.4.4	Analyse des futures charges	24
7.4.5	Analyse comparative des charges	24
7.5	CONCLUSION	25
8	SYNTHESE	26
9	ANNEXES	28
9.1	ANNEXE 1 : RAPPORT D'INVESTIGATIONS RINCENT LABORATOIRES	28

1 OBJET DE LA NOTE

L'objectif de la note est de réaliser un diagnostic structure des toitures-terrasses dans le cadre d'un futur projet d'aménagement prévoyant la mise en œuvre d'une végétalisation légère et / ou de panneaux photovoltaïques.

La visite sur site a été effectuée le 02/11/2023, en présence de M. L'Hélias, représentant l'Université de Nantes (MOA) et RINCENT LABORATOIRES (diagnostiqueur / sondeur). Les cahiers des charges ont été établis par SERBA.

2 DOCUMENTS DE REFERENCE

2.1 DOCUMENTS NORMATIFS

- **NF EN 1991-1-1** (mars 2003) : Eurocode 1 – Actions sur les structures – Partie 1-1 : Actions générales – Poids volumiques, poids propres, charges d'exploitation des bâtiments
- **NF EN 1992-1-1** (octobre 2005) : Eurocode 2 – Calcul des structures en béton – Partie 1-1 : Règles générales et règles pour les bâtiments
- **NF EN 1992-1-2** (octobre 2005) : Eurocode 2 – Calcul des structures en béton – Partie 1-2 : Calcul du comportement au feu

2.2 DOCUMENTS TRANSMIS PAR LE CLIENT

- **S.E.C.C. CENTRE OUEST** : Rapport de diagnostic d'étanchéité, 20/09/2018
- **PLANS EXE en date de 1961-1962**
 - BA58 : VUE EN PLAN PH RDC BLOCS 1-2-3, R.G.M.
 - BA59 : VUE EN PLAN COUVERTURE BLOCS 1-2-3, R.G.M.
 - BA71 : COUPE COURANTE ET PORTIQUE R.G.M.
 - BA125 : VUE EN PLAN PANCHER A 21,90, BLOC 4, BÂTIMENT D'ENSEIGNEMENT
 - BA129 : VUE EN PLAN PANCHER A 25,50, BLOC 3, BÂTIMENT D'ENSEIGNEMENT
 - BA132 : VUE EN PLAN TERRASSE, BLOC 1, BÂTIMENT D'ENSEIGNEMENT
 - BA133 : VUE EN PLAN TERRASSE, BLOC 2, BÂTIMENT D'ENSEIGNEMENT
 - BA137 : VUE EN PLAN TERRASSE, BLOC 4, BÂTIMENT D'ENSEIGNEMENT
 - BA141 : COUPE TRANSVERSALE BLOCS 1-2-3-4, BÂTIMENT D'ENSEIGNEMENT
 - BA143 : COUPE TRANSVERSALE HALL D'ENTREE DES ELEVES, BÂTIMENT D'ENSEIGNEMENT
 - BA147 : VUE EN PLAN TERRASSE, BLOC 7, BÂTIMENT D'ENSEIGNEMENT
 - BA242 : VUE EN PLAN TERRASSE, BLOCS 1-2-3, RGM

2.3 DOCUMENTS REALISES DANS LE CADRE DU PROJET

- **RINCENT LABORATOIRES** : Rapport d'investigations R-31349-6-01A

2.4 AUTRES DOCUMENTS

- **Diagnostic, entretien et réparation des ouvrages en béton armé en 44 fiches pratiques**, Khemakhem, M et Benjeddou, O – 2020
- **La pathologie des façades**, CSTB Editions, 2017
- **Traité de maçonnerie ancienne**, Alain Popinet – 2018
- **Guide du diagnostic des structures dans les bâtiments d'habitation anciens**, Jacques Fredet & Jean-Christophe Laurent – 2018



3 RAPPELS CONCERNANT LA MISSION DE DIAGNOSTIC

Les conclusions et hypothèses du présent rapport se basent sur :

- *Des constats visuels*
- *Des relevés sur site*
- *Des techniques d'auscultation normées effectués par échantillonnage*
- *Des données fournies par le client (informations sur la construction, plans existants de la structure, ...)*
- *Des hypothèses de calcul et de matériaux usuelles à la date de construction du bâtiment*

Ce diagnostic a été réalisé sur la base d'une approche par échantillonnage. Tout en étant le plus détaillé possible, il ne se veut en aucun cas exhaustif, son objectif étant de dresser un bilan d'ordre global. Il doit être considéré la possibilité de disparités structurelles locales non conformes aux documents produits. Les utilisateurs de ce document devront intégrer cette éventualité à leur analyse.

4 PRESENTATION DE L'OUVRAGE

Les informations sur la structure sont déduites de la visite sur site et des informations communiquées par le client.

Les ouvrages étudiés sont situés sur le site du campus Lombarderie, à Nantes (44).

L'objectif de la présente étude est d'analyser les toitures des bâtiments 1 (bâtiments Ouest et Est, comme repérés ci-dessous) et 10 afin d'étudier la faisabilité de mise en œuvre d'une végétalisation légère et / ou de panneaux photovoltaïques.

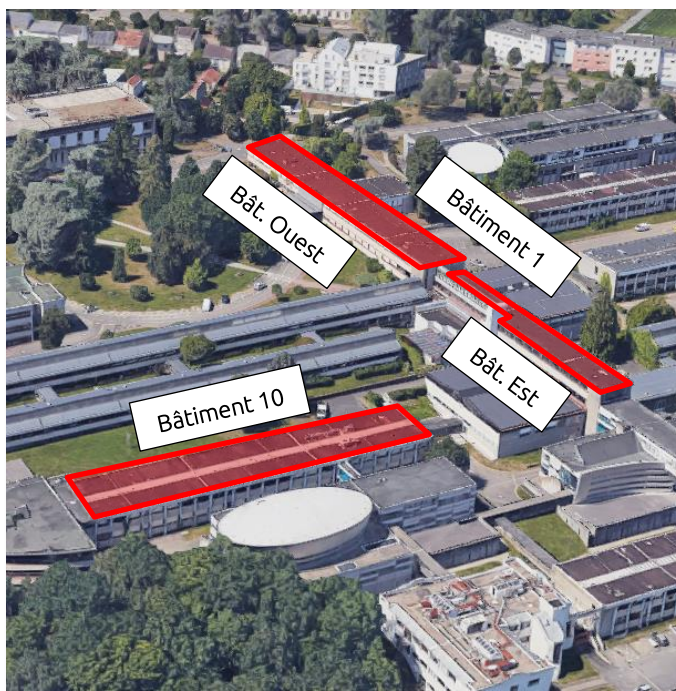


Figure 1 : Repérage des toitures étudiées

Suivant l'étude des photographies aériennes historiques et les plans transmis par le client, les ouvrages sont datés du début / milieu des années 1960. Sur la photo datée du 01/08/1962, on observe le site en phase travaux, avec la réalisation des fondations.



Figure 2 : Photo aérienne historique du 01/08/1962
(remonterletemps.ign)



Figure 3 : Photo aérienne historique du 01/05/1964
(remonterletemps.ign)



Figure 4 : Photo aérienne historique du 08/08/1965
(remonterletemps.ign)



Figure 5 : Photo aérienne historique du 01/07/1981
(remonterletemps.ign)



Figure 6 : Photo aérienne historique du 28/08/1985 (remonterletemps.ign)

D'après les photos ci-dessus, on observe que les toitures ont été rénovées au début des années 1980.

Selon notre visite sur site, la structure porteuse de la toiture est constituée d'un plancher béton de type poutrelles-hourdis céramiques, repris par des une structure poteau – poutre en béton armé.

5 ANALYSE DES PLANS EXISTANTS

5.1 BATIMENT 01

Nous avons pu récupérer les archives des plans EXE de plusieurs zones de la toiture-terrasse. Certains éléments sont présentés ci-dessous :

