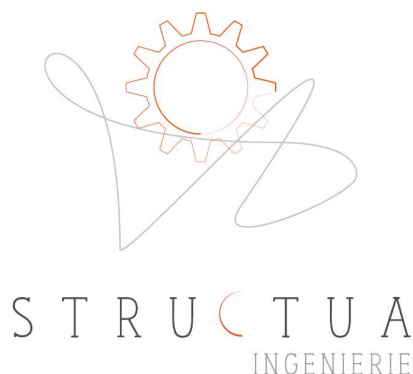


# Rapport de fin d'étude Observatoire de Haute Provence – ONERA

## Dossier Providence ST Michel de l'Observatoire

### *Rapport de fin d'étude – Faisabilité technique*

Bureau d'étude d'Ingénierie :

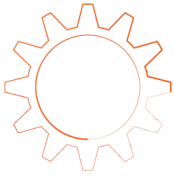


Acheteur :



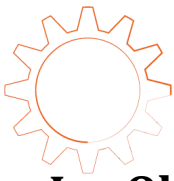
The French Aerospace Lab - Centre de Châtillon  
la Division Leclerc - 92320 CHATILLON

Mise à jour calcul effort horizontal p40	MMO	27/05/2025	D
Mise à jour suite remarques du 25.04.01	MMO	08/05/2025	C
Mise à jour suite réunion du 25.02.14	MMO	27/02/2025	B
Première émission	MMO	07/02/2025	A
DESCRIPTION	EMETTEUR	DATE	IND



# SOMMAIRE

I. Objet de la mission : .....	3
II. Présentation de l'ouvrage existant : .....	4
a- Fonctionnement général : .....	4
b- Détails de la structure « Télescope » : .....	8
c- Détails de fonctionnement structure « Coupole » : .....	13
d- Autres zones d'intérêt structurel .....	17
1- <i>Jonction génie civil avec coupole métallique</i> .....	17
2- <i>Double façade structurelle Sud</i> .....	19
3- <i>Plancher amovible du niveau R+2</i> .....	20
e- Zone d'ombre à faire investiguer .....	21
1- <i>Sondages Gros Œuvre</i> : .....	21
2- <i>Sondages Géotechniques</i> : .....	25
III. Modifications de la structure du bâtiment en vue de PROVIDENCE : .....	28
a- Nouvelle salle Coudée : .....	28
b- Structure porteuse support du nouveau télescope : .....	30
c- Structure porteuse support de la nouvelle coupole : .....	31
IV. Faisabilité structurelle sur la partie « Télescope » : .....	33
a- Méthodologie de l'étude : .....	33
b- Etude d'ingénierie AVANT PROVIDENCE : .....	34
c- Etude d'ingénierie APRES PROVIDENCE : .....	37
V. Faisabilité structurelle sur la partie « Coupole » : .....	47
a- Méthodologie de l'étude : .....	47
b- Etude d'ingénierie AVANT PROVIDENCE : .....	47
c- Etude d'ingénierie APRES PROVIDENCE : .....	50
VI. Conclusion de l'étude : .....	51



## I. Objet de la mission :

Notre bureau d'étude d'ingénierie structure a été mandaté par l'Office National d'Etudes et de Recherches Aérospatiales ONERA afin de réaliser une étude de faisabilité structurelle sur un bâtiment existant au sien de l'Observatoire de Haute-Provence situé sur la commune de Saint Michel l'Observatoire.

Le contenu des axes principaux de notre mission est rappelé ci-dessous :

**Lot N°1** : Caractérisation des éléments porteurs existants.

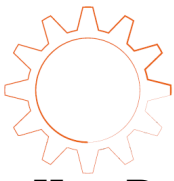
**Lot N°2** : Etude de faisabilité de l'adaptation de la structure mécanique du pilier existant pour accueillir le nouveau télescope.

**Lot N°3** : Evaluation de comptabilité de l'actuelle structure porteuse de la coupole existante pour recevoir la nouvelle coupole.

