Sorbonne Université

Direction Patrimoine et Logistique
18 rue de la Sorbonne
75005 PARIS

Rapport - Phase DIAG

ROSCOFF / Station biologique - Etude préalable à l'opération Lacaze-Duthiers
Diagnostic structurel
Affaire n° 24-037



Ind	*Date*	*Etabli*	*Vérifié*	*Modification*
A	16/06/2025	L. IACHKINE	B. PREVOST	Première diffusion

équilibre structures
10 rue Saint Nicolas 75012 Paris +33 147 42 04 87 contact@equilibre-structures.fr SIREN503003287 APE7112B

SOMMAIRE

1. OBJECTIFS DE L'ETUDE 4

2. DOCUMENTS DE REFERENCE 5

3. CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL 7

3.1. Contexte Géologique 7
3.2. Contexte Hydrogéologique 8
3.3. Contexte Sismique 8

4. ANALYSE CONSTRUCTIVE ET HISTORIQUE 9

4.1. Description générale 9
4.2. Historique sommaire 10
4.3. Analyse constructive 12
4.4. Bétons utilisés 15
4.5. Reportage photographique, archives et analyse constructive 17

5. ANALYSE DES DESORDRES ET DEFORMATIONS 44

5.1. Désordres 44
5.2. Pathologies du béton armé 46
5.3. Déformations 48
5.4. Evolutivité des désordres et déformations 48
5.5. Reportage photographique 49

6. ANALYSE DES ESSAIS SUR BETON 64

6.1. Plans d'implantations des sondages béton 64
6.2. Caractéristiques mécaniques 65
6.3. Enrobage et carbonatation 66
6.4. Granulométrie, porosité accessible et masse volumique apparente 68
6.5. Dosage en ciment 69
6.6. Dosage en ions chlorures, sulfates solubles et alcalins 69

7. RESULTATS DES CALCULS 72

7.1. Vérification des planchers béton 72
7.2. Vérification des planchers bois 74

8. DIAGNOSTIC 77

8.1. Diagnostic général du bâtiment 77
8.2. Causes de dégradations des bétons 78
8.3. Faiblesses possibles des structures béton en place et du système Hennebique 80

9. PHILOSOPHIE D'INTERVENTION 83

9.1. Principes généraux 83
9.2. Réparations des bétons armés dégradés 83
9.3. Préservation des bétons armés en place 86

10. PRECONISATIONS D'ÉTUDES ET D'INVESTIGATIONS COMPLEMENTAIRES 87

11. LISTE DE TRAVAUX – LOT STRUCTURE 88

11.1. Etudes et investigations 88

11.2. Mesures conservatoires....88
11.3. Béton armé....88
11.4. Maçonnerie....88
11.5. Structure bois....89
11.6. Prestations complémentaires (hors lot structures)....89

12. ANNEXES 90

12.1. Annexe 01 / Pièces graphiques....90
12.2. Annexe 02 / Rapport de sondage de GEOTEC [ET -01]....90
12.3. Annexe 03 / [HI -13]....91
12.4. Annexe 04 / [HI -14]....92
12.5. Annexe 05 / [HI -15]....93
12.6. Annexe 06 / [HI -16]....94
12.7. Annexe 07 / Plan d'implantation des sondages en RDC / Géotec....99
12.8. Annexe 08 / Plan d'implantation des sondages en R+1 / Géotec....100

1. OBJECTIFS DE L'ETUDE

Le BET Equilibre Structures intervient dans le cadre d'une mission de diagnostic structurel avec préconisations sur le site de la station biologique de Roscoff. Elle est menée en direct pour Sorbonne Université. Elle ne concerne que le lot Structures et intervient en amont d'un appel d'offre MOE.

Cette étude de diagnostic a pour objectifs l'identification et l'évaluation des désordres causées par des pathologies du béton, l'identification de désordres liée aux dispositions constructives du bâtiment, l'évaluation des portances des planchers et la proposition de préconisations dans le cadre d'une future consultation de MOE pour la restructuration de ces bâtiments.



Fig 1. Vue satellite de la station biologique de Roscoff / Google Maps

La présente étude concerne uniquement les bâtiments Lacaze-Duthiers, soit les ailes Nord et Est. Les autres zones et édifices attenants sont mentionnés à titre indicatif mais sont en dehors du périmètre de l'étude ici réalisée.

2. DOCUMENTS DE REFERENCE

Études documentaires, historiques et archives

[HI -01] Le laboratoire de zoologie expérimentale de Roscoff en 1877 – Dossier 150 ans de la station biologique Roscoff / **Catherine JESSUS et André TOULMOND**/ 2022

[HI -02] Une histoire de la station biologie marine de Roscoff (1872-1921) – halshs-00380634 / **Josquin DEBAZ** / 2004

[HI -03] Dossier d'œuvre architecture IA29002278 – Institut de recherche (observatoire océanologique) dit « station biologique de Roscoff » / **Valérie GUESNIER, Christel DOUARD** / Inventaire du patrimoine

[HI -04] La Station biologique de Roscoff, un lieu voué à la Science / **André TOULMOND** / mai 2014

[HI -05] Le laboratoire zoologique de Roscoff – La Nature : revue des sciences et de leurs applications aux arts et à l'industrie / **JOUBIN** / 31 octobre 1885

[HI -06] Les laboratoires de Roscoff et de Banyuls – Archives de zoologie expérimentale et générale / **Henri de LACAZE-DUTHIERS** / 1891

[HI -07] Plans généraux du Laboratoire de zoologie expérimentale de Roscoff – côte du document numérique 1_HDL_435 / **Fonds Lacaze-Duthiers** / 1848-1902

[HI -08] Cession de l'école des garçons au laboratoire de zoologie expérimentale par la commune de Roscoff : correspondance, procès-verbaux, contrat, plan – côte du document numérique 1_HDL_443 / **Fonds Lacaze-Duthiers** / 1883

[HI -09] Constructions du vivier du laboratoire de Roscoff. – Cession du terrain, extraction de pierre, construction : plans, correspondance, arrêté préfectoral, arrêté ministériel, contrat de construction, constat de conformité établi par Jacques Philippot – côte du document numérique 1_HDL_446 / **Fonds Lacaze-Duthiers** / 1882

[HI -10] Laboratoire de zoologie expérimentale de Roscoff, proximité du vivier : tirage photographiques panoramiques – côte du document numérique 1_HDL_469 / **Fonds Lacaze-Duthiers** / 1848-1902

[HI -11] Laboratoire de zoologie expérimentale de Roscoff, vue extérieure et depuis de la salle des aquariums : cartes postales – côte du document numérique 1_HDL_470 / **Fonds Lacaze-Duthiers** / 1848-1902

[HI -12] Hennebique system / **HENNEBIQUE CONSTRUCTION CO.** / 1908

Les archives suivantes sont à retrouver en annexe :

[HI -13] Galerie pour vivier à Roscoff. Construction en béton de ciment armé – Plans de construction du radier / **Exploitation des brevets Hennebique. Bureau technique de l'Ouest – Fonds Hennebique** / 5 février 1906

[HI -14] Aquarium – Projet de construction en béton armé, système Hennebique – Coupes sur l'aquarium / **Exploitation des brevets Hennebique. Bureau technique de l'Ouest – Fonds Hennebique** / 10 août 1907

[HI -15] Aquarium – Projet de construction en béton armé, système Hennebique – Plans de construction de l'aquarium / **Exploitation des brevets Hennebique. Bureau technique de l'Ouest – Fonds Hennebique** / 8 août 1907

[HI -16] Contrat pour les réalisations des structures en béton du vivier / **Entre M. Péponnet entrepreneur et le Président du Conseil de l'Université de Paris** / 13 février 1906

Référentiel technique

[RT-01] Guide [FABEM1] – V2 I Béton et Maçonnerie I Reprise des bétons dégradés / **STRRES** / Février 2016

[RT-02] Conception des réparations structurales et des renforcements des ouvrages d'art – Annexe 04 – Evolution des caractéristiques du matériau béton / **CEREMA** / Août 2015

[RT-03] Conception des réparations structurales et des renforcements des ouvrages d'art – Annexe 06 – Evolution des armatures de béton armé / **CEREMA** / Août 2015

Etudes techniques

[ET -01] Mission de reconnaissance structurelle, ROSCOFF – Station biologique de ROSCOFF – Référence : 2024/11615/NANTS / **GEOTEC** / Indice B 02/06/2025

Travaux exécutés

[TV -01] DOE manquant : restructuration lourde de l'aile Est de la station de biologie marine

Relevés

- Plans format DWG / **Maîtrise d'ouvrage**
- Elévations recomposées sur base de photos / **Equilibre Structures** / 2025
- Elévation Sud Aile Nord / **Equilibre Structures** / 2025
- Elévation photogrammétrique / **Equilibre Structures** / 2025

Nota : Un complément de relevé géomètre sera nécessaire pour la suite des études.

3. CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL

3.1. CONTEXTE GEOLOGIQUE

Caractéristiques du sol d'assise aux alentours de la zone d'étude

D'après la carte au 1/50 000ème du BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières), les horizons que l'on devrait normalement rencontrer seraient, de haut en bas : formation plutonique (complexe plutonique de Roscoff : granite porphyroïde de Roscoff, granite fin de l'ile de Batz), formation métamorphique (Paragneiss à biotite -sillimanite et très ponctuellement amphibolites et gneiss amphibolitiques). Nous pouvons retrouver une formation marine littorale (holocène) : sables, graviers et tangue des estrans au niveau de la mer.

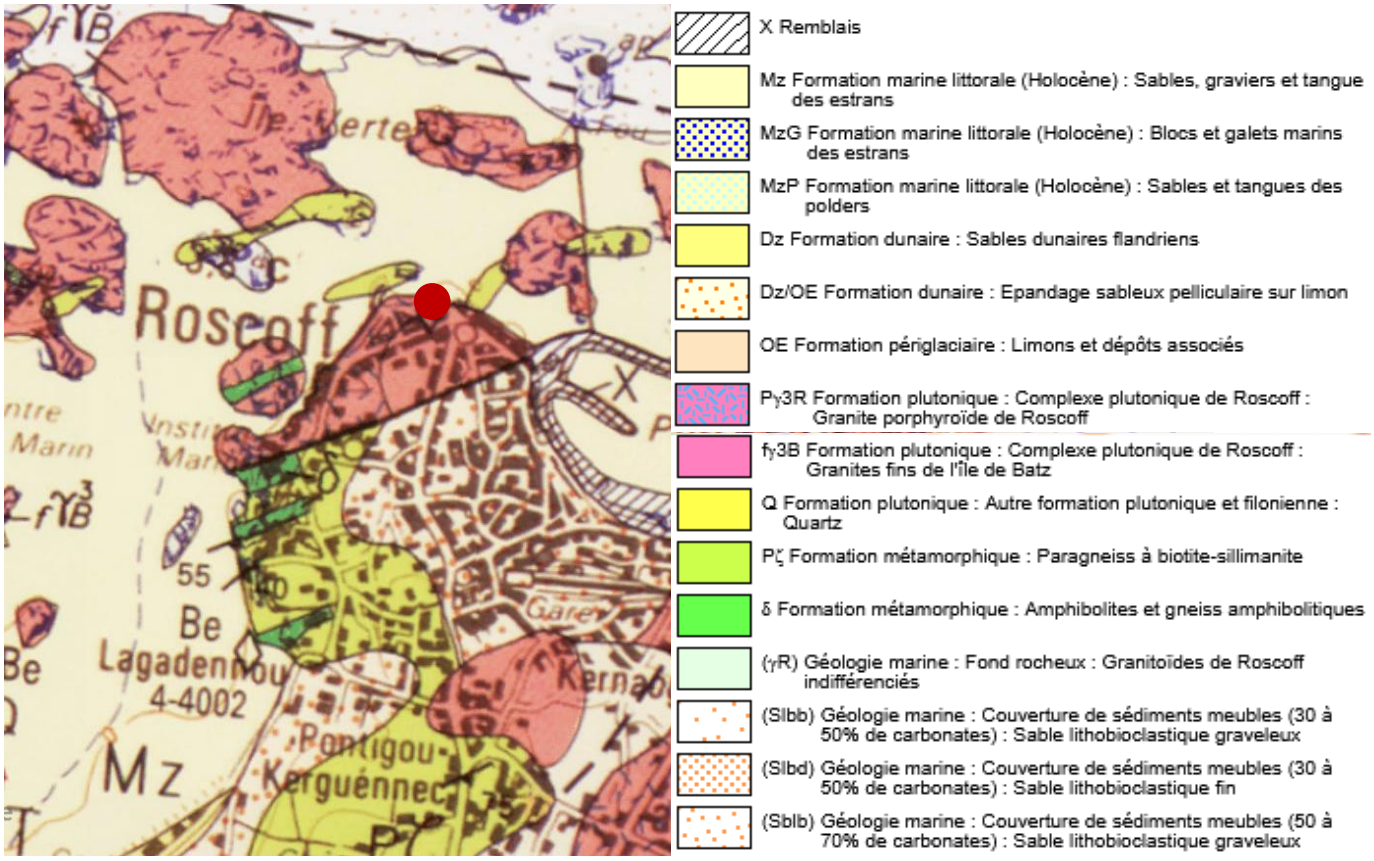


Fig 2. Extrait de la carte géologique au 1/50 000ème du BRGM. En rouge l'emplacement de la station biologique.

Caractéristiques du sol d'assise au droit des fondations de l'édifice

Selon la carte du BRGM, il semblerait que le bâtiment soit fondé sur du granite. Des massifs superficiels de granite ont été observés au niveau des caves du bâtiment, ce qui semble indiquer un sol de bonne qualité au niveau des fondations du bâtiments.

Risques identifiés : exposition faible au risque de retrait-gonflement des argiles, risque important de radon (cf info sur site https://www.georisques.gouv.fr/)

3.2. CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE

Aucune reconnaissance de nappe n'a été effectuée dans le cadre de cette étude. Cependant, lors de gros épisodes pluvieux, les caves du bâtiment peuvent être inondées.

Risques identifiés : Inondations par remontée de nappe (cf info sur site https://www.georisques.gouv.fr/)

3.3. CONTEXTE SISMIQUE

Au regard de l'Eurocode 8/ Conception et dimensionnement des structures pour leur résistance aux séismes/Zonage sismique de la France (entrée en vigueur le 1er mai 2011) d'après l'annexe des articles R563-1 à R563-8 du Code de l'Environnement modifiés par les Décret n° 2010-1254 et n° 2010-1255 du 22 octobre 2010 ainsi que par l'Arrêté du 22 octobre 2010, l'ouvrage se situe en zone de Sismicité 2 (faible).

L'ouvrage peut être classé dans la catégorie d'importance II *(hypothèse à confirmer selon le programme)*.

Aucune exigence de mise aux normes sismiques n'est donc attendue pour cette intervention.

4. ANALYSE CONSTRUCTIVE ET HISTORIQUE

Cette section ne se focalise que sur l'emprise des bâtiments Lacaze-Duthiers. Les autres bâtiments, hors du champ de l'étude peuvent être évoqués, mais ne seront pas développés.

4.1. DESCRIPTION GENERALE

L'ensemble du bâtiment de la station biologique de Roscoff est composé de 3 ailes, formant un triangle entre la place Georges Teissier, la place Lacaze-Duthiers ainsi que la mer. La pointe Nord-Ouest du triangle est composée de l'aquarium public, qui s'organise autour d'un château d'eau de mer, lui permettant d'être toujours approvisionné en eau. La pointe Nord-Est est composée par la maison du directeur et la pointe Sud par la maison du gardien. L'aile Sud est pour le moment partiellement fermée au public. Notre étude porte sur les ailes Nord et Est, accueillant la station historique, repérées par les lettres LD sur la Fig 3. L'aile Est est l'aile la plus ancienne, composée d'un ensemble de maisons en maçonnerie. L'aile Nord date du début du XXème siècle, et est composée de planchers béton et de façades mixtes béton/maçonnerie.

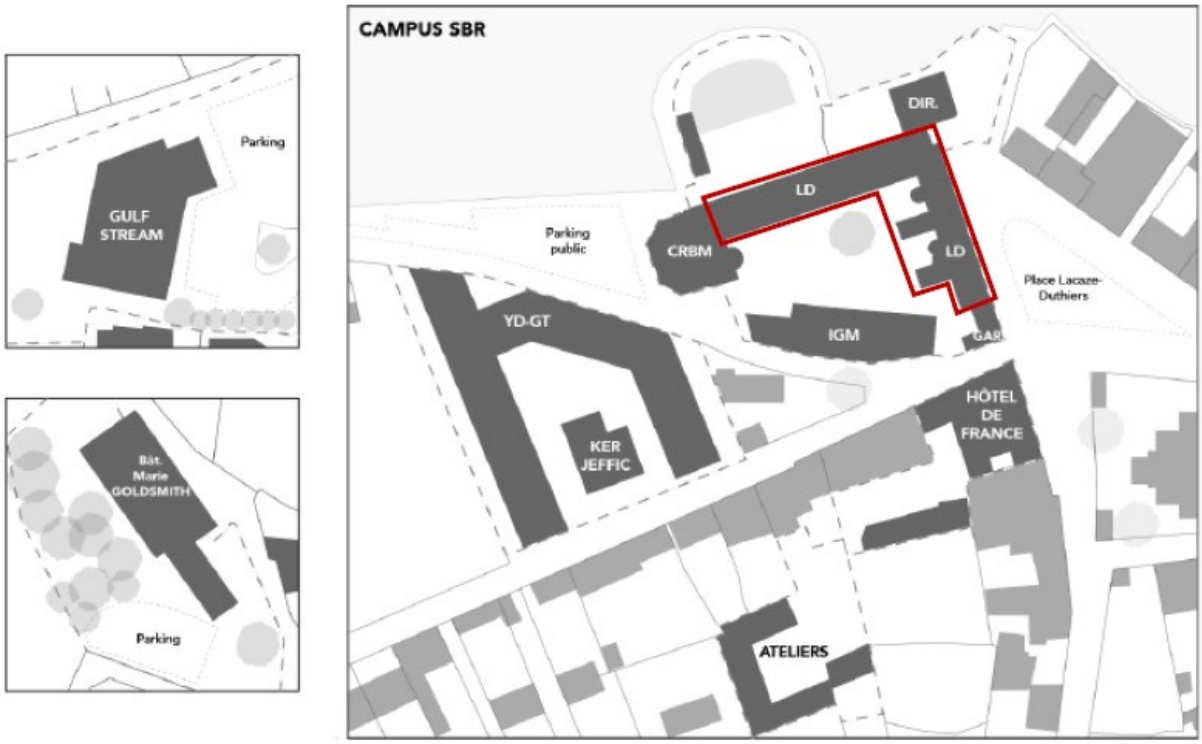


Fig 3. Plan masse de la Station biologique de Roscoff (source : EMBASE), entourée en rouge la zone d'étude

4.2. HISTORIQUE SOMMAIRE

L'historique proposé ci-après a été établi suite à l'analyse d'archives compilées par nos soins. Il vise à comprendre les différentes phases de construction de l'ensemble bâti, sans pour autant remplacer le travail d'un.e historien.ne.

1872 : Fondation de la station de biologie Marine par H. Lacaze-Duthiers. Connue à l'époque comme le laboratoire de zoologie marine, elle prend place dans une maison de location à côté de l'actuelle place Lacaze-Duthiers (actuel hôtel Ibis).

1876 : Emménagement dans la maison dite « Corbière » du nom de son ancien propriétaire. Le bâtiment date de la seconde moitié du XVIIIème siècle [HI -03].

1881 : Construction du vivier. Des ébauches de plans du laboratoire, sur la parcelle des jardins du laboratoire et adossés contre le mur d'enceinte de l'école sont visibles [HI -09] Sur la Fig 6, les pointillés dans le jardin du laboratoire semblent indiquer la présence d'un premier hangar servant d'aquarium. Ce dernier est représenté sur une ancienne publication [HI -07].

1883 : Acquisition de l'ancienne école communale [HI -03][HI -08]. La date de construction de l'école n'est pas connue, mais elle présente les mêmes typologies constructives que la maison Corbière, ce qui laisse supposer une construction dans la seconde moitié du XVIIIème siècle. Les tours d'escalier en extérieur sont typiques des constructions anciennes de Roscoff [HI -06]. Si le laboratoire n'est pas encore représenté sur les plans du dossier de cession de l'école au laboratoire Fig 7, il est construit dans la foulée, selon le souhait émis depuis 1881 par Lacaze-Duthiers : le long du vivier.

1884 : Achat du terrain Vacher et le la maison Mironnet. Par la suite, la batterie de la croix fut également achetée, et la partie Est fut cédée à la ville en échange du chemin communal.

1884-1891 : Suite à la cession du chemin, une extension permettant de relier la maison Mironnet au reste du laboratoire a été construite, ainsi qu'une cuve d'eau sur le terrain de la batterie, profitant d'un éperon granitique [HI -06]. La photo en Fig 8 permet de témoigner de l'état de l'actuelle place Lacaze-Duthiers avant la réalisation de l'extension.

1888 : Restauration du vivier.

1890 : Déclin de la santé de Lacaze-Duthiers. Le laboratoire connaît peu d'évolution au cours de cette décennie. Son état est documenté par H. Lacaze-Duthiers en 1891 ([HI -06] et Fig 9).

Le laboratoire est alors un hangar en structure bois, posée sur un soubassement en maçonnerie (Fig 10 et Fig 11), ses extrémités Est (jonction avec l'ancienne école) et Ouest sont construites en maçonnerie. Il ne comporte alors qu'un seul niveau et présente une toiture à deux pans. Le volume de l'ancienne école, en retour sur l'aile Nord est plus étroite que le nouveau laboratoire et ne présente également qu'un niveau (Fig 12). Aujourd'hui, on peut noter la présence d'une ancienne baie rebouchée au niveau du bureau « cahiers biologie marine » (Fig 13). Le volume de l'ancienne école, en retour sur le jardin, aile Est est composé de deux niveaux, tout comme la maison Cordière. Ces deux volumes sur deux niveaux sont les seuls bâtiments à avoir conservé leur volumétrie d'origine (Fig 14). L'extension entre l'ancienne école et la maison Mironnet

ne comporte qu'un seul niveau, contrairement à la maison Mironnet qui en comporte deux. Sur la photo en Fig 14, on devine dans le fond un volume diagonal sur deux niveaux, il semble s'agir du réservoir d'eau. Le bâtiment entre la maison Corbière et la maison du gardien est construit entre la fin du XIXème et le début du XXème siècle.

1905-1907 : Reconstruction de l'aquarium après la mort de Lacaze-Duthiers, sous la direction de Yves Delage [HI -02]. Le soubassement maçonné de l'ancien aquarium est conservé, une structure en béton est construite dessus, sur deux niveaux (Fig 15 et Fig 16). L'extrémité Ouest maçonnée de l'aquarium semble avoir été conservée dans sa partie basse – ou a été reconstruite à l'identique – et a été réhaussée d'un niveau en maçonnerie [HI -15] et [HI -14]. L'aile Nord de l'ancienne école est détruite et est reconstruite entièrement, suivant le volume de l'aquarium en structure mixte maçonnerie/béton (Fig 17). Une toiture terrasse couvre le tout et est bordée par un fronton en béton. C'est à cette époque que l'extension entre l'ancienne école et la maison Mironnet semble être surélevée de deux niveaux. Les maisons historiques ne semblent pas avoir été modifiées.

1932-1934 : Construction de la maison du directeur à l'angle Nord-Est de l'ensemble. L'architecte Lionel Heuzé semble avoir élargi vers le Nord l'ensemble de l'extension et de la maison Mironnet pour créer un ensemble homogène sur 3 niveaux dont combles. La toiture devient alors homogène et à deux pans.

1937 : Initiation de la construction de l'aquarium public, par Charles Pérez, autour d'un réservoir d'eau de mer hébergé dans une tour carrée.

1946 : Achèvement de la construction de l'aquarium public, dont la construction a été arrêtée pendant la guerre.

2001 : Restauration lourde de l'aile Est, remplacement des planchers bois par des planchers en béton préfabriqués.

4.3. ANALYSE CONSTRUCTIVE

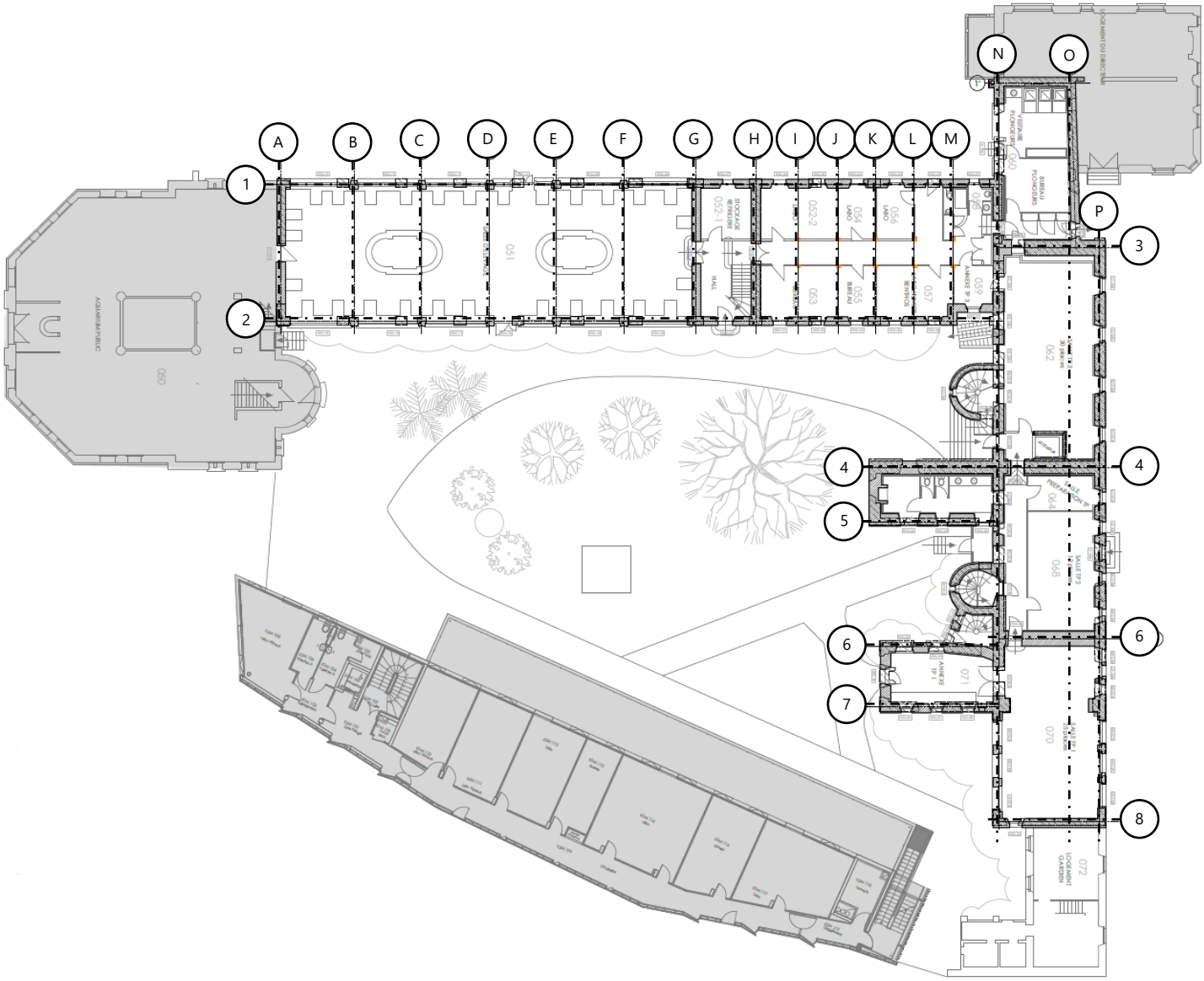


Fig 4. Repérage des files structurelles à rez-de-chaussée considérées dans cette étude

4.3.1. Aile Nord

L'**aile Nord** ne présente aucun sous-sol, et ses fondations sont inconnues.

