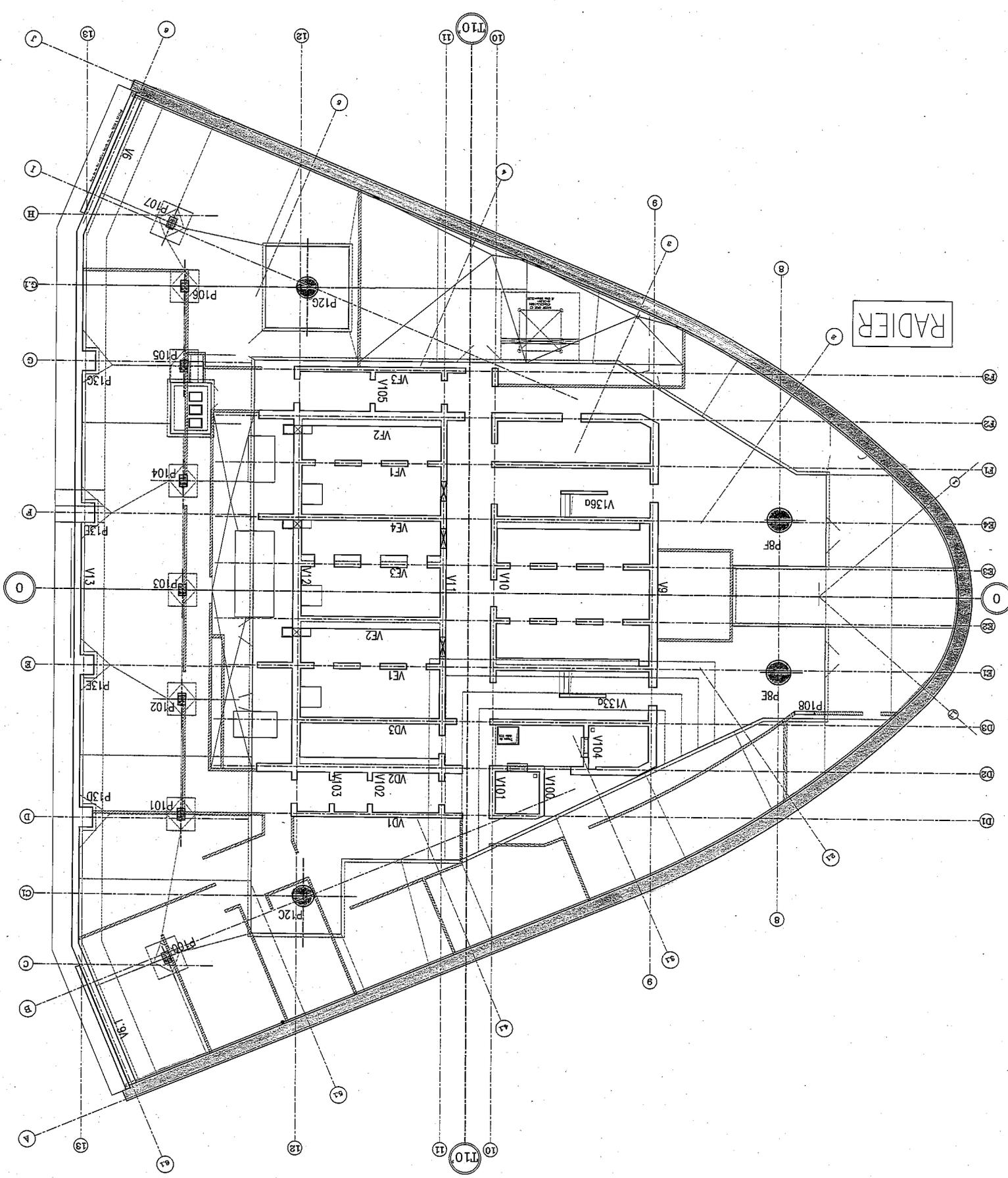


Annexes

Annexe 1 : Plan de coffrage niveau radier	1
Annexe 2 : Les chiffres-clés du projet	2
Annexe 3 : Plan de charges et principes de finition	3
Annexe 4 : Coupe sur façade niveau 9 à 11	4
Annexe 5 : Plan d'installation de chantier	5
Annexe 6 : Plan de coffrage du plancher haut du niveau 13	6
Annexe 7 : Prédimensionnement du plancher	7
Annexe 8 : Avis technique 3/06-490 COFRASTRA 70	8
Annexe 9 : Données d'étude	9
Annexe 10 : Note de calcul du plancher mixte	10
Annexe 11 : Disposition des cadres sur appuis	11
Annexe 12 : Vérification Solive Mixte	12
Annexe 13 : Caractéristiques géométriques d'une section mixte	13
Annexe 14 : Résistance au cisaillement d'un goujon	16
Annexe 15 : Détail de la liaison mur-rideau plancher	17
Annexe 16 : Résultats de la modélisation de la poutrelle cellulaire	18
Annexe 17 : Détail de la solution poutrelle cellulaire	19
Annexe 18 : Modélisation de la façade Nord sous Robot Millenium.Valeur des coefficients selon l'EC0-1 :	20
Annexe 19 : Valeurs des coefficients selon l'EC0-1 :	21
Annexe 20 : Résistance au feu normalisé - Valeurs tabulées pour des poteaux mixtes en profils creux remplis de béton	22
Annexe 21 : Fiche produit - Peinture intumescente	23
Annexe 22 : Note de calcul du poteau mixte	24
Annexe 23 : ENV 1994-1-1 Annexe C méthode simplifiée de calcul de résistance de sections transversales mixtes doublement symétriques soumises à une interaction de flexion compression	25
Annexe 24 : Détails des assemblages boulonnés	26
Annexe 25 : Vue en élévation et vue en plan de la solution mixte proposée	27
Annexe 26 : Vérification du système d'assemblage poutre principale-noyau	28
Annexe 27 : Résistance de calcul individuelle pour les fixations sollicitées au cisaillement et/ou à la traction	29
Annexe 28 : Note de calcul résistance au feu	30
Annexe 29 : Système de protection incendie pour la structure mixte	31
Annexe 30 : Comparaison du poids des structures	33

Annexe 31 : Phases de réalisation d'un étage en dalle alvéolée précontrainte	34
Annexe 32 : Mise en place des dalles alvéolées précontrainte	35
Annexe 33 : Analyse de la mise en œuvre d'une trame pré-assemblée	36
Annexe 34 : Phasage de la solution mixte	34
Annexe 35 : Sous détail de prix	38
Annexe 36 : Solution mixte pour toute la superficie d'un plateau	39

Annexe 1. : Plan de coffrage niveau radier



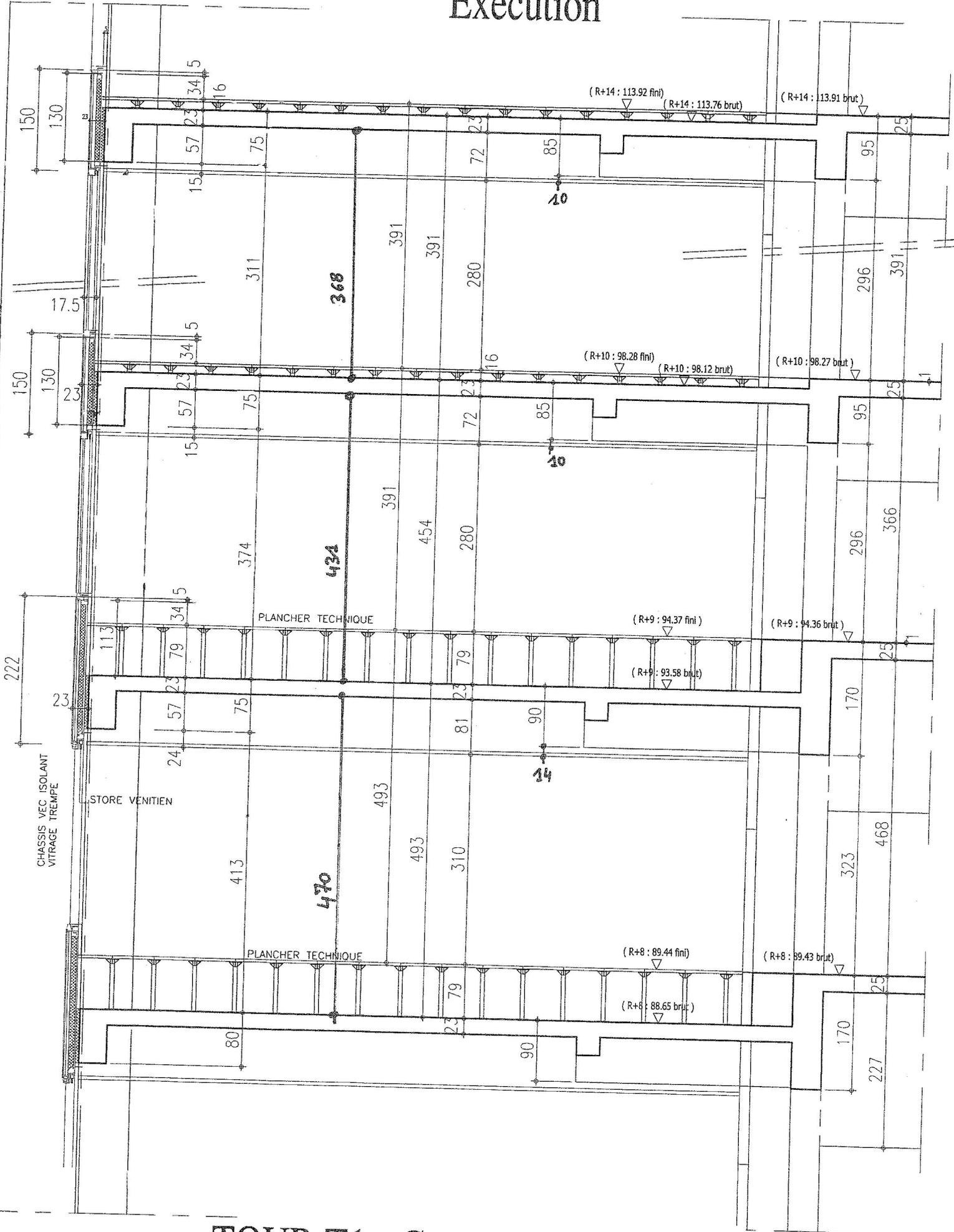
Annexe 2. : Les chiffres-clés du projet

<u>L'ensemble immobilier</u>			
Etage	38		
Occupation	4700		
Place de parking T1	581		
Parking public	185		
<u>Les surfaces</u>			
S.H.O.N.	70 000	m ²	
S.H.O. étage courant	2200	m ²	
<u>Le gros oeuvre</u>			
Paroi moulée	4 300	m ²	Intervenants Solétanche
Terrassement	130 000	m ³	Cosson
Béton (C25 à C80)	50 000	m ³	Béton de France
Acier HA et TS	5 000	T	
Effectif compagnons	110	en pointe	
Heures MO et MOI	270 000	H	
Cycle courant	4	j/niveau	
Cycle plancher	~275	m ² /j/grue	
Grue	2	Unités Tour T1	Parc Matériel
	2	Unités Parking	Bouygues
<u>Les corps d'états</u>			
Charpente coiffée	150	T	Framatec
Étanchéité asphalte	6 000	m ²	SMAC
Mur rideau:			Permasteelisa
Panneau :	47 000	U	
Surface	30 200	m ²	
Poids vitrage	1 330	T	
Ascenseur et MC	18	Unités Tour T1	Otis
	8	Unités Parking	
Ventilo-convecteur et MC	2618	U	Cofatec-Lefort
Luminaire	8 620	U	ETDE-Phibor
Appareil sanitaire	900	U	Saga-Scop-Rodio
Points GTB	94 000	pts	Carrier

Annexe 3. : Plan de charges et principes de finition

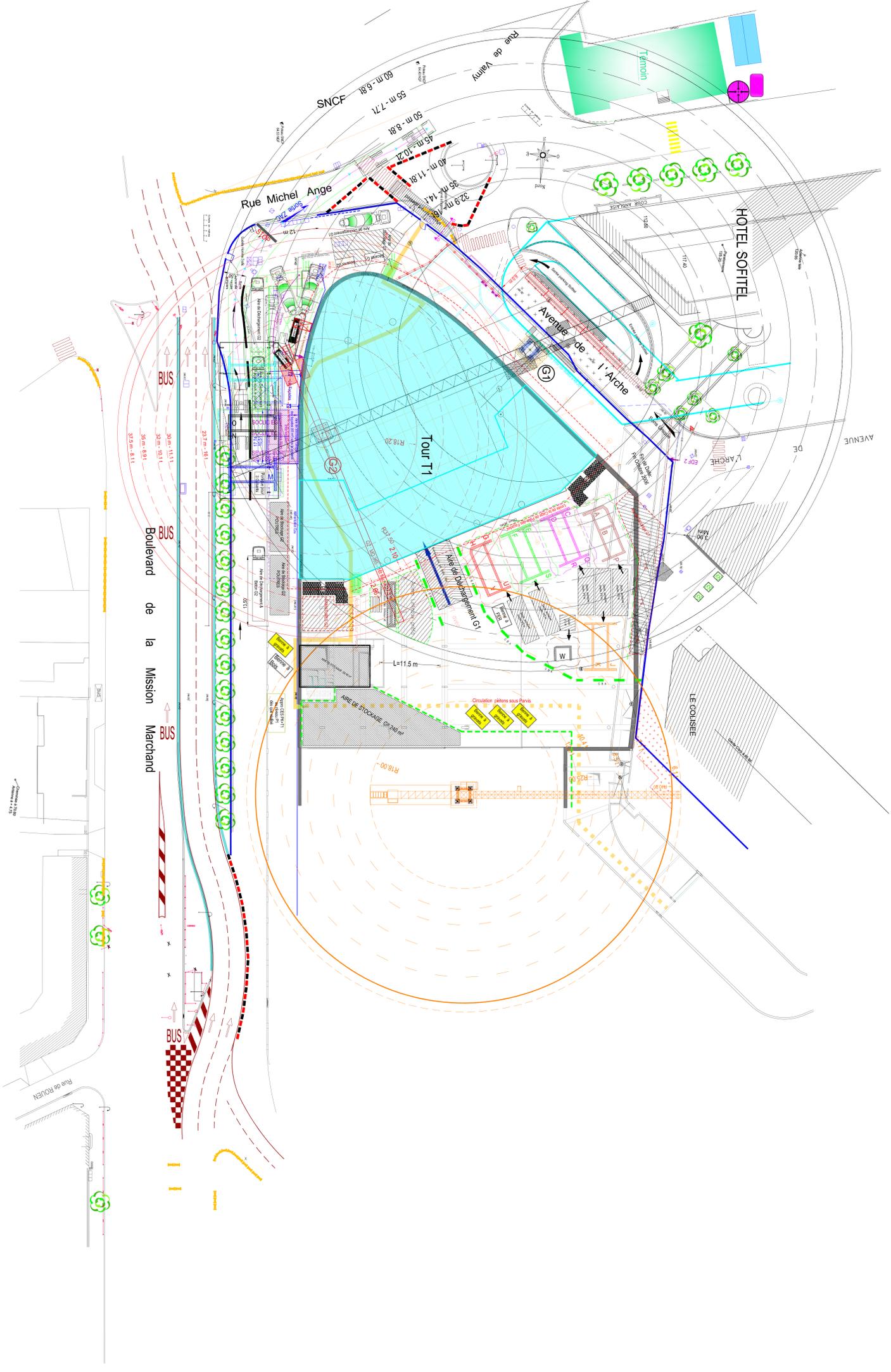
Annexe 4. : Coupe sur façade niveau 9 à 11

Exécution



TOUR T1 - Coupe sur façade

Annexe 5. : Plan d'installation de chantier

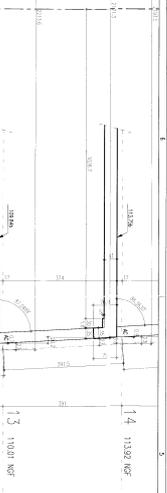


LEGENDES

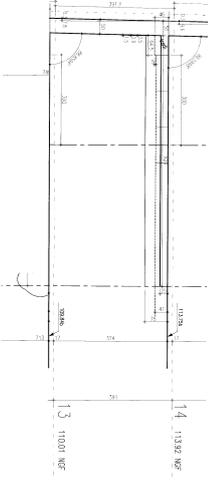
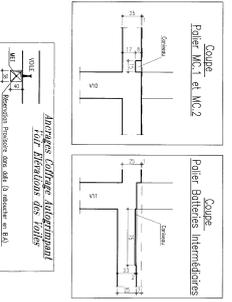
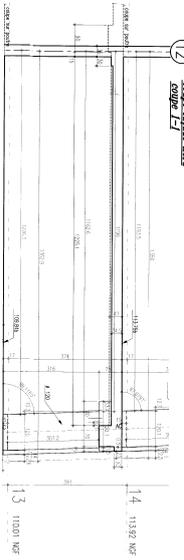
- ZONE DE SURVOL INTERIORE EN CHARGE
- ALIMENTATION ELECTRIQUE DU CHANTIER
- CIRCULATION DES PIETONS A L'INTERIEUR DU CHANTIER
- CHEMINEMENT PIETONS VILLE
- CLOTURE DE LA ZAC : type palissade
- CLOTURE DU CHANTIER : type grillage sur plots mobile
- TALUS
- AIRE DE DECHARGEMENT
- AIRE DE STOCKAGE

Annexe 6. : Plan de coffrage du plancher haut du niveau 13

1 coupe Alti bord
coupe E2

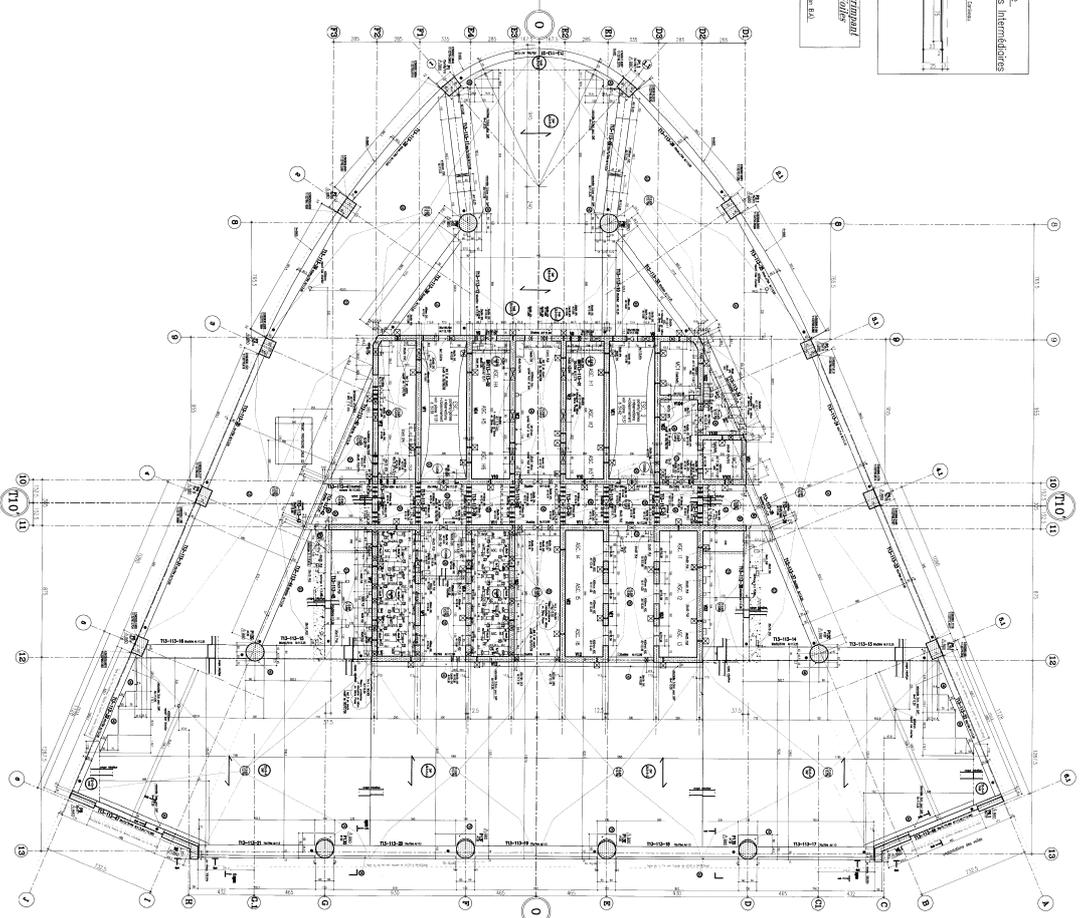


12 coupe façade nord
coupe E3



analyse des plans de ville - superficie à couvrir

type	surface									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
2	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
3	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
4	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
5	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
6	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
7	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
8	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
9	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
10	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
11	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
12	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
13	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
14	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
15	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
16	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
17	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
18	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
19	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
20	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
21	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
22	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
23	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
24	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
25	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
26	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
27	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
28	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
29	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
30	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
31	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
32	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
33	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
34	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
35	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
36	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
37	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
38	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
39	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
40	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
41	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
42	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
43	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
44	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
45	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
46	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
47	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
48	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
49	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
50	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000



REFERENCE: PLAN REVISIONS
→ RIS T11 DE SIN TSM GEN 9900 B repa le 04/05/09



REVISIONS
Date: 04/05/09
RIS T11 DE SIN TSM GEN 9900 B repa le 04/05/09

PLAN GENERAL TSM T11 CONSTATE
L'analyse des plans de ville a permis de constater que le plan de ville existant ne correspond pas à la situation réelle du terrain. Les dimensions des parcelles et des bâtiments sont erronées. Les coordonnées des points de bornage sont également incorrectes. Il est donc nécessaire de procéder à une nouvelle analyse des plans de ville et à la mise à jour des documents cadastraux.

PLAN DE BORNE
Le plan de borne a été dressé en vertu de la loi n° 100 du 10/10/94 relative à la simplification administrative. Il a pour objet de matérialiser les limites des parcelles et des bâtiments. Les bornes ont été posées en vertu de la loi n° 100 du 10/10/94 relative à la simplification administrative.

PLAN DE BORNE
Le plan de borne a été dressé en vertu de la loi n° 100 du 10/10/94 relative à la simplification administrative. Il a pour objet de matérialiser les limites des parcelles et des bâtiments. Les bornes ont été posées en vertu de la loi n° 100 du 10/10/94 relative à la simplification administrative.

ANALYSE DES PLANS DE VILLE

Parcelle	Surface (m²)									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
2	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
3	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
4	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
5	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
6	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
7	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
8	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
9	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
10	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
11	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
12	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
13	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
14	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
15	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
16	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
17	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
18	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
19	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
20	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
21	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
22	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
23	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
24	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
25	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
26	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
27	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
28	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
29	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
30	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
31	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
32	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
33	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
34	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
35	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000

OPERATION RENAISSANCE
ZAC DANTON - COURNOUVE

TOUR T1
ZAC DANTON - COURNOUVE

VALOIR & PINSIN ARCHITECTES
10 rue de la République
92000 Nanterre
Tél : 01 47 30 00 00
Fax : 01 47 30 00 01
www.valoir-et-pinsin.com

PROJET
Rénovation et extension de l'immeuble existant.

DATE
2009

ETAT
Projet de permis de construire.

PROJETANT
Valoir & Pinsin Architectes

CLIENT
Mairie de Cour

Annexe 7. : Prédimensionnement du plancher

- Affaiblissement acoustique

L'efficacité acoustique de la dalle dépend de R_A , l'indice global d'affaiblissement en dB(A). Pour une masse surfacique m , on peut utiliser la loi de masse, soit :

$$\begin{aligned} \Rightarrow \text{Si } 25 < m < 150 \text{ daN/m}^2 & : R_A = 17 \log m + 4 \\ \Rightarrow \text{Si } 150 < m < 500 \text{ daN/m}^2 & : R_A = 40 \log m - 46 \end{aligned}$$

On souhaite 50 dB d'affaiblissement sonore, soit $R_A = 50 \text{ dB(A)}$,

$$\text{On obtient : } 150 < m = 10^{\left(\frac{R_A + 46}{40}\right)} = 251,2 \text{ daN/m}^2 < 500$$

Cette masse surfacique minimum permet d'évaluer l'épaisseur minimum du plancher dans un premier temps. Pour le calcul du poids propre de la dalle, il est nécessaire de déduire le volume occupé par la présence des nervures. Un calcul simplifié prenant en compte une hauteur équivalente de béton, permet de s'affranchir du calcul de la surface des nervures. Suivant les différents types de bac acier nervuré, la hauteur à retrancher à l'épaisseur totale du plancher oscille entre 2 et 2,6 cm. Connaissant le poids surfacique à atteindre pour arriver à un affaiblissement de 50 dBA, il est aisé d'en déduire la hauteur minimale du plancher, par la relation suivante :

$$g = (h - 0,026) * 2400 \geq 251,2 \text{ daN/m}^2 \text{ implique : } h \geq 14 \text{ cm}$$

D'où une hauteur minimale totale de 14 cm

- Critère d'élançement

Dans le cas des planchers situés dans des locaux, il y a lieu de limiter l'élançement des planchers à :

$$\ell/h \leq 36 : \text{ pour les travées continues}$$

avec : h étant l'épaisseur totale du plancher ; soit $\ell/h = 3,20/0,14 = 22,8 \leq 36$

Le critère d'élançement est vérifié.

Remarque 1: A partir des ces deux premiers critères, l'épaisseur minimum aboutit sur 14 cm. Le prédimensionnement fournit uniquement un ordre de grandeur pour un premier calcul, ainsi toute démarche de conception exige plusieurs itérations pour obtenir au final le produit le plus approprié en terme de résistance et bien entendu de coût de revient. Après itérations, une hauteur de plancher de 14 cm permet de vérifier les conditions suivantes de fléchissement et de résistance au feu, mais ne respecte pas tous les critères de vérification en phase d'exploitation. Au final, nous continuerons la suite du développement de l'étude avec une hauteur de **15 cm** choisie pour le plancher.

Annexe 8. : Avis technique 3/06-490 COFRASTRA 70

Avis Technique 3/06-490

Annule et remplace l'Avis Technique 3/03-392

Plancher
Floor
Fußboden

COFRASTRA 70

Titulaire : ARCELOR Construction
20 rue Jacques Daguerre
F-92500 Rueil-Malmaison

Usine : ARCELOR Construction France, usine de STRASBOURG

Ne peuvent se prévaloir du présent Avis Technique que les productions certifiées, marque CSTBat, dont la liste à jour est consultable sur Internet à l'adresse :

www.cstb.fr

rubrique :

Produits de la Construction
Certification

Commission chargée de formuler des Avis Techniques
(arrêté du 2 décembre 1969)

Groupe Spécialisé n° 3

Structures, planchers et autres composants structuraux

Vu pour enregistrement le 15 janvier 2007

CSTB
le futur en construction

Secrétariat de la commission des Avis Techniques
CSTB, 84 avenue Jean Jaurès, Champs sur Marne, F-77447 Marne la Vallée Cedex 2
Tél. : 01 64 68 82 82 - Fax : 01 60 05 70 37 - Internet : www.cstb.fr

Le Groupe Spécialisé n° 3 « STRUCTURES, PLANCHERS ET AUTRES COMPOSANTS STRUCTURAUX » a examiné le 24 octobre 2006 le dossier du procédé de plancher COFRASTRA 70, fabriqué par ARCELOR Construction France et exploité par ARCELOR CONSTRUCTION, Groupe ARCELOR. Il a été formulé sur ce procédé, l'Avis Technique ci-après qui révisé l'Avis Technique 3/02-392.

1. Définition succincte

1.1 Description succincte

Plancher à bacs métalliques collaborants réalisé avec du béton coulé sur des tôles nervurées galvanisées, d'épaisseur totale comprise entre 11 cm et 30 cm. L'épaisseur nominale de la tôle nue est de 0,71 mm, 0,84 mm ou 0,96 mm, la hauteur des nervures des bacs étant de 73 mm.

Tous les types de plafond du commerce peuvent être associés à ce type de plancher : selon les exigences, on peut réaliser des faux plafonds esthétiques, acoustiquement ou thermiquement isolants, ou améliorant le degré coupe-feu du plancher.

1.2 Identification

L'identification des composants se fait par des étiquettes, comme indiqué dans le Dossier Technique établi par le demandeur.

2. AVIS

L'Avis porte uniquement sur le procédé tel qu'il est décrit dans le Dossier Technique joint, dans les conditions indiquées dans le cahier des prescriptions techniques particulières (§ 2.3).

L'Avis ne vaut que pour les fabrications des bacs profilés bénéficiant d'un Certificat CSTBat.

2.1 Domaine d'emploi accepté

L'Avis est formulé pour les utilisations en France européenne, en étages courants et terrasses des bâtiments d'habitation, des bureaux, des bâtiments industriels etc...

2.2 Appréciation sur le procédé

2.21 Aptitude à l'emploi

2.211 Stabilité

La stabilité est normalement assurée en plancher collaborant tôle-béton tant que la contrainte d'adhérence reste limitée dans les conditions indiquées au Cahier des Prescriptions Techniques Particulières.

Dans le cas de contrainte d'adhérence plus élevée, le fonctionnement en plancher collaborant peut être assuré par l'adjonction d'aciers de renfort à haute adhérence, dans les conditions indiquées dans le Cahier des Prescriptions Techniques Particulières.

L'emploi de ce plancher n'est pas envisagé par le présent Avis Technique lorsque la collaboration tôle-béton n'est plus possible, ou lorsque l'épaisseur totale du plancher excède 30 cm.

Le plancher COFRASTRA 70 peut être utilisé en zones sismiques dans les conditions indiquées au Cahier des Prescriptions Techniques Particulières.

