CENTRE D'INGENIERIE POUR LA MAINTENANCE ET L'EXPERTISE D'OUVRAGES
18, Rue du Pont de Fer
62190 LILLERS

Maître d'ouvrage

Direction Interrégionale des services pénitentiaires de Lille (D.I.S.P.)

123, Rue Nationale – BP765
59034 LILLE CEDEX

À l'attention de Madame BOULANT *Nathalie*

Maître d'œuvre

Studio FOLIE

57, Rue de la Paix et des Arts
44600 Saint Nazaire

À l'attention de Madame PARCÉ *Angèle*

AFFAIRE : CIM_26074	PHASE : ETUDE STRUCTURELLE	INDICE 1

Étude structurelle, aménagement de plateaux de bureaux



Bâtiment existant

2 Avenue Antoine CHANUT – CREIL (60100)

Rédigé par : Luc BAJOREK	Vérifié par : Jean-Michel CUCALON	Date : 21/07/2026

Ce rapport comporte 41 pages et ne peut être reproduit ou utilisé autrement que sous sa forme intégrale

SOMMAIRE

I. GENERALITES 4

I.1 CONTEXTE 4
I.2 DEROULEMENT DE LA MISSION ET MOYENS MIS EN ŒUVRE 4
I.3 PROGRAMME D'INVESTIGATIONS 4
I.4 LOCALISATION 5

II. METHODOLOGIE DU DIAGNOSTIC 7

II.1 INSPECTION VISUELLE 7
II.2 RECONNAISSANCE STRUCTURELLE DES OSSATURES BETON 7
II.2.1 Auscultation au radar de structure 7
II.2.2 Sondages ponctuels de reconnaissance 8

III. ÉTUDE STRUCTURELLE DES NIVEAUX 9

III.1 APPRECIATION DU PRINCIPE CONSTRUCTIF DE L'IMMEUBLE 9
III.2 VOLET 1 : CREATION D'UNE OUVERTURE EN MUR PORTEUR (R+1) 11
III.2.1 Reconnaissance non destructive au radar de structure 11
III.2.2 Sondage de reconnaissance 12
III.3 VOLET 2 : CAPACITE PORTANTE DU PLANCHER BAS, LOCAL D'ARCHIVES (R+2) 13
III.3.1 Reconnaissance non destructive au radar de structure 14
III.3.2 Sondages de reconnaissance des éléments structuraux 16
III.4 VOLET 3 : TENUE AU FEU R 60 DU PLANCHER HAUT, ENSEMBLE DU R+2 19
III.4.1 Reconnaissance non destructive au radar de structure 20
III.4.2 Sondages de reconnaissance des éléments structuraux 21

IV. ÉTUDE DE FAISABILITE DU PROJET D'AMENAGEMENT 23

IV.1 HYPOTHESES GENERALES 23
IV.1.1 Textes normatifs 23
IV.1.2 Hypothèses sur les matériaux 23
IV.1.3 Hypothèses sur les charges 24
IV.1.4 Combinaisons d'actions 25
IV.2 VOLET 1 : CREATION D'UNE OUVERTURE EN MUR PORTEUR (R+1) 26
IV.2.1 Rappel des données d'entrée 26
IV.2.2 Hypothèses spécifiques au volet 26
IV.2.3 Descente de charges 26
IV.2.4 Dimensionnement du linteau 27
IV.2.5 Conclusion du volet 27
IV.3 VOLET 2 : CAPACITE PORTANTE DU PLANCHER BAS, LOCAL D'ARCHIVES (R+2) 28
IV.3.1 Rappel des données d'entrée 28
IV.3.2 Hypothèses spécifiques au volet 28
IV.3.3 Descente de charges 29
IV.3.4 Détermination des sollicitations 29
IV.3.5 Vérifications et taux de travail 30
IV.3.6 Conclusion du volet 31

IV.4 VOLET 3 : TENUE AU FEU R 60 DU PLANCHER HAUT (ENSEMBLE DU R+2) 32
IV.4.1 Rappel des données d'entrée 32
IV.4.2 Hypothèses spécifiques au volet 32
IV.4.3 Températures atteintes et capacité résiduelle des aciers 33
IV.4.4 Sollicitations et vérifications 33
IV.4.5 Vérification par les données tabulées 34
IV.4.6 Conclusion du volet 34
V. SYNTHESE & CONCLUSIONS 36
VI. PRECONISATIONS DE TRAVAUX 39

I. GENERALITES

I.1 CONTEXTE

Dans le cadre du projet d'aménagement de plateaux de bureaux aux niveaux R+1 et R+2 d'un bâtiment existant situé 2 avenue Antoine Chanut à Creil (60100), destiné à l'implantation d'une Antenne Locale d'Insertion et de Probation (ALIP), le maître d'ouvrage, la Direction Interrégionale des Services Pénitentiaires de Lille (D.I.S.P.), représentée par Madame BOULANT Nathalie, et le maître d'œuvre, le Studio FOLIE, représenté par Madame Angèle PARCÉ, souhaitent réaliser une mission d'étude structurelle. Cette dernière se décline en trois sujets structurels distincts, à savoir :

- La création d'une ouverture de 80 x 200 cm dans un mur porteur au R+1,
- La vérification des charges admissibles du plancher bas du R+2, au droit d'un futur local d'archives,
- La vérification de la tenue au feu R 60 du plancher haut de l'ensemble du R+2.

C'est dans le but de répondre à ces trois volets que le maître d'ouvrage et le maître d'œuvre ont mandaté CIMEO Nord.

I.2 DEROULEMENT DE LA MISSION ET MOYENS MIS EN ŒUVRE

Les investigations sur site se sont déroulées les 8 & 9/07/2026. L'équipe d'intervention présente sur site pour la réalisation des investigations était composée de :

- Luc BAJOREK, Ingénieur Chargé d'affaires,
- Benjamin GOUBEL, Ingénieur Chargé d'affaires.

I.3 PROGRAMME D'INVESTIGATIONS

Pour mener à bien la mission, le programme d'investigation réalisé est listé ci-après :

Moyen d'accès et appréciation du principe constructif général

- Une inspection du principe constructif des niveaux a été réalisée,
- Les investigations ont été réalisées à hauteur d'homme depuis l'intérieur du bâtiment et à l'aide d'un échafaudage roulant.

Volet 1 : Création d'une ouverture dans un mur porteur (R+1)

- Un sondage de reconnaissance a été réalisé sur l'emprise de la future porte afin d'identifier la composition du mur porteur,
- Sur la base de ces résultats, une étude du principe constructif a été menée, avec notamment la prise en considération des charges transmises au mur,
- Pour finir, une étude de dimensionnement du linteau a été réalisée.

Volet 2 : Capacité portante du plancher bas, local d'archives (R+2)

- Des auscultations au radar de structure ont été réalisées afin d'apprécier le principe constructif du plancher bas,
- Des sondages de reconnaissance ont été réalisés afin de relever la géométrie des armatures des éléments porteurs,
- Sur la base de ces résultats, une étude de capacité portante a été réalisée afin de déterminer les charges d'exploitation admissibles, conformément à la norme NF P 06-001.

Volet 3 : Tenue au feu R 60 du plancher haut, ensemble du R+2

- Pour répondre à ce volet, des auscultations radar et une campagne de sondages localisés ont été réalisées afin de relever la géométrie des armatures. Ces éléments ont permis de réaliser le calcul de vérification de la tenue au feu R 60 conformément aux Eurocodes (EN 1992-1-2).

Nota : *La durée de la stabilité au feu R60 a été confirmée par la maîtrise d'ouvrage.*

Volet 4 : Assistance technique à la réalisation des travaux

Dans le cadre du suivi des travaux, CIMEO Nord assurera une mission d'assistance technique consistant en trois visites de chantier. Ces déplacements sur site permettront de vérifier que les travaux réalisés sont conformes aux préconisations émises dans le présent rapport. Un bref compte rendu de visite sera rédigé à l'issue de chaque passage.

I.4 LOCALISATION

Les niveaux concernés par notre étude sont les 1er et 2nd étages d'un bâtiment situé au 2 Avenue Antoine CHANUT à CREIL (60100). Les figures ci-dessous montrent respectivement la vue en plan du site ainsi que la vue aérienne.

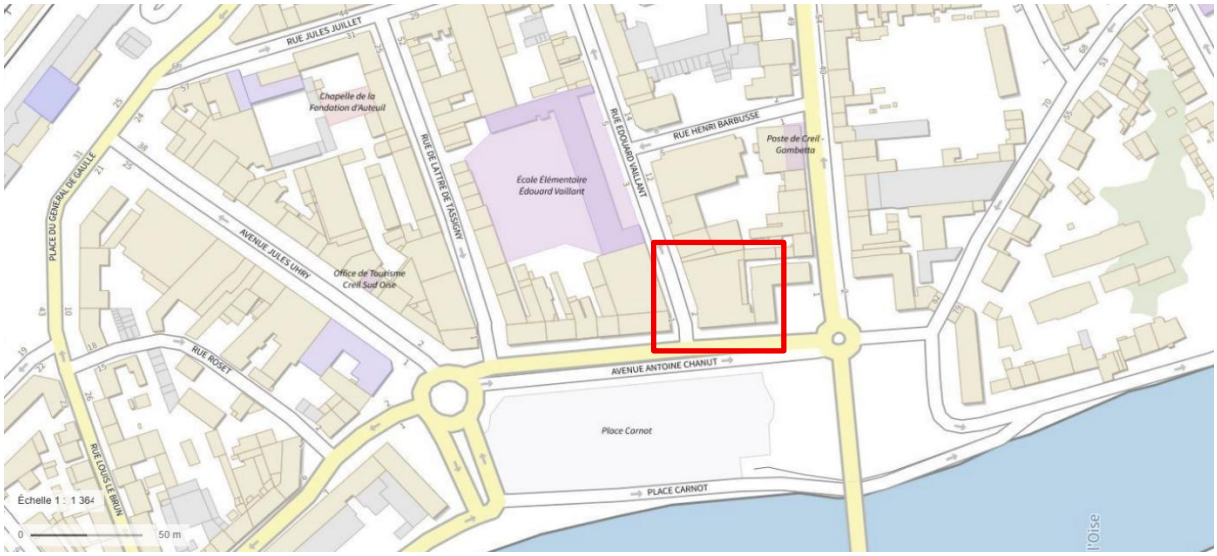


Figure 1 : Vue en plan du site (Source : www.geoportail.gouv.fr)

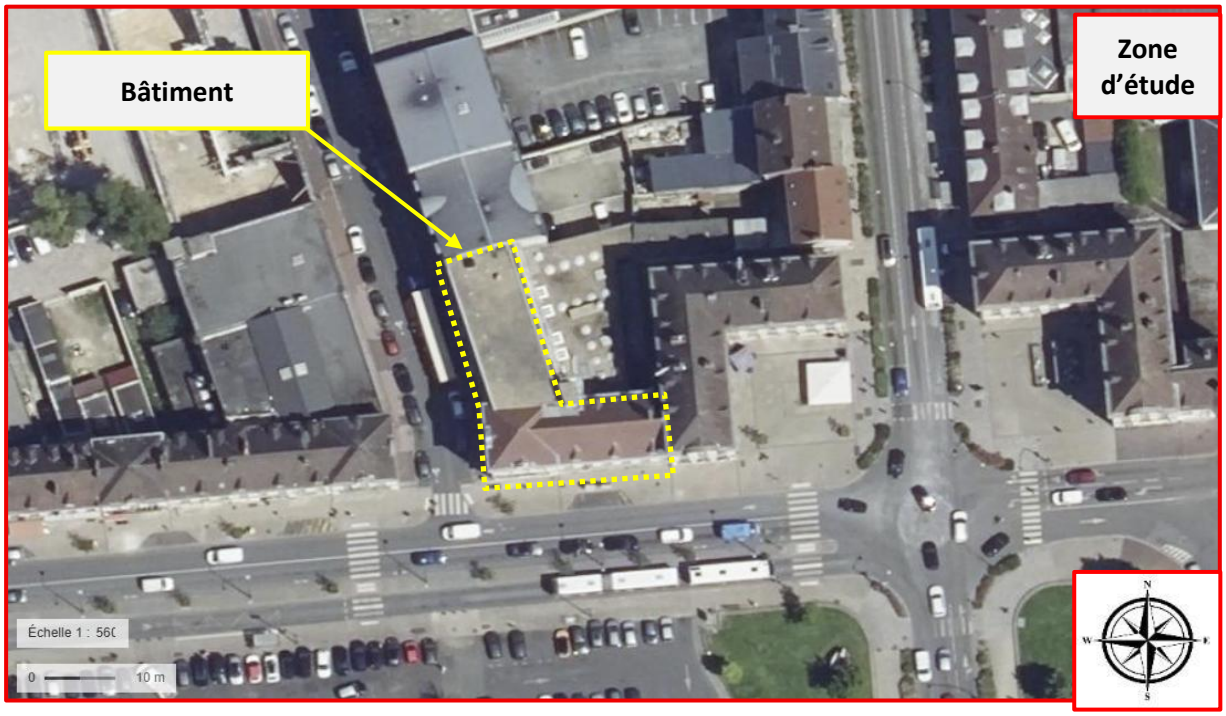


Figure 2 : Vue aérienne du site (Source : www.geoportail.gouv.fr)

II. METHODOLOGIE DU DIAGNOSTIC

II.1 INSPECTION VISUELLE

L'inspection visuelle a pour objectif de caractériser les grands principes constructifs généraux ainsi que les désordres associés qui peuvent être préjudiciables pour l'ouvrage. Cette inspection est essentiellement non destructive.