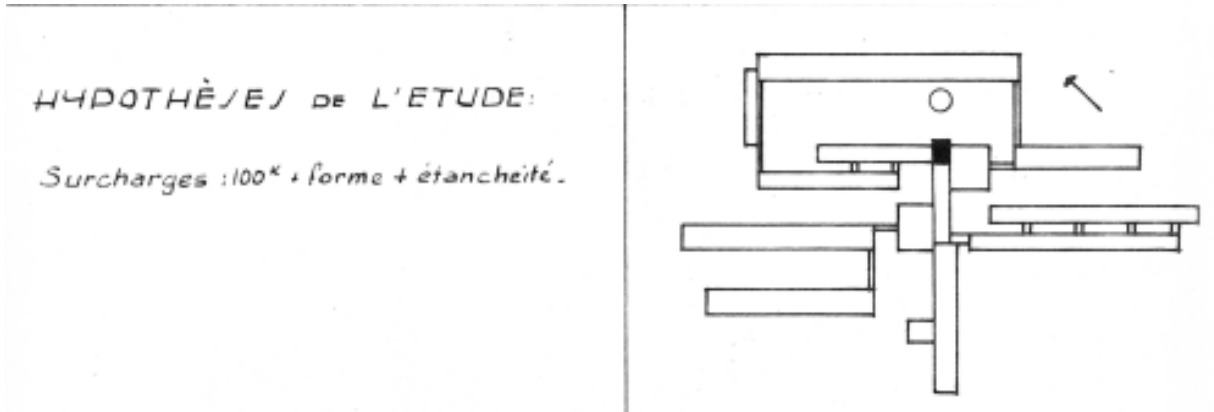


Figure 7 : Extrait cartouche BA132, vue en plan terrasse bloc 1

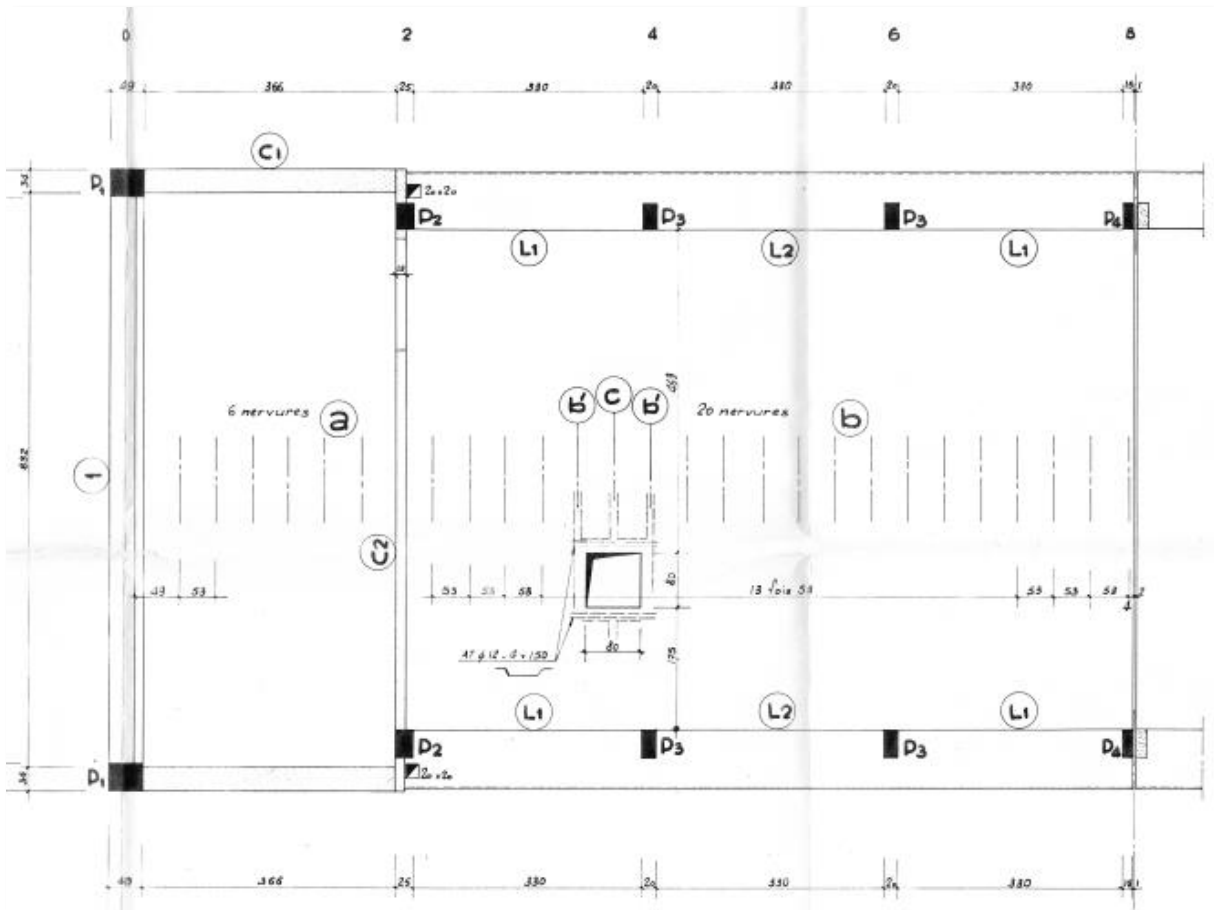


Figure 8 : Vue en plan terrasse bloc 1, extrait BA132

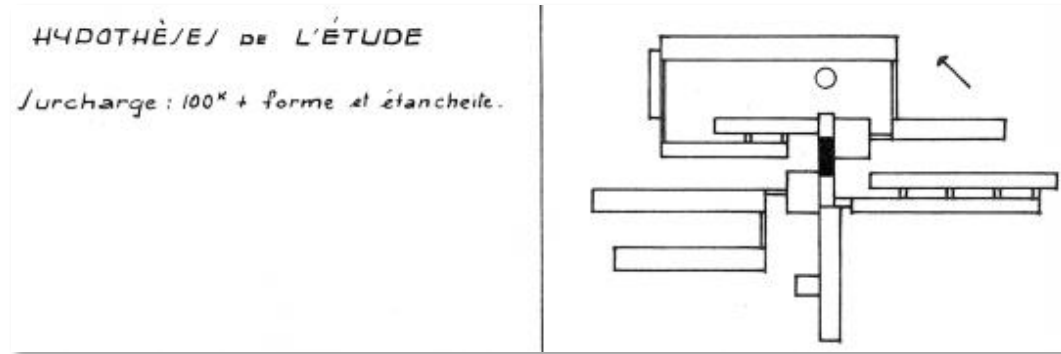


Figure 9 : Extrait cartouche BA133, vue en plan terrasse bloc 2

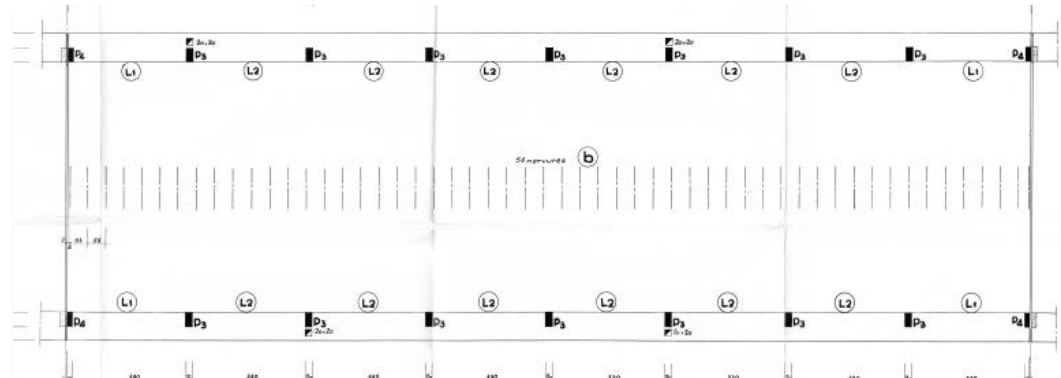


Figure 10 : Vue en plan terrasse bloc 2, extrait BA133

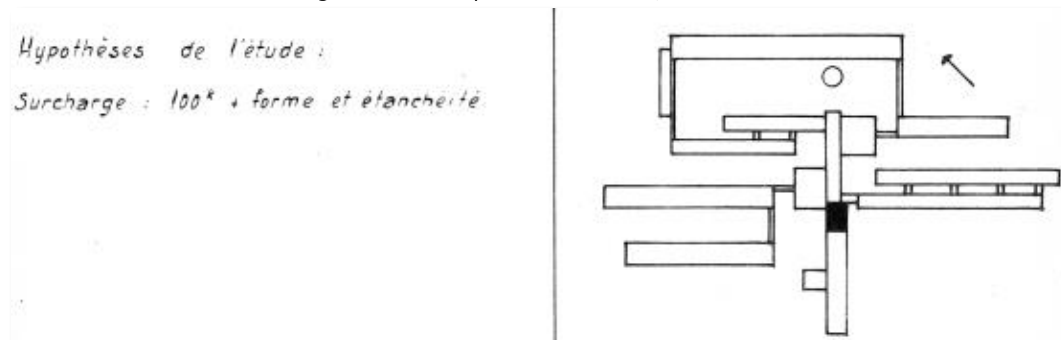


Figure 11 : Extrait cartouche BA137, vue en plan terrasse bloc 4

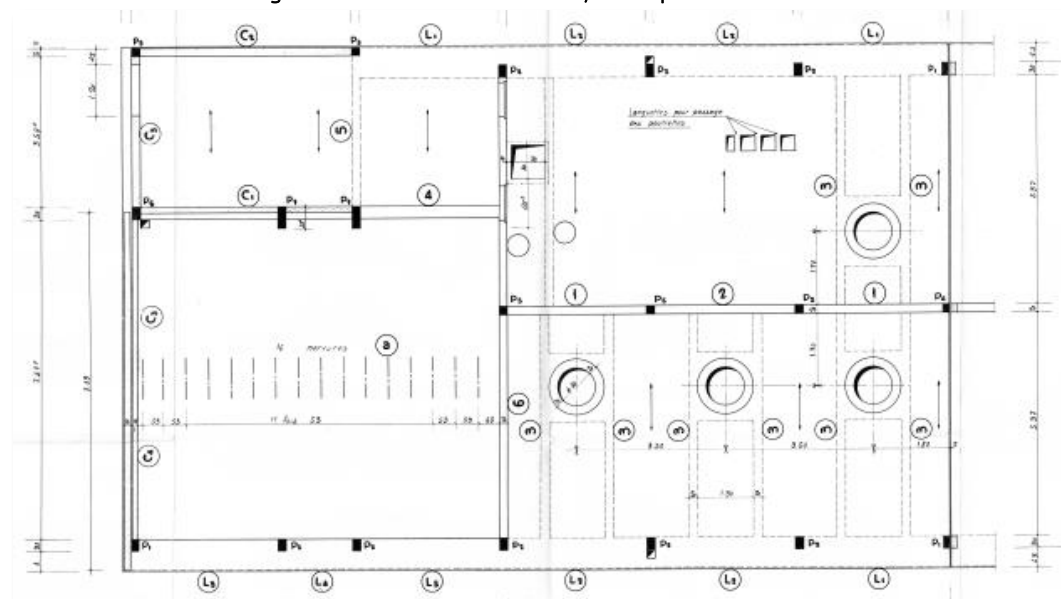


Figure 12 : Vue en plan terrasse bloc 4, extrait BA137

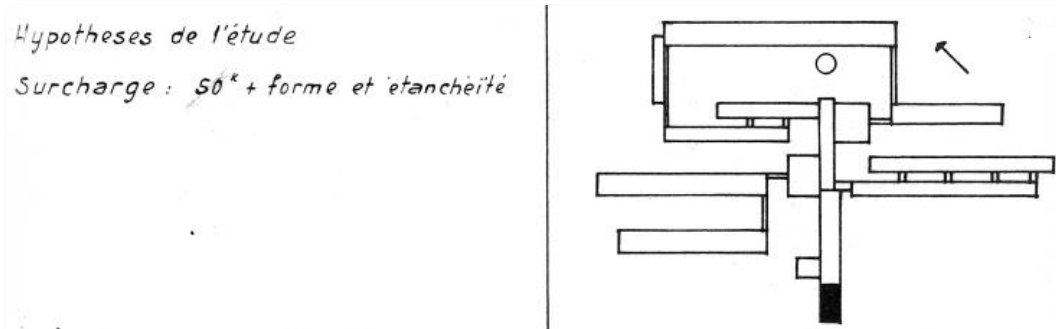


Figure 13 : Extrait cartouche BA147, vue en plan terrasse bloc 7

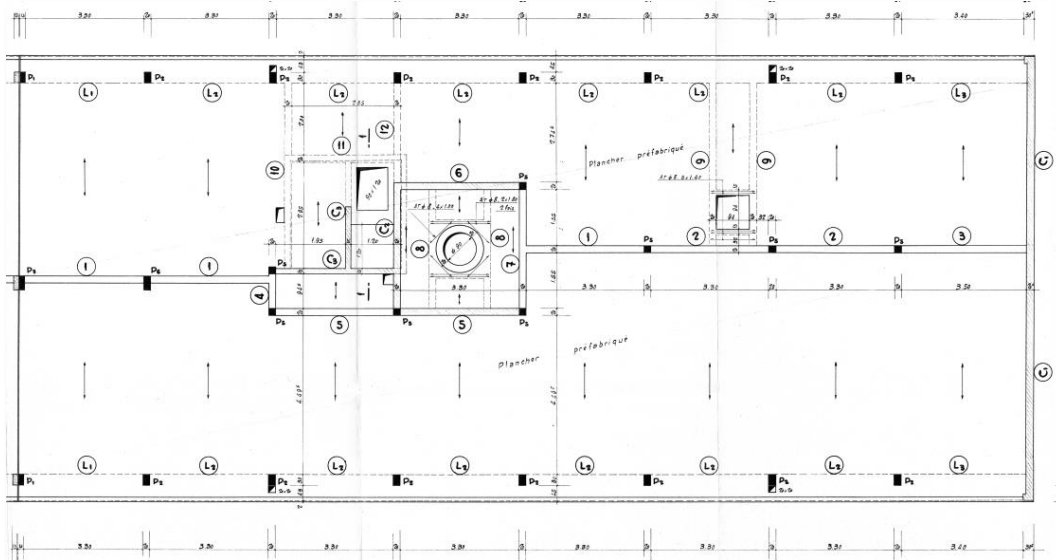


Figure 14 : Vue en plan terrasse bloc 7, extrait BA147

Sur les blocs 1, 2 et 4, on observe la présence d'un plancher béton armé nervuré. Les dimensions sont les suivantes :

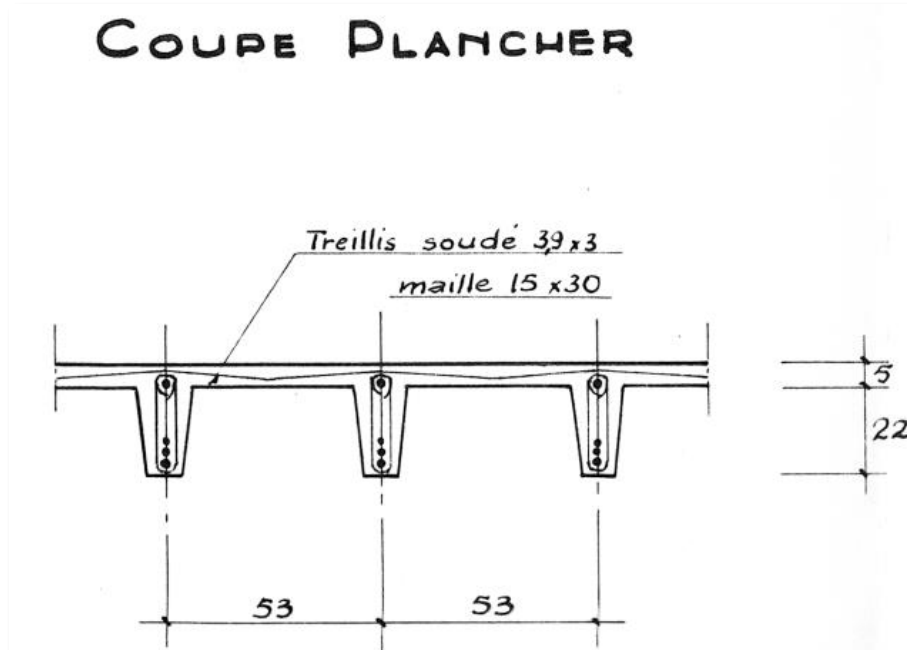


Figure 15 : Coupe de principe du plancher

Le ferrailage des nervures « b », les plus représentées, est le suivant :

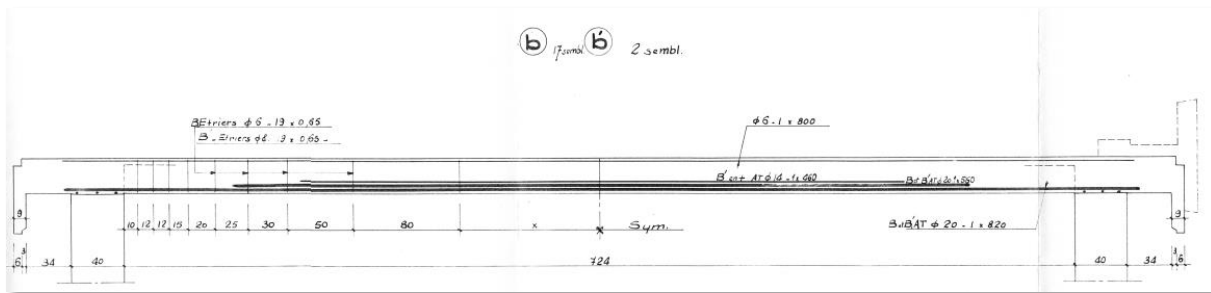


Figure 16 : Ferrailage des nervures b et b'

A la lecture de ces plans, les observations suivantes peuvent être formulées :

- Le mode constructif de la terrasse des blocs 1, 2 et 4 sont similaires : la structure est constituée d'un plancher béton armé nervuré, repris par un système poteau-poutres en façade
- Le mode constructif de la terrasse du bloc 7 est différent. Il est seulement indiqué « plancher préfabriqué »
- Sur les blocs 1, 2 et 4, il est intéressant de noter que dans les hypothèses d'étude, il est indiqué une surcharge de 100 kg/m² en plus du complexe d'étanchéité. En tenant compte d'une charge d'exploitation type entretien (80 kg/m² selon l'EC1), il existe une réserve de 20 kg/m² (charge maximum retenue pour une structure type panneaux photovoltaïques)
- Sur le bloc 7, il est indiqué une surcharge de 50 kg/m². Il existe donc une réserve pour la pose des panneaux photovoltaïques

5.2 BATIMENT 10

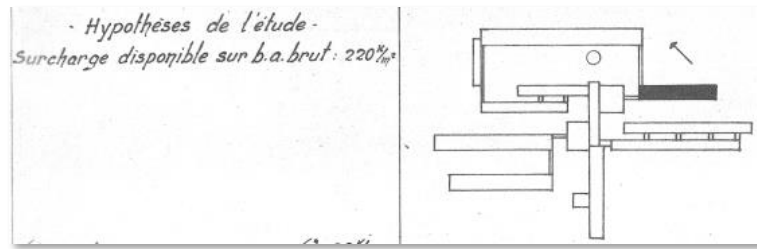


Figure 17 : Extrait cartouche BA59, vue en plan couverture blocs 1-2-3

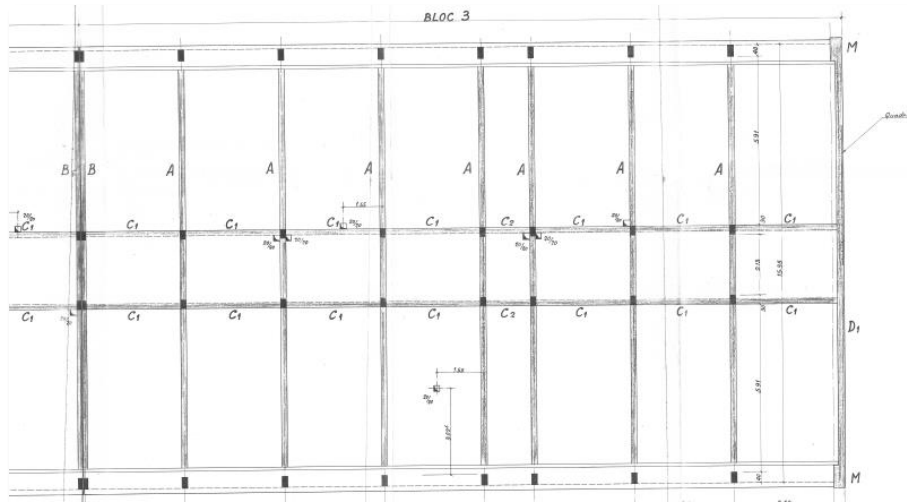


Figure 18 : Vue en plan couverture bloc 3, extrait BA59

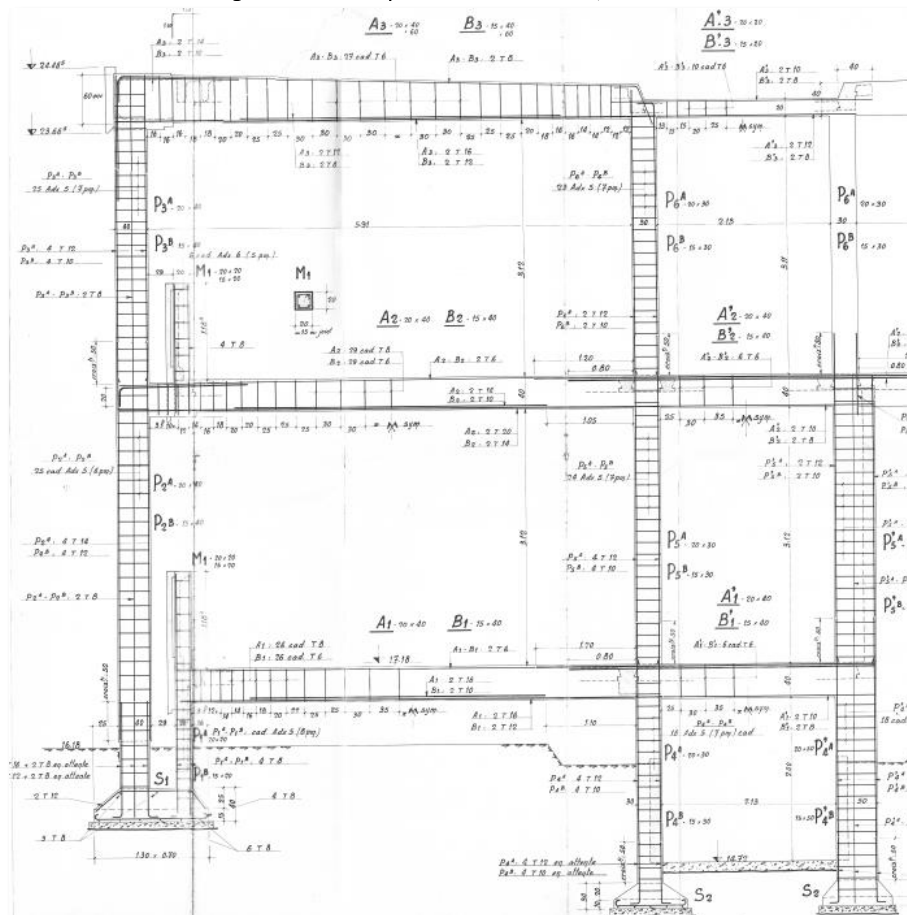


Figure 19 : Coupe transversale sur portique



A la lecture de ces plans, les observations suivantes peuvent être formulées :

- La structure est constituée de portiques en béton armé d'entraxe 3,50 m
- La dalle haute de la couverture est constituée d'un plancher poutrelles-hourdis en béton précontraint
- Sur le cartouche, il est intéressant de noter que dans les hypothèses d'étude, il est indiqué une surcharge disponible sur B.A. brut de 220 kg/m². En tenant compte d'une charge d'exploitation type entretien (80 kg/m² selon l'EC1), ainsi que des surcharges permanentes type complexe d'étanchéité + réseaux + faux-plafond, il existe une réserve d'environ 95 kg/m² (charge maximum retenue pour une structure type panneaux photovoltaïques)

6 ANALYSE DE LA RECONNAISSANCE DE STRUCTURES

Les sociétés SERBA & RINCENT LABORATOIRES se sont déplacées sur site le jeudi 02 novembre afin d'effectuer la reconnaissance de structure. Le rapport d'intervention est donné en annexe.