2.212 Résistance au feu

La résistance au feu du plancher (sans protection particulière) conformément aux critères énoncés dans l'arrêté du 3 août 1999 du Ministère de l'Intérieur, peut être évaluée comme suit :

- L'étanchéité aux flammes et aux gaz chauds ou inflammables est satisfaisante lorsque les conditions de mise en oeuvre du présent Avis Technique sont respectées.
- L'isolation thermique après différentes durées d'exposition à l'incendie conventionnel (30 min. à 240 min.) est estimée en fonction d'une épaisseur moyenne de la dalle de béton (voir l'annexe n° 2 à l'Avis intitulée "Evaluation de l'isolation thermique vis-à-vis de la résistance au feu des planchers béton avec bacs aciers collaborants").
- La résistance mécanique est jugée satisfaisante (sans vérification supplémentaire) pour une durée d'exposition à l'incendie conventionnel de 30 minutes. Pour des durées supérieures, à défaut de P.V. de classement ou de méthode de calcul agréée fixant une épaisseur de béton pour simuler l'effet de la tôle, la stabilité mécanique peut être estimée conformément aux règles DTU "Méthode de

prévision par le calcul du comportement au feu des structures béton" (tant en ce qui concerne les moments fléchissants en travée que sur appui), en prenant en compte les armatures en acier noyées dans le béton mais en négligeant la résistance mécanique de la tôle d'acier. Les températures sont alors évaluées avec la méthode de transfert thermique du DTU.

Pour les planchers bénéficiant d'une protection thermique par plafond suspendu ou par projection de matériau isolant, le degré de résistance au feu doit être établi par un laboratoire agréé (procès-verbal en cours de validité). Sauf indications contraires du P.V. la mise en oeuvre de ces protections thermiques doit en outre être conforme aux DTU en vigueur (ex. : additif n° 2 du DTU 58.1 pour les plafonds suspendus). Il est à noter que les classements de résistance au feu ne préjugent pas de la durabilité dans le temps de ces protections.

2.213 Prévention des accidents lors de la mise en oeuvre ou de l'entretien

Pour le procédé proprement dit, elle est normalement assurée si les portées délimitées par les appuis et éventuellement les étais n'excèdent pas les valeurs limites résultant du Cahier des Prescriptions Techniques Particulières et si les tôles sont fixées sur leurs appuis au fur et à mesure de leur pose.

2.214 Isolation thermique

Le coefficient U_{bat} moyen de déperdition par transmission à travers les parois déperditives séparant le volume chauffé du bâtiment, de l'extérieur, du sol et des locaux non chauffés se calcule selon les règles Th-U. Ce plancher étant par lui-même peu isolant il peut être nécessaire de compléter son isolation thermique.

2.215 Isolation acoustique

Sans plafond rapporté suspendu, les planchers finis présentent un indice d'affaiblissement acoustique qui dépend de leur masse.

Avec plafond rapporté suspendu, l'isolation acoustique peut être améliorée en fonction de la conception particulière du plafond et de sa suspension. L'appréciation de cette qualité est à faire dans chaque cas soit à partir d'essais, soit selon les indications ci-dessous :

L'isolation acoustique aux bruits aériens d'un ensemble plancher et plafond rapporté suspendu satisfait à la réglementation si la fréquence de résonance de l'ensemble reste inférieure à 60 hertz. Cette fréquence peut être calculée par la formule :

$$f_o = \frac{1}{2\pi} \sqrt{K \left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right)}$$

f_o étant la fréquence de résonance en hertz,

m_1 étant la masse, en kilogrammes, d'un mètre carré de plancher brut,

m_2 étant la masse, en kilogrammes, d'un mètre carré de plafond rapporté,

K étant le coefficient de raideur dynamique du dispositif de suspension du plafond : il s'exprime en Newtons par mètre et il correspond au rapport de la force en Newtons à appliquer au déplacement qui en résulte pour le dispositif de suspension, déplacement exprimé en mètre. Ce coefficient K doit être rapporté à 1 m² de plancher (ex. : s'il y a 4 suspentes par m², le coefficient K à prendre en compte dans la formule est quatre fois celui relatif à une suspente).

Pour apprécier les caractéristiques acoustiques d'un plancher fini exécuté avec ce procédé, on peut consulter :

- le REEF - Sciences du Bâtiment - Partie Acoustique,
- le document "Exemples de solutions pouvant satisfaire au règlement de la construction et/ou aux définitions du label confort acoustique" (Cahier du CSTB 1373 - Livraison 168).

2.216 Finitions - Aspect

Plafonds

Le procédé permet d'appliquer par projection une protection en sous-face des bacs. Il permet également de suspendre des plafonds rapportés.

Sols

Tout revêtement de sol peut être posé sur la table de compression en béton.

2.217 Autres informations techniques

Lors de la vérification du comportement en cas d'incendie la valeur caractéristique à prendre en compte pour la résistance à la compression du béton est de 20 MPa, sauf si une autre valeur peut être justifiée.

2.22 Durabilité - Entretien

Pour les emplois indiqués en 2.1, la durabilité du plancher brut (c'est-à-dire plafond exclu) est équivalente à celle des planchers traditionnels utilisés dans des conditions comparables, sauf pour des utilisations sur locaux humides ou à atmosphère agressive, à moins que la sous-face du plancher ne soit entretenue et comporte une protection complémentaire obturant les joints. La durabilité est donc incertaine pour les emplois sur vide sanitaire faute de possibilité d'entretien.

L'entretien doit être apprécié en fonction des protections complémentaires éventuelles.

2.23 Fabrication et contrôle

La fabrication des tôles est effectuée en usine. Elle doit faire l'objet d'un autocontrôle systématique du fabricant selon les modalités définies au Cahier des Prescriptions Techniques Particulières ; cet autocontrôle doit être surveillé par le CSTB qui délivre un Certificat CSTBat.

2.3 Cahier des Prescriptions Techniques Particulières

2.31 Conditions de conception et de calcul

Elles sont prescrites dans l'annexe 3 à l'Avis Technique formant additif commun aux Avis Techniques formulés sur cette famille de planchers.

L'application de la méthode de dimensionnement ou de justification du plancher, donnée dans l'annexe 3 à l'Avis Technique, doit être effectuée en utilisant les caractéristiques de calcul (valeurs d'utilisation) données dans l'Annexe n° 1 au présent Avis.

En cas d'utilisation en zones sismiques, le repos des bacs sur les appuis ne doit être inférieur ni à la moitié de la hauteur totale du plancher ni à 5 cm. En outre, la tôle doit être fixée sur tous les appuis (intermédiaires et d'extrémité) à l'aide de deux fixations au minimum par bac. Le nombre et le type de ces fixations doivent être déterminés dans chaque cas particulier, en fonction des sollicitations horizontales à transmettre.

2.32 Conditions de fabrication

L'autocontrôle du fabricant doit porter d'une part sur la résistance de la tôle, d'autre part sur les caractéristiques dimensionnelles des bacs.

2.321 Contrôle de la résistance de la tôle

Une plaque d'environ 20 x 20 cm est découpée dans chaque bobine de tôle galvanisée prévue pour le profilage. A partir de cette plaque on prélève une éprouvette de 20 mm de largeur qu'on soumet à l'essai de traction. Pour déduire de cet essai la limite d'élasticité de la tôle, on considère comme épaisseur de l'éprouvette, l'épaisseur nominale de calcul de la tôle nue. La limite d'élasticité ainsi déterminée doit être, dans 95 % des cas, au moins égale à 350 N/mm².

Contrôle dimensionnel après profilage

Ce contrôle qui est réalisé une fois pour chaque commande porte notamment sur les dimensions suivantes :

		Variante 1	Variante 2
Profondeur des bossages:	Ames	2 mm +0,6,-0,3	1,7 mm +0,4,-0,2
	Sommet des ondes		1,7 mm +0,4,-0,2
Hauteur des ondes:		73 mm +2,-1	
Largeur du bac:		732 mm +12,-0	

Marquage

Les bacs doivent être marqués avec le logo CSTB suivi des trois derniers chiffres du numéro de l'A.T, apposé sur au moins 5 % des produits et au moins une fois sur chaque colis.

2.322 Suivi de l'autocontrôle par le CSTB

Le suivi de l'autocontrôle est assuré par les agents du CSTB conformément aux "Règles générales des Certificats CSTBat" à raison de deux visites par an.

2.33 Conditions de mise en oeuvre

- Les liaisons des bacs avec l'ossature doivent être assurées par des clous, des boulons ou des vis autotaraudeuses, soit sur les solives métalliques dans le cas d'ossature métallique, soit sur des platines ou des cornières ancrées dans les supports en béton ou encore dans des inserts en bois noyés dans le béton, sauf les appuis intermédiaires lorsqu'il y a continuité de la tôle. Ces liaisons doivent exister à raison de deux fixations par bac, à chaque extrémité.
- Les étais placés sous les bacs avant coulage du béton doivent respecter les distances prévues dans les calculs.
- Le maintien en position des aciers de renfort prévus dans les calculs doit être assuré par toutes dispositions permettant de respecter les enrobages prévus aux projets.
- Le treillis soudé prévu dans la dalle doit satisfaire aux conditions minimales suivantes :
 - Armatures perpendiculaires aux ondes :
espacement maximal : 20 cm
section (en cm²/m) : la plus grande des deux valeurs suivantes : 0,1 hc ou 2160/σ_{en}
hc étant l'épaisseur du béton de dalle au-dessus des ondes, hc étant limitée supérieurement pour ce calcul à 6 cm, et σ_{en} étant la limite élastique des aciers en daN/cm².
 - Armatures parallèles aux ondes :
espacement maximal : 30 cm
section : la moitié des valeurs précédentes.
- Les joints aux raccordements entre bacs sur locaux humides ou à atmosphère corrosive doivent être obturés.
- La pose de revêtements de sol scellés ou collés étanches à la vapeur ne doit être effectuée qu'après vérification de la siccité du béton.

Conclusions

Le présent Avis annule et remplace l'Avis Technique 3/02-392.

Appréciation globale

Pour cette fabrication bénéficiant d'un certificat CSTBat, l'utilisation du procédé dans le domaine d'emploi accepté est appréciée favorablement.

Validité

5 Ans jusqu'au 31 octobre 2011.

Pour le Groupe Spécialisé n°3
Le Président

Jean-Pierre BRIN

3. Remarques complémentaires du Groupe Spécialisé

Le Groupe tient à souligner qu'il s'est assuré que les performances du produit de la variante 2 étaient au moins égales à celles du produit de la variante 1, et que l'approche consistant à adopter pour les deux variantes, le dimensionnement de la variante 1, était sécuritaire.

Le Rapporteur du Groupe Spécialisé n° 3

Ménad CHENAF

ANNEXE N° 1 A L'AVIS TECHNIQUE

La présente annexe fait partie de l'Avis Technique :

Le respect des valeurs de calcul indiquées est une condition impérative de la validité de l'Avis.

Sont données ci-après les valeurs caractéristiques utiles à l'application de la méthode de dimensionnement et de vérification prescrite dans l'Annexe 3 (Additif commun)

A - CARACTERISTIQUES DES PROFILS COFRASTRA 70

Les valeurs ci-dessous sont données pour un mètre de largeur de bac.

Epaisseur nominale de la tôle(*)		Section (cm ²)	Poids(**) (daN/m ²)	Position fibre neutre (cm)		Moment d'inertie i (cm ⁴)	Modules de résistance (cm ³)	
galvanisée	nue			v _i	v _s		I/v _i	i/v _s
0,75	0,71	11,95	10,05	3,139	4,361	92,495	29,466	21,209
0,88	0,84	14,17	11,79	3,139	4,361	109,672	34,938	25,148
1,00	0,96	16,22	13,40	3,139	4,361	125,529	39,990	28,784

* Tolérances selon les normes P 34-310 et NF EN 10 326

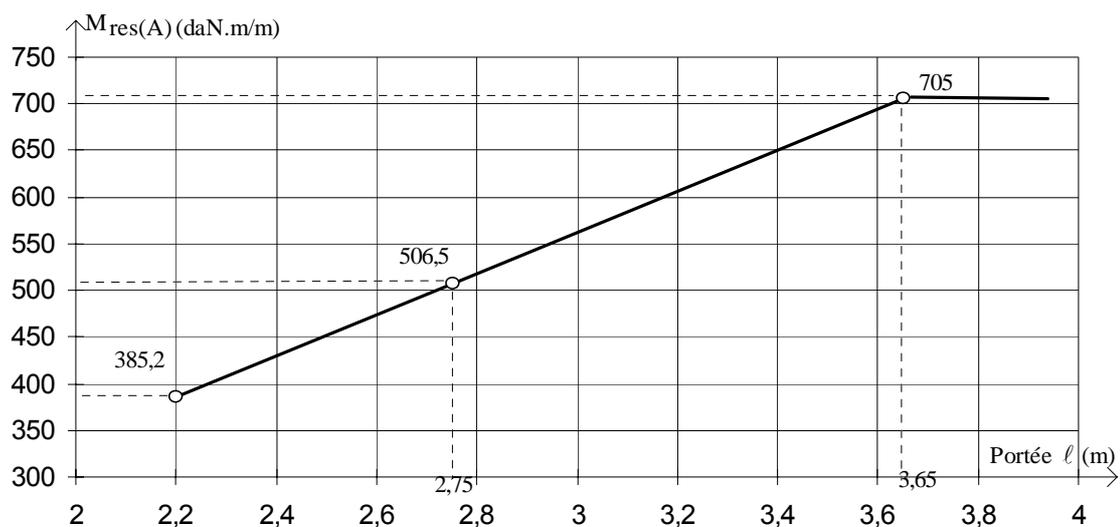
** Les poids correspondent aux tôles galvanisées et tiennent compte des recouvrements.

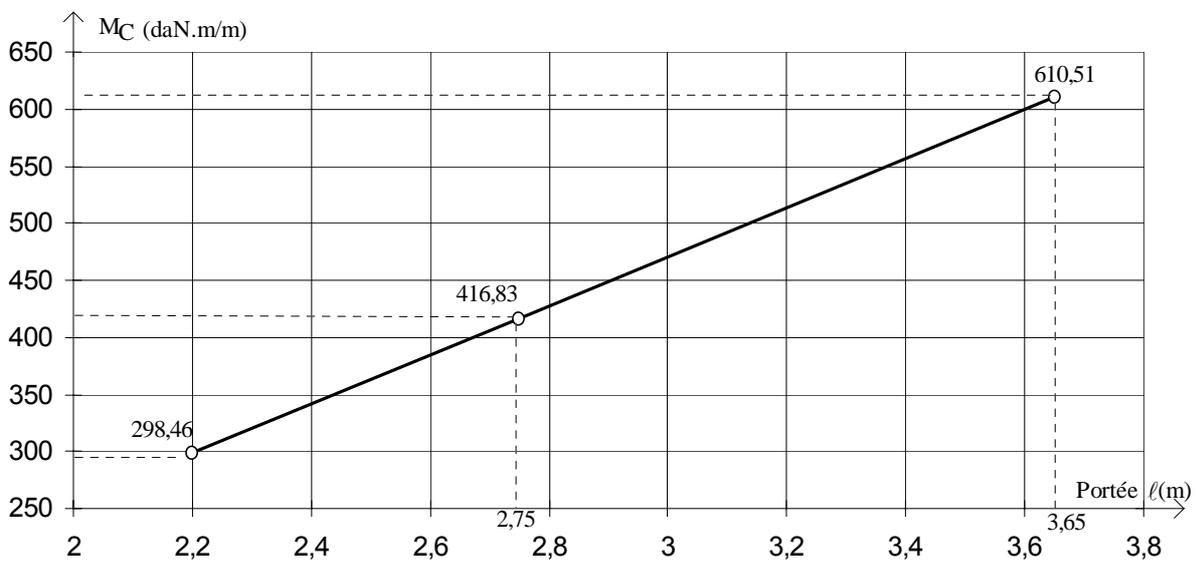
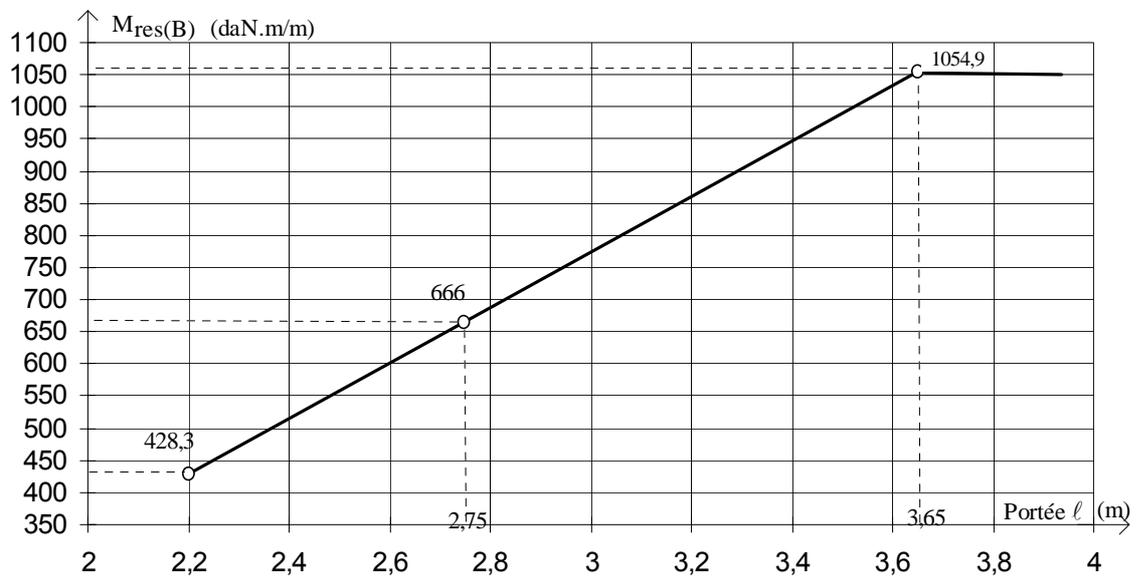
B - VERIFICATIONS EN PHASE DE MONTAGE ET DE COULAGE DU BETON

Pour l'application du § 2.32 de l'Annexe 2, les valeurs des moments résistants plastiques $M_{res(A)}$, $M_{res(B)}$ et des moments de cloquage M_C sont déduites en fonction de la portée ℓ à partir des diagrammes ci-après, utilisables pour $\ell \geq 2,20$ m (correspondant à $0,8\ell_1$) et données pour des tôles d'épaisseur nominale 0,75 mm.

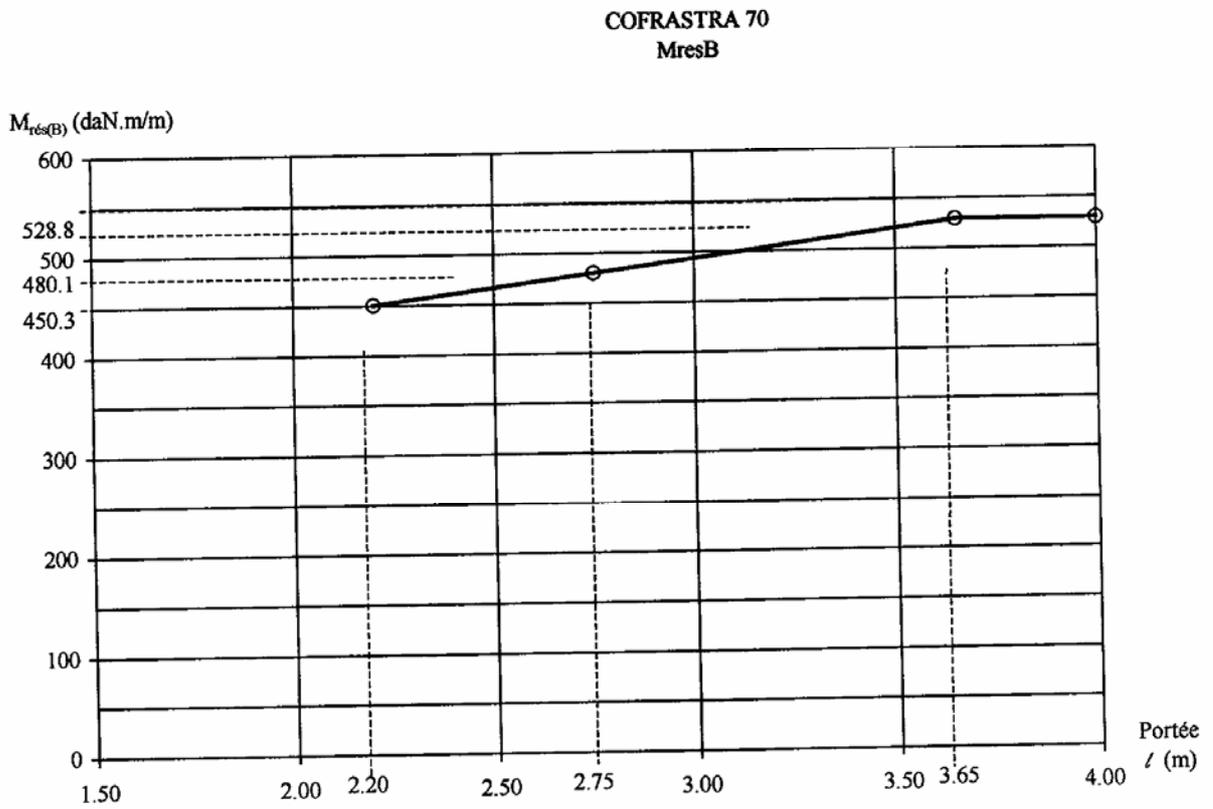
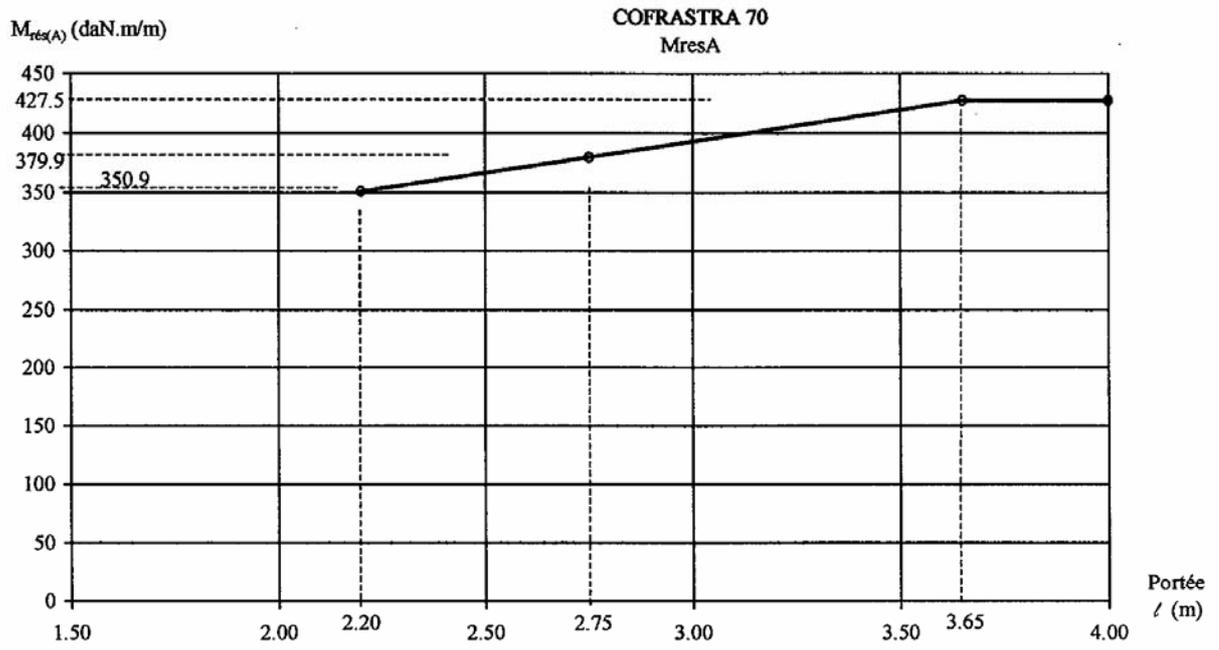
Pour des portées inférieures à $0,8\ell_1$, les justifications sont menées conventionnellement pour une portée fictive de $0,8\ell_1$.

Pour les épaisseurs, 0,88 mm et 1,00 mm, on lit les moments qu'on multiplie par 1,17 et 1,33 respectivement.





Profils prépercés



Nota : les valeurs M_{resc} restent sans changement

c - VERIFICATIONS EN PHASE DEFINITIVE DU MONTAGE COLLABORANT

Collaboration tôle / béton (§ 2.33.1 de l'Annexe 3).

Les valeurs de "m" et "k" sont données dans le système d'unités : longueur en cm, force en daN.

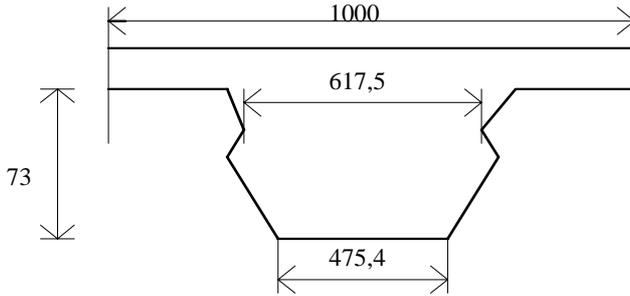
	Résistance (m1, k1)	Glissement	
		Charge statique (m2, k2)	Charge dynamique (m3, k3)
m	3320	3320	2300
k	0,85	0,85	0,85

Cisaillement des nervures (§. 2.333 de l'Annexe 3)

$b_0 = 61,75$ cm pour un mètre de largeur de plancher.

Moments négatifs sur appuis de continuité (§. 2.336 de l'Annexe 3)

Forme de la nervure équivalente en béton :



En raison de la décroissance de la largeur de la zone comprimée vers les fibres les plus comprimées, la contrainte de calcul du béton comprimé est affectée par le coefficient 0,8 (art. A. 4.3,42 des Règles BAEL 91).

Flèches actives

Pour l'application des formules donnant les valeurs de λ à porter dans les équations de calcul de l'inertie fictive, les valeurs à considérer du rapport b_0/b sont : 0,546.

ANNEXE n° 2 A L'AVIS TECHNIQUE

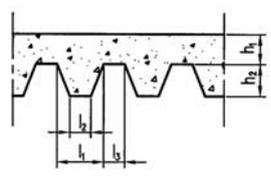
Détermination de l'isolation thermique vis-à-vis de la résistance au feu des planchers en béton avec bacs acier collaborants.

A défaut de méthodes de calcul spécifiques, la détermination de l'isolation thermique de ces planchers peut être effectuée à l'aide de la méthode ci-après.

Le volume de béton utilisé par unité de surface de plancher peut être converti en dalle pleine ayant, pour une épaisseur équivalente (h_e), le même volume. Toutefois, cette épaisseur équivalente ne peut être utilisée que pour des variations acceptables entre les épaisseurs en sommet d'onde et en fond d'onde.

Pour les bacs acier les plus simples, le calcul de l'épaisseur équivalente et ses limites d'application sont indiqués ci-après.

L'épaisseur équivalente minimale nécessaire pour que l'élévation de température moyenne en face non exposée de ces planchers ne dépasse pas 140°C après certaine durée d'exposition à l'incendie conventionnel est indiquée sur les tableaux ci-après :

Détermination de l'épaisseur équivalente " h_e "	Epaisseur équivalente minimale h_e (mm)	Durée de résistance au feu (mn)	Limites d'application
$h_e = h_1 + \frac{h_2}{2} \cdot \frac{I_1 + I_2}{I_1 + I_3}$ 	60 70 80 100 130 150	30 60 90 120 140 240	$h_2/h_1 \leq 1,5$ $h_1 \geq 50 \text{ mm}$

Nota : Le schéma figurant dans le tableau est un schéma de principe qui ne prétend pas représenter le profil d'un système particulier

ANNEXE n° 3 A L'AVIS TECHNIQUE

Additif commun

1. Avant propos

Il s'agit du texte de l'additif commun aux Avis Technique des procédés de planchers à bacs collaborants. Il fait partie intégrante de l'Avis.

2. Avis

L'Avis ne vaut que pour les procédés couverts par un Avis Technique. Il indique, dans le Cahier des Prescriptions Techniques, les conditions de conception et de calcul communes à tous les planchers de cette famille.

2.1 Domaine d'emploi

Il est le même que celui accepté par le Groupe dans le cadre de l'Avis Technique.

2.2 Appréciation de l'aptitude à l'emploi

2.2.1 Stabilité

La stabilité est normalement assurée pour les montages tôle-béton de ces planchers lorsqu'ils sont dimensionnés et vérifiés conformément aux conditions de conception et de calcul ci-après, sous réserve des particularités éventuellement précisées dans les Avis Techniques des procédés et des autres conditions indiquées dans ces Avis.

2.3 Cahier des Prescriptions Techniques

Conditions de conception et de calcul

2.3.1 Définition de la portée

La portée des planchers, à considérer dans les vérifications indiquées ci-après, est ainsi définie :

- si les appuis sont des murs ou des poutres en béton, la portée est la distance entre les nus intérieurs des appuis ;
- si les appuis sont des murs en maçonnerie de petits éléments, la portée est la distance entre les points situés à 2,5 cm en recul des nus intérieurs de ces murs ;
- si les appuis sont des solives métalliques, la portée est la distance entre axes des solives ; elle peut être la distance entre nus intérieurs des solives s'il est justifié que leur rigidité en torsion le permet.

La portée à considérer pour les vérifications en phase de coulage est celle indiquée ci-avant délimitée le cas échéant par l'axe des files d'étais éventuelles.