Plusieurs outils conventionnels sont utilisés lors de ces inspections tels que la règle, les jauges d'ouverture de fissure, appareil photo, etc. L'évolution et la miniaturisation des technologies permettent aujourd'hui d'utiliser d'autres outils tels que le drone, l'inspection déportée via une perche télescopique équipée d'une caméra, etc.



Figure 3 : Présentation des outils conventionnels

Dans le cas présent, seuls les outils conventionnels ont été utilisés.

II.2 RECONNAISSANCE STRUCTURELLE DES OSSATURES BETON

II.2.1 Auscultation au radar de structure

Les auscultations radar ont pour objectif de caractériser le mode constitutif d'une structure et/ou d'un ouvrage existant. Ces détections par ondes électromagnétiques permettent d'identifier la disposition du ferraillage (espacement & enrobages) des structures en béton armé ou précontraint et de localiser d'éventuelles singularités ou anomalies (ex : présence de vide, de réseaux noyés). La composition et l'homogénéité d'un complexe formé d'une succession de différents matériaux se distinguent par la conductivité électrique de la matière rencontrée au passage du champ électromagnétique émis par l'appareil de type GSSI® utilisé. Ces mesures non-destructives fournissent des informations sur une profondeur de l'ordre de 50 cm.





Figures 4 & 5 : Illustration du radar de structure GSSI

L'illustration suivante, **présentée à titre d'exemple**, provient d'un signal d'ondes électromagnétiques obtenu au radar de structure sur lequel nous avons mis en évidence les informations recueillies.

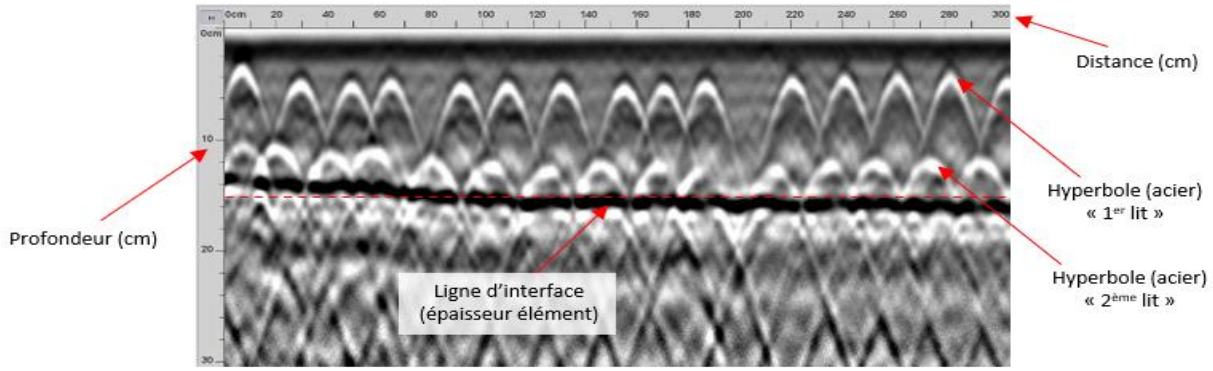


Figure 6 : Présentation d'une analyse type d'un radargramme

II.2.2 Sondages ponctuels de reconnaissance

La nature des matériaux de constitution et la géométrie des armatures préalablement identifiées au radar de structure nécessitent la réalisation de sondages destructifs ponctuels afin d'obtenir des précisions sur les caractéristiques des matériaux repérés. Les sondages de reconnaissance sont essentiellement réalisés par burinage, percement, ponçage, tronçonnage ou sciage.





Figures 7 & 8 : Illustration, à titre d'exemple, des moyens utilisés lors des sondages

III. ÉTUDE STRUCTURELLE DES NIVEAUX

III.1 APPRECIATION DU PRINCIPE CONSTRUCTIF DE L'IMMEUBLE

Le bâtiment concerné par la présente étude est un immeuble ancien composé d'un rez-de-chaussée commercial, de deux étages courants (R+1 et R+2) et d'un troisième niveau aménagé sous combles, partiellement occupé mais entièrement aménagé à des fins de bureaux.

Sur le plan architectural :

- La façade principale sur rue est traitée en maçonnerie de pierre de taille / enduit clair, avec une composition régulière de baies rectangulaires,
- Le rez-de-chaussée est occupé par des locaux commerciaux et de services (agences bancaires et d'assurances), distincts de l'assiette de l'étude qui porte sur les niveaux R+1, R+2 et combles,
- La toiture, à forte pente, est couverte en ardoise ou tuile mécanique, avec souches de cheminées maçonnées et lucarnes desservant le niveau de combles aménagé.



Figures 9 & 10 : Vues générales de l'extérieur de l'immeuble montrant la répartition des niveaux

Sur le plan structurel, le bâtiment présente des trames répétitives et régulières, permettant des principes constructifs simples. Trois principes constructifs distincts ont ainsi été identifiés selon les zones :

- Un premier principe constructif, localisé dans l'aile perpendiculaire à l'avenue Antoine Chanut, composé de poteaux reprenant des bandes noyées, elles-mêmes support d'un plancher poutrelles-hourdis en béton. Cette aile semble par ailleurs indépendante structurellement de l'aile parallèle à l'avenue,
- Un second principe constructif, également composé de poteaux, mais reprenant cette fois des poutres. Ces poutres portent un plancher de type plancher à corps creux, les corps creux étant réalisés en fibre-styrène. La juxtaposition de ces corps creux crée les zones de poutrelles dans lesquelles sont déposées les armatures ; lors du coulage de la table de compression, les poutrelles sont remplies de béton, formant ainsi un ensemble monolithique,

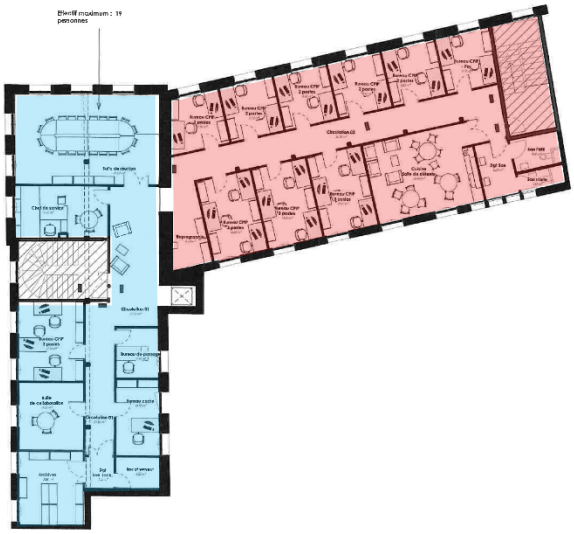
- Un troisième principe constructif composé d'une structure de poteaux reprenant des poutres principales et secondaires, qui portent elles-mêmes une dalle béton.

Cette hétérogénéité des principes constructifs, cohérente avec un bâtiment ayant fait l'objet de phases de construction ou de réhabilitation successives, a été prise en compte dans l'analyse structurelle propre à chaque volet de la présente mission.

Plan du R+1



Plan du R+2



Principe constructif N°1



Principe constructif N°2



Principe constructif N°3



Légende :

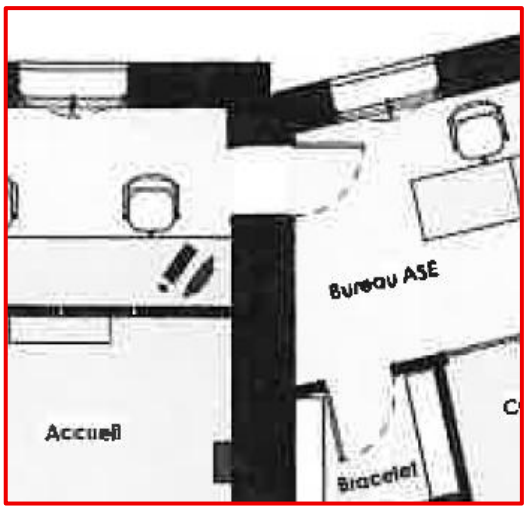
	: Principe constructif N°1 du plancher haut
	: Principe constructif N°2 du plancher haut
	: Principe constructif N°3 du plancher haut

III.2 VOLET 1 : CREATION D'UNE OUVERTURE EN MUR PORTEUR (R+1)

Le premier volet de la présente mission porte sur la création d'une ouverture de 80 x 200 cm dans un mur porteur situé au R+1, dans le cadre du réaménagement des plateaux de bureaux. Cette création d'ouverture nécessite au préalable une connaissance précise de la composition du mur concerné, tant sur le plan de sa nature (maçonnerie, béton, etc.) que sur celui de son épaisseur.

Afin de caractériser ce mur porteur, une campagne d'investigations a été menée, associant une auscultation au radar de structure et un sondage de reconnaissance destructif réalisé sur l'emprise de la future ouverture. Les résultats de ces investigations, présentés ci-après, ont permis d'établir une coupe de principe du mur, servant de base à l'étude du principe constructif et au dimensionnement du linteau nécessaire à la reprise des charges.



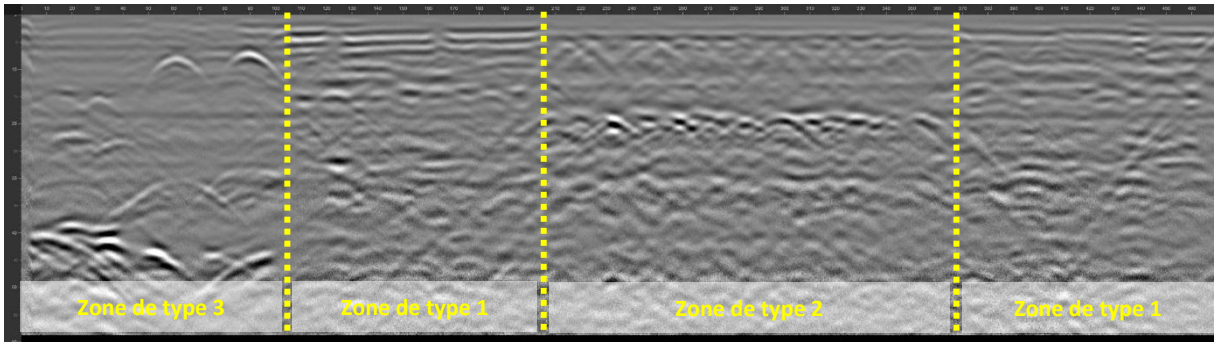


Figures 11 & 12 : Vue en plan du R+1 permettant de localiser l'ouverture de porte souhaitée.