Les **façades Nord et Sud** de l'aile présentent la même composition. Chaque façade présente 3 rythmes et compositions différents. Au niveau du rez-de-chaussée, dans la partie Ouest au niveau de l'aquarium entre les files A à G, la façade présente une trame régulière de poteaux en béton datant de 1904-1907 (Fig 18 et Fig 19). Ces derniers reposent sur un mur maçonné, qui semble avoir été conservé lors de la réfection de l'aquarium. Sur les 5 poteaux que présentent chaque façade, seuls 2 semblent être fondés (files C et E, Fig 21) : on peut observer que le mur maçonné semble avoir été déposé partiellement pour permettre de fonder les poteaux. Ce sont également les uniques poteaux présents sur les photos de l'époque, et les seuls représentés sur les plans projet d'archive [HI -15] (zoom en Fig 20). Les autres ont été ajoutés à postériori (Fig 16). Dans la partie Est, entre les files G à N, la façade est composée de moellons en granite ainsi que d'une

trame régulière d'ouvertures (Fig 22). Néanmoins ces dispositions ne sont pas d'origine, les plans projet de l'aquarium datant de 1907 montrent que cette partie a également été remaniée [HI -15] (zoom en Fig 23). Il est à noter que la façade a été construite avec un renfoncement entre les files M et N, afin de conserver l'accès aux caves d'origine (Fig 24). Les corniches en béton des deux parties de l'aile présentent des modénatures et une altimétrie différente. La corniche de la partie Ouest a été ponctuellement découpée pour faire passer les réseaux d'eaux pluviales (Fig 25). Des traits de scie ont été réalisés dans les frontons en béton armé, à intervalles réguliers.

La totalité de **l'étage** suit un même rythme : des ouvertures régulières sur tout le linéaire de façade. Bien que les plans d'archives en notre possession ne soient que des plans projets, dont certaines dispositions n'ont pas été réalisées telles que dessinées, nous pouvons supposer que les trumeaux de l'étage sont maçonnés, et seuls les linteaux et le couronnement de l'étage sont réalisés en béton armé [HI -14] (zoom en Fig 26). L'ensemble du bâtiment est couronné par un fronton en béton (Fig 27), ponctuellement percé pour les évacuations des eaux pluviales de la toiture terrasse. Ces percements ne datent pas de la construction du bâtiment.

A l'intérieur, en **rez-de-chaussée**, on observe des différences constructives entre les parties Est et Ouest du bâtiment. Entre les files A et G, au niveau de l'aquarium, la structure porteuse est composée de 7 poutres principales en béton armé, reposant sur les poteaux de façade (Fig 28). Les poteaux d'origine, en files C et E, sont les seuls présentant des corbeaux à l'appui des poutres. A l'origine, il semblerait que les poutres des files A, B, D, F et G soient reprises par des poutres en béton armé incluses dans la façade et formant les linteaux des baies [HI -15] (zoom en Fig 29). Les poteaux ont été ajoutés par la suite au droit des poutres. Les sondages réalisés par Géotec relèvent des armatures en rond lisse, typiques des constructions avant 1950 [ET -01]. On peut alors supposer que les poteaux ont été ajoutés dans la première partie du XXème siècle. 5 solives portent entre chaque poutre et reprennent une dalle béton. Les annotations manuscrites ajoutées sur les plans projet de 1907 semblent indiquer la présence d'une poutre en files A et G, pouvant être des modifications en phase chantier [HI -15] (zoom en Fig 29 et Fig 30). Entre les files G et H se trouve un noyau de circulation, dont l'emprise existait déjà avant la restructuration du début du XXème siècle. C'est dans cet espace que vient s'implanter l'escalier d'accès à l'étage supérieur. On peut noter que l'escalier actuel diffère de l'escalier projeté [HI -15]. Les sondages réalisés par Géotec ainsi que les plans d'archives témoignent que les murs de refends le long des files G et H sont des murs maçonnés, respectivement de 25cm et 60cm d'épaisseur. Des solives en béton armé viennent s'y empocher. La partie Est du bâtiment a été pensée pour accueillir des bureaux desservis par un couloir central (Fig 31), comme le prouve le plan de 1907 [HI -15] (zoom en Fig 32). Cette organisation se retrouve dans la disposition constructive : la structure du plancher vient s'appuyer sur des poteaux venant s'installer de part et d'autre du couloir central. Les solives principales en béton armé du plancher haut portent ainsi de façade à poteau, et aucune solive n'est observable au niveau du couloir. La structure secondaire de la zone est composée de 3 solives portant entre chaque solive principale. Au niveau des files H et N, il semblerait que les solives soient empochées dans une poutre en béton armé réalisée en couronnement de mur maçonné.

L'étage est plus régulier, on retrouve la même disposition constructive qu'au niveau de l'aquarium : des poutres le long de chaque file porteuse, reprises par des linteaux au niveau de chaque trumeau en façade, supportant 5 solives perpendiculaires portant une dalle en béton armé (Fig 33). Aucune solive n'est observable au niveau des couloirs. On peut noter que les trumeaux des deux étages ne sont pas alignés. A ce niveau, toutes les poutres reposent sur des corbeaux en béton armé. La travée de l'escalier, entre les files G et H présente une structure différente. Cette travée semble avoir été

modifiée en chantier, puisque sur les plans projets de 1907, cette travée est prévue comme les autres [HI -15] (zoom en Fig 34). On retrouve en partie centrale 3 solives portant de poutre à poutre, et en partie Nord, 2 solives portant entre façade et solive. Au droit de l'escalier, le plafond est plus bas que dans le reste du bâtiment, cependant cette différence d'altimétrie ne se retrouve pas en toiture (Fig 35). Il semblerait que cet espace accueille des locaux techniques. Ils n'ont pas été visités. Cet espace ainsi que la trame structurelle légèrement différente pourraient être liés à une ancienne disposition constructive : sur deux photos vues d'avion datant des années 1950 et 1980 (Fig 36 et Fig 37), on peut observer un édicule en toiture semblant correspondre à un ancien escalier d'accès à la toiture. Un témoignage de cette disposition constructive se retrouve sur les coupes projets de 1907 [HI -14] (zoom en Fig 38). Il est intéressant de noter que le plancher haut du R+2 est pensé de façon à faire une double pente, dont la partie haute est en partie centrale. Cette disposition constructive est clairement représentée sur les coupes transversales du projet de 1907 [HI -14] (zoom en Fig 38).

La **toiture** est une toiture terrasse dont le garde-corps est formé par le fronton en béton armé. Sur les plans et coupes projets de 1907, des caniveaux périphériques le long des frontons étaient prévus, il semble cependant qu'ils n'ont pas été réalisés [HI -14] (zoom en Fig 38).

4.3.2. Aile Est

L'**aile Est** présente trois sous-sols, d'accès distincts. Les fondations n'ont pas été reconnues, mais des blocs de granites affleurant ont pu être observés dans les caves (Fig 39).

L'aile Est est composée par un ensemble de bâtiments, achetés au fur et à mesures de l'extension de la station biologique. La **façade Est sur la place Lacaze-Duthiers** est assez homogène (Fig 40) : la maison Corbière ainsi que l'ancienne école présentent une façade en granite avec de gros appareillages. On peut noter que le linteau de la porte d'accès depuis la place à la maison Corbière a été repris en béton armé. La partie Sud de l'aile Est ainsi que l'extension et la maison du directeur présente une façade se rapprochant de celle de la partie Est de l'aile Nord : une façade en maçonnerie de petit appareillage en moellons granite, avec des linteaux en béton armé au niveau des baies et un appareillage équarri en chaines d'angles. Des ancres métalliques sont visibles en façade du bâtiment Sud, au niveau du plancher haut du rez-de-chaussée. La **façade Ouest**, sur jardin est également composée de maçonnerie en moellons de granite. Certaines ouvertures ont été modifiées par rapport à l'état d'origine, exposant des linteaux bois en extérieur. Tout comme pour la façade Est, les ouvertures du bâtiment Sud sont de plus grandes dimensions que les ouvertures des bâtiments plus anciens et leurs linteaux sont en béton.

La **majeure partie de l'aile Est** et de la maison du directeur a été restructurée en 2001. La quasi-totalité des planchers de la zone d'étude ont été déposés puis reconstruits suivant un système de poutrelles préfabriquées en béton armé et hourdis ciment, y compris les planchers des caves (Fig 41). Dans ces dernières, on peut observer des anciennes traces de départs de voûtes, témoins des anciennes dispositions constructives Ces planchers comportent des rythmes différents, les poutrelles sont parfois simples (planchers sous bureaux, files 3 à 4, R+1 et R+2), doublées (planchers sous les bureaux administratifs, files 4 à 7, R+2) ou triplées (plancher sous la bibliothèque, file 4 à 7, R+1, ou au niveau de la trémie d'ascenseur) [ET -01].

Seul le plancher bois du bâtiment Sud, dont les ancres sont visibles en façade, semble avoir été conservé. Les sondages réalisés par Géotec [ET -01] confirment ce point. Le plancher du R+1 a été renforcé par des IPN 300 perpendiculaires aux solives bois, certainement ajoutés pour reprendre la charge de la bibliothèque. Le plancher du R+2 n'a pas été remanié. Un portique en béton a certainement été réalisé lors de l'ouverture du mur de façade entre la maison Corbière et le bâtiment Sud.

On observe le long de l'aile Est 3 typologies de **charpentes** (Fig 42,), une par bâtiment la composant. Les charpentes semblent avoir été remaniées. Les fermes de la maison Corbières peuvent avoir été modifiées lors de la réfection du plancher, un entrait retroussé a été ajouté, certainement à cause de la suppression de l'entrait d'origine et/ou l'homogénéisation des pans de couvertures (arbalétriers doublés).

4.4. BETONS UTILISES

Ce paragraphe ne concerne que les bétons anciens, et ne traitera donc pas des planchers plus récents de l'aile Est.

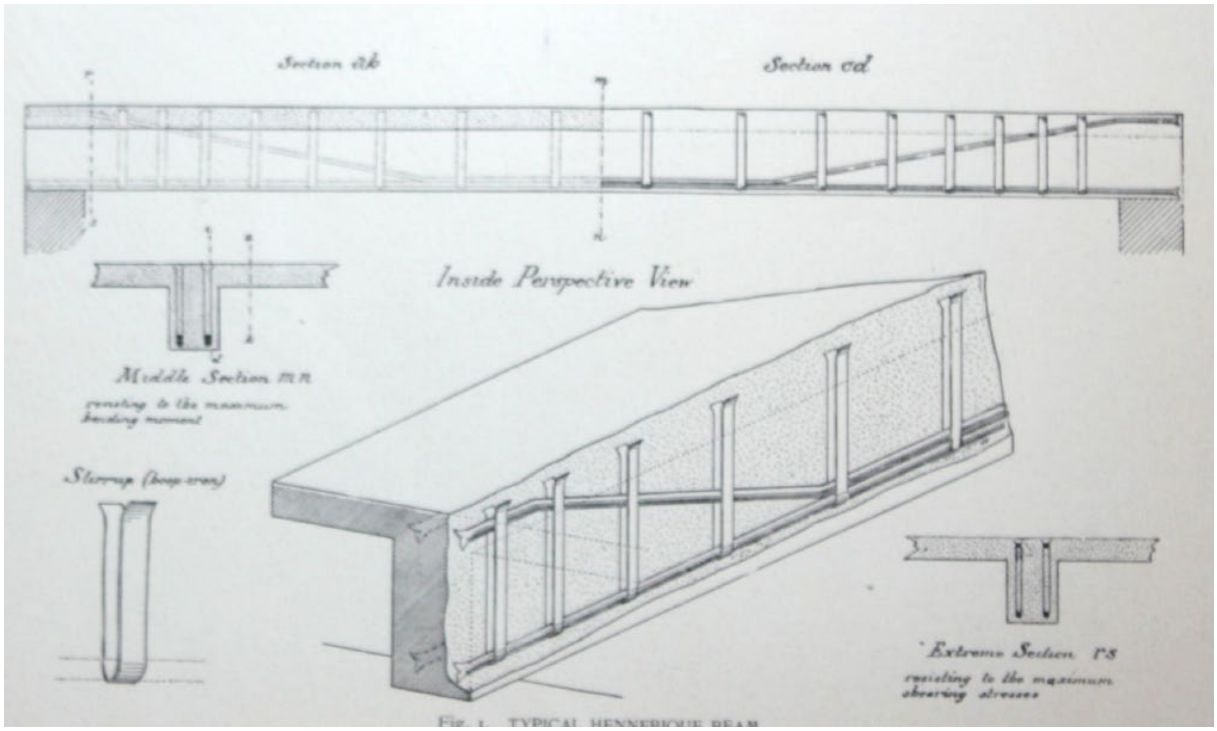
Les sondages réalisés par Géotec [ET -01] témoignent d'armatures longitudinales en rond lisse et de cadres plats. Ces relevés nous permettre de définir que le procédé de construction mis en place pour l'aile Nord de la station biologique est le procédé Hennebique (brevet en 1892) [HI -12]. La première circulaire réglementant en France l'utilisation du béton armé dans le bâtiment date de 1906, soit pendant la construction de l'actuel aquarium.

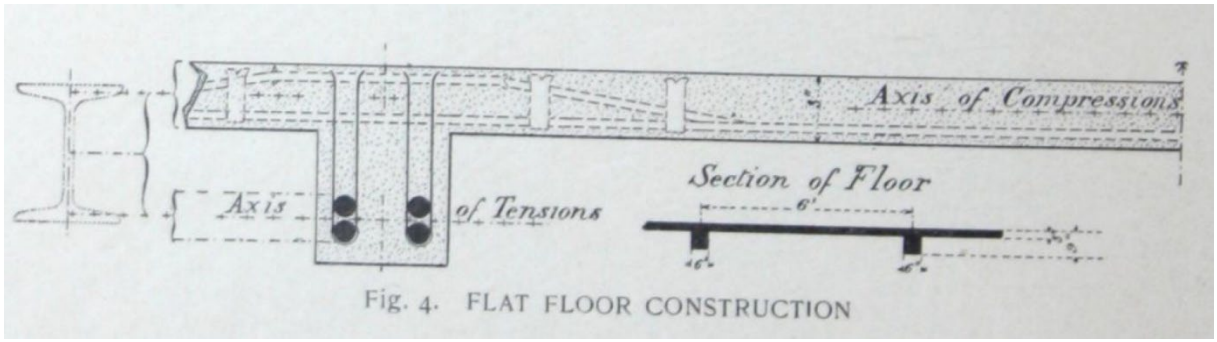
Les sondages réalisés en travée de poutre ont permis d'identifier trois files de deux aciers ronds filants, chaque file étant ceinturée par un cadre plat métallique. Par analogie au système Hennebique breveté, le filant supérieur est surement relevé et retourné au niveau des appuis, pour permettre une reprise du cisaillement au niveau des appuis. Les plats métalliques ne forment pas un cadre à proprement parler, mais un U appelé étrier, dont les extrémités en forme de pattes sont simplement encastrées dans le béton. Pour la liaison des poutres aux poteaux et des solives aux poutres, les aciers filants sont eux aussi simplement encastrés en leurs extrémités par des queues de carpes. Les linteaux présentent les mêmes caractéristiques que les poutres.

Les solives, plus fines, ne présentent qu'une file de deux aciers ronds filants, ceinturée par un cadre plat métallique.

Les dalles en béton ne présentent pas d'aciers de répartition. Elles comportent seulement des aciers filants en ronds lisses. Elles sont fines (épaisseur maximale 10cm).

Le poteau sondé fait partie des poteaux rajoutés à postériori. Les cadres sondés sont des ronds lisses, et non des plats métalliques comme on peut retrouver sur les planches d'archives [HI -12] ou au niveau des éléments porteurs horizontaux.





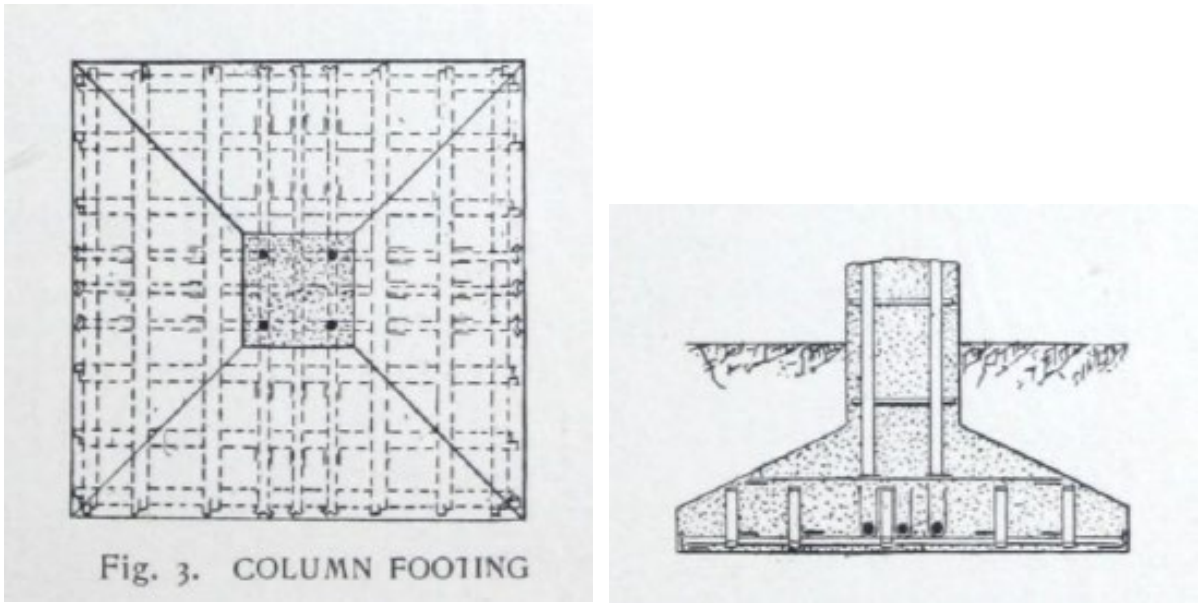


Fig 5. Planches de détail du système Hennebique / [HI -11]

4.5. REPORTAGE PHOTOGRAPHIQUE, ARCHIVES ET ANALYSE CONSTRUCTIVE

4.5.1. Archives

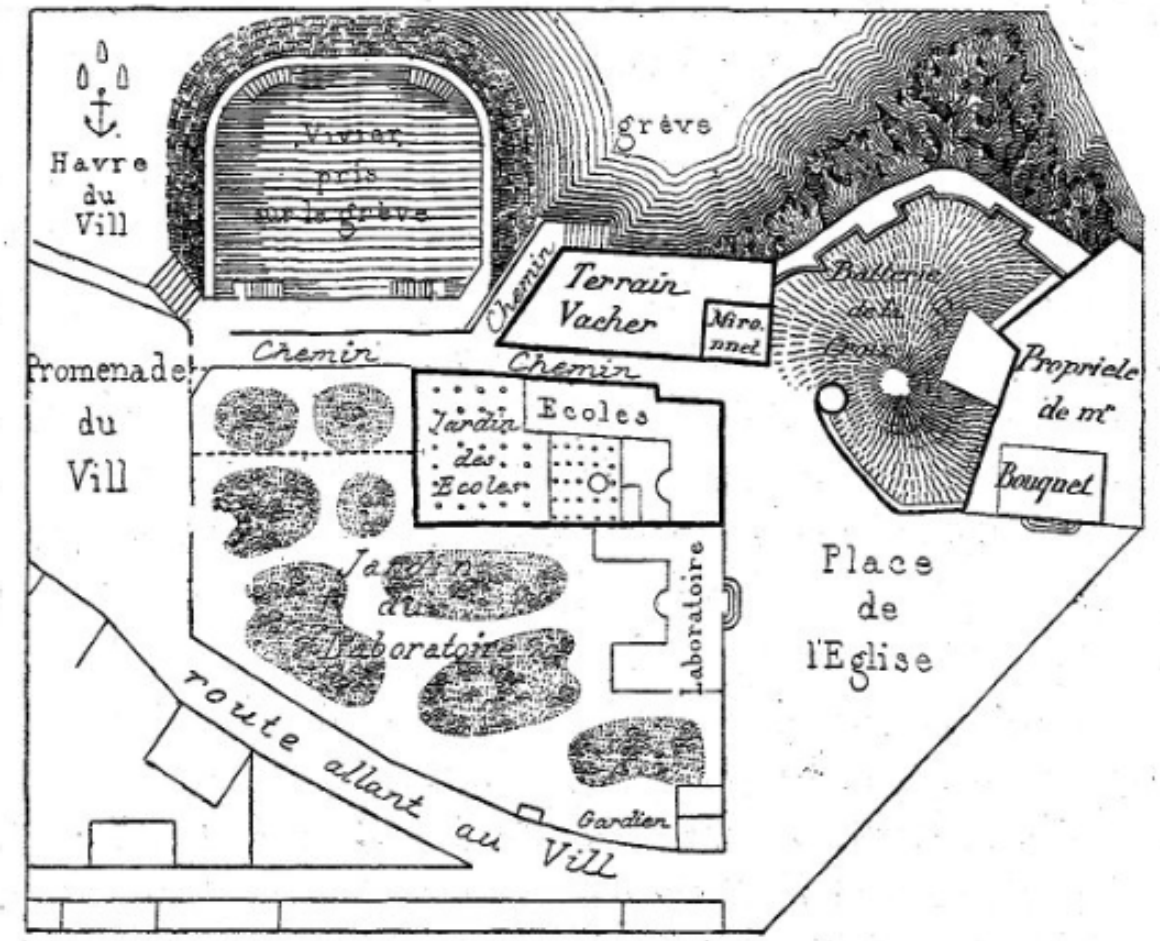


Fig. 2. — Plan de la propriété de l'État, alors que les *écoles*, le *terrain Vacher*, la *batterie de la Croix* et la *maison Mironnet* n'étaient pas annexées. Dans la batterie, on voit le piton granitique, et un quadrilatère à l'est contre la propriété Bouquet. Sur ce piton a été élevé le réservoir d'eau K (pl. XI). La poudrière, représentée par le quadrilatère, a été démolie et a permis de faire une descente en mer, entre la propriété Bouquet et le laboratoire.

Fig 6. Plan du laboratoire après l'achat de la maison Corbière (« Laboratoire » dans le plan) et avant achat de l'école communale, état de 1881 / [HI -06]

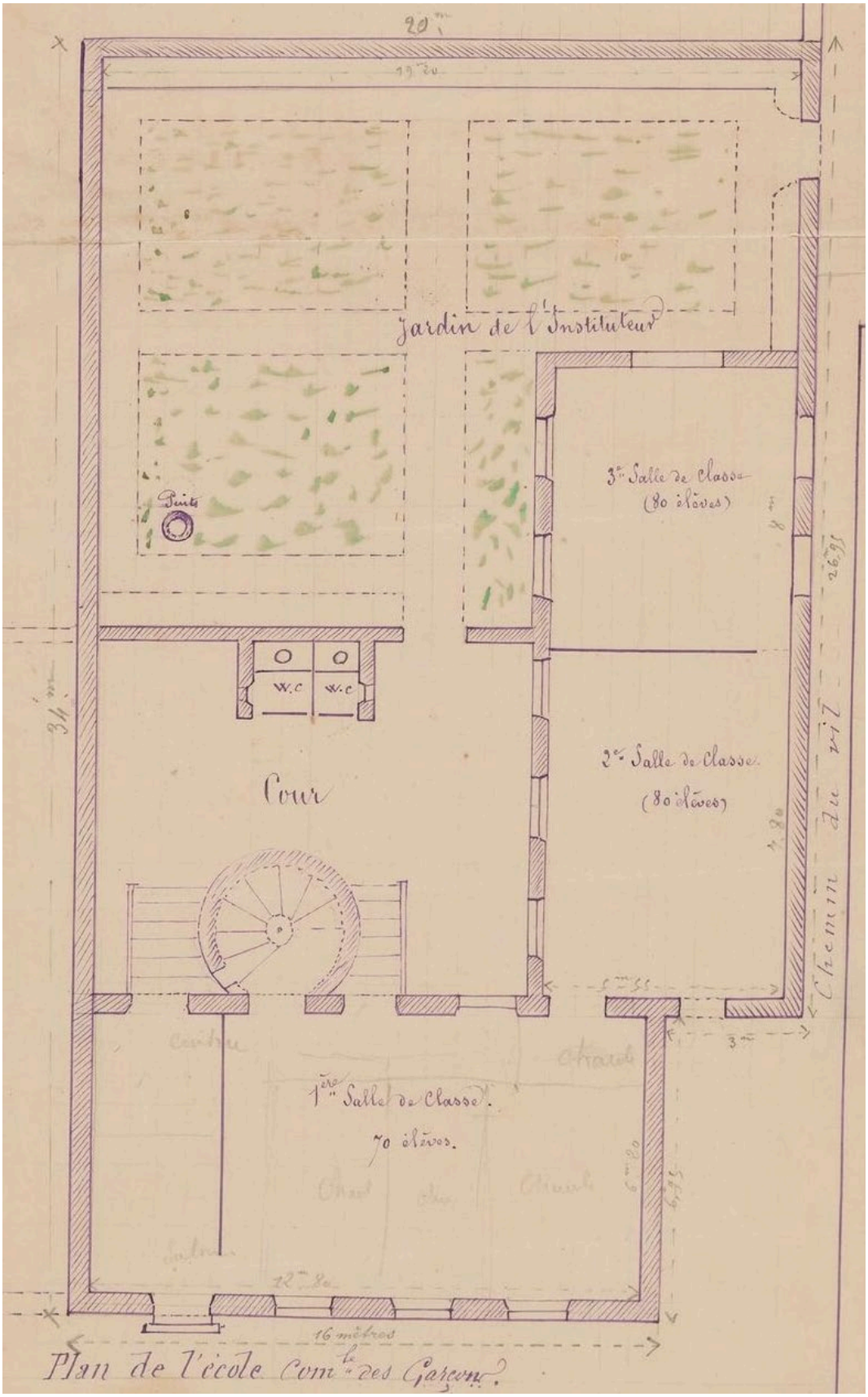


Fig 7. Plan de l'école communale de Roscoff au moment de son achat par Lacaze-Duthiers / [HI -08]

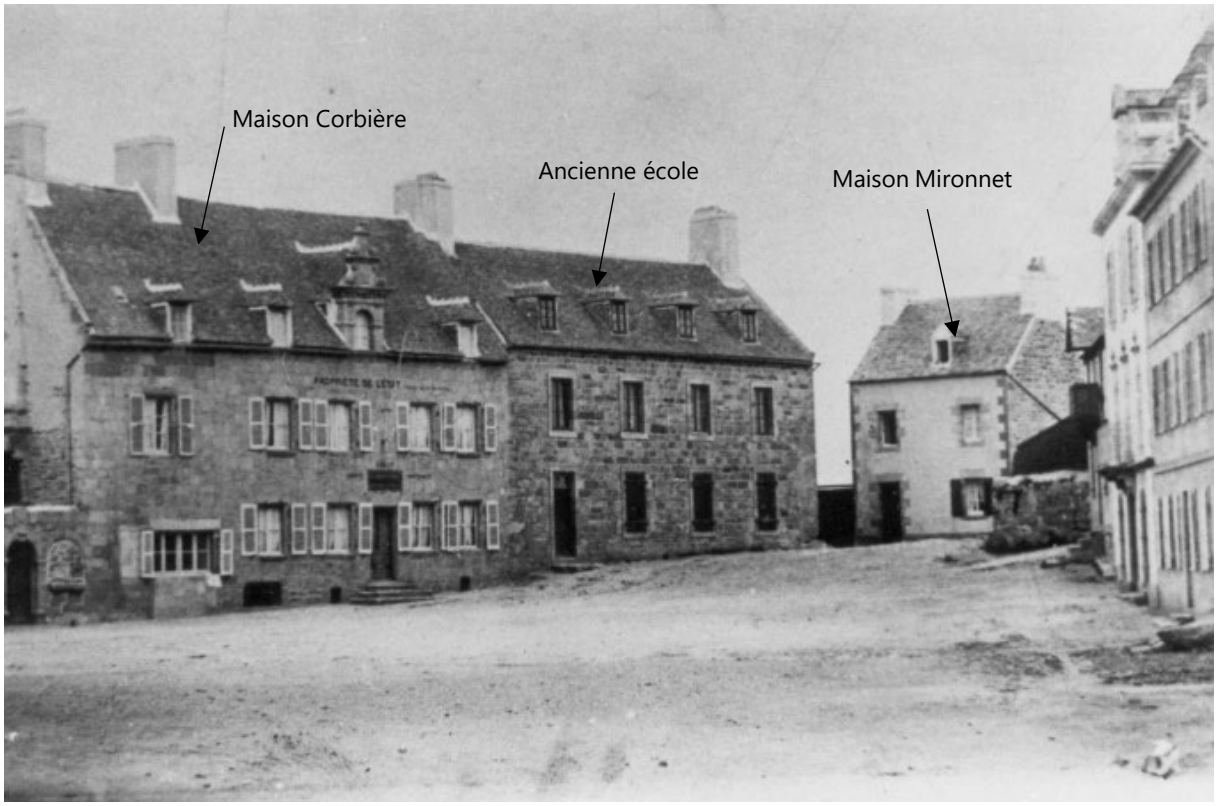


Fig 8. Photo de l'état de l'actuelle place Lacaze-Duthiers, avant la construction de l'extension entre la maison Mironnet et l'ancienne école. Date inconnue (supposée avant 1884) / [HI -03]