2.3.2 Vérifications en phase de montage et de coulage du béton

2.3.2.1 Vérification du fléchissement des tôles

Le fléchissement des tôles sous le poids mort du béton ne doit pas dépasser pas 1/240ème de la portée entre appuis et files d'étais. Pour cette vérification, on tient compte du supplément de poids mort dû à l'épaisseur complémentaire de béton entraînée par le fléchissement du bac (pour cette prise en compte, on peut simplement ajouter une surépaisseur fictive de béton, uniformément répartie, valant $0,7.f$, f étant le fléchissement à mi-portée déterminé sans la surépaisseur).

Ce fléchissement à la pose peut être évalué par l'expression suivante :

$$f = k_f \cdot \frac{5 \cdot g \cdot \ell^4 \cdot 10^6}{384 \cdot E \cdot I}$$

f étant la flèche en cm

avec

ℓ = portée entre appuis et/ou étais éventuels, (en mètres) ;

g = poids mort du plancher calculé conformément à l'Avis Technique du procédé (en daN/m²).

$E = 2,1 \cdot 10^6$ daN/cm².

I = moment d'inertie en section totale d'un mètre de largeur de tôle donné dans l'Avis Technique du procédé (en cm⁴).

k_f = coefficient fonction du nombre de travées entre appuis et étais éventuels.

valant :

1	pour 1 travée
0,41	pour 2 travées égales
0,52	pour 3 travées égales
0,49	pour 4 travées égales.

2.3.2.2 Vérification de la sécurité du personnel de pose

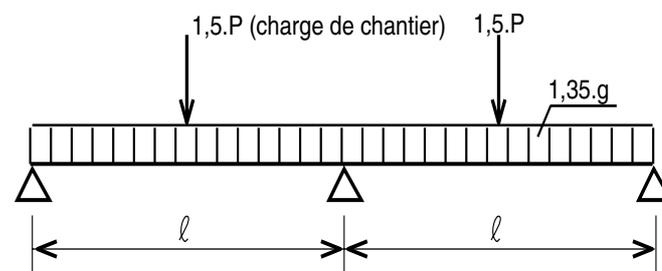
On doit s'assurer de la sécurité en phase de montage. Cette vérification doit être menée conformément au document intitulé "Méthode générale d'essai des bacs-aciers utilisés en planchers, en vue de leur justification de résistance en phase de montage - Méthodologie d'essai et principe de dimensionnement" publié dans les Cahiers du CSTB - livraison 268 d'avril 1986.

Le moment fléchissant sollicitant conventionnel en travée doit être inférieur ou égal au moment résistant du profilé utilisé pour la portée considérée. Cette vérification doit être faite pour la travée partielle la plus grande.

MOMENT SOLLICITANT

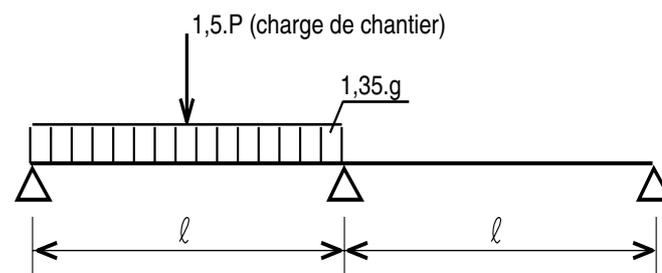
Le moment fléchissant sollicitant conventionnel doit être vérifié pour les deux cas de chargement (A) et (B) ci-après où g est le poids du plancher tel que défini plus avant et où l'intensité de la charge de chantier P est égale à $50 \cdot \ell$ (ℓ étant la portée partielle en mètres), sans être inférieure à 100 daN.

Cas de chargement (A)



$$M_{(A)} = 0,070 \cdot 1,35 \cdot g \cdot \ell^2 + 0,156 \cdot 1,50 \cdot P \cdot \ell$$

Cas de chargement (B)



$$M_{(B)} = 0,096 \cdot 1,35 \cdot g \cdot \ell^2 + 0,203 \cdot 1,50 \cdot P \cdot \ell$$

MOMENTS RESISTANTS Mrés(A) et Mrés(B)

Les valeurs à considérer des moments résistants sont données dans les Avis Techniques des procédés sous la forme de diagrammes en fonction de la portée et de coefficients tenant compte de l'épaisseur de tôle. Les Avis Techniques précisent les limites de portées entre lesquelles le diagramme est donné.

Lorsque la portée du projet est inférieure à la plus petite portée du diagramme ($0,8 \cdot \ell_1$), il est loisible de substituer à la portée du projet une portée fictive égale à $0,8 \cdot \ell_1$ et de conduire la vérification pour cette portée fictive.

2.323 Vérification d'intégrité en cas d'étaielement.

Cette vérification a pour objet d'éviter un cloquage éventuel irréversible au droit des étais. Elle est donc inutile pour les cas de pose sans étais.

Elle consiste à s'assurer de l'inégalité suivante :

$$0,125 \cdot 1,35 \cdot g \cdot \ell^2 + 0,1875 \cdot 1,5 \cdot P \cdot \ell \leq M_c$$

où

P vaut $50 \cdot \ell$ sans descendre en dessous de 100 daN ;

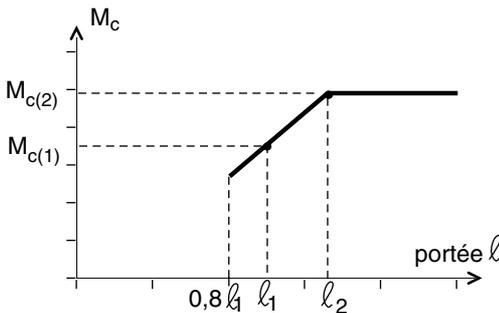
M_c est le moment de cloquage pour la portée ℓ considérée

Lors des essais n° 1 et 2 effectués selon la "méthode générale" visée ci-avant, on note la valeur des charges p_c et P_c , d'apparition du premier cloquage sur l'appui intermédiaire ; avec ces valeurs de charges, on calcule le moment de cloquage M_c correspondant :

$$M_c(1) = 0,125 \cdot p_c \cdot \ell_1^2 + 0,1875 \cdot P_c \cdot \ell_1$$

$$M_c(2) = 0,125 \cdot p_c \cdot \ell_2^2 + 0,1875 \cdot P_c \cdot \ell_2$$

Ces valeurs permettent de tracer le diagramme suivant :



Comme pour les $M_{rés(A)}$ et $M_{rés(B)}$ de la vérification de résistance, la courbe est extrapolée par prolongement de la droite jusqu'à une portée de $0,8 \cdot \ell_1$ et par une horizontale (plafonnement du moment) pour les portées supérieures à ℓ_2 .

Le diagramme de M_c en fonction de ℓ est donné dans chaque Avis Technique de procédé.

2.33 Vérifications en phase définitive du montage collaborant

2.331 Vérification de la collaboration tôle/béton

Cette vérification est effectuée à l'Etat Limite de Service selon la méthode "m" et "k" conduite selon les usages français (essais avec tôles huilées).

Elle consiste à respecter l'inégalité suivante concernant la contrainte de cisaillement de glissement entre tôle et béton :

$$\tau_{sollicitant} \leq \tau_{résistant}$$

avec

$$\tau_{sollicitant} = V_s / (b \cdot z_{el})$$

où

V_s = l'effort tranchant sollicitant développé en service, après prise du béton, dans la section considérée ;

b = la largeur considérée de plancher ;

z_{el} = le bras de levier élastique, pris égal à $d_p \cdot x/3$;

avec également

$$\tau_{résistant} = m \cdot \rho \cdot h / \ell + k$$

où

m et k sont des coefficients déterminés à la suite d'essais et donnés dans les Avis Techniques de procédés ;

ρ est le rapport de la section de la tôle à la section utile du béton $b \cdot d_p$,

d_p étant la distance du centre de gravité de la tôle à la fibre supérieure du plancher ;

h est l'épaisseur totale du plancher ;

ℓ est définie ci-après.

Remarque importante : la formule donnant $\tau_{résistant}$ n'est valable que si les charges appliquées en surface du plancher sont supérieures aux charges suspendues (accrochées en sous-face).

Définition de ℓ : cas de travées isostatiques

La détermination expérimentale de "m" et de "k" étant réalisée sur travées isostatiques, la vérification indiquée ci-avant doit prendre en compte pour ℓ la valeur de la portée d'une travée sur deux appuis simples.

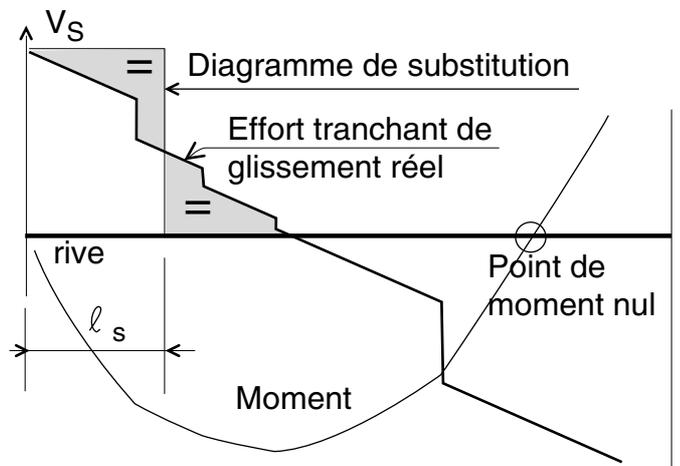
Dans le cas de distribution quelconque des charges (charges concentrées), on considère une portée fictive ℓ valant $4 \cdot \ell_s$ où ℓ_s est la longueur du diagramme rectangulaire équivalent d'effort tranchant :

$$\ell_s = \frac{\text{surface sous la courbe du diagramme réel des efforts tranchants}}{\text{effort tranchant à l'appui}}$$

Définition de ℓ : cas de travées continues

Il est admis que l'expression de $\tau_{résistant}$ peut continuer à être appliquée en prenant pour ℓ la portée entre les points de moments nuls (longueur de la zone de moment positif), les efforts tranchants V_s à considérer étant ceux évalués en ces points.

Si la valeur de $4 \cdot \ell_s$ diffère de ℓ ainsi définie, on considère une valeur de ℓ égale à $4 \cdot \ell_s$.



Effort tranchant sollicitant (ELS)

aux appuis de rives dans le cas de travées égales soumises à des charges réparties

$$V_s = \frac{l}{2} (k_0 \cdot g + k_1 \cdot g_1 + k_2 \cdot q)$$

avec

g : poids propre du plancher

g_1 : charges permanentes autres que le poids propre

q : charges d'exploitation

k_0, k_1 et k_2 : coefficients adimensionnels donnés dans le tableau de suit.

Schéma statique	k_0	k_1	k_2
	0 0,63 1	1	1
	0 0 0,39 0,43 0,79 0,79	0,79	0,89
	0 0 0,43 0,47 0,83 0,83	0,83	0,91

Les Avis Techniques des procédés donnent trois couples de valeurs m et k à utiliser :

- Le premier, noté m_1 et k_1 , correspondant aux valeurs de l'état de ruine ;
- Le deuxième, noté m_2 et k_2 , correspondant aux valeurs du glissement à 0,1 mm dans le cas de planchers supportant exclusivement des charges statiques (bâtiment d'habitation, de bureaux, etc ...) ;
- Le troisième, noté m_3 et k_3 , correspondant aux valeurs du glissement à 0,1 mm dans le cas de planchers susceptibles de supporter des charges dynamiques peu importantes (bâtiments industriels, parcs de stationnement, etc ...).

Pour chaque cas d'utilisation du plancher, il convient alors d'effectuer deux vérifications sur la contrainte de cisaillement :

- m_1 et $k_1 - m_2$ et k_2 dans le cas des charges statiques ;
- m_1 et $k_1 - m_3$ et k_3 dans le cas des charges faiblement dynamiques.

Il est précisé qu'il s'agit uniquement de charges dynamiques ne pouvant donner lieu à aucun phénomène de fatigue ni à des chocs répétés ; il est admis que ce domaine couvre le cas de charges roulantes de faible intensité, c'est à dire les véhicules dont la charge maximale par essieu n'excède pas 3,0 tonnes.

Si on ajoute des armatures complémentaires longitudinales en lit inférieur, ancrées sur appui, la contrainte de cisaillement de glissement sur la tôle est calculée à partir de la seule part d'effort tranchant équilibrée par la tôle. Les parts d'effort tranchant équilibrées l'une par la tôle, l'autre par les armatures complémentaires, sont proportionnelles aux moments statiques respectifs de la tôle et des armatures complémentaires par rapport à la fibre neutre de la section (le béton comprimé et l'ensemble des aciers : tôle + armatures complémentaires).

2.332 Justifications à l'Etat Limite Ultime

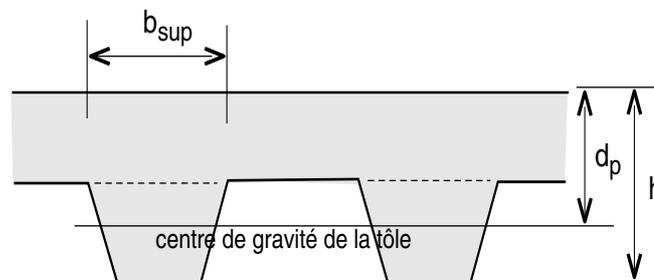
Les coefficients partiels de sécurité sur les matériaux à prendre en compte pour les justifications suivantes à l'Etat Limite Ultime du montage collaborant sont :

- pour le béton $\gamma_b = 1,5$
- pour le profilé $\gamma_p = 1,1$
- pour les armatures $\gamma_s = 1,15$

2.333 Vérification du cisaillement des nervures

Cette vérification est menée à l'Etat Limite Ultime.

Elle concerne la section horizontale de la nervure au niveau supérieur de la tôle comme indiqué sur la figure ci-dessous.



Elle consiste à vérifier l'inégalité suivante :

$$\tau_{u,\text{solicitant}} \leq \tau_{u,\text{résistant}}$$

soit : $\tau_{u,S} \leq \tau_{u,R}$

avec

$$\tau_{u,S} = \frac{V_{u,S}}{b_{\text{sup}} \cdot z_u}$$

où

$V_{u,S}$ est l'effort tranchant sollicitant à l'ELU (calculé sous charges pondérées) à l'appui le plus sollicité ;

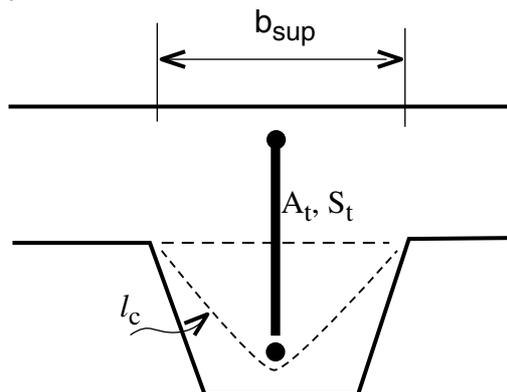
b_{sup} est la largeur de la section horizontale de la nervure au niveau supérieur de la tôle ;

z_u est le bras de levier à l'ELU pris égal à $0,85 \cdot d_p$, à défaut de calcul plus précis.

- En l'absence de toute armature transversale de couture,

$$\tau_{u,R} = 0,03 \cdot f_{c28}$$

- Si les nervures comportent des armatures transversales pour couder la section précédente de largeur b_{sup} , on effectue deux vérifications :



d'une part :

$$\tau_{u,R} = f_e / \gamma_s \cdot A_t / (b_{\text{sup}} \cdot S_t)$$

avec

f_e = limite élastique de l'acier donnée ;

A_t = aire d'une branche d'armature transversale droite ;

S_t = pas des armatures transversales

d'autre part :

$$V_{u,S} / l_c \cdot z_u \leq 0,03 \cdot f_{c28}$$

où

l_c est la longueur de la ligne de moindre résistance (voir schéma).

Commentaires :

- la première vérification (règle des coutures généralisée) suppose que la conception des armatures transversales est telle que l'ancrage de celles-ci soit total de part et d'autre du plan horizontal de largeur b_{sup} . Ceci est obtenu notamment si les armatures transversales de couture sont soudées à des barres filantes, par des soudures dont la résistance à la traction dans le sens des brins est au moins égale à la résistance de chaque brin.

Lorsque ces armatures transversales sont réalisées en continu sous forme de grecques, l'ancrage de part et d'autre du plan horizontal à coudre dépend des hauteurs ancrées de boucle, du diamètre du fil constitutif et de la nuance de l'acier. Il en résulte que la capacité résistante de ces grecques dans leur rôle de couture est variable en fonction des paramètres énumérés ci-avant et l'expression donnant $\tau_{u,R}$ doit prendre en compte cette capacité résistante qui peut être réduite : des indications peuvent être trouvées à ce sujet, par analogie, dans le tableau figurant à l'article I.A. 107,21 du titre I du CPT "PLANCHERS".

- l'effort tranchant sollicitant $V_{u,S}$ est déterminé en tenant compte de toutes les charges appliquées y compris le poids propre quelle que soit la disposition d'étalement. Il est admis d'évaluer l'effort tranchant sollicitant à la distance $h/2$ de l'appui.

La valeur de l'effort tranchant sollicitant aux appuis les plus sollicités de travées égales soumises à des charges réparties

$$V_{u,s} = \frac{\ell}{2} \cdot [k_1 \cdot 1,35(g + g_1) + k_2 \cdot 1,50q]$$

Schéma statique	k_1	k_2
	1	1
	1,21	1,21
	1,17	1,20

2.334 Justifications relatives à la flexion

Dans l'évaluation des moments sollicitants, il est tenu compte des continuités éventuelles des planchers.

Les moments sur appuis sont évalués à partir des équations de la résistance des matériaux pour les poutres continues à inertie constante en admettant une minoration pour cause de redistribution d'effort par fissuration (allongements / raccourcissements des matériaux plus importants sur appui qu'en travée).

Le coefficient de minoration pris usuellement et forfaitairement est de 0,85 (15% de minoration). Il est pris en compte pour l'établissement des tables de sollicitations de calcul présentées ici dans le cas de travées égales sous charges réparties.

Les moments en travées résultent alors des équations de l'équilibre appliquées à chaque travée pour les cas de charge considérés.

2.335 Justifications relatives à la flexion sous moments positifs

La justification est apportée à l'Etat Limite Ultime.

Elle consiste à vérifier l'inégalité suivante :

$$M_{u,S} \leq M_{u,R}$$

avec

$M_{u,S}$: Moment sollicitant évalué sous l'effet de toutes les charges appliquées.

Moments positifs sollicitants (à l'ELU) en travées égales soumises à des charges uniformément réparties

$$M_{u,S} = \frac{\ell^2}{8} \cdot [K_1 \cdot 1,35(g + g_1) + K_2 \cdot 1,50q]$$

Schéma statique	K_1	K_2
	1	1
	0,62	0,80
	0,69	0,84
	0,25	0,63
	0,67	0,83
	0,40	0,70

avec également

$M_{u,R}$ = moment résistant de la section lorsque la tôle est entièrement plastifiée

$$M_{u,R} = N_p \cdot (d_p - 0,5 \cdot x)$$

où

N_p = $A_p \cdot f_e / \gamma_p$ en l'absence d'armatures longitudinales

Dans le cas de mise en oeuvre de barres d'armatures convenablement enrobées et ancrées, N_p est l'effort de plastification de l'ensemble des aciers sollicités en traction.

d_p est la hauteur utile du plancher

x est la hauteur du bloc de contrainte de compression du béton non supérieure à 0,8 fois l'épaisseur de béton au dessus du profilé (à défaut N_p est réduit à l'effort de plastification d'une épaisseur de béton égale à 0,8.hc).

$$x = N_p / b \cdot \sigma_c$$

où

b est la largeur de la section transversale considérée

$$\sigma_c = 0,85 \cdot f_{c28} / \gamma_c$$

2.336 Justifications relatives à la flexion sous moments négatifs

La justification est apportée à l'Etat Limite Ultime.

Elle consiste à vérifier l'inégalité suivante :

$$M_{u,S} \leq M_{u,R}$$

avec

$M_{u,S}$ Moment sollicitant sur appuis évalué sous l'effet de toutes les charges appliquées.

Moments négatifs sollicitants (ELU) pour des travées égales soumises à des charges uniformément réparties

$$M_{u,S} = \frac{\ell^2}{8} \cdot [K'_1 \cdot 1,35(g + g_1) + K'_2 \cdot 1,50q]$$

Schéma statique	K'1	K'2
	0,85	0,85
	0,68	0,79
	0,73	0,83
	0,48	0,72

avec également

M_{uR} moment ultime résistant de la section sans prise en compte de la résistance éventuelle en compression de la tôle

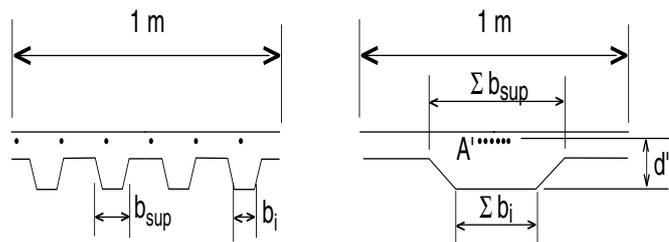
$$M_{uR} = A'_s \cdot f_{es} / \gamma_s \cdot z'_u$$

où

A'_s est l'aire des armatures en chapeaux

f_{es} est la limite élastique des aciers en chapeaux

z'_u est le bras de levier à l'ELU



Les Avis Techniques du procédé fournissent une valeur b' (à défaut de calcul plus précis tenant compte de la géométrie des nervures et de la hauteur de l'axe neutre) pour la largeur constante de béton comprimé intervenant pour équilibrer les efforts de traction développés par les chapeaux présents par mètre de plancher.

La détermination M_{uR} doit être menée conformément à l'ensemble des prescriptions de l'article A.4.3 des Règles BAEL 91. Les Avis Techniques des procédés indiquent aussi la possibilité de prendre le coefficient 0,85 en lieu de 0,8 dans l'application du deuxième alinéa de l'art. A.4.3.42.

2.34 Conditions de déformation

Le "fléchissement actif" des planchers pouvant nuire aux cloisons maçonnées ou aux revêtements de sol fragiles qu'ils ont à supporter comporte : les déformations différées sous poids mort, la moitié des déformations dues au retrait gêné du béton (effet de bilame), les déformations totales dues aux charges permanentes hormis le poids propre et les déformations instantanées dues aux charges variables.

Ce fléchissement ne doit pas dépasser 1/500 de la portée si cette dernière est inférieure ou égale à 5,00 m et $0,5 \text{ cm} + \ell/1000$ dans le cas où la portée est supérieure à 5,0 m.

Dans le cas des dalles qui ne supportent pas de cloisons maçonnées ni de revêtements de sol fragiles, on limite leur flèche, constituée conventionnellement par les déformations citées ci-dessus, à $\ell/350$ pour les portées jusqu'à 3,50 m et à $0,5 \text{ cm} + \ell/700$ pour les portées plus grandes.

Pour tenir compte de la fissuration du béton tendu, le calcul peut être mené conformément à la méthode indiquée à l'article B.6.5.2 des Règles BAEL. Dans le calcul, on peut prendre pour modules de déformation longitudinale du béton :

- 100 000 daN/cm² pour le module sous charge de longue durée
- 300 000 daN/cm² pour le module sous charges instantanées.

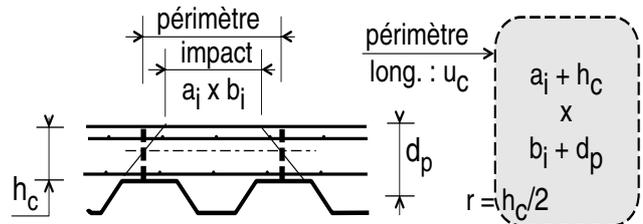
Dans le cas de planchers destinés à des locaux destinés à être habituellement occupés et pour des raisons de confort des utilisateurs, il y a lieu de limiter l'élanement des planchers à $\ell/h \leq 33$ pour les travées isostatiques et à $\ell/h \leq 36$ pour les travées continues (h étant l'épaisseur totale du plancher).

2.35 Résistance au poinçonnement

Il convient de s'assurer que la charge concentrée ne provoque pas le poinçonnement du plancher.

On détermine l'impact de la charge à la surface du plancher après diffusion dans la chape éventuelle.

On définit un périmètre critique pour la résistance au poinçonnement selon la figure suivante :



$$Q_u \leq u_c \cdot h_c \cdot \tau_{\text{poin}}$$

avec

$\tau_{\text{poin}} = 0,045 \cdot f_{c28} / \gamma_b$ avant de tenir compte des armatures de répartition

$\tau_{\text{poin}} = (0,045 + 1,3 \cdot \rho_m) f_{c28} / \gamma_b$ avec armatures de répartition

où

ρ_m est la moyenne géométrique $\sqrt{\rho_x \rho_y}$ limitée à 0,015, des pourcentages d'aciers présents dans chaque direction (la section de tôle n'intervient que dans le sens porteur des nervures).

2.36 Charges concentrées ou linéaires

L'Avis est formulé pour des intensités de ces charges ne dépassant pas les limites suivantes :

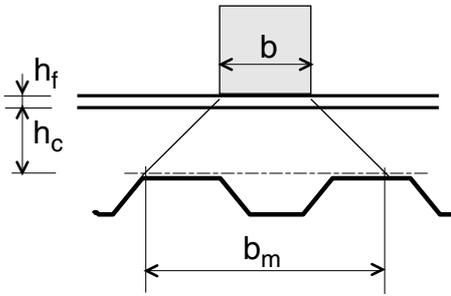
- charges ponctuelles statiques $\leq 2,0 \text{ t}$.
- charges linéaires statiques $\leq 1,0 \text{ t/m}$

ces limitations s'exerçant en l'absence d'une vérification complète de la répartition de ces charges (méthode Guyon - Massonnet) ;

- charges ponctuelles dynamiques $\leq 1,5 \text{ t}$, et espacées d'au moins 1,20 m les unes des autres.

2.361 Largeur d'application des charges concentrées

Les charges concentrées peuvent être considérées comme appliquées sur une aire plus grande que leur impact réel en surface du plancher. On considère une largeur d'application effective "bm" obtenue par diffusion à 45° du contour de l'impact sur le plan correspondant au niveau de dessus des nervures de la tôle profilée.



$b_m = b_p + 2 (h_c + h_f)$ pour une chape béton ou autre matériau analogue
 $b_m = b_p + 2 (h_c + 0,75 \cdot h_f)$ pour un revêtement moins résistant.

2.362 Largeur participante de plancher

La largeur de bande de plancher efficace pour supporter une charge concentrée ne peut dépasser la valeur "b_{em}" ci-dessous.

- pour les vérifications du cisaillement de glissement et des moments de flexion
 - pour les travées à appuis simples et les travées de rives de planchers continus :

$$b_{em} = b_m + 2 \cdot \ell_p \cdot [1 - (\ell_p/\ell)]$$

- - pour les travées intermédiaires des planchers continus :

$$b_{em} = b_m + 1,33 \cdot \ell_p \cdot [1 - (\ell_p/\ell)]$$

- pour les vérifications de cisaillement du béton

$$b_{em} = b_m + \ell_p \cdot [1 - (\ell_p/\ell)]$$

avec :

ℓ = portée entre appuis (en cm)

ℓ_p = distance de la charge concentrée à l'appui le plus proche (en cm)

Dans le cas des charges concentrées linéaires parallèles aux nervures, on considère ces dernières comme une succession de charges ponctuelles et on détermine la largeur efficace par la même méthode.

La prise en compte d'une largeur b_{em} en lieu et place de la largeur b_m pour la justification du plancher est liée à la mise en oeuvre d'une armature transversale destinée à répartir les charges concentrées, et placée au-dessus de la tôle avec l'enrobage juste nécessaire.

La longueur de ces armatures doit être au moins égale à b_{em} , dans le cas où elles comportent des crosses et à b_{em} plus la longueur d'ancrage à chaque extrémité dans le cas contraire.

Il est précisé que pour des planchers dont l'épaisseur h_c est supérieure à 4 cm, cette armature est indépendante du treillis anti-fissuration situé près de la face supérieure du plancher.

2.363 Armatures de répartition

A défaut d'un calcul précis (du type Guyon-Massonnet, par exemple), la section de l'armature de répartition transversale peut être déterminée comme pour une semelle de fondation de largeur b_{em} , en la réduisant ensuite forfaitairement d'un tiers.

on utilise l'expression suivante :

$$N_a = Q \cdot \frac{b_{em} - b}{8 \cdot (h_c - 1)} \cdot 0,66$$

avec

b_{em} , b et h_c exprimés en centimètres pour un enrobage de 1 cm ;

N_a = l'effort de traction (daN) dans la totalité des armatures de répartition ;

Q = la charge concentrée (daN) à laquelle correspond les armatures de répartition.

Dans le cas de charge ponctuelle, les armatures transversales sont disposées symétriquement par rapport à la charge sur une longueur de plancher égale à $3/4 b_{em}$.

Dans le cas des charges concentrées linéaires Q représente la charge concentrée par unité de longueur et N_a l'effort total de traction dans les armatures disposées sur une longueur de plancher égale à l'unité.

Pour l'application des prescriptions précédentes de conception et de calcul, les Avis Techniques des procédés présentent en annexe les caractéristiques utiles pour mener ces vérifications.

Pour les critères de contraintes admissibles. Il en résulte que les Avis Techniques propres à chaque procédé doivent être révisés sur la base de cette nouvelle doctrine de vérification.

3. Remarques

Le présent Avis Technique a pour objet de donner des prescriptions de dimensionnement des planchers en béton coulé sur des profils métalliques larges collaborants, prescriptions communes à tous les planchers de cette famille. Elles ont été établies selon la méthode dite états limites. Seule, la vérification de la collaboration tôle/béton (la méthode « m » et « k ») a été remise à jour afin de mieux tenir compte lors des essais de la dispersion des mesures des premiers glissements entre la tôle et le béton.

