

Date : 24.04.2018
Révision : 00
Réf : 2017.18 – NT10
Rédacteur : C. HAUSS ingénieur INSA, gérant
Vérificateur : CV
Approbateur : CH
Destinataires : philippe.laborda@icade.fr
Copies : néant

Objet :

INTERPRETATION DES RESULTATS PARTIELS DE SONDAGES EN POTEAUX ET POUTRES DE L'ETAGE TECHNIQUE

1. OBJET ET LIMITES DE LA PRESENTE NOTE

L'objet de la présente note est de synthétiser « au fil de l'eau » les résultats de sondages des poteaux et poutres de l'étage technique.

L'interprétation des résultats des prélèvements sur la dalle de plancher a fait l'objet de la note technique n°09.

2. DOCUMENTS DE BASE

Les sondages dans poteaux et poutres de l'étage technique ont été prescrits le 01.03.2018 dans notre Note Technique n°07, pour être réalisés malgré l'absence de déblaiement des locaux, dans des conditions très difficiles.

La mission de prélèvements et de mesure des caractéristiques des matériaux a été confiée par l'AMO à LABCO ANTILLES, qui a procédé aux prélèvements entre le 19.03 et le 05.04.2018.

Nous avons reçu des résultats partiels le 19.04.2018, constitués des pièces suivantes :

- Extrait de document intitulé « diagnostic des bétons du CHU - Etage technique », référencé DIA-1712-035, daté du 19.04.2018, comprenant une analyse statistique des résultats de mesures en poteaux et poutres sur 9 pages et des photos d'échantillons sur 42 pages ;
- Extrait de document intitulé « diagnostic des bétons du CHU – Plancher 1^{er} étage », référencé DIA-1712-035, daté du 19.04.2018, comprenant une analyse statistique sur 2 pages, des prélèvements en plancher BAS du 1^{er} étage (donc en plancher HAUT de l'étage technique, siège de l'incendie) ;
- Il n'y a pas encore, dans ces documents, de résultat d'examen de mesure de profondeur d'altération au microscope électronique sur les poteaux et poutres.

Ces résultats permettent d'ores et déjà un commentaire, objet de la présente note

3. EXTRACTION DES DONNEES

Il ressort de l'analyse statistique (que nous remettons en annexe de la présente note) :

- L'échantillon statistique est satisfaisant avec plus d'une centaine de mesures réalisées, dispersées dans la zone supposée du foyer comme dans des zones éloignées ;
- Seules 8 poutres n'ont pu être investiguées en raison de difficultés d'accès (obstruction par des gaines et présence d'obstacles divers) ;
- Les résultats sont assez dispersés, avec un écart-type de plus de 5 ;
- Les résultats en poutres sont faibles, avec une moyenne de 17.57 MPa, pour des valeurs extrêmes de 8.40 MPa et 35.30 MPa ;
- Les résultats en poteaux sont faibles, avec une moyenne de 19.80 MPa, pour des valeurs extrêmes de 9.51 MPa et 31.33 MPa ;

4. ANALYSE

4.1 ETAT D'ALTERATION DES BETONS SUITE A L'INCENDIE

En l'absence d'examen au microscope électronique (à venir), nous avons examiné visuellement les éprouvettes au dépôt de LABCO avant écrasement. Celles-ci ne présentent aucune trace visible d'altération due à une élévation excessive de température.

Rappelons que les profondeurs d'altération maximales relevées au microscope électronique sur la dalle de plancher n'excèdent pas 20 mm, sans qu'il soit pour autant possible de les relier formellement à l'élévation de température, en raison de l'état de carbonatation des bétons.

4.2 CARTOGRAPHIE DES RELEVES EN POUTRES

Nous avons localisé les différents résultats de mesures disponibles en poutres sur le plan de structures et superposé avec les régions d'isovaleurs et de profondeur l'altération de la dalle de plancher de la note technique n°09.