6.1 PREAMBULE

En préambule, l'entreprise S.E.C.C. Centre-Ouest a réalisé un diagnostic de l'étanchéité. Il en ressort les informations suivantes :

- Complexe d'étanchéité :
 - Etanchéité bitumineuse auto-protégée par granulats minéraux
 - Isolation en panneaux de perlite de 40 mm pour les surfaces courantes et 30 mm pour les noues
 - Pare-vapeur
 - Support béton avec forme de pente
- Plusieurs désordres notables (faîençage important de la membrane et détérioration de la protection sur les relevés d'étanchéité)
- Conclusion : réfection des toitures à court terme

Pour la suite des calculs, nous retiendrons un poids total pour le complexe existant de 15 kg/m².

6.2 BATIMENT 01

6.2.1 LOCALISATION DES SONDAGES

Le repérage des sondages est donné ci-dessous :



Figure 20 : Localisation de la zone sondée, bât. Est

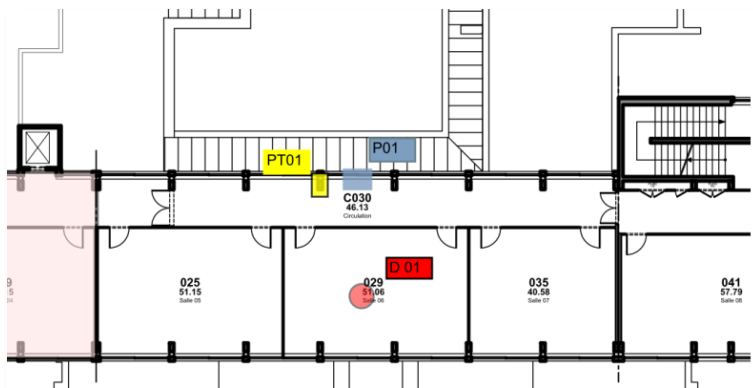


Figure 21 : Localisation de la zone sondée, vue en plan, bâtiment Est



Figure 22 : Localisation de la zone sondée, bât. Ouest

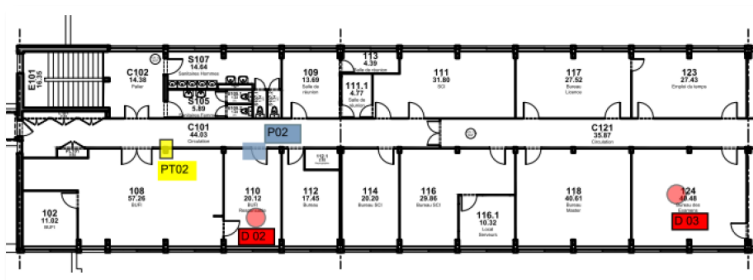


Figure 23 : Localisation de la zone sondée, vue en plan, bâtiment Ouest



Figure 24 : Localisation de la zone sondée, bât. Ouest

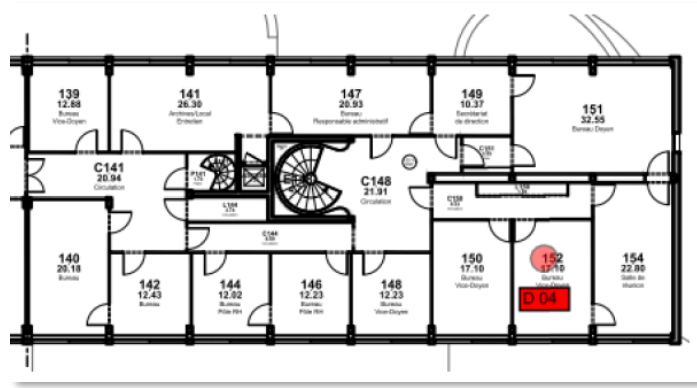


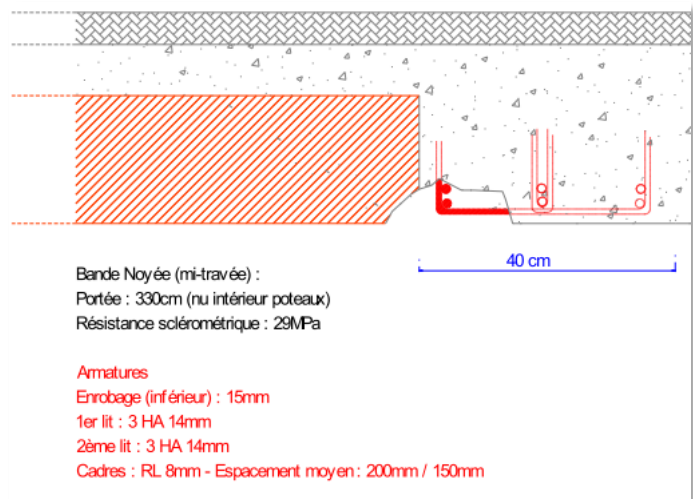
Figure 25 : Localisation de la zone sondée, vue en plan, bâtiment Ouest

6.2.2 BATIMENT EST

Les sondages ont mis en évidence les coupes suivantes. Les observations suivantes peuvent être formulées :

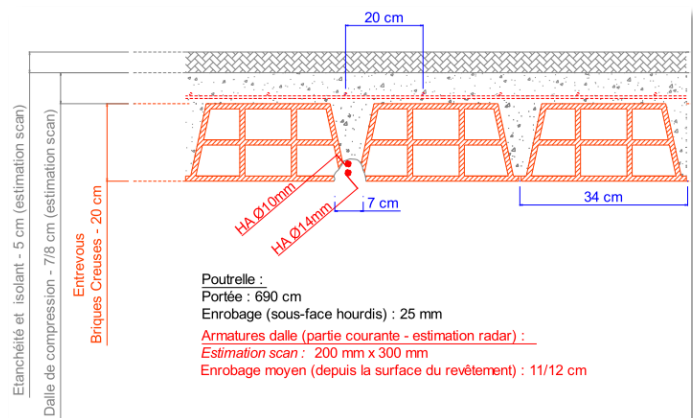
Poutre P01, coupe de principe

- Bande noyée de hauteur 27 cm
- Longueur : 3,30 m
- Enrobage inférieur : 15 mm
- Ferrailage
 - Aciers longitudinaux : 2 lits de 3HA 14
 - Aciers transversaux : cadres RL8, e = 15 à 20 cm



Plancher D01, coupe de principe

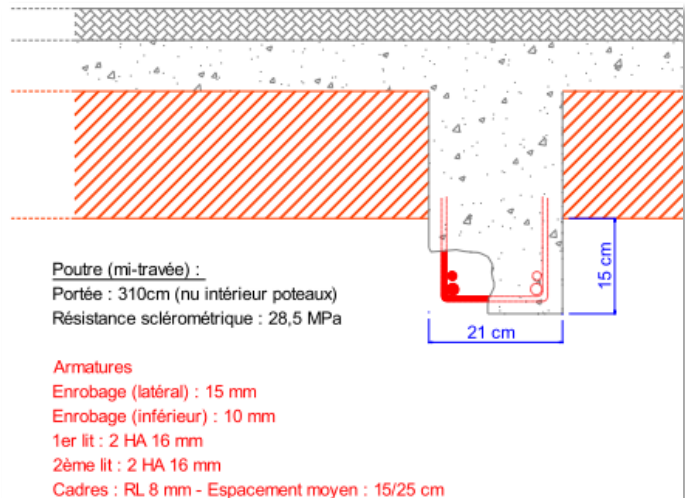
- Plancher en béton armé type poutrelles-hourdis céramique d'épaisseur 27 cm (hourdis ép. 20 cm, dalle de compression épaisseur 7 cm)
- Portée : 6,90 m
- Enrobage : 25 mm
- Poutrelles de sections variables (7 cm en partie basse), entraxe de 35 cm
- Ferrailage
 - Aciers longitudinaux : $A_{s,th} = 2,33 \text{ cm}^2/\text{ml}$
 - Lit n°1 : 1 HA14
 - Lit n°2 : 1 HA10



6.2.3 BATIMENT OUEST

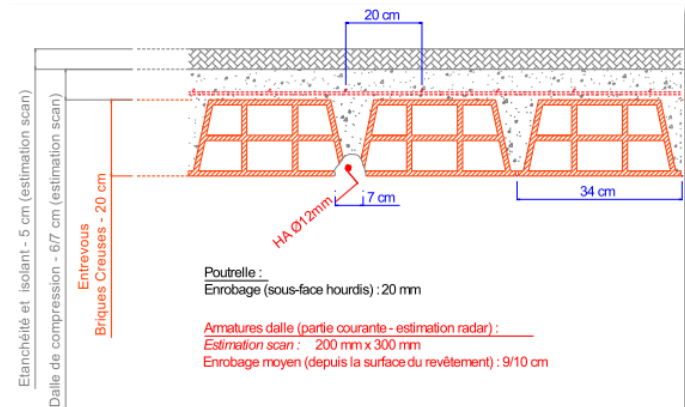
Poutre P02, coupe de principe

- Section : 20x42^{ht} cm
- Longueur : 3,10 m
- Enrobage inférieur : 10 mm
- Ferrailage
 - Aciers longitudinaux : 2 lits de 2HA 16
 - Aciers transversaux : cadres RL8, e = 15 à 25 cm



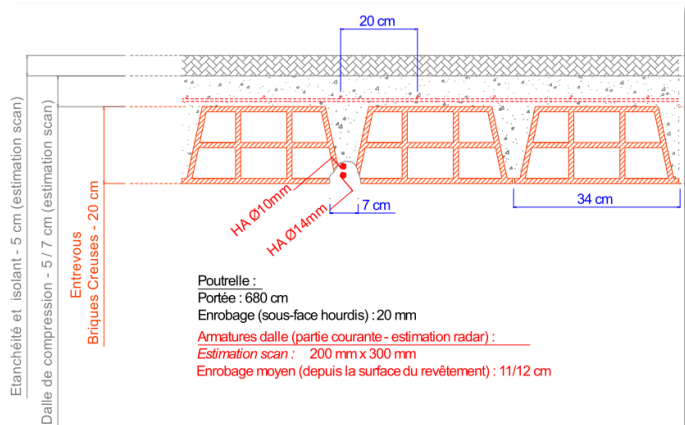
Planchers D02 & D03, coupe de principe

- Plancher en béton armé type poutrelles-hourdis céramique d'épaisseur 27 cm (hourdis ép. 20 cm, dalle de compression épaisseur 7 cm)
- Portée : 5,37 m
- Enrobage : 20 mm
- Poutrelles de sections variables (7 cm en partie basse), entraxe de 35 cm
- Ferrailage
 - Aciers longitudinaux : 1 HA12, $A_{s,th} = 1,13 \text{ cm}^2/\text{m}$



Plancher D04, coupe de principe

- Plancher en béton armé type poutrelles-hourdis céramique d'épaisseur 27 cm (hourdis ép. 20 cm, dalle de compression épaisseur 7 cm)
- Portée : 6,80 m
- Enrobage : 20 mm
- Poutrelles de sections variables (7 cm en partie basse), entraxe de 35 cm
- Ferrailage
 - Aciers longitudinaux : $A_{s,th} = 2,33 \text{ cm}^2/\text{ml}$
 - Lit n°1 : 1 HA14
 - Lit n°2 : 1 HA10



6.3 BATIMENT 10

6.3.1 LOCALISATION DES SONDAGES

Le repérage des sondages est donné ci-dessous :

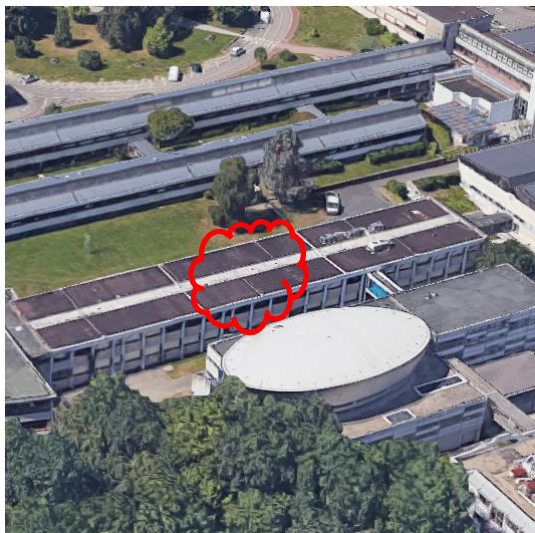


Figure 26 : Localisation de la zone sondée, bâtiment 10

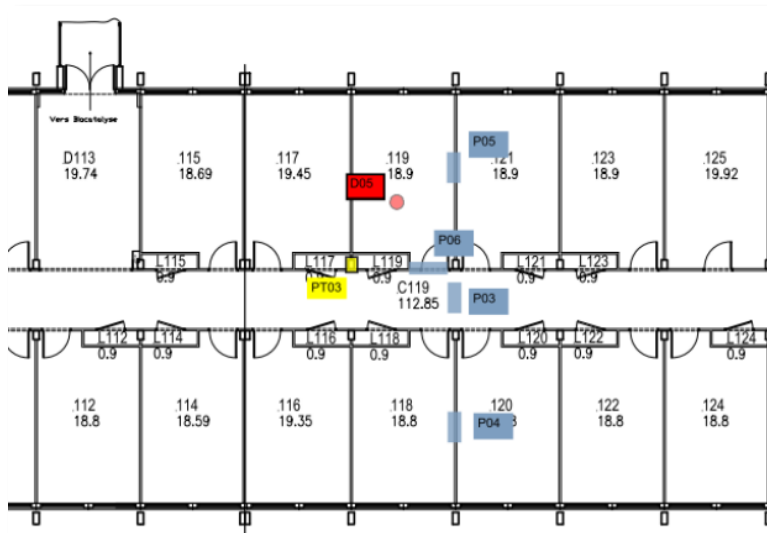
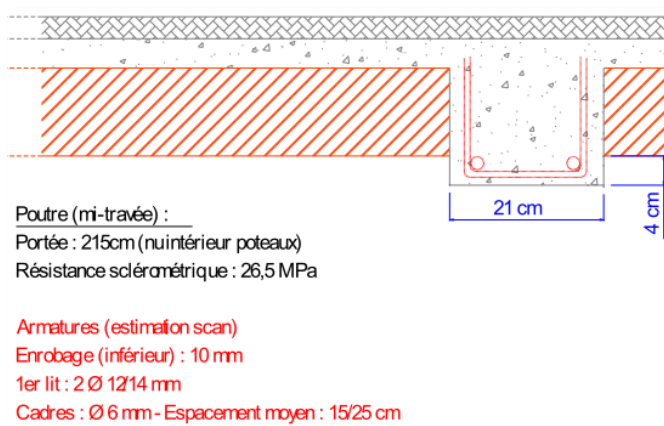


Figure 27 : Localisation de la zone sondée, vue en plan, bâtiment 10

6.3.2 RESULTATS

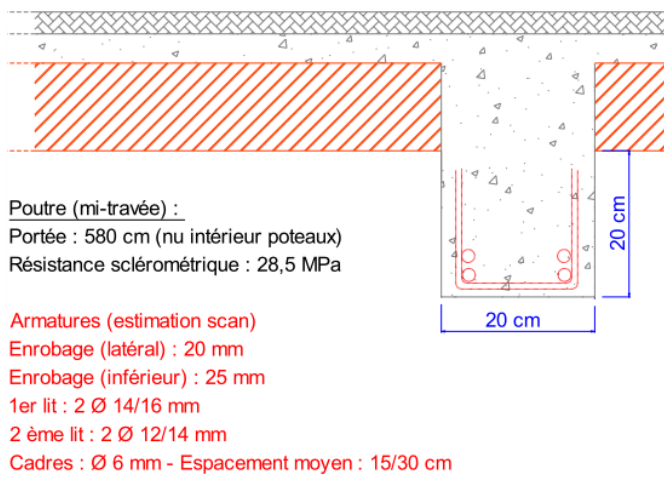
Poutre P03, coupe de principe

- Section : 20x20^{ht} cm
- Longueur : 2,15 m
- Enrobage inférieur : 10 mm
- Ferrailage (*estimation ferroskan*)
 - Aciers longitudinaux : 2 ϕ 12/14 mm
 - Aciers transversaux : cad. Φ 6mm, e = 15 à 25 cm