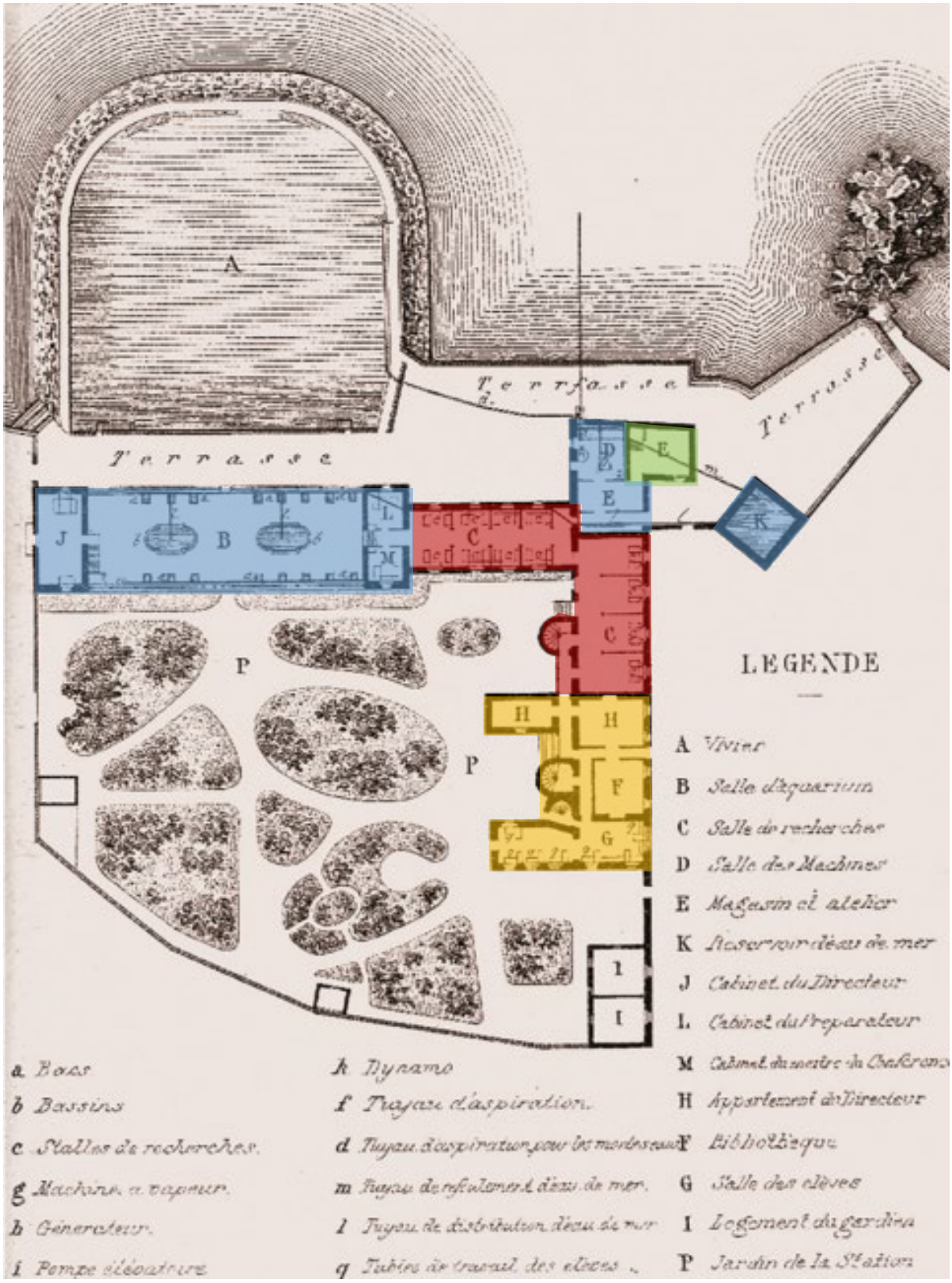


Fig 9. Plan du laboratoire en 1891. En jaune la maison Corbière, en rouge l'ancienne école communale, en vert la maison Mironnet et en bleu les dernières constructions (aquarium, cabinet du directeur, salle des machine, réservoir d'eau de mer) / [HI -06]



LABORATOIRE DE ROSCOFF : un coin de l'aquarium.

Fig 10. Intérieur du laboratoire : structure bois légère sur soubassement maçonné, charpente bois à double pans / [HI -11]

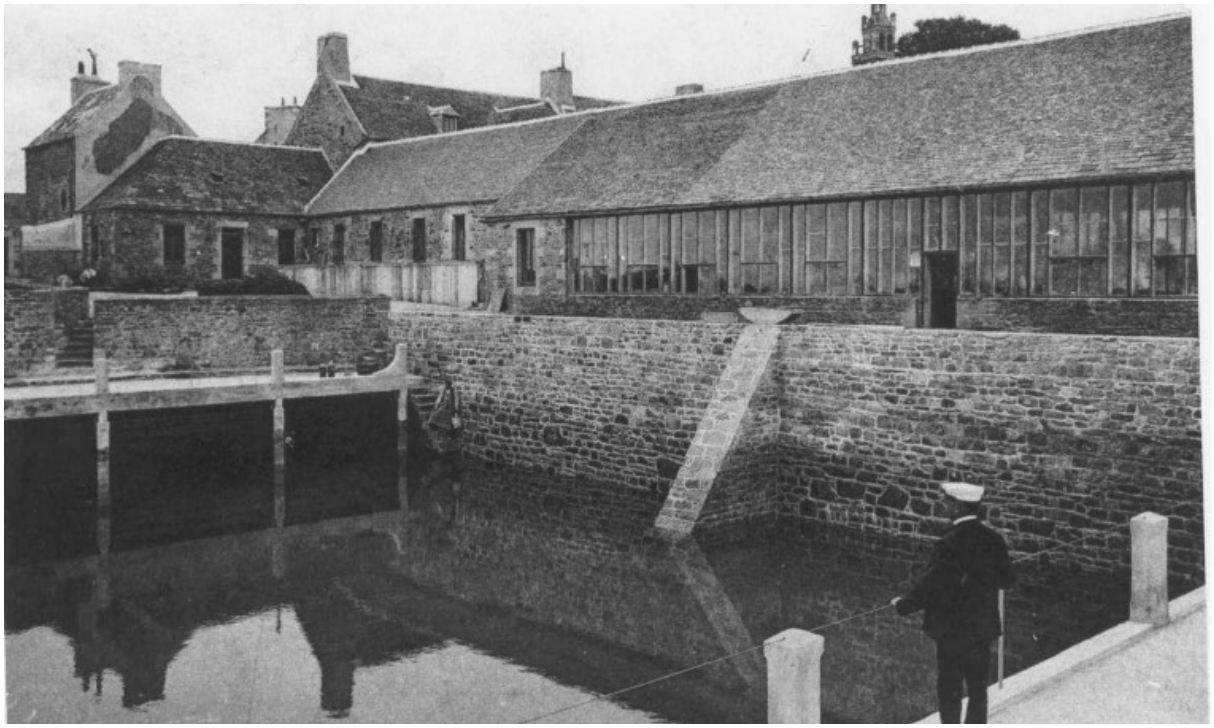


Fig 11. Vue extérieure de l'aquarium, la structure bois de façade est visible en toiture. On lit le décroché au niveau de la jonction avec l'aile Nord de l'ancienne école / [HI -03]

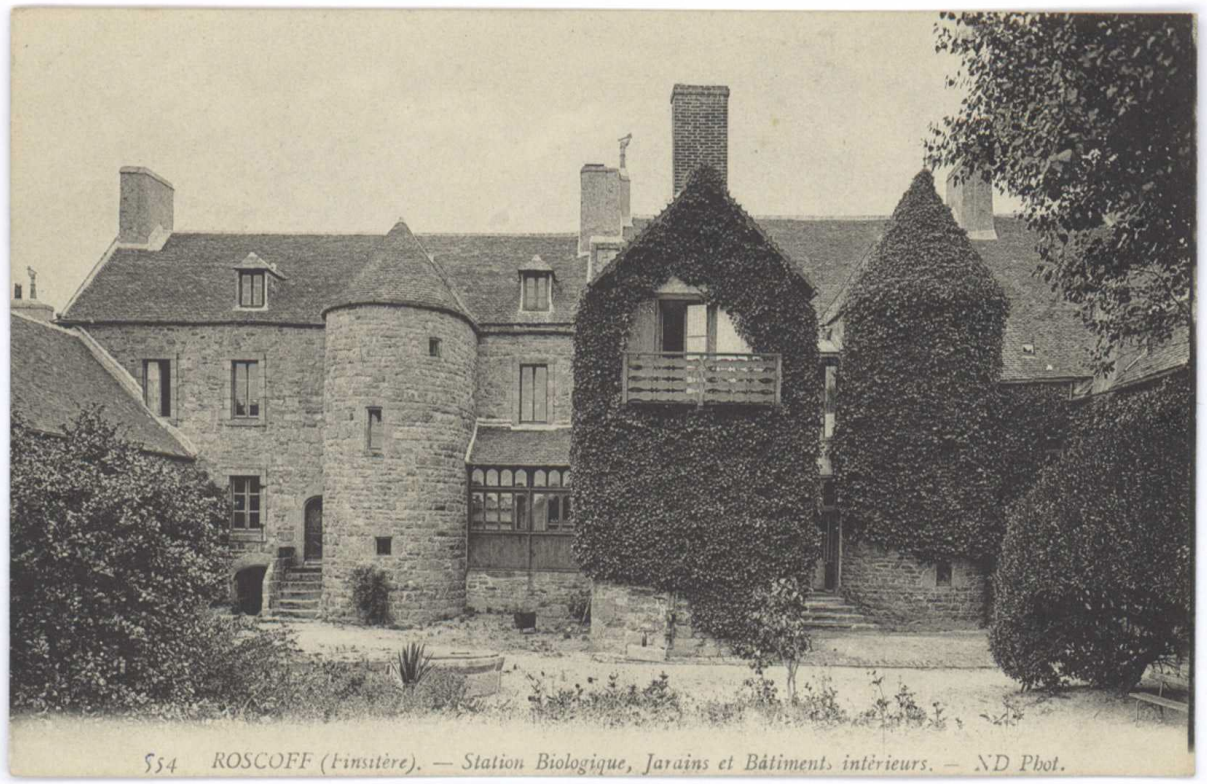


Fig 12. Vue extérieure depuis le jardin du laboratoire, en face à droite, la maison Corbière, à gauche l'ancienne école / [HI -03]



Fig 13. Ancienne baie rebouchée au niveau du bureau « cahiers biologie marine », témoin de l'ancienne disposition constructive sur un niveau du bâtiment de l'ancienne école

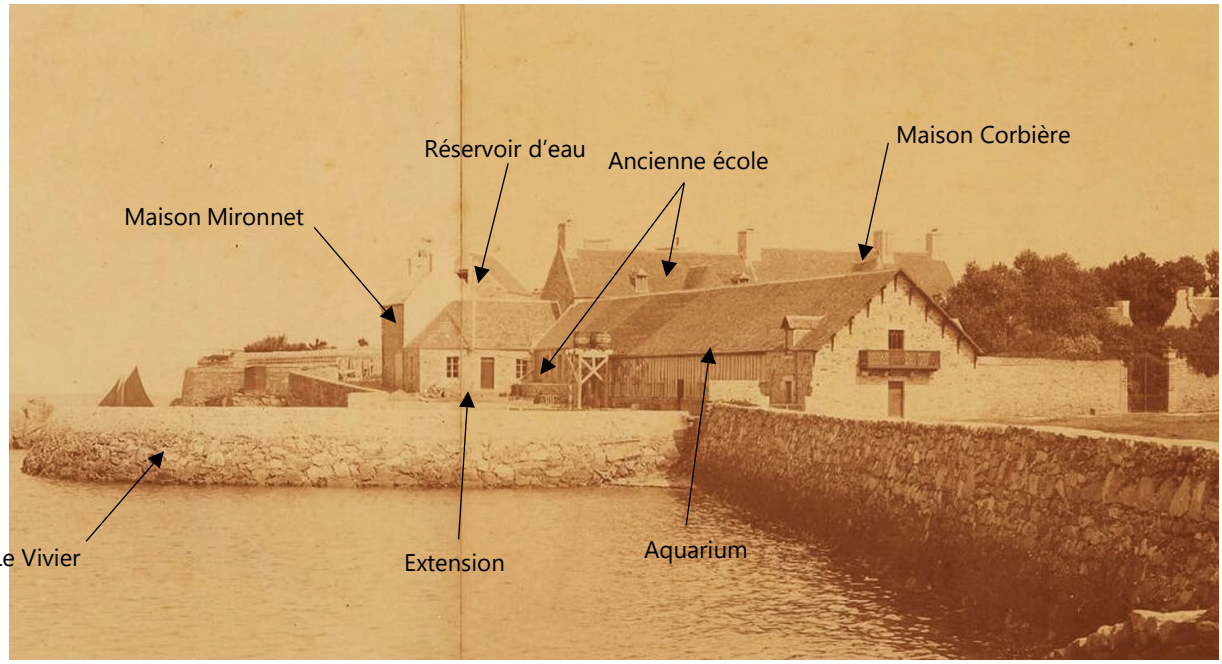


Fig 14. Photo extérieure de l'ensemble de la station à la fin du XIXème siècle, avec les principaux volumes la composant identifiés / [HI -10]



Fig 15. Vue extérieure de l'aquarium après sa reconstruction en 1907 / [HI -03]



Fig 16. Vue intérieure de l'aquarium après sa reconstruction / [HI -03]



Fig 17. Plan d'état projeté du laboratoire de 1904-1907 / [HI -07]

4.5.2. Analyse constructive



Fig 18. Aile Nord, partie Ouest, façade Sud



Fig 19. Aile Nord, partie Ouest, façade Nord

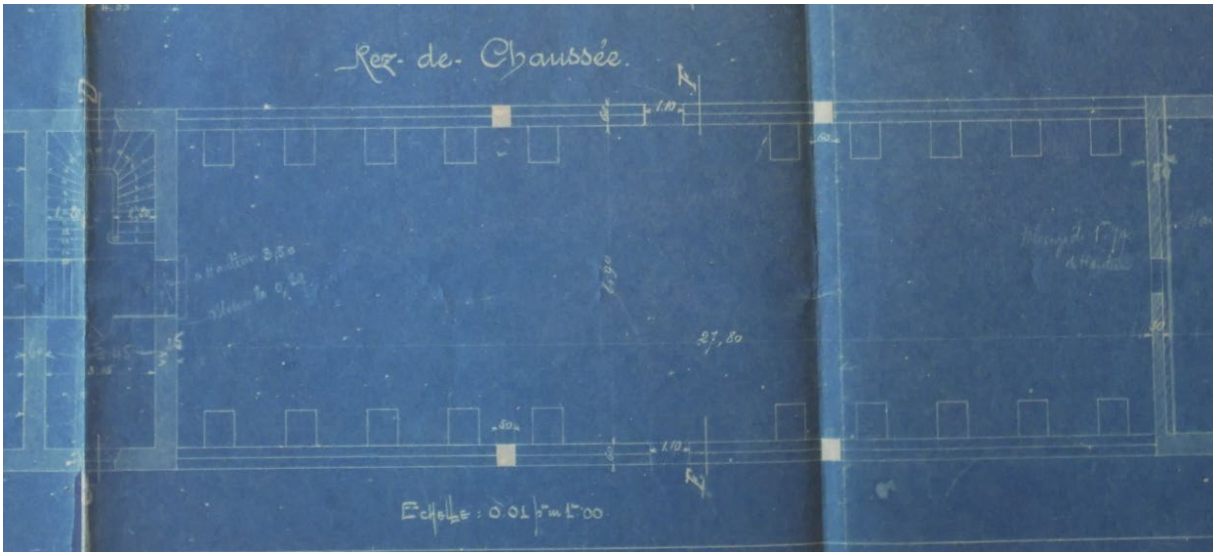


Fig 20. Aile Nord, zoom sur [HI -15], plan projet de l'aquarium – en blanc les poteaux prévus à l'origine



Fig 21. Aile Nord. A gauche, poteau béton fondé, à droite, poteau béton non-fondé, reposant sur le soubassement maçonné



Fig 22. Aile Nord, partie Est, façade Sud

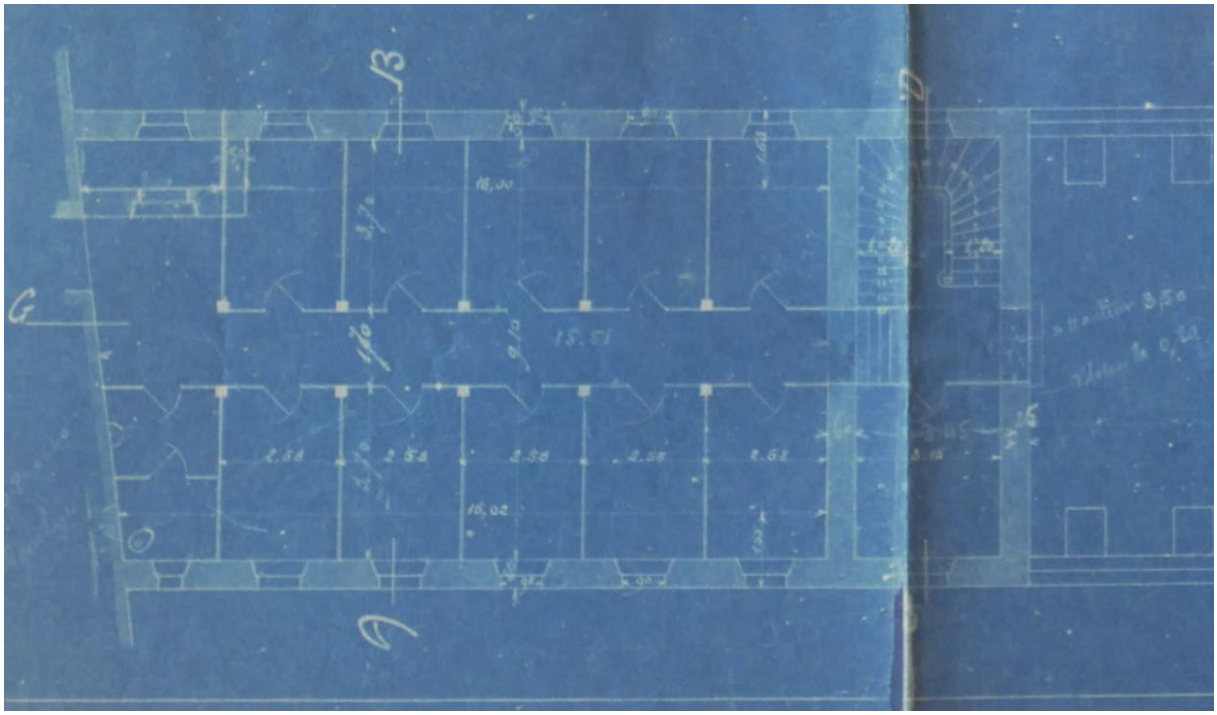


Fig 23. Aile Nord, zoom sur [HI -15], plan projet de la partie Est – En haut à gauche est représenté le renfoncement pour l'accès aux caves



Fig 24. Aile Nord. Renfoncement en RDC façade Sud, pour permettre l'accès à la station de pompage en sous-sol de l'aile Est



Fig 25. Aile Nord. Corniche découpée le pour le passage des eaux pluviales.

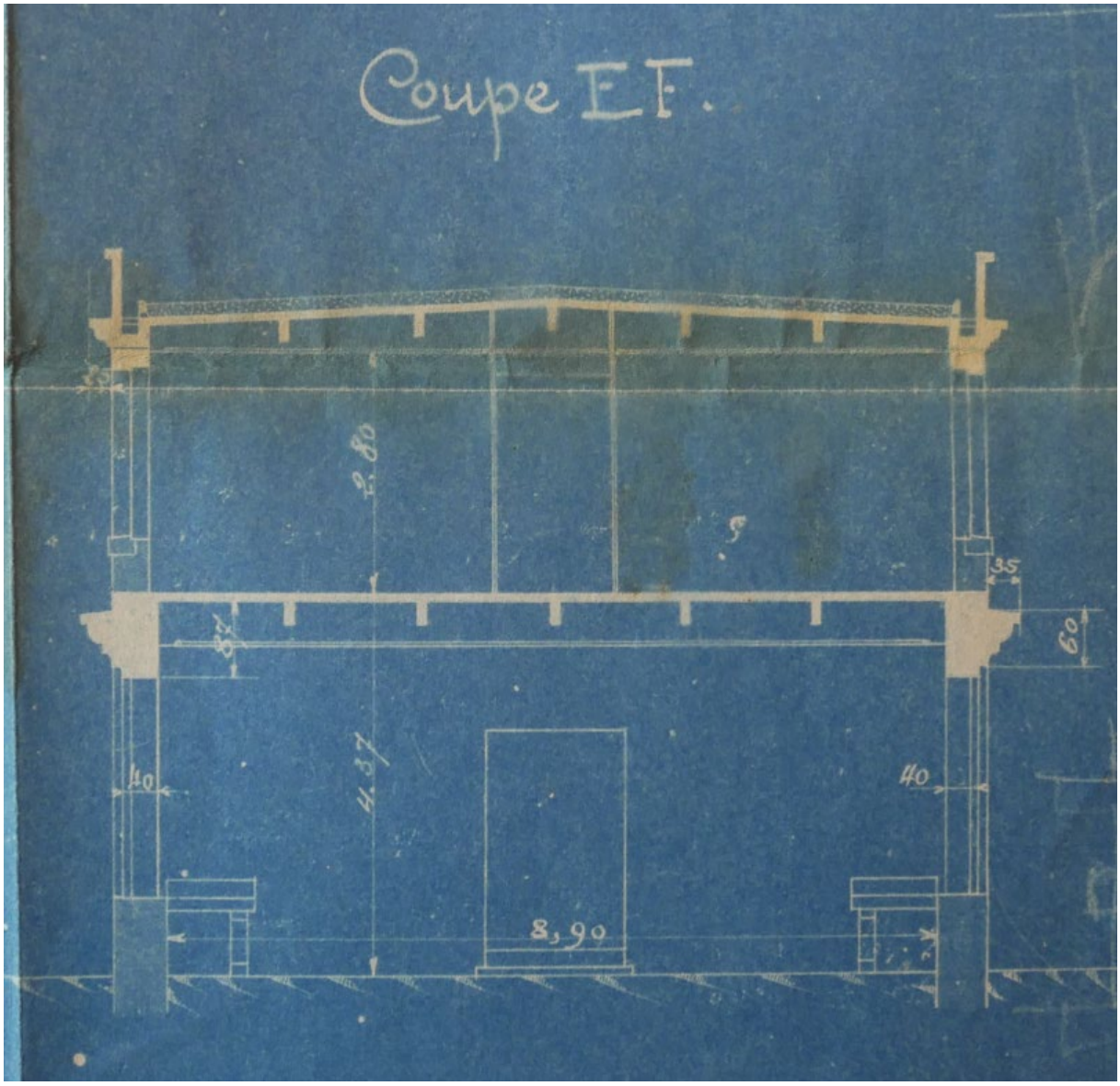


Fig 26. Aile Nord, zoom sur [HI -14] – Coupe transversale sur l'aquarium, les linteaux et le couronnement en béton armé sont visibles, les structures pochées en blanc représentent les éléments en béton, les autres aplats représentent les structures maçonnées



Fig 27. Aile Nord. Détail du fronton en béton couronnant le bâtiment. Les trumeaux en façades sont maçonnés et supportent la structure du plancher haut du R+1.