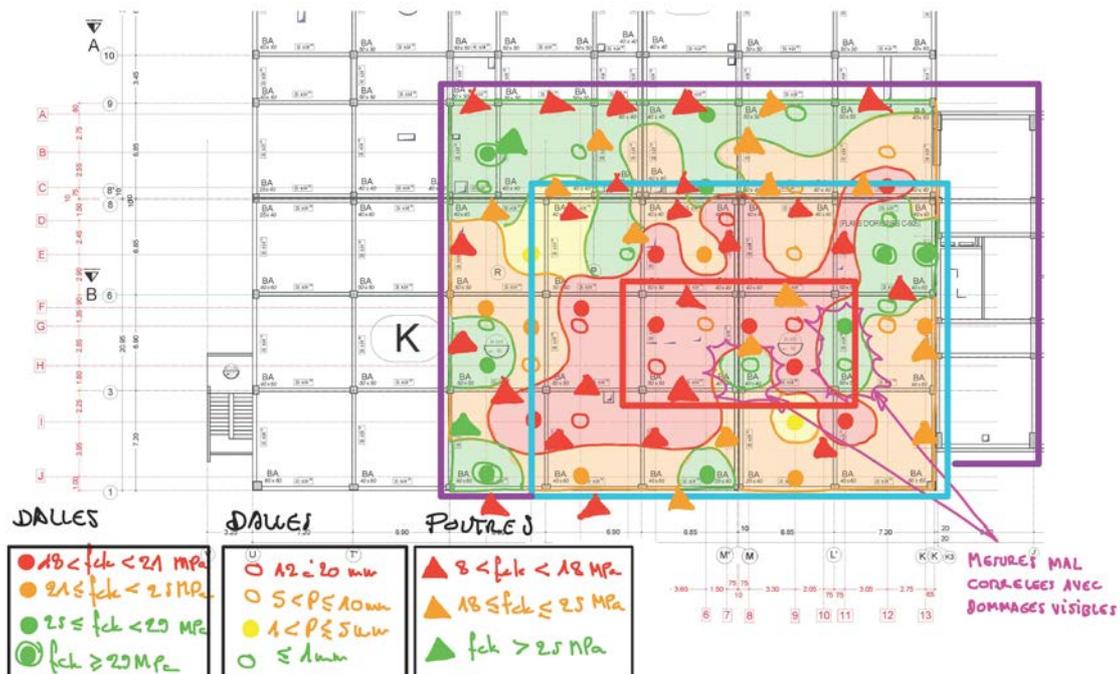


Fig 1 : Superposition des résistances mesurées en poutres avec les résistances et profondeurs d'altération des dalles de la note technique n°09

On observe des valeurs faibles à mauvaises réparties dans toutes les zones, y compris celle non affectées par l'incendie, et ce sans logique apparente.

LABCO fait les commentaires suivants dans son document :

- *Aucune répartition spatiale cohérente des valeurs ne se dégage ;*
- *Aucune différence significative entre les échantillons prélevés au milieu ou à l'extérieur (des poteaux) ne se dégage ;*
- *Les résistances des échantillons prélevés sur les poutres sont en moyenne de 17,6 MPa contre 19,8 MPa pour les poteaux, soit une différence de l'ordre de 11% ;*

Sans répartition spécifique des valeurs mesurées, ni corrélation avec les valeurs ou la répartition dans les planchers, il apparaît difficile de statuer sur l'impact spécifique de l'incendie sur les résistances. Celles-ci apparaissent dans tous les cas faibles à très faibles en moyenne avec une classe de résistance équivalente évaluée suivant la norme EN1391 au mieux de type C12/15, voir C8/12 pour les poutres. Ces valeurs pourraient en tout cas expliquer la fissuration constatée.

Nous souscrivons totalement à ces observations en forme de conclusion partielle.

Cependant, contrairement à LABCO nous proposons (tout comme dans notre Note Technique n°09) d'assimiler la valeur mesurée sur site à la valeur de calcul f_{ck} .

4.3 POTEAUX

Les résultats de mesures réalisées par LABCO en poteaux posent les mêmes questions de dispersion et d'absence de corrélation spatiale. De la même manière, les résultats à cœur des poteaux (dénommés « milieu ») ne sont pas obligatoirement meilleurs que ceux en surface (dénommés « extérieur »), l'inverse étant même observable dans plusieurs cas.

4.4 INCERTITUDES

Les mesures dans les poutres n'ont pas permis de lever les incertitudes précédentes que nous rappelons ci-dessous, en les révisant toutefois, au vu des résultats récents :

- La corrélation entre les dommages aux cloisons observés au niveau immédiatement au-dessus l'étage technique avec les effets de l'incendie reste à prouver. Ces dommages aux cloisons semblent dus à une flèche verticale du plancher support de plusieurs centimètres. Ceci **pourrait être corroboré** par les résultats faibles des éprouvettes, **mais pas encore par les observations visuelles ou des mesures géométriques** depuis l'intérieur de l'étage technique (vue toujours partiellement obstruée par les gravats, gaines et installations diverses toujours en place et éclairage insuffisant).
- Existence de mesures de profondeur d'altération de dalle de plancher très variables tout en étant très proches, comme en témoigne la figure 1.

5. CONCLUSION PROVISOIRE SUR L'ETAT D'ENSEMBLE DE LA STRUCTURE

Des observations ci-dessus, il commence à émerger une nouvelle hypothèse qui reste encore à confirmer par les mesures en cours et des observations détaillées à conduire sur site :

L'incendie n'aurait peut-être pas modifié de façon significative les caractéristiques d'ensemble des structures en place. Les mesures réalisées ont pu mettre en évidence de mauvaises caractéristiques de béton préexistantes au sinistre.

Ces mauvaises caractéristiques, n'ont cependant pas eu de conséquences à ce jour dans l'exploitation de l'hôpital, ni même de symptômes visibles.

Cependant,

- Dans l'attente des résultats non encore parvenus sur les prélèvements de poteaux et poutres, notamment au microscope électronique par le laboratoire du LERM en métropole ;
- Dans l'attente d'une visite d'inspection détaillée dans des lieux accessibles et nettoyés,

la présente note ne peut toujours pas proposer une conclusion définitive, et se limite à synthétiser et commenter « au fil de l'eau » les résultats de sondages partiels reçus à ce jour.

Il est toutefois possible de reprendre et préciser les éléments annoncés dans la note précédente (NT 09) en posant que :

- **Aucun indice ne permet aujourd'hui de préjuger d'un risque plus important que ce qui était envisagé jusqu'à présent ;**
- **D'ores et déjà, on peut prévoir des nécessaires réparations dans l'étage technique, en dalles de plancher et éventuellement sur les poutres et les poteaux du même étage, en précisant que de telles réparations restent dans le domaine des réparations courantes du béton armé.**

Il en ressort qu'une remise en exploitation des lieux devrait pouvoir être envisagée après ces réparations.