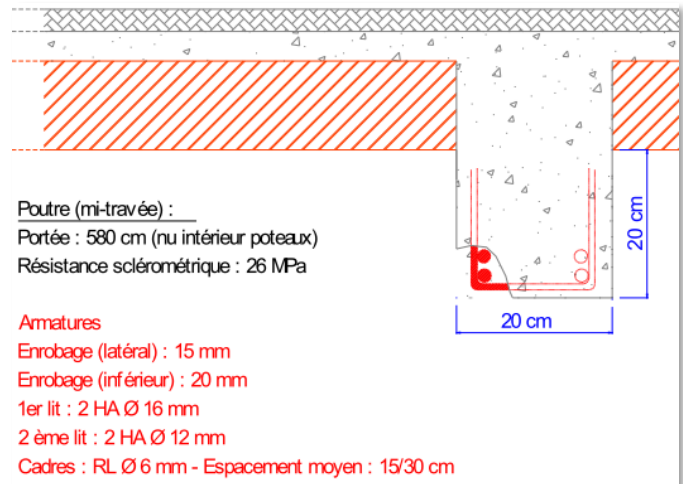
Poutre P04, coupe de principe

- Section : 20x36^{ht} cm
- Longueur : 5,80 m
- Enrobage inférieur : 25 mm
- Ferrailage (*estimation ferroskan*)
 - Aciers longitudinaux
 - Lit n°1 : 2 ϕ 14/16 mm
 - Lit n°2 : 2 ϕ 12/14 mm
 - Aciers transversaux : cad. Φ 6mm, e = 15 à 30 cm



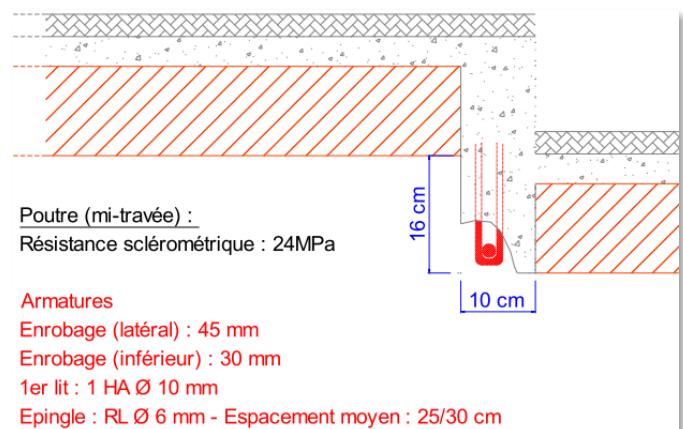
Poutre P05, coupe de principe

- Section : 20x36^{ht} cm
- Longueur : 5,80 m
- Enrobage inférieur : 20 mm
- Ferrailage (estimation ferroskan)
 - Aciers longitudinaux
 - Lit n°1 : 2 HA16
 - Lit n°2 : 2 HA12
 - Aciers transversaux : cad. Φ 6mm, e = 15 à 30 cm



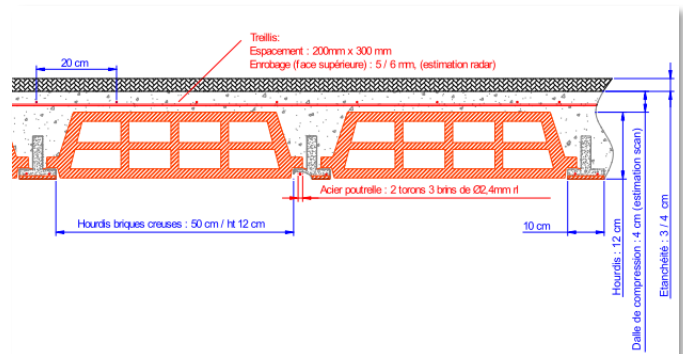
Poutre P06, coupe de principe

- Section : 10x32^{ht} cm
- Longueur : 3,50 m
- Enrobage inférieur : 25 mm
- Ferrailage
 - Aciers longitudinaux : 1 HA 10 mm
 - Aciers transversaux : cad. RL 6mm, e = 25 à 30 cm



Plancher D05, coupe de principe

- Plancher en béton armé type poutrelles-hourdis
céramique d'épaisseur 16 cm (hourdis ép. 12 cm,
dalle de compression épaisseur 4 cm)
- Portée : 3,50 m
- Sections poutrelles : 10 x 12^{ht} cm
- Entraxe des poutrelles : 60 cm
- Ferrailage
 - Aciers longitudinaux
 - 2 torons 3 brins de ϕ 2,4 mm



7 VERIFICATION DE LA COUVERTURE SOUS CHARGES COMPLEMENTAIRES

7.1 HYPOTHESES DE CALCUL

7.1.1 MATERIAUX

En l'absence de sondages ayant pour objectif de reconnaître la nature des matériaux utilisés, mais en s'appuyant sur les informations présentes sur les plans, nous retenons les caractéristiques usuelles suivantes :

- **Béton**
 - Béton coulé in situ : Classe de résistance C25/30
 - Béton préfabriqué, prédalles : Classe de résistance C25/30
- **Aciers passifs**
 - Nuance Fe 400 (*vraisemblable au vu de la date de construction et les procédés constructifs retenus*)
 - $\gamma_s = 1,15$

7.1.2 GEOMETRIE

La géométrie est conforme aux éléments présentés dans les paragraphes §5 et §6.

7.1.3 CHARGEMENT

Suivant les éléments en notre possession, nous retenons les éléments suivants :

Charges permanentes

Conformément aux sondages réalisés en toiture, nous retenons en plus du poids propre des éléments une charge de complexe existant de 15 kg/m² et une charge de 30 kg/m² pour le faux-plafond / réseaux.

Le projet en cours prévoit une réfection des toitures terrasses avec mise en œuvre de panneaux photovoltaïques ou végétalisation légère

Pour les calculs, nous retenons les charges suivantes :

- Panneaux photovoltaïques + nouveau complexe étanchéité : 25 kg/m² + 30 kg/m² (faux-plafond / réseaux)
- Végétalisation extensive légère : 135 kg/m² + 30 kg/m² (faux-plafond / réseaux)

Charges d'exploitation

La toiture est considérée inaccessible sauf pour entretien / réparation. La pente est de 0%.

Conformément à l'EC1 et son annexe nationale, nous retiendrons une charge d'exploitation $Q = 0,8 \text{ kN/m}^2$ (*catégorie d'exploitation H*).

La charge couvre une aire rectangulaire de 10 m², dont la forme et la localisation sont à choisir de façon la plus défavorable pour la vérification à effectuer. Afin de se placer dans le cas de charge le plus défavorable, nous tiendrons compte de cette charge sur l'ensemble de la toiture. Cette charge tient compte du matériel spécifique d'exploitation, ainsi que des effets dynamiques.

Ce cas de charge est plus défavorable que l'action de la neige ou du vent. Ces cas de charges ne sont pas concomitants.

7.1.4 COMBINAISONS

Combinaisons utilisées :

- ELU fondamental : 1,35G + 1,5Q

7.2 BATIMENT 1 – PARTIE EST

7.2.1 HYPOTHESES

Pour rappel, la reconnaissance de structure a mis en évidence les points suivants (*plancher D01*) :

- Section des poutrelles : 7 x 27^{ht} cm
- Entraxe : 35 cm
- Enrobage : c = 25 mm
- Portée : L = 6,90 m
- Ferrailage
 - Aciers longitudinaux : $A_{s,th} = 2,33 \text{ cm}^2/\text{ml}$
 - Lit n°1 : 1 HA 14
 - Lit n°2 : 1 HA 10

7.2.2 CALCUL DU MOMENT RESISTANT

$$M_{Rd} = z * A_{s,th} * \frac{f_{yk}}{1,15}$$

Avec :

- $z = 0,9d$
 - $d = h - c = 27 - 2,5 = 24,5 \text{ cm}$
- $A_{s,th} = 2,33 \text{ cm}^2/\text{ml}$
- $f_{yk} = 400 \text{ MPa}$

$$M_{Rd} = 0,22 * 2,33 * 10^{-4} * \frac{400 * 10^3}{1,15} = 17,83 \text{ kN.m/ml}$$

7.2.3 CALCUL DU MOMENT AGISSANT

7.2.3.1 PANNEAUX PHOTOVOLTAÏQUES

$$M_{Ed} = \frac{P_u * L^2}{8}$$

Avec :

- $P_u = 1,35G + 1,5Q$
 - $G = (2,5 + 0,55) * 0,35 + 0,08 * 0,2 * 25 = 1,4675 \text{ kN/ml}$
 - $Q = 0,8 * 0,35 = 0,28 \text{ kN/ml}$
- $L = 6,90 \text{ m}$

$$M_{Ed} = \frac{(1,35 * 1,3625 + 1,5 * 0,28) * 6,9^2}{8} = 14,28 \text{ kN.m/ml}$$

Calcul du taux de travail :

$$\sigma = \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = \frac{14,28}{17,83} = 80 \%$$

7.2.3.2 TOITURE VEGETALISEE (EXTENSIVE LEGERE)

$$M_{Ed} = \frac{P_u * L^2}{8}$$

Avec :

- $P_u = 1,35G + 1,5Q$
 - $G = (2,5 + 1,65) * 0,35 + 0,08 * 0,2 * 25 = 1,853 \text{ kN/ml}$
 - $Q = 0,8 * 0,35 = 0,28 \text{ kN/ml}$
- $L = 6,90 \text{ m}$

$$M_{Ed} = \frac{(1,35 * 1,746 + 1,5 * 0,28) * 6,9^2}{8} = 17,38 \text{ kN.m/ml}$$

Calcul du taux de travail :

$$\sigma = \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = \frac{17,38}{17,83} = 97,5 \%$$

7.3 BATIMENT 1 – PARTIE OUEST

7.3.1 HYPOTHESES

Pour rappel, la reconnaissance de structure a mis en évidence les points suivants :

Plancher D02 & D03

- Plancher en béton armé type poutrelles-hourdis
céramique d'épaisseur 27 cm (hourdis ép. 20 cm, dalle de compression épaisseur 7 cm)
- Portée : 5,37 m
- Enrobage : 20 mm
- Poutrelles de sections variables (7 cm en partie basse),
entraxe de 35 cm
- Ferrailage
 - Aciers longitudinaux : 1 HA12, $A_{s,th} = 1,13 \text{ cm}^2/\text{ml}$

Plancher D04

- Plancher en béton armé type poutrelles-hourdis
céramique d'épaisseur 27 cm (hourdis ép. 20 cm, dalle de compression épaisseur 7 cm)
- Portée : 6,25 m
- Enrobage : 20 mm
- Poutrelles de sections variables (7 cm en partie basse),
entraxe de 35 cm
- Ferrailage
 - Aciers longitudinaux : $A_{s,th} = 2,33 \text{ cm}^2/\text{ml}$
 - Lit n°1 : 1 HA14
 - Lit n°2 : 1 HA10

7.3.2 CALCUL DU MOMENT RESISTANT

Plancher D02 & D03

$$M_{Rd} = z * A_{s,th} * \frac{f_{yk}}{1,15}$$

Avec :

- $z = 0,9d$
 - $d = h - c = 27 - 2 = 25 \text{ cm}$
- $A_{s,th} = 1,13 \text{ cm}^2/\text{ml}$
- $f_{yk} = 400 \text{ MPa}$

$$M_{Rd} = 0,225 * 1,13 * 10^{-4} * \frac{400 * 10^3}{1,15} = 8,84 \text{ kN.m/ml}$$

Plancher D04

$$M_{Rd} = z * A_{s,th} * \frac{f_{yk}}{1,15}$$

Avec :

- $z = 0,9d$
 - $d = h - c = 27 - 2,5 = 24,5 \text{ cm}$
- $A_{s,th} = 2,33 \text{ cm}^2/\text{ml}$
- $f_{yk} = 400 \text{ MPa}$

$$M_{Rd} = 0,22 * 2,33 * 10^{-4} * \frac{400 * 10^3}{1,15} = 17,83 \text{ kN.m/ml}$$

7.3.3 CALCUL DU MOMENT AGISSANT

7.3.3.1 PANNEAUX PHOTOVOLTAÏQUES

Plancher D02 & D03

$$M_{Ed} = \frac{P_u * L^2}{8}$$

Avec :

- $P_u = 1,35G + 1,5Q$
 - $G = (2,5 + 0,55) * 0,35 + 0,08 * 0,2 * 25 = 1,4675 \text{ kN/ml}$
 - $Q = 0,8 * 0,35 = 0,28 \text{ kN/ml}$
- $L = 5,37 \text{ m}$

$$M_{Ed} = \frac{(1,35 * 1,4675 + 1,5 * 0,28) * 5,37^2}{8} = 8,65 \text{ kN.m/ml}$$

Calcul du taux de travail :

$$\sigma = \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = \frac{8,65}{8,84} = 97,9 \%$$

Plancher D04

$$M_{Ed} = \frac{P_u * L^2}{8}$$

Avec :

- $P_u = 1,35G + 1,5Q$
 - $G = (2,5 + 0,55) * 0,35 + 0,08 * 0,2 * 25 = 1,4675 \text{ kN/ml}$
 - $Q = 0,8 * 0,35 = 0,28 \text{ kN/ml}$
- $L = 6,25 \text{ m}$

$$M_{Ed} = \frac{(1,35 * 1,4675 + 1,5 * 0,28) * 6,25^2}{8} = 11,72 \text{ kN.m/ml}$$

Calcul du taux de travail :

$$\sigma = \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = \frac{11,72}{17,83} = 65,7 \%$$

7.3.3.2 TOITURE VEGETALISEE (EXTENSIVE LEGERE)

Plancher D02 & D03

$$M_{Ed} = \frac{P_u * L^2}{8}$$

Avec :

- $P_u = 1,35G + 1,5Q$
 - $G = (2,5 + 1,65) * 0,35 + 0,08 * 0,2 * 25 = 1,853 \text{ kN/ml}$
 - $Q = 0,8 * 0,35 = 0,28 \text{ kN/ml}$
- $L = 5,37 \text{ m}$

$$M_{Ed} = \frac{(1,35 * 1,85 + 1,5 * 0,28) * 5,37^2}{8} = 10,51 \text{ kN.m/ml}$$

Calcul du taux de travail :

$$\sigma = \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = \frac{10,51}{8,84} = 118,9 \%$$

Plancher D04

$$M_{Ed} = \frac{P_u * L^2}{8}$$

Avec :

- $P_u = 1,35G + 1,5Q$
 - $G = (2,5 + 1,65) * 0,35 + 0,08 * 0,2 * 25 = 1,853 \text{ kN/ml}$
 - $Q = 0,8 * 0,35 = 0,28 \text{ kN/ml}$
- $L = 6,25 \text{ m}$

$$M_{Ed} = \frac{(1,35 * 1,85 + 1,5 * 0,28) * 6,25^2}{8} = 14,24 \text{ kN.m/ml}$$

Calcul du taux de travail :

$$\sigma = \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = \frac{14,24}{17,83} = 79,9 \%$$

7.4 BATIMENT 10

7.4.1 PREAMBULE

Les sondages réalisés dans les planchers ont mis en évidence la présence de béton précontraint par prétension sur le bâtiment 10 (présence de 2 torons 3 brins de $\phi 2,4$ mm dans les poutrelles, caractéristiques de poutrelles précontraintes). La vérification par le calcul de ces éléments fait intervenir de nombreux paramètres qui ne peuvent être déduits d'une reconnaissance de structure (caractéristiques de l'étuvage en usine, effort appliqué à la détension des câbles, position de l'étalement, ...).

Par conséquent, le présent paragraphe cherche à établir une cohérence sur l'ensemble des données en notre possession afin de conclure sur l'aptitude de la couverture à recevoir de nouvelles charges liées à la pose de panneaux photovoltaïques ou la mise en œuvre d'une végétalisation extensive légère. Il ne pourra conclure sur la capacité portante réelle de l'ouvrage. Nous nous proposons de mener une analyse comparative des charges afin de conclure sur l'aptitude des planchers à recevoir une surcharge supplémentaire liée à la pose de panneaux photovoltaïques.