Ces prescriptions constituent les règles techniques françaises pour ces parties d'ouvrage et elles sont le pendant des chapitres de l'Eurocode n° 4 traitant du même sujet.

Dossier Technique

établi par le demandeur

A. Description

1. Classe du système

Plancher en béton coulé sur des tôles métalliques nervurées, d'épaisseur totale : de 11 à 30 cm.

2. Identification des bacs

Les bacs sont identifiés par une étiquette sur chaque colisage de bacs, portant la dénomination COFRASTRA 70 et le nom de ARCELOR Construction.

3. Définition des matériaux

3.1 Tôle

Tôle en acier de nuance 350 GD selon la norme NF EN 10326, galvanisé en continu suivant le procédé SENDZIMIR avec un revêtement de zinc de 275 g/m² pour l'ensemble des deux faces, selon la classification Z275 de la norme P 34-310. Dans le cas de mise de zinc différenciée on prévoit 137,5 g/m² pour la sous-face et 50 à 70 g/m² pour la face bétonnée.

3.2 Aciers complémentaires

Treillis soudé et aciers ronds à haute adhérence.

3.3 Béton

Béton courant de classe C25/30 au sens de la norme NF EN 206.

Un béton différent, de caractéristiques mécaniques au moins équivalentes, peut être spécifié par le bureau d'études.

4. Description des éléments

Les bacs COFRASTRA 70 sont des tôles galvanisées profilées en continu sur machine à galets dans les usines de ARCELOR CONSTRUCTION à STRASBOURG. Ils présentent des nervures en forme d'oméga.

La largeur utile des bacs est de 732 mm.

Le bac se présente en deux variantes, différant seulement par la forme des nervures :

- Variante 1 : la profondeur du bossage des âmes est de 2 mm au pas de 10 mm, le bossage est droit
- Variante 2 : la profondeur du bossage des âmes est de 1.7 mm au pas de 25 mm, le bossage est incliné et il est complété par un bossage en haut des ondes sous forme de boutons.

Les rives latérales présentent des plis complémentaires permettant l'accrochage par emboîtement des bacs lors de la pose.

Les parties entre nervures sont munies d'un pli de raidissement.

En cas des profils prépercés, les trous oblongs 50 x 60 mm, sont situés en axe des fonds de nervures (dimension 60 mm dans le sens des nervures).

Hauteur des nervures	Nbre de nervures par bac	Entr'axe des nervures (mm)	EPAISSEUR TOLE (mm)		Poids (daN/m ²)
			galvanisée	nue	
73	4	183	0,75	0,71	10,05
			0,88	0,84	11,79
			1,00	0,96	13,40

5. Description de la mise en oeuvre

Le plancher COFRASTRA 70 peut être posé sur ossature métallique, ossature en béton armé ou autre.

5.1 Pose sur ossature métallique

Les éléments sont posés et fixés sur les poutres porteuses de la structure par des clous en acier mis en place à l'aide de pistolets et de cartouches adéquates, ou par des vis autotaraudeuses ou par des boulons.

En cas de continuité les tôles sont fixées seulement sur les appuis de rive. Par mesure de sécurité, elles doivent être fixées au fur et à mesure de la pose, à raison de deux points de fixation au minimum par bac sur chaque appui d'extrémité. Ce nombre doit être augmenté si les sollicitations l'exigent.

5.2 Pose sur ossature en béton

Il est nécessaire d'assurer aux extrémités, pour la bonne tenue des bacs pendant le coulage du béton, une largeur minimale d'appui de 5 cm au minimum.

Comme dans le cas des ossatures métalliques, les tôles sont fixées sur les appuis au fur et à mesure de la pose, soit par soudures sur des platines métalliques scellées dans les poutres d'appui en béton, soit par des fixations provisoires assurées à l'aide des accessoires COFRAFIX. Elles consistent à placer dans les deux nervures de rives, aux extrémités de chaque bac, une fixation COFRAFIX spéciale clouée sur des bastaings.

5.3 Etalement

L'étalement, lorsqu'il est imposé par les conditions d'exécution de l'ouvrage, est réalisé avec les étais traditionnels pour dalles en béton armé. Toutefois, il faut s'assurer, dans le cas d'étais métalliques, du non-poinçonnement de la tôle, en utilisant des protections (planches ou poutres de bois, etc...). Les étais doivent rester en place le temps nécessaire à l'atteinte de la résistance requise du béton. Des contre-fûches artificielles ne sont pas recommandées.

5.4 Coffrage des rives

Dans le cas d'ossature métallique, on place des cornières en tôle d'acier galvanisé glissées sous les bacs en rives longitudinales et transversales de plancher et clouées en même temps que les tôles. Dans le cas d'ossature en béton, les rives sont coffrées soit par les cornières précédentes, soit par des coffrages classiques en bois.

5.5 Armatures complémentaires

Il est nécessaire de prévoir dans les dalles un faible treillis soudé qui sert à reprendre des efforts éventuels dus au séchage du béton et par ce fait régularise et limite la fissuration.

Des armatures en chapeau sont nécessaires, comme dans toute dalle de béton armé traditionnel, sur appuis intermédiaires pour la reprise des moments négatifs, lorsque la continuité est prise en compte et/ou lorsqu'un revêtement de sol fragile est prévu.

Des armatures supplémentaires peuvent être prévues également, en lit inférieur, pour améliorer le comportement du plancher en cas d'incendie.

5.6 Garnissage aux joints entre bacs et rives

On obture les nervures en extrémité des bacs par des bouchons de mousse cellulaire souple pour éviter les coulures du béton de chapeau.

La mise en place de ces bouchons peut être fait préalablement à la pose.

Lorsque les tôles sont posées bout-à-bout sur leurs supports, l'obturation des nervures par des bouchons peut être remplacée par l'utilisation d'une bande adhésive couvre-joint.

5.7 Bétonnage

Le coulage du béton se fait par des méthodes traditionnelles (pompe ou benne à béton).

Dans la mesure du possible, le déchargement du béton par benne doit s'effectuer sur les éléments porteurs de la structure.

Le béton doit être vibré modérément, car les éléments métalliques transmettent mieux les vibrations que les éléments de coffrage traditionnels. De ce fait, des vibrations exagérées conduiraient à une ségrégation trop importante du béton.

6. Caractéristiques des planchers finis

6.1 Poids propre

Le poids spécifique du béton mis en oeuvre est considéré égal à 2 400 daN/m³. Dans le calcul du poids propre de la dalle, il faut tenir compte:

- du volume du béton à déduire dû à la présence des nervures : cette valeur est équivalente à 2,6 cm de hauteur de béton réparti uniformément,
- de la flèche f_g du bac au moment du coulage du béton,
- du poids du béton du bac acier.

Le poids du béton de la dalle se calcule selon la formule suivante :

$$g = [(h - 2,6) + 0,7f_g] \cdot 2400 / 100$$

g : poids du béton du plancher en daN/m².

h : l'épaisseur totale du plancher en cm.

f_g : flèche à mi-portée, en cm, sous l'effet du poids du béton, calculée conformément aux indications du § 2,32 a) de l'annexe 3, et en prenant une épaisseur de béton égale à $h - 2,6$ cm.

6.2 Réalisation des sols

La forme en béton permet de poser tous les types de revêtement de sol.

6.3 Réalisation des trémies

La réservation des trémies, quand elle est préparée avant coulage du béton, peut être réalisée par bloc de mousse ou tout autre système adéquat. Dans ce cas, la tôle ne doit être découpée qu'après durcissement du béton.

6.4 Réalisation des plafonds

Tous les types de faux-plafonds du commerce peuvent être associés aux dalles mixtes COFRASTRA 70.

On peut ainsi réaliser, selon les exigences, des faux-plafonds esthétiques, acoustiques et éventuellement coupe-feu (si cette fonction n'est pas remplie par la dalle elle-même au moyen d'armatures de résistance au feu).

Les tiges de suspension sont reliées directement à des attaches spéciales en tôle galvanisée fournies par ARCELOR CONSTRUCTION Est (clips COFRAFIX 70). Ses attaches permettent l'accrochage instantané dans les nervures des bacs COFRASTRA par simple pénétration de l'attache à l'intérieur des nervures et rotation de 90°.

Avant coulage du béton, tout système de fixation des suspentes traversant la tôle en fond d'onde, est possible. Après coulage du béton, on utilise des chevilles de diamètre 6 mm au maximum, espacées d'au plus 300 mm.

6.5 Plancher chauffant

Le plancher COFRASTRA 70 admet les systèmes de chauffage à basse température, incorporés dans la dalle, sous réserve que le pourcentage des gaines, raccords inclus, reste faible. Cette solution doit rester conforme aux dispositions constructives décrites dans le DTU 65.8.

6.6 Utilisation du plancher COFRASTRA 70 en ossature mixte

Dans le cas où la dalle collaborante COFRASTRA 70 est considérée comme participante à la résistance de poutre mixte la liaison mécanique dalle-poutre est assurée par des connecteurs appropriés :

Connecteurs type HILTI ou goujons soudés à la poutre d'appui.

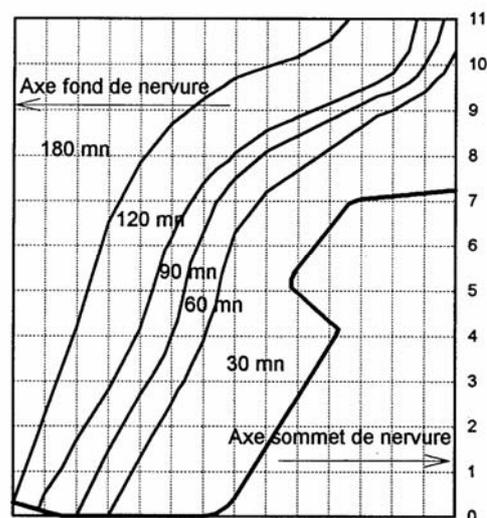
Les goujons peuvent être soudés à travers la tôle sur le chantier ou bien dans l'atelier.

Dans le dernier cas, il convient d'utiliser le coffrage COFRASTRA 70 prépercé et de disposer les goujons en conformité avec l'espacement des trous de perçage (à savoir dans les fonds de nervures).

7. Caractéristiques des planchers pour les calculs de résistance au feu.

7.1 Plancher après exposition au feu

N° tranche (ép. 1 cm)	Aire brute S_b (cm ² /tranche)	Aire nette: $\Phi_b S_b$ (cm ² /tranche)			
		CF 30	CF 60	CF 90	CF 120
11	100	100	97,5	91,7	73,3
10	100	98,5	90,9	84,3	47,1
9	100	71,4	64,6	58,8	35,7
8	92	57,8	51	45,5	25,8
7	71	49,8	42,9	37,3	21,2
6	63	46,7	39,9	32,8	17,9
5	70	47,5	38,1	30,9	14,7
4	70	44,1	33,9	26	11,5
3	65	37	26,9	19,2	8,3
2	57	30,2	20,5	13,2	5,1
1	51	24	14,9	8,1	1,8



7.2 Température des armatures

La température T des armatures est déterminée en fonction de l'enrobage u réel à partir de la formule:

$$T = T_o (1 - u/u_o)$$

où les paramètres T_o et u_o sont donnés dans le tableau ci-dessous, qui indique également les enrobages courants minimaux u_{min} :

Degré CF	CF 60	CF 90	CF 120	CF 180
u_{min} (mm)	25	45	45	75
u_o (mm)	117	123	128	156,5
T_o (°C)	540	715	845	965

B. Résultats expérimentaux

Résultats d'essais ayant permis de porter les appréciations de 2.2

1 Essais mécaniques

Variante 1 :

Essais de flexion sur bacs COFRASTRA 70 seuls et sur six dalles collaborantes coulées sur ces bacs, ayant des épaisseurs totales de 12, 18 et 30 cm réalisés par l'Institut de Recherche Appliquée et de Technologie de l'Université de Strasbourg.

(P.V. du 16 novembre 1979).

Essais de comportement des bacs sous charges de chantier réalisés en mars 1986 aux LAMINOIRES DE STRASBOURG sous contrôle SOCOTEC (P.V. N°PK003 du 02 mai 1986).

Des essais de comportement des bacs prépercés sous charges de chantier ont été réalisés à la station d'essais ARCELOR Construction à l'usine de Montataire en octobre 2002, sous contrôle du Bureau VERITAS et en présence d'un représentant du CSTB et on donné lieu au Procès-Verbal VERITAS n° 110 38 56/1B.

Variante 2 :

Essais de comportement des coffrages COFRASTRA 70 pré-percés et non pré-percés sous charges de chantier ont été réalisés à la station d'essais ARCELOR Construction France à l'Usine d'Haironville en janvier 2006, sous contrôle du Bureau APAVE et en présence d'un représentant du CSTB et ont donné lieu aux Rapports APAVE n° 06/06/02442 G (essais avec les coffrages pré-percés) et n° 05/06/02442 G (essais avec les coffrages non pré-percés).

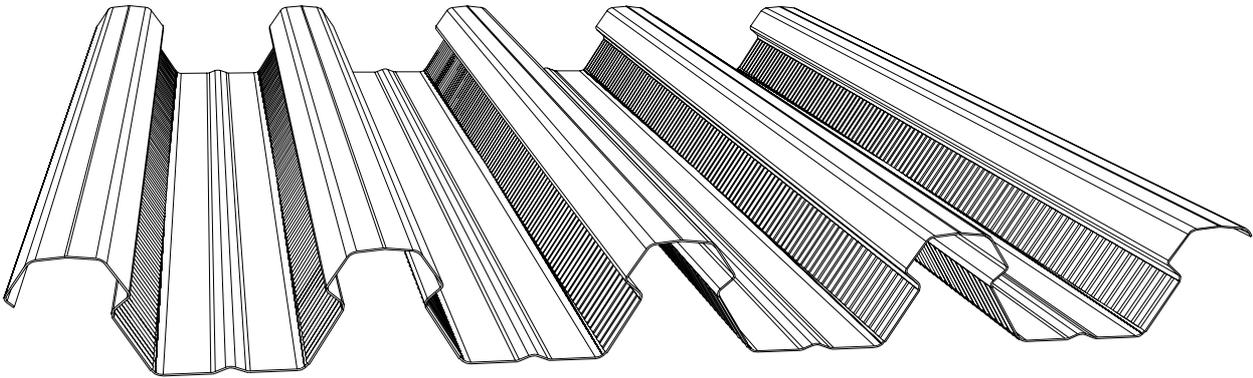
Essais internes sur 4 dallettes collaborantes (essais réalisés du 16 au 23 avril 2002).

C. Référence et emploi

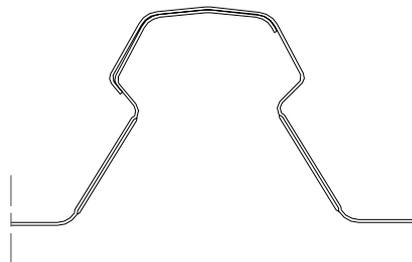
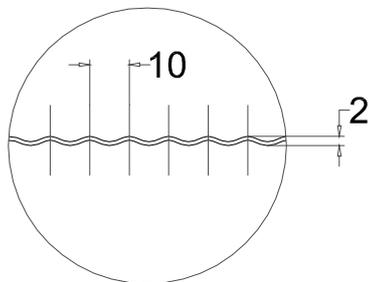
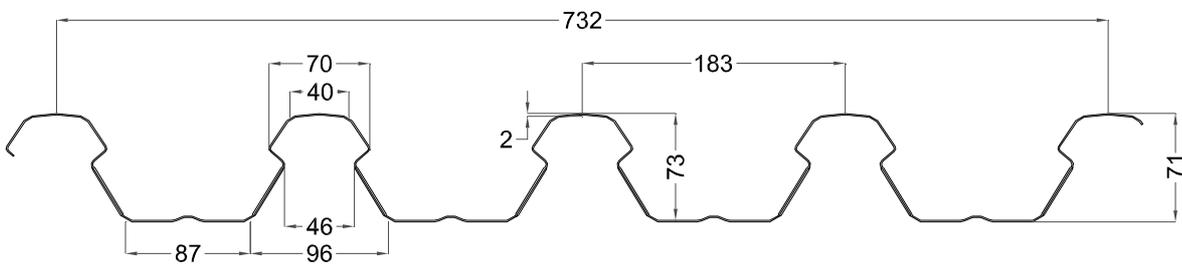
A ce jour, environ 500.000 m² de planchers ont été réalisés avec ce procédé.

Coffrage COFRASTRA 70

Variante1
Vue générale



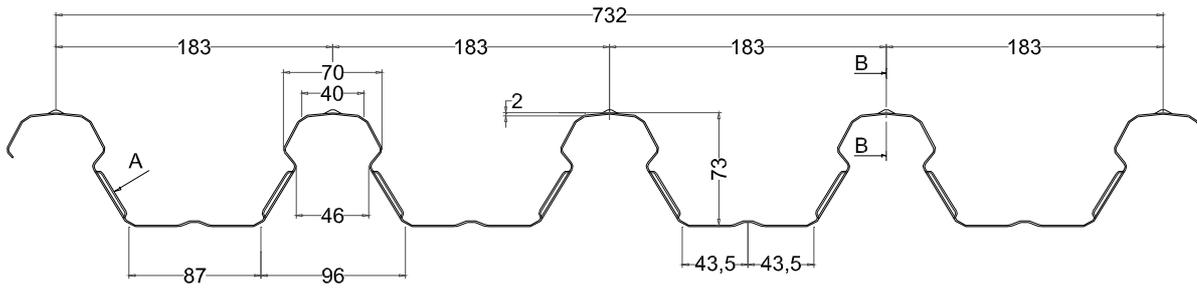
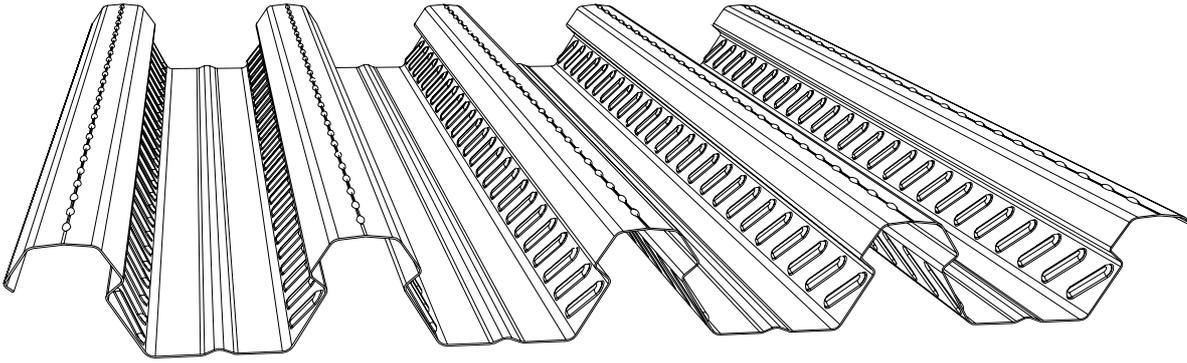
Coupe transversale



Emboîtement

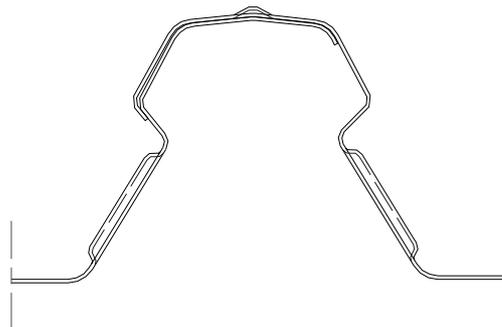
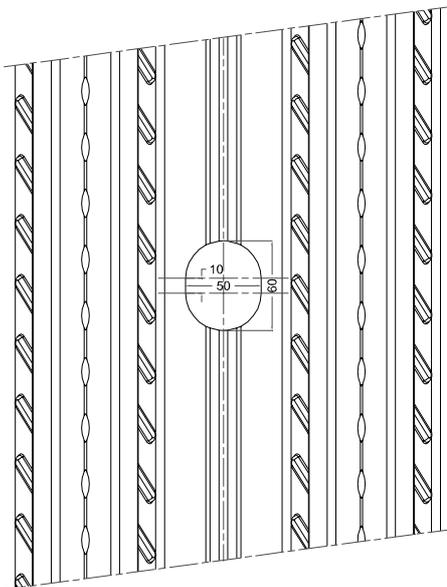
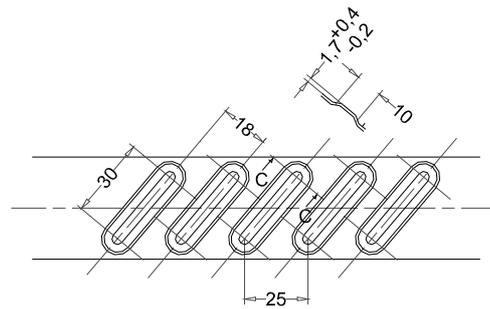
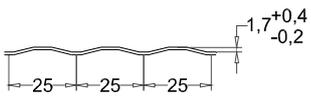
Coupe B-B: crantage des flancs de nervures

Variante 2



Coupe B-B : Crantage en sommet d'onde

Vue A : Crantage des flans de nervures

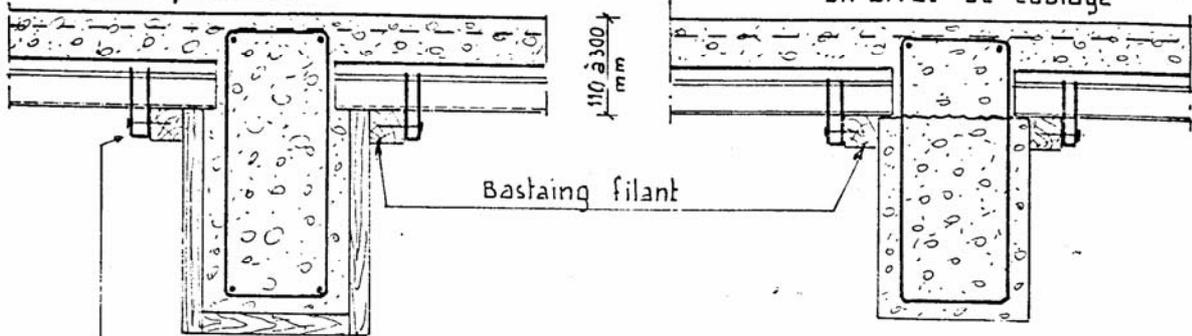


MISE EN ŒUVRE DES BACS "COFRASTRA 70" SUR STRUCTURE EN BETON

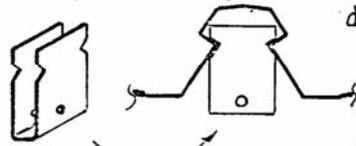
A.T. N°

- Dalle coulée en même temps que les poutres.

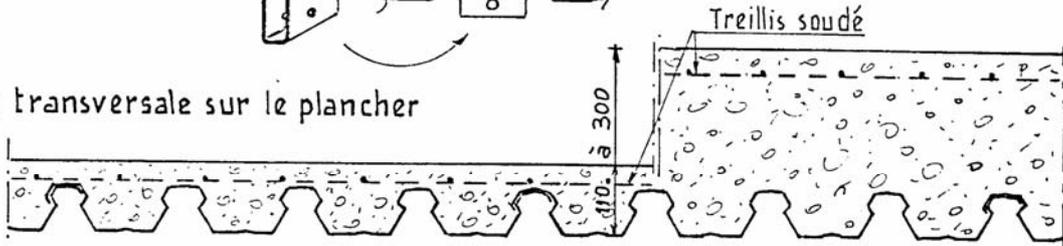
- Dalle coulée sur poutre présentant un arrêt de coulage



clip spécial COFRAFIX 70 cloué sur un bastaing. 2 à chaque extrémité de bac. (mis en place par introduction dans la nervure et rotation de 90°)



- Coupe transversale sur le plancher

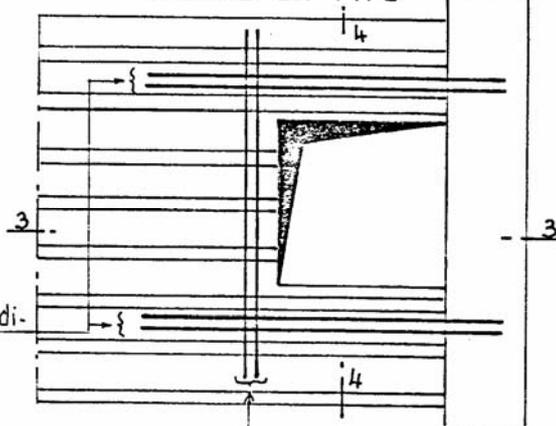
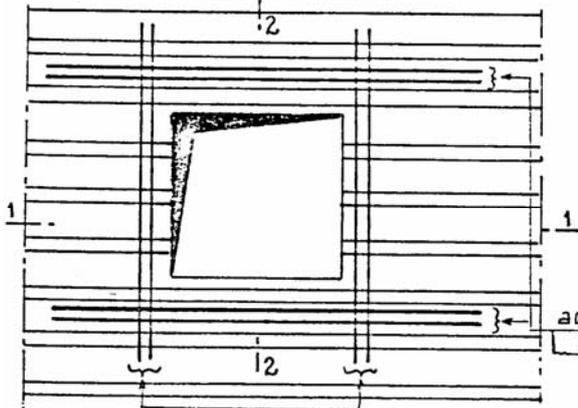


CHEVETRES.

- vue de dessus avant coulage du béton -

Trémie au milieu

Trémie en rive

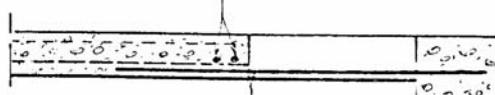
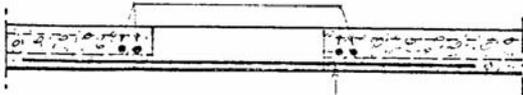


coupe 1.1.