6. SUITE A DONNER ET PRECAUTIONS D'INTERPETATION DE LA PRESENTE NOTE

Les suites à donner sont les suivantes :

- **Le déblaiement et le nettoyage de l'étage technique avec un démontage des gaines et équipements afin de permettre une inspection visuelle détaillée et exhaustive ;**
- **La collecte des derniers résultats de mesures et rapports de LABCO et du LERM ;**
- **Une analyse générale des données et observations collectées, et la rédaction d'un rapport de synthèse ;**
- **En fonction des conclusions définitives de celui-ci, la définition des mesures de réparation de structures nécessaires ;**
- **L'engagement d'une campagne de réparation des structures dans l'étage technique.**

Le BET HAUSS ne saurait être associé à aucun commentaire de la présente note qui n'émanerait pas directement de son auteur.

ANNEXE : extrait de document LABCO (8 pages)

Prélèvements réalisés par carottage HILTI DD150 - 19 Mars au 5 Avril / 2018

N° Carotte	ouvrage	Diam (mm)	L écras. (mm)	El	Masse (g)	Mas. Vol. (t/m3)	Frupture (kN)	Resistance Net (Mpa)
1.Ext	Poteau	73	130	1,78	1203	2,21	128,2	28,63
1.Milieu	Poteau	73	146	2,00	1380	2,26	85,2	19,02
2.Ext	Poteau	73	145	1,99	1401	2,31	131,2	29,30
2.Milieu	Poteau	73	142	1,95	1408	2,37	108,7	24,27
3.Ext	Poteau	73	150	2,05	1389	2,21	68,3	15,25
3.Milieu	Poteau	73	147	2,01	1422	2,31	63,8	14,25
4.Milieu	Poteau	73	152	2,08	1409	2,21	87,9	19,63
4.Ext.1	Poteau	73	150	2,05	1450	2,31	91,6	20,45
4.Ext.2	Poteau	73	152	2,08	1424	2,24	74	16,52
5.Milieu	Poteau	73	151	2,07	1424	2,25	76,8	17,15
5.Ext	Poteau	73	151	2,07	1460	2,31	91,4	20,41
7	Poteau	73	157	2,15	1548	2,36	66,9	14,94
10.Milieu	Poteau	73	151	2,07	1377	2,18	57,2	12,77
10.Ext	Poteau	73	150	2,05	1394	2,22	43,5	9,71
11.Milieu	Poteau	73	147	2,01	1369	2,23	84,2	18,80
11.Ext	Poteau	73	154	2,11	1492	2,31	119,2	26,62
12	Poteau	73	148	2,03	1399	2,26	59,1	13,20
13.Ext	Poteau	73	145	1,99	1422	2,34	59,3	13,24
13.Milieu	Poteau	73	153	2,10	1501	2,34	122,9	27,44
14	Poteau	73	150	2,05	1473	2,35	109,9	24,54
15	Poteau	73	150	2,05	1474	2,35	81,6	18,22
16	Poteau	73	150	2,05	1442	2,30	140,3	31,33
19	Poteau	73	151	2,07	1475	2,33	89	19,87
20	Poteau	73	141	1,93	1296	2,20	48	10,72
20.bis.Milieu	Poteau	73	153	2,10	1505	2,35	102,5	22,89
20.bis.Ext	Poteau	73	149	2,04	1417	2,27	124,4	27,78
23.Ext	Poteau	73	150	2,05	1431	2,28	99,3	22,17
23.Milieu	Poteau	73	153	2,10	1456	2,27	84,7	18,91
24.Milieu	Poteau	73	152	2,08	1474	2,32	87,5	19,54
24.Ext	Poteau	73	145	1,99	1405	2,32	83,3	18,60
26	Poteau	73	150	2,05	1439	2,29	45,6	10,18
28.Milieu	Poteau	73	154	2,11	1470	2,28	140,3	31,33
28.Ext	Poteau	73	154	2,11	1468	2,28	102,5	22,89
29	Poteau	73	154	2,11	1465	2,27	107	23,89
30	Poteau	73	153	2,10	1438	2,25	89,1	19,90
31.Ext	Poteau	73	149	2,04	1432	2,30	86,6	19,34
31.Milieu	Poteau	73	150	2,05	1426	2,27	78,6	17,55
32	Poteau	73	150	2,05	1450	2,31	72,7	16,23
33	Poteau	73	151	2,07	1426	2,26	73,7	16,46
35.Milieu	Poteau	73	158	2,16	1467	2,22	113,3	25,30
35.Ext	Poteau	73	150	2,05	1395	2,22	83	18,53
36.Milieu	Poteau	73	152	2,08	1418	2,23	99,7	22,26
36.Ext	Poteau	73	150	2,05	1412	2,25	106,9	23,87
37.Ext	Poutre	73	150	2,05	1463	2,33	90,5	20,21