7.4.2 HYPOTHESES

Pour rappel, la reconnaissance de structure a mis en évidence les points suivants :

- Plancher en béton armé type poutrelles-hourdis céramique d'épaisseur 16 cm (hourdis ép. 12 cm, dalle de compression épaisseur 4 cm)
- Portée : 3,50 m
- Sections poutrelles : 10 x 12^{ht} cm
- Entraxe des poutrelles : 60 cm
- Ferrailage
 - Aciers longitudinaux
 - 2 torons 3 brins de $\phi 2,4$ mm

7.4.3 ANALYSE DES CHARGES EXISTANTES

Les toitures sont considérées inaccessibles. Le complexe en toiture est composée d'une membrane bitumineuse sur un isolant, d'épaisseur total 5 cm.

Les charges retenues sur le plancher sont les suivantes :

- Charges permanentes
 - Poids propre de la structure : $CP1 = 180 \text{ kg/m}^2$
 - Complexe d'étanchéité + faux-plafond + réseaux : $CP2 = 45 \text{ kg/m}^2$
- Charges d'exploitation
 - Toitures inaccessibles sauf entretien et réparations courantes : $SE = 80 \text{ kg/m}^2$

Soit un chargement à l'état limite de service de :

$$q_{ELS,1} = CP1 + CP2 + SE$$
$$q_{ELS,1} = 180 + 45 + 80 = 305 \text{ daN/m}^2$$

Et un chargement à l'état limite ultime de :

$$q_{ELU,1} = 1,35 * (CP1 + CP2) + 1,5 * SE$$
$$q_{ELU,1} = 1,35 * (180 + 45) + 1,5 * 80 = 424 \text{ daN/m}^2$$

7.4.4 ANALYSE DES FUTURES CHARGES

La charge maximale liée aux panneaux (comprenant le poids des modules, des câbles et accessoires et des ballast) est de 20 daN/m².

NOTE Les charges horizontales sont négligées (influence négligeable au vu de la charge très faible. Les panneaux étant posés à plat, la prise au vent est très faible).

En considérant une pose directe des PV sur une étanchéité équivalente après réfection, les charges sont les suivantes :

- Charges permanentes
 - Poids propre de la structure : $CP1 = 180 \text{ kg/m}^2$
 - Complexe d'étanchéité + faux-plafond + réseaux : $CP2 = 65 \text{ kg/m}^2$
- Charges d'exploitation
 - Toitures inaccessibles sauf pour entretien et réparations courantes : $SE = 80 \text{ daN/m}^2$

Soit un chargement à l'état limite de service de :

$$q_{ELS,2} = CP1 + CP2 + SE$$
$$q_{ELS,2} = 180 + 65 + 80 = 325 \text{ daN/m}^2$$

Et un chargement à l'état limite ultime de :

$$q_{ELU,2} = 1,35 * (CP1 + CP2) + 1,5 * SE$$
$$q_{ELU,2} = 1,35 * (180 + 65) + 1,5 * 80 = 451 \text{ daN/m}^2$$

7.4.5 ANALYSE COMPARATIVE DES CHARGES

Les augmentations de charge sont les suivantes :

- Cas de charge ELS

$$\frac{q_{ELS,2}}{q_{ELS,1}} = \frac{325}{302} = 6,6\%$$

L'augmentation des charges à l'ELS est de 6,6%.

- Cas de charge ELU

$$\frac{q_{ELU,2}}{q_{ELU,1}} = \frac{451}{424} = 6,4\%$$

L'augmentation des charges à l'ELU est de 6,4%.

L'augmentation des charges se limite à 6,6% maximum.

7.5 CONCLUSION

Suivant les calculs précédents, les observations suivantes peuvent être formulées :

- Bâtiment 1
 - Les calculs menés suivant la reconnaissance de structure mettent en avant la possibilité d'ajouter une surcharge sur les toitures en place
 - Conformément aux calculs ci-dessus, la mise en place de panneaux photovoltaïques (*complexe étanchéité + PV estimé à 35 kg/m²*) est réalisable sur l'ensemble de la structure. Les taux de travail après travaux sont compris entre 80 et 97,9 %
 - Pour un projet de toiture végétalisée, on observe que la capacité de reprise est juste au niveau des sondages D02 & D03 (taux de travail de 118,9 %) pour un complexe estimé à 135 kg/m²
 - D'après les taux de travail observés sur les planchers, les poteaux / poutres sont trivialement vérifiés, non dimensionnement par rapport aux dalles sous le cas de charge étudié (l'ajout d'une charge type PV représente une augmentation inférieure à 5% des charges permanentes)
- Bâtiment 10
 - L'analyse comparative menée ci-avant permet d'observer que l'augmentation de charges reste faible au vu de la faible charge complémentaire ramenée par les PV
 - A noter que l'analyse des plans existants a montré que la surcharge de calcul était prise à 220 kg/m², la réserve est suffisante pour intégrer des panneaux PV

8 SYNTHÈSE

Pour rappel, l'objectif de la présente mission était d'étudier la faisabilité structurelle de mettre en œuvre des panneaux photovoltaïques ou une végétalisation de type légère sur les toitures terrasses des bâtiments 1 et 10 du campus Lombarderie, situé 2 Chemin de la Houssinière, à Nantes (44).

L'analyse des plans de l'existant (*phase EXE*) ainsi que des investigations in situ ont mis en avant les points suivants :

- Sur le bâtiment 1, **les caractéristiques des planchers sont différentes entre les plans et les relevés sur site** (*entraxe des poutrelles de 55 cm sur les plans, 35 cm mesuré sur place*) ; le plancher étant préfabriqué, il est possible qu'une optimisation ait eu lieu en cours de chantier en fonction du stock disponible chez le pré-fabricant
- Sur le bâtiment 10, les sondages ont mis en évidence une structure identique aux plans EXE. **Les éléments sondés sur site sont semblables aux éléments de ferrailage présents sur les plans.**

Conformément au paragraphe §7, il en ressort l'analyse suivante :

- Bâtiment 1
 - L'augmentation des charges via un système de panneaux photovoltaïques (*poids estimé à 35 kg/m², étanchéité + PV*) est jugée admissible par la structure. Les taux de travail du plancher restent inférieurs à 100%
 - L'augmentation des charges via un complexe de végétalisation extensive légère (*poids moyen estimé à 135 kg/m²*) peut remettre en cause la stabilité du plancher sur une partie de la structure (*planchers D02 & D03*). Le taux de travail calculé est de 119%
 - Dans le cas d'un projet mixte végétalisation + PV (*végétalisation sur une partie de la toiture, par exemple en partie centrale du bâtiment et PV sur les rives*), celles-ci seront à étudier au cas par cas. Etant donné la présence d'un appui type poteau-poutre en partie centrale du bâtiment, **il est envisageable d'y prévoir une surcharge plus importante.**
- Bâtiment 10
 - Les sondages ont mis en évidence un plancher préfabriqué avec poutrelles précontraintes. La vérification par le calcul de ces éléments fait intervenir de nombreux paramètres qui ne peuvent être déduits d'une reconnaissance de structure (caractéristiques de l'étuvage en usine, effort appliqué à la détension des câbles, position de l'étalement, ...). Ces éléments ne sont pas disponibles sur les plans dont nous disposons.
 - En se basant sur les hypothèses de l'étude, notées sur le cartouche du plan BA 59, la surcharge de calcul sur la dalle est de 220 kg/m². Par conséquent, en considérant les charges ci-dessous, il apparaît une réserve de 105 kg/m² quant à une éventuelle surcharge complémentaire à mettre en œuvre.
 - Complexe étanchéité existante : 15 kg/m²
 - Faux-plafond + réseaux : 30 kg/m²
 - Charge d'exploitation type entretien : 80 kg/m²
 - Suivant ces informations, **la dalle présente une réserve suffisante pour reprendre une charge de type panneaux photovoltaïques (*poids estimé à 35 kg/m², étanchéité + PV*) ou une charge de type végétalisation mais très légère (*charge maximum de 95 kg/m² CME*)**

NOTE En complément des éléments donnés ci-dessus, le client a évoqué le projet d'une surélévation légère sur le bâtiment 10. La présente note a pour objectif de donner au client quelques informations concernant ce projet.

Dans un tel projet, deux points importants sont à étudier :

- Capacité de reprise gravitaire des structures en place
- Non aggravation de la vulnérabilité du bâtiment vis-à-vis des efforts sismiques

Les ouvrages en béton armé sont des ouvrages pouvant bénéficier de réserves concernant des augmentations de charge (coffrage béton lié à des sujétions d'exécution surabondant par rapport volume de béton strictement nécessaire, ferrailage mis en œuvre supérieur au ferrailage strictement requis, ...). Comme expliqué précédemment, le re-calcul du plancher en couverture n'est pas réalisable vis-à-vis des inconnues concernant la précontrainte. Pour un tel projet, il conviendrait d'étudier une structure s'appuyant directement sur les poteaux en façade et en intermédiaire afin de limiter les sollicitations sur la structure du plancher existant. Les poteaux sont des ouvrages bénéficiant généralement de grandes réserves de calcul vis-à-vis de coffrages surabondants mis en œuvre. Le plancher actuel ne peut être surchargé d'une charge permanente complémentaire type chape + revêtement et d'une d'exploitation type scolaire (laboratoires, bureaux, salles de classe, ...). Le projet consisterait à créer alors deux planchers bois (un plancher bas et un plancher en couverture), reposant les charges directement sur les poteaux.

Concernant la justification sismique, la ville de Nantes est située en zone 3. L'arrêté du 22 octobre 2010 modifié s'applique à l'ensemble des bâtiments lors d'une construction neuve et / ou d'une réhabilitation. Il n'y a pas d'exigence de mise à niveau sismique d'un bâtiment existant. Toutefois, lorsque des travaux sont envisagés, la vulnérabilité au séisme de ce bâtiment ne doit pas être aggravée. Des seuils de travaux en fonction de la zone de sismicité et de la catégorie d'importance ont été définies (augmentation ou suppression d'une surface de plancher défini). L'article 3, §II.1 « En cas de travaux ayant pour objet d'augmenter la SHON initiale de plus de 30% [...], il sera fait application de la norme NF EN 1998-1 de septembre 2005 avec la valeur d'accélération $a_{gr} = 0,66 \text{ m/s}^2$ ». Dans le cadre du projet, il conviendrait de limiter l'augmentation de surface de SHON à 30% pour rester dans les clauses du Cahier Technique n°35, évaluant l'aggravation sismique d'un bâtiment en fonction des travaux effectués.

En complément, l'augmentation des charges doit se limiter à 10% de la masse du dernier niveau afin de considérer que les travaux ne soient pas aggravants. L'augmentation de charge est également à limiter à 10% pour ne pas surcharger les fondations. En respectant ces éléments, il ne serait alors pas nécessaire de justifier le bâtiment vis-à-vis des efforts sismiques. Dans le cas contraire, des justifications fastidieuses seront nécessaires, et entraîneront probablement des travaux pour renforcer le bâtiment vis-à-vis des efforts horizontaux liés au séisme.

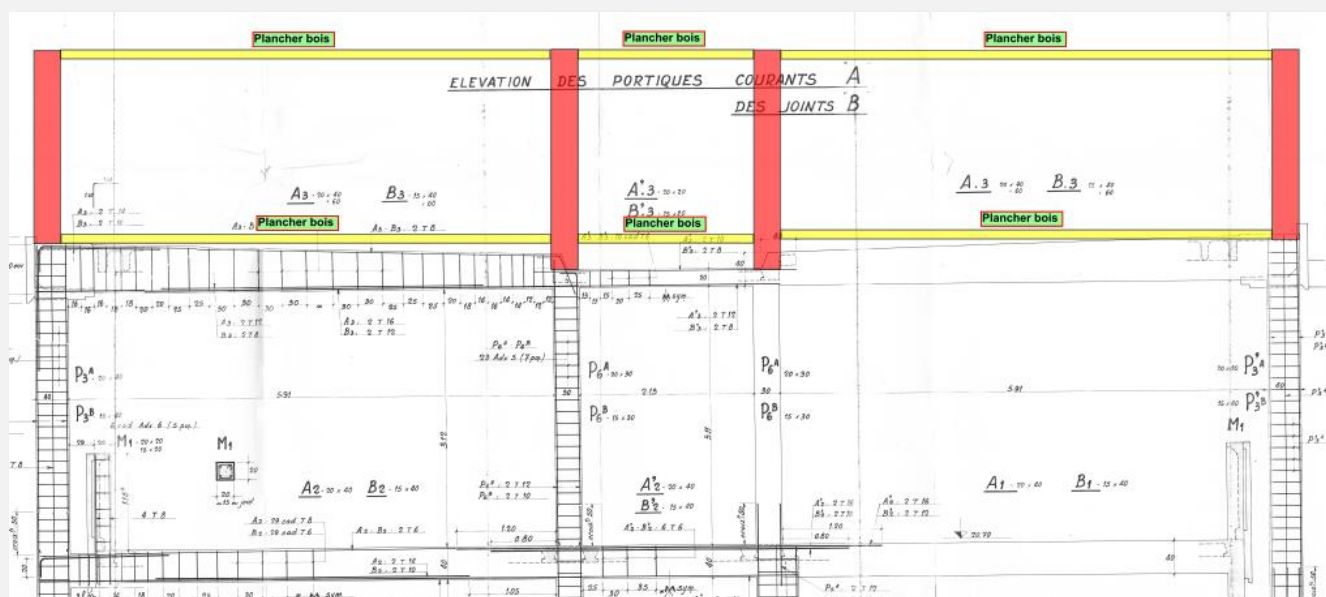


Figure 28 : Principe d'élévation dans le cadre d'une surélévation, bâtiment 10



9 ANNEXES

9.1 ANNEXE 1 : RAPPORT D'INVESTIGATIONS RINCENT LABORATOIRES

La Trinité Surzur, le 7 novembre 2023

Dossier n° : 23-6-31349**Nantes**
Université - Campus Lombarderie
Serba Rezé**Reconnaissance de structure****Intervention du 2 novembre 2023**

Rapport : R-31349-6-01A

A	07/11/2023	G. LEPREVOST	B. MERLE	G. LEPREVOST	21	1 ^{ère} diffusion
Indice	Rédaction	Etabli par	Vérifié par	Approuvé par	Nb pages	Observations

Client	SERBA	N° Page	2	
Désignation	Reconnaissance structure	N° Dossier	23-6-31349	
Site	Campus Lombarderie	N° Rapport	R-31349-6-01A	
Adresse	Nantes	Indice	A	

ASSURANCE QUALITE

REV Page	A	B	C	D	E	F	G	H	I	REV Page	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	X									45									
2	X									46									
3	X									47									
4	X									48									
5	X									49									
6	X									50									
7	X									51									
8	X									52									
9	X									53									
10	X									54									
11	X									55									
12	X									56									
13	X									57									
14	X									58									
15	X									59									
16	X									60									
17	X									61									
18	X									62									
19	X									63									
20	X									64									
21	X									65									
22										66									
23										67									
24										68									
25										69									
26										70									
27										71									
28										72									
29										73									
30										A1									
31										A2									
32										A3									
33										A4									
34										A5									
35										A6									
36										A7									
37										A8									
38										A9									
39										A10									
40										A11									
41										A12									
42										A13									
43										A14									
44										A15									

Client	SERBA	N° Page	3	
Désignation	Reconnaissance structure	N° Dossier	23-6-31440	
Site	Hôtel de Ville	N° Rapport	R-31440-6-01A	
Adresse	Couëron	Indice	A	

SOMMAIRE

1. Généralités	4
2. Programme de l'intervention	4
3. Principe des essais	7
3.1. Mesure de l'enrobage des armatures	7
3.2. Détection radar	8
4. Résultat des reconnaissances	10
4.1. Bâtiment 1 – Niveau 0	10
4.1.1. Implantation des sondages	10
4.1.2. Poteau – PT01	10
4.1.3. Poutre – P01	11
4.1.4. Plancher – D01	12
4.2. Bâtiment 1 – Niveau 1	13
4.2.1. Implantation des sondages	13
4.2.2. Poteau – PT02	14
4.2.3. Poutre – P02	14
4.2.4. Plancher – D02 et D03	15
4.2.5. Plancher – D04	16
4.3. Bâtiment 10 – Niveau 1	17
4.3.1. Implantation des sondages	17
4.3.2. Poteau – PT03	18
4.3.3. Poutre – P03	18
4.3.4. Poutre – P04	19
4.3.5. Poutre – P05	19
4.3.6. Poutre – P06	20
4.3.7. Plancher – D05	21

Client	SERBA	N° Page	4	
Désignation	Reconnaissance structure	N° Dossier	23-6-31349	
Site	Campus Lombarderie	N° Rapport	R-31349-6-01A	
Adresse	Nantes	Indice	A	

1. Généralités

A la demande et pour le compte de la société **SERBA** (représentée pour cette affaire par Monsieur **EMERIAU**), **RINCENT LABORATOIRE Agence Bretagne / Pays de la Loire** a été mandatée pour réaliser des reconnaissances de structure sur différent bâtiment du Campus Lombarderie de l'Université de Nantes, située Chemin de la Houssinière à Nantes (44).