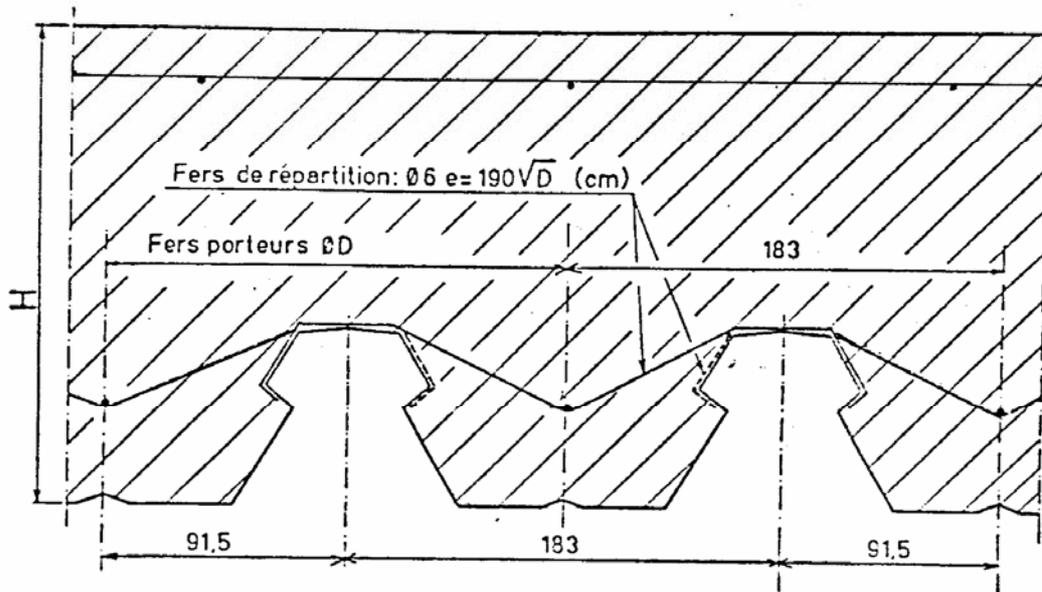
4 ac. transversaux

coupe 3-3

2 ac. transversaux



Dispositif de maintien des armatures de renfort



I-Données d'étude

1) Matériaux-Caractéristiques

	notations	valeurs	
Acier de structure (POUTRE ET SOLIVE)	$f_{y,k}$	235	Mpa
Barres HA S500	f_{sk}	500	Mpa
Treillis soudé TSHA	f_{sk}	500	Mpa
Résistance caractéristique du béton à 28 jours	f_{ck}	25	MPa
Résistance caractéristique de calcul du béton	f_{cd}	16,67	Mpa
Résistance caractéristique en traction	f_{ctm}	2,6	Mpa
Bacs en tôle profilé	$f_{yp,k}$	350	MPa

Module d'Young Acier (Profilé)	E_a	210000	Mpa
Module d'Young sécant du béton	E_{cm}	28,96	Gpa
Module d'Young effectif du béton	$E_{c,eff}$	14,48	Gpa
coefficient de poisson de l'acier	ν	0,30	

coefficients d'équivalence acier béton

à court terme	η_0	7,25	
à long terme	η_L	14,50	

2) les différents coefficients

coefficient partiel de sécurité	notations	valeurs	
acier structure (non sujet aux instabilités)	γ_{M0}	1	-
acier structure (sujet aux instabilités)	γ_{M1}	1,1	-
acier structure (zone d'assemblages)	γ_{M2}	1,25	-

E.L.U.	notations	valeurs	
béton	γ_c	1,5	-
armature	γ_s	1,15	-
plaques nervurées	γ_p	1,1	-
acier structure	γ_a	1	-

E.L.S.	notations	valeurs	
béton	γ_c	1	-
armature	γ_s	1	-
profilé	γ_p	1	-
acier structure	γ_a	1	-

combinaisons des actions

E.L.U. Situation durable			
charge permanente	γ_G	1,35	-
charge d'exploitation	γ_Q	1,5	-

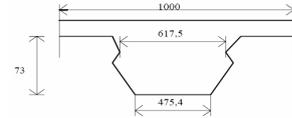
E.L.U. Situation accidentelle

charge permanente	γ_{GA}	1	-
charge d'exploitation	γ_{Q1}	0,5	-

Annexe 10. : Note de calcul du plancher mixte

II-Vérification plancher collaborant

Caractéristiques du bac acier



COFRASTA 70	notations	épaisseur	unités
épaisseur Bac collaborant :	e_p	0,75	mm
hauteur du plancher	h_d	0,15	m
Largeur d'un élément de bac acier	L	0,732	m
hauteur nervure	h_n	0,073	m
largeur de cisaillement des nervures	b_0	0,6175	m
enrobage du treillis soudé	e	0,02	m
Epaisseur équivalente de vide(nervure)	e_v	0,026	m
espacement entre deux nervures	b_s	0,187	m
Largeur partie haute du renformis	L_1	0,137	m
Largeur partie basse du renformis	L_2	0,087	m
Largeur partie haute nervure équivalente	l_{nh}	0,6175	m
Largeur partie basse nervure équivalente	l_{nb}	0,4754	m

1) Caractéristiques du plancher mixte

Portée entre deux solives	l	3,2	m
Longueur entre moment nul $\ell = 0,85 l$	ℓ	2,72	ml
largeur d'étude du plancher	b	1	m
hauteur de béton équivalente (Cofra70)	h_b	0,124	m
			m ² /ml
Section plaque nervurée	A_p	0,0012	m ² /ml
Section de béton (calcul)	A_{bd}	0,1169	m ² /ml
Section homogène plancher (long terme)	$A_{mix LT}$	0,0093	m ² /ml
Section homogène plancher (court terme)	$A_{mix CT}$	0,0173	m ² /ml
Centre de gravité profilé	$Z_{profilé}$	0,03139	m
Centre de gravité béton	$Z_{béton}$	0,089	m
Centre de gravité plancher mixte (long terme)	$Z_{dalle LT}$	0,081	m
Centre de gravité plancher mixte (court terme)	$Z_{dalle CT}$	0,085	m
Inertie profilé	I_p	9,25E-07	m ⁴
Inertie homogène plancher mixte (long terme)	$I_{mx LT}$	1,820E-05	m ⁴
Inertie homogène plancher mixte (court terme)	$I_{mx CT}$	3,251E-05	m ⁴
Distance entre l'axe neutre de la plaque nervurée en acier et la fibre comprimée extrême de la dalle mixte	d_p	0,11861	m

2) Actions sur plancher

	notations	valeurs	unités
Charges dues au poids de la tôle	g_p	0,10	kN/m ²
Charges dues au poids de béton	g_c	2,98	kN/m ²
Supplément de charge dû à l'effet de "marre"	g_{cm}	négligé	kN/m ²
Q charges d'exploitation	q	3,50	kN/m ²
G1 charges permanentes complémentaires	g_1	1,00	kN/m ²
Surcharges chantiers	q_c	0,75	kN/m ²

3) Vérification den phase chantier

Condition de déformation

Vis-à-vis de l'E.L.S

Avec 1 étais à mi-travée

	notations	valeurs	unités
coefficient fonction du nombre de travées	k_f	0,49	
Nombre d'étais		2	-
Portée entre appuis et/ou étais	l	1,6	m
flèche entre deux points d'appui en phase chantier	δ_{chantier}	0,001	m
Flèche admissible (L/240)	$\delta_{\text{admissible}}$	0,013	m
La condition est-elle vérifiée :		OUI	

Résistance de la section

Vis-à-vis de l'E.L.U

	notations	valeurs	unités
charge chantier P	P	160	daN
Cas de chargement A			
Moment résistant (Abque Avis Technique)	$M_{res(A)}$	6,1	kN.m
Moment sollicitant cas (A)	$M_{(A)}$	3,78	kN.m
La condition est-elle vérifiée :		OUI	
Cas de chargement B			
Moment résistant (Abque Avis Technique)	$M_{res(B)}$	8,7	kN.m
Moment sollicitant cas (B)	$M_{(B)}$	5,64	kN.m
La condition est-elle vérifiée :		OUI	
Cas de chargement C			
uniquement si étaient			
Moment résistant (Abque Avis Technique)	$M_{res(B)}$	5,2	kN.m
Moment sollicitant cas (C)	$M_{(C)}$	2,05	kN.m
La condition est-elle vérifiée :		OUI	

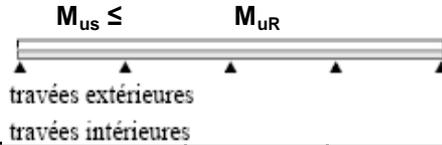
4) Vérification en phase d'exploitation

Résistance de la section

Vis-à-vis de l'E.L.U

sous moments positifs

coefficient adimensionnel Justification relatives à la flexion sous M positif



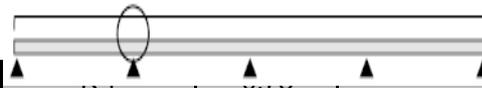
travée extérieures	K1	0,67	-
	K2	0,83	-
travée intérieures	K1	0,4	-
	K2	0,7	-
Travée extérieure			
Moment sollicitant	M_{us}	10,30	kN.m

Travée intérieure			
Moment sollicitant	M_{us}	7,52	kN.m

Effort de plastification de l'ensemble des aciers sollicités en traction	N_{pt}	0,38	MN
hauteur du bloc de contrainte de compression du béton	x_{pl}	0,023	m
0,8 * ep béton au dessus nervure		0,062	m
Vérifier que $x_{pl} < 0,8 * ep$ béton au dessus nervure		vérifiée	
Moment résistant	M_{ur}	40,76	kN.m
La condition est-elle vérifiée :		OUI	

sous moments négatifs

coefficient adimensionnel Justification relative a la flexion sous M négatif



appui de la travée extérieures	K'2	0,83	
Travée extérieure			
Moment sollicitant (négatif)	M_{us}	10,72	kN.m

coefficient adimensionnel Justification relative à la flexion sous M négatif



appui de la travée intérieure	K'1	0,48	
	K'2	0,72	
Travée intérieure			
Moment sollicitant (négatif)	M_{us}	8,22	kN.m

Section d'armatures tendues nécessaire			
enrobage du treillis soudé		0,02	m
	μ_u	0,0049	
	α_u	0,0062	
bras de levier	z_u	0,130	m
Section d'armatures tendues	A_{st}	1,46	cm ² /ml
Section d'armatures adopter (sens longitudinal)	ST-20	1,89	cm²/ml
ST-20 sens transversal	ST-20	1,28	cm ² /ml
Moment Résistant	$M_{u,R}$	10,66	kN.m

Cisaillement longitudinal de la dalle sans ancrage d'extrémité

Vérifier

τ sollicitant \leq τ résistant

Vis-à-vis de l'E.L.S			
	notations	valeurs	unités
coefficient adimensionnel	k_0	0,43	-
coefficient adimensionnel	k_1	0,83	-
coefficient adimensionnel	k_2	0,91	-
valeur de m	m	33,2	MPa
valeur de k	k	0,085	MPa
coefficient partiel de sécurité	γ_{vs}	1,25	
portée de cisaillement	L_s	0,8	m
Discriminant Equation du moment statique	Δ	0,004	
hauteur du bloc de compression du béton à E.L.S.	x_s	0,049	m
Bras de levier elastique	$z_{él}$	0,102	m
Effort tranchant sollicitant à E.L.S.	V_s	8,54	kN
τ sollicitant	τ_s	0,08	Mpa
Contrainte de calcul de cisaillement de glissement	$\tau_{p\sigma\sigma\alpha\nu\tau}$	0,11	Mpa
La condition est-elle vérifiée :		OUI	

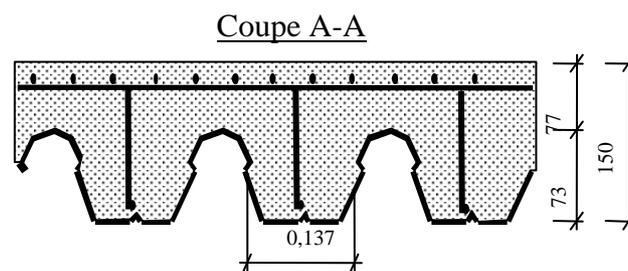
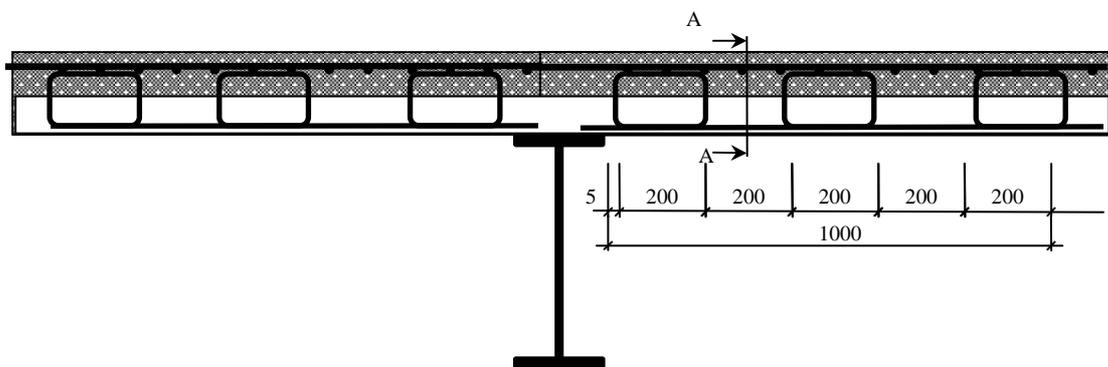
Cisaillement vertical sur appuis

Vis-à-vis de l'E.L.U			
τ sollicitant \leq τ résistant			
coefficient adimensionnel pour l'E.L.U.			
coefficient adimensionnel	k_1	1,17	-
coefficient adimensionnel	k_2	1,2	-
hauteur du bloc de compression du béton à E.L.U.	x_u	0,023	m
Bras de levier plastique	z_u	0,107	m
Effort tranchant sollicitant à E.L.U.	$V_{u,S}$	20,38	kN
largeur de la section horizontale de la nervure	b_{sup}	0,137	m
τ_u sollicitant	$\tau_{u,S}$	1,39	Mpa
$\tau_{u,R}$ résistant	$\tau_{u,R}$	0,75	Mpa
La condition est-elle vérifiée :		NON	
Charge uniformément répartie	P_u	10,75	kN/ml

Condition de déformation

Vis-à-vis de l'E.L.S

Critère de flèche	notations	valeurs	unités
flèche admissible (L/500)	$\bar{\delta}_{adm}$	0,006	m
flèche à mi-travée en phase chantier (sans effet de "mare")	$\bar{\delta}_{chantier}$	0,001	m
coefficient fonction du nombre de travées	k_f	0,49	
flèche charges permanentes (g_1), (long terme)	$\bar{\delta}_{perm}$	0,0002	m
flèche charges exploitation (q), (court terme)	$\bar{\delta}_{expl}$	0,0003	m
flèche totale	$\bar{\delta}_{tot}$	0,001	m
La condition est-elle vérifiée :		OUI	
-			

Annexe 11. : Disposition des cadres sur appuis

Annexe 12. :Vérification Solive Mixte

III-Vérification Solive mixte

Caractéristiques profilés

		<u>IPE 360</u>	
Limite Elastique Acier	fy	<u>235</u>	Mpa
pois	ga	0,571	kN/m
hauteur profilé	ha	0,36	m
largeur profilé	b	0,17	m
épaisseur âme	tw	0,008	m
épaisseur semelle	tf	0,0127	m
rayon de congé	r	0,018	m
section du profilé	Aa	72,73	cm ²
hauteur libre entre semelles	hi	0,3346	m
hauteur libre entre congés	d	0,2986	m
Diamètre nominal	M	22	
Inertie axe fort	Iya	16270	cm ⁴
Module élastique	wely	903,6	cm ³
Module plastique	wply	1019	cm ³
	iv	14,95	cm
Aire de cisaillement	Avz	35,14	cm ²
Inertie axe faible	Iza	1043	cm ⁴
Module élastique	welz	122,8	cm ³
Module plastique	wplz	191,1	cm ³
	iz	3,79	cm
Inertie de torsion uniforme	I _t	37,32	cm ⁴
Inertie de gauchissement	I _w	0,3136	cm ⁶
Aire de la semelle supérieure	Afsup	0,0022	m ²

1) Caractéristiques solive mixte

Longueur solive	L	9,3	m
Espacement entre solive	Lsol	3,2	m
calcul de b efficace	beff+	2,325	m

Hauteur total (dalle+solive)	h	0,51	m
hauteur de béton en dehors des nervures	tc	0,077	m
$g=tc/2+hn+ha/2$	g	0,292	m
Aire de béton comprimé	Ac	0,1790	m ²
Inertie de béton hors nervure	Ic	8,84533E-05	m ⁴

calcul des Amx

Aire mixte (long terme)	Amx,LT	0,0196	m ²
Aire mixte (court terme)	Amx,CT	0,0320	m ²

Position de l'axe neutre élastique/partie sup du béton

axe neutre élastique (LT)	Zel	0,147	m
l'axe neutre élastique se situe dans		la nervure	

calcul des Imx

Inertie Mixte (long terme)	Imx	0,00055768	m ⁴
Inertie Mixte court terme (court terme)	Imx	0,00074395	m ⁴

Position axe neutre plastique

Effort de compression maximum dans le béton	N _{Cmax}	2536,19	kN
Effort de compression maximum dans la semelle	N _{semelle}	507,37	kN
Effort de traction maximum dans le profilé	N _{atmax}	1709,16	kN
Axe neutre plastique de la section mixte	zpl	0,052	m
L'axe neutre élastique se situe dans le béton			

2) Actions sur la solive

	notations	valeurs	unités
Poids propre du profilé	g _a	0,57	kN/ml
Charges dues au poids de la tôle	g _p	0,32	kN/ml
Charges dues au poids de béton	g _c	9,52	kN/ml
Surcharge de béton et équipements de 9 m ²	ΔQ	4,50	kN/m
longueur d'application de la surcharge de béton	l _{ΔQ}	3	m
Surcharge équipements légers	Q _{ca}	2,40	kN/ml

3) Vérification en phase chantier

Résistance de la section (Analyse plastique)

Vis-à-vis de l'E.L.U

Résistance des sections au moment fléchissant positif

Moment résistant élastique du profil	M ⁺ _{elRd}	212,35	kN.m
Moment résistant plastique du profil	M ⁺ _{plRd}	239,47	kN.m
Moment sollicitant Modélisation Robot	M _{ED}	206,04	kN.m
La condition est-elle vérifiée :		OUI	

Condition de déformation

Vis-à-vis de l'E.L.S			
flèche admissible (L/250)	$\bar{\delta}_{adm}$	0,037	m
fleche lors du coulage	$\bar{\delta}_1$	0,030	m
Contre flèche nécessaire	$\bar{\delta}_{cf}$	0,030	m
La condition est-elle vérifiée :		OUI	

Résistance de l'élément au déversement

Vis-à-vis de l'E.L.U			
Moment sollicitant Modélisation Robot	M_{ED}	206,04	kN.m
Coefficient fcton du type de chargement	C_1	1,132	-
Moment critique élastique de déversement	M_{cr}	109,82	kN.m
coefficient de corrélation	β	1	
élancement réduit	λ_{LT}	1,48	-
Limtes	ha/b	2,12	-
COURBE DE DEVERSEMENT (Section en I, profil laminé)		b	-
Facteur d'impefection	α_{LT}	0,34	-
Coefficient d'élancement réduit	χ_{LT}	0,35	-
Résistance de calcul au déversement	$M_{b,Rd}$	76,40	kN.m
La condition est-elle vérifiée :		NON	
Nombre de point de clouagedu bac	n	2	-
Contrainte engendrée dans le bac pour 2% de Nsemelle	σ_b	77,8	Mpa
La contribution du bac acier suffit-elle pour empêcher le déversement		OUI	

4)Vérification en phase d'exploitation

Résistance de la section (Analyse plastique)

Vis-à-vis de l'E.L.U			
<u>Résistance des sections au moment fléchissant positif</u>			
Moment résistant plastique du profil	$M_{pl,Rd}^+$	519,68	kN.m
Moment sollicitant	M_{ed}	380,35	kN.m
La condition est-elle vérifiée :		OUI	

Résistance des sections à l'effort tranchant

Résistance à l'effort tranchant	$V_{pl,Rd}$	476,77	kN
Effort tranchant sollicitant	V_{ed}	163,59	kN
La condition est-elle vérifiée :		OUI	

Condition de déformation

Vis-à-vis de l'E.L.S

Effet du retrait

	$\epsilon_{\text{retrait}}$	0,0003	
Contrainte dans le béton fibre supérieure	$\sigma_{\text{c bord sup}}$	0,17	Mpa
Contrainte dans l'acier fibre inférieure	$\sigma_{\text{a bord inf}}$	1,57	Mpa
flèche du au retrait	δ_{retrait}	0,008	m

Critère de flèche

flèche admissible (L/350)	δ_{adm}	0,027	m
flèche phase chantier	δ_1	0,000	m
flèche supplément de charges permanentes	δ_{G2}	0,002	m
Q charge d'exploitation	$\delta(Q)$	0,005	m
flèche phase d'exploitation = $\delta_{\text{G2}} + \delta(Q) + \delta_{\text{ret}}$	δ_2	0,015	m
flèche totale	δ_{max}	0,014	m
La condition est-elle vérifiée :		OUI	
Contre flèche nécessaire	δ_{cf}	0,030	m

5) Dimensionnement du goujonnage

Caractéristique goujonnage

longueur critique	Lcr	4,65	m
nbre de goujon dans 1 nervure	nr	1	

Caractéristiques des goujons

Type de goujon		NELSON	
diamètre goujon	d	0,019	m
résistance à la traction ultime	fu	450	Mpa
hauteur nominale hors tout du goujon	hsc	0,125	m
espacement entre deux nervures	bs	0,187	m
section d'un goujon	Av	0,0003	m ²
facteur partiel	γ	1,25	-
coefficient	α	1	
largeur du renformis à mi-hauteur	b ₀	0,112	m
Espacement longitudinal mini	St _L	0,095	m
Espacement transversal mini	St _t	0,076	m

Résistance de calcul des connecteurs

résistance du goujon	Pr1	81,66	kN
résistance du béton	Pr2	71,26	kN
$P_{\text{Rd}} = \text{INF} [P_{r1}, P_{r2}]$	P_{Rd}	71,26	kN
coefficient minorateur (cas dalle nervuré)	k _t	0,77	-
Résistance de calcul corrigée	$P_{\text{Rd, corrigé}}$	54,52	kN

Connexion complète en comportement plastique

Entraxe entre files de goujons			m
Effort maximum à reprendre par les goujons	$N_{\max \text{ travée}}$	1709,16	kN
Effort de référence pour la connexion complète $V_1=Nc$	$V_1=Fcf$	1709,16	kN
nombre de goujons sur la longueur L_{cr}		32	
Ce qui représente au minimum 1 goujon tous les		0,15	m
Condition d'espacement longitudinal vérifié		oui	
Condition d'espacement transversal vérifié		oui	
Nécessité d'une étude en connexion partielle		oui	-
Nombre de goujons totales	n_f	64	-

Connexion partielle en comportement plastique

Moment sollicitant	M_{ed}	380,35	kN.m
Moment résistant plastique du profil moment positif	$M_{a,pl,Rd}$	239,47	kN.m
Moment résistant plastique du profil	$M_{pl,Rd}$	519,68	kN.m

Courbe	$M_{ed} / M_{a,pl,Rd}$	F_c / F_{cf}
Point C	1	1
Point A	0,460796378	0

effort de compression	F_c	859,36	kN.m
nombre de goujons sur la longueur L_{cr}		16	-
Ce qui représente au minimum 1 goujon tous les		0,187	m
Nombre de goujons totales	n	32	-
	n/n_f	0,50	-
rendement minimum acceptable	$\eta \text{ min}$	0,4	-
Condition de connexion complète validé		oui	-
Condition de répartition uniforme		oui	-

Annexe 13. : Caractéristiques géométriques d'une section mixte

• Aire mixte

En vue de déterminer les caractéristiques de sections de la solive mixte homogénéisées par rapport à l'acier, il est nécessaire d'introduire le concept de coefficient d'équivalence acier béton, défini comme suit :

$$n = E_a / E_{cm}$$

où E_a est le module d'élasticité longitudinale de l'acier et E_{cm} module sécant du béton (tel que défini dans l'EN 1992-1-1. Deux coefficients d'équivalence sont utilisés, suivant si l'effet du chargement est à court ou long terme (prise en compte du fluage du béton). Par conséquent, il est indispensable de définir deux aires mixtes.

<p style="text-align: center;"><u>Court terme</u></p> <p style="text-align: center;">$n_0 = E_a / E_{cm}$</p> <p style="text-align: center;">$A_{mix,0} = A_a + A_c / n_0$</p>	<p style="text-align: center;"><u>Long terme</u></p> <p style="text-align: center;">$n_L = E_a / (E_{c,eff}) = E_a / (E_{cm} / 2)$</p> <p style="text-align: center;">$A_{mix,L} = A_a + A_c / n_L$</p>
--	---

• Comportement élastique de la section

Effectuer l'équilibre de la section nous permet de déterminer la position de l'axe neutre élastique, information précieuse pour calculer l'inertie mixte de la section. Deux situations sont envisageables selon la localisation de l'axe neutre.

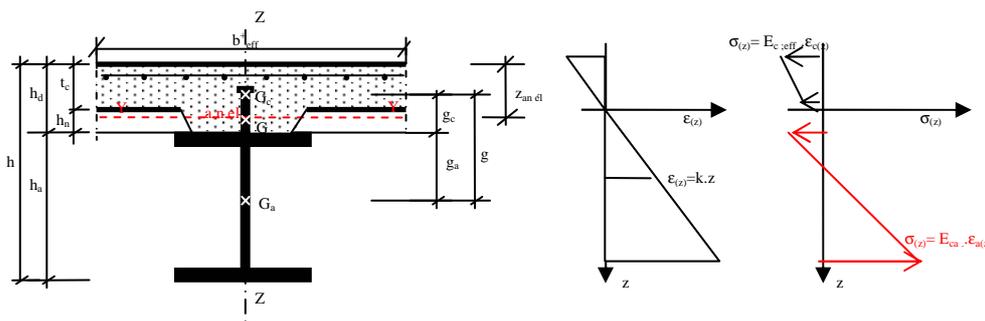


Figure 1 : Equilibre de la section en phase élastique

Avec g : distance entre le centre de gravité du béton comprimé et le profilé

Axe neutre élastique dans le profil acier

Si $z_{él} > h_d$ ou Si $z_{él} < h_d$ et $z_{él} > t_c$:
La position de l'axe neutre est établie à partir de l'équation du barycentre homogénéisée, on obtient ainsi :

$$z_{él} = t_c / 2 + g \cdot A_a / A_{mix}$$

Inertie de la section rendue homogène

$$I_{mx} = I_a + I_c / n + g^2 \cdot A_a \cdot A_c / (n \cdot A_{mx})$$

Axe neutre élastique dans la dalle

Si $z_{él} < h_d$ et $z_{él} < t_c$
Le béton étant partiellement comprimé, l'équation du moment statique de la section doit être réduite (non prise en compte du béton tendu), qui devient :

$$A_a (g + t_c / 2 - z_{él}) - (b_{eff}^+ \cdot z_{él}^2 / 2) / n = 0$$

On obtient alors z_c en recherchant la racine positive de cette équation.

Inertie de la section rendue homogène

$$I_{mx \text{ réd}} = I_a + A_a (g + t_c / 2 - z_{él})^2 + (b_{eff}^+ \cdot z_{él}^3 / 3) / n$$

• Comportement plastique de la section

Le calcul plastique n'est applicable que si le profilé n'est pas susceptible de subir un voilement local.

Hypothèses complémentaires :

↳ En tout point de la section mixte, la contrainte atteint la limite de la résistance de calcul :

-pour l'acier du profil..... $f_{yd}=f_y/\gamma_{M0} = 235$ Mpa

-pour le béton comprimé..... $0,85.f_{cd} = 14,16$ Mpa

↳ Le béton tendu n'est pas pris en compte ; on néglige aussi les efforts transmis par le béton localisé entre les nervures de tôles profilées

↳ La connexion dalle-profilé reste complète (aucun glissement relatif n'est admis)

Comme dans la phase élastique, deux situations sont envisageables selon la localisation de l'axe neutre.

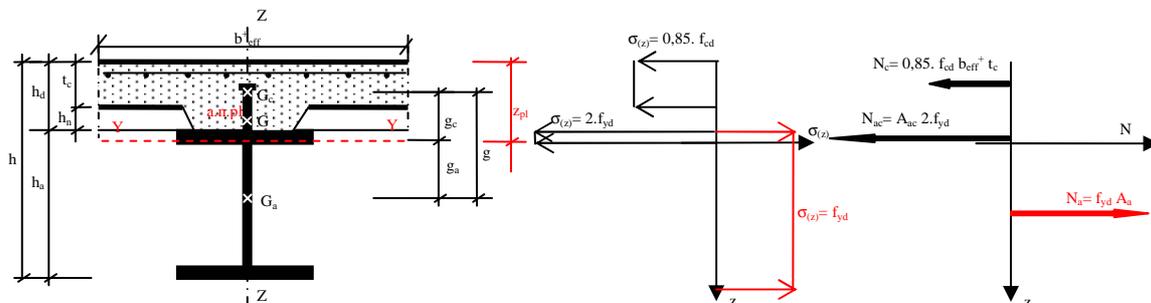


Figure 2 : Distribution plastique des contraintes de la section mixte

La comparaison entre les efforts résultants maximaux acceptés par la dalle béton, le profilé et uniquement sa semelle supérieure permet d'obtenir rapidement la position de l'axe de neutre plastique dans la section.

➤ Axe neutre plastique

Equilibre des sections en effort	Axe neutre plastique
	<p>Si $N_{c,max} > N_{a,max}$</p> <p><u>a.n.pl dans la semelle comprimé en béton :</u></p> <p>$z_{pl} = A_a f_{yd} / (b_{eff} + 0,85 f_{cd})$</p>

	<p>Si $N_{c,max} < N_{a,max}$ et Si $N_{c,max} + N_{a,semelle} > N_{a,max} - N_{a,semelle}$</p> <p>Dans la semelle supérieure du profilé : $z_{pl} = h_d + Aa / 2b - (A_c f_{cd} 0,85) / (2 f_{yd} b)$</p>
	<p>Si $N_{c,max} < N_{a,max}$ et Si $N_{c,max} + N_{a,semelle} < N_{a,max} - N_{a,semelle}$</p> <p>Dans l'âme du profilé : $z_{pl} = h_d + t_f + Aa / 2t_w - (A_{f,sup} / t_w) - 0,85 f_{cd} / (2 f_{yd} t_w)$</p> <p>Le barycentre de la zone comprimé du profil acier peut être déterminé à partir de l'équation</p> $g_{ac} = \frac{[(A_{f,sup} - t_w \cdot t_{f,sup}) / 2 + t_w \cdot (z_{pl} - h_d)^2 / 2]}{A_{f,sup} + t_w (z_{pl} - h_d - t_{f,sup})}$

➤ **Moment résistant plastique**

Axe neutre plastique	Moment Résistant : $M_{pl Rd}^+$
Dans la semelle comprimée en béton :	$M_{pl Rd}^+ = [N_a] \cdot (g + t_c / 2 - z_{pl} / 2)$ $M_{pl Rd}^+ = [A_a f_{yd}] \cdot (g + t_c / 2 - z_{pl} / 2)$
Dans la semelle supérieure du profilé :	$M_{pl Rd}^+ = [N_{at}] \cdot (t_c / 2 + h_n + h_a / 2)$ $M_{pl Rd}^+ = [A_a f_{yd}] \cdot (t_c / 2 + h_n + h_a / 2)$ $M_{pl Rd}^+ = [N_{ac}] \cdot (t_c / 2 + z_{pl} - h_d)$ $M_{pl Rd}^+ = [2 \cdot (z_{pl} - h_d) b f_{yd}] \cdot (t_c / 2 + z_{pl} - h_d)$
Dans l'âme du profilé :	$M_{pl Rd}^+ = [N_{at}] \cdot (g)$ $M_{pl Rd}^+ = [N_{ac}] \cdot (g_{ac} + g_c)$ $M_{pl Rd}^+ = [A_a f_{yd}] \cdot (g)$ $M_{pl Rd}^+ = [2 \cdot (A_{f,sup} + (z_{pl} - h_d - t_{f,sup}) t_w) \cdot f_{yd}] \cdot (g_{ac} + g_c)$

Annexe 14. : Résistance au cisaillement d'un goujon

La résistance de connexion P_{Rd} d'un goujon s'exprime à partir des deux relations définies dans l'EN 1994 §6.6.3, en prenant la valeur la plus petite :

$$\Rightarrow \text{Résistance du goujon : } P_{R1} = 0,8 f_u A_v / \gamma_v = 81,66 \text{ kN}$$

Avec $A_v = \pi d^2 / 4$ et $\gamma_v = 1,25$

$$\Rightarrow \text{Résistance du béton : } P_{R2} = 0,29 \alpha d^2 (\sqrt{f_{ck} \cdot E_{cm}}) / \gamma_v = 71,26 \text{ kN}$$

$$\mathbf{P_{Rd} = \text{Inf} [P_{R1} ; P_{R2}] = 71,26 \text{ kN}}$$

Dans le cas de la dalle nervurée, la résistance de calcul est affectée d'un coefficient minoratif :

$$\mathbf{P_{Rd \text{ corrigé}} = k_t \cdot P_{Rd}} \text{ (nervure perpendiculaire à la poutre)}$$

$$\text{Avec } k_t = 0,7 / (\sqrt{n_r}) \cdot b_0 / h_p \cdot (h_{sc} / h_p - 1)$$

D'après la note de calcul, $\mathbf{P_{Rd \text{ corrigé}} = 54,52 \text{ kN}}$

De plus, les goujons doivent respecter une condition d'espacement minimum :

- \Rightarrow Esp longitudinal $> 5 d$: vérifiée
- \Rightarrow Esp transversal $> 4 d$ (dalle nervurée) : vérifiée

Annexe 15. : Détail de la liaison mur-rideau plancher



Annexe 16. : Résultats de la modélisation de la poutrelle cellulaire

● Phase chantier

L'élançement de l'âme n'impose pas de vérification de la résistance au voilement par cisaillement : $d / t_w < 69$

Moment résistant de la section au droit d'une ouverture : $M_{Rd} = 1488.075$ kN.m

Combinaison ELU en phase de construction : 1.35 g + 1.50 Qc

RESUME DES CRITERES (Phase de construction)

Résistance à l'effort axial Ouv. n°12 :	$\Gamma_{N,max} = 0.626$	< 1 Satisfaisant
Résistance au cisaillement Ouv. n°10 :	$\Gamma_{V,max} = 0.524$	< 1 Satisfaisant
Résistance au moment fléchissant Ouv. n°1 :	$\Gamma_{M,max} = 0.259$	< 1 Satisfaisant
Interaction effort axial-effort tranchant Ouv. n°12 :	$\Gamma_{NV,max} = 0.626$	< 1 Satisfaisant
Interaction moment-effort axial Ouv. n°12 :	$\Gamma_{MN,max} = 0.627$	< 1 Satisfaisant
Interaction moment-effort tranchant Ouv. n°1 :	$\Gamma_{MV,max} = 0.259$	< 1 Satisfaisant
Interaction moment-effort axial-effort tranchant Ouv. n°12 :	$\Gamma_{MNV,max} = 0.627$	< 1 Satisfaisant
Résistance au cisaillement horizontal :	$\Gamma_{Vh,max} = 0.564$	< 1 Satisfaisant
Résistance au flambement des montants :	$\Gamma_b,max = 0.395$	< 1 Satisfaisant
Résistance de la section au droit des montants :	$\Gamma_R,max = 0.599$	< 1 Satisfaisant
Résistance au déversement :	$\Gamma_{LT,max} = 2.279$	> 1 Non satisfaisant
Valeur calculée de la gorge des cordons de soudure :	$a_{min} = 2.6$ mm	

Attention il convient de retenir la valeur minimale de 3 mm pour la gorge des cordons de soudure (EC3).