Fig 28. Aile Nord. Vue générale de l'aquarium, la trame structurelle est visible

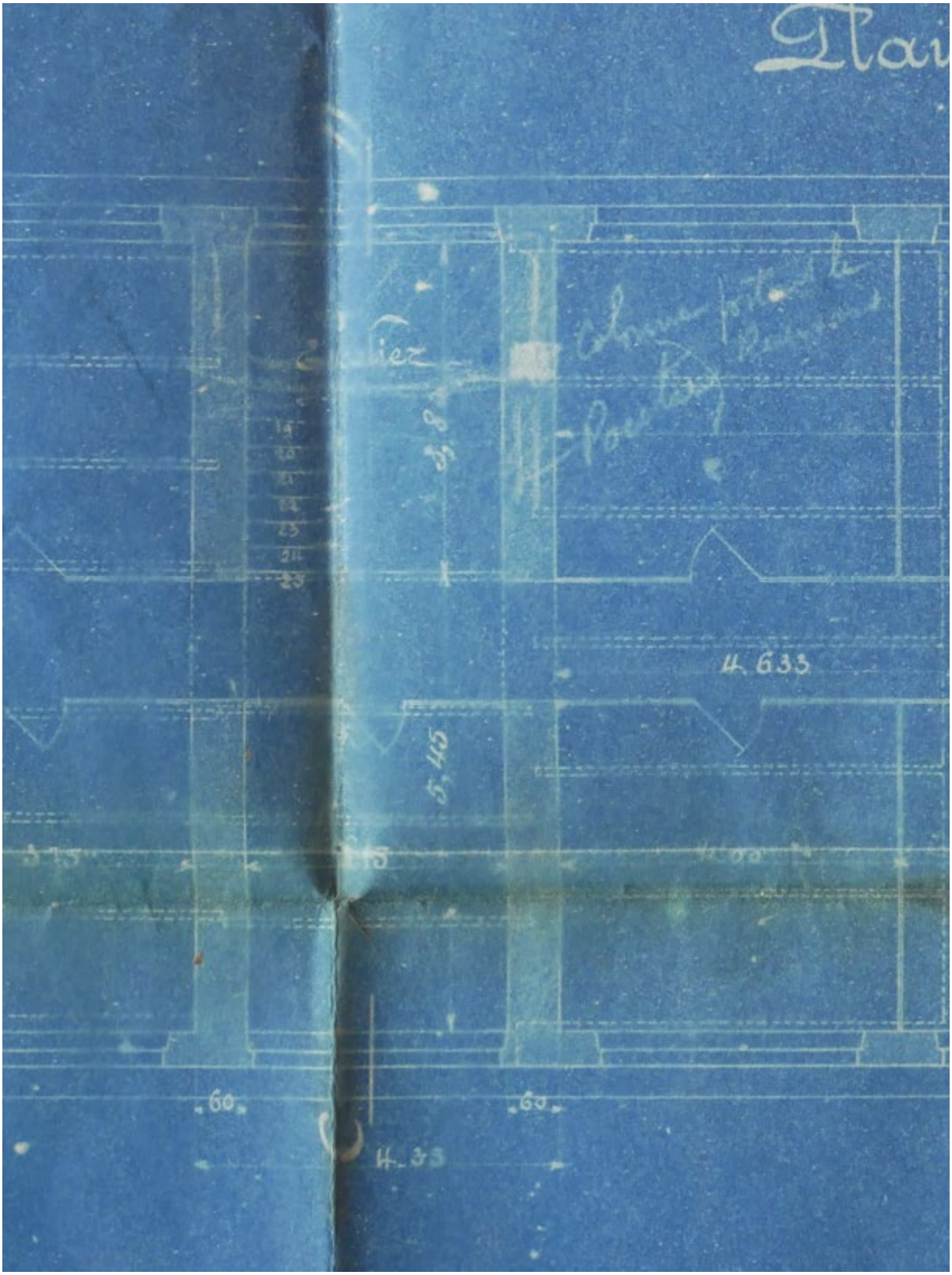


Fig 29. Aile Nord, zoom sur [HI -15], plan du plancher du R+1 – Files G à H, empochement des solives en béton armé dans les murs maçonnés ; un poteau semble être rajouté au niveau de la file G (annotation corrective)

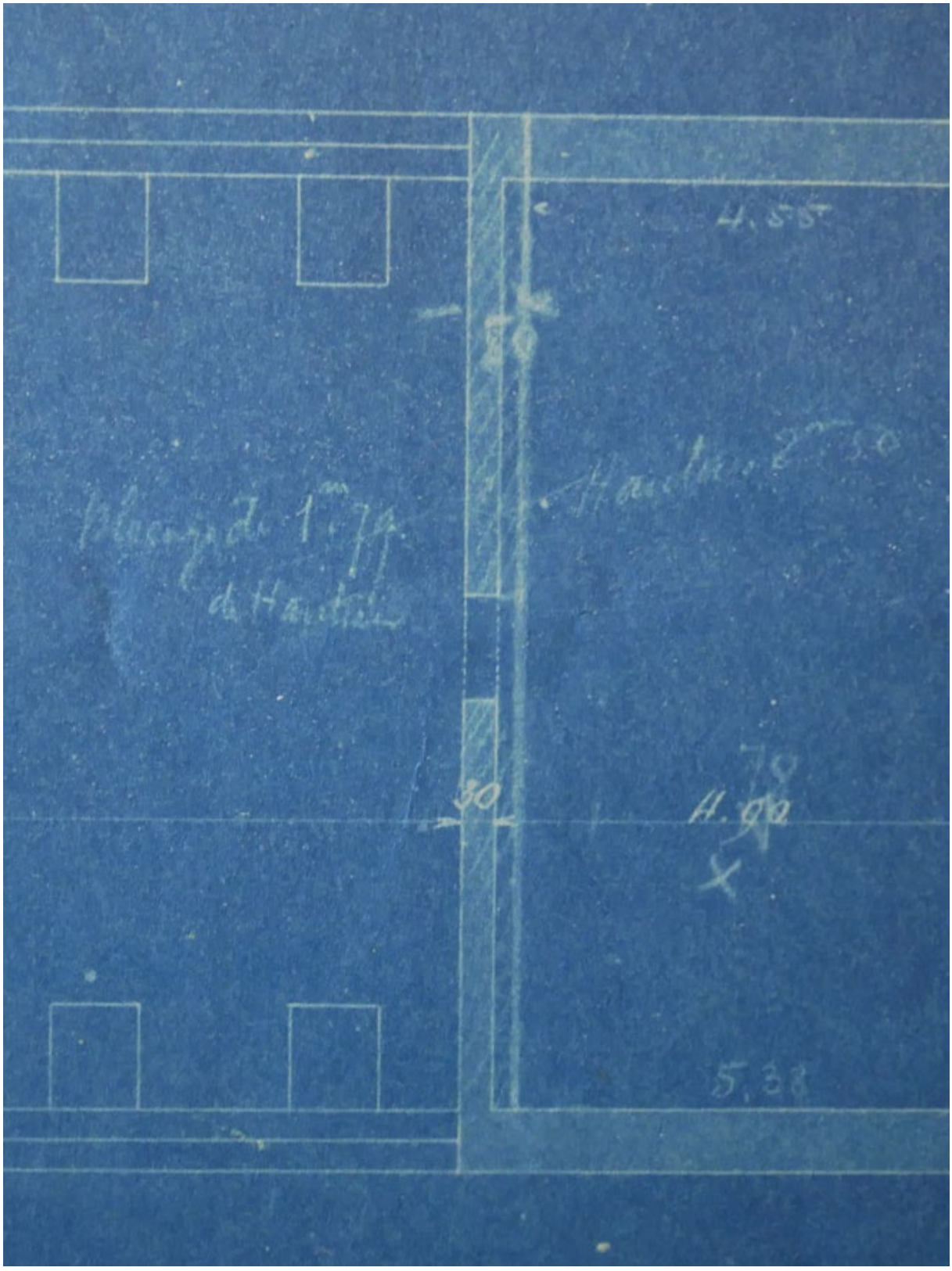


Fig 30. Aile Nord, zoom sur [HI -15], plan de RDC – Mur maçonné de la file A, annotation semblant corriger le plan en ajoutant une poutre au droit du mur.



Fig 31. Aile Nord. Vue d'ensemble du couloir de la partie Est

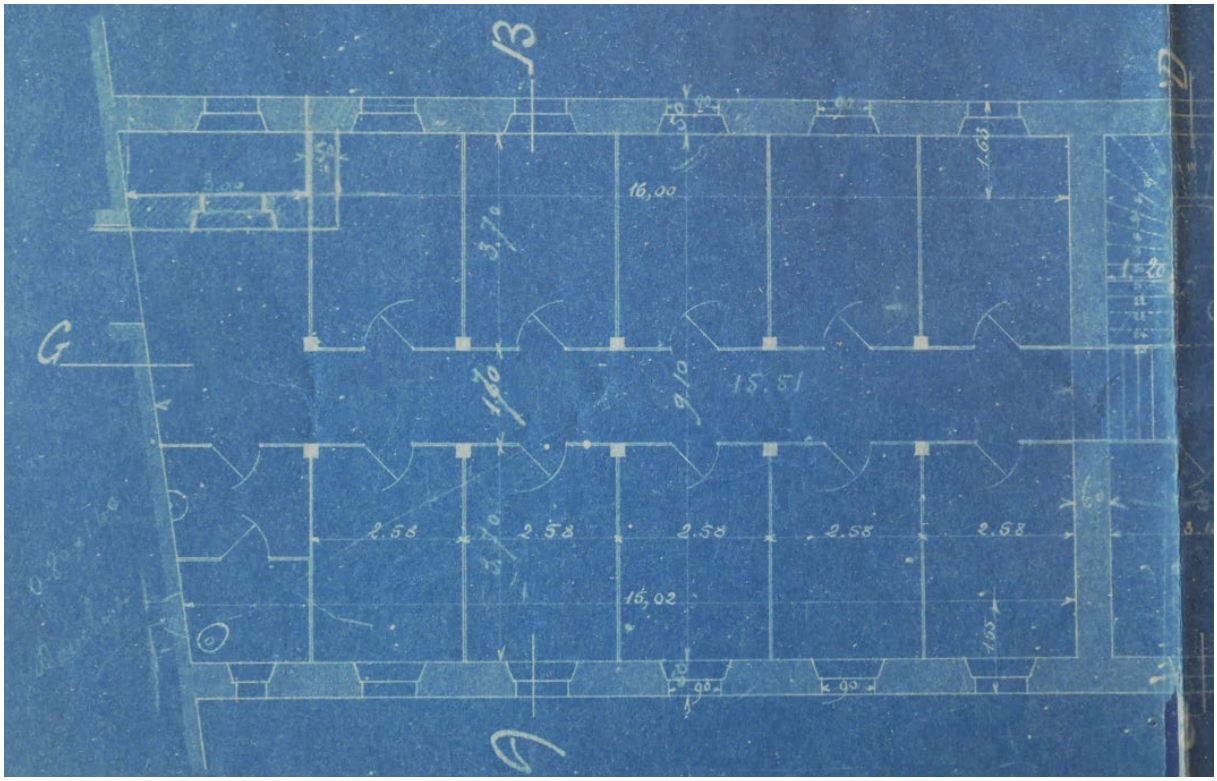


Fig 32. Aile Nord, zoom sur [HI -15], plan de RDC – Organisation d'origine de la partie Est autour d'un couloir central



Fig 33. Aile Nord. Vue d'un laboratoire en R+1



Fig 34. Aile Nord, zoom sur [HI -15], plancher de la toiture – Disposition constructive projetée au niveau de la travée d'escalier, modifiée en phase projet. En haut on peut noter une réservation, possiblement l'accès à la tourelle observé sur les photos d'archives

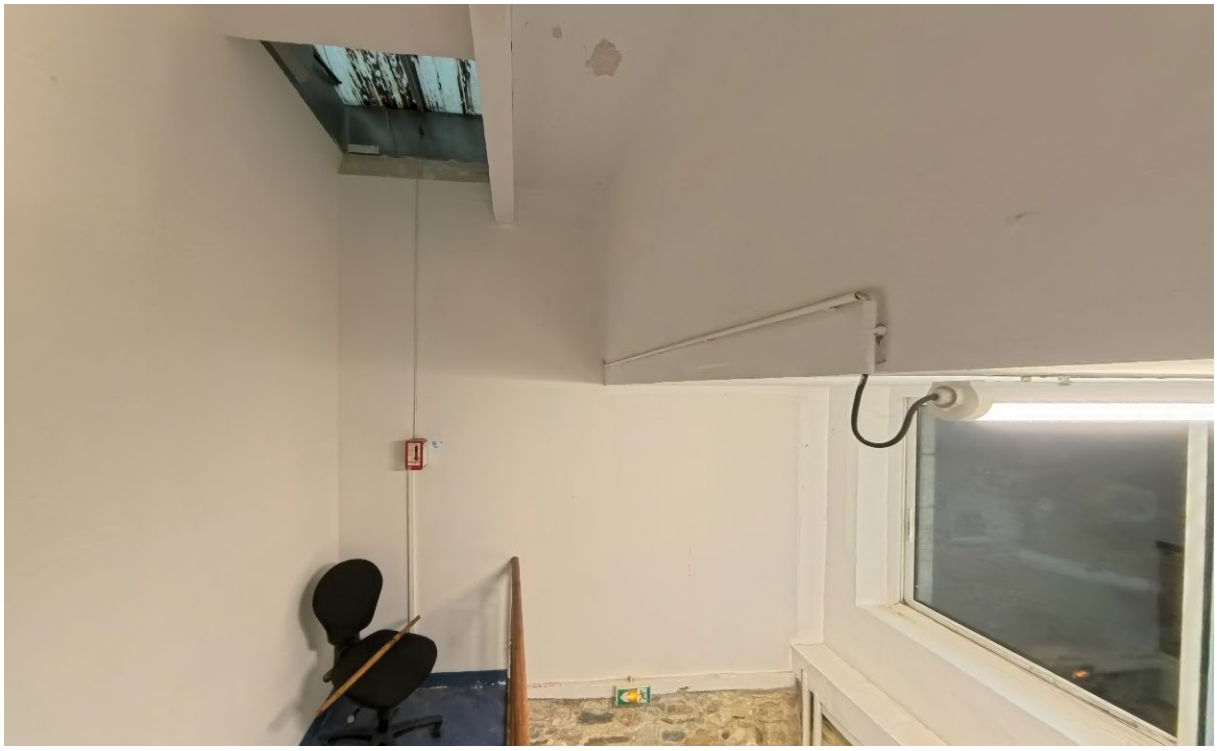


Fig 35. Aile Nord. Espace surbaissé au niveau de la cage d'escalier, skydome au niveau de l'ancienne tourelle d'escalier

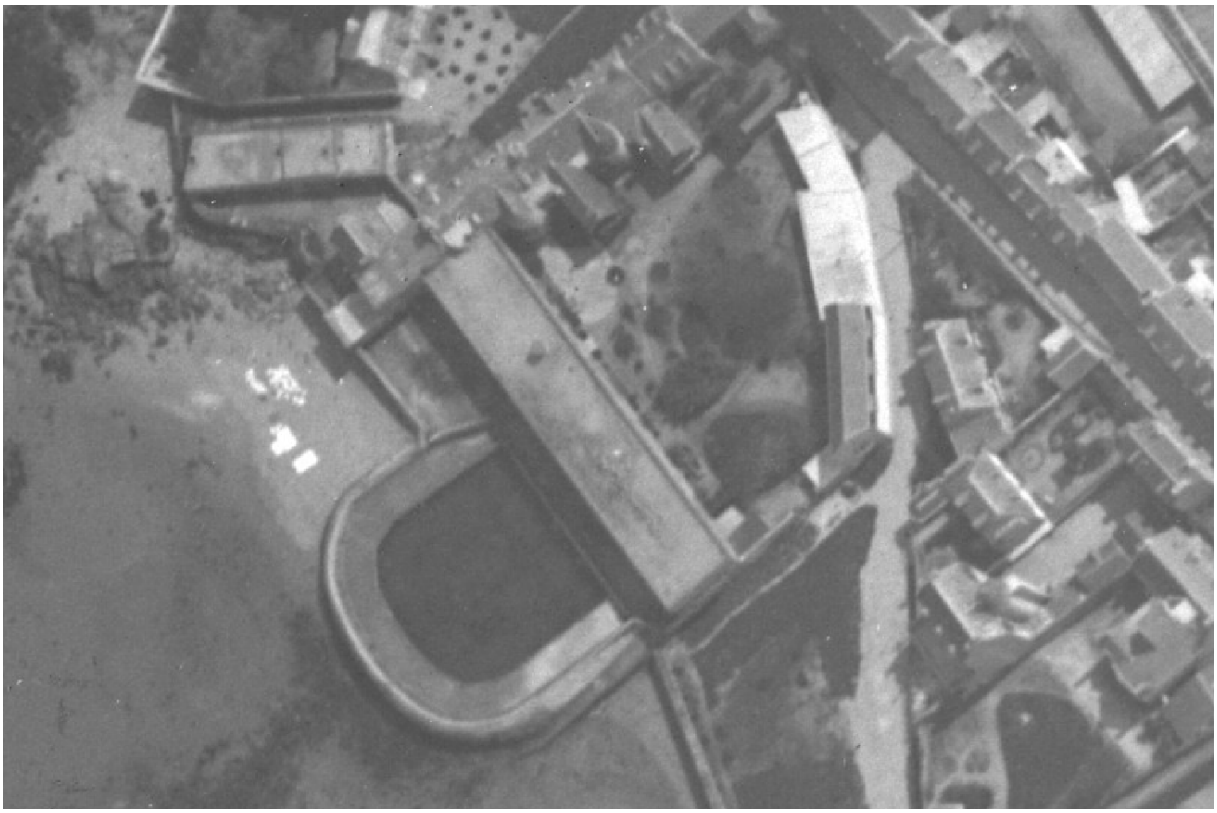


Fig 36. Photo aérienne datant de 1931, avant la construction de l'aquarium public, on note la présence de l'édicule en toiture, pouvant en être l'accès / Remonter le temps, Géoportail



Fig 37. Photo aérienne datant des années 1980, l'édicule en toiture est toujours visible

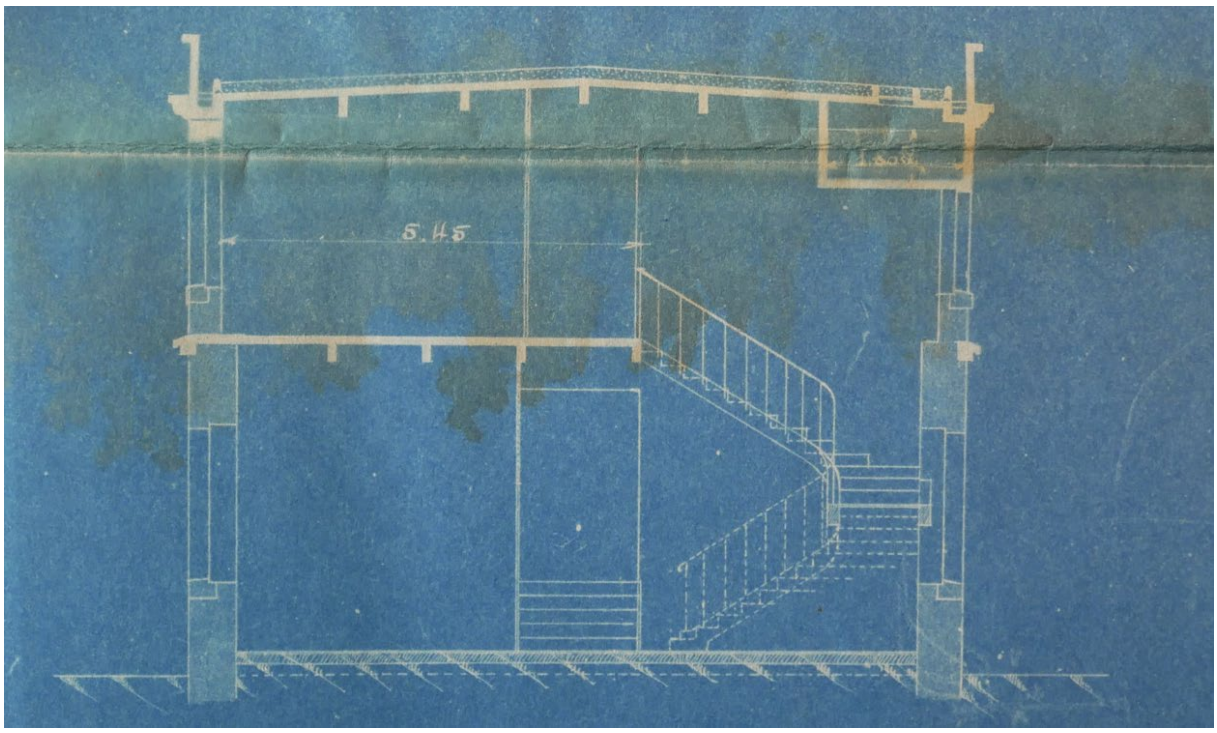


Fig 38. Aile Nord, zoom sur [HI -14], coupe transversale sur la cage d'escalier – On peut noter la présence d'un espace technique au niveau de la façade Sud. On note également la présence d'une pente au niveau de la toiture pour l'évacuation d'eau vers des caniveaux périphériques.



Fig 39. Aile Est. Bloc de granit affleurant dans le sous-sol



Fig 40. Aile Est. Façade Est sur place Lacaze-Duthiers



Fig 41. Aile Est. Détail poutrelle hourdis du plancher haut de rez-de-chaussée

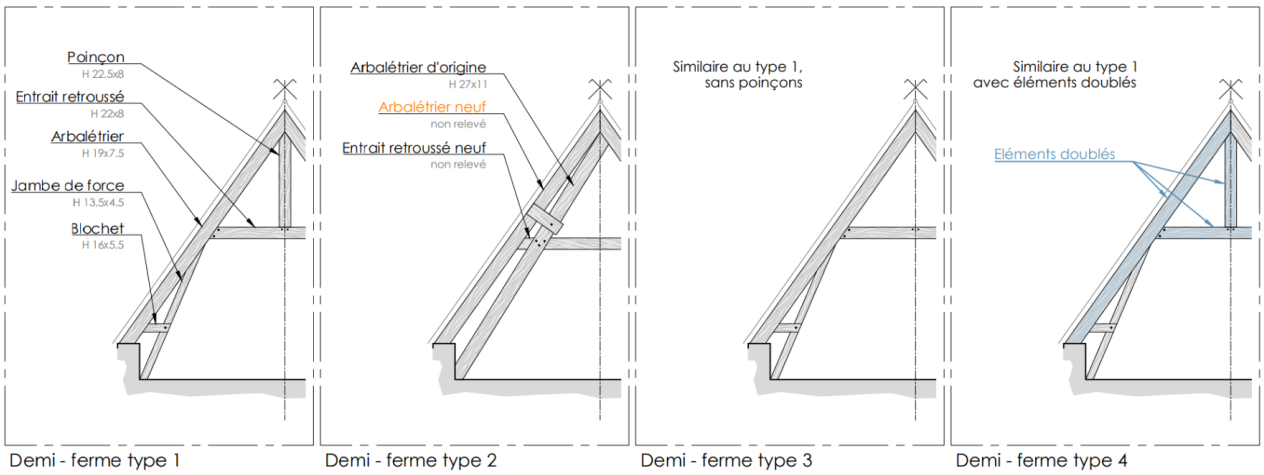


Fig 42. Extrait de la planche d'analyse constructive, typologies de charpentes



Fig 43. Aile Est, R+2, ferme type 1



Fig 44. Aile Est, R+2, ferme type 2



Fig 45. Aile Est, R+2, ferme type 3



Fig 46. Aile Est, R+2, ferme type 4

5. ANALYSE DES DESORDRES ET DEFORMATIONS

Ce chapitre propose une liste non exhaustive de désordres. Se référer aux pièces graphiques en ANNEXE 01 pour le relevé des désordres ainsi que la localisation précise de ces derniers et des zones masquées derrière les faux-plafonds.

5.1. DESORDRES

5.1.1. Fissures

Façades

La **façade Est** présente peu de fissures ouvertes. Quelques traces de fissures reprises ont cependant pu être relevées dans les façades maçonnées. Une fissure ouverte a également été notée au niveau du linteau béton du bâtiment Sud (Fig 48).

Les fissures présentes en **façade Sud** de l'aile Nord sont souvent accompagnées d'épaufrures. On en retrouve en sous-face de linteaux des baies du R+1 (files A et E à G). Le linteau de la porte d'accès à l'aquarium est très fissuré. Des fissures en élévation sur les linteaux des baies RDC entre les files C à D et les baies R+1 des files F à G ont également été relevées.

La **façade Nord** de l'aile Nord présente des fissures à la fois liées aux pathologies du béton et à la fois liées à d'autres causes. Au niveau de la file A (Fig 49), à la jonction avec le bâtiment de l'aquarium public, le trumeau présente une forte fissuration verticale de la partie maçonnée du bâtiment, sur la hauteur des deux niveaux. Des fissures verticales au niveau du fronton en béton ont également pu être relevées. Des fissures sont observables en sous-face de linteaux.

La **façade Nord-Ouest de l'aile Est**, l'ancienne maison du directeur, présente des fissures verticales au niveau du conduit de cheminée mais également au niveau du R+2.

Intérieurs

En **rez-de-chaussée de l'aile Nord**, de nombreuses fissures ont pu être relevées sur les éléments en béton au niveau de l'aquarium. Au niveau de l'aquarium, les poutres des files B et E présentent des fissures en sous-face au niveau des deux appuis (fissures plus importantes pour la file A (Fig 50 et Fig 49). Au niveau de la poutre de la file E, on note des fissures diagonales au niveau des appuis de la poutre sur le corbeau en béton. La poutre en file C a une légère fissure sur l'appui au Nord (Fig 51) et le corbeau d'appui de la poutre au Sud est fissuré. Le linteau Sud entre files A et B ainsi que les linteaux Nord entre les files D à E présentent des fissures en sous-face (Fig 52). Des fissures au niveau des cadres de linteaux ont également été observés au niveau des linteaux Nord et Sud des files B à C et F à G. Les solives entre les files F à G comportent systématiquement des fissures en sous-face, plus ou moins marquées, accompagnées par des fissures au niveau des cadres ou des fissures diagonales sur leurs faces latérales. Les solives entre les files B à D ainsi qu'une solive entre les files D à E, présentent également des fissures en sous-face, mais elles sont moins marquées. **Il est intéressant de noter que les fissures en sous-face semblent correspondre à l'emplacement des cadres d'armatures au sein des éléments en béton armé.**

Dans la partie Est du bâtiment, de nombreuses fissures ont été relevées au niveau des cloisons, elles sont verticales et se retrouvent en limite de poteau béton noyé dans la cloison. Une fissure importante, sur 3 face, et plus ouverte en partie

supérieure a été relevée au niveau du mur de refend de la file H, au niveau du chambranle de la porte (Fig 53). Des fissures diagonales en partie supérieure des baies Nord entre les files J à L et en partie supérieure de la baie Sud entre les files M à N ont été observées. Des fissures verticales ont également été relevées au niveau de baies : baie Nord, files J à K et baies Sud, files K à L (Fig 54). Seule la solive principale le long de la file J au Nord présente des fissurations au niveau des cadres d'armatures.

Peu de fissures ont été relevées au **rez-de-chaussée de l'aile Est**. Seules les tourelles d'escalier présentent des fissures au niveau de leur arcs ou de leur façade.

Au **R+1 de l'aile Nord**, des fissures ont pu être relevées au niveau des poutres en file C'(fissures au niveau des cadres d'armatures),D' (sous-face partie Nord, Fig 55) et J' (sous-face, partie Nord), ainsi que sur les solives adjacentes (cadres et sous-faces). Des fissures ont été observées au niveau de l'allège béton de la baie Sud entre les files G et H (partie centrale et appuis Ouest). Une fissure diagonale a été repérée à l'Ouest du mur en file H, et les solives à l'Est de ce dernier présentent des fissures en sous-face. Les solives Nord de la travée Est du plancher haut présentent également des fissures en sous-face. D'autres fissures ont été observées au niveau des cloisons.

5.1.2. Humidité

Façades

Des zones d'humidité ont été relevées en **façade Sud** : au niveau du soubassement maçonné de l'aquarium entre les files E et C, en linteau de baies RDC en file C, en appui de fenêtre RDC entre les files C à D ainsi qu'en linteaux de baies R+1 entres les fils G à H et K à N.

Intérieurs

Le **sous-sol Sud de l'aile Est** présentait lors de notre visite de l'eau stagnante au niveau du plancher bas. Le mortier des murs maçonnés périphériques était pulvérulent et les joints vidés.

En **rez-de-chaussée de l'aile Nord**, on peut noter une grande humidité au niveau des murs maçonnés de refend et de façade entre les files G à H. La pierre granite est devenue pulvérulente et une présence importante de sels a été relevée (Fig 56). Une humidité quasi systématique a pu être relevée en partie basse des murs de façade sur jardin, au Sud (Fig 57).

La dalle haute du **R+1 de l'aile Nord** présente de grandes zones d'humidité, au niveau du couloir à l'Est, mais aussi plus généralement au niveau des réservations pour des sorties en toiture de réseaux (Fig 58). La partie Nord de la travée entre les files F' et G' présente une grande humidité, tant en façade qu'en plafond.

5.1.3. Perte de matières

Façades

Quelques pertes de matières ont pu être observées en **façade Est**, notamment au niveau des appuis de baies. Ces pertes de matière ne sont pas structurelles.

En **façade Sud**, on note principalement des pertes de matières au niveau des éléments en béton armé, comme l'appui de fenêtre en rez-de-chaussée entre les files E à F ainsi que le linteau de la baie en R+1 en file G. Au niveau de la file I, la maçonnerie présente des joints vidés (Fig 59).

En **façade Nord**, les pertes de matières ont été reprises par des patchs en béton. On peut néanmoins noter une légère absence de matières au niveau de l'appui de baies en RDC entre les files A à B.

5.1.4. Modifications de l'état d'origine

Façades

La **façade Est** semble avoir peu été modifiée au cours des années. On peut noter cependant qu'un linteau a été refait en béton armé au niveau de la porte d'entrée de l'ancienne maison Corbière.

Les **façades Sud et Nord** ne semblent pas avoir connu de modification depuis leur réfection au début du XXème siècle. On note cependant l'ajout postérieur de descente d'eaux pluviales, pour lesquelles les corniches et les frontons en béton armés ont été sciées. Il semblerait également que les traits de scie dans les frontons aient été ajouté plus tard, puisqu'ils n'apparaissent pas sur les photos d'archives. De nombreux patchs en béton armé sont visibles en façade Nord, indiquant les zones de reprises suite à des épaufrures importantes. En façade Sud, les reprises sont plus marginales.

Intérieurs

Des poteaux intermédiaires, au niveau des files B, D et F ont été ajoutés au rez-de-chaussée de l'aile Nord, en sous-œuvre des poutres de façade.

Les charpentes de l'aile Est montrent des traces de reprise, pouvant être liées à la modification du plancher bas du R+2 et des pans de toiture.

5.2. PATHOLOGIES DU BETON ARME

5.2.1. Observations in-situ

Façades

Les fissurations mentionnées plus haut participent en tant qu'amorces d'épaufrure.

En **façade Est**, sur place Lacaze-Duthiers, le linteau en béton armé du bâtiment Sud présente une corrosion généralisée en sous-face et une fissure horizontale en élévation.