L'intervention a eu lieu le 2 novembre 2023 sur le site.

2. Programme de l'intervention

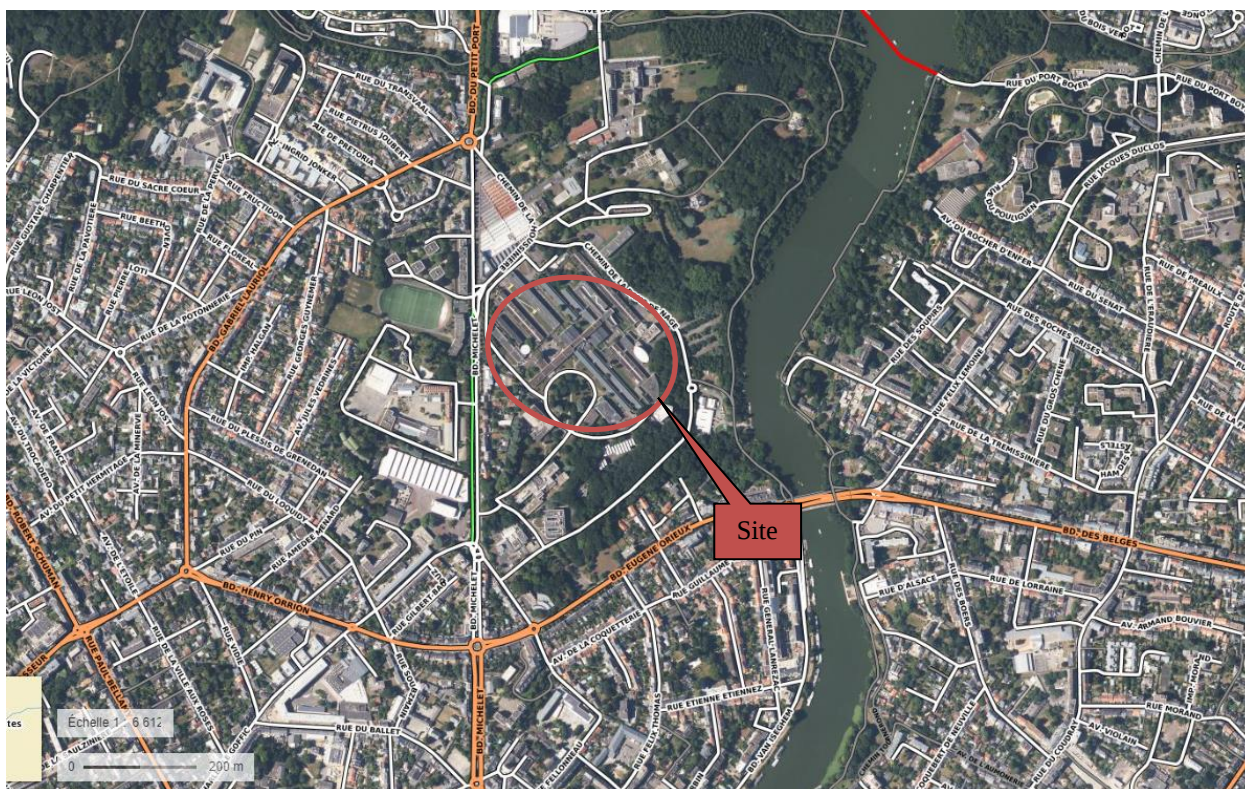


Figure 1 : Localisation du chantier

Le programme des reconnaissances est défini dans la proposition technique « **Proposition technique et financière N° D-31349-6-02** ».

Légende pour interprétation des schémas de principe :

Légende :

Estimation ferroskan -----

Sondage destructif 

Client	SERBA	N° Page	5	
Désignation	Reconnaissance structure	N° Dossier	23-6-31349	
Site	Campus Lombarderie	N° Rapport	R-31349-6-01A	
Adresse	Nantes	Indice	A	

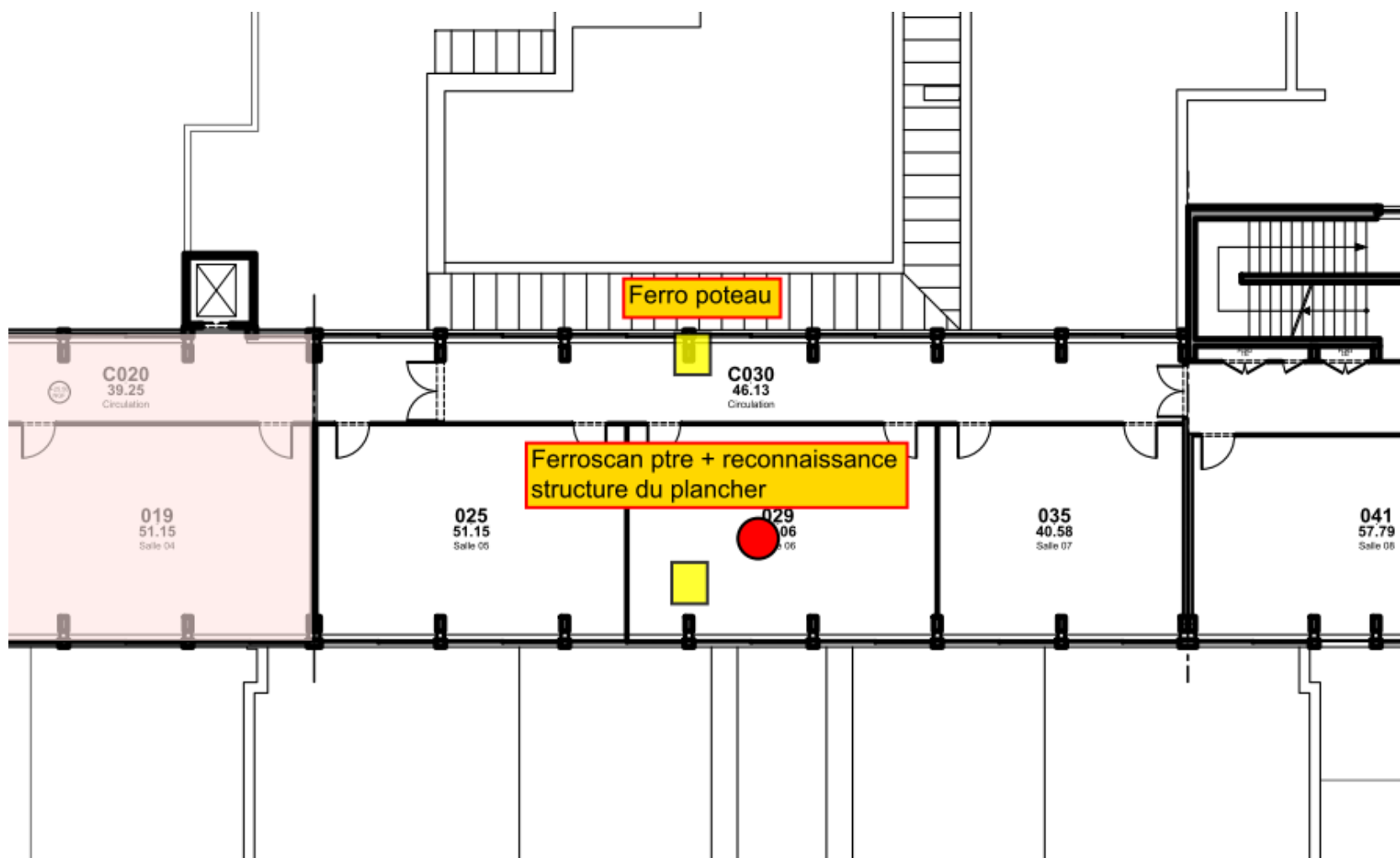


Figure 2 : BATIMENT 1 – Plancher haut niveau 0

Client	SERBA	N° Page	6	
Désignation	Reconnaissance structure	N° Dossier	23-6-31349	
Site	Campus Lombarderie	N° Rapport	R-31349-6-01A	
Adresse	Nantes	Indice	A	

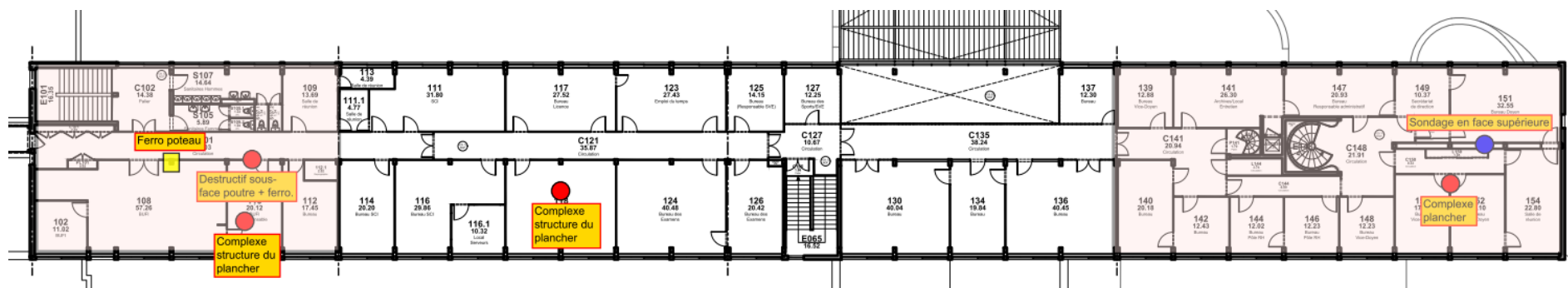


Figure 3 : BATIMENT 1 – Plancher haut niveau 1

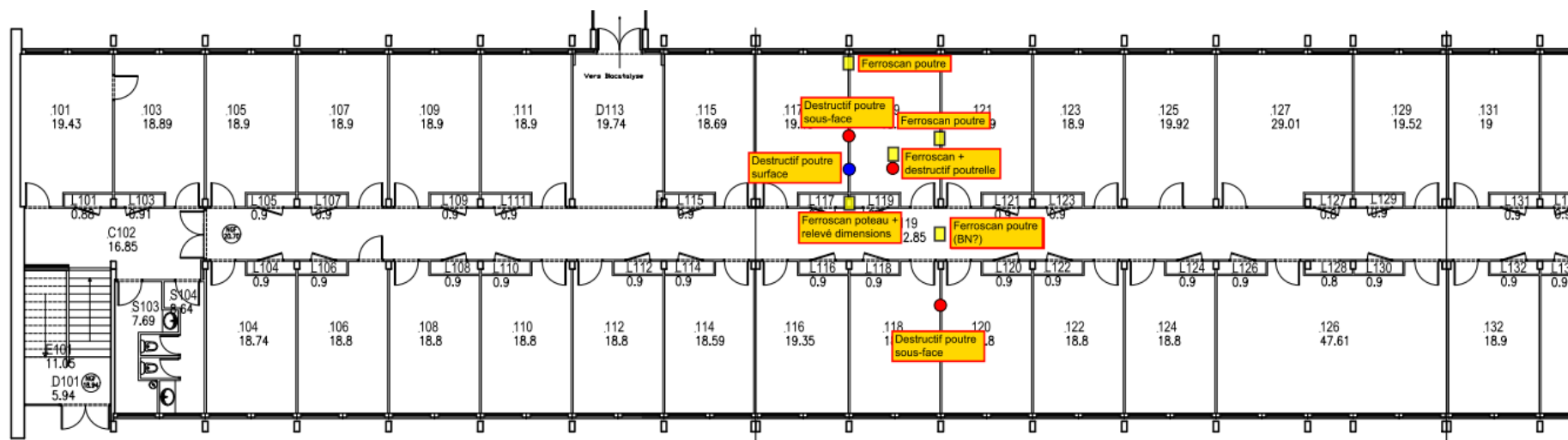


Figure 4 : BATIMENT 10 – Plancher haut niveau 1

Client	SERBA	N° Page	7	
Désignation	Reconnaissance structure	N° Dossier	23-6-31349	
Site	Campus Lombarderie	N° Rapport	R-31349-6-01A	
Adresse	Nantes	Indice	A	

3. Principe des essais

3.1. *Mesure de l'enrobage des armatures*

Le détecteur d'armatures est un appareil électromagnétique qui permet de détecter les armatures et de déterminer leurs positions.

Le détecteur d'armatures est équipé d'un scanner qui permet de faire les prises de mesures et d'un moniteur qui permet de visualiser et de traiter les données mesurées.

La prise de mesure se fait à l'aide d'un quadrillage prédéfini de maillage 15cm x 15cm sur 4 colonnes et 4 lignes (dimensions maximales des photographies enregistrées sur le détecteur d'armatures 0,60m x 0,60m). Dans le cas de superposition de nappes, on ne détectera généralement que la nappe la plus proche.

L'appareil nous donne les valeurs suivantes :

les coordonnées X et Y du point choisi sur les aciers par rapport au quadrillage cité ci-dessus,
un ordre de grandeur de l'enrobage des armatures
un ordre de grandeur du diamètre des armatures ; le diamètre des armatures est une donnée accessible mais entachée d'une incertitude très importante. Ces informations ne peuvent donc en aucun cas être utilisées sans confirmation par un sondage destructif ponctuel.

Pour les mesures près des angles, un décalage d'environ 7cm est nécessaire.



Figure 5 : Ferroskan PS200 (Hilti).

Client	SERBA	N° Page	8	
Désignation	Reconnaissance structure	N° Dossier	23-6-31349	
Site	Campus Lombarderie	N° Rapport	R-31349-6-01A	
Adresse	Nantes	Indice	A	

3.2. Détection radar

Principe de la technologie radar

Les investigations géophysiques in situ ont pour objectif de caractériser et localiser les structures, objets, hétérogénéités enfouis dans le sol. Ces méthodes, qui sont non destructives, mesurent les variations des paramètres physiques du sous-sol (capacité à entraver ou à laisser passer un courant électrique, vitesse de propagation des ondes mécaniques...).

Les investigations géophysiques permettent en outre une couverture spatiale plus globale que ne permettent les forages, sondages et fouilles à la pelle mécanique. Elles conduisent à une représentation cartographique et/ou à des coupes en profondeur représentant ces paramètres physiques.

La prospection radar est une des méthodes géophysiques utilisée pour la détection d'anomalies dans le sous-sol. Cette technologie consiste en l'émission d'une brève onde électromagnétique de haute fréquence qui se propage en profondeur et se réfléchit partiellement sur les interfaces de milieux contrastés électriquement. Un radar est donc toujours composé de deux antennes : une antenne émettrice et une antenne réceptrice qui enregistre l'énergie réfléchi aux différentes interfaces en fonction du temps. C'est cet enregistrement qui constitue une trace radar

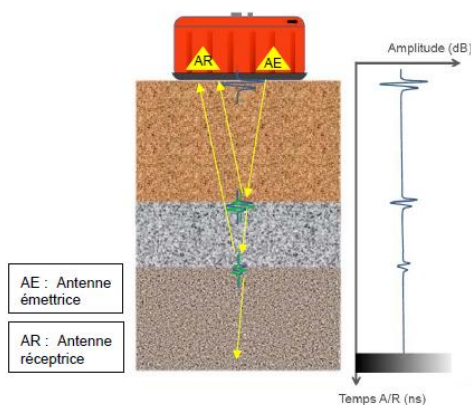


Figure 6 : Principe de réflexion des ondes radar (à gauche : trajet d'une onde radar dans un sol hétérogène, à droite : visualisation d'une trace radar, le signal enregistré par l'antenne)

Radargrammes

Le déplacement des antennes sur une distance donnée permet l'acquisition d'une multitude de traces et la création d'un profil temps-distance appelé radargramme. Le radargramme compile l'ensemble des traces dans un graphique et permet la visualisation d'une coupe du sous-sol avec :

- En abscisse, les distances parcourues à partir du début de l'enregistrement des mesures,
- En ordonnée, les temps de propagation de l'onde électromagnétique.