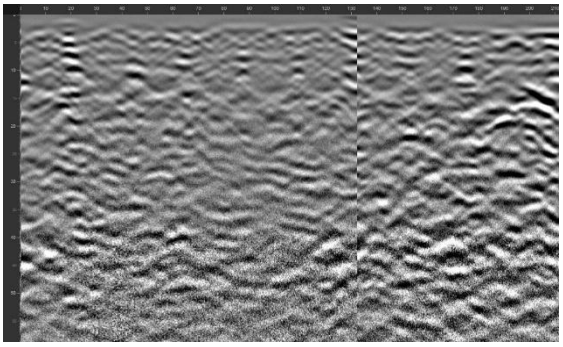
III.2.1 Reconnaissance non destructive au radar de structure

Deux profils radar ont été réalisés sur le mur porteur concerné par la future ouverture : une ligne horizontale et une ligne verticale, positionnées au droit de la zone d'intervention envisagée. Ces profils confirment une hétérogénéité de la réponse radar selon les zones observées :

- ***Zone de type 1 :*** le profil horizontal fait apparaître une interface plane marquée en faible profondeur, signature cohérente avec la présence d'une lame d'air en avant du plan de la structure porteuse. Cela laisse supposer une configuration davantage caractéristique d'une maçonnerie doublée (parement + lame d'air + gros-œuvre) que d'une maçonnerie monolithique homogène sur toute son épaisseur,
- ***Zone de type 2 :*** le profil horizontal fait également apparaître une succession de réflecteurs ponctuels (hyperboles) répétés. Cette signature, distincte de celle d'une maçonnerie pleine et continue, est cohérente avec la présence de matériaux creux utilisés en remplissage d'une ouverture antérieure.
- ***Zone de type 3 :*** Pour finir, le profil horizontal révèle également la présence d'une structure composée d'un matériau plein et homogène pouvant s'apparenter à un mur maçonné.



Ligne horizontale sur le mur concerné par l'ouverture



Ligne verticale au droit de la zone concernée par l'ouverture

III.2.2 Sondage de reconnaissance

Un sondage de reconnaissance destructif a été réalisé sur l'emprise de la future ouverture, permettant d'établir la coupe de principe du mur ci-après (épaisseur totale 755 mm) :

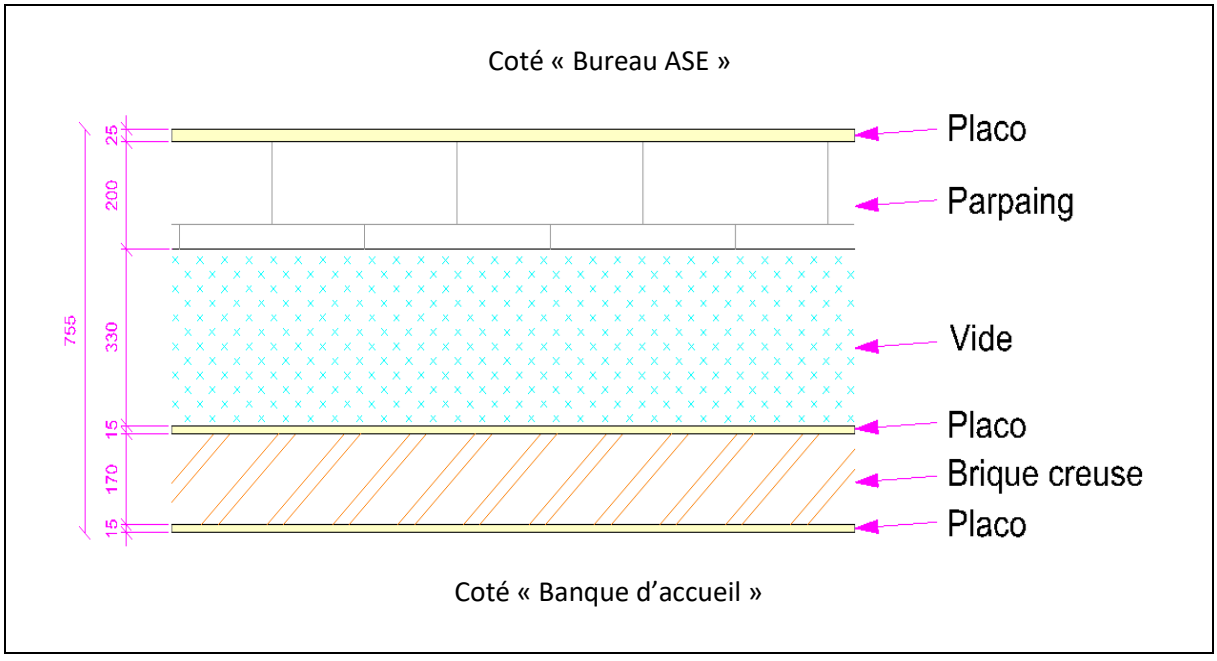


Figure 13 : Coupe du mur au droit de l'ouverture (Vue de dessus)

Cette coupe révèle un mur composé de deux parois maçonnées disjointes, à savoir, une paroi en parpaing côté « Bureau ASE » et une paroi en brique creuse côté « Banque d'accueil » séparées par une lame d'air de 330 mm, plutôt que d'une maçonnerie porteuse monolithique unique.

La composition hétérogène révélée par ce sondage (juxtaposition parpaing / brique creuse / vide) laisse supposer qu'il s'agit en réalité du rebouchage d'une ancienne ouverture, non représentatif de la composition d'origine du mur porteur.

Il a donc été nécessaire de poursuivre la reconnaissance de la composition du mur. À cette fin, nous avons profité d'une ouverture existante au R+2, permettant le passage entre les deux ailes du bâtiment, pour observer la tranche du mur.

Il s'avère que le mur est en réalité composé d'un double mur en pierre de taille, séparé par une lame de 2 à 3 cm comblée par un panneau de polystyrène, et habillé côté intérieur d'une plaque de plâtre. Les clichés pris au droit de cette ouverture existante révèlent par ailleurs, au cœur du mur, un remplissage hétérogène en brique, laissant supposer des reprises ou rebouchages localisés dans l'épaisseur de la maçonnerie.

C'est cette composition qui sera retenue pour réaliser la descente de charges au droit du linteau à dimensionner.





Figures 14 & 15 : Ouverture existante au R+2 montrant la composition du mur

III.3 VOLET 2 : CAPACITE PORTANTE DU PLANCHER BAS, LOCAL D'ARCHIVES (R+2)

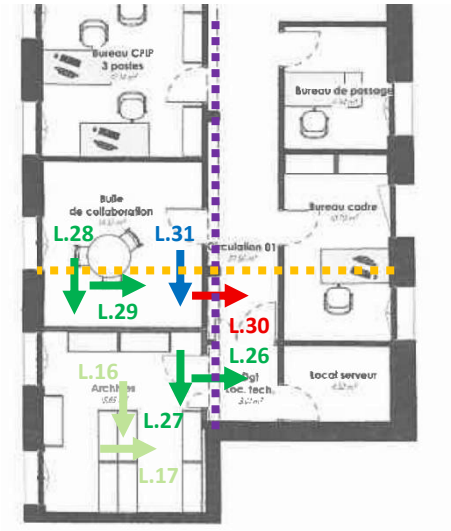
Le second volet de la présente mission porte sur la détermination des charges d'exploitation admissibles du plancher bas au droit du futur local d'archives implanté au R+2. Cette destination d'usage nécessite en effet de vérifier que le plancher existant est apte à reprendre les charges d'exploitation propres au stockage d'archives, généralement plus élevées que celles d'un usage de bureau courant.

Afin de déterminer ces charges admissibles, une campagne d'investigations a été menée, associant une auscultation au radar de structure et des sondages de reconnaissance destructifs, permettant d'apprécier le principe constructif du plancher et de relever la géométrie de ses armatures. Les résultats de ces investigations, présentés ci-après, serviront de base à l'étude de capacité portante.

III.3.1 Reconnaissance non destructive au radar de structure

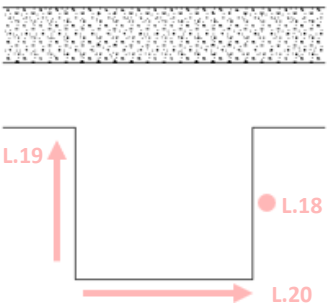
Une première campagne d'auscultation radar a été menée sur l'ensemble du plancher, afin d'en apprécier l'homogénéité générale. Sur la base de ce premier balayage, des auscultations plus ciblées ont ensuite été réalisées au droit de chaque élément porteur (poutre principale, poutre secondaire, dalle). L'implantation de ces dernières est reprise ci-dessous.





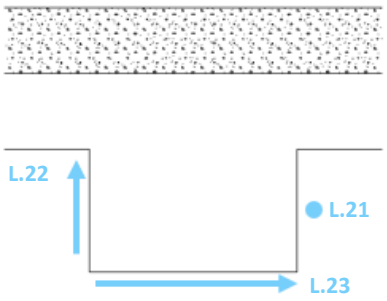
Poutre principale

(repère violet sur le plan zoomé)



Poutre secondaire

(repère orange sur le plan zoomé)



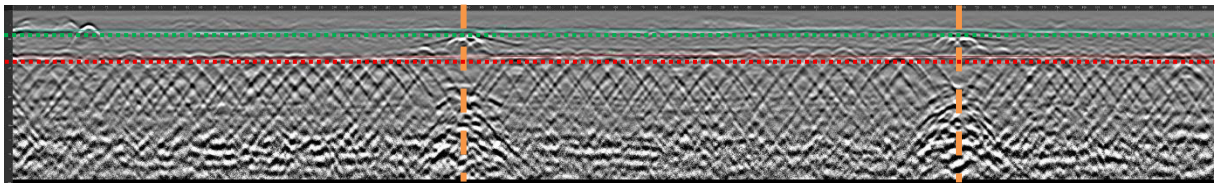
Légende :

Etude de l'ensemble de la zone		: Ligne radar en surface du plancher bas du R+2
Etude de la dalle		: Ligne radar en surface (recherche d'armature de chapeau)
		: Ligne radar en sous face (recherche d'armature de flexion)
Etude de la poutre principale		: Ligne radar en surface (recherche d'armature de chapeau)
		: Ligne radar sur l'élément (recherche d'armature de flexion)
Etude de la poutre secondaire		: Ligne radar en surface (recherche d'armature de chapeau)
		: Ligne radar sur l'élément (recherche d'armature de flexion)

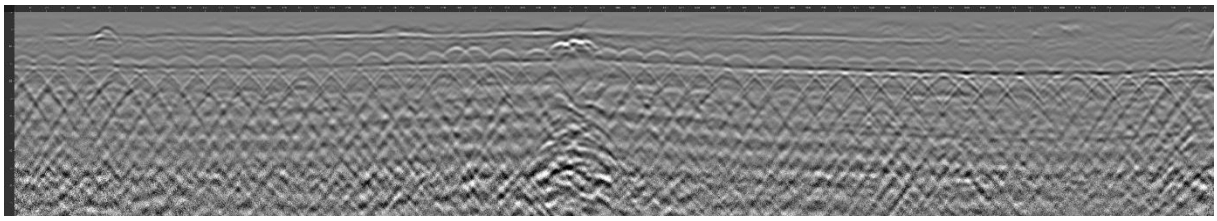
III.3.1.1 Auscultations radar sur l'ensemble de la zone concernée par l'implantation des archives

Les auscultations radar réalisées sur le plancher bas du R+2, au droit du futur local d'archives, confirment un principe constructif homogène sur l'ensemble de la zone, correspondant au troisième principe constructif identifié en présentation générale : une dalle béton reprise sur des poutres principales et secondaires.

La géométrie relevée fait apparaître une épaisseur totale de plancher de 15 cm (interface rouge sur la ligne 10), décomposée en une chape de 5 cm (repère vert sur la ligne 10) et une dalle béton de 10 cm. L'entraxe des poutres secondaires (repère orange) a été mesuré à 3,67 m.



Ligne 10

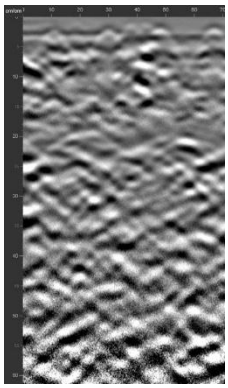


Ligne 11

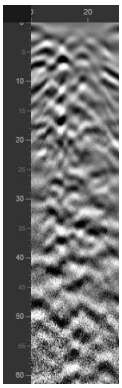
III.3.1.2 Auscultations radar sur la poutre principale

La poutre principale présente une largeur de 22 cm et une hauteur de retombée de 19 cm, sous une table de compression de 10 cm d'épaisseur. Sa portée nu à nu est de 3,45 m.