LA POUTRE N'EST PAS SUFFISANTE POUR SUPPORTER LES CHARGES APPLIQUEES (Phase de construction)

Flèche maximale en phase de construction (g) : $v = 26.6$ mm (L/473)

● Phase d'exploitation

Vérification du degré de connexion

Degré minimal de connexion = 0.628

Combinaison ELU : ELU 01 1.35 G + 1.50 Q1

Degré de connexion = 1.026 > 0.628 -> Le calcul plastique est possible.

RESUME DES CRITERES

Résistance à l'effort axial Ouv. n°12 :	$\Gamma_{N,max} = 1.015$	> 1 Non satisfaisant
Résistance au cisaillement Ouv. n°6 :	$\Gamma_{V,max} = 0.961$	< 1 Satisfaisant
Résistance au moment fléchissant Ouv. n°6 :	$\Gamma_{M,max} = 0.527$	< 1 Satisfaisant
Interaction effort axial-effort tranchant Ouv. n°12 :	$\Gamma_{NV,max} = 1.015$	> 1 Non satisfaisant
Interaction moment-effort axial :	$\Gamma_{MN,max} = \text{non calculé } (\Gamma_{N,max} > 1)$	
Interaction moment-effort tranchant Ouv. n°6 :	$\Gamma_{MV,max} = 1.705$	> 1 Non satisfaisant
Interaction moment-effort axial-effort tranchant :	$\Gamma_{MNV,max} = \text{non calculé } (\Gamma_{N,max} > 1)$	
Résistance au cisaillement horizontal :	$\Gamma_{Vh,max} = 0.932$	< 1 Satisfaisant
Résistance au flambement des montants :	$\Gamma_b,max = 0.664$	< 1 Satisfaisant
Résistance de la section au droit des montants :	$\Gamma_R,max = 0.886$	< 1 Satisfaisant
Valeur calculée de la gorge des cordons de soudure :	$a_{min} = 4.3$ mm	

LA POUTRE N'EST PAS SUFFISANTE POUR SUPPORTER LES CHARGES APPLIQUEES

Calcul des flèches aux Etats Limites de Service

Flèche maximale en phase de construction (g) : $v = 26.6$ mm = L / 474

Cas de charges : G (Ch. permanente hors poids propre) $v = 10.4$ mm = L / 1207

Cas de charges : Q1 $v = 20.1$ mm = L / 625

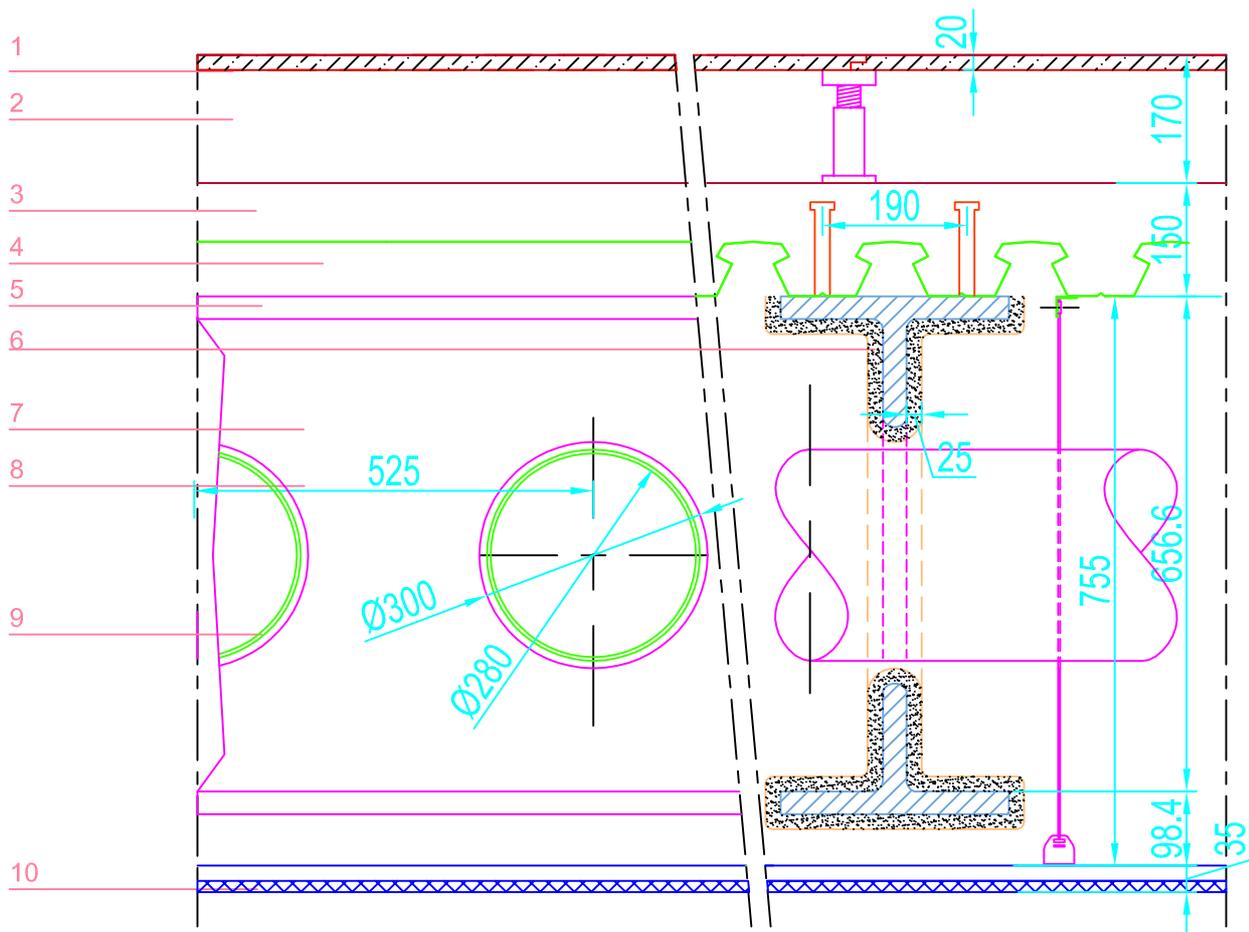
Flèche due au retrait du béton ($M = 233.732$ kN.m) $v = 9.2$ mm = L / 1364

Il appartient à l'utilisateur de vérifier si les flèches calculées sont acceptables en fonction des conditions imposées par le projet, et de prévoir le cas échéant, une contreflèche.

Annexe 17. : Détail de la solution poutrelle cellulaire

Détail de la solution poutrelle cellulaire

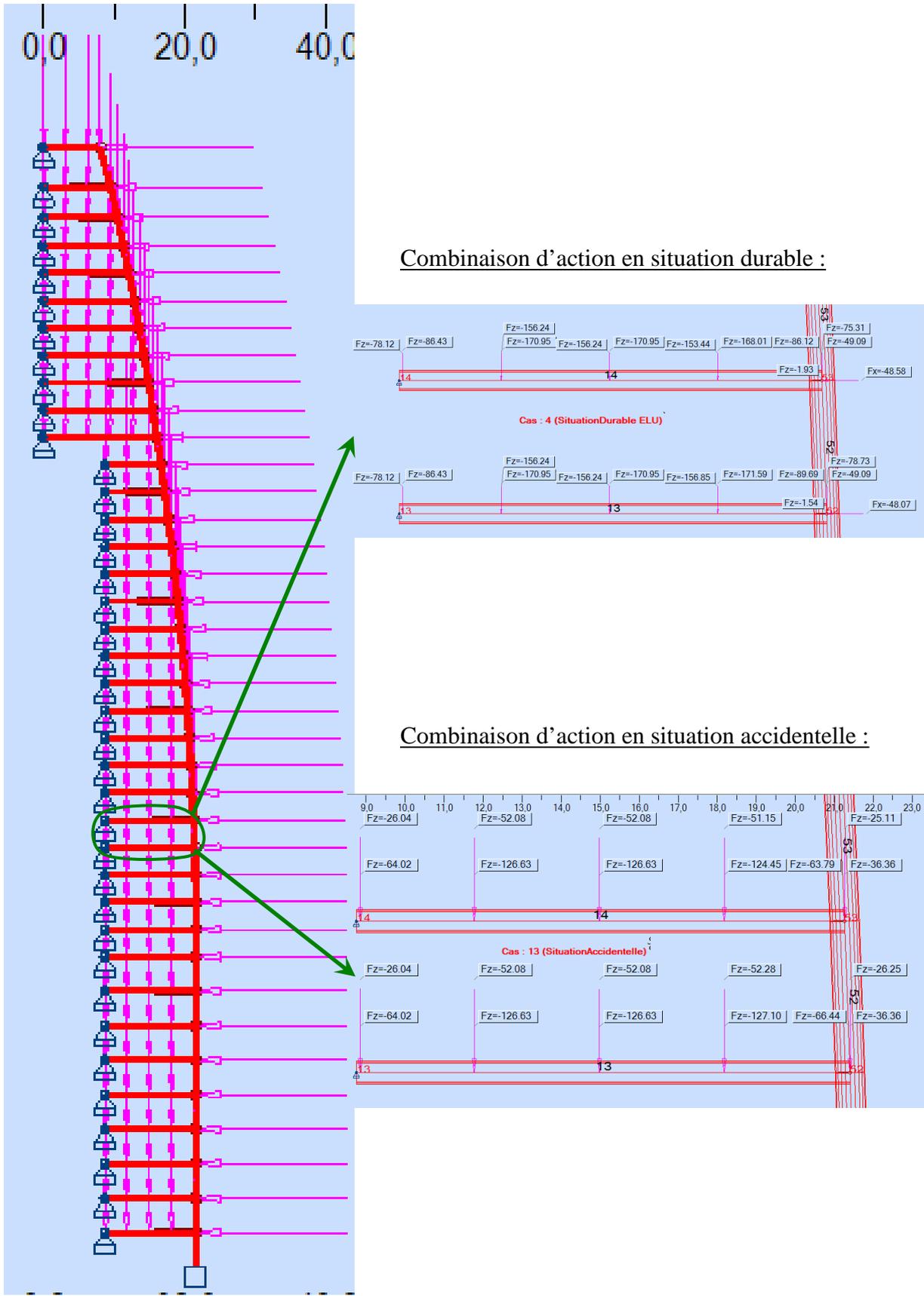
ech 1/10ème



1. Plancher technique sur vérins
2. Plénum
3. Plancher collaborant béton sur bac acier
4. Connecteur type Nelson d=19
5. Semelle haute 1/2 HEB 600
6. Protection enduit projeté
7. Réserve
8. Passage de gaine
9. Semelle basse 1/2 HEB 600
10. Plafond suspendu

Annexe 18. :Modélisation de la façade Nord sous Robot Millenium.

- Etude du poteau numéro 52 entre l'étage 13 et 14



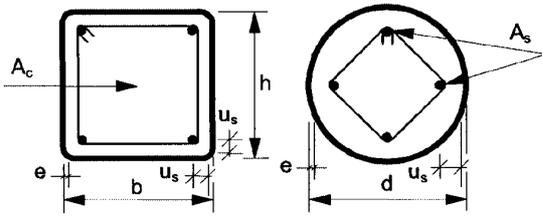
Annexe 19. : Valeur des coefficients selon l'EC0-1 :

A état limite ultime, la valeur de calcul de chaque action dépend de la situation étudiée. Deux situations de projet sont susceptibles d'engendrer divers modes de ruine ; le tableau ci-dessous indique les valeurs de calcul à prendre pour les différentes catégories d'actions.

Situation de projet	Actions permanentes G_d	Actions variables		Actions accidentelles A_d
		Ac. var. de base	Ac. var. d'accompagnement	
Sit. durable et sit. transitoire	$\gamma_G G_k$	$\gamma_Q G_k$	$\Psi_0 \gamma_{Qi} Q_k$	-
Sit. accidentelle	$\gamma_{GA} G_k$	$\Psi_1 Q_k$	$\Psi_2 Q_k$	$\gamma_A A_k$

Coefficients partiels de sécurité	valeurs
γ_G	1,35
γ_Q	1,5
γ_{Qi}	1,5
γ_{GA}	1
γ_A	1
Actions variables dues au vent	
Ψ_0	0,67
Ψ_1	0,2
Ψ_2	0
Bâtiment de bureaux	Catégories B
Ψ_0	0,7
Ψ_1	0,5
Ψ_2	0,3

Annexe 20. : Résistance au feu normalisé - Valeurs tabulées pour des poteaux mixtes en profils creux remplis de béton

 <p>Profil en acier : $(b/e) \geq 25$ ou $(d/e) \geq 25$</p>		Résistance au feu normalisé				
		R30	R60	R90	R120	R180
1	Dimensions minimales de la section pour un niveau de chargement $\eta_{fi,t} \leq 0,28$					
1.1	Dimensions minimales h et b ou diamètre d mini [mm]	160	200	220	260	400
1.2	Pourcentage minimal d'armatures $A_s/(A_c + A_s)$ en (%)	0	1,5	3,0	6,0	6,0
1.3	Distance d'axe minimale des armatures u_s [mm]	—	30	40	50	60
2	Dimensions minimales de la section pour un niveau de chargement $\eta_{fi,t} \leq 0,47$					
2.1	Dimensions minimales h et b ou diamètre d mini [mm]	260	260	400	450	500
2.2	Pourcentage minimal d'armatures $A_s/(A_c + A_s)$ en (%)	0	3,0	6,0	6,0	6,0
2.3	Distance d'axe minimale des armatures u_s [mm]	—	30	40	50	60
3	Dimensions minimales de la section pour un niveau de chargement $\eta_{fi,t} \leq 0,66$					
3.1	Dimensions minimales h et b ou diamètre d mini [mm]	260	450	550	—	—
3.2	Pourcentage minimal d'armatures $A_s/(A_c + A_s)$ en (%)	3,0	6,0	6,0	—	—
3.3	Distance d'axe minimale des armatures u_s [mm]	25	30	40	—	—

NOTE Les valeurs du niveau de chargement $\eta_{fi,t}$ ont été adaptées aux règles de calcul pour les poteaux mixtes de l'EN 1994-1-1.

Annexe 21. : Fiche produit - Peinture intumescente

Unitherm® 38091

Intérieur



N°1 français des peintures anticorrosion

DEFINITION

Revêtement intumescent **pour intérieur**.

PROPRIETES

Permet d'obtenir **une stabilité au feu de 30 mn à 2 h** sur une ossature métallique.

L'épaisseur et le nombre de couches dépendent de la température critique, du facteur de massiveté des éléments constituant la structure, ainsi que de la durée de stabilité au feu requise. (PV-94-U-099A du CTICM).

Les structures devront être maintenues hors intempéries pendant la durée du chantier.

DESTINATION

SUBJECTILE : sur primaire.

INTERIEUR	<input checked="" type="checkbox"/>	EXTERIEUR	
IMMERSION			
ATELIER		SITE	<input checked="" type="checkbox"/>
TRAVAUX NEUFS	<input checked="" type="checkbox"/>	ENTRETIEN	<input checked="" type="checkbox"/>
ATMOSPHERE OU MILIEU : moyennement agressif.			

CARACTERISTIQUES A 20 °C ET A 65 % HR

ASPECT	Mat
COULEUR	Blanc
PRESENTATION	Monocomposant
PROPORTION DU MELANGE	Sans objet
CONSISTANCE DU PRODUIT	Pâteux
DILUANT ASSOCIE	Ne pas diluer (1)
DUREE DE MURISSEMENT DU MELANGE	Sans objet
DUREE PRATIQUE D'UTILISATION DU MELANGE	Sans objet
DENSITE	1,29 ± 0,05
EXTRAIT SEC	En poids : 70 % ± 2

EPAISSEUR RECOMMANDEE DU FILM SEC	200 à 700 microns (2 et 3)
EPAISSEUR RECOMMANDEE DU FILM HUMIDE	300 à 1050 microns
RENDEMENT OU CONSOMMATION THEORIQUE	Pour 200 microns secs : 0,4 kg/m ² Pour 700 microns secs : 1,4 kg/m ²
SECHAGE	Pour 700 microns secs : Hors poussière : 2 heures Sec au toucher : 8 heures
RECOUVRABLE PAR	Lui-même UNITHERM® 7854 (prévoir 1 teinte claire pour les structures soumises à l'échauffement).
DELAI DE RECOUVREMENT	Minimum : 24 heures (lui-même) - 48 heures (finition) Maximum : 12 mois (à l'abri de l'humidité)
TEMPERATURE LIMITE DE SERVICE	Sans objet

B 68 / 11 - 2006

Unitherm® 38091 Intérieur

MISE EN ŒUVRE

SUBJECTILE/PREPARATION DE SURFACE

NATURE DU SUBJECTILE : sur primaire homologué ou existant (nous consulter), préalablement nettoyé ou retouché si nécessaire. Ce primaire devra être appliqué sur un subjectile préalablement décapé par jet d'abrasifs au degré de soins Sa 2 1/2 selon norme ISO 8501-1.

Glycérophtalique : PRIVIGOR 664, VITRAL 115, VITRAL 136 MAP.

Epoxydique : CENTREPOX N, FREITAPOX SR 210, FREITAPOX SR 213, VIGOR EP 201 C, VIGOR EP 800.

Epoxy zinc silicate complexe : VIGOR ZN 302 SR.

EMPLOI/DILUTION

PREPARATION DU PRODUIT :

Bien homogénéiser le produit sous agitation mécanique avant emploi.

DILUANT : ne pas diluer (1)

SOLVANT DE NETTOYAGE : diluant n° 13

APPLICATION

PROCEDES	POSSIBILITE	DILUTION	DIAM. BUSES	PRESSION
Brosse (4)	oui	prêt à l'emploi		
Rouleau (4)	oui	prêt à l'emploi		
Pistolet pâteux (4)	oui	prêt à l'emploi	3,3 à 4 mm	1,5-2 bars
Pistolet sans air (5)	oui	prêt à l'emploi	19 à 23/1000e''	180-200 bars

CONDITIONS D'APPLICATION :

Température ambiante : + 5 °C à + 35 °C

Subjectile : température mini : 3 °C au dessus du point de rosée

température maxi : + 35 °C

Humidité relative maxi 80 %

REMARQUES : (1) Possibilité de diluer à 5 % avec diluant n° 13.

(2) Epaisseur du film sec/couche : 200 microns à la brosse, 400 microns au pistolet.

(3) Sur des profilés de dimensions importantes, possibilité de déposer jusqu'à 700 microns secs par couche au pistolet sans air.

(4) Une application à la brosse, au rouleau ou au pistolet pâteux ne permet pas d'obtenir un aspect aussi régulier qu'au pistolet sans air.

(5) Pour faciliter l'application et éviter les risques de colmatage, éliminer le filtre.

HYGIENE ET SECURITE

POINT ECLAIR DU PRODUIT : 21° C < PE < 55° C

POINT ECLAIR DU SOLVANT DE NETTOYAGE : 21 °C < PE < 55 °C

C.O.V. en g/l sans dilution : 400

C.O.V. en g/l avec dilution maximale : 400

C.O.V. g/kg : 310

Suivant la directive n° 2004/42/CE, ce produit appartient à la catégorie A/i Revêtements monocomposants à fonction spéciale.

Les valeurs COV indiquées tiennent compte de nos colorants et des diluants éventuels préconisés sur notre fiche descriptive.

ETIQUETAGE/RECOMMANDATIONS : étiquette légale conforme aux directives européennes sur l'étiquetage des peintures et vernis (directives européennes 88-379 CEE - consulter la fiche de sécurité sur le numéro vert du minitel 08.36.05.10.12 code FREITAG ou par internet www.quickfds.com fournisseur FREITAG).

CONDITIONNEMENT ET STOCKAGE

CONDITIONNEMENT : 25 kg.

STOCKAGE : 12 mois sous abri et à température comprise entre + 5 °C et + 30 °C, emballage d'origine non ouvert.

CLASSIFICATION AFNOR (NFT 36005) :

Famille I

Classe : 7b1

La présente notice a pour but d'informer notre clientèle sur les propriétés de notre produit. Les renseignements qui y figurent sont fondés sur nos connaissances actuelles et le résultat d'essais effectués avec un constant souci d'objectivité en fonction des conditions d'utilisation conformes aux normes du DTU en vigueur. L'évolution de la technique étant permanente il appartient à notre clientèle, avant toute mise en oeuvre, de vérifier auprès de nos services que la présente notice n'a pas été modifiée par une édition plus récente.

B 68 / 11 - 2006

Annexe 22. : Note de calcul du poteau mixte

VII-Vérification Poteau Mixte

Caractéristiques profilés

Tubes creux Te,aris

Résistance caractéristique du béton à 28 jours	f_{ck}	35	MPa
Coefficient de fluage	ϕ_t	3	-
Module d'Young sécant	E_{cm}	32036,35	Mpa
Module d'Young différé	$E_{c,eff}$	14821,60	MPa
Limite Elastique Acier	f_y	355	Mpa
Limite ultime de résistance à la traction	f_u	510	MPa
Diamètre extérieur	d_{ext}	0,711	m
Epaisseur	t	0,016	m
Aire de la section transversale du profilé	A_a	3,49E-02	m ²
Masse linéique	g_a	2,74	kN/ml
Moment d'inertie de flexion	I_a	2,11E-03	m ⁴
rayon de giration	i	-	m
Module de flexion élastique	W_{el}	5,94E-03	m ³
Module de flexion plastique	W_{pl}	7,73E-03	m ³
Surface superficielle par m de long	S_l	2,234	m ² /m
Aire de béton	A_c	0,36	m ²
Inertie du béton	I_c	0,010433956	m ⁴
Longueur de flambement	l_f	3,91	m

Masse linéique totale	g_{tot}	11,79487793	kg/ml
Section de béton équivalente pour modèle Robot	A_{eq}	0,471795117	m ²
Diamètre extérieure équivalent	D_{eq}	0,775053676	m

1) Actions sur le poteau mixte

Situations durables et transitoires	A FROID		
	notations	valeurs	unités
Effort normal en tête (ELU)	N_{ED}	20 141,82	kN
Effort Tranchent	V_{ED}	3,96	kN
Moment fléchissant en tête (ELU)	M_{ED}	2,67	kN.m
Effort normal en tête (ELS)	N_{ED}	13 136,22	kN
Effort normal dû uniquement au poids propre (non pondéré)	$N_{G,ED}$	7 798,00	kN

Situations accidentelles	A CHAUD		
	notations	valeurs	unités
Effort normal en tête	$N_{fi,Ed}$	11 543,50	kN
Effort Tranchent	V_{ED}	2,26	kN
Moment fléchissant en tête	$M_{fi,Ed}$	1,43	kN.m

2) Méthode de calcul

La méthode simplifiée est applicable si les critères suivant sont respectés :

Section transversale doublement symétrique		oui	-
Contribution de l'acier à la résistance	$\bar{\delta}$	48%	-
Contribution de l'acier comprise entre	$20\% < \bar{\delta} < 90\%$	OK	-
Elancement réduit du poteau	λ	0,272662922	-
Elancement réduit doit être < 2	$\lambda < 2$	vérifié	-
Section d'armatures longitudinale $< 6\%$	$A_s < 6\% A_c$	vérifié	-
Condition de résistance au voilement local		vérifié	-
La méthode simplifiée est-elle applicable ?		OUI	-

3) Résistance sous compression axiale

A partir de la résistance à chaud On obtient

1ère itération

hypothèse coefficient du niveau de chargement	η_{fi}	0,47	-
---	-------------	------	---

Pour une résistance au feu de 1 h (Valeur tabulée)

Dimensions minimales	$d >$	0,26	m
Pourcentage minimal d'armature s	% A_c	3	-
Section d'armatures minimales	A_s	0,0109	m ²
Enrobage minimal	e	0,03	m
Choix du diamètre de barres longitudinales	Φ_l	25	mm
Nombre de barres	n	24	-
Section d'armatures obtenue		0,0118	m ²
Angle entre chaque barre		15	°
Inertie Armatures	I_s	0,000520054	m ⁴
Diamètre des armatures transversales = $\max(\Phi/4; 6)$	Φ_t	8	mm
Espacement des cadres $\leq \min(20 \cdot \Phi_{min}; d; 40 \text{ cm})$	$S_{cl,max}$	40	cm

Résistance à froid

Résistance plastique de la section mixte	N_{plRD}	25 972,93	kN
Résistance plastique caractéristique de la section mixte	N_{plRk}	30 965,76	kN
Rigidité en flexion efficace	$(EI)_{eff}$	645,18	Mpa.m ⁴
Effort normal critique en comportement élastique	N_{cr}	416 514,02	kN
Elancement réduit	λ	0,272662922	-
Facteur d'impefection	α	0,21	-
Coefficient d'élancement réduit	χ_{LT}	0,98380	-
Résistance de calcul au flambement	$N_{b,Rd}$	25552,25476	kN

4) Vérification sous compression axiale

Vérification à chaud

Vérification de l'itération	$\eta_{fi,t}$	0,451760524	
Le coefficient reste-il dans le domaine de départ ?		oui	
La condition est-elle vérifiée		OUI	

Vérification à froid

$$N_{Ed} < N_{b,Rd}$$

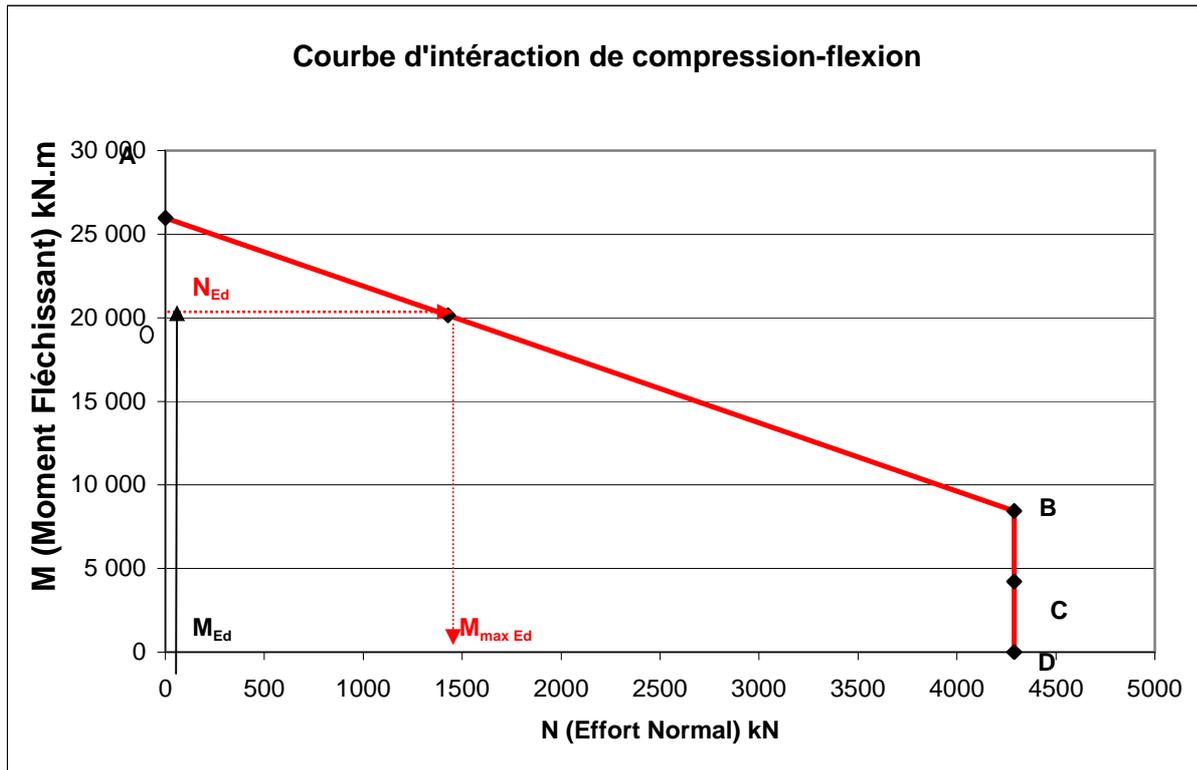
La condition est-elle vérifiée		OUI	
--------------------------------	--	------------	--