La **façade Sud** de l'aile Nord présente principalement des désordres dues à des pathologies du béton. En appuis des baies du rez-de-chaussée, au niveau de l'aquarium, on relève un faïençage assez généralisé (file B, files D à G et L à N). Ce même faïençage est observé ponctuellement au niveau de la corniche entre les files F et G. Des épaufrures fortes avec aciers visibles ont été observées au niveau de la sous-face de la partie supérieure du fronton entre les files A à B ainsi qu'au niveau de la file E (Fig 60). La partie basse du fronton est elle aussi touchée par des épaufrures, entre les files E à F. Les linteaux

des baies du niveau supérieur présentent également des épaufrures : entre les files D à E, F à G ainsi que H à I. Au niveau de la partie Est, la corniche en béton armé entre les deux niveaux est un peu moins touchée, mais quelques épaufrures sont tout de même visibles. Le linteau de la porte d'entrée de l'aquarium présente un début d'épaufrure.

En **façade Nord**, on observe un faïençage au niveau du trumeau en RDC file C (Fig 62). On peut également noter un faïençage des linteaux des baies en rez-de-chaussée entre les files E à G. La quasi-intégralité des reprises récentes en béton armé présentent sont également faïencées (Fig 61). Ce faïençage s'accompagne parfois de fissures très nettes au niveau des cadres d'armature, comme au niveau du linteau de la baie Ouest du R+1. Des épaufrures ont également été relevées au niveau des trumeaux en RDC file E et F ainsi qu'au niveau des corniches dans la partie Est. Les patchs de nouveau béton sont également les témoins d'anciennes épaufrures.

Les éléments en béton des ouvertures au rez-de-chaussée de la **façade Nord-Ouest de l'aile Est** présentent de fortes épaufrures, avec des blocs de béton sur le point de tomber (Fig 63 et Fig 64). Un faïençage d'un élément béton est également visibles entre le R+1 et le R+2.

Intérieurs

Une grande partie des fissures observées au niveau du **RDC de l'aile Nord**, au niveau de l'aquarium, témoigne de pathologies du béton (Fig 65 et Fig 66). Des débuts d'épaufrures ont pu être relevées au niveau des portes d'accès de l'aquarium, ainsi qu'au niveau de deux solives entre les files F à G et au Nord de la poutre de la file F. Des épaufrures importantes accompagnent les fissures en sous-face relevées au niveau des linteaux Nord entre les files D à F, ainsi qu'au niveau d'une solive entre les files F à G. Une légère ségrégation a pu être relevée au niveau de la dalle entre les files C à D, mais le reste de la dalle en béton présente peu de désordre. L'about des solives entre les files G à H, au niveau de l'empochement avec le mur maçonné en file H présentent une forte dégradation, des pertes de matières ainsi qu'une corrosion des armatures (Fig 67). De manière générale, au niveau de l'aquarium, les paillasses en béton soutenant les aquariums au niveau des façades présentent des épaufrures importantes et les aciers sont corrodés, voire totalement dissous (Fig 68).

En **R+1 de l'aile Nord**, peu d'épaufrures ont pu être relevée. Les fissures indiquées dans le paragraphe précédent peuvent indiquer des épaufrures en formation.

5.2.2. Relevé de sondages

Les résultats de sondages communiqués par Geotec lors de leur campagne menée en février 2025 [ET -01] ont permis de préciser les atteintes des éléments en béton armé.

Les **profondeurs de carbonatation** relevées sont importantes : minimum 45mm (Fig 69) et pouvant aller jusqu'à la carbonatation complète de l'élément dans le cas des dalles et des nervures sondées de la partie Est du rez-de-chaussée de l'aile Nord. Ces profondeurs semblent être supérieures à l'enrobage des aciers d'armature, et ce pour la plus grande partie des éléments sondés dans tout le bâtiment.

Les sondages ont montré la présence de **corrosion** sur des cadres d'armatures, mais également sur des aciers filants (Fig 70). Cette corrosion se traduit pour certaines armatures par des pertes de sections inférieures à 1mm. Certains cadres sont

totalement dissous (Fig 71), notamment au niveau des linteaux en R+1 de l'aile Nord, côté façade Sud. Les linteaux en rez-de-chaussée Nord de l'aile Nord ont subi une perte de section.

Sondage	Elément	Etat des aciers	Commentaires
RS1	Linteau	Corrosion avec perte de section	-
RS2	Poteau	Oxydation superficielle	Elément moins ancien
RS3	Poutre	Corrosion	-
RS4	Plancher	Oxydation superficielle	-
RS5	Poutre secondaire	Corrosion	-
RS6	Linteau	Corrosion avec perte de section	-
RS7	Poutre principale	Amorce de corrosion	-
RS8	Poutre secondaire	Amorce de corrosion	-
RS9	Poutre secondaire	Corrosion avec perte de section	Ancienne réparation avec passivation
RS10	Plancher	Amorce de corrosion	-
RS11	Poutrelle	Oxydation superficielle	-
RS12	Poutre secondaire	Corrosion avec perte de section	Décollement interface béton/acier
RS13	Plancher	Amorce de corrosion	-
RS14	Linteau	Corrosion avec perte de section	Aciers originels dissous
RS15	Linteau	Corrosion avec perte de section	Aciers originels dissous
RS16	Plancher	Oxydation superficielle	Humidité + fissure biaise

Fig 47. Tableau récapitulatif de l'état des aciers mis à nu lors des différents sondages destructifs [ET -01]

5.3. DEFORMATIONS

Façade

La maçonnerie de la **façade Nord** de l'aile Nord présente un gonflement au niveau de la file A.

Intérieurs

Le plancher haut du R+1 du bâtiment Sud de l'aile Est est fléchi. La porte menant aux bureaux se trouvant dans cette zone est déformée en parallélogramme.

5.4. EVOLUTIVITE DES DESORDRES ET DEFORMATIONS

Les façades Nord et Sud de l'aile Nord présentent des traces de reprises de bétons armés montrant de nouveau des pathologies (épaufrures, fissures, faïençage…). La dégradation de ces façades est donc toujours active.

D'après les témoignages d'usagers de la station, les fissures en sous-face de solives de l'aquarium, ainsi que la fissure en façade Nord au niveau de la file A semblent être évolutives.

5.5. REPORTAGE PHOTOGRAPHIQUE



Fig 48. Fissure au niveau du linteau béton, bâtiment Sud façade Est



Fig 49. Fissure au niveau de la file A, façade Nord de l'aile Nord



Fig 50. Fissure au niveau du poteau et de la poutre de rive, file A, côté façade Nord de l'aile Nord



Fig 51. Fissure diagonale au niveau de l'appui de poutre le long de la file C, côté Nord



Fig 52. Fissures au niveau des linteaux et de la poutre, file E, façade Nord, aquarium



Fig 53. Fissure au niveau de la porte entre l'espace d'escalier et le couloir d'accès aux bureaux, Aile Nord, RDC



Fig 54. Fissures au niveau des baies, aile Nord, côté Sud, partie Est



Fig 55. Fissure au niveau de la poutre de la file D', aile Nord, R+1



Fig 56. Pulvérulence du granite et sel, mur maçonné, file G, RDC, aile Nord



Fig 57. Humidité en partie Est, façade Sud, aile Nord, RDC



Fig 58. Humidité visible au niveau d'une réservation, dalle haute du R+1, aile Nord



Fig 59. Maçonnerie présentant des joints vidés

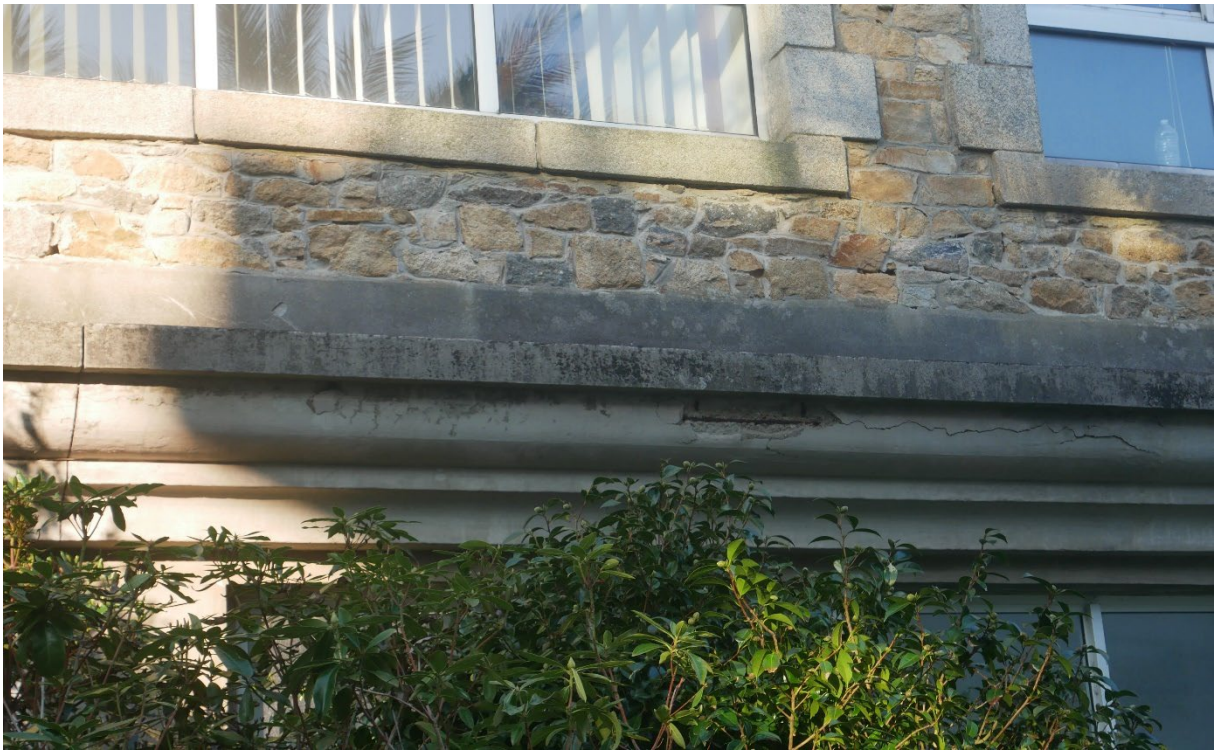


Fig 60. Epaufrure au niveau de la corniche en béton armé, aile Nord, façade Sud



Fig 61. Reprises en béton au niveau de la façade Nord, aile Nord, faïençage visible



Fig 62. Faïençage au niveau d'un trumeau en façde Nord, aile Nord, au niveau de l'aquarium



Fig 63. Fissures importantes au niveau de la porte en façade Ouest de l'aile Est



Fig 64. Fissures importantes au niveau de la porte en façade Ouest de l'aile Est, côté intérieure, dans le bureau des plongeurs

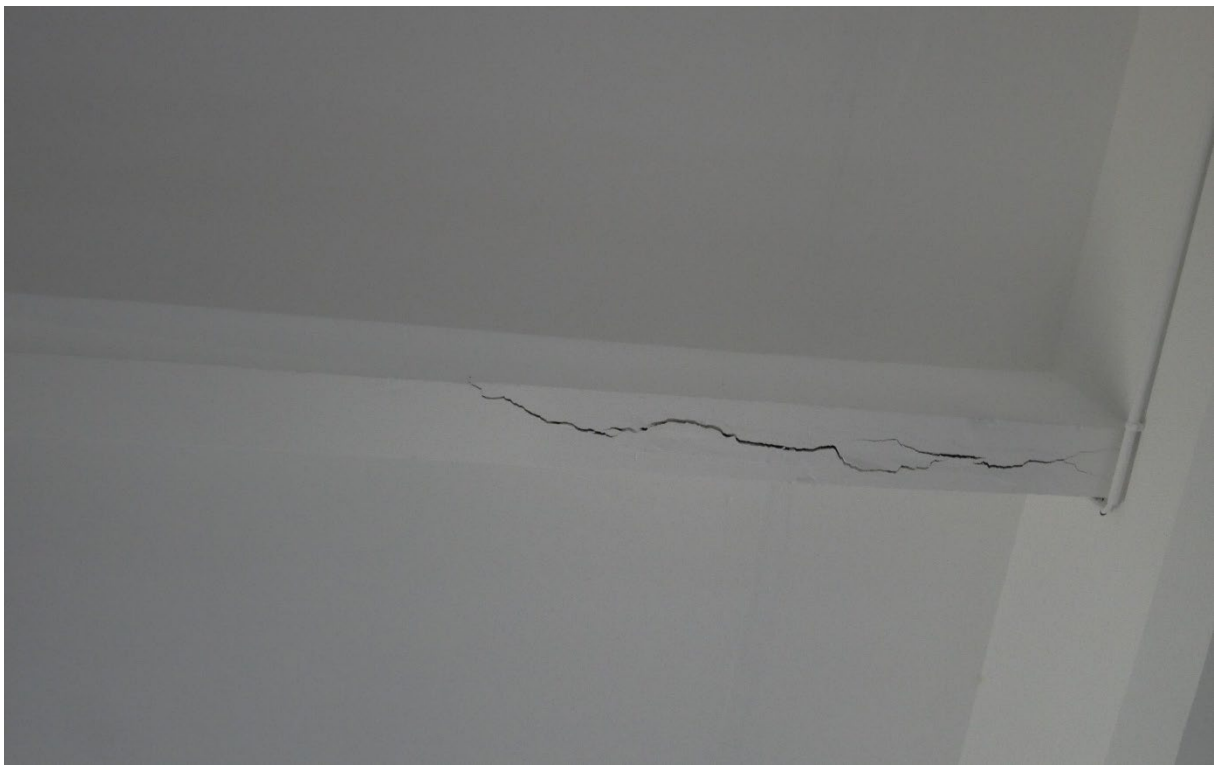


Fig 65. Fissures témoignant de début d'épaufrure, RDC aile Nord, aquarium, au niveau d'une solive. La fissure à l'axe correspond à la localisation des armatures.



Fig 66. Fissure au niveau d'une poutre (file B, aile Nord, RDC) témoignant d'un début d'épaufrure



Fig 67. About des solives en béton abîmé au niveau de l'empochement dans le mur maçonné, file H, RDC, aile Nord



Fig 68. Mauvais état des paillasses de l'aquarium



Fig 69. Carbonatation du béton (4,5cm sur la photo) / Géotec



Fig 70. Corrosion des armatures, ici le cadre est rompu / Géotec



Fig 71. Disparition du cadre d'armature / Géotec

6. ANALYSE DES ESSAIS SUR BETON

6.1. PLANS D'IMPLANTATIONS DES SONDAGES BETON

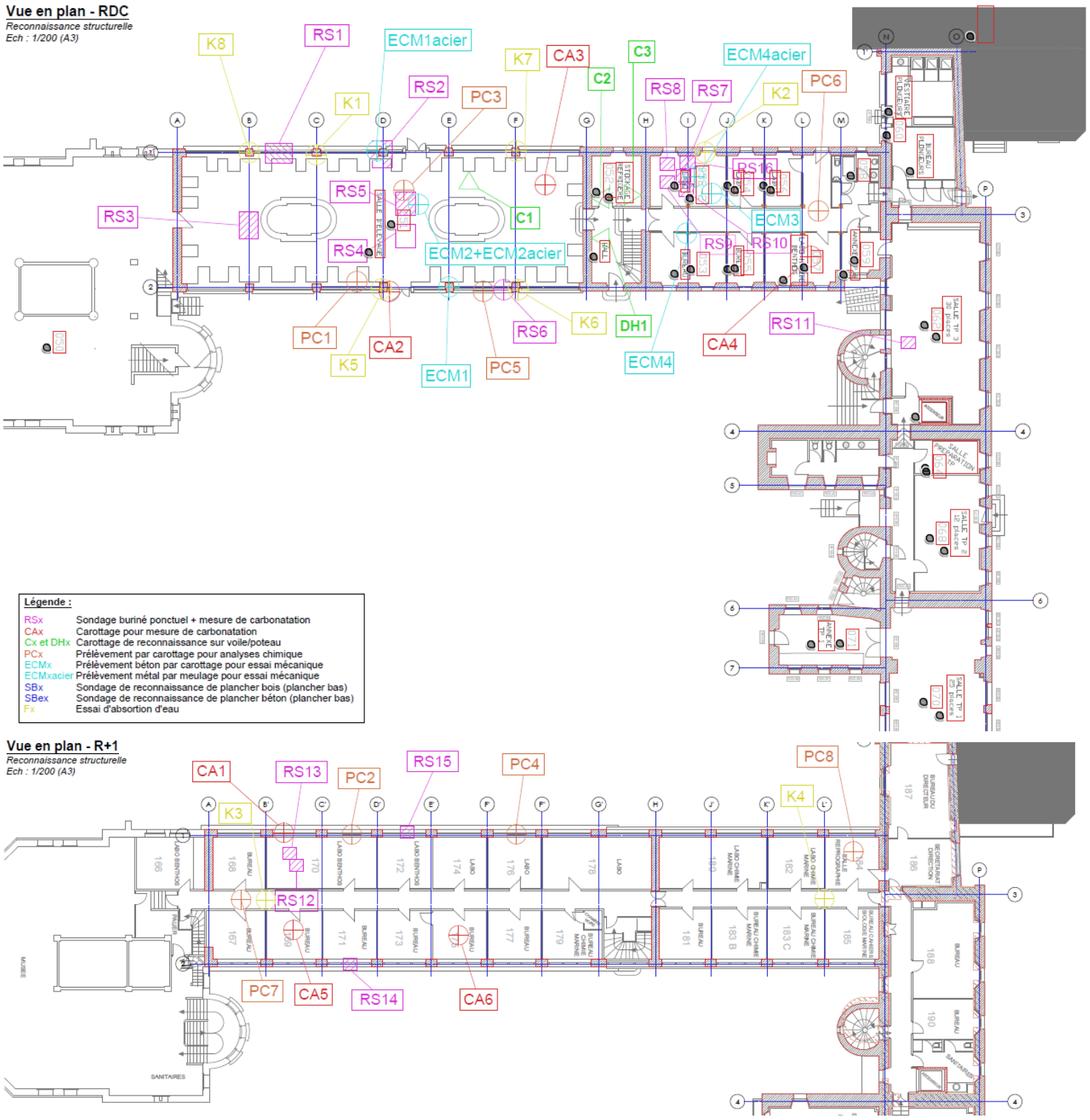


Fig 72. Plans d'implantation des sondages béton, RDC (en haut) et R+1 (en bas), en plus grand en Annexes 07 et 08 / Géotec [ET -01]

6.2. CARACTERISTIQUES MECANIQUES

Les essais de compression tendent à valider une résistance à la compression entre 15,6MPa et 16MPa. Dans les archives écrites du fond Hennebique, le dosage du ciment prévu nous a été donné pour les galeries (dalles supérieures) du vivier [HI -16]. Nous pouvons les supposer équivalentes pour les bétons utilisés pour la construction de l'aquarium. Le dosage en ciment prévu est de 300kg/m^3, ce qui correspond à une résistance de 160 kg/cm^2 (16MPa) à 90 jours, d'après le tableau de l'annexe A4 du guide du CEREMA « Conception des réparations structurales et des renforcements des ouvrages d'arts » [RT-02] ci-dessous (Fig 73). Des échantillons ont révélé des résistances plus faibles, pouvant s'expliquer par leur forte porosité et du liant lacunaire. Il est à noter que les résistances à la compression les plus faibles ont été relevées dans des éprouvettes réalisées en partie Est de l'aile Nord (ECM4 : 11,2MPa et ECM3 : 7,2Mpa).

Date	Nature de la valeur	Essais	Notations et âge	Résistance en fonction du dosage en ciment (kg/m³)		
				300	350	400
1906	Moyenne	Cubes 20 x 20	R_{90} ou N_{90} R_{28}	160 kg/cm² 107 kg/cm²	180 kg/cm² 120 kg/cm²	200 kg/cm² 133 kg/cm²
1920	Moyenne	Cubes 20 x 20	R_{90} ou N_{90}	160 kg/cm²	180 kg/cm²	200 kg/cm²
1934	Moyenne	Cubes 20 x 20	R_{90}	215 kg/cm²	235 kg/cm²	250 kg/cm²
1945	Moyenne sur 6 éprouvettes	Prismes à base carrée b et de longueur 4b : b = 71 mm si D ≤ 25 mm b = 141 mm si 25 mm < D < 50 mm Ou Cubes : b = 100 mm si D ≤ 25 mm b = 141 mm si 25 mm < D ≤ 50 mm b = 200 mm si D > 50 mm D = dimension du plus gros granulat	N_{90}	230 kg/cm²	255 kg/cm²	285 kg/cm²
1960	Nominale	Cylindres 16 x 32 Plus de 12 essais	σ_{28}, puis σ'_{28}	230 bars	270 bars	300 bars
1980	Caractéristique	Cylindres 16 x 32 La valeur est fonction du nombre d'échantillons	f_{c28}	25 MPa	30 MPa	35 MPa

Fig 73. Tableau de l'annexe A4 du guide « Conception des réparations structurales et des renforcements des ouvrages d'art » : Types de résistance du béton (moyenne, nominale et caractéristique) et types d'éprouvettes (cube ou cylindre) en fonction de l'année de construction. En rouge notre cas de figure.

Les essais de traction sur le métal ont été concluants sur les armatures d'un des poteaux ajoutés à postériori, traduisant un $R_{p0,2}$=291MPa et un allongement de l'ordre de 34%. D'après l'annexe A6 du guide du CEREMA « Conception des réparations structurales et des renforcements des ouvrages d'arts » [RT-03], ces caractéristiques pourraient correspondre à des ronds lisses Ac42, dont la limite d'élasticité est de 240MPa et l'allongement de 25%.

Sur les aciers plats de 1906, les échantillons n'ont pas permis la réalisation de test de tractions. Des essais de dureté Vickers ont donc été réalisés. Géotec alerte néanmoins sur le fait que « *[…] les valeurs de résistances estimées sont surévaluées. Ceci est dû au fait que ce type d'essai […] ne permet de prendre en compte la quantité/concentration d'impureté dans le métal testé, cette dernière influençant la résistance globale du métal* » [ET -01]. Toujours d'après Géotec : « *A titre indicatif, à l'époque de la construction (début du XXème), la limite d'élasticité des aciers était de l'ordre de 130-140 MPa (source : n°367 de la revue Béton Armé de septembre 1938 présentant une étude comparative de la méthode Hennebique et de la circulaire ministérielle)* ». Ici, nous pouvons partir de l'hypothèse que les matériaux utilisés pour l'aquarium sont les mêmes que ceux utilisés pour la construction du vivier, l'année précédente. Le contrat signé entre l'entrepreneur et le Président du Conseil de l'Université indique que les fers utilisés devront avoir les caractéristiques suivantes : « *Le fer sera de qualité n°3. Il sera doux, bien carroyé, sans gerces ni soufflures, il devra résister à 32kg par millimètre* [soit 320Mpa], *avec un allongement de 14%* » [HI -16].

6.3. ENROBAGE ET CARBONATATION

L'enrobage des éléments en béton est suffisant, comparé aux valeurs données par un calcul Eurocode (valeur entre crochet), pour les linteaux, 72mm [45mm], mais non satisfaisant pour les dalles, 42mm en moyenne [45mm] et les poutres secondaires 30mm [45mm]. Il est cependant à noter que les préconisations de l'époque de construction de l'aquarium préconisaient un enrobage de 15 à 20 mm pour les armatures principales, bien inférieure aux valeurs données par les Eurocodes pour les bétons en environnement alcalins. Les profondeurs de carbonatations mesurées in-situ sont toutes bien supérieures aux enrobages des aciers. Les armatures se trouvent donc dans un milieu carbonaté.

Type	Nombre d'aciers détectés	Enr min (mm)	Enr max (mm)	Enr moy (mm)	Ecart type (mm)
Armatures * / sous-face de dalle	28	21	71	42	13

** Aciers porteurs essentiellement (car absence d'aciers de répartition dans les dalles : Cf. coupes des sondages), hormis en RS13 (aciers porteurs et de répartition)*

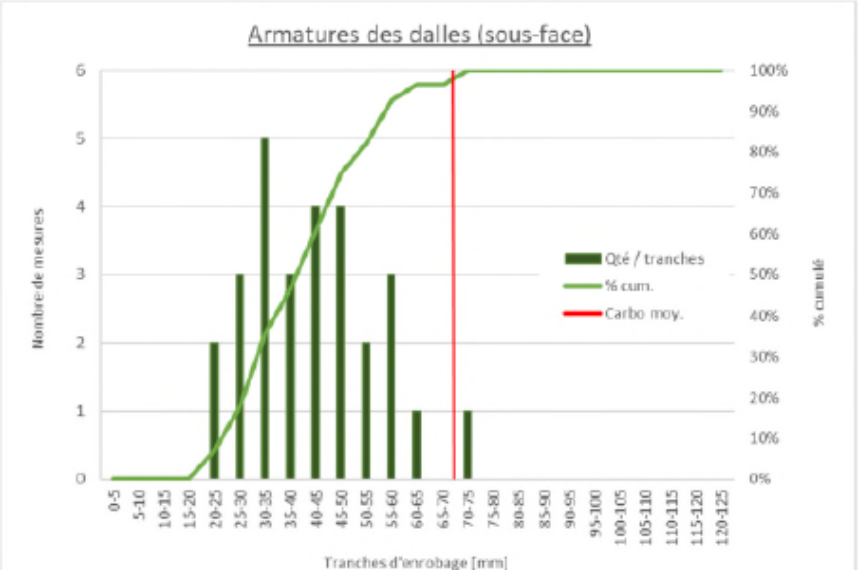


Fig 74. Résultats des mesures d'enrobages des armatures en sous-face des dalles [ET -01]

Type	Nombre d'aciers détectés	Enr min (mm)	Enr max (mm)	Enr moy (mm)	Ecart type (mm)
Armatures * / chant des nervures	24	12	55	30	10

** Cadres uniquement. En fonction des enrobages mesurés et de la géométrie des nervures, il a été déterminé et pris en compte les enrobages les plus faibles vis-à-vis des 2 faces des éléments (armatures non centrées dans la largeur des nervures).*

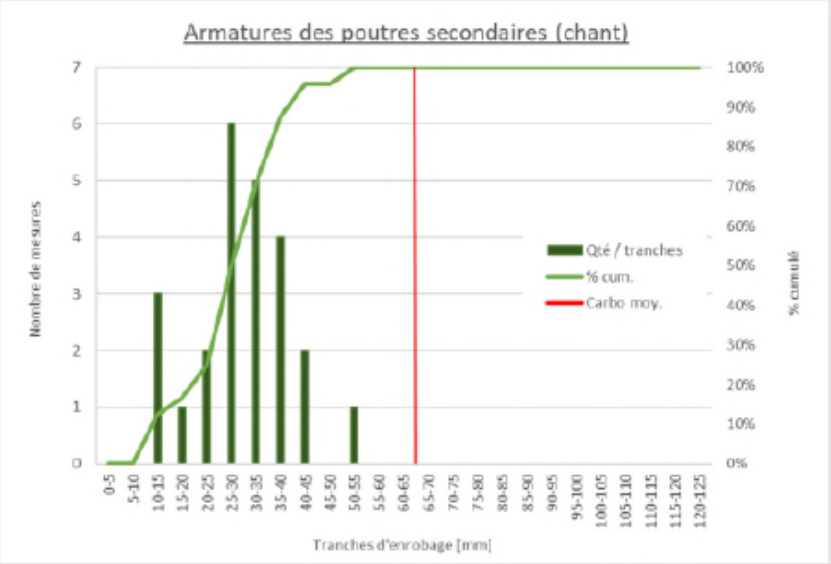


Fig 75. Résultats des mesures d'enrobages des armatures au niveau des poutres secondaires [ET -01]

Type	Nombre d'aciers détectés	Enr min (mm)	Enr max (mm)	Enr moy (mm)	Ecart type (mm)
Armatures * / chant des linteaux	17	50	120	72	20

** Cadres uniquement*

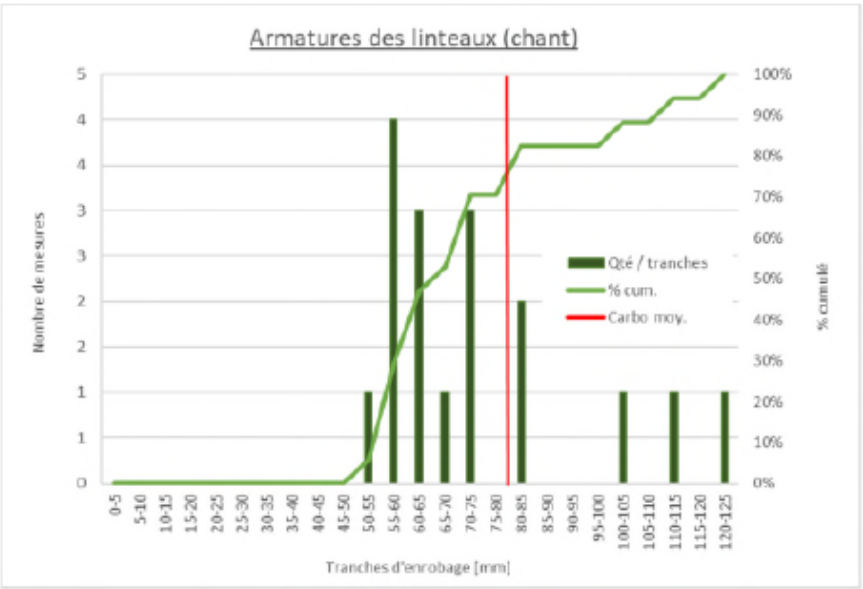


Fig 76. Résultats des mesures d'enrobages des armatures au niveau des linteaux (parements extérieurs) [ET -01]

6.4. GRANULOMETRIE, POROSITE ACCESSIBLE ET MASSE VOLUMIQUE APPARENTE

Les résultats obtenus par Géotec [ET -01] montrent des bétons avec un bas coefficient d'absorption.