N° Carotte	ouvrage	Diam (mm)	L écras. (mm)	EI	Masse (g)	Mas. Vol. (t/m3)	Frupture (kN)	Resistance Net (Mpa)
37.Milieu	Poutre	73	151	2,07	1469	2,32	78,4	17,51
38.Milieu	Poutre	73	150	2,05	1442	2,30	88,4	19,74
38.Ext	Poutre	73	149	2,04	1402	2,25	56,3	12,57
39.Milieu	Poutre	73	146	2,00	1443	2,36	55	12,28
39.Ext	Poutre	73	149	2,04	1444	2,32	56,2	12,55
40.Milieu	Poutre	73	149	2,04	1422	2,28	78,9	17,62
41.Ext	Poutre	73	149	2,04	1470	2,36	96,5	21,55
41	Poutre	73	149	2,04	1458	2,34	96,1	21,46
42.Milieu	Poutre	73	142	1,95	1358	2,28	79,8	17,82
42.Ext	Poutre	73	149	2,04	1454	2,33	67,7	15,12
44	Poutre	73	149	2,04	1453	2,33	81,5	18,20
45	Poutre	73	148	2,03	1435	2,32	53,1	11,86
46	Poutre	73	150	2,05	1407	2,24	66	14,74
47	Poutre	73	150	2,05	1437	2,29	75,8	16,93
48	Poutre	73	150	2,05	1442	2,30	87,9	19,63
49	Poutre	73	150	2,05	1436	2,29	83	18,53
50	Poutre	73	150	2,05	1475	2,35	49,2	10,99
51	Poutre	73	150	2,05	1393	2,22	77	17,19
52	Poutre	73	144	1,97	1371	2,27	65	14,51
56.Ext1	Poutre	73	148	2,03	1415	2,28	48,2	10,76
56.Ext2	Poutre	73	148	2,03	1390	2,24	62,4	13,93
56.Milieu	Poutre	73	150	2,05	1383	2,20	64,9	14,49
57	Poutre	73	150	2,05	1454	2,32	82	18,31
58	Poutre	73	149	2,04	1377	2,21	73,7	16,46
60.Milieu	Poutre	73	150	2,05	1392	2,22	124,3	27,76
60.Ext	Poutre	73	149	2,04	1409	2,26	37,6	8,40
61	Poutre	73	150	2,05	1421	2,26	49,2	10,99
62.Milieu	Poutre	73	146	2,00	1352	2,21	79,8	17,82
62.Ext	Poutre	73	150	2,05	1398	2,23	88,2	19,69
65.Milieu	Poutre	73	140	1,92	1387	2,37	87,9	19,63
65.Ext	Poutre	73	149	2,04	1438	2,31	94,9	21,19
66.Ext	Poutre	73	150	2,05	1397	2,23	62,6	13,98
66.Milieu	Poutre	73	145	1,99	1461	2,41	70,4	15,72
67.Milieu	Poutre	73	140	1,92	1302	2,22	87,1	19,45
67.Ext	Poutre	73	147	2,01	1377	2,24	107,4	23,98
71	Poutre	73	150	2,05	1447	2,30	158,1	35,30
72.Ext1	Poutre	73	150	2,05	1431	2,28	105,11	23,47
72.Ext2	Poutre	73	153	2,10	1408	2,20	63,8	14,25
75	Poutre	73	150	2,05	1439	2,29	111,6	24,92
78	Poutre	73	152	2,08	1422	2,24	52,4	11,70
80	Poutre	73	149	2,04	1385	2,22	91,1	20,34
81	Poutre	73	150	2,05	1418	2,26	61,4	13,71
83.Ext1	Poutre	73	150	2,05	1443	2,30	77,5	17,31
83.Ext2	Poutre	73	150	2,05	1427	2,27	126,8	28,31
85	Poutre	73	150	2,05	1387	2,21	47,1	10,52
89.Ext1	Poutre	73	130	1,78	1246	2,29	85,4	19,07
89.Ext2	Poutre	73	150	2,05	1408	2,24	102,3	22,84
91	Poutre	73	149	2,04	1426	2,29	84,6	18,89
92	Poutre	73	150	2,05	1454	2,32	116,1	25,92
93	Poutre	73	150	2,05	1407	2,24	51,5	11,50

N° Carotte	ouvrage	Diam (mm)	L écras. (mm)	EI	Masse (g)	Mas. Vol. (t/m3)	Frupture (kN)	Resistance Net (Mpa)
94	Poutre	73	150	2,05	1427	2,27	55,5	12,39
95	Poutre	73	148	2,03	1383	2,23	80,8	18,04
97.Milieu	Poutre	73	154	2,11	1460	2,27	55,6	12,42
97.Ext	Poutre	73	122	1,67	1173	2,30	71,9	16,05
98	Poutre	73	146	2,00	1368	2,24	104,5	23,33
100.Ext	Poteau	73	153	2,10	1422	2,22	42,6	9,51
100.Milieu	Poteau	73	149	2,04	1347	2,16	94,6	21,12
101.Milieu	Poteau	73	151	2,07	1468	2,32	64,1	14,31
101.Ext	Poteau	73	153	2,10	1479	2,31	97,8	21,84

	Rc < 15	-30/103 valeurs
	15 < Rc < 21	-35/103 valeurs
	21 < Rc < 25	-18/103 valeurs
	Rc > 25	-11/103 valeurs

(en Mpa)

Remarque :