5) Détermination de la résistance en compression-flexion

Résistance Compression seule	$N_{pl,RD}$	25 972,93	kN
Résistance en compression du béton seule	$N_{pm,Rd}$	8 449,02	kN
module de résistance plastique des aciers	$W_{pl,s}$	2,21E-03	m ³
module de résistance plastique du béton	$W_{pl,c}$	5,00E-02	m ³
module plastique du profilé	$W_{pl,a}$	7,73E-03	m ³
Moment plastique maximum résistant	$M_{max,Rd}$	4289,870	kN.m
Position de l'axe neutre plastique par rapport à l'axe du poteau	h_n	0,104161438	m
Module de résistance plastique des aciers à l'intérieur de la région h_n	$W_{pl,s}$	3,77331E-05	m ³
Module de résistance plastique du béton à l'intérieur de la région h_n	$W_{pl,c}$	0,007329149	m ³
Module de résistance plastique du profilé à l'intérieur de la région h_n	$W_{pl,a}$	0,000347187	m ³
Moment plastique maximum résistant à l'intérieur de la région h_n	$M_{n,Rd}$	0,315171156	kN.m
Moment résistant à la flexion	$M_{pl,Rd}$	4289,555	kN.m

Diagramme d'interaction N-M

	N	M
Point A	25 972,93	0
Moment maximum admissible suivant l'effort normal sollicitant	20 141,82	1427,3565
Point C	8 449,02	4289,555
Point D	4224,508804	4289,870
Point B	0	4289,555



5) Détermination de la résistance en compression-flexion en phase chantier

Profil creux sans béton sur 2 niveaux

Charges à reprendre

Poids rapporté par la poutre mixte (Ved modèle Robot)	P_1	669,78	kN
excentrement de la charge (plan autocad)	e	0,5	m
Poids rapporté par les deux solives d'extrémités extérieures	P'_1	189,01	kN
Effort normal	N_{Ed}	1 718	kN
Moment Fléchissant (d'excentrement)	M_{Ed}	334,89	kN.m

vérification sous compression axiale

Résistance Compression seule	N_{pIRD}	12 401,75	kN
rayon de giration	i	0,25	m
longueur de flambement	L	3,91	m
Elancement géométrique	λ	15,91	-
Effort normal critique en comportement élastique	N_{cr}	286,11	kN
Elancement de référence	λ_1	76,41	-
Elancement réduit	λ_l	0,21	-
Facteur d'impefection	α	0,21	-
Coefficient d'élancement réduit	χ_{LT}	0,998	-
Résistance de calcul au flambement	$N_{b,Rd}$	11 254	kN
La condition est-elle vérifiée :		OUI	

5) Détermination de la résistance en compression-flexion

Résistance Compression seule	N_{pIRD}	12 401,75	kN
module plastique du profilé	$W_{pl,a}$	7,73E-03	m ³
Moment plastique maximum résistant	$M_{max,Rd}$	2744,067	kN.m
La vérification de la résistance en compression-flexion peut être confirmée			

Annexe 23. : ENV 1994-1-1 Annexe C méthode simplifiée de calcul de résistance de sections transversales mixtes doublement symétriques soumises à une interaction de flexion compression

Construction mixte acier-béton

Eurocode 4 «Conception et dimensionnement des structures mixtes acier-béton» et Document d'Application Nationale — Partie 1-1 : Règles générales et règles pour les bâtiments

Annexe C : Méthode simplifiée de calcul de résistance de sections transversales mixtes doublement symétriques soumises à une interaction de flexion et de compression

- E : Composite construction — Eurocode 4 «Design of composite steel and concrete structures» and National Application Document — Part 1-1 : General rules and rules for buildings — Annex C : Simplified calculation method for resistance of doubly-symmetrical composite cross-sections in combined compression and bending
 D : Verbundbauwerken aus Stahl und Beton — Eurocode 4 «Entwurf von Verbundbauwerken aus Stahl und Beton» und Nationale Anwendungsdokumente — Teil 1-1 : Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau — Anhang C : Vereinfachte Methode zur Berechnung des Widerstandes von einer Biege- und Druck-Wechselwirkung unterzogenen doppelsymmetrischen Verbundquerschnitten

Norme expérimentale publiée par l'AFNOR en septembre 1994.

Les observations relatives à la présente norme expérimentale doivent être adressées à l'AFNOR avant le 1^{er} octobre 1995.

correspondance La présente norme expérimentale reproduit intégralement l'annexe C de la prénorme européenne ENV 1994-1-1:1992 et intègre les adaptations françaises relatives à cette annexe.

**modifications
corrections**

ANNEXE C (NORMATIVE)

METHODE SIMPLIFIEE DE CALCUL DE RESISTANCE DE SECTIONS TRANSVERSALES MIXTES DOUBLEMENT SYMETRIQUES SOUMISES A UNE INTERACTION DE FLEXION ET DE COMPRESSION

C.1 OBJET ET HYPOTHESES

- (1) La présente méthode est applicable selon la section 4.8 au calcul de poteaux dont les sections transversales sont symétriques par rapport aux deux axes principaux et constitués d'une combinaison quelconque d'acier de construction, de béton, et de barres d'armature. La figure 4.9 en donne quelques exemples.
- (2) La résistance des sections transversale soumises à une combinaison quelconque d'effort axial N et de moment fléchissant M par rapport à un axe principal est représentée par une courbe. La présente annexe contient des méthodes de calcul des résistances à la compression définissant les cinq points A, B, C, D et E de la courbe illustrée sur la figure C.1. On peut substituer à cette courbe d'interaction le diagramme polygonal AECDB passant par ces points.
- (3) On utilise l'analyse plastique, avec des blocs de contraintes rectangulaires pour l'acier de construction, l'armature, et le béton conformément aux dispositions des clauses 4.8.3.3 et 4.8.3.11.

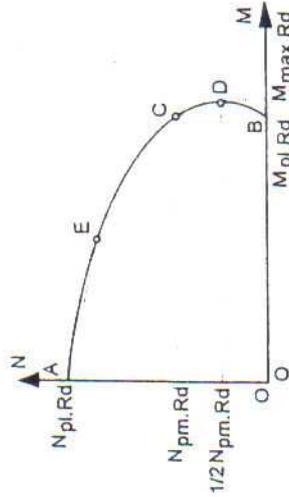


Figure C.1 Courbe polygonale d'interaction

C.2 RESISTANCES A LA COMPRESSION

- (1) La résistance plastique $N_{pl,Rd}$ est obtenue comme indiqué en 4.8.3.3. La résistance $N_{pm,Rd}$ est calculée de la façon suivante.
- (2) La figure C.2 représente une section transversale générale composée d'acier de construction, d'armature (zone hachurée), et de béton, symétrique par rapport à deux axes passant par le centre de son aire G. Pour la flexion uniquement (point B) l'axe neutre plastique est représenté par la ligne BB qui définit la région (1) de la section transversale, à l'intérieur de laquelle le béton travaille en compression. La ligne CC située à la même distance h_n de l'autre côté de G représente l'axe neutre plastique pour le point C sur la figure C.1. Cela en raison du fait que les aires d'acier de construction, de béton et d'armature situées dans la région (2) sont toutes symétriques par rapport à G, de sorte que les modifications de contrainte se produisant lorsque l'axe se déplace depuis BB vers CC augmentent la résistance jusqu'à $N_{pm,Rd}$ et que la résistance à la flexion reste inchangée. On utilise les indices 1 à 3 pour indiquer les régions (1) à (3).

$$N_{pm,Rd} = R_{c2} + 2 |R_{a2}| \quad (C.1)$$

où R_{c2} est la résistance du béton dans la région (2)
 et R_{a2} la résistance de l'acier dans la région (2).

(3) Suivant la notation de la clause 4.8.3.3

$$R_{C2} = A_{s2} \frac{0,85 f_{ck}}{\gamma_c} \text{ ou } R_{C2} = \frac{A_{s2} f_{ck}}{\gamma_c}, \text{ respectivement}$$

$$R_{s2} = \frac{A_{s2} f_y}{\gamma_{Ma}} + \frac{A_{s2} f_{sk}}{\gamma_s}$$

lorsque les valeurs d'efforts de compression et de résistances des matériaux sont prises positives.

(3) C La première formule de R_{C2} correspond à l'application pour un profil ouvert entrobé ou partiellement entrobé de béton. La seconde formule de R_{C2} correspond à l'application pour un profil creux rempli de béton.

(4) A partir de la symétrie, $R_{s1} = |R_{s2}|$ et $R_{C1} = R_{C3}$ (C.2)

Pour l'axe neutre en BB, $N = 0$, de sorte que

$$R_{s1} + R_{C1} = |R_{s2}| + |R_{s3}| \quad (C.3)$$

D'après (C.2) et (C.3), $|R_{s2}| = R_{C1} = R_{C3}$

Par substitution en (C.1), $N_{pm,Rd} = R_{C2} + R_{C1} + R_{C3} = R_C$ (C.4)

où R_C est la résistance à la compression de la totalité de l'aire de béton, ce qui se calcule aisément.

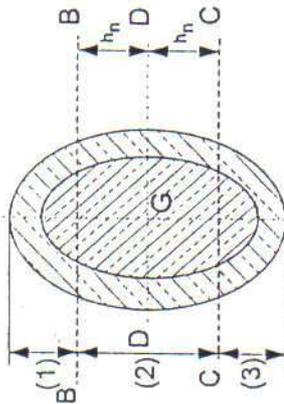


Figure C.2 Section transversale mixte symétrique par rapport à deux axes

C.3 POSITION DE L'AXE NEUTRE

Les équations donnant la valeur de h_n dépendent de l'axe de flexion, du type de section transversale et des caractéristiques de la section transversale. Ces équations sont dérivées des équations C.1 et C.4 et sont indiquées pour quelques sections transversales en C.6.

C.4 RESISTANCES A LA FLEXION

(1) La résistance axiale au point D sur la figure C.1 est la moitié de celle au point C, et l'axe neutre pour le point D est donc la ligne DD sur la figure C.2.

(2) La résistance à la flexion au point D est la suivante :

$$M_{max,Rd} = W_{pa} f_{yd} + W_{ps} f_{sd} + W_{pc} f_{cd} / 2 \quad (C.5)$$

en désignant par :

W_{pa} , W_{ps} et W_{pc} les modules de résistance plastique pour les parties en acier de construction, l'armature et les parties en béton du profilé (pour le calcul de W_{pc} on suppose que le béton est non fissuré), et

f_{yd} , f_{sd} et f_{cd} les résistances de calcul pour l'acier de construction, l'armature et le béton :

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{Ma}$$

$$f_{sd} = f_{sk} / \gamma_s$$

$f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c$ pour les profils remplis de béton et

$f_{cd} = 0,85 f_{ck} / \gamma_c$ pour les autres profilés.

(3) La résistance à la flexion au point B est la suivante :

$$M_{pl,Rd} = M_{max,Rd} - M_{n,Rd} \quad (C.6)$$

avec

$$M_{n,Rd} = W_{pan} f_{yd} + W_{pas} f_{sd} + W_{pcn} f_{cd} / 2 \quad (C.7)$$

où W_{pa} , W_{ps} et W_{pcn} sont les modules de résistance plastique pour les parties en acier de construction, l'armature et les parties en béton du profilé à l'intérieur de la région (2) de la figure C.2.

(4) On trouvera en C.6 des équations pour les modules de résistance plastique de quelques sections transversales.

C.5 INTERACTION AVEC L'EFFORT TRANCHANT

Si l'on considère conformément aux clauses de 4.8.3.12 l'effort tranchant auquel doit résister l'acier de construction, il convient de prendre pour hypothèse que les aires en acier appropriées résistent seules au cisaillement. Il est permis d'appliquer la méthode exposée dans la présente Annexe en utilisant les aires restantes.

C.6 AXES NEUTRES ET MODULES DE RESISTANCE PLASTIQUE DE QUELQUES SECTIONS TRANSVERSALES

C.6.1 Généralités

(1) La résistance à la compression de la totalité de l'aire de béton est la suivante :

$$N_{pm,Rd} = A_c f_{cd} \quad (C.8)$$

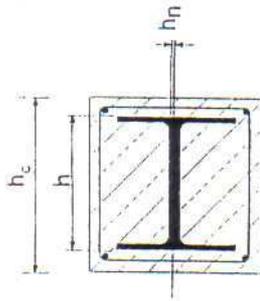
(2) La valeur du module de résistance plastique de la totalité de l'armature est obtenue par :

$$W_{ps} = \sum_{i=1}^n |A_{si} e_i| \quad (C.9)$$

où les e_i sont les distances entre les barres d'armature de l'aire A_{si} et l'axe central approprié (axe y ou axe z).

(3) Les équations de calcul de la position de l'axe neutre plastique h_n sont indiquées pour des positions sélectionnées dans les sections transversales. Il y a lieu que la valeur résultante h_n se situe à l'intérieur des limites de la région considérée.

(3) C h_c et h_n sont présentés sur la figure ci-dessous :



(b) axe neutre dans les semelles : $\frac{f_w}{2} < h_n < \frac{b}{2}$

$$h_n = \frac{N_{pm,Rd} - A_{sn} (2 f_{sd} - f_{cd}) + f_w (2 t_f - h) (2 f_{yd} - f_{cd})}{2 h_c f_{cd} + 4 t_f (2 f_{yd} - f_{cd})} \quad (C.24)$$

$$W_{psn} = 2 t_f h_n^2 - \frac{(h - 2 t_f) f_w^2}{4} \quad (C.25)$$

(c) axe neutre à l'extérieur du profilé en acier : $\frac{b}{2} \leq h_n \leq \frac{b_c}{2}$

$$h_n = \frac{N_{pm,Rd} - A_{sn} (2 f_{sd} - f_{cd}) - A_y (2 f_{yd} - f_{cd})}{2 h_c f_{cd}} \quad (C.26)$$

$$W_{psn} = W_{psa} \quad (C.27)$$

(4) Le module plastique du béton dans la région de hauteur $2h_n$ résulte donc de l'équation :

$$W_{psn} = h_c h_n^2 - W_{psa} - W_{psn} \quad (C.28)$$

avec W_{psn} tel que dans l'équation (C.19) en substituant l'indice y à l'indice z .

(5) Pour le calcul de $N_{E,Rd}$ et $M_{E,Rd}$ représentant les résistances au point supplémentaire E, l'axe neutre doit être situé de telle sorte que $N_{E,Rd}$ soit proche de la moyenne des valeurs $N_{pm,Rd}$ et $N_{pc,Rd}$.

(6) Pour un axe neutre situé dans les semelles $\frac{f_w}{2} < h_n \leq \frac{b}{2}$, l'effort normal N_E résulte de la formule suivante :

$$N_{E,Rd} = h_c (h_E - h_p) f_{cd} + 2 t_f (h_E - h_p) (2 f_{yd} - f_{cd}) + A_{sE} (2 f_{sd} - f_{cd}) + N_{pm,Rd} \quad (C.29)$$

à condition aussi que $\frac{f_w}{2} < h_n < \frac{b}{2}$. A_{sE} représente la somme des aires d'armature situées dans la région comprimée en supplément entre h_E et h_n .

(7) Pour $\frac{f_w}{2} < h_n \leq \frac{b}{2}$, les modules de résistance plastique sont calculés au moyen des équations C.25 et C.28, en substituant h_E à h_n . L'équation C.6 permet donc de calculer le moment M_E .

(7) C On peut se dispenser du calcul au point E. Voir 4.8.3.11 (5)

C.6.4 Profils creux circulaires et rectangulaires remplis de béton

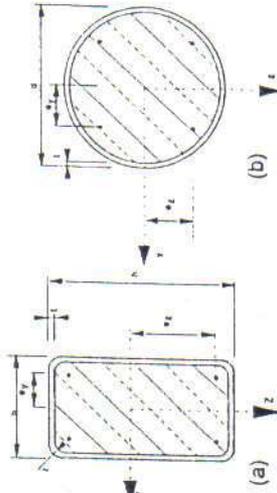


Figure C.5 Profils creux circulaires et rectangulaires remplis de béton avec symboles associés

(1) Les équations ci-après sont dérivées pour les profils creux rectangulaires avec flexion selon l'axe y de la section (voir figure C.5). Pour une flexion selon l'axe z , il y a lieu d'intervenir les dimensions h et b ainsi que les indices z et y . On peut utiliser les équations C.30 à C.35 pour les profils creux circulaires avec des résultats approchés convenables, en substituant $h = b = d$ et $r = d/2 - t$.

$$W_{pc} = \frac{(b - 2t)^2 (h - 2t)^2}{4} - \frac{2}{3} r^2 - r^2 (4 - \pi) (0.5 h - t - r) - W_{ps} \quad (C.30)$$

avec W_{ps} tel que dans l'équation (C.9).

(2) La valeur W_{ps} peut être prise dans des tableaux ou calculée d'après :

$$W_{ps} = \frac{bh^2}{4} - \frac{2}{3} (r + t)^2 - (r + t)^2 (4 - \pi) (0.5 h - t - r) - W_{pc} - W_{ps} \quad (C.31)$$

(2) C Pour un profil creux circulaire, de diamètre d et d'épaisseur e , la formule de W_{ps} est :

$$W_{ps} = \frac{d^3}{6} - \frac{(d - 2t)^3}{6} \quad (C.32)$$

$$h_n = \frac{N_{pm,Rd} - A_{sn} (2 f_{sd} - f_{cd})}{2b f_{cd} + 4t (2 f_{yd} - f_{cd})} \quad (C.33)$$

$$W_{psn} = (b - 2t) h_n^2 - W_{psn} \quad (C.34)$$

avec W_{psn} tel que dans l'équation (C.19).

(3) Pour le calcul de $N_{E,Rd}$ et $M_{E,Rd}$, sont les résistances au point supplémentaire E, l'axe neutre est situé à mi-distance entre h_n et le bord de la section, de telle sorte que $h_E = h_n/2 + h/4$.

(4) L'effort normal N_E résulte de la formule ci-après :

$$N_{E,Rd} = b (h_E - h_p) f_{cd} + 2t (h_E - h_p) (2 f_{yd} - f_{cd}) + A_{sE} (2 f_{sd} - f_{cd}) + N_{pm,Rd} \quad (C.35)$$

où A_{sE} est la somme des aires d'armature situées dans la région comprimée en supplément entre h_E et h_n .

(5) Les modules de résistance plastique sont calculés au moyen des équations C.33 et C.34, en substituant h_E à h_n . Le moment $M_{E,Rd}$ est ensuite obtenu au moyen de l'équation C.6.

(5) C Prendre pour le point E un axe h_E qui est l'arête aux armatures sur leur faces extérieures, $h_E = \frac{h}{2} + \frac{d}{2}$, d étant la diamètre nominal des armatures.

- (4) On peut trouver un point supplémentaire E en plaçant l'axe neutre sur une ligne significative située entre la ligne CC et le bord de la section (région (3) sur la figure C.2) et en déterminant l'effort normal et les moments fléchissants résultants.

C.6.2 Flexion selon l'axe fort des profilés en I enrobés de béton

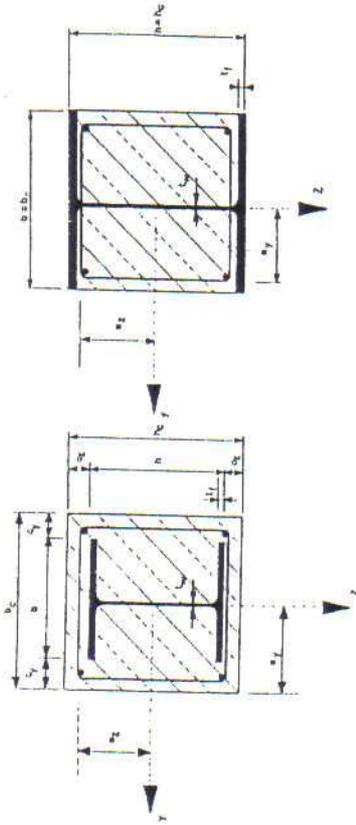


Figure C.3 Profilés en I enrobés avec symboles associés.

- (1) Le module de résistance plastique de l'acier de construction peut être pris dans des tableaux ou calculé au moyen des formules suivantes :

$$W_{pa} = \frac{(h - 2t_f) t_w^2}{4} + b t_f (h - t_f) \quad (C.10)$$

et

$$W_{pc} = \frac{b_c h_c^2}{4} - W_{pa} - W_{ps} \quad (C.11)$$

- (1) La formule (C.10) est invalidée et remplacée par :

$$W_{pa} = \frac{(h - 2t_f)^2 t_w}{4} + b t_f (h - t_f) \quad (C.10)$$

- (2) Pour les différentes positions des axes neutres, les valeurs h_n et W_{pan} sont obtenues par :

(a) axe neutre dans l'âme : $h_n \leq \frac{h}{2} - t_f$

$$h_n = \frac{N_{pm,Rd} - A_{sn} (2 f_{sd} - f_{cd})}{2 b_c f_{cd} + 2 t_w (2 f_{yd} - f_{cd})} \quad (C.12)$$

$$W_{pan} = t_w h_n^2 \quad (C.13)$$

où A_{sn} est la somme de l'aire des barres d'armature à l'intérieur de la région de hauteur $2h_n$.

- (b) axe neutre dans la semelle : $\frac{h}{2} - t_f < h_n < \frac{h}{2}$

$$h_n = \frac{N_{pm,Rd} - A_{sn} (2 f_{sd} - f_{cd}) + (b - t_w) (h - 2 t_f) (2 f_{yd} - f_{cd})}{2 b_c f_{cd} + 2 b (2 f_{yd} - f_{cd})} \quad (C.14)$$

$$W_{pan} = b h_n^2 - \frac{(b - t_w) (h - 2 t_f)^2}{4} \quad (C.15)$$

- (c) axe neutre à l'extérieur du profilé en acier : $\frac{h}{2} \leq h_n \leq \frac{h_c}{2}$

$$h_n = \frac{N_{pm,Rd} - A_{sn} (2 f_{sd} - f_{cd}) - A_w (2 f_{yd} - f_{cd})}{2 b_c f_{cd}} \quad (C.16)$$

$$W_{pan} = W_{pa} \quad (C.17)$$

- (3) Le module plastique du béton dans la région de hauteur $2h_n$ résulte donc de l'équation :

$$W_{pen} = b_c h_n^2 - W_{pan} - W_{pin} \quad (C.18)$$

avec

$$W_{pin} = \sum_{i=1}^n |A_{swi} e_{zi}| \quad (C.19)$$

où A_{swi} sont les aires des barres d'armature situées à l'intérieur de la région de hauteur $2h_n$ et où e_{zi} sont les distances mesurées depuis l'axe central.

C.6.3 Flexion selon l'axe faible des profilés en I enrobés de béton

- (1) Les symboles sont explicités sur la figure C.3.

- (2) Le module de résistance plastique de l'acier de construction peut être pris dans des tableaux ou calculé au moyen des formules suivantes :

$$W_{pa} = \frac{(h - 2 t_f) t_w^2}{4} + \frac{2 t_f b^2}{4} \quad (C.20)$$

et

$$W_{pc} = \frac{h_c b_c^2}{4} - W_{pa} - W_{ps} \quad (C.21)$$

- (3) Pour les différentes positions des axes neutres, les valeurs h_n et W_{pan} sont obtenues par :

(a) axe neutre dans l'âme : $h_n \leq \frac{t_w}{2}$

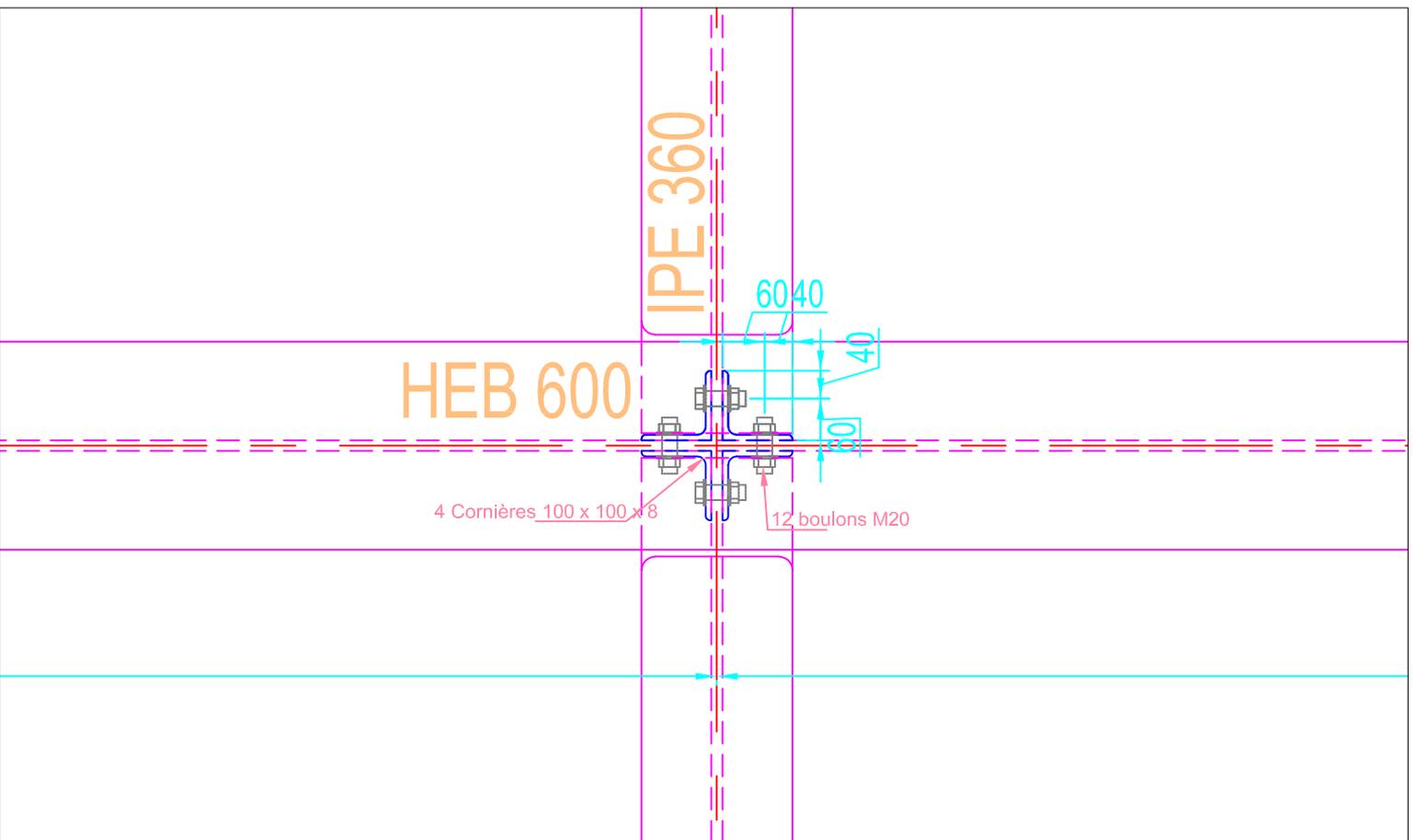
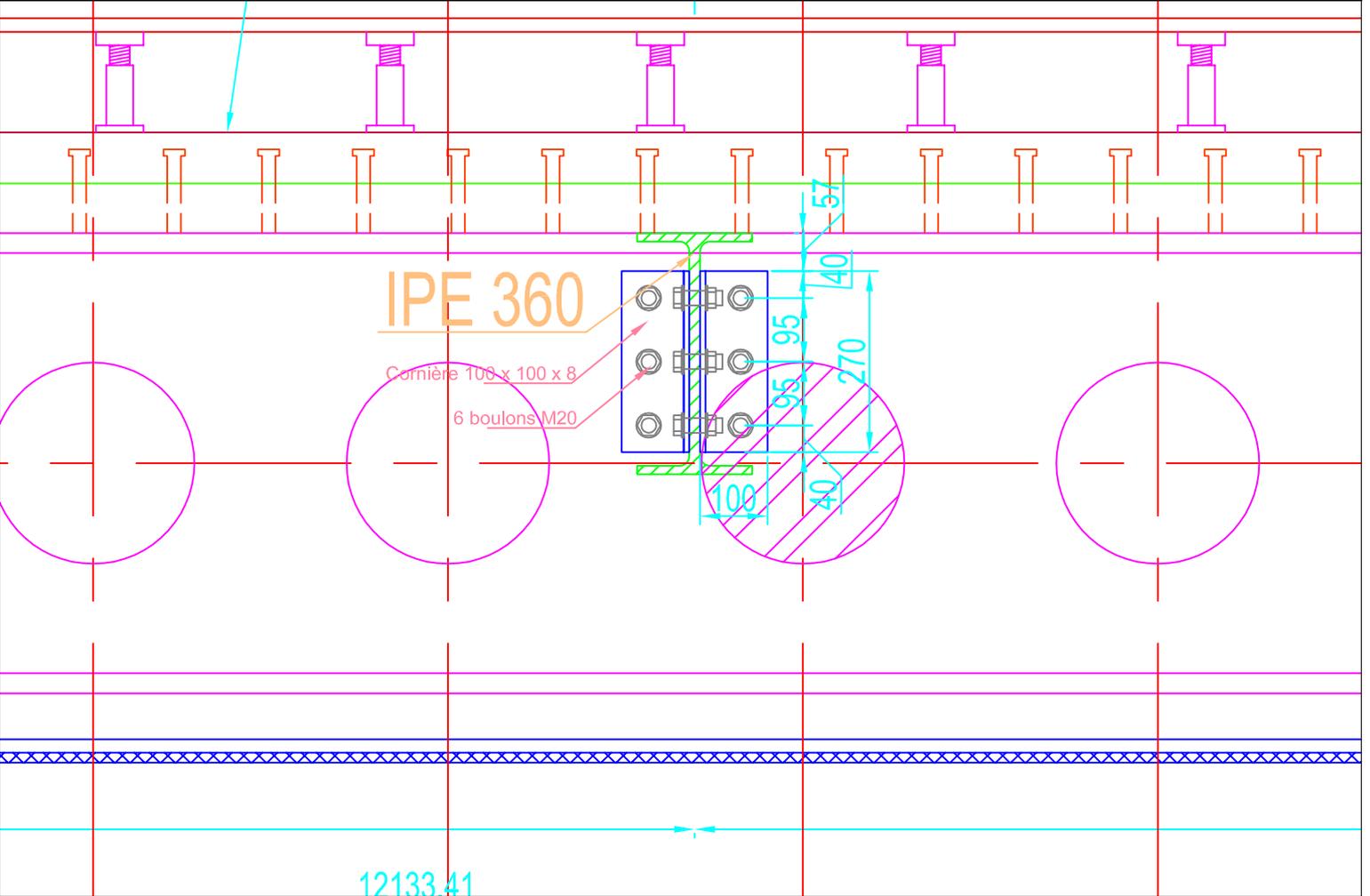
$$h_n = \frac{N_{pm,Rd} - A_{sn} (2 f_{sd} - f_{cd})}{2 h_c f_{cd} + 2 h (2 f_{yd} - f_{cd})} \quad (C.22)$$