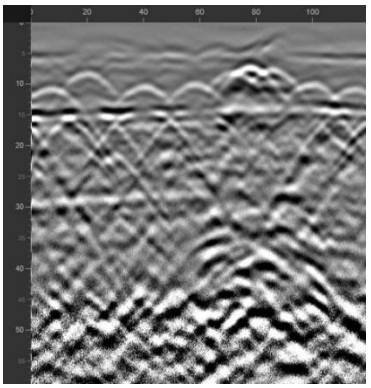
Les armatures horizontales (ligne 20) sont disposées en deux lits. Les cadres (armatures verticales ; ligne 18) présentent un espacement de 18 cm à l'approche des appuis. Pour finir, nous notons la présence d'armatures de chapeaux.



Ligne 18 (Détection des armatures verticales)



Ligne 20 (Détection des armatures horizontales)

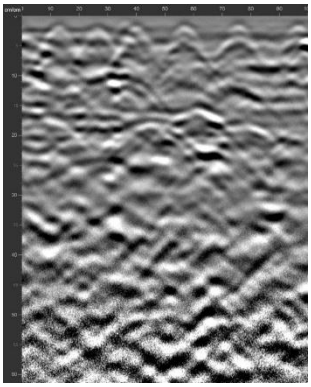


Ligne 30 (Détection des armatures de chapeau)

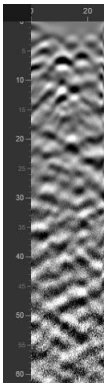
III.3.1.3 Auscultations radar sur la poutre secondaire

La poutre secondaire présente une largeur de 22 cm et une hauteur de retombée de 13 cm, sous une table de compression de 10 cm d'épaisseur. Sa portée nu à nu est de 3,95 m.

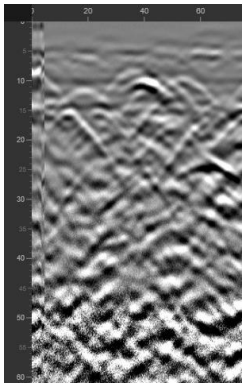
Les armatures horizontales (ligne 23) sont disposées en deux lits. Les cadres (armatures verticales ; ligne 21) présentent un espacement de 15 cm à l'approche de l'appui. Pour finir, nous notons la présence d'armatures de chapeaux.



Ligne 21 (Détection des armatures verticales)



Ligne 23 (Détection des armatures horizontales)

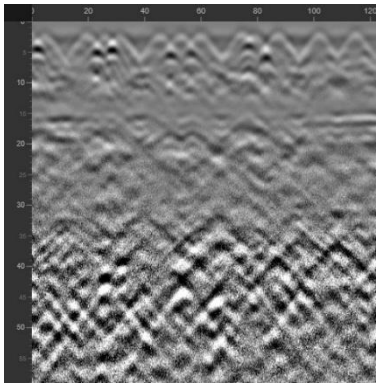


Ligne 31 (Détection des armatures de chapeau)

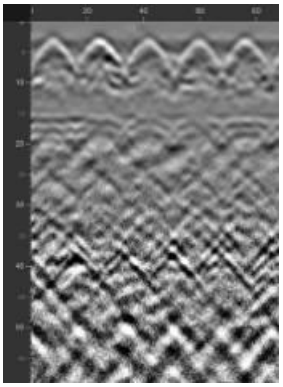
III.3.1.4 Auscultations radar sur la dalle

La dalle présente une épaisseur totale de 15 cm, décomposée en une chape de 5 cm et un béton de 10 cm. Ses portées sont de 3,95 m dans le sens principal et 3,45 m dans le sens secondaire.

Le ferraillage est de type treillis. Les armatures de flexion (ligne 16) ont un espacement moyen de 10 cm pour un enrobage de 9 mm. Les armatures de répartition (ligne 17) ont un espacement moyen de 17 cm pour un enrobage de 21 mm.



Ligne 16 (détection des armatures de flexion)



Ligne 17 (détection des armatures de répartition)

III.3.2 Sondages de reconnaissance des éléments structuraux

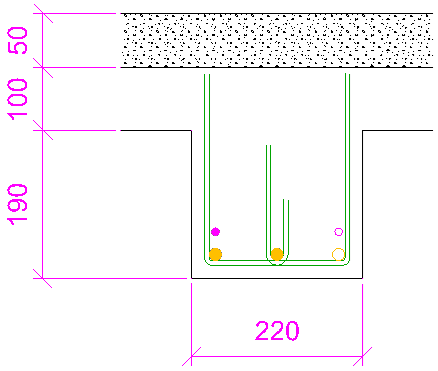
Les auscultations radar, bien que permettant d'apprécier le principe constructif et de relever une première estimation de la géométrie et de l'implantation des armatures, présentent des limites quant à la précision de certaines données, notamment le diamètre exact des armatures ou leur nuance.

Des sondages de reconnaissance destructifs ont donc été réalisés au droit de la poutre principale, de la poutre secondaire et de la dalle, afin de confirmer et de compléter les résultats des auscultations radar. Les résultats sont repris ci-après.

III.3.2.1 Reconnaissance destructive de la poutre principale





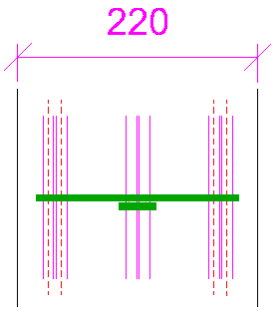


	Section	Enr. Sous face min.	Enr. Latéral min.
	Tor 6	16 mm	16 mm
	Tor 16	23 mm	23 mm
	Tor 10	55 mm	23 mm

Portée nu à nu : 3,45 m





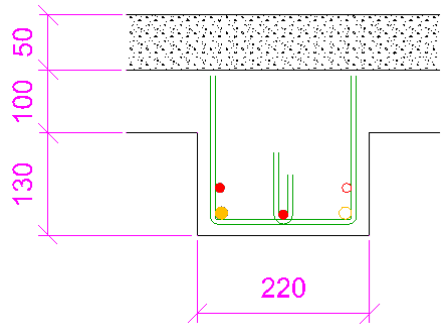


	Section	Profondeur (hors chape)
	Tor 6	37 mm
	Tor 10	43 mm
	Tor 12	52 mm

III.3.2.2 Reconnaissance destructive de la poutre secondaire

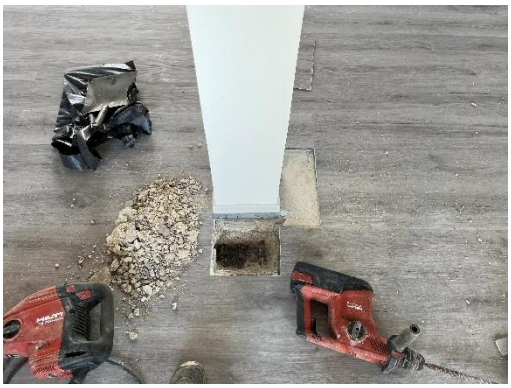




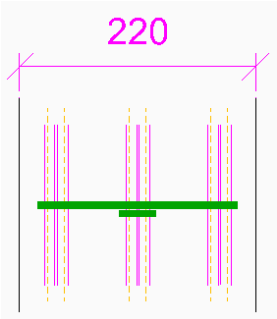


	Section	Enr. Sous face min.	Enr. Latéral min.
	Tor 6	15 mm	15 mm
	Tor 16	20 mm	20 mm
	Tor 12	54 mm	20 mm

Portée nu à nu : 3,95 m

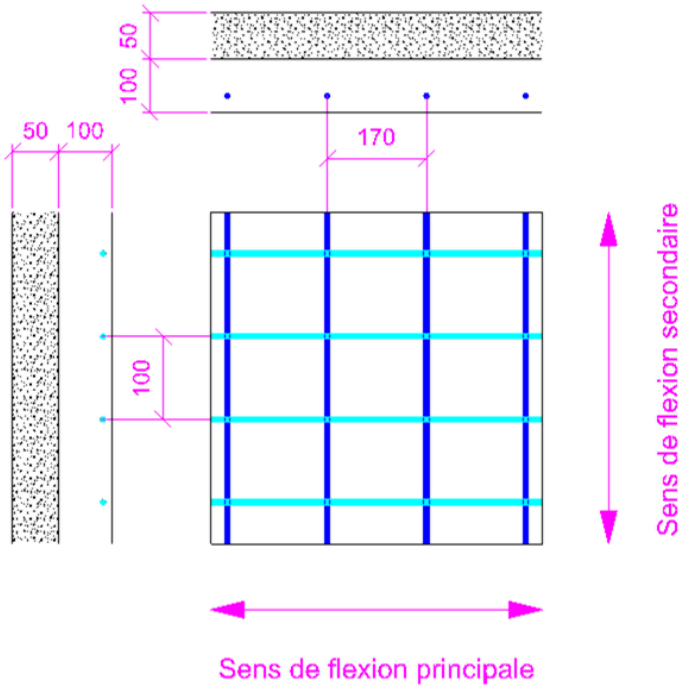






	Section	Profondeur (hors chape)
	Tor 6	40 mm
	Tor 10	48 mm
	Tor 16	63 mm

III.3.2.3 Reconnaissance destructive de la dalle





	Section	Esp.	Enr. Sous face min.
	Flexion : Tor 8	100 mm	9 mm
	Répartition : Tor 8	170 mm	21 mm

Portée sens principal : 3,95 m

Portée sens secondaire : 3,45 m

III.4 VOLET 3 : TENUE AU FEU R 60 DU PLANCHER HAUT, ENSEMBLE DU R+2

Le troisième volet de la présente mission porte sur la vérification de la tenue au feu R60 du plancher haut de l'ensemble du R+2. Cette vérification nécessite de connaître précisément le principe constructif du plancher ainsi que la géométrie et l'enrobage de ses armatures, ces éléments conditionnant directement la résistance au feu de l'ouvrage.

Une inspection du principe constructif du plancher haut a été réalisée, complétée par des auscultations radar et une campagne de sondages de reconnaissance localisés, permettant de relever la géométrie des armatures. Les résultats de ces investigations, présentés ci-après, serviront de base au calcul de vérification de la tenue au feu R60.

III.4.1 Reconnaissance non destructive au radar de structure

Deux lignes radar ont été réalisées en surface du plancher haut de l'ensemble du R+2, afin d'apprécier le principe constructif global et d'identifier l'entraxe des poutrelles et des bandes noyées. Celles-ci sont implantées de la manière suivante :

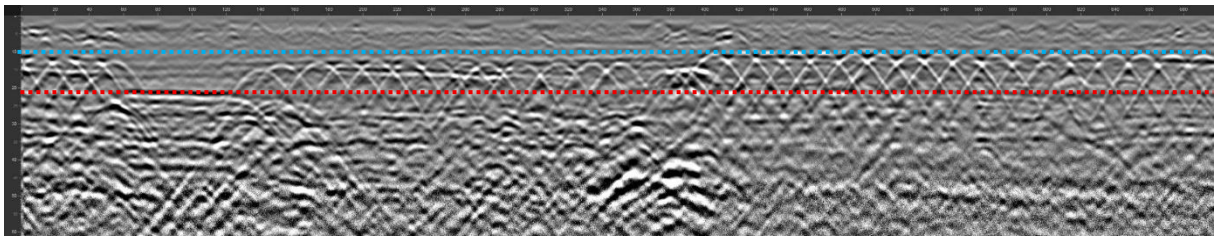
Plan du R+2



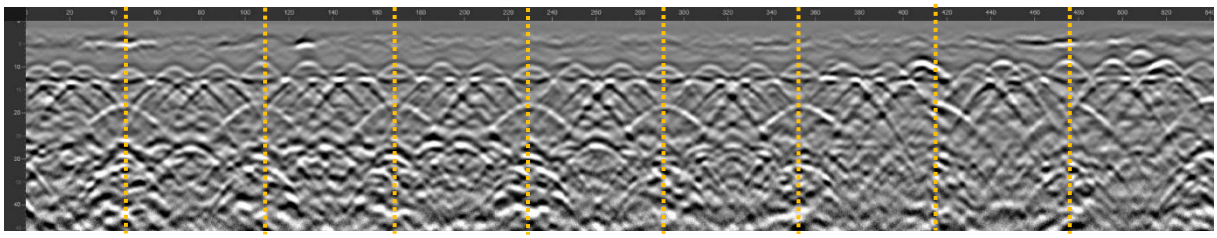
Les auscultations radar réalisées en surface du plancher haut du R+2, au droit du principe constructif N°1, confirment un principe constructif homogène sur l'ensemble de la zone, correspondant à un plancher poutrelles / hourdis béton repris par des bandes noyées reposant sur des poteaux.