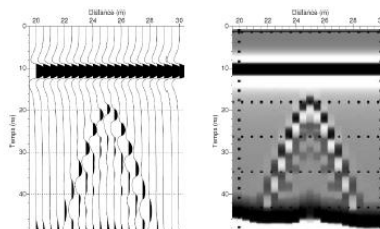


Figure 7 : Exemples de représentations des données sous forme de radargrammes

Client	SERBA	N° Page	9	
Désignation	Reconnaissance structure	N° Dossier	23-6-31349	
Site	Campus Lombarderie	N° Rapport	R-31349-6-01A	
Adresse	Nantes	Indice	A	

Les radargrammes permettent ainsi de visualiser les variations de l'amplitude du signal reçu par l'antenne en fonction du temps (profondeur) et de la distance (longueur du profil).

Matériel d'essai

L'auscultation a été réalisée avec un radar de type – Proceq GP8000.

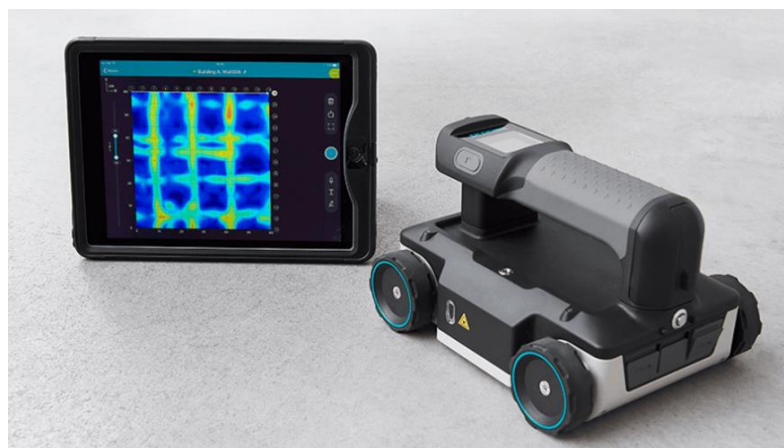


Figure 8 : Radar utilisé pour cette auscultation.

L'antenne multifréquence permettant de s'affranchir des limites profondeurs/résolution. En effet, une antenne « haute fréquence » permet de disposer d'une bonne résolution mais d'une faible pénétration et inversement dans le cas d'une antenne « basse fréquence »

Le radar à pénétration de sol portable – Proceq GP8000 permet d'examiner le béton jusqu'à une profondeur de 80cm. Il possède le plus large spectre de fréquence du marché avec une plage de 0,2 à 4 GHz.



Figure 9 : Compromis profondeur d'auscultation et résolution en fonction de la fréquence du radar

Client	SERBA	N° Page	10	
Désignation	Reconnaissance structure	N° Dossier	23-6-31349	
Site	Campus Lombarderie	N° Rapport	R-31349-6-01A	
Adresse	Nantes	Indice	A	

4. Résultat des reconnaissances

4.1. Bâtiment 1 – Niveau 0

4.1.1. Implantation des sondages

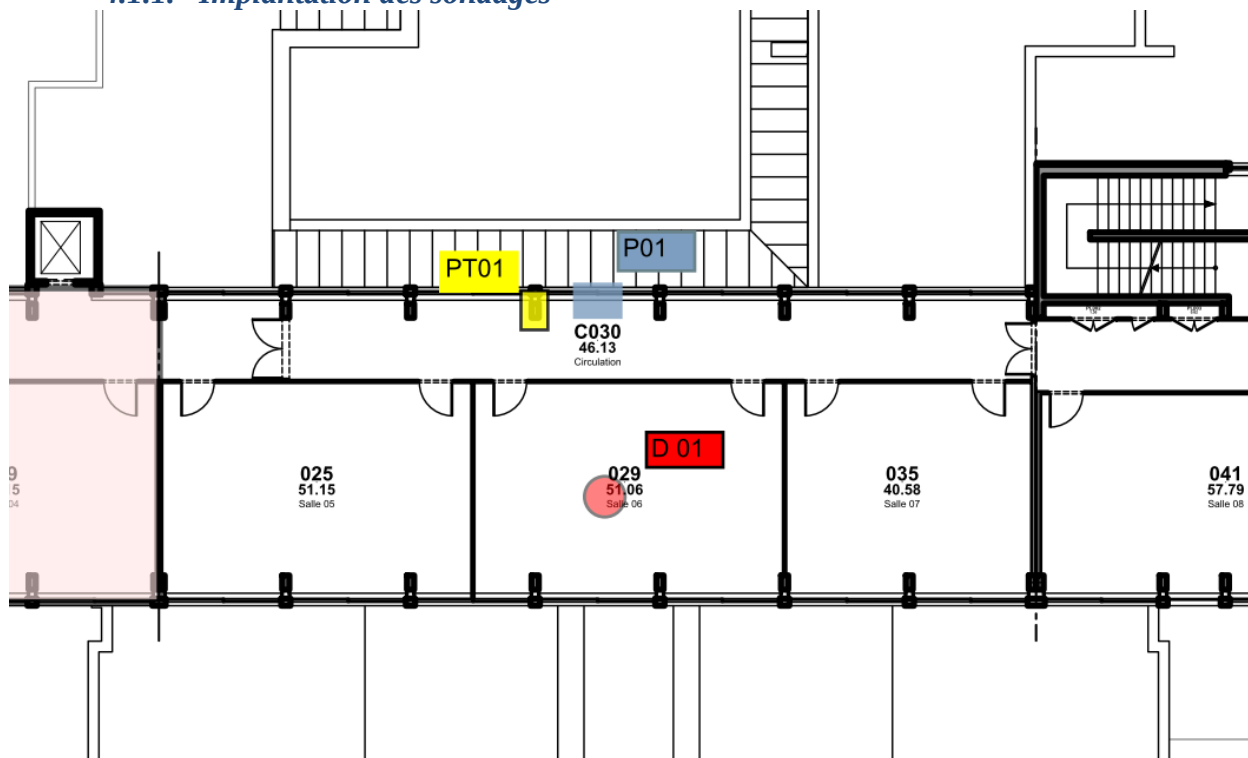
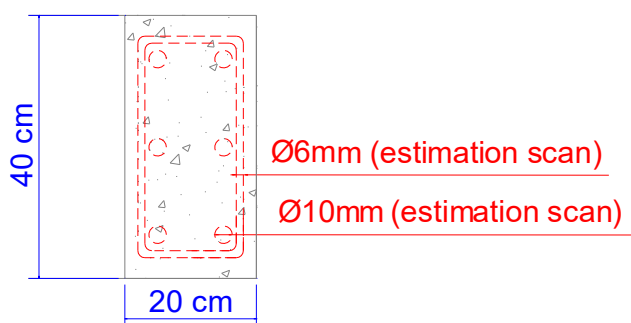


Figure 10 : Implantation des sondages

4.1.2. Poteau – PT01



Poteau :

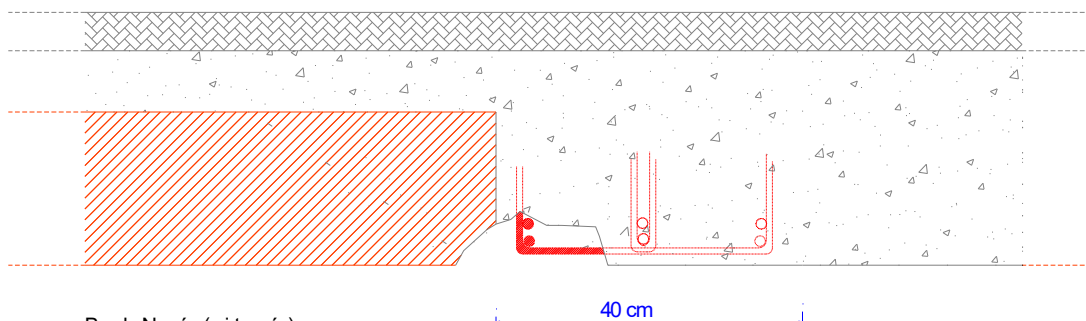
Espacement moyen des cadres (mi-hauteur) : 200 mm

Enrobage moyen : 32 mm (minimum : 11 mm)

Figure 11 : Schéma de principe

Client	SERBA	N° Page	11	
Désignation	Reconnaissance structure	N° Dossier	23-6-31349	
Site	Campus Lombarderie	N° Rapport	R-31349-6-01A	
Adresse	Nantes	Indice	A	

4.1.3. Poutre – P01



Bande Noyée (mi-travée) :
 Portée : 330cm (nu intérieur poteaux)
 Résistance sclérométrique : 29MPa

Armatures
 Enrobage (inférieur) : 15mm
 1er lit : 3 HA 14mm
 2ème lit : 3 HA 14mm
 Cadres : RL 8mm - Espacement moyen : 200mm / 150mm

Figure 12 : Schéma de principe



Figure 13 : Photos du sondage

Client	SERBA	N° Page	12	
Désignation	Reconnaissance structure	N° Dossier	23-6-31349	
Site	Campus Lombarderie	N° Rapport	R-31349-6-01A	
Adresse	Nantes	Indice	A	

4.1.4. Plancher – D01

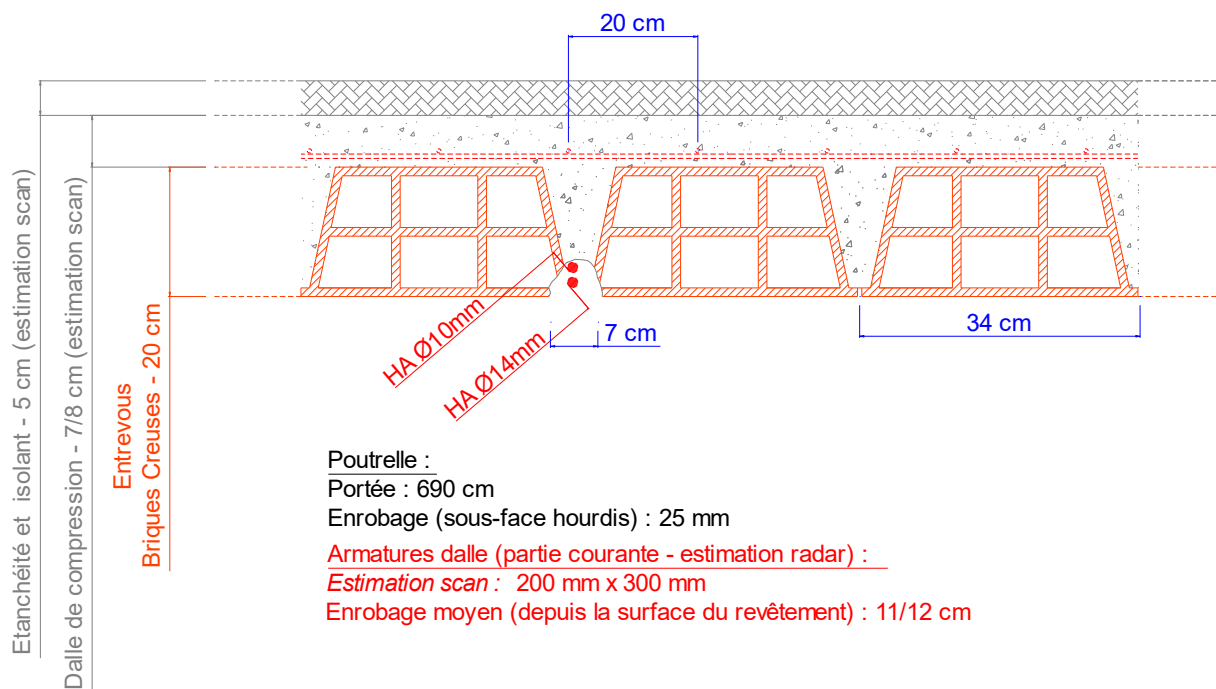


Figure 14 : Schéma de principe



Figure 15 : Photos du sondage

Client	SERBA	N° Page	13	
Désignation	Reconnaissance structure	N° Dossier	23-6-31349	
Site	Campus Lombarderie	N° Rapport	R-31349-6-01A	
Adresse	Nantes	Indice	A	

4.2. Bâtiment 1 – Niveau 1

4.2.1. Implantation des sondages

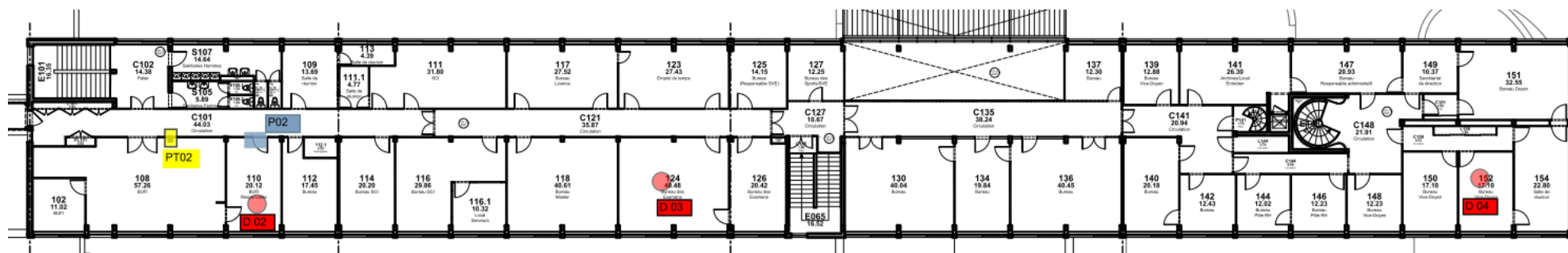
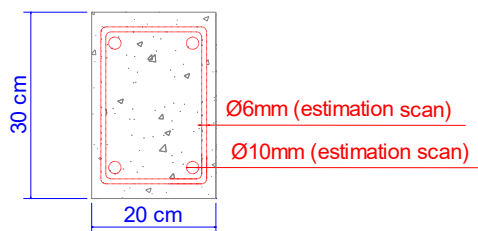


Figure 16 : Implantation des sondages

Client	SERBA	N° Page	14	
Désignation	Reconnaissance structure	N° Dossier	23-6-31349	
Site	Campus Lombarderie	N° Rapport	R-31349-6-01A	
Adresse	Nantes	Indice	A	

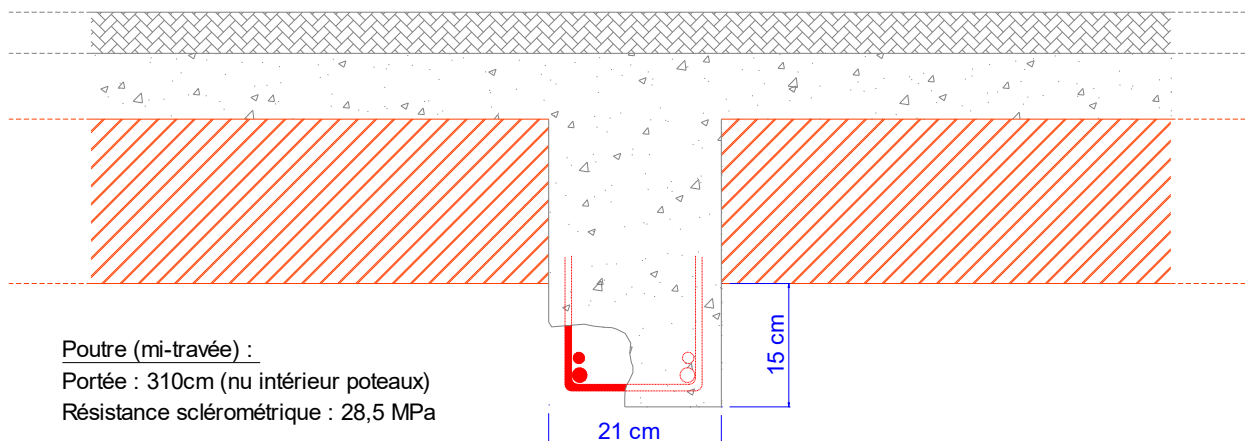
4.2.2. Poteau – PT02



Poteau :
 Espacement moyen des cadres (mi-hauteur) : 200 mm
 Enrobage moyen : 38 mm (minimum : 24 mm)