$$W_{pan} = h h_n^2 \quad (C.23)$$

Annexe 24. :Détails des assemblages boulonnés

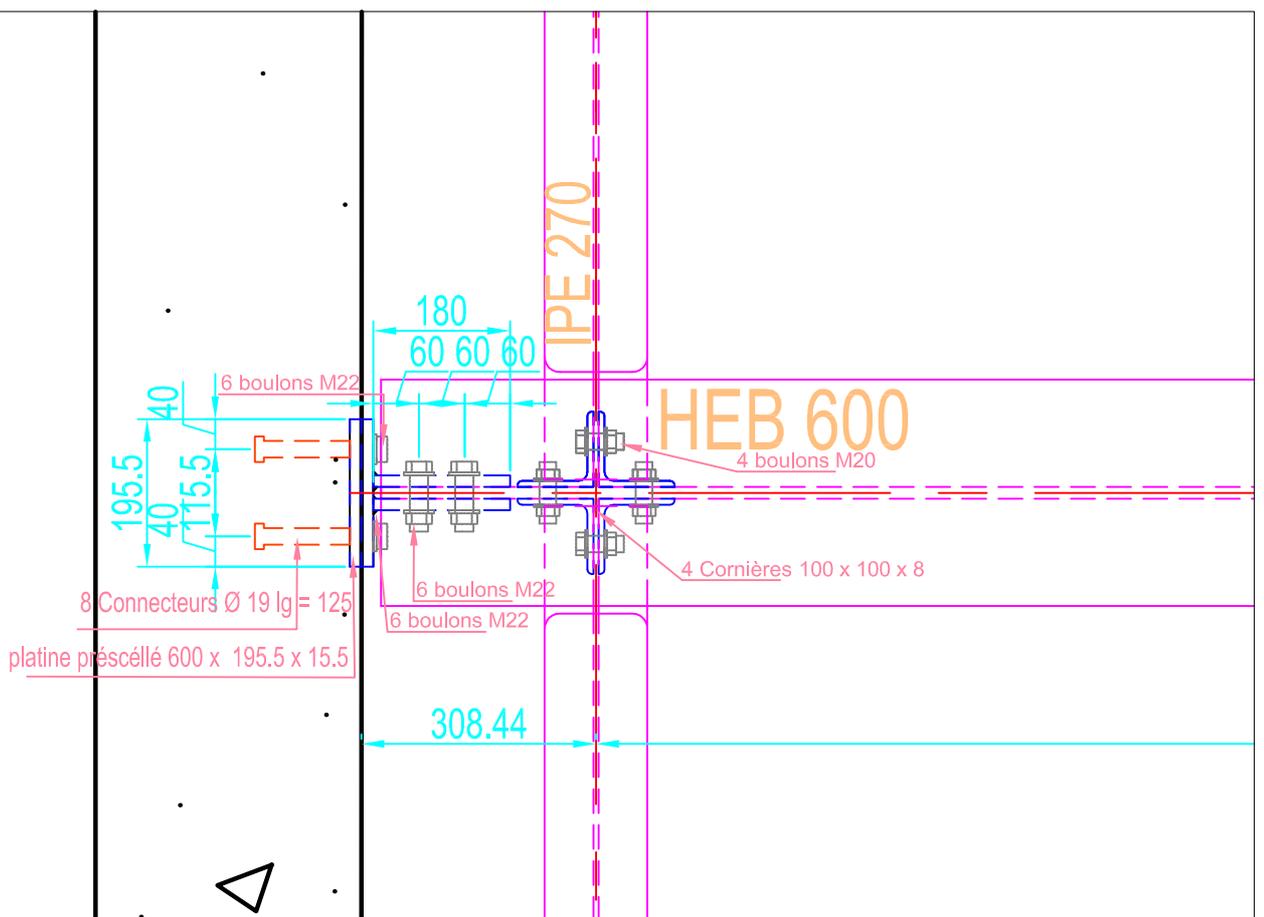
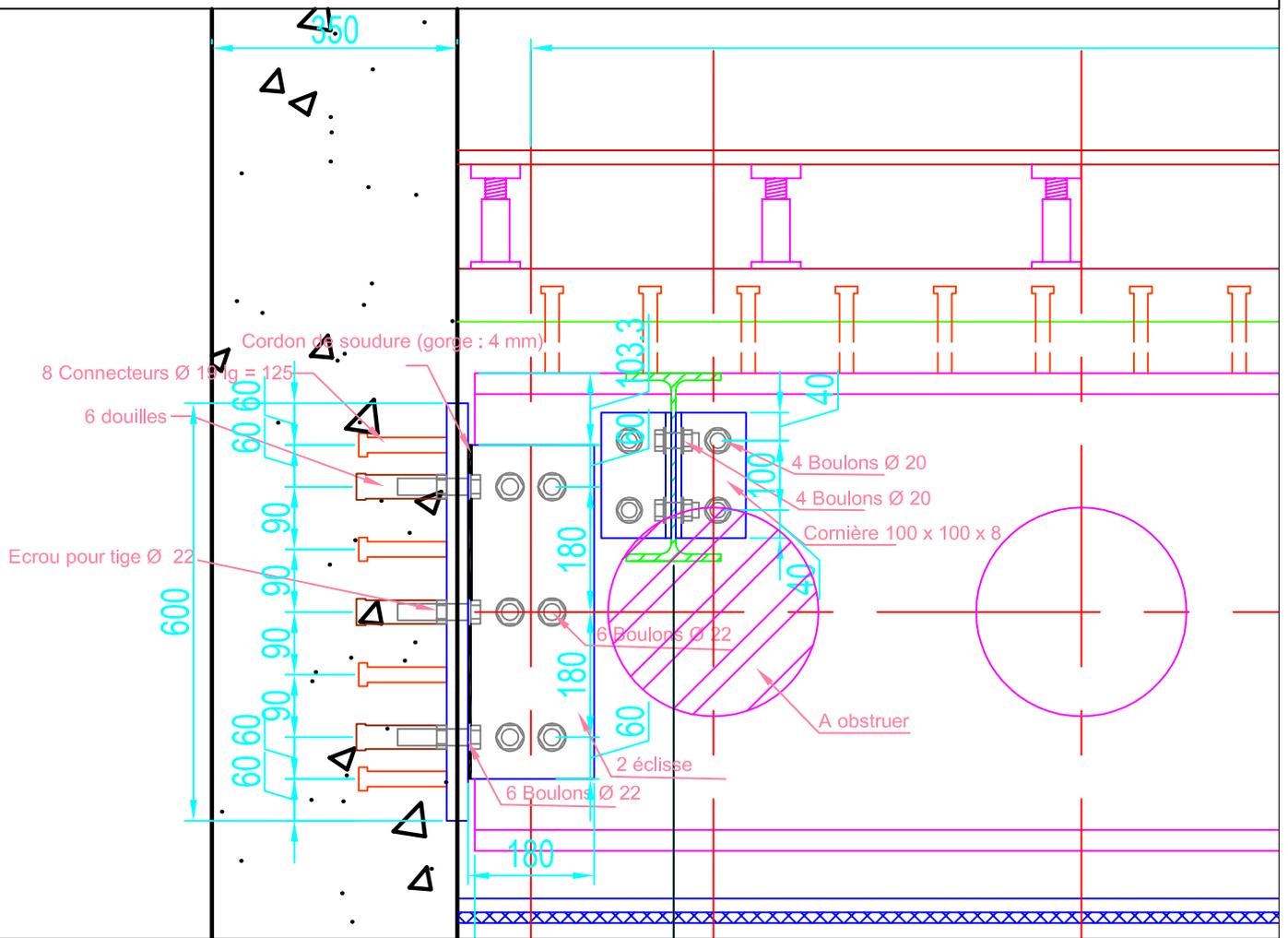
Détail de l'assemblage poutre mixte - Solive mixte

ech 1/10ème



Détail de l'assemblage poutre mixte - voile

ech 1/10ème

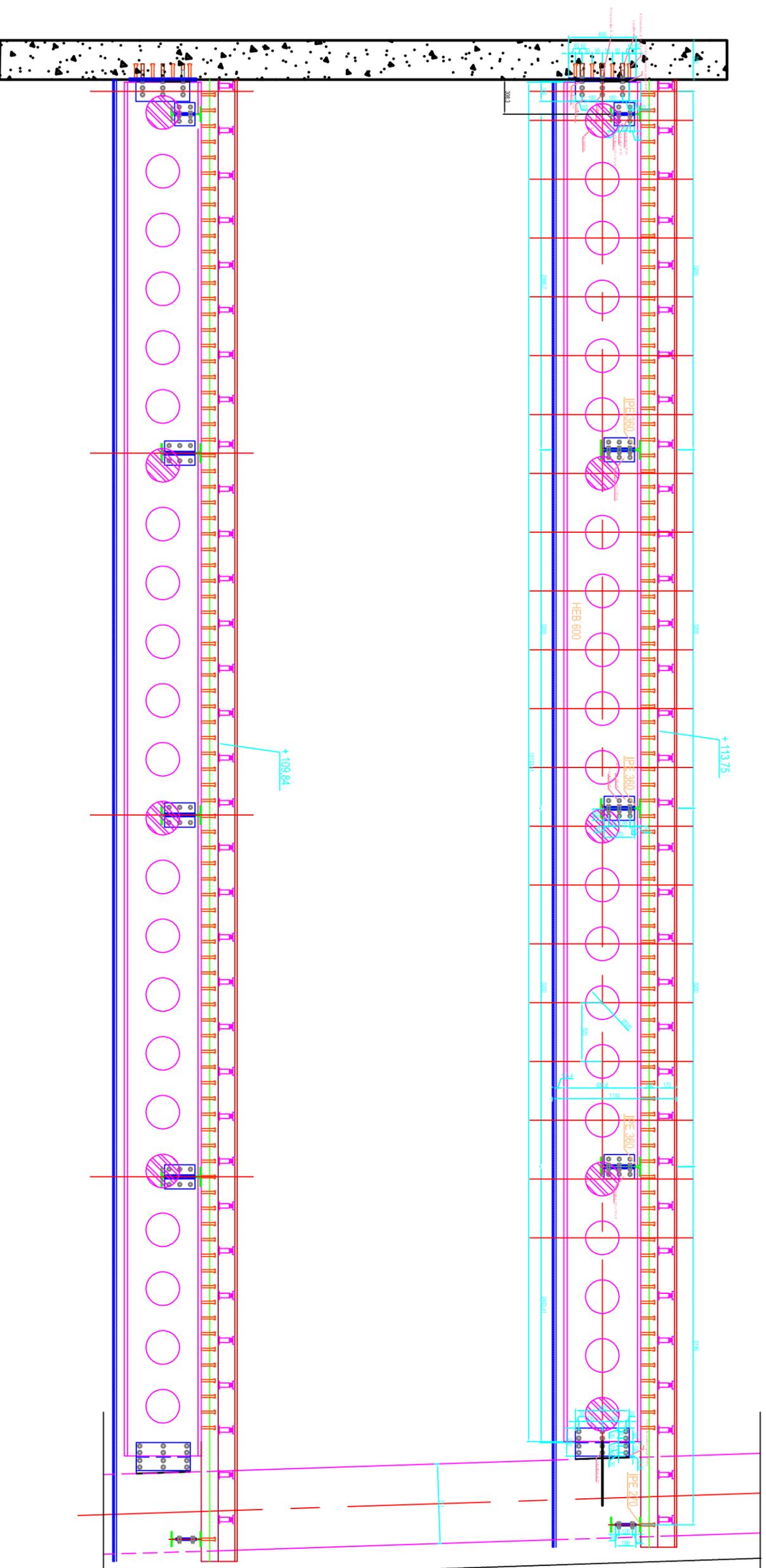


Annexe 25. : Vue en élévation et vue en plan de la solution mixte proposée

Vue en élévation de l'étage 13, façade Nord

Solution plancher mixte

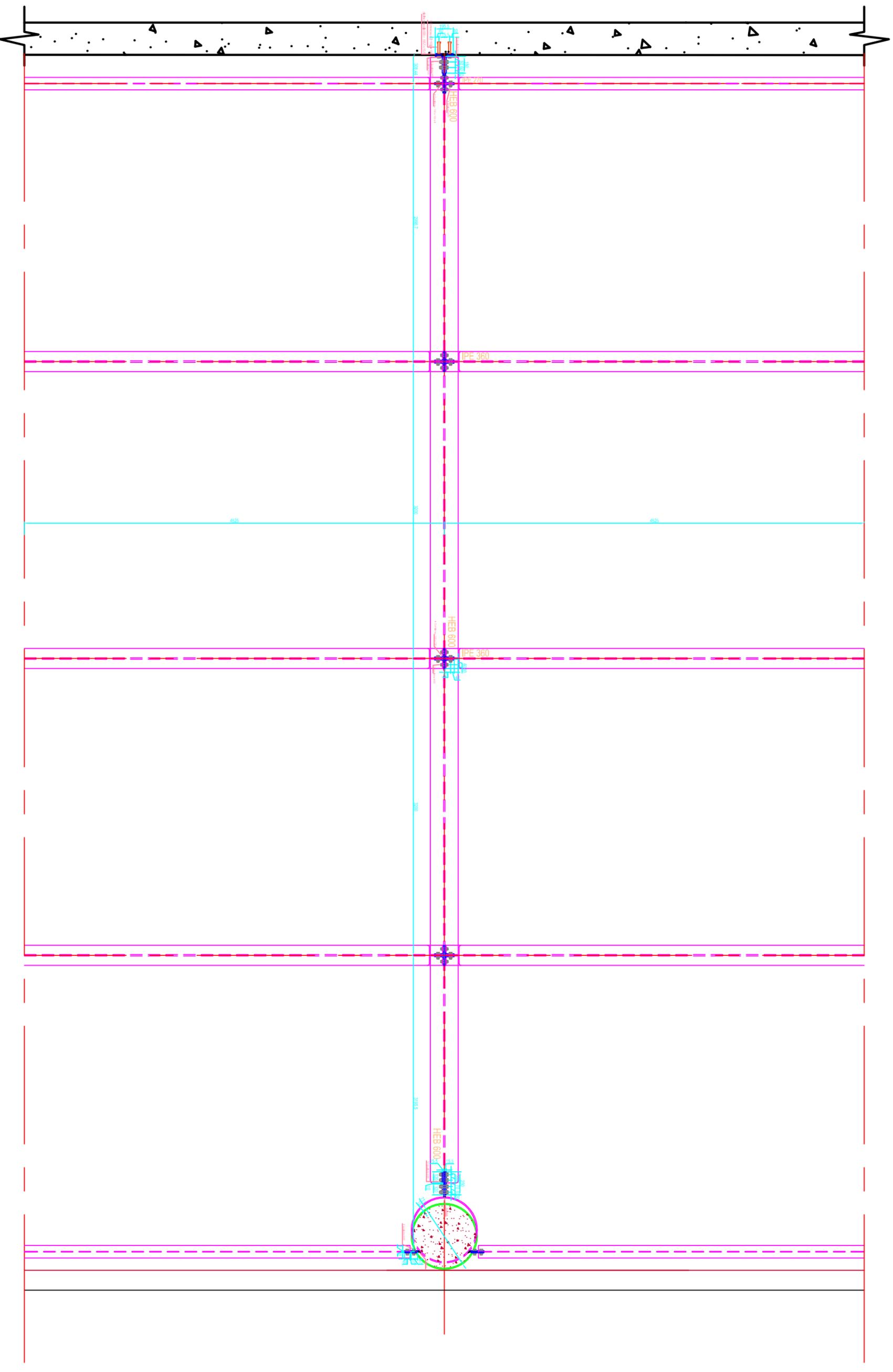
ech 1/40ème



Vue en plan du plancher haut de l'étage 13, façade Nord

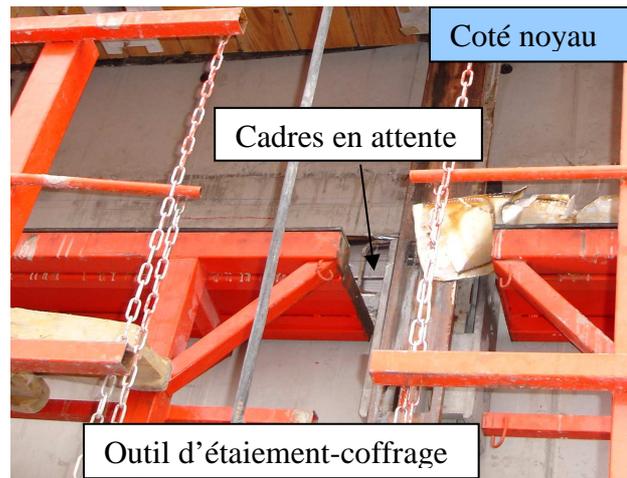
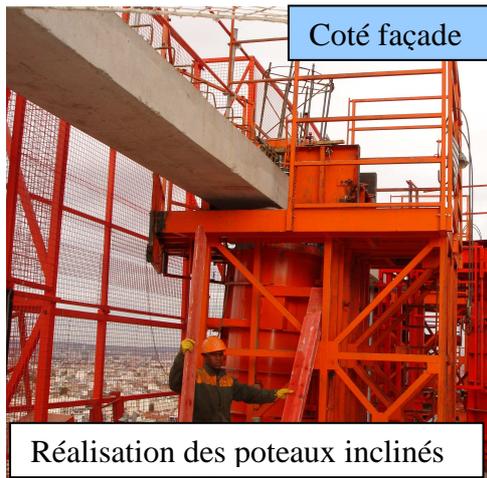
Solution plancher mixte

ech 1/40ème

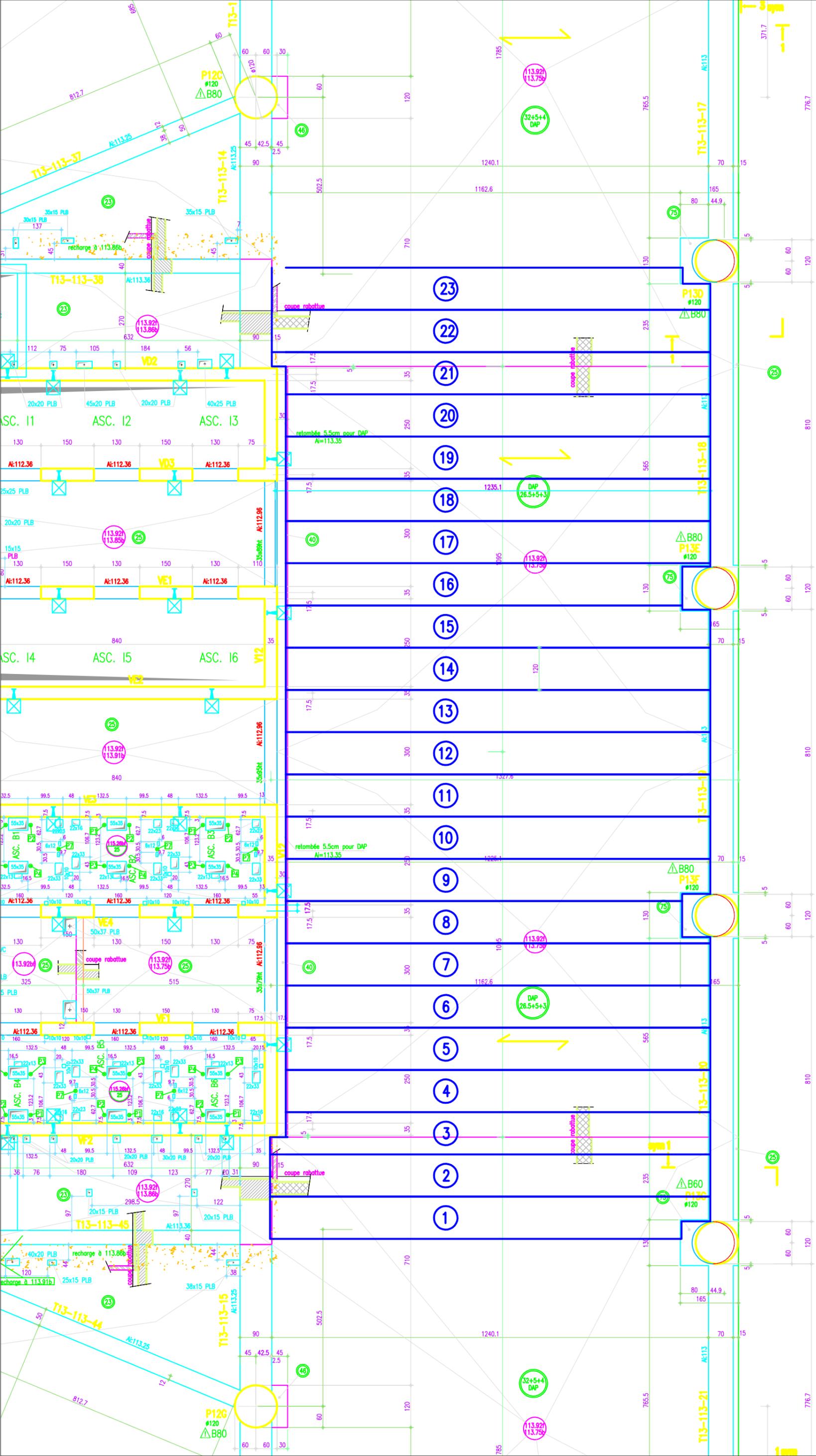


Annexe 26. :Vérification du système d'assemblage poutre principale-noyau

Annexe 31. : Phases de réalisation d'un étage en dalle alvéolée précontrainte



Annexe 32. : Mise en place des dalles alvéolées précontrainte



Plancher haut du niveau 13
 Plan de coffrage - Vue en plan
 Solution Dalle Alvéolée en béton précontraint
 ech : 1-100ème

Annexe 33. :Analyse de la mise en œuvre d'une trame pré-assemblée

XV-Analyse de la Mise en œuvre

Réalisé d'après les dimensions définitives de la vue en plan

Poids d'une trame à lever

Nombre de bacs acier sur une trame	n	12	
Poids total du bac acier		1156	kg
2 poutres principales		5147	kg
3 solives intermédiaires		2080	kg
1 solive d'extrémité intérieure		325	kg
Poids d'une trame à lever	Ptot	8708	kg

Capacité de levage dans la zone NORD

Capacité de levage G1 (50m)		8800	kg
Capacité de levage G2 (37,50m)		8100	kg

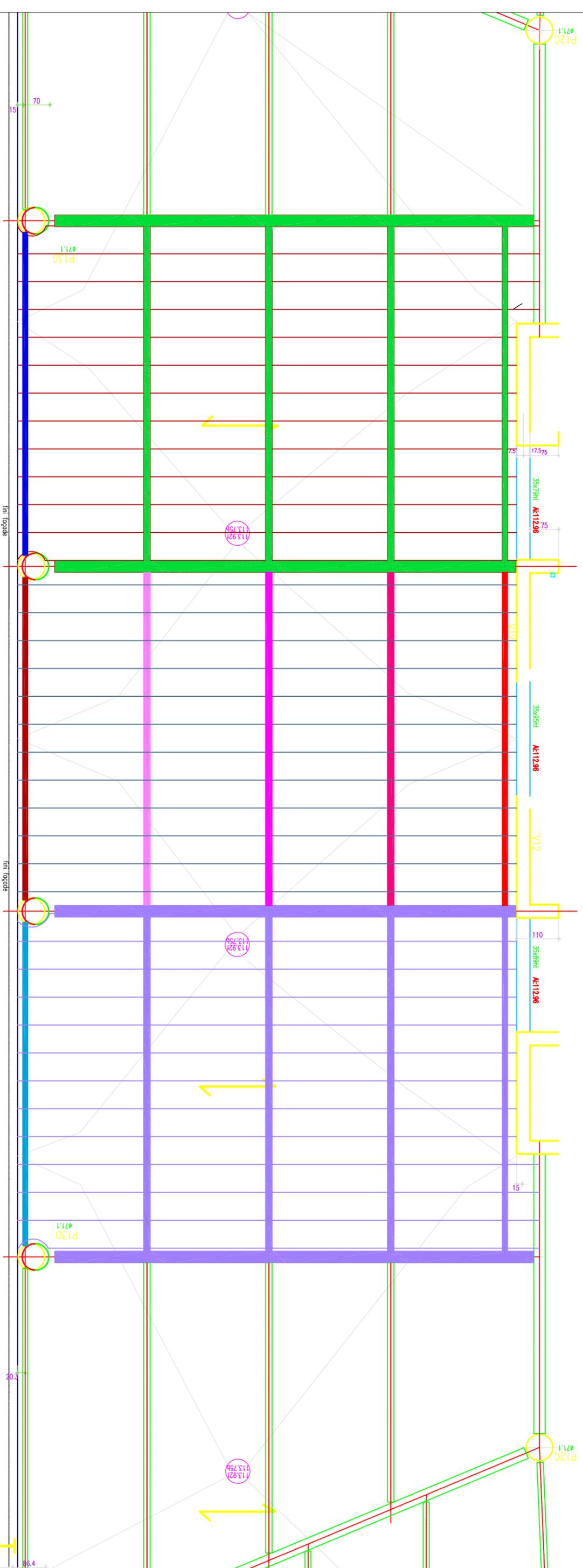
Annexe 34. : Phasage de la solution mixte

Plancher haut du niveau 13

Solution en construction mixte

PHASAGE DE MONTAGE

ech: 1-100ème



- PHASE 1
- PHASE 2
- PHASE 3
- PHASE 4
- PHASE 5
- PHASE 6
- PHASE 7
- PHASE 8
- PHASE 9
- PHASE 10

Annexe 35. : Sous détail de prix

Solution dalles alvéolées en béton précontraint

								COEFFICIENT DE CHANTIER	
		ELEMENTS			COMPOSITION			PRIX	
UNIT E	DESIGNATION	UNITE	Qté	PRIX	M.O.	FOURNITURES	MATE RIEL	D.S.	PVHT
m ²	Prix d'1 m² de DAP								
	Dalle alvéolaire en béton précontraint	m ²	1,00	70,00		70,00			
	Poutre préfa de rive	ml	0,08	107,00		8,17			
	Béton prêt à l'emploi dalle de compression	m ³	0,05	130,00		6,50			
	Treillis soudé	kg	1,10	1,53		1,68			
	Transport	t	0,44	34,00			15		
	Main d'œuvre (4 ouvriers)	h	0,13	33,00	4,4				
								105,80	

Solution plancher mixte

								COEFFICIENT	
		ELEMENTS			COMPOSITION			PRIX	
UNIT E	DESIGNATION	UNITE	QUANTIT E	PRIX	M.O.	FOURNITURES	MATE RIEL	D.S.	PVHT
m ²	Prix d'1 m² de plancher mixte								
	quantité pour une trame	m²	117,9						
	achat+fab : HEB 600	t	2,50	1 550,00		3 878,2			
	achat +fab : IPE 270	t	0,3	1 380,00		449,6			
	IPE 360	t	1,4	1 470,00		1 985,3			
	achat Bacs cofrastra 70	m ²	117,9	15,00		1 768,5			
	Poses des bacs	m ²	117,9	21,00					
	achat goujons	u	356,0	0,90		320,4			
	pose goujons	u	356,0	1,40		498,4			
	boulons	u	50,0	0,80		40,0			
	Béton prêt à l'emploi	m ³	14,62	130,00		1 900,5			
	Main d'œuvre (5 ouvriers)	h	25,00	33,00	825,0				
	Transport	t	8,70	34,00			296		
	Protection incendie :							101,46	
m ²	Produit + Pose	ml de profilé	58,00	24,50		1 421,00		12,05	
								113,51	

Surcoût de la variante/solution DAP 7%

Annexe 36. : Solution mixte pour toute la superficie d'un plateau

Plancher haut du niveau 13

Vue en plan

Solution en construction mixte

ech: 1-100ème