La géométrie relevée fait apparaître une épaisseur totale de plancher de 25 cm (interface rouge sur la ligne 5), décomposée en une table de compression de 10 cm (repère vert sur la ligne 5) et un hourdis béton de 15 cm (ligne bleue sur la ligne 5). L'entraxe des poutrelles est mesuré à 62 cm (repère orange).

On notera également le ferraillage de la table de compression suivant une maille de 20 cm x 20 cm.



Ligne 5 (parallèle aux poutrelles)



Ligne 6 (perpendiculaire aux poutrelles)

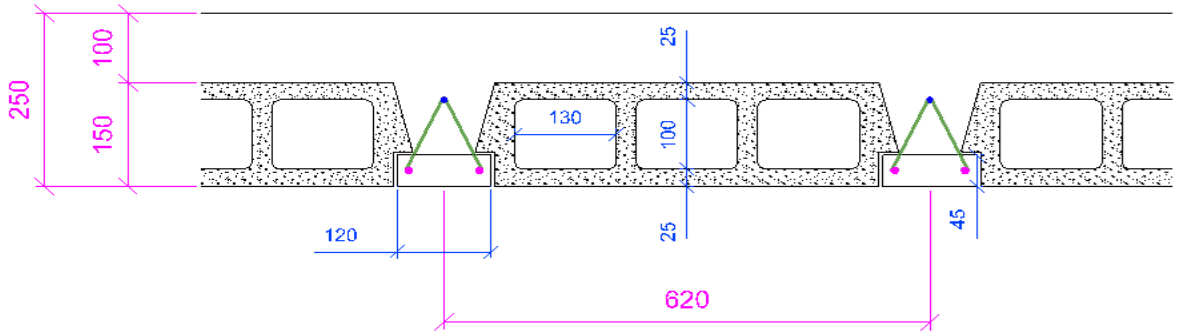
III.4.2 Sondages de reconnaissance des éléments structuraux

Les auscultations radar ont été complétées par des sondages de reconnaissance en vue d'apprécier les nuances et sections employées. Les sondages sont présentés ci-après.

III.4.2.1 Reconnaissance destructive du plancher haut au droit du principe constructif N°1





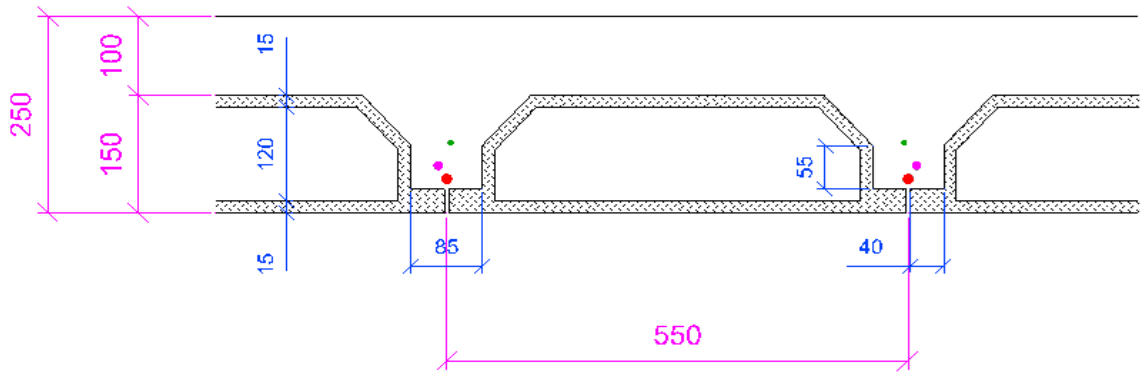


	Section	Enr. Sous face	Géométrie
	HA 10	18 mm	Portée nu à nu : 3,10 m Entraxe : 62 cm
	HA 8	121 mm	
	HA6	Non concerné	

III.4.2.1 Reconnaissance destructive du plancher haut au droit du principe constructif N°2







	Section	Enr. Sous face	Géométrie
	Tor 12	7 mm	Portée nu à nu : 3,95 m Entraxe : 55 cm
	Tor 10	25 mm	
	Tor 6	56 mm	

IV. ÉTUDE DE FAISABILITE DU PROJET D'AMENAGEMENT

IV.1 HYPOTHESES GENERALES

Le présent sous-chapitre rassemble les hypothèses communes aux trois volets de l'étude. Les hypothèses spécifiques à chacun d'eux sont précisées, le cas échéant, dans les chapitres correspondants.

IV.1.1 Textes normatifs

Les vérifications présentées dans ce rapport s'appuient sur les textes suivants :

Référence	Objet	Volets
NF EN 1990	Bases de calcul des structures — combinaisons d'actions	1, 2 et 3
NF EN 1991-1-1	Actions sur les structures — poids volumiques et poids propres	1, 2 et 3
NF EN 1991-1-2	Actions sur les structures exposées au feu	3
NF P 06-001	Charges d'exploitation des bâtiments	1 et 2
NF EN 1992-1-1 et son Annexe Nationale	Calcul des structures en béton — largeur de table participante, position de l'axe neutre	2 et 3
NF EN 1992-1-2 et son Annexe Nationale (P 18-712-1/NA)	Calcul du comportement au feu des structures en béton	3
NF EN 1993-1-1	Calcul des structures en acier — dimensionnement du linteau	1
BAEL 91 révisé 99 (DTU P 18-702)	Vérification de la dalle et du réseau de poutres existants du plancher bas du R+2	2

Le référentiel appliqué est mixte, et ce choix est délibéré. Les éléments existants dont l'usage est simplement précisé et qui ne font l'objet d'aucun renforcement, dalle et réseau de poutres du plancher bas du R+2, sont vérifiés selon le BAEL 91 révisé 99, référentiel adapté à l'appréciation d'un ouvrage existant ; la NF EN 1992-1-1 n'est sollicitée que pour la détermination de la largeur de table participante. Les éléments neufs, linteau métallique du volet 1, sont dimensionnés selon les Eurocodes, de même que la vérification de la stabilité au feu du volet 3, conduite selon la NF EN 1992-1-2.

IV.1.2 Hypothèses sur les matériaux

Aucun essai de caractérisation n'a été réalisé sur les matériaux existants dans le cadre de la présente mission : ni carottage, ni essai scléromètrique, ni prélèvement d'armature. Les valeurs retenues ci-après constituent donc des hypothèses de calcul, établies au regard de l'époque de construction de l'ouvrage et des observations effectuées lors des sondages de reconnaissance.

Deux résistances de béton distinctes sont retenues selon les ouvrages considérés. Les structures en béton armé coulées en place, dalle et réseau de poutres du plancher bas du R+2, sont affectées d'une résistance caractéristique de 35 MPa. Les poutrelles du plancher haut du R+2, bien qu'également

coulées en place, présentent un béton de qualité visiblement moindre, constatée lors des sondages de reconnaissance. Une résistance réduite de 25 MPa leur est donc attribuée.

Nota : *Cette distinction, fondée sur l'appréciation visuelle de l'ingénieur en l'absence d'essai, va dans le sens de la sécurité pour la vérification au feu du volet 3.*

Matériau	Caractéristique	Valeur retenue	Origine
Béton			
Béton — structures coulées en place	Fck	35 MPa	Hypothèse
Béton — poutrelles du plancher haut R+2	Fck	25 MPa	Hypothèse, qualité moindre constatée
Acier			
Aciers de béton armé existants	fe = fyk	420 MPa	Hypothèse ; aciers à haute adhérence constatés lors des sondages
Coefficients partiels			
	γc / γs – Situation durable	1,5 / 1,15	NF EN 1992-1-1, Tableau 2.1N
	γc,fi / γs,fi — situation d'incendie	1,0 / 1,0	NF EN 1992-1-2, clause 2.3 (2)P
	γM,0 — acier de construction	1,0	NF EN 1993-1-1

Pour la vérification de la stabilité au feu du volet 3, les coefficients de réduction des matériaux aux températures élevées sont issus du Tableau 3.2a de la NF EN 1992-1-2 pour les aciers et du Tableau 3.1 pour le béton. Conformément à la clause 3.2.3 (5) de l'Annexe Nationale, le mode d'obtention des aciers ne pouvant être justifié sur un ouvrage existant, les valeurs retenues sont celles des aciers formés à froid de classe N. Les granulats sont supposés siliceux, hypothèse cohérente avec celle retenue par l'Annexe A.NAF pour l'établissement des distributions de température et avec les faciès obtenus lors des sondages.

IV.1.3 Hypothèses sur les charges

IV.1.3.1 Les charges permanentes

Les poids volumiques et charges surfaciques suivants sont retenus pour l'ensemble des descentes de charges :

Matériau ou ouvrage	Valeur retenue
Béton armé structurel	25 kN/m³
Béton de chape	18 kN/m³
Béton de hourdis	22 kN/m³

Matériau ou ouvrage	Valeur retenue
Entrevous en fibre-styrène	0,2 kN/m³
Plâtre	10 kN/m³
Pierre de taille	22 kN/m³
Revêtement de sol (linoléum)	0,08 kN/m²
Cloisonnement léger — équivalence surfacique	0,50 kN/m²
Protection en plâtre, épaisseur 1 cm	0,10 kN/m²

La composition retenue pour chacun des planchers étudiés est détaillée dans le chapitre propre à chaque volet.

IV.1.3.2 Les charges d'exploitation

Les charges d'exploitation sont retenues conformément à la norme NF P 06-001, au titre des bâtiments à usage de bureaux. Le futur local d'archives implanté au R+2 est assimilé à une zone de dépôts, catégorie pour laquelle la norme fixe une charge d'exploitation de 3,5 kN/m².

Destination du local	Valeur retenue	Référence
Zone de bureaux	2,5 kN/m²	NF P 06-001 — bâtiments de bureaux, bureaux proprement dits
Zone d'archives, assimilée à une zone de dépôts	3,5 kN/m²	NF P 06-001 — bâtiments de bureaux, zone de dépôts

Aucune charge climatique (neige ou vent) n'intervient dans les volets étudiés, ceux-ci portant exclusivement sur des planchers intérieurs. Aucune charge concentrée mobile n'est par ailleurs retenue.

IV.1.4 Combinaisons d'actions

Les combinaisons d'actions retenues sont les suivantes :

Situation de projet	Combinaison
État limite ultime, combinaison fondamentale	$1{,}35 \cdot G + 1{,}5 \cdot Q$
État limite de service, combinaison caractéristique	$G + Q$
Situation accidentelle d'incendie	$G + \psi \cdot Q$, avec $\psi = 0{,}30$

En situation d'incendie, l'action variable est prise à sa valeur quasi permanente et non à sa valeur caractéristique, conformément à la NF EN 1990 § 6.4.3.3 et à la NF EN 1991-1-2. Les coefficients partiels appliqués aux matériaux y sont unitaires, comme indiqué au paragraphe IV.1.2.

Pour le dimensionnement du linteau métallique du volet 1, les critères de déformation retenus sont une flèche totale limitée au 1/250 de la portée et une flèche active limitée au 1/300 de la portée.

L'exigence de résistance au feu retenue pour le volet 3 est une stabilité R 60, confirmée par la maîtrise d'ouvrage.

IV.2 VOLET 1 : CREATION D'UNE OUVERTURE EN MUR PORTEUR (R+1)

Le premier volet de la mission porte sur la création d'une ouverture de 80 x 200 cm dans un mur porteur du R+1, dans le cadre du réaménagement des plateaux de bureaux. Il s'agit de vérifier la faisabilité structurelle de cette ouverture et de pré-dimensionner le linteau destiné à reprendre les charges situées au-dessus.

IV.2.1 Rappel des données d'entrée

Les investigations présentées au chapitre précédent ont établi que le mur concerné n'est pas un ouvrage monolithique, mais se compose de deux parois maçonnées en pierre de taille, séparées par une lame de 2 à 3 cm comblée par un panneau de polystyrène et habillées d'une plaque de plâtre côté intérieur.

Cette configuration correspond à la limite structurelle entre les deux ailes du bâtiment, dont l'indépendance a été relevée lors de la présentation de la zone d'étude : chaque paroi appartient à l'une des deux ailes et reprend les charges qui lui sont propres. La création de l'ouverture interrompt donc deux murs distincts, et non un seul.