Niveau Elément (Exposition)	N° essai	Support testé	Coefficient d'absorption (kg/m².sec^{0,5})
RDC Poteau (intérieur)	K1	Béton peint	Non mesuré
RDC Linteau (intérieur)	K2	Béton peint (peinture altérée)	< 0,010
R+1 Poutre (intérieur)	K3	Béton	< 0,010
R+1 Poutre (intérieur)	K4	Béton	< 0,010
RDC Poteau (extérieur)	K5	Parement brut	0,021
RDC Poteau (extérieur)	K6	Parement brut	< 0,010
RDC Poteau (extérieur)	K7	Parement brut	< 0,010
RDC Poteau (extérieur)	K8	Parement brut	< 0,010

Fig 77. Résultats de mesures opérées en laboratoire pour caractériser le coefficient d'absorption du béton [ET -01]

Les examens macroscopiques des éprouvettes relevées indiquent la présence de bétons avec des classes granulaires de 0/12mm à 0/35mm. Des macropores jusque 5mm et des lacunes de liants ont pu être observés, ce qui peut diminuer la résistance à la compression du béton. Des fragments coquilliers ont été relevés quasi systématiquement.

Les résultats obtenus par Géotec [ET -01] indiquent les valeurs de masse volumique apparente et de porosité accessible suivantes :

Echantillon	Masse volumique apparente [kg/m^3]	Porosité ouverte [%]
PC1	2300	11,6
PC2	2330	10,0
PC3	2310	10,9
PC4	2290	11,5
PC5	2175	16,5
PC6	2260	13,5
PC7	2250	14,1
PC8	2230	14,7

Fig 78. Résultats de mesures opérées en laboratoire pour caractériser la masse volumique apparentes et de porosité ouverte du béton [ET -01]

Les masses volumiques apparentes mesurées sont comprises entre 2175 kg/m^3 et 2330 kg/m^3, ce qui est cohérent avec les masses volumiques courantes du béton armé. A titre de comparaison, la norme NF EN 206 indique que la masse volumique normale d'un béton est comprise entre 2000 et 2600 kg/m^3.

Les porosités ouvertes, comprises entre 10 et 14,7% sont conformes aux standards actuels en termes de propriétés physiques. Seul l'échantillon PC5, relevé au niveau d'un linteau du RDC de la façade Sud de l'aile Nord présente une valeur plus importante, 16,5%.

6.5. DOSAGE EN CIMENT

Le tableau suivant récapitule les dosages en ciment des différents bétons testés [ET -01]. Les analyses MEB permettent de supposer l'utilisation principalement de CEM II (présence de laitier). Les résultats en gras sont les résultats à favoriser au regard de la présence de laitier dans la matrice cimentaire (CEM II) suivant les résultats obtenus au MEB. Bien que le sondage PC3 ne semble pas présenter de laitier lors de l'observation au MEB, il reste cependant probable, au vu de l'homogénéité du bâtiment, que le ciment utilisé soit également du CEM II.

Echantillon	Dosages en ciment estimés (si CEM I) [kg/m^3]	Dosages en ciment estimés (si CEM II) [kg/m^3]
PC1	224	**224**
PC2	347	**309**
PC3	**213**	190
PC4	292	**260**
PC5	108	**96**
PC6	133	**119**
PC7	145	**129**
PC8	96	**85**

Fig 79. Résultats de mesures opérées en laboratoire pour caractériser le dosage en ciment du béton [ET -01]

Les résultats obtenus montrent des dosages en ciment disparates. Nous avons vu dans le paragraphe 6.1 que le dosage en béton pour le vivier indique un dosage en béton de 300 kg/m3 [HI -16]. Les résultats montrent que ce dosage est respecté seulement pour un des échantillons prélevés au niveau d'un linteau en R+2, en façade Nord de l'aile Nord, la moyenne étant de 180kg/m^3 pour ces échantillons et les valeurs pouvant chuter à 85kg/m^3 dans le pire des cas. Un faible dosage en ciment peut entrainer une moindre résistance à la compression. Il n'est pas possible de localiser précisément les endroits où les résistances pourraient être réduites.

6.6. DOSAGE EN IONS CHLORURES, SULFATES SOLUBLES ET ALCALINS

Les concentrations en ions chlorures, sulfates et alcalins relevées par Géotec [ET -01] sont synthétisées dans le tableau suivant :

Echantillon – Tranches [mm]	Pourcentages massiques ramenés au volume de ciment		Pourcentages massiques ramenés au volume de béton
	Teneur en chlorures libres [%]	Teneur en sulfates [%]	Teneur en alcalins [%]
PC1 0-10 / 30-40 / 70-80	0,90 – 0,93 – 0,27	1,42 – 1,35 – 1,00	0,20 – 0,13 – 0,10
PC2 5-15 / 25-35 / 50-60	1,15 – 1,64 – 0,61	1,84 – 1,39 – 1,08	0,41 – 0,14 – 0,11
PC3 0-10 / 20-30 / 50-60	7,07 – 8,82 – 1,91	3,09 – 2,46 – 1,20	0,36 – 0,31 – 0,29
PC4 0-10 / 30-40 / 50-60	0,56 – 0,39 – 0,41	1,63 – 0,94 – 1,06	0,14 – 0,13 – 0,10
PC5 10-20 / 40-50 / 70-80	0,17 – 0,23 - 0,19	0,71 – 0,95 – 0,92	0,13 – 0,09 – 0,11
PC6 0-10 / 10-20 / 20-30	0,28 - < 0,15 – 0,15	0,77 – 0,70 – 0,66	0,09 – 0,06 – 0,09
PC7 0-10 / 10-20 / 20-30	0,19 – 0,21 – 0,29	12,92 – 0,73 – 0,86	0,12 – 0,10 – 0,11
PC8 0-10 / 10-20 / 20-30	< 0,15 - < 0,15 - < 0,15	2,79 – 3,80 – 1,00	0,06 – 0,08 – 0,11

Fig 80. Résultats de mesures opérées en laboratoire pour caractériser le dosage en ciment du béton [ET -01], en orange les valeurs supérieures aux seuils, en jaune les valeurs s'en rapprochant.

Ions chlorures

Le guide du FABEM [RT-01] indique qu'au contact des armatures « *si la concentration en ions chlorure dépasse les seuils suivants (seuils admis par la communauté scientifique), il y a chute brutale du pH et la corrosion des armatures se développe :*

- *Au moins 0,4% du poids du ciment de la formule du béton*
- *Au moins de 0,04 à 0,1% du poids du béton suivant son dosage en ciment* »

Les résultats montrent que les échantillons PC5, PC6, PC7 et PC8 présentent des concentrations inférieures au seuil. Les échantillons PC1 et PC4, prélevé au niveau de linteaux en façade Sud et Nord de l'aile Nord montrent des taux supérieurs au seuil en surface, mais pas au niveau des armatures. L'échantillon PC2 (prélevé sur un linteau en façade Nord de l'aile Nord) montre des concentrations plus importantes en surface, mais le taux relevé au niveau des armatures est également supérieur aux valeurs seuils, ce qui peut amorcer la corrosion des armatures. Les concentrations relevées au niveau de l'échantillon PC3, prélevé sur la dalle haute au niveau de l'aquarium, sont particulièrement élevées, ce qui peut s'expliquer par l'ambiance saline du local. Une pollution endogène ne peut pas être exclue (utilisation d'eau de mer lors du gâchage)

Sulfates

Les seuils de teneur en alcalin préconisés par la norme NF EN 206-1 traitant des bétons armés sont les suivants :

- Au moins 3,5% du poids du ciment de la formule du béton

Les résultats ne montrent pas de concentrations importantes de sulfates au cœur du béton, excepté au niveau de la surface des échantillons PC3, PC7 et PC8, sans pour autant atteindre les armatures. Les résultats obtenus à l'aide du MEB ne montrent pas d'amorce de réaction sulfatique interne (RSI), écartant donc une pollution endogène.

Alcalins

Le LCPC recommandes des seuils de présence d'alcalins compris entre 3,0 et 3,5kg/m³ d'alcalins dans les bétons armés, soit 0,12% pour des bétons de masse volumiques µ=2200kg/m³.

Les résultats obtenus montrent que les concentrations en alcalins négligeables au niveau des échantillons PC6 et PC8. Les échantillons PC4, PC5 et PC7 présentent en surface des taux légèrement supérieurs au seuil. Les teneurs en alcalins sont élevées en surfaces des échantillons PC1 et PC2. L'échantillon PC3 présente des teneurs en alcalins importants sur toutes les tranches mesurées (échantillon prélevé en dalle haute de l'aquarium). Cependant l'analyse au MEB ne montre pas d'amorce de phénomène d'alcali-réaction, ce qui peut indiquer l'utilisation de granulats non-réactifs.

7. RESULTATS DES CALCULS

Le détail de la méthode de vérification, des hypothèses et des résultats de calculs sera transmis en annexe après réception des derniers résultats de Géotec. Nous reprenons ici les principaux résultats.

L'objectif des calculs est de définir la capacité portante des éléments de structure en l'état actuel, sur la base des relevés de sondages réalisés.

7.1. VERIFICATION DES PLANCHERS BETON

Ces calculs ne prennent pas en compte les pathologies observées sur les bétons et les aciers. On considère les propriétés des matériaux non altérées. **Les résultats des calculs sont donc conditionnés au bon état sanitaire des éléments en bétons.**

La vérification des flèches à l'ELS QP limitée à L/500 est réalisée à titre indicatif. La flèche présentée dans les résultats est la flèche théorique existante, basée sur la capacité portante calculée.

Nota : La flèche projetée, soit la flèche obtenue uniquement sous charges d'exploitation (charges permanentes déjà en place), est très limitée.

7.1.1. Hypothèse de calcul

Les hypothèses de calcul ont été définies selon les résultats des sondages réalisés sur site par l'entreprise GEOTEC. Ces éléments sont disponibles dans le rapport de *Reconnaissance structurelle de la station biologique de Roscoff, dossier n°2024/11615/NANTS [ET -01].*

Les calculs ont été réalisés sur les sondages des quatre principales zones définies comme suit :

- PH RDC - Zone 1 : sondages réalisés à l'ouest de l'aile nord du bâtiment
- PHR RDC - Zone 2 : sondages réalisés à l'est de l'aile nord du bâtiment
- PH RDC – Zone 3 : sondages réalisés sur l'aile est du bâtiment
- PH R+1 : sondages réalisés au PH R+1 de l'aile nord du bâtiment

Nota : le détail de l'emplacement des sondages réalisés est précisé dans le rapport de sondage GEOTEC.

L'ensemble des éléments sont considérés comme biarticulés avec un moment maximal en travée (pas de moment sur appui pris en compte).

Matériaux

Les essais mécaniques réalisés par Géotec permettent de supposer qu'un béton avec une résistance de 16MPa était envisagé. **Toutes les valeurs de compressions ne valident pas une résistance à 16MPa**, notamment à l'Est de l'aile Nord. Nous allons néanmoins considérer cette valeur, usuelle pour les bétons armés de cette époque :

- Béton type C16/20 : f_{ck} = 16 MPa

- Acier doux : f_{yk} = 320 MPa (suivant [HI -16])
- Masse volumique du béton armé : $\rho_{béton\ armé}$ = 2500 kg/m^3

Pour la vérification des éléments en béton armé de la zone 3, PH RDC, nous considérons des valeurs standards pour les bétons actuels, la restructuration de l'aile Est ayant eu lieu en 2001 :

- Béton type C25/30 : f_{ck} = 25 MPa
- Acier doux : f_{yk} = 500 MPa
- Masse volumique du béton armé : $\rho_{béton\ armé}$ = 2500 kg/m^3

Complexe de sol

Les charges de complexes de sol ont été définies par zones sondées. Les charges obtenues sont les suivantes :

- PHR RDC – Zone 1 : 50 kg/m² (Ragréage + carrelage)
- PHR RDC – Zone 2 : 63 kg/m² (Ragréage + chape)
- PH RDC – Zone 3 : 15 kg/m² (Ragréage + lino)
- PHR R+1 : 100 kg/m² (Chape + étanchéité)

Sections et ferraillage

Les sections des poutres et des solives sont définies selon les relevés de retombées de poutre et des largeurs de poutres relevé. La section prend en compte la participation de la dalle (hauteur de poutre = retombée + épaisseur de dalle), sans considérer la participation de la table de compression.

Pour la vérification du moment, uniquement le ferraillage tendu en partie inférieure de la section est pris en compte. Pour la vérification de l'effort tranchant, les cadres droits relevés sont pris en compte.

7.1.2. Vérifications

Le tableau de synthèse ci-dessous présente les capacités portantes obtenus pour les différents éléments béton armé calculés.

Nota : une charge de cloison de 50 kg/m² est prise en compte.

Sondage	Niveau	Longeur (m)	Entraxe (m)	G (kg/m²)	Q (kg/m²) dont cloisons 50kg/m²	M_{ELU} (kN.m)	V_{ELU} (kN)	FLEXION ELU	TRANCHANT ELU	ELS QP (L/500)
Poutre - RS3	PH RDC-Z1	9,10	4,50	473	300	506,8	222,8	98%	60%	145%
Dalle - RS4	PH RDC-Z1	1,40	1,00	300	300	2,1	6,0	92%	27%	135%
Solive - RS5	PH RDC-Z1	4,20	1,50	358	150	23,4	22,3	96%	22%	43%
Poutre - RS7	PH RDC-Z2	3,50	2,70	312	150	26,7	30,5	98%	60%	136%
Solive - RS9	PH RDC-Z2	2,60	1,20	298	150	6,4	9,8	91%	26%	98%
Dalle - RS10	PH RDC-Z2	1,20	1,00	245	300	1,4	4,7	91%	28%	177%
Solive - RS11	PH RDC-Z3	6,20	0,60	302	300	24,7	15,9	72%	61%	215%
Solive - RS12	PH R+1	3,70	1,50	405	200	21,7	23,5	100%	51%	80%
Dalle - RS13	PH R+1	1,50	1,00	340	300	2,6	6,8	78%	27%	203%

Les calculs ont mis en évidence une capacité portante très limitée sur l'ensemble des zones. La capacité portante minimale est de 150 kg/m² (charges d'exploitation, y compris charges de cloisons, soit 100kg/m² hors cloison).

Au regard des résultats obtenus et des résistances obtenus lors des essais mécaniques réalisés en laboratoire, **aucune modification d'affectation des locaux ou augmentation de charges sur la structure existante n'est envisageable sans prévoir la mise en œuvre en œuvre de renforts** (plats carbones ou ajout d'aciers supplémentaires en sous-face des éléments structurels par rengraisse en béton armé).

Les relevés des désordres in-situ n'ont pas mis en évidence de fissures liées à une flexion excessive des structures des poutres, solives et dalles en béton armé. A ce stade, l'exploitation actuelles des zones de plancher calculées peut donc être maintenue.

Afin de préciser les calculs, les hypothèses suivantes doivent être confirmées :

- **Caractéristique de résistance des aciers** (les caractéristiques seront à valider en chantier).
- **Capacité de reprise des moments sur appuis** par le relevé des aciers supérieurs (sections, enrobage, ancrage, etc.)

7.2. VERIFICATION DES PLANCHERS BOIS

7.2.1. Hypothèse de calcul

Les hypothèses de calcul ont été définies selon les résultats des sondages réalisés sur site par l'entreprise GEOTEC. Ces éléments sont disponibles dans le rapport de *Reconnaissance structurelle de la station biologique de Roscoff, dossier n°2024/11615/NANTS [ET -01]*. Les calculs ont été réalisés sur les sondages des deux planchers bois de l'aile Est.

Nota : le détail de l'emplacement des sondages réalisés est précisé dans le rapport de sondage GEOTEC.

L'ensemble des éléments sont considérés comme biarticulés avec un moment maximal en travée (pas de moment sur appui pris en compte).

Matériaux

En l'absence de reconnaissance de l'essence de bois, est pris en compte :

- Bois résineux : C18

Complexe de sol

Les charges de complexes de sol ont été définies par zones sondées. Les charges obtenues sont les suivantes :

- PH RDC : 47 kg/m² (plancher bois sur lambourdes + plâtre sur lattis bois et liteaux)
- PH R+1 : 76 kg/m² (Parquet stratifié, moquette, OSB, laine de roche sur parquet massif + 2BA13)

Charges d'exploitations :

Les charges d'exploitation ont été définies suivant l'occupation actuelle des locaux :

- PH RDC : 400 kg/m² (bibliothèque)
- PH R+1 : 100 kg/m² (habitation transformée en bureau)

7.2.2. Vérifications

Plancher haut du RDC

Les tableaux de synthèses ci-dessous présentent :

- Le plancher bois à l'état d'origine, sans renfort métallique :

Vérification à l'ELU

Contrainte de flexion :

	M_{max} kN.m	σ_{max} MPa	k_{mod} /	$f_{m,d}$ MPa	Taux %	
Permanent	2,84	5,47	0,6	8,3	66%	VERIFIE
Moyen terme	25,40	48,85	0,8	11,1	441%	NON VERIFIE

Contrainte de cisaillement :

	V_{max} kN.m	τ_{max} MPa	k_{mod} /	$f_{v,d}$ MPa	Taux %	
Permanent	1,70	0,24	0,6	1,57	16%	VERIFIE
Moyen terme	15,16	2,18	0,8	2,09	104%	NON VERIFIE

Vérification à l'ELS

Flèche finale : NON VERIFIE

W_{fin} mm	Limite mm	Taux %
198,35	33,50	592%

Flèche instantanée : NON VERIFIE

$W_{inst(Q)}$ mm	Limite mm	Taux %
150,25	22,33	673%

Flèche de second œuvre :

W_2 mm	Limite mm	Taux %
/	/	

- Le plancher bois considérant les IPN de renfort métallique :

Vérification à l'ELU

Contrainte de flexion :

	M_{max} kN.m	σ_{max} MPa	k_{mod} /	$f_{m,d}$ MPa	Taux %	
Permanent	0,32	0,61	0,6	8,3	7%	VERIFIE
Moyen terme	2,82	5,43	0,8	11,1	49%	VERIFIE

Contrainte de cisaillement :

	V_{max} kN.m	τ_{max} MPa	k_{mod} /	$f_{v,d}$ MPa	Taux %	
Permanent	0,57	0,08	0,6	1,57	5%	VERIFIE
Moyen terme	5,05	0,73	0,8	2,09	35%	VERIFIE

Vérification à l'ELS

Flèche finale : VERIFIE

W_{fin} mm	Limite mm	Taux %
2,45	11,17	22%

Flèche instantanée : VERIFIE

$W_{inst(Q)}$ mm	Limite mm	Taux %
1,85	7,44	25%

Flèche de second œuvre :

W_2 mm	Limite mm	Taux %
/	/	

- La vérification du profilé métallique

ELU					ELS					
$\sigma_{(max)}$ =	156,0 MPa	<	235 MPa	66%	VERIFIE	***Flèche Finale***	***L / 388***	<	*L / 250*	64%	VERIFIE
M_{max} =	101,9 kN.m					$W_{fin\ (max)}$ =	18,96 mm	<	29,4 mm		
						Flèche instantanée	***L / 463***	<	*L / 350*	76%	VERIFIE
						$W_{inst(Q)\ (max)}$ =	15,88 mm	<	21 mm		

Le profilé métallique est également vérifié au déversement.

Les calculs montrent que sans considérer les profilés métalliques de renforts le plancher n'est validé ni à l'ELU ni à l'ELS. En considérant la portée recoupée par les profilés, les solives bois sont vérifiées. Les profilés métalliques de renfort sont également validés.

Dans le cas de conservation des charges existantes et de non-changement d'usage, le plancher est alors bien vérifié en l'état.

Plancher haut du R+1

Le tableau de synthèse ci-dessous présente les résultats obtenus lors de la vérification du plancher haut du R+1 :

Vérification à l'ELU

Contrainte de flexion :

	M_{max} kN.m	σ_{max} MPa	k_{mod} /	$f_{m,d}$ MPa	Taux %	
Permanent	4,32	8,30	0,6	8,3	100%	VERIFIE
Moyen terme	9,96	19,15	0,8	11,1	173%	NON VERIFIE

Contrainte de cisaillement :

	V_{max} kN.m	τ_{max} MPa	k_{mod} /	$f_{v,d}$ MPa	Taux %	
Permanent	2,58	0,37	0,6	1,57	24%	VERIFIE
Moyen terme	5,94	0,85	0,8	2,09	41%	VERIFIE

Vérification à l'ELS

Flèche finale : NON VERIFIE

W_{fin} mm	Limite mm	Taux %
76,27	33,50	228%

Flèche instantanée : NON VERIFIE

$W_{inst(Q)}$ mm	Limite mm	Taux %
37,56	22,33	168%

Flèche de second œuvre :

W_2 mm	Limite mm	Taux %
/	/	

Les calculs ont mis une évidence une faiblesse du plancher au regard de la charge d'exploitation (charge moyen terme) en considérant un bois de classe C18. Cette hypothèse est peut-être défavorable, mais en l'absence de reconnaissance de l'essence du bois, elle ne pourra pas être réévaluée. En l'état actuel, le plancher bois est fléchi. **Il est nécessaire de prévoir un renfort surfacique de plancher** afin d'en augmenter la résistance et de rétablir la planéité des supports.

8. DIAGNOSTIC

8.1. DIAGNOSTIC GENERAL DU BATIMENT

La majeure partie des désordres observés dans le bâtiment est liée à des pathologies du béton armé. Les structures maçonnées ne présentent pas de désordres à caractère de gravité.

Dans la partie du bâtiment accueillant la maison du directeur, les épaufrures du béton armés sont importantes et un bloc de béton armé est prêt à se détacher. Cette épaufrure est due à la corrosion des armatures du linteau.

> *Il est important dans un premier temps de condamner le passage de la porte ou de purger le bloc sur le point de tomber, pour limiter tout risque pour les usagers.*

La fissure observée en façade Nord de l'aile Nord, au niveau de la file A peut s'expliquer par plusieurs phénomènes. La partie à l'Ouest de la fissure faisait à l'origine partie du volume de l'aquarium reconstruit au début du XXème siècle. Elle a par la suite été adjointe à l'aquarium public lors de sa construction. La structure de ses planchers a par la suite été remplacée par une structure acier soutenant une dalle en béton armée sur bac collaborant. Le toit terrasse a également été surélevé pour se raccorder à la toiture terrasse de l'aquarium public. Il y a donc eu une modification de charge et une modification du système constructif de la partie Ouest, pouvant entrainer une rigidité différente entre elle et l'aquarium. Ces modifications peuvent expliquer l'apparition de fissures. Nous supposons la présence d'un poteau en béton derrière le parement au niveau de la file A. L'apparition de la fissure a pu favoriser la pénétration d'eau et d'agents corrosifs entrainant une corrosion des armatures du béton armé. Cette corrosion entraine une expulsion du béton, ce qui pourrait expliquer le gonflement et la fissure observés. Des fissures témoins de pathologies du béton et d'humidité dans la zone sont observables en intérieur de l'aquarium, au niveau de la file A, sur le poteau et la poutre de façade.

> *Une instrumentation de la fissure doit être mise en place pour contrôler de l'évolutivité du tassement différentiel. Une purge de la zone d'expulsion (parement pierres ou moellons) doit être effectuée, pour vérifier la présence du supposé poteau en béton et l'état des structures. La structure béton mise à nue sera alors sondée et le béton réparé suivant les préconisations détaillées en 9.2, accompagné d'une réfection d'étanchéité*

Les sels observés sur les murs en granites en RDC de l'aile Nord, au niveau de l'escalier, ainsi que la friabilité du matériau montrent une dégradation des caractéristiques de la pierre. Ces sels sont dus à la présence d'une humidité quasi constante de la zone et par la salinité de l'environnement. Cette humidité saline est causée par le fait que la porte d'accès à l'aquarium soit ouverte en continue, et par une mauvaise ventilation de la zone. Le sondage carotté au sein du mur séparant cette zone des bureaux témoigne de la présence d'un mortier pulvérulent, ayant perdu sa cohésion, conséquence de l'humidité.

> *Il conviendra de purger la surface des granites pulvérulents et de les débarrasser des sels. Le traitement de l'air devra être amélioré dans la zone, les habillages devront être supprimés pour éviter le maintien de l'humidité, et une solution pour maintenir fermée la porte de l'aquarium devra être envisagée. Des injections de maçonneries pourront être réalisées afin de rendre sa cohésion au mur à cœur et un remaillage de maçonnerie sera effectué en cas de pierres fortement dégradées.*

L'humidité relevée en dalle haute du R+1 montre des lacunes dans l'étanchéité actuelle de la toiture terrasse. Certaines réservations de la dalle concentrent également de grandes traces d'humidité, elles sont donc un point d'entrée important de l'eau à l'intérieur du bâtiment

Nous recommandons la réfection de l'étanchéité de l'intégralité de la toiture terrasse et un traitement des points sensibles de réservation.

Les saignées réalisées dans les corniches et le fronton en béton armé pour faire passer les évacuations d'eaux pluviales sont un point de faiblesse. En effet, les armatures du béton armé ont été laissée nues et exposées à l'eau et aux agents corrosifs. Elles peuvent être un point de départ de corrosion d'armatures et donc de dégradation des éléments en béton armé.

Il est nécessaire de passiver et de restituer un enrobage des armatures exposées à l'air libre.

Une humidité généralisée a été relevée en façade Sud de l'aile Nord, entrainant ponctuellement le faïençage du béton. Cette humidité semble être due à la présence importante de végétation au pied de cette façade, retenant l'humidité.

Afin de limiter le maintien d'humidité néfaste pour les structures maçonnées et en béton armé, il est conseillé d'éloigner la végétation des façades et de la rendre moins dense. En cas de sols perméables, après la réalisation d'une fouille pour identifier les sols en place, il peut être envisagé la mise en place d'un drain en pied de façade. Dans le cas de sols fins, limoneux ou argileux, l'humidité en pied de façade peut être traitée par la réalisation de tranchées drainantes déportées de la façade.

Le fléchissement du plancher bois observé au niveau des bureaux en R+2 du bâtiment Sud, ainsi que la déformation de leur porte d'accès et la fissure de cloison au droit de cette dernière traduisent une souplesse du plancher bois à ce niveau. Les calculs indiquent une faiblesse du plancher.

Un renforcement surfacique de la zone par table de compression bois devra être réalisé, après la purge du complexe de sol pesant.

La fissure observée au niveau du linteau en façade Est de l'aile Est est due à la corrosion d'armature du béton armé.