Figure 17 : Schéma de principe

4.2.3. Poutre – P02



Poutre (mi-travée) :
 Portée : 310cm (nu intérieur poteaux)
 Résistance sclérométrique : 28,5 MPa

Armatures

Enrobage (latéral) : 15 mm
 Enrobage (inférieur) : 10 mm
 1er lit : 2 HA 16 mm
 2ème lit : 2 HA 16 mm
 Cadres : RL 8 mm - Espacement moyen : 15/25 cm

Figure 18 : Schéma de principe



Figure 19 : Photos du sondage

Client	SERBA	N° Page	15	
Désignation	Reconnaissance structure	N° Dossier	23-6-31349	
Site	Campus Lombarderie	N° Rapport	R-31349-6-01A	
Adresse	Nantes	Indice	A	

4.2.4. Plancher – D02 et D03

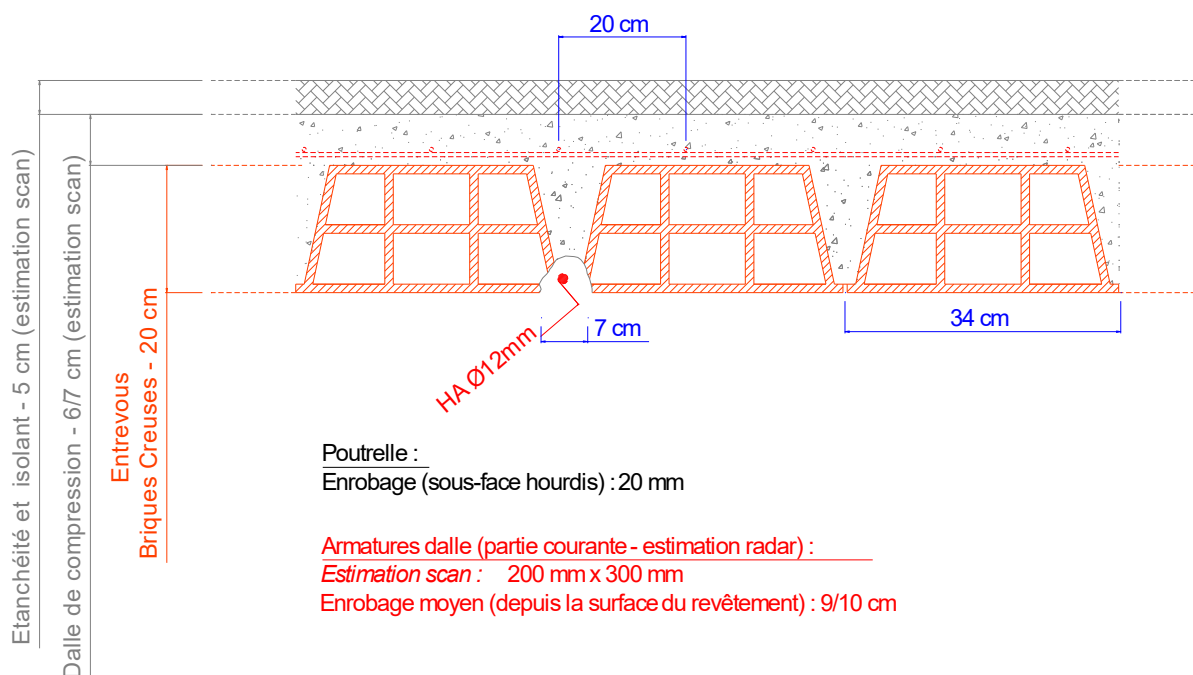


Figure 20 : Schéma de principe



Figure 21 : Photos du sondage

Client	SERBA	N° Page	16	
Désignation	Reconnaissance structure	N° Dossier	23-6-31349	
Site	Campus Lombarderie	N° Rapport	R-31349-6-01A	
Adresse	Nantes	Indice	A	

4.2.5. Plancher – D04

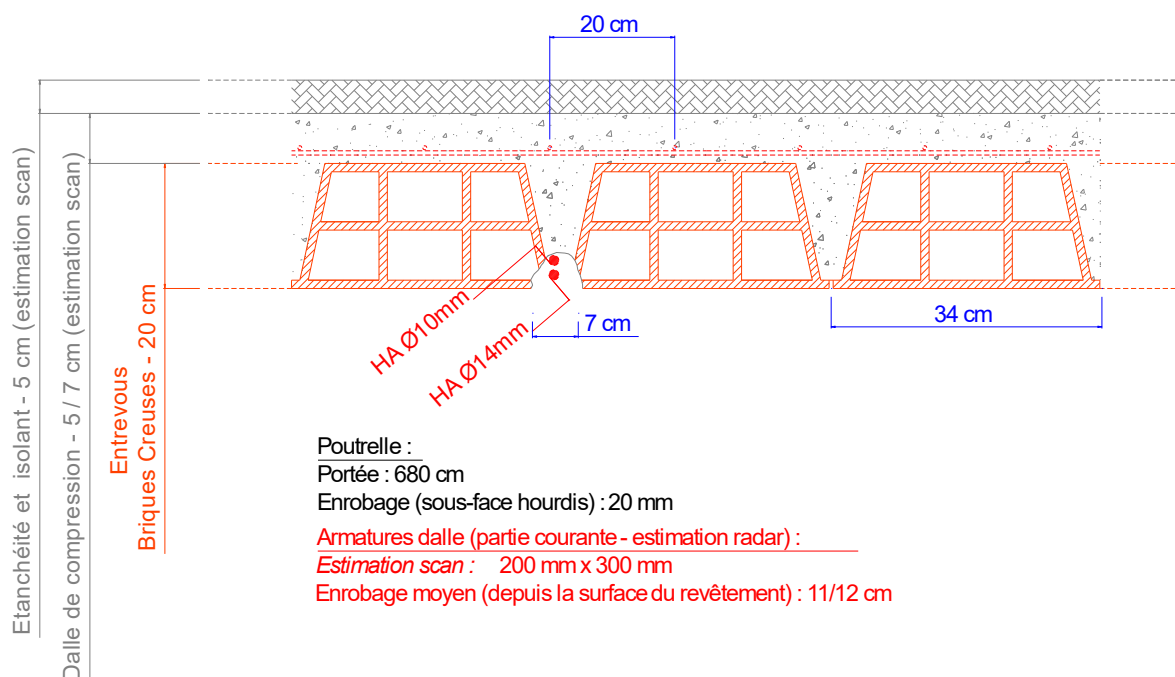


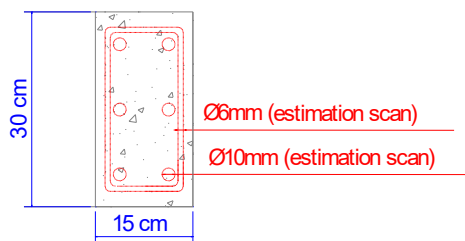
Figure 22 : Schéma de principe



Figure 23 : Photos du sondage

Client	SERBA	N° Page	18	
Désignation	Reconnaissance structure	N° Dossier	23-6-31349	
Site	Campus Lombarderie	N° Rapport	R-31349-6-01A	
Adresse	Nantes	Indice	A	

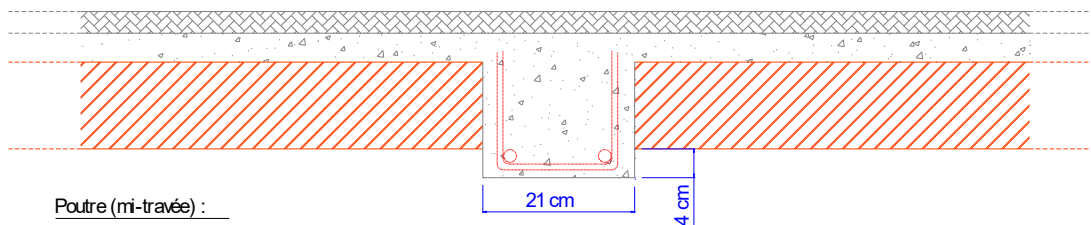
4.3.2. Poteau – PT03



Poteau :
 Espacement moyen des cadres (mi-hauteur) : 150 mm
 Enrobage moyen : 25 mm (minimum : 17 mm)

Figure 25 : Schéma de principe

4.3.3. Poutre – P03



Poutre (mi-travée) :
 Portée : 215cm (nu intérieur poteaux)
 Résistance sclérométrique : 26,5 MPa

Armatures (estimation scan)
 Enrobage (inférieur) : 10 mm
 1er lit : 2 Ø 12/14 mm
 Cadres : Ø 6 mm - Espacement moyen : 15/25 cm

Figure 26 : Schéma de principe



Figure 27 : Photos du sondage

Client	SERBA	N° Page	19	
Désignation	Reconnaissance structure	N° Dossier	23-6-31349	
Site	Campus Lombarderie	N° Rapport	R-31349-6-01A	
Adresse	Nantes	Indice	A	

4.3.4. Poutre – P04

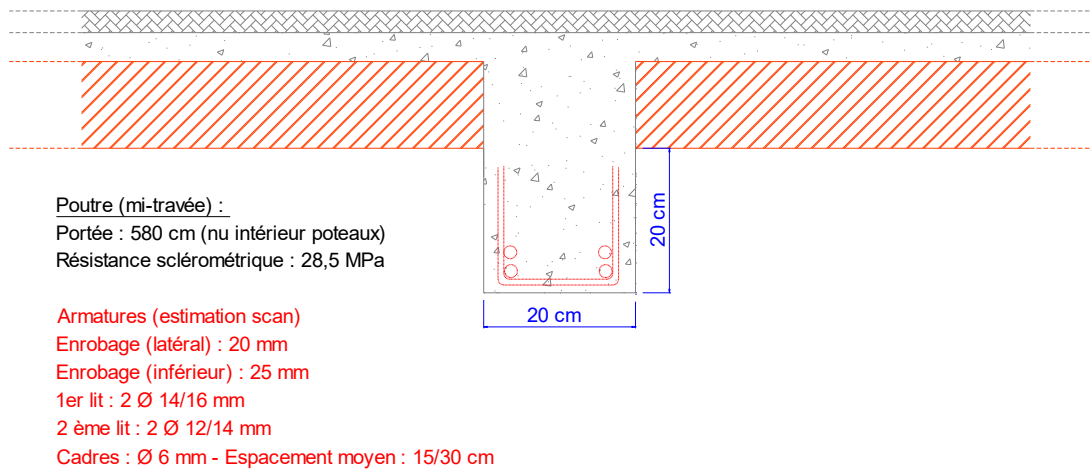


Figure 28 : Schéma de principe

4.3.5. Poutre – P05

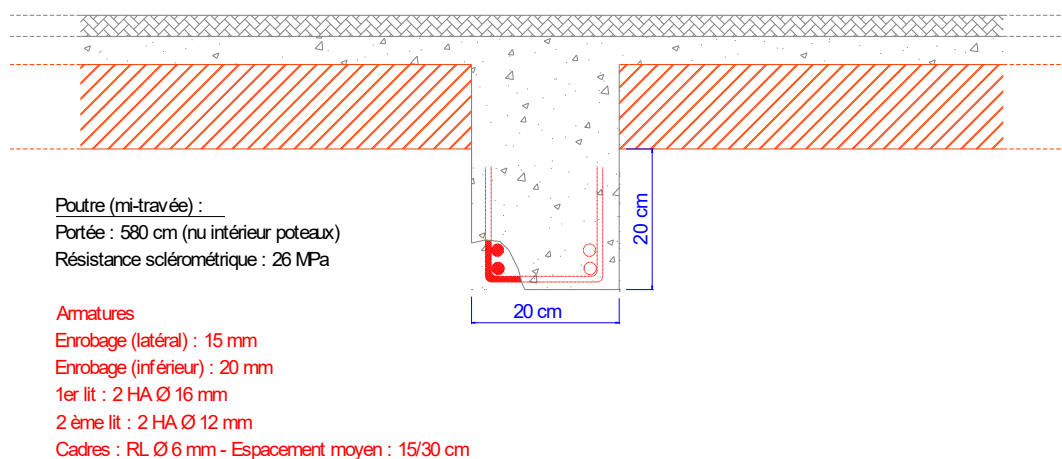


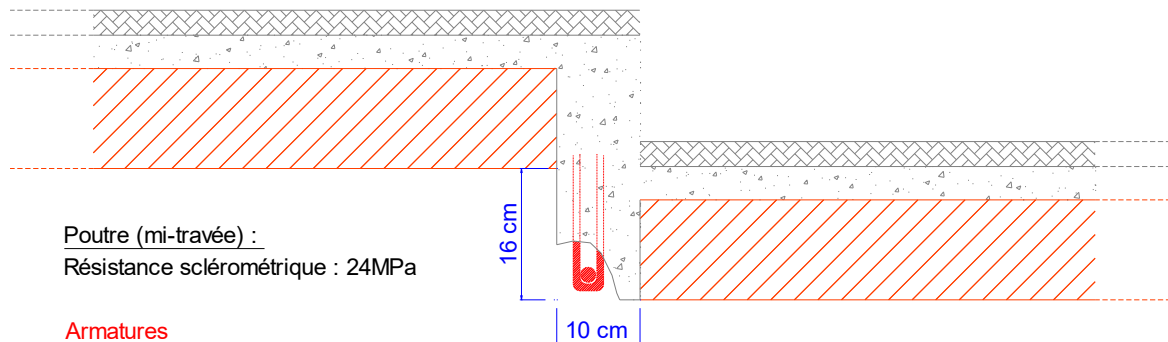
Figure 29 : Schéma de principe



Figure 30 : Photos du sondage

Client	SERBA	N° Page	20	
Désignation	Reconnaissance structure	N° Dossier	23-6-31349	
Site	Campus Lombarderie	N° Rapport	R-31349-6-01A	
Adresse	Nantes	Indice	A	

4.3.6. Poutre – P06



Poutre (mi-travée) :
Résistance sclérométrique : 24MPa

Armatures

Enrobage (latéral) : 45 mm

Enrobage (inférieur) : 30 mm

1er lit : 1 HA Ø 10 mm

Epingle : RL Ø 6 mm - Espacement moyen : 25/30 cm

Figure 31 : Schéma de principe



Figure 32 : Photos du sondage

Client	SERBA	N° Page	21	
Désignation	Reconnaissance structure	N° Dossier	23-6-31349	
Site	Campus Lombarderie	N° Rapport	R-31349-6-01A	
Adresse	Nantes	Indice	A	

4.3.7. Plancher – D05

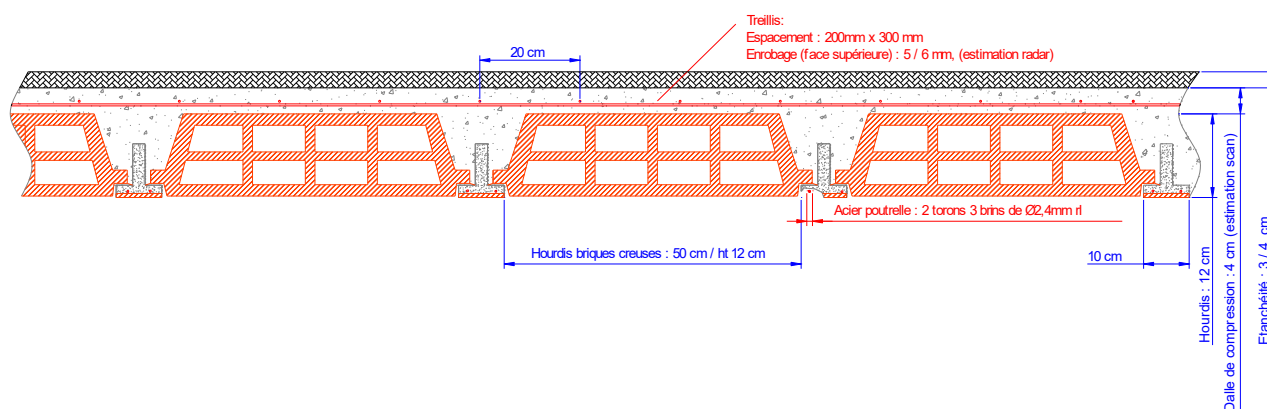


Figure 33 : Schéma de principe



Figure 34 : Photos du sondage

Gautier LEPREVOST
Responsable de l'agence Bretagne – Pays de la Loire