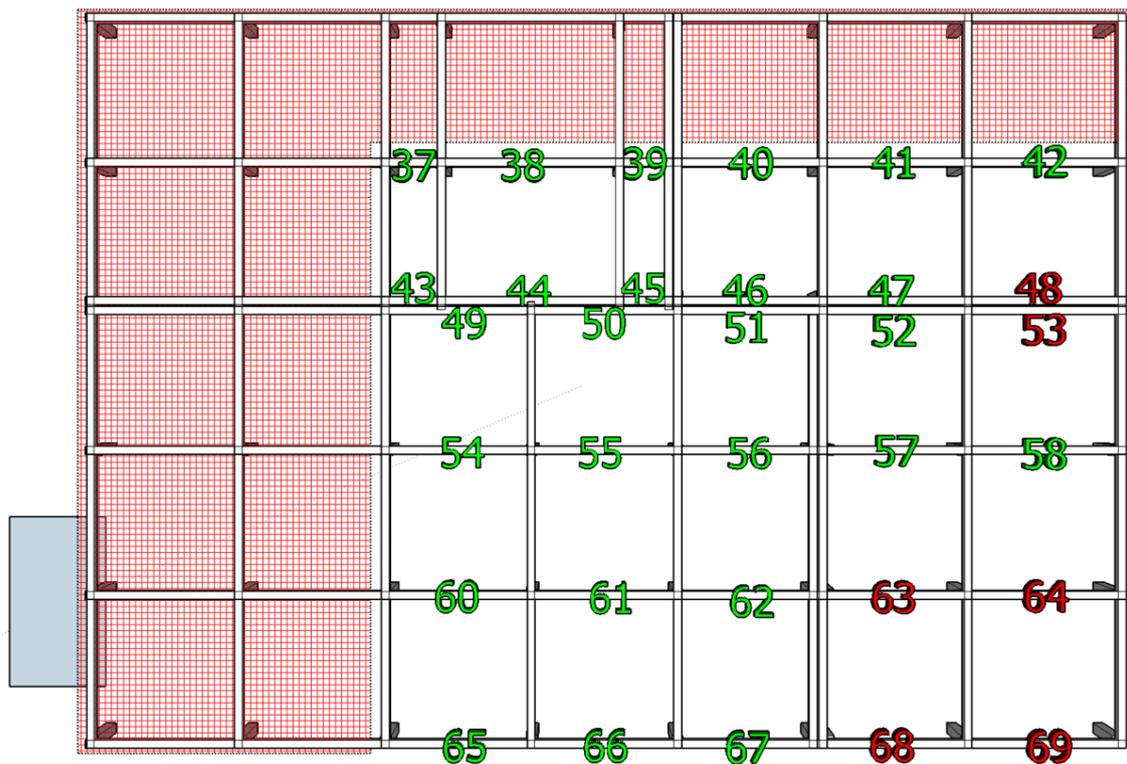
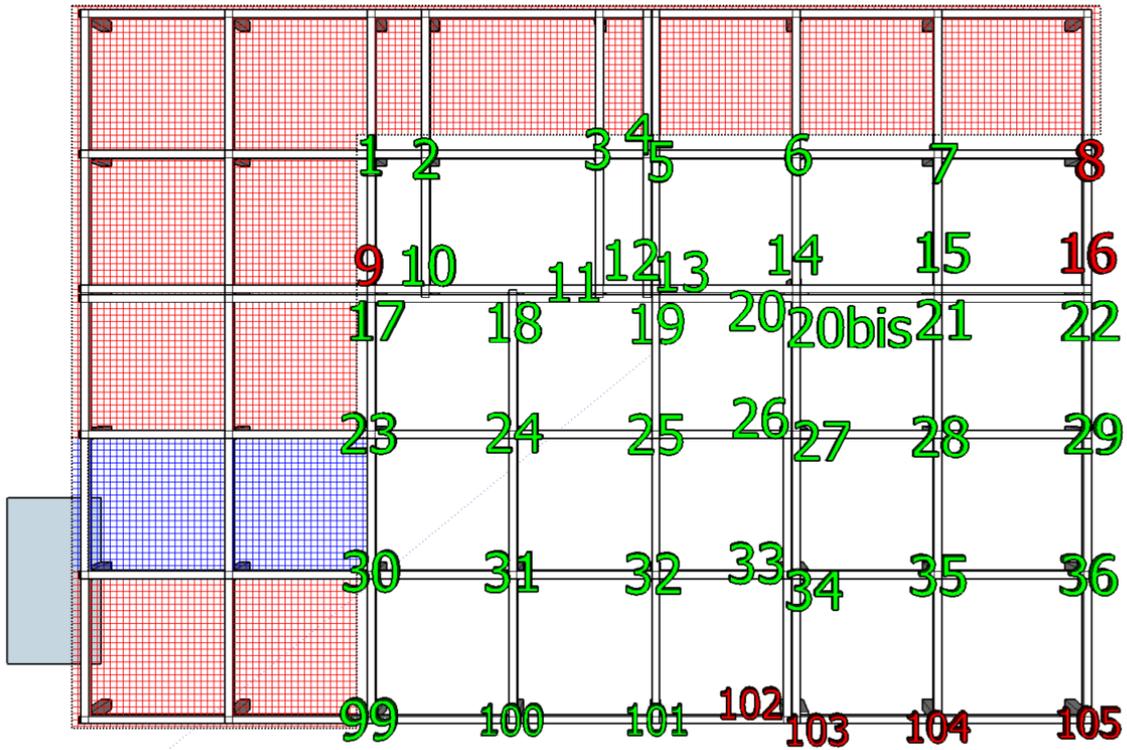
Les carottes qui n'ont pas été écrasées en compression ne pouvaient pas être traitées.

- Soit elles étaient cassées
- Soit elles présentaient des armatures ne laissant que peu d'épaisseur pour préparer l'échantillon
- Soit elles présentaient des anomalies de type bulage...
- Aucune répartition spatiale cohérente des valeurs ne se dégage
- Aucune différence significative entre les échantillons prélevés au milieu ou à l'extérieur (des poteaux) ne se dégage
- Les résistances des échantillons prélevés sur les poutres sont en moyenne de 17,6MPa contre 19,8MPa pour les poteaux, soit une différence de l'ordre de 11%.

Commentaire :

Sans répartition spécifique des valeurs mesurées, ni corrélation avec les valeurs ou la répartition dans les planchers, il apparaît difficile de statuer sur l'impact spécifique de l'incendie sur les résistances. Celles-ci apparaissent dans tous les cas faibles à très faibles en moyenne avec une classe de résistance équivalente évaluée suivant la norme EN1391 au mieux de type C12/15, voir C8/12 pour les poutres. Ces valeurs pourraient en tout cas expliquer la fissuration constatée.