Il conviendra de réparer le béton, suivant les préconisations détaillées en 9.2

Les fissures relevées au niveau des cloisons en rez-de-chaussée de l'aile Nord sont dues à la présence de poteaux en béton armé dans les cloisons. La fissures sur 3 faces, au niveau du refend entre l'aquarium et le couloir des bureaux s'explique par la présence d'un doublage épais côté bureau. Le changement des matérialités entraine des fissurations, sans que ces dernières soient signes d'un désordre structurel.

8.2. CAUSES DE DEGRADATIONS DES BETONS

Ce paragraphe est rédigé sur la base de nos observations sur site, du rapport fourni par Géotec [ET -01] et du guide FABEM du STRRES [RT-01] sur la reprise des bétons dégradés.

L'environnement marin est un environnement agressif pour le béton. Même si le bâtiment n'est pas en contact direct avec l'eau de mer, les embruns peuvent déposer des agents corrosifs comme les chlorures de sodium sur le béton pouvant provoquer la corrosion des armatures. De même, la présence des bassins d'eau de mer en intérieur de l'aquarium entraine une atmosphère saline préjudiciable au béton.

Cet environnement peut favoriser la carbonatation du béton. Les relevés réalisés par Géotec ont validé la présence d'un front de carbonatation important au sein du béton. Cette carbonatation entraine la perte de capacité protectrice du béton et favorise donc, dans les atmosphères humides, une corrosion des armatures.

Les mesures des teneurs en ions chlorure au sein du béton tendent à valider une origine exogène des chlorures, venant de l'environnement extérieur. Il n'est cependant pas exclu qu'un gâchage du béton avec l'eau de mer ait pu être réalisé. L'analyse des bétons par Géotec montre qu'au niveau de l'aquarium notamment, les taux de chlorures au niveau des armatures sont supérieurs aux seuils acceptés, ce qui en favorise la corrosion.

Le guide du FABEM [RT-01] alerte sur un risque rare, mais pouvant exister en lien avec cette atmosphère saline :

« *On notera que lorsque que la teneur en chlorures dans un béton est très élevée dans un béton (ouvrage à la mer), il peut se produire une dissolution des armatures sans gonflement apparent (formation de rouille dite « verte »). Cette corrosion, par l'absence de toute manifestation visuelle, bien que rare, est redoutable* »

Lors des sondages réalisés par Géotec, il a été noté une dissolution de cadre, mais des désordres dans les zones étaient alors déjà observables. L'absence de cadre au sein d'un élément en béton armé diminue sa résistance au cisaillement.

Les taux de sulfate relevés par Géotec sont supérieurs aux seuils pour 2 échantillons testés. Cependant les observations au MEB ne relèvent pas la présence de réaction sulfatique interne.

Les taux d'alcalins relevés par Géotec sont supérieurs au seuil pour 5 des 8 échantillons testés et très importants pour l'échantillon PC3. Les observations au MEB n'ont pas identifié de trace de réaction sulfatique interne, ce qui laisse supposer l'utilisation de granulats non-réactifs lors de la formulation du béton : « *L'absence de phénomène d'alcali-réaction constatée au MEB sur PC3, malgré les fortes teneurs en alcalins et atmosphère humide en permanence en sous-face de plancher (aquarium), laissent présager que les granulats utilisés ne sont pas réactifs (NR). Un examen pétrographique permettrait de confirmer cette hypothèse. »* [ET -01].

Une grande partie des épaufrures et des pathologies du béton que nous avons pu observer sur place peut être expliquée par la présence de chlorures dans l'environnement et au sein du béton. Ces chlorures favorisent la corrosion des armatures, et donc leur foisonnement, ce qui explique les fissures relevées, le plus souvent au droit des cadres d'armatures. Ponctuellement, il est possible – bien que rare – que le cadre soit dissout. Les sondages montrant des dissolutions d'aciers d'origine ont été effectués sur des bétons présentant des pathologies, ce qui ne permet pas d'exclure cette possibilité dans d'autres zones de désordres. Les fissures sont les premiers signes de la corrosion des armatures. Les épaufrures témoignent d'un état plus avancé de la corrosion.

Les différentes analyses permettent ainsi d'écarter les phénomènes d'alcali-réactions et de réactions sulfatiques internes et tendent à valider le rôle prépondérant de la présence de chlorures dans l'environnement comme acteur des pathologies du béton armé. Les pollutions du béton semblent être exogènes.

De manière générale, le développement de la corrosion au sein du béton armé n'est pas homogène. Certaines parties d'armatures prennent le rôle d'anodes, vouées à la dissolution, tandis que les autres prennent le rôle de cathode. La corrosion apparaît alors dans la zone anodique.

Lors d'une reprise de béton, il n'est pas rare de noter une nouvelle corrosion. Le nouveau béton, par son pH élevé va protéger les armatures, mais la différence avec le pH du béton d'origine va venir créer une nouvelle pile de corrosion, les polarités des armatures vont s'inverser et de nouveaux désordres apparaissent seulement quelques années après la réparation. Ce phénomène sera d'autant plus rapide et important si les traces de l'ancienne corrosion des armatures n'ont pas totalement été éliminées lors de la réparation. De même, le guide du FABEM [RT-01] indique que ce phénomène d'inversion de polarité survient aussi dans les zones voisines de la zones réparées, quand elles sont proches d'être entièrement carbonatées ou d'atteindre le taux de chlorure seuil. Il est possible que ce soit notre cas en façade Nord, au niveau des zones reprises, ce qui expliquerait la présence de faïençages et de fissures le long des cadres au niveau des reprises bétons en façade.

8.3. FAIBLESSES POSSIBLES DES STRUCTURES BETON EN PLACE ET DU SYSTEME HENNEBIQUE

Ce paragraphe est rédigé à l'aide de nos connaissances, de nos observations sur site, le rapport fourni par Géotec [ET -01] et le guide FABEM du STRRES [RT-01] sur la reprise des bétons dégradés.

Les connaissances sur le matériau béton armé en 1905-1907 n'étaient pas aussi avancées qu'aujourd'hui. Il n'est pas impossible de supposer que le béton ait pu être gâché avec de l'eau de mer, ce qui entrainerait la présence de chlorures au sein même du béton. Cette hypothèse paraît cependant peu probable suite aux résultats transmis par Géotec. Les granulats utilisés ne semblent pas être réactifs, comme en témoigne l'absence de phénomène d'alcali-réaction. Néanmoins, ils sont parfois de diamètre important, entrainant la présence de macropore. Cela ne semble pas pénaliser le matériau béton armé qui présente des masses volumiques convenables au regard de la norme actuelle.

Les résistances des bétons testés par Géotec [ET -01] témoignent d'un béton de résistance moyenne à basse. De plus, des concentrations en ciment basses ont pu être mesurées, ce qui joue également sur la résistance du béton. Les valeurs mesurées étant très disparates, il n'est pas possible de zoner les éléments présentant des caractéristiques mécaniques moins bonnes. **Il est nécessaire de noter que la résistance du béton armé en présence dans le bâtiment est au mieux de 16MPa, mais cette valeur ne peut pas être utilisée sans être questionnée.**

Par ailleurs, notons selon le guide FABEM [RT-01] des dispositions constructives propres aux bétons armés anciens que l'on retrouve au sein de la structure en béton armé Fig 81. *« Jusqu'aux années 1950/1960, il y a lieu de noter :*

- *L'absence de cadres périphériques dans les talons des poutres ;*
- ***L'utilisation de barres relevées, y compris dans les dalles ;***

- *L'utilisation du frettage généralisé sous forme d'armatures en spirale pour admettre des contraintes de compression plus élevées dans le béton ;*
- ***L'absence ou une faible présence d'armatures de peau le long des âmes des poutres et dans les parties comprimées ;***
- ***L'absence d'un enrobage minimum pour les étriers ;***
- *La géométrie des poutres de rive réduite de moitié par rapport aux poutres centrales (les dalles étant supposées articulées sur les poutres, les poutres de rive étaient donc moins sollicitées) ;*
- *Le recours aux poutres cantilever (plus faciles à calculer car isostatiques) ;*
- *L'absence de chape d'étanchéité des travées indépendantes (le béton comprimé était considéré comme étanche !). En outre, lorsque des chapes d'étanchéité ont été utilisées, elles étaient de faibles performances ;*
- *L'utilisation fréquente et ce, jusque vers les années 50, de coffrages en planches grossières avec, à cause des fuites de laitance, un enduit de finition comme pour les bâtiments... »*

Les premiers résultats de sondages ont permis de valider l'absence d'armature de peau au niveau des poutres et d'armature de répartition au niveau des dalles. Cela peut favoriser les fissurations diagonales au niveau des poutres, semblables à certaines que nous avons pu relever.

Le système Hennebique se caractérise par l'utilisation d'étrier au niveau de chaque file d'armatures filantes. Aujourd'hui, on favorise un cadre général, englobant les files d'armatures et se retournant sur lui-même, afin de contenir de flambement des barres comprimés. Les étriers tels que mis en place dans la station biologique n'assument pas entièrement ce rôle. Il est également possible de questionner l'encastrement linéaire des étriers au sein du béton.

Au niveau de la jonction entre les poutres et les poteaux, le procédé Hennebique propose un encastrement simple des aciers filants haut et bas à l'aide d'empâtement des extrémités des armatures. Sans proposer un retournement et une continuité des armatures entre les poteaux et la poutre, ce système ne permet pas de considérer un encastrement parfait des deux éléments, les poutres sont alors considérées comme isostatiques. Ce système est moins efficace structurellement que les systèmes en béton armé actuels.

Afin de vérifier l'absence de retournement de l'acier filant supérieur au niveau des appuis, nous préconisons de réaliser un sondage complémentaire en façade, au droit d'une liaison poteau/poutre pour en déterminer les ferraillages.

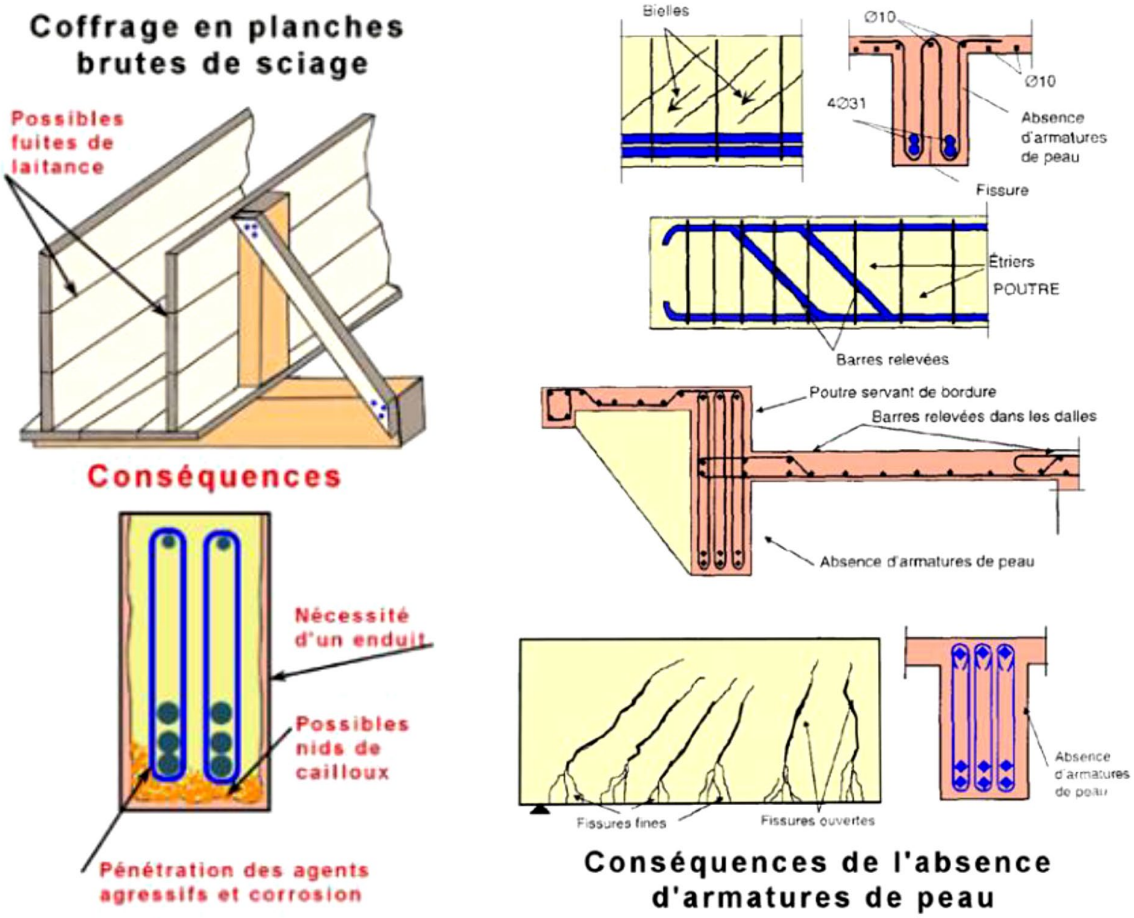


Fig 81. Dispositions de ferraillages anciennes et coffrages anciens / FABEM [RT-01]

9. PHILOSOPHIE D'INTERVENTION

9.1. PRINCIPES GENERAUX

Les laboratoires seront préférentiellement placés en rez-de-chaussée, en particulier de laboratoire multiusage, ayant des contraintes antivibratoires importantes. Plus globalement, **les laboratoires nécessitant des contraintes acoustiques, vibratoires et/ou accueillant des équipements pesants seront localisés en rez-de-chaussée**. Dans le cas de recharges, et donc d'installation de laboratoires en étage (selon le programme, Q=450daN/m² pour les laboratoires) des renforcements des poutres et des solives devront être prévus et les sections recalculées en conséquence.

La maitrise d'ouvrage souhaite limiter les reprises de fondations. Dans ce cas, une vigilance devra être apportée au niveau **des surcharges permanentes et d'exploitation prévues** sur les planchers au regard de la descente de charges globale de la structure en béton armé. **Elle devra être limitée à 10% de la descente de charges globale**. Nous proposons les charges d'exploitation suivantes :

- Aile Nord RDC : Q=450kg/m²+120kg/m² de cloisons
- Aile Nord R+1 : Q=100kg/m² + 50kg/m² de cloisons
- Aile Est RDC : Q=450kg/m²+120kg/m² de cloisons
- Aile Est R+1, au droit des poutrelles simples : Q=250kg/m² + 50kg/m² de cloisons
- Aile Est R+1, au droit des poutrelles triples : Q=400kg/m² (charges de la bibliothèque dito existant)
- Aile Est R+2, au droit des poutrelles simples : Q=250kg/m² + 50kg/m² de cloisons
- Aile Est R+2, au droit des poutrelles doubles : Q=450kg/m² + 50kg/m² de cloisons

Au-delà, des solutions de renforcement des structures seront à envisager.

La question de l'humidité en façade Sud de l'aile Nord devra être traitée, à l'appréciation des concepteurs, par l'installation d'un drain et par la rationalisation de la végétation en pied de façade, et la réalisation préalable d'une fouille de reconnaissance de fondation.

La trame du bâtiment actuel ne devra pas être modifiée. Un retour au dispositions constructives de 1907 de l'aquarium n'est pas envisageable, les poteaux ajoutés semblant être des renforcements structurels.

9.2. REPARATIONS DES BETONS ARMES DEGRADES

L'ensemble des bétons dégradés devra être repris soigneusement, pour arrêter le processus de corrosion des armatures en cours. Les interventions sur le béton devront respecter les préconisations et les techniques proposées par le FABEM [RT-01] (Fig 83).

Les paillasses en béton sont fortement dégradées et doivent être remplacées. Trop fines pour être refaites en béton armé traditionnel, ces dernières seront éventuellement restituées dito leur volumétrie initiale en béton fibré.

Dans les zones d'épaufrures :

Une reprise de tous les bétons présentant des fissures et des épaufrures, ainsi qu'une reprise de tous les patchs en béton déjà réalisés en façade est à prévoir.

Pour cela, une purge totale du béton doit être réalisée après la réalisation d'un étaiement des structures impactées. La purge doit être continuée jusqu'au dégagement d'armatures non-corrodées sur au moins 50mm de longueur. Puisque nous sommes en présence de chlorures, la distance minimale de purge autour des armatures est de 20mm, et un lavage soigné du béton et des armatures devra être effectué à l'eau sous pression. Les armatures doivent être totalement dégagées du béton (pas de béton résiduel).

Si la mise en place d'un revêtement de protection (film étanche à base de résine) est prévue sur les barres, le décapage doit atteindre le niveau $Sa2^{1/2}$.

Une fois la purge réalisée, les parties oxydées des armatures doivent être éliminées par brossage métallique, repiquage, sablage ou à l'eau sous pression. Il est ensuite nécessaire d'appliquer un revêtement anticorrosion sur les armatures gardées en place. En cas de perte de section significative vis-à-vis de la résistance au cisaillement, ou de corrosion trop importante, les armatures doivent être coupées et remplacées. Les nouvelles armatures doivent être connectées aux anciennes armatures par des acier de couture s'il n'est pas possible de mettre en place d'armatures supplémentaires en recouvrement.

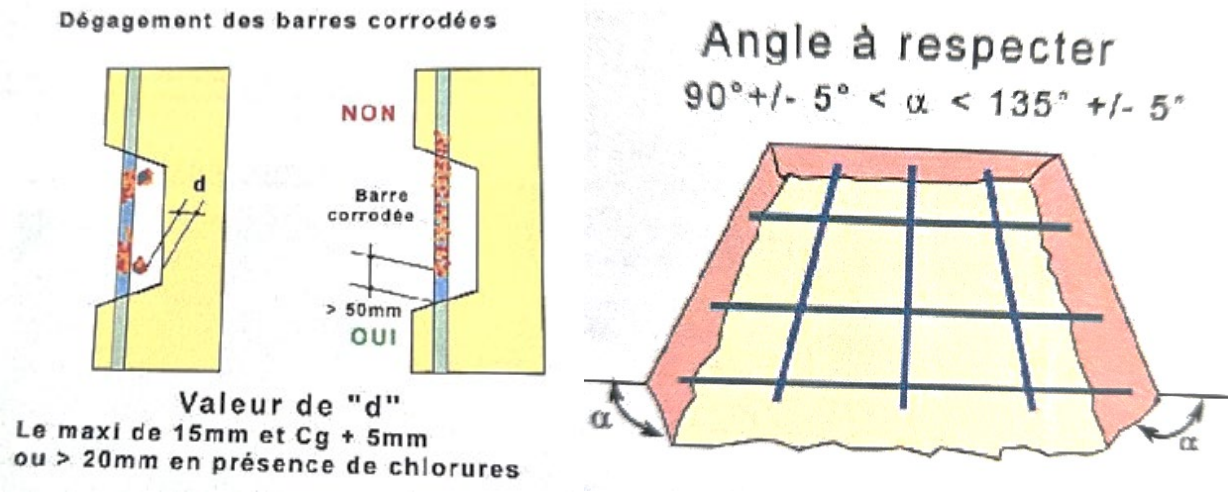


Fig 82. Dispositions à respecter lors du dégagement d'armatures corrodées.

En cas de pollution aux chlorures trop importantes :

Il est à noter que les principales conclusions provisoires des études effectuées dans le cadre du programme européen de recherche COST 521 indiquent qu'il n'est pas évident que les inhibiteurs de corrosions puissent limiter significativement la vitesse de corrosion des armatures en cas de présence de chlorures au sein du béton. Cette corrosion pourrait même être accélérée si la teneur en chlorure dépasse 0,6 à 0,8% du poids de ciment (ce qui est le cas pour les échantillons PC2 et PC3, en façade Nord de l'aile Nord et au niveau de l'aquarium).

Dans le cas où la présence de chlorures est avérée au niveau des structures en béton armé, nous préconisons de favoriser la méthode de protection cathodique (soit par anodes actives soit par courant imposé) dans les zones de purges de béton,

et de méthodes électrochimiques dans le cadre de béton d'apparence saines afin d'éviter tout départ de nouvelles corrosions. **La mise en place d'inhibiteur de corrosion est proscrite.**

Le lecteur pourra se reporter, pour de plus amples détails sur les **différentes techniques de réparation** proposées, **au guide de novembre 2003 de l'AFGC** sur la réhabilitation du béton armé dégradé par la corrosion ainsi qu'à la norme **NF EN 12696** (protection cathodique) et au fascicule de documentation **FD CEN/TS 14038-1** (ré-alcalinisation électrochimique).

Les méthodes de restauration de la passivation des armatures

Description des méthodes		Début de la propagation sans désorganisation interne du béton		Pendant la propagation avec désorganisation locale du béton (à cause d'un défaut d'enrobage, d'un nid de cailloux…)		Pendant la propagation avec désorganisation du béton mais faible réduction de la section des armatures		Pendant la propagation avec désorganisation du béton et des armatures		revêtement de protection après réparation
		Solutions	Observations	Solutions	Observations	Solutions	Observations	Solutions	Observations	Finition
1ère méthode	(a) Remplacement du béton	/		O	Indispensable Réparation locale	O	Indispensable Réparation ± généralisée	O	Indispensable (démolition reconstruction en variante)	O Conseillé sauf cas particuliers
	(b) Remplacement des armatures			S	Rarement	S	Parfois	O	Souvent (armatures inoxydables… en variante)	
	(c) Protection des armatures			O	Indispensable	O	Normalement (sauf béton projeté…)	O	Normalement (sauf béton projeté…)	
2ème méthode	(d) Protection cathodique par anodes actives	O = (d) ou (e)	Se substitue aux méthodes 3 et 4	S + (d) ou (e)	Peut s'ajouter à la méthode 1 mais pas à 3 et 4	S + (d) ou (e)	Peut s'ajouter à la méthode 1	S + (d) ou (e)	Peut s'ajouter à la méthode 1	/
	(e) Protection cathodique par courant imposé									/
3ème méthode	(f) Déminéralisation électrochimique par anode active	O =	Se substitue aux méthodes 2 et 4 Domaine d'emploi limité	S + (f) et/ou (g)	Peut s'ajouter à la méthode 1 mais pas à 2 et 4 Domaine d'emploi limité	/	Normalement pas applicable	/	Non applicable	O Conseillé
	(g) Ré-alcalinisation par anode active									O Conseillé
	(h) Déminéralisation électrochimique par courant imposé	O =	Se substitue aux méthodes 2 et 4 Domaine d'emploi limité	S + (h) et/ou (i)	Peut s'ajouter à la méthode 1 mais pas à 2 et 4 Domaine d'emploi limité	/	Normalement pas applicable	/	Non applicable	O Conseillé
	(i) Ré-alcalinisation par courant imposé									O Conseillé
4ème méthode	(j) Inhibiteurs de corrosion à la surface du béton	O =	Se substitue aux méthodes 2 et 3 Domaine d'emploi expérimental	S +	Peut s'ajouter à la méthode 1 mais pas à 2 et 3 Domaine d'emploi expérimental	S +	Peut parfois s'ajouter à la méthode 1	S +	Peut s'ajouter à la méthode 1	O Conseillé

Tableau n° 12 : méthodes de restauration de la passivité des armatures

Fig 83. Tableau de décision, méthode de restauration de la passivité des armatures. En vert les préconisations pour les zones épaufrées, en orange les préconisations pour les zones « saines », en rouge les interventions proscrites dans notre cas

9.3. PRESERVATION DES BETONS ARMES EN PLACE

Un état sanitaire exhaustif des éléments structurels en béton devra être réalisé en chantier afin d'identifier les zones sonnant creux, pouvant être un témoignage de désorganisation interne du béton armé, même si aucun désordre n'est visible en surface. Une observation par caméra thermique pourra être réalisée afin d'identifier les amorces d'épaufrures. Les sondages ont mis en valeur la dissolution totale de cadres au niveau des linteaux présentant des pathologies du béton armé. Il n'est pas exclu que ces dissolutions puissent avoir lieu au sein de linteaux sains, ces derniers devront être investigués systématiquement et les cadres restitués en cas de manquements.

En l'absence de désordres, il n'est pas nécessaire de venir réaliser une purge du béton carbonaté ou pollué aux chlorures, sous réserve de réaliser un traitement aux méthodes électrochimiques, si la résistivité du béton est compatible. Ces opérations doivent être effectuées une fois les réparations réalisées. Nous préconisons une déchloruration avant la ré-alcalinisation de la structure.

Une fois la déchloruration et les réparations du béton effectués, la vérification de la continuité des armatures est nécessaire pour la ré-alcalinisation des bétons. Les différentes méthodes de ré-alcalinisation sont expliquées dans le guide du FABEM [RT-01].

Un revêtement de protection des bétons devra être étudié en complément, conformément au guide du FABEM [RT-01] (cf Fig 82), compatible avec une pollution exogène aux chlorures

10. PRECONISATIONS D'ÉTUDES ET D'INVESTIGATIONS COMPLEMENTAIRES

Les études suivantes devront être réalisées dans le cadre des études pour confirmer les conclusions du diagnostic et préciser les préconisations que devront prendre en compte les mandataires de la future opération :

- Relevé géomètre de l'existant
- Instrumentation de la fissure en façade Nord, file A, type jauge Saugnac avec relevé mensuel
- Sondage du parement maçonné pour diagnostic de la structure béton – Façade Nord, aile Nord, file A
- Visite du soffite en béton au droit de l'escalier de l'aile Nord, entre les files G à H.
- Reconnaissance de fondations des poteaux de façade de l'aquarium
- Sondages complémentaires pour vérifier les liaisons poutre/poteaux depuis l'extérieur. Sondage destructif pour vérifier la continuité des ancrages béton. Si le sondage par l'extérieur n'apporte aucune indication, un sondage en intérieur, depuis la surface au niveau d'une poutre sera à envisager
- Dépose préalable de faux-plafonds pour compléments d'état sanitaire

11. LISTE DE TRAVAUX – LOT STRUCTURE

Ce chapitre ne constitue pas un CCTP. Il établit les études complémentaires nécessaires, ainsi que la liste de travaux prévisionnels à réaliser dans le cadre de l'opération de restructuration des ailes Lacaze-Duthiers.

NOTA : Cette liste de travaux concerne exclusivement les ouvrages de structure comprenant les étaiements, démolitions et déposes, renforcement et modification d'ouvrages existants, créations d'ouvrages neufs. Elle exclut les protections et les installations de chantier, l'étanchéité, le clos-couvert, les réseaux, la gestion des eaux pluviales, les sujétions liées à la présence de plomb/amiante, la menuiserie, la vitrerie, le drainage, la composition des couches de formes et couches de roulement, etc.