Le sondage de reconnaissance réalisé sur l'emprise de la future porte a par ailleurs mis en évidence une composition hétérogène (parpaing, vide et brique creuse) caractéristique du rebouchage d'une ancienne ouverture, non représentative de la composition d'origine du mur. C'est cette dernière, relevée au droit de l'ouverture existante du R+2, qui est retenue pour la descente de charges.

IV.2.2 Hypothèses spécifiques au volet

Les hypothèses générales du sous-chapitre IV.1 s'appliquent. Les hypothèses propres au présent volet sont les suivantes :

- Epaisseur retenue pour chacune des deux parois maçonnées : 0,35 m ;
- Hauteur de mur reprise par le linteau : 4,00 m, incluant la hauteur du second étage ;
- Hauteur libre de l'ouverture : 2,00 m ;
- Les deux parois étant dissociées, les linteaux sont étudiés séparément. Par souci d'homogénéité de mise en œuvre, la sollicitation la plus élevée des deux est ensuite retenue pour le dimensionnement d'un profilé unique.

IV.2.3 Descente de charges

Les charges reprises par le linteau, exprimées en charge linéique, sont établies ci-après pour chacune des deux parois.

Origine de la charge	Aile avant	Aile arrière
Sollicitation totale	49,56 kN/ml	50,15 kN/ml

La sollicitation la plus défavorable, soit 50,15 kN/ml, est retenue pour le dimensionnement. Elle se décompose en une charge permanente G de 42,40 kN/ml et une charge d'exploitation Q de 7,75 kN/ml.

Nota : *L'écart entre les deux ailes résulte de la différence de portée et de composition des planchers.*

IV.2.4 Dimensionnement du linteau

Le linteau est constitué d'un profilé métallique en acier S 235, dimensionné selon la NF EN 1993-1-1. La portée nu à nu retenue est de 0,80 m, correspondant à la largeur de l'ouverture communiquée, pour une largeur d'influence de 1,00 m.

Les combinaisons appliquées conduisent à une charge de 50,18 kN/ml à l'état limite de service et de 68,87 kN/ml à l'état limite ultime. Le prédimensionnement, gouverné par le critère de flèche, requiert une inertie minimale de 39,8 cm^4 et un module plastique minimal de 23,4 cm^3.

Le profilé retenu est un IPE 100, de classe de section 1, présentant une inertie de 171 cm^4 et un module plastique de 39,41 cm^3, pour une masse de 8,1 kg/ml. Les vérifications, établies en intégrant le poids propre du profilé, sont récapitulées ci-après.

Vérification	Sollicitation	Résistance	Taux de travail	Statut
Flexion (ELU)	Mmax = 5,52 kN·m	Mc,Rd = 9,26 kN·m	60 %	**Vérifié**
Cisaillement (ELU)	Vmax = 27,58 kN	Vpl,Rd = 68,92 kN	40 %	**Vérifié**
Flèche (ELS)	Critères L/250 et L/300	—	—	**Vérifié**

IV.2.5 Conclusion du volet

La création de l'ouverture de 80 x 200 cm dans le mur porteur du R+1 est structurellement réalisable, sous réserve de la mise en place d'un linteau de reprise dans chacune des deux parois maçonnées.

Un profilé IPE 100 en acier S 235 répond aux sollicitations les plus défavorables des deux ailes et peut donc être retenu de façon identique pour les deux parois. Le profilé IPE 100 permet de reprendre les efforts ; plusieurs profilés juxtaposés et liaisonnés devront toutefois être mis en œuvre dans chaque paroi afin de couvrir l'épaisseur du mur.

Les dispositions suivantes sont à respecter lors de la réalisation des travaux :

- Réalisation d'un étaiement préalable des maçonneries et des planchers avant toute découpe ;
- Traitement successif des deux parois : la seconde ne sera entreprise qu'après mise en charge effective du linteau de la première ;
- Appui de chaque profilé sur une longueur suffisante de part et d'autre de l'ouverture, avec interposition d'un dispositif de répartition sur la maçonnerie ;

- Calage et blocage soigné en sous-face et surface du linteau après pose, afin d'assurer le contact avec la maçonnerie reprise.

Nota : *Le dimensionnement définitif des appuis du linteau (longueur d'appui, dispositif de répartition et vérification de la maçonnerie sous charge concentrée selon la NF EN 1996-1-1) relève de l'entreprise chargée des travaux, dans le cadre de ses études d'exécution. La présente étude établit la faisabilité de l'ouverture et le dimensionnement du profilé ; conformément aux conditions de la mission, elle ne comprend pas de plan d'exécution.*

Ces dispositions feront l'objet d'une vérification lors des visites d'assistance technique prévues au volet 4 de la mission.

IV.3 VOLET 2 : CAPACITE PORTANTE DU PLANCHER BAS, LOCAL D'ARCHIVES (R+2)

Le deuxième volet de la mission porte sur la détermination de la capacité portante du plancher bas du R+2 au droit du futur local d'archives. Il s'agit de vérifier que la structure existante est apte à reprendre les charges d'exploitation propres au stockage d'archives, sensiblement plus élevées que celles d'un usage de bureau courant.

IV.3.1 Rappel des données d'entrée

Les investigations présentées au chapitre précédent ont établi que le plancher bas du R+2 relève du troisième principe constructif identifié : une dalle en béton armé reprise par un réseau de poutres principales et secondaires reposant sur des poteaux.

La vérification porte donc sur deux niveaux structurels distincts : la dalle elle-même, qui porte sur quatre appuis constitués par les poutres, puis le réseau de poutres qui la supporte.

Les caractéristiques géométriques et le ferraillage retenus sont ceux relevés par auscultation radar et confirmés par les sondages de reconnaissance :

- La dalle : épaisseur totale de 15 cm, décomposée en une chape de 5 cm et un béton structurel de 10 cm ; ferraillage en treillis, armatures de flexion espacées de 10 cm avec un enrobage de 9 mm, armatures de répartition espacées de 17 cm avec un enrobage de 21 mm ;
- Poutre principale : largeur de 22 cm et retombée de 19 cm sous une table de compression de 10 cm, pour une portée de 3,45 m entre nus et 3,67 m entre axes ;
- Poutre secondaire : largeur de 22 cm et retombée de 13 cm sous une table de compression de 10 cm, pour une portée de 3,95 m entre nus et 4,17 m entre axes.

La vérification de la dalle est conduite sur le panneau correspondant à l'emprise du futur local d'archives, dont les portées entre nus sont de 3,95 m et 5,50 m, soit un rapport α de 0,72. Le panneau porte donc dans les deux directions.

IV.3.2 Hypothèses spécifiques au volet

Les hypothèses générales du sous-chapitre IV.1 s'appliquent. Les hypothèses propres au présent volet sont les suivantes :

- La structure étant existante, la résistance du béton à la compression est évaluée à un âge supérieur à 28 jours : fcj = 1,10 · fc28 = 38,5 MPa, conformément à l'article A.2.1,11 du BAEL. Il en découle une résistance de calcul fbu de 21,82 MPa et une contrainte limite du béton en service de 23,1 MPa ;
- La résistance de calcul des aciers vaut fed = 365,2 MPa ;
- La fissuration est considérée comme peu préjudiciable, les locaux étant situés à l'intérieur du bâtiment et non exposés aux condensations ;
- Les armatures sont des barres nervurées de diamètre supérieur à 6 mm, affectées d'un coefficient de fissuration η de 1,6.
- La vérification de la dalle est menée selon l'annexe E.3 du BAEL, relative aux panneaux rectangulaires uniformément chargés articulés sur leur contour. Les poutres sont vérifiées en flexion composée sur section en Té, la largeur de table participante étant déterminée selon le paragraphe 5.3.2.1 de la NF EN 1992-1-1.

IV.3.3 Descente de charges

Les charges permanentes retenues sur le plancher sont les suivantes :

Origine de la charge	Valeur
Poids propre de la dalle (épaisseur 10 cm)	2,50 kN/m²
Poids propre de la chape (épaisseur 5 cm)	0,90 kN/m²
Revêtement de sol (linoléum)	0,08 kN/m²
Protection en plâtre (épaisseur 1 cm)	0,10 kN/m²
Cloisonnement léger (réseau de poutres uniquement)	0,50 kN/m²

Nota : *Le poids propre des poutres est introduit directement dans le modèle de calcul et n'est donc pas repris dans le tableau ci-dessus.*

Deux états de charge sont examinés. L'état actuel correspond à l'usage de bureau existant, avec une charge d'exploitation de 2,5 kN/m². L'état projeté correspond à l'implantation du local d'archives, avec une charge d'exploitation de 3,5 kN/m² au titre des zones de dépôts de la NF P 06-001. La comparaison des deux états permet d'apprécier la marge réellement mobilisée par le changement de destination.

IV.3.4 Détermination des sollicitations

Les sollicitations sont déterminées au moyen d'une modélisation aux éléments finis du plancher, établie pour chacun des deux états de charge. Les moments ainsi obtenus sont ensuite injectés dans les feuilles de vérification de section.

Élément vérifié	État actuel	État projeté
Dalle — travée, sens lx	10,56 kN·m/m	12,43 kN·m/m
Dalle — travée, sens ly	6,53 kN·m/m	7,68 kN·m/m
Poutre principale — travée	28,01 kN·m	33,25 kN·m
Poutre secondaire — travée	23,66 kN·m	27,48 kN·m
Poutre principale — appui	30,64 kN·m	35,08 kN·m
Poutre secondaire — appui	41,72 kN·m	47,20 kN·m

Les sondages de reconnaissance ont établi l'absence d'armatures en chapeau au droit des appuis de la dalle. Celle-ci ne peut donc pas développer de moment négatif sur son contour et fonctionne en panneau articulé, ce qui correspond précisément à l'hypothèse de l'annexe E.3 du BAEL retenue pour la vérification : la totalité du moment isostatique est reprise en travée, sans report sur appuis.

Il est à noter que l'article A.8.2,43 du BAEL prévoit, sur les parties du contour où peuvent se développer des moments d'encastrement partiels, des armatures en chapeau capables d'équilibrer au moins 0,15 fois le moment maximal en travée. Ces armatures étant absentes de l'ouvrage existant, une fissuration en face supérieure au droit des appuis ne peut être exclue. Cette disposition ne remet pas en cause la capacité portante établie ci-après, la vérification étant menée sur l'hypothèse articulée, la plus défavorable en travée.

IV.3.5 Vérifications et taux de travail

La dalle est vérifiée en comparant, pour chaque direction, la section d'acier requise par le calcul à la section réellement en place.

Section de dalle	A en place	A requise (actuel)	Taux	A requise (projeté)	Taux
Travée, sens lx	5,03 cm²/m	3,47 cm²/m	69 %	4,12 cm²/m	82 %
Travée, sens ly	2,96 cm²/m	2,47 cm²/m	84 %	2,92 cm²/m	99 %

Les poutres sont vérifiées en flexion en comparant le moment ultime sollicitant au moment résistant de la section, les contraintes en service étant contrôlées en parallèle.

Section de poutre	Moment résistant	Moment ELU (projeté)	Taux	Statut
Poutre principale — travée	68,13 kN·m	33,25 kN·m	49 %	Vérifié
Poutre secondaire — travée	50,40 kN·m	27,48 kN·m	55 %	Vérifié
Poutre principale — appui	53,87 kN·m	35,08 kN·m	65 %	Vérifié
Poutre secondaire — appui	49,00 kN·m	47,20 kN·m	96 %	Vérifié

Les poutres sont enfin vérifiées à l'effort tranchant selon l'article A.5.1 du BAEL. La vérification porte sur deux conditions distinctes. La première est la non-rupture du béton d'âme par compression. La seconde est l'équilibre des armatures d'âme.

Dans les deux cas, la résistance est gouvernée par les armatures d'âme, la compression du béton d'âme restant très largement hors de cause. La condition de section minimale d'armatures transversales est satisfaite avec un facteur supérieur à trois. L'espacement maximal des cours est également respecté : 180 mm pour une valeur limite de 228 mm sur la poutre principale, 150 mm pour une valeur limite de 174 mm sur la poutre secondaire.

La comparaison aux efforts tranchants sollicitants, établis pour chacun des deux états de charge, conduit aux taux de travail suivants.