Plan de repérage des carottes



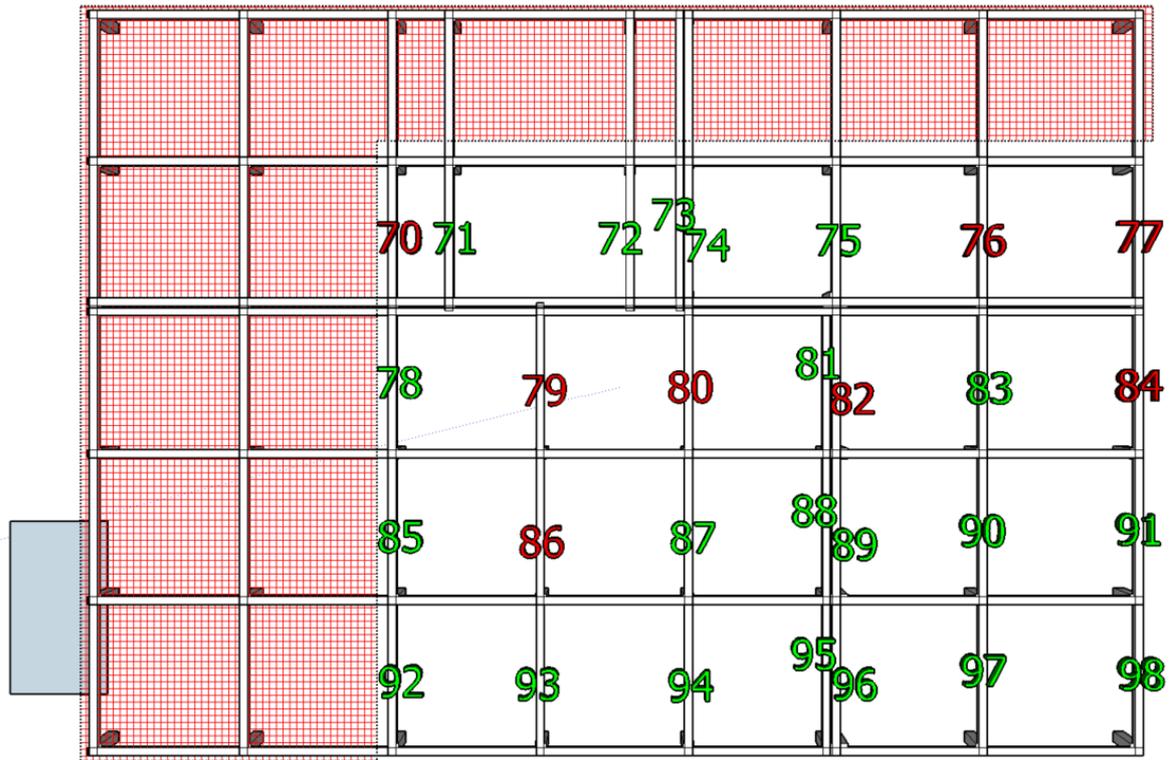


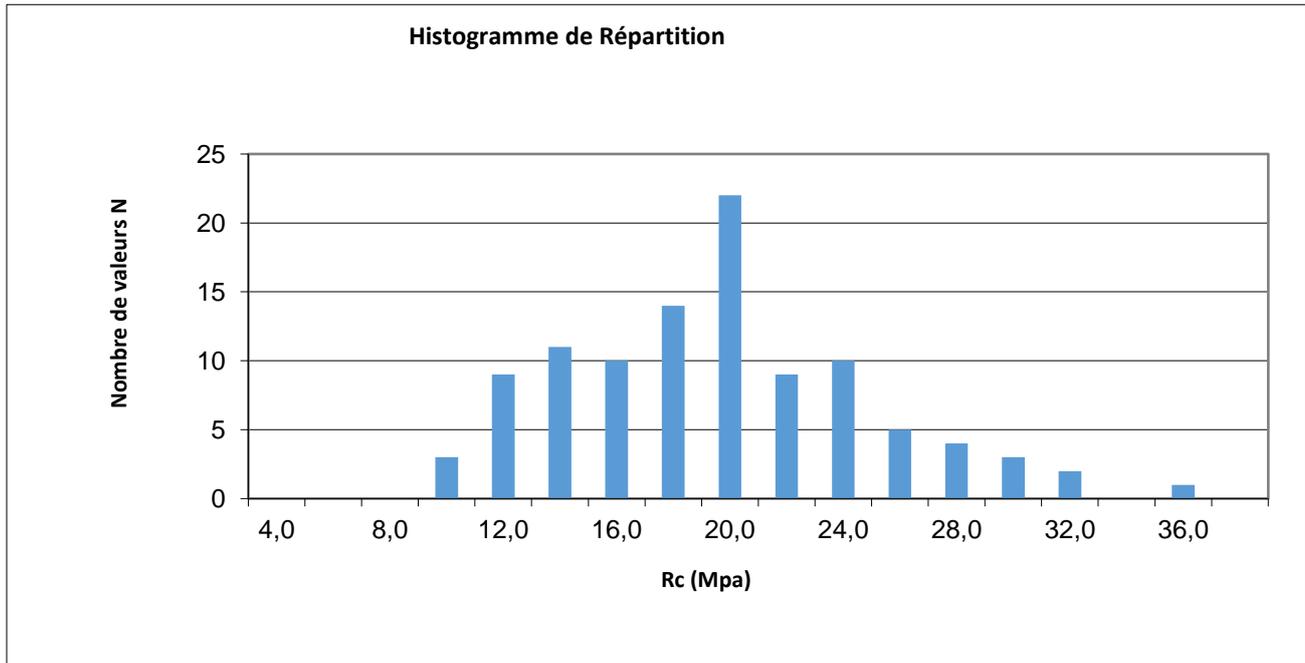
Figure 3- Poutres

 Poutres/Poteaux faits

 Poutres/Poteaux non faits

85/106 carottés

RESISTANCE A LA COMPRESSIN DES BETONS
POPULATION : Poteaux et poutres de l'étage technique