11.1. ETUDES ET INVESTIGATIONS

- Etudes d'exécution compris état sanitaire complémentaire et exhaustif des éléments béton (zones sonnant creux, fissurées, épaufrées, présentant des sarmatures apparentes ou correspondant à d'anciennes zones de réparation) et métal (état de corrosion) après purge/décapage/nettoyage des revêtements de surface notamment enduits/parements maçonnés sur les éléments béton en façades.
- Dossier des études exécutés
- Essai de traction sur les aciers de béton armé ancien
- Examen pétrochimique des granulats des éléments en béton armé

11.2. MESURES CONSERVATOIRES

- Condamnation de la porte en façade Ouest de la maison du directeur, purge des éléments instables

11.3. BETON ARME

- Réparation des bétons suivant les préconisations du FABEM [RT-01] et les préconisations décrites en 9.2 – Ensemble de l'aile Nord, éléments fissurés ou présentant des épaufrures
- Protection des bétons en place suivant les préconisations du FABEM [RT-01] et les préconisations décrites en 9.3 – Béton non dégradés mais supposés pollués
- Réfection en béton fibré préfabriqué des paillasses en béton armé de l'aquarium – Totalité des paillasses de l'aquarium
- Reprise des bétons coupés pour les passages EP – Façade Nord et Sud de l'aile Nord

11.4. MAÇONNERIE

- Purge du granite pulvérulent, purge des sels en surface – Aile Nord, file G à H
- Injection de maçonnerie – Aile Nord, RDC, refends files G et H
- Remaillage de maçonnerie – Refends, soubassements de façades et sous-sols
- Rejointoiement en façade – Aile Nord, façade Sud, soubassements de façades, sous-sols

11.5. STRUCTURE BOIS

- Renfort par table de compression bois au besoin – PH R+1, bâtiment Sud, aile Est

11.6. PRESTATIONS COMPLEMENTAIRES (HORS LOT STRUCTURES)

- Réfection de l'étanchéité de la toiture-terrasse et des réservations
- Solution à mettre en place pour maintenir la porte de l'aquarium fermée, entre la zone d'escalier et l'aquarium, aile Nord, suppression des doublages du refend
- Drainage et suppression de la végétation dense en pied de la façade Sud de l'aile Nord

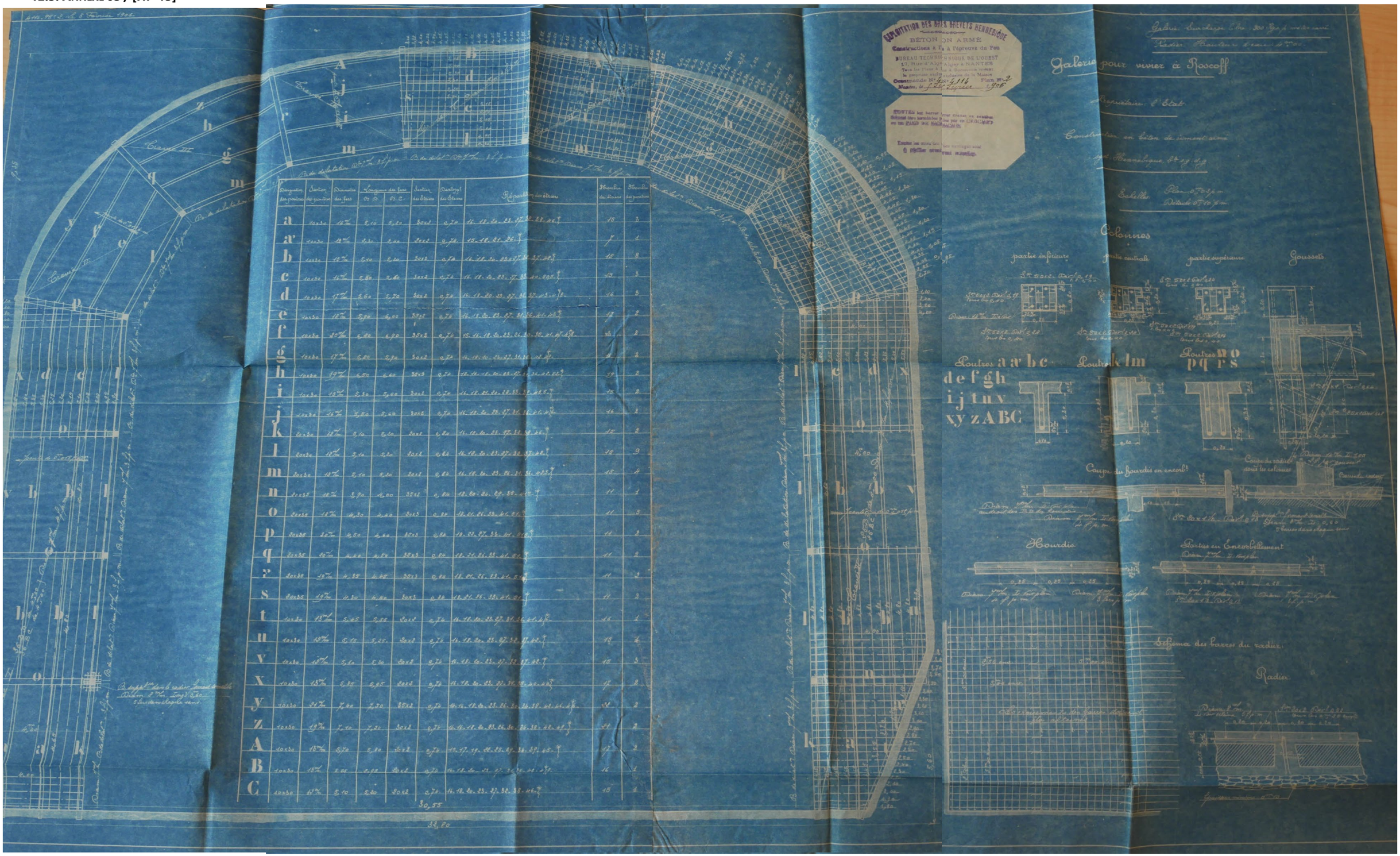
12. ANNEXES

12.1. ANNEXE 01 / PIECES GRAPHIQUES

12.2. ANNEXE 02 / RAPPORT DE SONDAGE DE GEOTEC [ET -01]

structures

12.3. ANNEXE 03 / [HI -13]



4372 du 10 août 1907

EXPLOITATION DES BREVETS HENNEBIQUE

BÉTON ARMÉ
Constructions à l'épreuve du Feu

BUREAU TECHNIQUE DE L'OUEST
17, Rue d'Alger à NANTES

Tous les Plans et Documents restent la propriété exclusive de la Maison

Commande N° 4373 Plan N° 4

Nantes le 10 Août 1907

TOUTES les barres d'angles ou nombres doivent être terminées par un crochet en un PIED DE BICHE.

Toutes les cotes des ouvrages sont à vérifier avant exécution.

Laboratoire de Roscoff.

Directeur Docteur Le Docteur Delage

Aquarium.

Projet de construction en béton armé syst. Hennebique.

Coupe GH

Surcharge libre 500 k. par m.q.

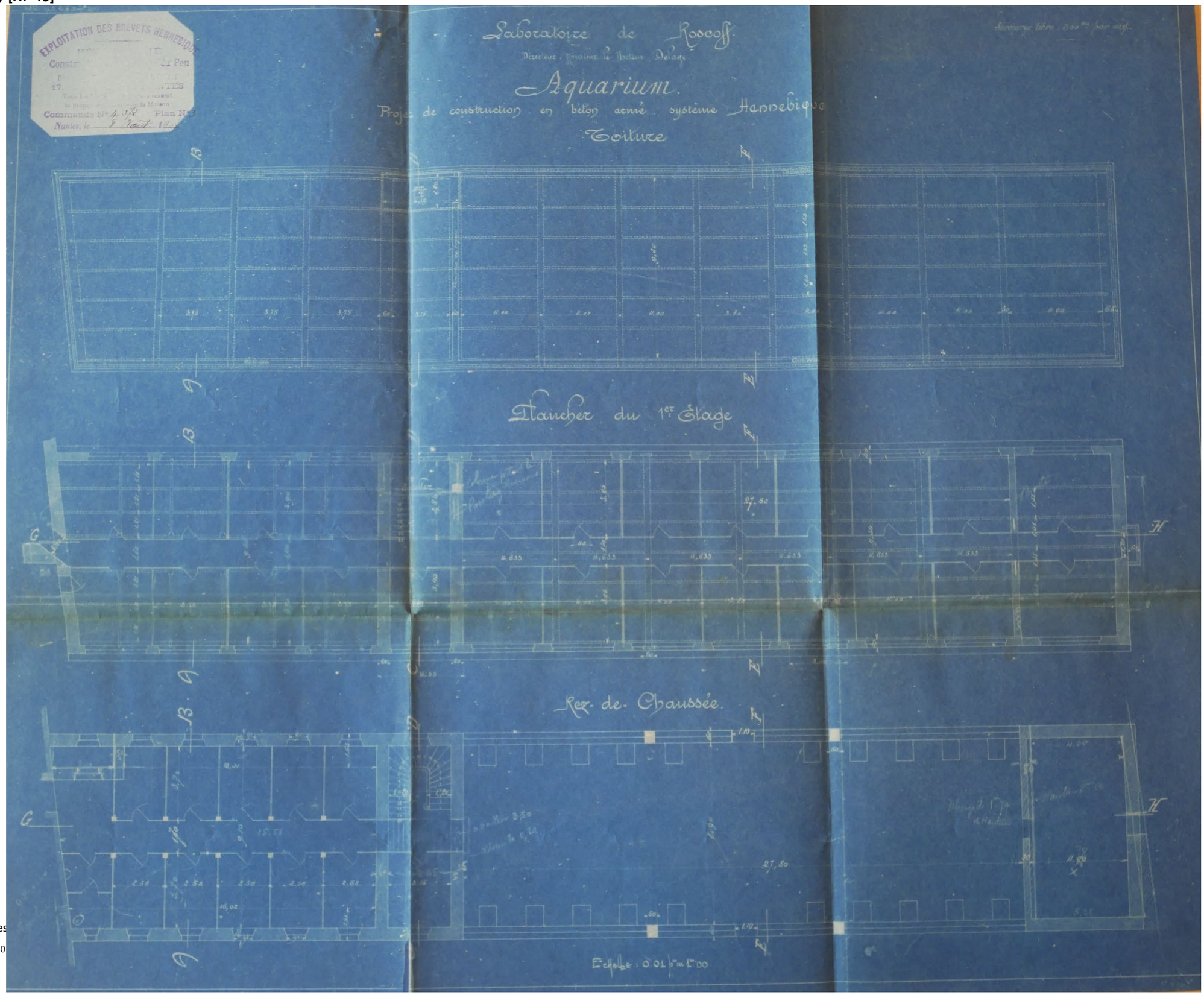
Gravier ou galets

Coupe AB

Coupe CD.

Coupe EF.

Echelle : 0.01 p. m.


EXPLOITATION DES BREVETS HENNEBIQUE
Commande N° 4 378 Plan N° 3
Nantes, le 8 Août 19
Laboratoire de Roscoff.
Aquarium.
Projet de construction en béton armé système Hennebique
Toiture
Plancher du 1er Etage
Rez-de-Chaussée.
Echelle : 0.01 p.m. 1.00

Entre les soussignés:

Monsieur **P. Appell**, Doyen de la Faculté des Sciences de l'Université de Paris

Et Monsieur **Péponnet**, Entrepreneur Demeurant, 12, rue Malakoff, à Brest, ont été arrêtées les conventions suivantes:

Monsieur **Péponnet** s'engage à modifier le vivier du Laboratoire de Roscoff aux prix et conditions ci-dessous.

Cette modification comprend:

1° La démolition du radier actuel.

2° Le creusement du terrain jusqu'à 0m,40 environ au dessous du point bas du radier actuel.

3° La remise en état et la reconstruction en sous œuvre, s'il y a lieu, des murs d'enceinte actuels.

4° La reconstruction d'un radier en béton armé.

5° La construction d'une galerie circulaire en béton armé à 0m,20 au dessous de la crête du mur du vivier.

Description

1° Démolition du radier actuel. On commencera par enlever toutes les dalles en pierre granitique formant le fond du radier existant en les débarrassant de toute la chape hydraulique en ciment pouvant y adhérer.

2° Creusement du terrain. On continuera ensuite le travail en déblayant jusqu'à 0m,40 au dessous du point le plus bas, c'est à dire à l'endroit de la vanne du vivier et en donnant au sol une pente de 0.015 par mètre pente qui devra avoir le radier terminé. Cette dernière devra être telle que l'écoulement de l'eau se fera de tous les points du vivier vers la vanne.

3° Remise en état et reprise en sous œuvre du mur du vivier. Si, par suite du creusement les murs du vivier ne sont pas fondés suffisamment bas, il y aura alors lieu de descendre cette fondation de façon à ce que la stabilité de ces murs soit parfaite et l'étanchéité absolue. Pour cela on étaiera le mur à l'endroit de la reprise et après avoir creusé de la profondeur nécessaire on construira la maçonnerie nouvelle jusqu'au dessous du mur actuel en éloignant la couche

en contact avec le vieux mur pour qu'il n'y ait pas de solution de continuité.

5° Reconstruction du radier en béton armé.

Après avoir bien pilonné le sol on étendra sur toute sa surface une épaisseur de galets au pierraille qui sera bien soigneusement et fortement pilonnée, cette couche après compression devra avoir 0.10 d'épaisseur minimum. On continuera le travail par une couche de béton riche de 0.06 d'épaisseur également pilonnée, et après avoir bien lavé les pierres pour les dépouiller de toute matière terreuse, on les posera sur le béton à une distance de 0.75 les unes des autres et dans tous les sens, de façon à ce que les espaces laissés soient en forme de quart d'arondissement (figure) Le radier sera terminé par une couche de béton riche de 0.08 d'épaisseur dans laquelle sera placée une armature métallique en quadrillage. Au droit des rainures existant entre les pierres, des étriers renversés seront placés sur les barres de cette armature qui descendront jusqu'à la couche inférieure

de manière

de manière à intéresser toute la masse du béton.

Ce radier devra au moins pénétrer de 0.15 dans le mur formant paroi du réservoir et à l'intersection du radier avec ce mur, après en avoir nettoyé soigneusement les pierres, il sera fait un enduit en ciment dosé à 1 de sable pour 1 de ciment remontant de 0.30 au dessus du niveau du fond. Ce radier ainsi construit ne devra pas avoir une sous-pression maximum supérieure à 1250k par m. Lors de la vidange complète du vivier on devra donc s'assurer que le niveau extérieur de l'eau au point le plus bas du radier ne devra pas excéder 1m,25 maximum.

Le radier devra être étanche, ainsi que les murs de maçonnerie. On vérifiera cette étanchéité en remplissant le vivier un jour de grande marée et on constatera le niveau du ligne de 10 jours plus tard.

6° Construction de la galerie circulaire. A 0m,20 au dessous du bord supérieur du mur d'enceinte du vivier, il sera établi un plancher en béton armé de 0.00 de

largeur composé d'un hourdis de 0.08 d'épaisseur soutenu par des poutres secondaires de 10x30 de section, et des poutres principales de 20x35 de section. Ce plancher devra pouvoir supporter une surcharge libre de 300k par mètre carré. Il aura une pente de 0.015 par mètre allant vers la paroi du vivier pour que les eaux puissent s'écouler par des orifices ronds de 0.08 de diamètre pratiqués de distance en distance le long de cette paroi. Du côté opposé, vers l'intérieur du vivier, le plancher sera terminé par une bordure de 0.05 de hauteur et de 0.10 de largeur. Toute la surface du plancher sera recouverte d'un dallage en ciment de 0.015 d'épaisseur.

A l'aplomb des poutres principales, il sera fait des trous de queue d'aronde de 0.30 au minimum dans le mur du réservoir pour recevoir l'extrémité de celles-ci et tous les mètres environ des trous pour scellement du hourdis. Ce plancher sera supporté par 14 colonnes en

béton armé

béton armé de 0.20x0.25 de section. Ces colonnes dépasseront de 0.30 au-dessus de la surface du plancher. Dans les balustres ainsi faits, on fixera des tiges de fer fournies par le Labor et qui dépasseront de 0.60 donnant une hauteur totale de 0.90 de garde-corps. 15 autres tiges seront également scellées dans les poutres de rive au milieu de l'intervalle existant entre deux colonnes pour supporter ainsi la main-courante de ce garde-corps.

Les colonnes seront construites de façon à ce que l'une des faces de 0m.25 de largeur soit tournée vers l'intérieur du vivier. Elles auront sur chaque autre face de 0m.20 une rainure de 0.04x0.04 de section transversale descendant jusqu'à 1m.50 au-dessous du niveau du radier. Ces rainures ouvertes à leur partie supérieure serviront à glisser des planches devant augmenter l'ombre portée de la galerie.

Nature et qualité des matériaux

Sable. — Le sable sera de moyen

grain, maigre, bien criant à la main, et ne la tachant pas. Il sera exempt de toute matière terreuse, végétale, ~~ou~~ ou pulvérulente.

En cas contraire, il sera lavé à l'eau courante jusqu'à ce qu'il réponde aux prescriptions ci-dessus énoncées.

Gravier. Le gravier sera de nature siliceuse, bien pur et exempt de toute matière étrangère, il devra passer dans le crible à la maille de 0.027. Il sera lavé s'il ne remplit pas ces conditions

Ciment. Le ciment sera de première qualité, dit de Portland à prise lente, proviendra d'une des usines du Boulonnais admise par le service des Ponts-et-Chaussées pour concourir aux fournitures de l'Etat pour ces travaux à la mer.

Fer. Le fer sera de qualité S.B.

Il sera sans, bien corroyé, sans gerces ni soufflures, il devra résister à 32k par millimètre, avec un allongement de 14%

Dosage des bétons.

Les dosages des bétons seront faits ainsi :

	Galerie (Plancher)	Colonnes et Radier
Gravier	1.000	0.900
Sable	0.500	0.400
Ciment	300k	500k

Délai d'exécution

L'ouvrage complet devra être terminé au 1er Mai 1906.

A partir de cette date, l'Entrepreneur devra payer une amende de 10f,00 par jour ouvrable. Monsieur le Doyen ne sera responsable à aucun titre des imprévues pouvant survenir pendant la durée des travaux.

Addition A. Monsieur Péponnet construira en matériaux légers un réservoir étanche dans lequel plongeront la crépine du tuyau d'aspiration de la pompe et le gros robinet communiquant avec la mer, de manière à ce que pendant les travaux la pompe soit alimentée avec de l'eau venant directement

De la part des propriétaires voisins
Du mitoyen rendues troubles
pendant les travaux.

L'Entrepreneur s'engage
à garantir tous les travaux ci-
dessus contre tout vice de construction
pendant un délai d'une année, à
compter du jour de la réception des
travaux et contre tous les accidents
dont les ouvriers et employés pourraient
être victimes.

Prix de l'Entreprise.

L'entreprise est faite et consentie
par l'entrepreneur au prix forfaitaire
de quinze mille quatre cents francs
(15400f,00) pour l'ensemble des travaux
sauf cependant ceux indiqués au
§3 (remise en état et reconstruction
en sous-œuvre des murs d'enceinte
actuels) qui ne sont qu'éventuelles
prévus et seront en ce cas réglés au
prix de quatorze francs (14.00) par
mètre cube de maçonnerie.

Mode de paiement

1er paiement. Les 5/18

2e paiement Les 5/18 au milieu des travaux
3e " " 5/18 à l'acceptation provisoire
à la fin des travaux.
4e " " 3/18 à l'acceptation définitive
un an après.

Monsieur Péponnet
en outre à acquitter tous les frais
d'enregistrement et de timbre afférents
au présent marché.

Le présent marché ne sera
définitif qu'après l'approbation de Monsieur
le Vice-Recteur de l'Académie de Paris

Fait triple à Paris

Le Doyen
(signé) Appell

L'entrepreneur
(signé) Péponnet

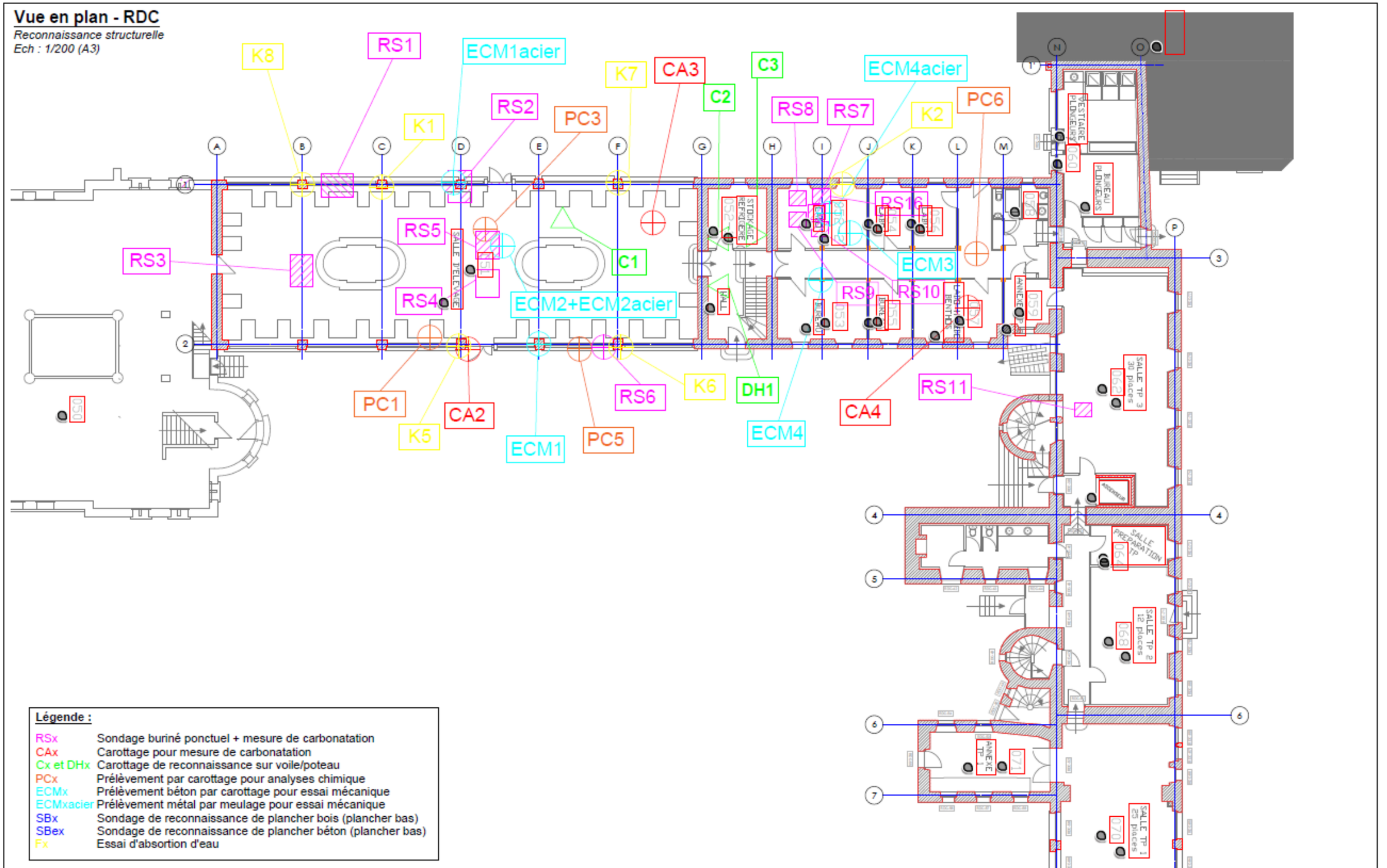
Vu et approuvé
Paris, le 9 Février 1906
Le Président du Conseil de l'Université
(signé) Liard

Enregistré à St Pol, le 13 Février 1906
Reçu: 30f,80
Décimes: 7.70
(signature illisible)

12.7. ANNEXE 07 / PLAN D'IMPLANTATION DES SONDAGES EN RDC / GEOTEC

Vue en plan - RDC

Reconnaissance structurelle
Ech : 1/200 (A3)



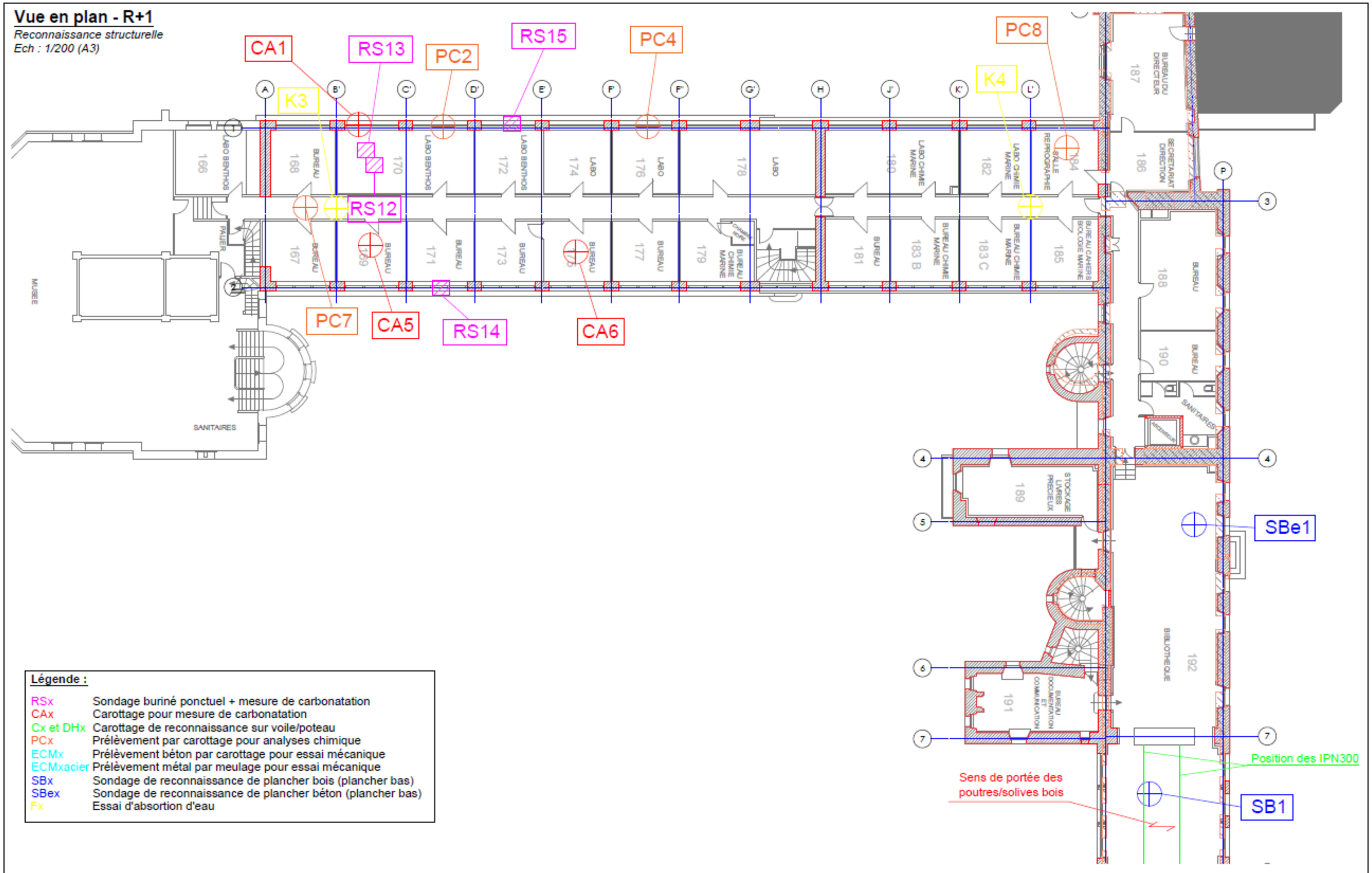
Légende :

RSx	Sondage buriné ponctuel + mesure de carbonatation
CAx	Carottage pour mesure de carbonatation
Cx et DHx	Carottage de reconnaissance sur voile/poteau
PCx	Prélèvement par carottage pour analyses chimique
ECMx	Prélèvement béton par carottage pour essai mécanique
ECMxacier	Prélèvement métal par meulage pour essai mécanique
SBx	Sondage de reconnaissance de plancher bois (plancher bas)
SBex	Sondage de reconnaissance de plancher béton (plancher bas)
Fx	Essai d'absortion d'eau

GÉOTEC ENSEMBLE, CONCEVONS UN AVENIR DURABLE	Dessiné par : R.POMMIER	Le : 20/03/2025	Indice: 0	Annexe 1
	Vérifié par : F. GAUTIER	Dossier n° 2024/11615/NANTS		Page : 1/4

RECONNAISSANCE STRUCTURELLE
STATION BIOLOGIQUE
ROSCOFF

12.8. ANNEXE 08 / PLAN D'IMPLANTATION DES SONDAGES EN R+1 / GEOTEC



Légende :

RSx	Sondage buriné ponctuel + mesure de carbonatation
CAx	Carottage pour mesure de carbonatation
Cx et DHx	Carottage de reconnaissance sur voile/poteau
PCx	Prélèvement par carottage pour analyses chimique
ECMx	Prélèvement béton par carottage pour essai mécanique
ECMxacier	Prélèvement métal par meulage pour essai mécanique
SBx	Sondage de reconnaissance de plancher bois (plancher bas)
SBex	Sondage de reconnaissance de plancher béton (plancher bas)
Fx	Essai d'absortion d'eau

GÉOTEC ENSEMBLE, CONCEVONS UN AVENIR DURABLE	Dessiné par : R.POMMIER	Le : 20/03/2025	Indice: 0	Annexe 1
	Vérifié par : F. GAUTIER	Dossier n° 2024/11615/NANTS		Page : 2/4

RECONNAISSANCE STRUCTURELLE
STATION BIOLOGIQUE
ROSCOFF