Élément vérifié	Effort résistant	Vu actuel	Taux	Vu projeté	Taux	Statut
Poutre principale	100,8 kN	44,18 kN	**44 %**	44,37 kN	**44 %**	**Vérifié**
Poutre secondaire	84,9 kN	46,53 kN	**55 %**	53,44 kN	**63 %**	**Vérifié**

L'effort tranchant n'est donc pas dimensionnant. Le passage à l'état projeté laisse la poutre principale pratiquement inchangée, la surcharge d'archives étant reprise en premier lieu par les poutres secondaires, et porte le taux de travail de la poutre secondaire de 55 à 63 %. La marge disponible à l'effort tranchant demeure ainsi sensiblement supérieure à celle constatée en flexion, où la poutre secondaire sur appui atteint 96 % de sa capacité.

L'ensemble des sections est vérifié à l'état projeté. Deux d'entre elles travaillent toutefois à la limite de leur capacité et méritent d'être signalées.

- La travée de dalle dans le sens ly mobilise 99 % de sa section d'acier : la charge d'archives y est reprise sans marge.
- La poutre secondaire sur appui constitue la section gouvernante du volet, avec un taux de travail de 96 % en flexion à l'état limite ultime.

IV.3.6 Conclusion du volet

Le plancher bas du R+2 est en capacité de reprendre la charge d'exploitation de 3,5 kN/m² correspondant à l'implantation du local d'archives, telle que définie par la NF P 06-001 au titre des zones de dépôts.

Cette conclusion appelle deux réserves.

- La capacité du plancher est atteinte sans marge significative : la poutre secondaire sur appui travaille à 96 % en flexion. Toute augmentation ultérieure de la charge d'exploitation, ou toute densification du stockage au-delà de 3,5 kN/m², nécessiterait une nouvelle étude.
- La charge retenue correspond à un stockage sur rayonnages fixes de hauteur courante. **La mise en œuvre de rayonnages mobiles de type compactus, dont la charge au mètre carré est nettement supérieure, n'est pas couverte par la présente vérification**.

Il appartient donc à la maîtrise d'ouvrage de confirmer que la configuration de stockage retenue reste compatible avec la charge d'exploitation de 3,5 kN/m² prise en compte, et de limiter l'usage du local en conséquence.

IV.4 VOLET 3 : TENUE AU FEU R 60 DU PLANCHER HAUT (ENSEMBLE DU R+2)

Le troisième volet de la mission porte sur la vérification de la stabilité au feu du plancher haut du R+2. L'exigence retenue est une résistance R 60, confirmée par la maîtrise d'ouvrage. Elle porte sur la capacité portante de l'ouvrage en situation d'incendie, et non sur ses seules performances de compartimentage.

IV.4.1 Rappel des données d'entrée

Les investigations ont établi que le plancher haut du R+2 relève du premier et second principe constructif identifié :

- Premier principe constructif : un plancher à poutrelles et hourdis béton repris par des bandes noyées reposant sur des poteaux. L'épaisseur totale du plancher est de 25 cm, décomposée en une table de compression de 10 cm et un hourdis de 15 cm.
- Second principe constructif : un plancher à poutrelles et hourdis fibre-styrène repris par des poutres reposant sur des poteaux. L'épaisseur totale du plancher est de 25 cm, décomposée en une table de compression de 10 cm et un hourdis de 15 cm.

Les caractéristiques sont reprises dans le tableau ci-dessous :

Caractéristique	Zone 1	Zone 2
Portée entre axes	3,45 m	4,17 m
Entraxe des poutrelles	0,62 m	0,55 m
Largeur de la poutrelle	120 mm	85 mm
Nature des entrevous	Hourdis béton	Entrevous en fibre-styrène
Armatures tendues relevées	1 lit : 2 HA 10	3 lits : 1 HA 12, 1 HA 10, 1 HA 6
Distance à l'axe du lit inférieur	23 mm	13 mm
Protection en sous-face	Aucune	Plâtre, épaisseur 1 cm

Les distances à l'axe des armatures, comprises entre 13 et 23 mm, constituent la donnée déterminante du présent volet : ce sont elles qui gouvernent la température atteinte par les aciers tendus et, par conséquent, la capacité résiduelle des poutrelles en situation d'incendie.

IV.4.2 Hypothèses spécifiques au volet

Les hypothèses générales du sous-chapitre IV.1 s'appliquent. Les hypothèses propres au présent volet sont les suivantes :

- Les coefficients partiels appliqués aux matériaux sont unitaires, conformément à la clause 2.3 (2)P de la NF EN 1992-1-2 ;
- La combinaison d'actions retenue est la combinaison accidentelle G + 0,30 · Q ;
- Les températures atteintes par les armatures sont relevées sur les abaques de l'annexe A.NAF, qui se substitue en France à l'annexe A de la norme, l'annexe nationale rendant cette substitution normative ;
- Le coefficient de réduction des aciers est pris dans le Tableau 3.2a, classe N, colonne des aciers formés à froid : le mode d'obtention des aciers ne pouvant être justifié sur un ouvrage existant, la clause 3.2.3 (5) de l'annexe nationale impose cette colonne ;
- La table de compression, située côté non exposé, demeure à température ambiante : le coefficient de réduction du béton comprimé est donc pris égal à 1,00 ;
- Les poutrelles étant isostatiques, aucune capacité de rotation sur appui n'est mobilisée.

La vérification est menée selon deux voies successives : d'abord les données tabulées de la section 5, puis, celles-ci n'étant pas satisfaites, le calcul de la capacité résiduelle en flexion.

IV.4.3 Températures atteintes et capacité résiduelle des aciers

Les températures relevées sur les abaques, et les coefficients de réduction qui en découlent, sont les suivants :

Zone et lit d'armatures	Distance à l'axe	Température	ks(θ)	Résistance résiduelle
Zone 1 — lit unique, 2 HA 10	23 mm	750 °C	0,115	48,3 MPa
Zone 2 — lit 1, 1 HA 12	13 mm	850 °C	0,095	39,9 MPa
Zone 2 — lit 2, 1 HA 10	30 mm	700 °C	0,120	50,4 MPa
Zone 2 — lit 3, 1 HA 6	59 mm	600 °C	0,400	168,0 MPa

Ces valeurs traduisent la réalité physique du problème : pour une limite d'élasticité initiale de 420 MPa, les armatures les plus exposées ne conservent au bout de soixante minutes qu'environ un dixième de leur résistance. Seul le troisième lit de la zone 2, situé à 59 mm de la face exposée, conserve une capacité significative.

IV.4.4 Sollicitations et vérifications

Les sollicitations et les capacités résistantes, à froid puis en situation d'incendie, sont récapitulées ci-après.

Vérification	Zone 1	Zone 2
Charge linéique à froid	6,62 kN/m	4,86 kN/m
Moment sollicitant à froid	9,85 kN·m	10,56 kN·m
Moment résistant à froid	13,02 kN·m	18,07 kN·m
Taux de travail à froid	**76 %**	**59 %**
Charge linéique en situation d'incendie	3,64 kN/m	2,48 kN/m
Moment sollicitant en situation d'incendie	5,42 kN·m	5,40 kN·m
Moment résistant en situation d'incendie	1,72 kN·m	2,85 kN·m
Taux de travail en situation d'incendie	**315 %**	**190 %**

À température ambiante, les deux zones sont vérifiées avec une réserve confortable : 76 % en zone 1 et 59 % en zone 2. La structure est donc vérifiée à froid pour son usage courant.

En situation d'incendie, en revanche, la capacité résistante s'effondre. Le moment résistant chute à 1,72 kN·m en zone 1 et 2,85 kN·m en zone 2, pour des moments sollicitants de l'ordre de 5,4 kN·m dans les deux cas. Les taux de travail atteignent 315 % et 190 % : la capacité est dépassée d'un facteur trois en zone 1 et d'un facteur deux en zone 2.

IV.4.5 Vérification par les données tabulées

La voie des données tabulées, examinée au préalable, n'aboutit pas davantage.

En zone 1, pour une largeur de poutrelle de 120 mm, le Tableau 5.5 exige une distance à l'axe de 40 mm en sous-face pour une durée R 60, la clause 5.6.1 (8) portant en outre à 50 mm la distance au parement latéral des armatures d'angle des poutres à un seul lit. La distance relevée en sous-face est de 23 mm. L'épaisseur d'âme est en revanche satisfaisante, avec 120 mm pour un minimum de 100 mm en classe WA.

En zone 2, la largeur d'âme de 85 mm est inférieure au minimum de 100 mm requis en classe WA pour une durée R 60. La section sort donc du domaine d'application des données tabulées, indépendamment même de la distance à l'axe, qui n'est que de 13 mm.

IV.4.6 Conclusion du volet

La stabilité au feu R 60 du plancher haut du R+2 n'est pas vérifiée, ni en zone 1 ni en zone 2, et ce par les deux voies de justification admises par la norme.

La cause est unique et structurelle : les enrobages de l'ouvrage, compris entre 13 et 23 mm, sont très inférieurs aux distances à l'axe requises pour une résistance d'une heure. Ils correspondent à des pratiques de construction antérieures aux exigences actuelles de résistance au feu.

L'atteinte de l'exigence R 60 suppose donc la mise en œuvre d'une protection rapportée. Les pistes suivantes peuvent être envisagées :

- Application en sous-face d'un enduit de protection à base de plâtre, dont l'efficacité est présentée au chapitre des préconisations ;
- Mise en œuvre de tout autre procédé de protection rapportée (enduit projeté spécifique, flocage, plafond de protection).

Dans les deux cas, le procédé retenu devra faire l'objet d'un avis technique ou d'un procès-verbal de classement établissant la durée de résistance obtenue, ainsi que d'une justification par son fournisseur au regard de la configuration réelle du plancher. La vérification structurelle devra alors être reprise avec le champ de températures résultant de la protection retenue, sauf si le procès-verbal du système couvre directement la configuration.

V. SYNTHESE & CONCLUSIONS

Notre mission d'étude structurelle portait sur un immeuble existant situé 2 avenue Antoine Chanut à Creil (60100), dans le cadre du projet d'aménagement de plateaux de bureaux aux niveaux R+1 et R+2 destinés à l'implantation d'une Antenne Locale d'Insertion et de Probation. Cette mission a été confiée au bureau d'études CIMEO Nord par la maîtrise d'ouvrage et la maîtrise d'œuvre afin d'apprécier la faisabilité structurelle du programme d'aménagement projeté.

Les objectifs de la mission étaient :

- Vérifier la faisabilité de la création d'une ouverture de 80 x 200 cm dans un mur porteur du R+1, et pré-dimensionner le linteau de reprise correspondant.
- Déterminer la capacité portante du plancher bas du R+2 au droit du futur local d'archives, et vérifier son aptitude à reprendre la charge d'exploitation propre au stockage d'archives définie par la NF P 06-001.
- Vérifier la stabilité au feu R 60 du plancher haut de l'ensemble du R+2, sur la base des géométries et des enrobages relevés par auscultation radar et par sondages localisés.
- Définir, pour chacun de ces trois sujets, les préconisations techniques nécessaires à la réalisation du projet d'aménagement.

Principe constructif de l'immeuble

L'appréciation du principe constructif de l'immeuble a mis en évidence trois systèmes porteurs distincts selon les zones : un plancher poutrelles-hourdis en béton porté par des bandes noyées sur poteaux dans l'aile perpendiculaire à l'avenue, un plancher à corps creux en fibre-styrène porté par des poutres sur poteaux, et une dalle en béton armé portée par un réseau de poutres principales et secondaires sur poteaux.

Cette diversité constitue une donnée structurante du diagnostic : les trois volets de la mission ne portent pas sur le même système porteur, de sorte que les conclusions établies pour une zone ne sont pas transposables aux autres. L'indépendance structurelle de l'aile perpendiculaire à l'avenue vis-à-vis de l'aile parallèle a par ailleurs conditionné directement l'étude du premier volet.

Volet 1 : Création d'une ouverture en mur porteur (R+1)

Le sondage de reconnaissance a établi que le mur concerné n'est pas un ouvrage monolithique : il se compose de deux parois en pierre de taille de 35 cm d'épaisseur, séparées par une lame de 2 à 3 cm comblée par un panneau de polystyrène. Cette composition correspond à la limite structurelle entre les deux ailes du bâtiment, chaque paroi appartenant à l'une d'elles et reprenant les charges qui lui sont propres. Le sondage a par ailleurs révélé, sur l'emprise même de la future porte, une composition hétérogène caractéristique du rebouchage d'une ancienne ouverture ; la composition d'origine, relevée au droit de l'ouverture existante du R+2, a donc été retenue pour la descente de charges.