Max	Min	Moy. Ar.	EcartType	s/x	Nb Valeurs	CLASSE EQUIVALENTE DES BETONS*
35,30	8,40	18,59	5,45	0,29	103	C12/15

*Equivalence suivant la norme EN206-1

NORME EN13971

Approche A
(si plus de 15 carottes)

$$f_{ck, is} = f_{m(n)is} - k_2 \times s$$

ou

$$f_{ck, is} = f_{is, plus faible} + 4$$

k_2	1,48
s	5,45
$f_{m(n)is}$	18,6
$f_{is, plus faible}$	8,4
$f_{ck, is}$	10,52

où

s est l'estimation de l'écart-type des résultats d'essai ou 2,0 N/mm², selon la plus grande des deux valeurs ;

k_2 est indiqué dans les dispositions nationales ou, en l'absence de valeur, est pris égal à 1,48.

Approche B
(si moins de 15 carottes)

$$f_{ck, is} = f_{m(n)is} - k$$

ou

$$f_{ck, is} = f_{is, plus faible} + 4$$

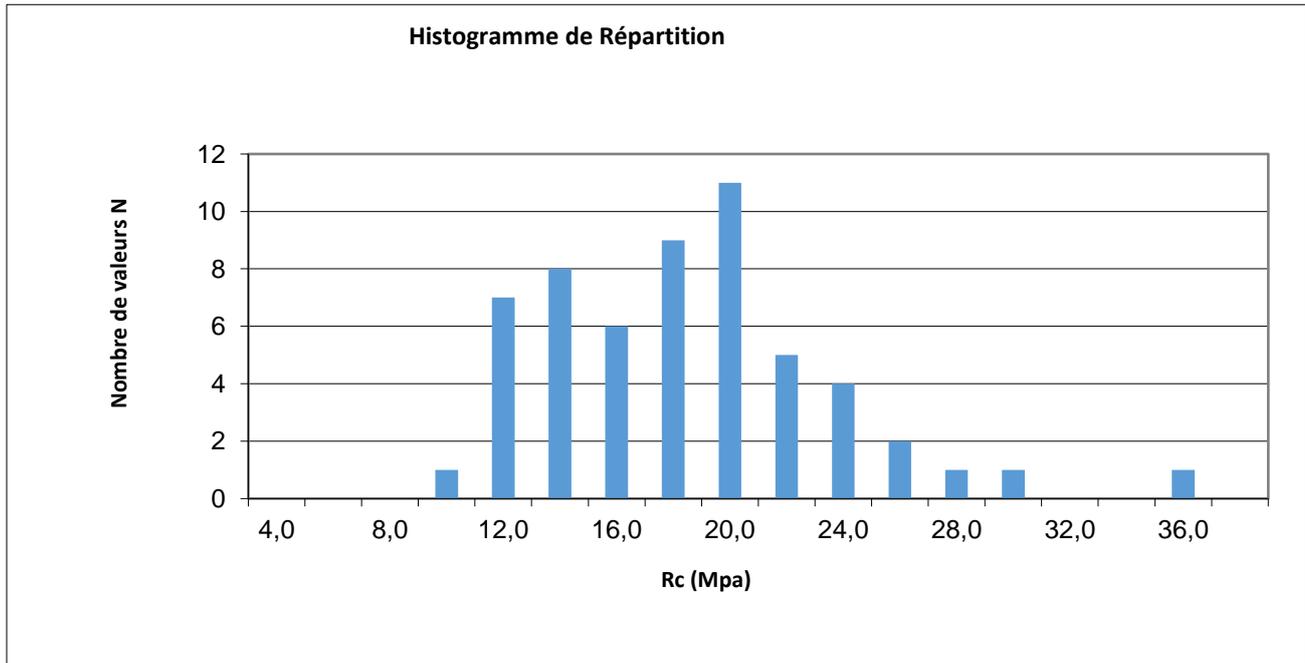
k	
$f_{m(n)is}$	18,6
$f_{is, plus faible}$	8,4
$f_{ck, is}$	

La marge k dépend du nombre n de résultats d'essai et la valeur appropriée est sélectionnée dans le Tableau 2.

Tableau 2 — Marge k associée à de petits nombres de résultats d'essai

n	k
de 10 à 14	5
de 7 à 9	6
de 3 à 6	7

RESISTANCE A LA COMPRESSIN DES BETONS
POPULATION : Poutres de l'étage technique



Max	Min	Moy. Ar.	EcartType	s/x	Nb Valeurs	CLASSE EQUIVALENTE DES BETONS*
35,30	8,40	17,57	5,18	0,29	56	C8/10

*Equivalence suivant la norme EN206-1

NORME EN13971

Approche A

(si plus de 15 carottes)

$$f_{ck,is} = f_{m(n)is} - k_2 \times s$$

ou

$$f_{ck,is} = f_{is,plus\ faible} + 4$$

k_2	1,48
s	5,18
$f_{m(n)is}$	17,6
$f_{is,plus\ faible}$	8,4
$f_{ck,is}$	9,90

où

s est l'estimation de l'écart-type des résultats d'essai ou 2,0 N/mm², selon la plus grande des deux valeurs ;

k_2 est indiqué dans les dispositions nationales ou, en l'absence de valeur, est pris égal à 1,48.