Celle-ci conduit à une sollicitation de 50,15 kN/ml pour la paroi la plus chargée. Un profilé IPE 100 en acier S 235 satisfait l'ensemble des vérifications, avec des taux de travail de 60 % en flexion et de 40 % au cisaillement à l'état limite ultime, le prédimensionnement étant gouverné par le critère de flèche.

La création de l'ouverture est donc structurellement réalisable, sous réserve de la mise en place d'un linteau de reprise dans chacune des deux parois. Le point de vigilance essentiel de ce volet tient à ce que l'ouverture interrompt deux murs distincts et non un seul, ce qui impose un étaiement préalable et un traitement successif des deux parois. Le dimensionnement définitif des appuis du linteau relève de l'entreprise chargée des travaux, dans le cadre de ses études d'exécution.

Volet 2 : Capacité portante du plancher bas du R+2

Les auscultations au radar de structure ont établi l'homogénéité de la zone d'implantation du futur local d'archives et confirmé qu'elle relève du troisième principe constructif identifié. Les sondages de reconnaissance ont permis de relever les épaisseurs, les sections et les ferraillages de la dalle et du réseau de poutres.

La vérification a été conduite pour deux états de charge : l'état actuel, correspondant à l'usage de bureau existant avec une charge d'exploitation de 2,5 kN/m², et l'état projeté, correspondant à l'implantation du local d'archives avec une charge de 3,5 kN/m² au titre des zones de dépôts de la NF P 06-001. L'ensemble des sections est vérifié à l'état projeté. La dalle mobilise 82 % de sa section d'acier dans le sens lx et 99 % dans le sens ly. Les poutres sont vérifiées en flexion avec des taux de travail compris entre 49 et 96 %, la section gouvernante étant la poutre secondaire sur appui. L'effort tranchant n'est pas dimensionnant, avec un taux maximal de 63 %.

Le plancher bas du R+2 est donc en capacité de reprendre la charge d'exploitation nécessaire à l'implantation du local d'archives. Cette conclusion s'accompagne toutefois de deux réserves : la capacité du plancher est atteinte sans marge significative, de sorte que toute augmentation ultérieure de la charge d'exploitation nécessiterait une nouvelle étude ; et la charge retenue correspond à un stockage sur rayonnages fixes de hauteur courante, à l'exclusion de tout dispositif de rayonnage mobile de type compactus. Il appartient à la maîtrise d'ouvrage de confirmer la configuration de stockage retenue et de limiter l'usage du local en conséquence.

Volet 3 : Stabilité au feu du plancher haut du R+2

Ce volet porte sur les planchers présentant les principes constructif 1 et 2. Les sondages ont relevé des distances à l'axe des armatures tendues comprises entre 13 et 23 mm. Cette donnée est déterminante, puisque c'est elle qui gouverne la température atteinte par les aciers tendus en situation d'incendie et, par conséquent, la capacité résiduelle des poutrelles.

À température ambiante, les deux zones reconnues sont vérifiées avec une réserve confortable, à 76 % et 59 %. La structure est donc vérifiée à froid pour son usage courant.

En situation d'incendie, en revanche, la vérification n'est satisfaite par aucune des deux voies de justification admises par la norme. Par la voie des données tabulées, la distance à l'axe relevée en zone 1 est de 23 mm pour 40 mm exigés, et la largeur d'âme de la zone 2 est inférieure au minimum du

domaine d'application. Par la voie du calcul, les armatures les plus exposées ne conservent au bout de soixante minutes qu'environ un dixième de leur limite d'élasticité initiale : le moment résistant chute à 1,72 kN·m en zone 1 et 2,85 kN·m en zone 2, pour des moments sollicitants voisins de 5,4 kN·m dans les deux cas, soit des taux de travail de 315 % et 190 %.

La cause de ce constat est unique et de nature constructive : les enrobages de l'ouvrage correspondent à des pratiques de construction antérieures aux exigences actuelles de résistance au feu. Elle n'est imputable ni à un désordre, ni à une dégradation de la structure, et concerne par conséquent l'ensemble du plancher haut du R+2 et non des zones localisées. L'atteinte de l'exigence R 60 suppose donc la mise en œuvre d'une protection rapportée en sous-face du plancher.

Au regard de l'ensemble des éléments recueillis, deux des trois volets de la mission aboutissent à une conclusion favorable. La création de l'ouverture au R+1 est réalisable dans les conditions énoncées au présent rapport, et le plancher bas du R+2 présente une capacité portante compatible avec l'implantation du local d'archives, sous les réserves d'usage rappelées ci-dessus. Aucun de ces deux sujets ne constitue un obstacle à la poursuite du projet d'aménagement.

Le troisième volet constitue en revanche le point conditionnant du programme. La stabilité au feu R 60 du plancher haut du R+2 n'est pas acquise en l'état. La mise à niveau porte sur la totalité de la sous-face du plancher haut du R+2, et non sur des interventions ponctuelles.

Il convient de souligner que ce constat ne traduit aucune insuffisance de l'ouvrage vis-à-vis de son usage actuel : le plancher est vérifié à froid avec une réserve confortable et nous n'avons relevé aucun désordre susceptible de remettre en cause sa capacité portante. C'est l'exigence de résistance au feu attachée au nouvel usage projeté qui n'est pas satisfaite par la structure existante.

Les stratégies de traitement envisageables sont présentées ci-après. Leur choix relève d'un arbitrage technique et économique de la maîtrise d'ouvrage, en concertation avec la maîtrise d'œuvre.

VI. PRECONISATIONS DE TRAVAUX

Les investigations et les vérifications menées dans le cadre de la présente mission conduisent à distinguer deux situations. Les volets 1 et 2 n'appellent aucuns travaux de renforcement : le premier requiert la mise en œuvre d'un ouvrage neuf de reprise, le second se limite à des dispositions d'usage du local. Le volet 3 constitue en revanche le seul sujet imposant une intervention sur la structure existante, et il porte sur la totalité de la sous-face du plancher haut du R+2.

Au regard de l'époque de construction de l'ouvrage, de l'absence de tout désordre structurel et du caractère généralisé de l'insuffisance relevée vis-à-vis de l'exigence de résistance au feu, le choix de la solution de protection relève d'un arbitrage technique et économique de la maîtrise d'ouvrage, en concertation avec la maîtrise d'œuvre, le choix du procédé de protection étant précisé ci-après.

Nota : *Les recommandations présentées ci-après constituent une orientation technique et ne sauraient se substituer à un cahier des charges d'entreprise. Il appartient à l'entreprise chargée des travaux de mener ses propres études en fonction des spécificités du site et des méthodes d'exécution retenues. Ces recommandations pourront faire l'objet d'une mission de maîtrise d'œuvre permettant d'assurer la qualité et la conformité des interventions.*

Volet 1 : Création de l'ouverture en mur porteur du R+1

La création de l'ouverture suppose la mise en place d'un linteau de reprise dans chacune des deux parois maçonnées. La circonstance déterminante de ce volet est que l'ouverture interrompt deux murs structurellement distincts, appartenant chacun à une aile du bâtiment : les travaux doivent donc être conduits paroi par paroi et non comme une intervention unique.

Le principe de mise en œuvre préconisé est le suivant :

- Étaiement préalable des maçonneries et des planchers de part et d'autre du mur, dimensionné par l'entreprise pour reprendre les charges établies au volet 1 ;
- Traitement successif des deux parois : la seconde ne sera entreprise qu'après mise en charge effective du linteau de la première, l'étaiement étant maintenu jusqu'à cette mise en charge ;
- Découpe de la maçonnerie sur l'emprise de l'ouverture et réalisation des engravures d'appui de part et d'autre, sans désolidarisation de la maçonnerie située au-dessus du niveau du linteau ;
- Pose des profilés IPE 100 en acier S 235, juxtaposés et liaisonnés en nombre suffisant pour couvrir l'épaisseur de la paroi, sur une longueur d'appui suffisante de part et d'autre de l'ouverture, avec interposition d'un dispositif de répartition destiné à limiter la contrainte de compression localisée dans la maçonnerie ;
- Calage et blocage soigné en sous-face et en surface du linteau après pose, par bourrage au mortier sans retrait, afin d'assurer le contact effectif avec la maçonnerie reprise et d'éviter tout tassement différé ;
- Réalisation des finitions et reprise de l'habillage en plaque de plâtre.

Points de vigilance :

- La longueur d'appui, le dispositif de répartition et la vérification de la maçonnerie sous charge concentrée doivent être établis selon le paragraphe 6.1.3 de la NF EN 1996-1-1. Ce dimensionnement relève des études d'exécution de l'entreprise ;
- La lame de 2 à 3 cm séparant les deux parois et le panneau de polystyrène qu'elle contient ne participent à aucune reprise de charge et ne doivent en aucun cas servir d'appui au linteau.

Volet 2 : Local d'archives au plancher bas du R+2

Aucuns travaux de renforcement ne sont nécessaires à l'implantation du local d'archives. La capacité portante du plancher étant toutefois atteinte sans marge significative, les dispositions suivantes sont préconisées au titre de la maîtrise de l'usage :

- Limitation de la charge d'exploitation du local à 3,5 kN/m², valeur retenue pour la vérification au titre des zones de dépôts de la NF P 06-001 ;
- Affichage de la charge d'exploitation admissible dans le local, de façon visible et pérenne, afin que l'information soit disponible pour tout futur occupant ou exploitant ;
- Exclusion de tout dispositif de rayonnage mobile de type compactus, dont la charge surfacique est nettement supérieure à la valeur retenue ;
- Maintien de l'emprise du stockage dans la zone vérifiée : toute extension du local d'archives à un autre panneau de plancher nécessiterait une vérification spécifique ;
- Répartition régulière du stockage sur la surface du local, en évitant la concentration des charges les plus lourdes à proximité des appuis de la poutre secondaire, section gouvernante de la vérification.

Volet 3 : Stabilité au feu du plancher haut du R+2

L'exigence de stabilité au feu R 60 n'étant satisfaite par aucune des deux voies de justification de la norme, son atteinte suppose la mise en œuvre d'une protection rapportée sur la totalité de la sous-face du plancher haut du R+2.

L'insuffisance relevée porte sur la distance à l'axe des armatures tendues, comprise entre 13 et 23 mm pour une valeur requise de 40 mm. Celle-ci ne peut être augmentée que par l'interposition d'une épaisseur protectrice entre le foyer et les aciers ; des solutions existent.

À titre de comparaison, le plâtre constitue une très bonne protection au feu : 1 cm de plâtre équivaut, pour l'enrobage, à environ 25 mm de béton. Une épaisseur de 1,5 cm revient ainsi à environ 37 mm de béton. Rapportée aux enrobages relevés, cette protection place les aciers dans une situation comparable à un enrobage d'au moins 50 mm de béton, ce qui offre une protection significative et devrait vraisemblablement permettre d'atteindre la résistance au feu de 60 minutes.

D'autres procédés de protection rapportée peuvent également être retenus (enduits projetés spécifiques, flocages, plafonds de protection). Quel que soit le procédé, sa performance devra être établie par son fournisseur, dans les conditions précisées ci-après.

Dispositions communes

- Le procédé retenu devra faire l'objet d'un procès-verbal de classement ou d'un avis technique en cours de validité, établissant la durée de résistance au feu obtenue selon la NF EN 13501-2 et dans les conditions de l'arrêté du 22 mars 2004 relatif à la résistance au feu des produits, éléments de construction et d'ouvrages ;
- Le procès-verbal devra couvrir la configuration réelle du plancher. À défaut, la vérification structurelle en situation d'incendie devra être reprise avec le champ de températures résultant de la protection retenue, sur la base des données fournies par le fournisseur du procédé ;
- Le plâtre existant en sous-face ne peut être crédité d'aucune performance, faute de procès-verbal de classement et d'identification du produit ;
- L'intervention porte sur la totalité de la sous-face du plancher haut du R+2. Elle doit être menée avant la mise en service des locaux, et coordonnée avec les travaux de cloisonnement et de réseaux du projet d'aménagement.

Il est rappelé que les conclusions du présent rapport reposent sur des sondages ponctuels extrapolés aux zones reconnues homogènes par auscultation radar. N'ayant pas la possibilité d'observer l'état interne de l'ensemble des éléments porteurs, nous ne pouvons nous prononcer au-delà des constats effectués. Toute découverte en cours de travaux s'écartant des compositions relevées devra nous être signalée afin que les vérifications correspondantes soient reprises.