Approche B

(si moins de 15 carottes)

$$f_{ck,is} = f_{m(n)is} - k$$

ou

$$f_{ck,is} = f_{is,plus\ faible} + 4$$

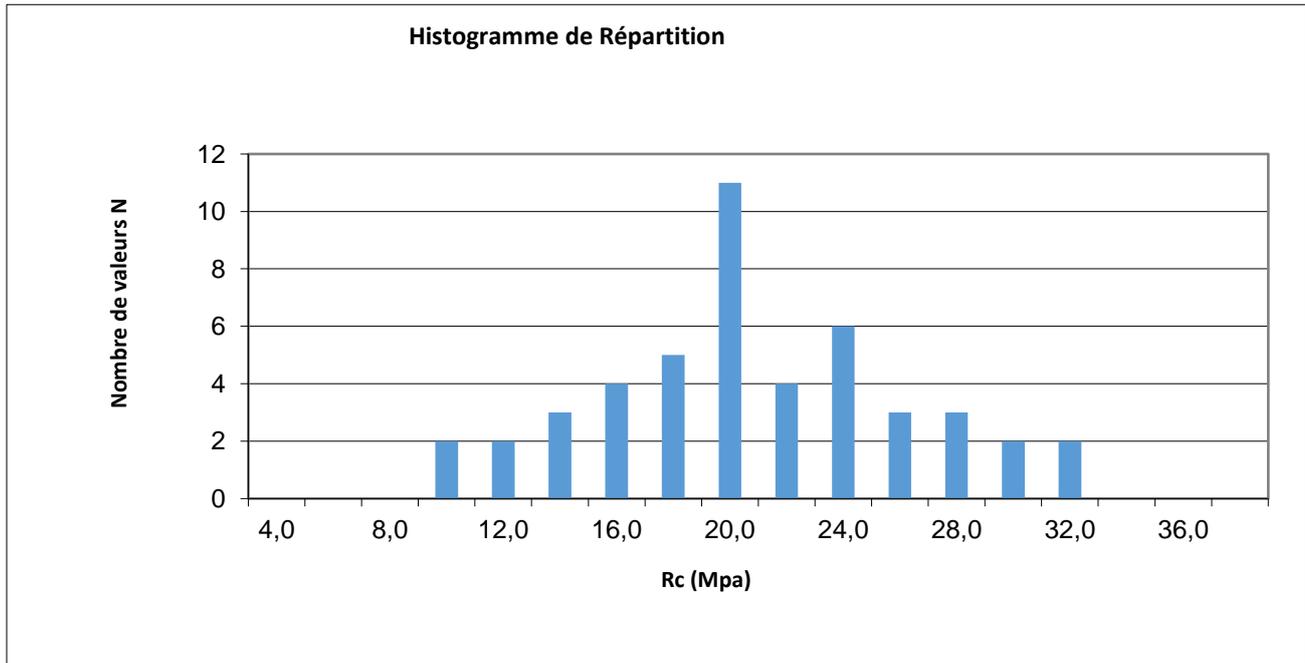
k	
$f_{m(n)is}$	17,6
$f_{is,plus\ faible}$	8,4
$f_{ck,is}$	

La marge k dépend du nombre n de résultats d'essai et la valeur appropriée est sélectionnée dans le Tableau 2.

Tableau 2 — Marge k associée à de petits nombres de résultats d'essai

n	k
de 10 à 14	5
de 7 à 9	6
de 3 à 6	7

RESISTANCE A LA COMPRESSIN DES BETONS
POPULATION : Poteaux de l'étage technique



Max	Min	Moy. Ar.	EcartType	s/x	Nb Valeurs	CLASSE EQUIVALENTE DES BETONS*
31,33	9,51	19,80	5,57	0,28	47	C12/15

*Equivalence suivant la norme EN206-1

NORME EN13971

Approche A
(si plus de 15 carottes)

$$f_{ck,is} = f_{m(n)is} - k_2 \times s$$

ou

$$f_{ck,is} = f_{is,plus\ faible} + 4$$

k_2	1,48
s	5,57
$f_{m(n)is}$	19,8
$f_{is,plus\ faible}$	8,4
$f_{ck,is}$	11,57

où

s est l'estimation de l'écart-type des résultats d'essai ou 2,0 N/mm², selon la plus grande des deux valeurs ;

k_2 est indiqué dans les dispositions nationales ou, en l'absence de valeur, est pris égal à 1,48.

Approche B
(si moins de 15 carottes)

$$f_{ck,is} = f_{m(n)is} - k$$

ou

$$f_{ck,is} = f_{is,plus\ faible} + 4$$

k	
$f_{m(n)is}$	19,8
$f_{is,plus\ faible}$	8,4
$f_{ck,is}$	

La marge k dépend du nombre n de résultats d'essai et la valeur appropriée est sélectionnée dans le Tableau 2.

Tableau 2 — Marge k associée à de petits nombres de résultats d'essai

n	k
de 10 à 14	5
de 7 à 9	6
de 3 à 6	7