En résumé, le bâtiment objet du rapport, propriété actuelle du CNRS, fait aujourd'hui l'objet d'une étude de l'ONERA visant à savoir si l'infrastructure existante est capable d'accueillir les nouveaux équipements du projet PROVIDENCE composés d'un nouveau télescope plus performant, une nouvelle coupole et plusieurs instruments d'optique secondaires.



Figure 1 : Vue d'ensemble de l'ouvrage



## II. Présentation de l'ouvrage existant :

### a- Fonctionnement général :

La première partie de notre étude vise à comprendre le fonctionnement de la structure existante, ou plutôt des deux structures existantes.

En effet, le bâtiment est strictement séparé en deux ouvrages structurellement indépendants à savoir une première partie en béton armé supportant le télescope et une deuxième partie en structure mixte poteaux poutres béton armé et maçonneries avec les zones de bureaux, d'expérimentation, d'exploitation et de structure porteuse de la coupole.

Ces deux ossatures sont désolidarisées par un joint sec de plusieurs centimètres permettant à la structure « télescope » et ses équipements d'optiques de précision de ne pas être parasités par les éventuelles vibrations de la structure « coupole » et par les contraintes de dilatation thermiques provenant de l'enveloppe extérieure.

Ce fonctionnement atypique mais classique pour un observatoire astronomique est illustré par les plans ci-dessous où apparaissent en orange la structure « Coupole » et en bleu la structure « Télescope ».

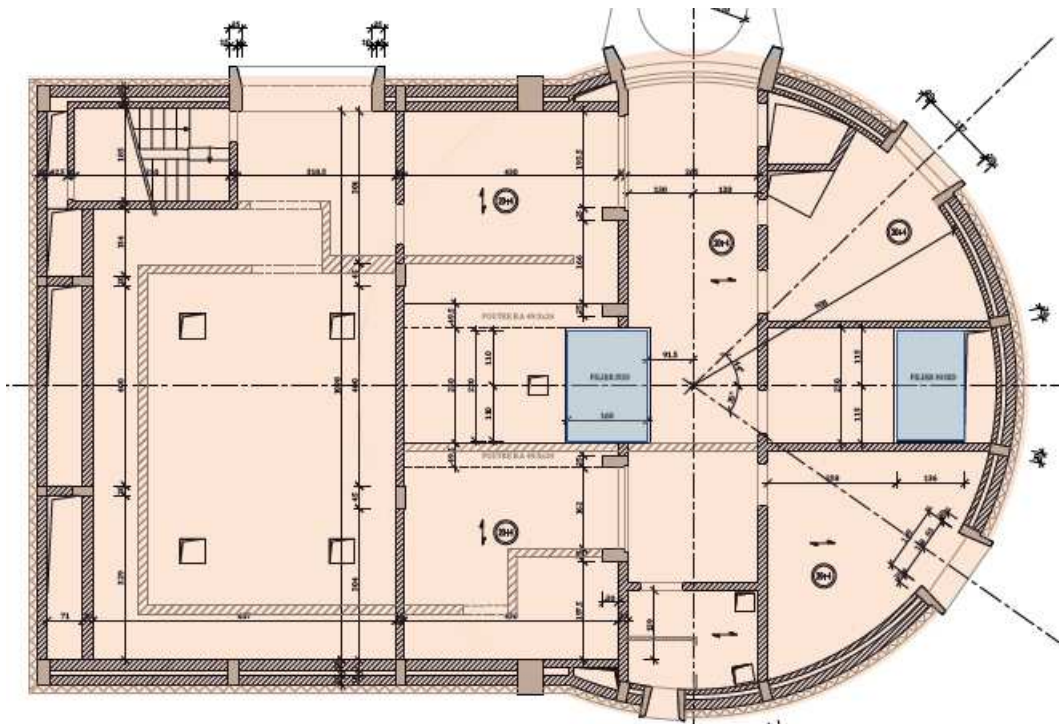
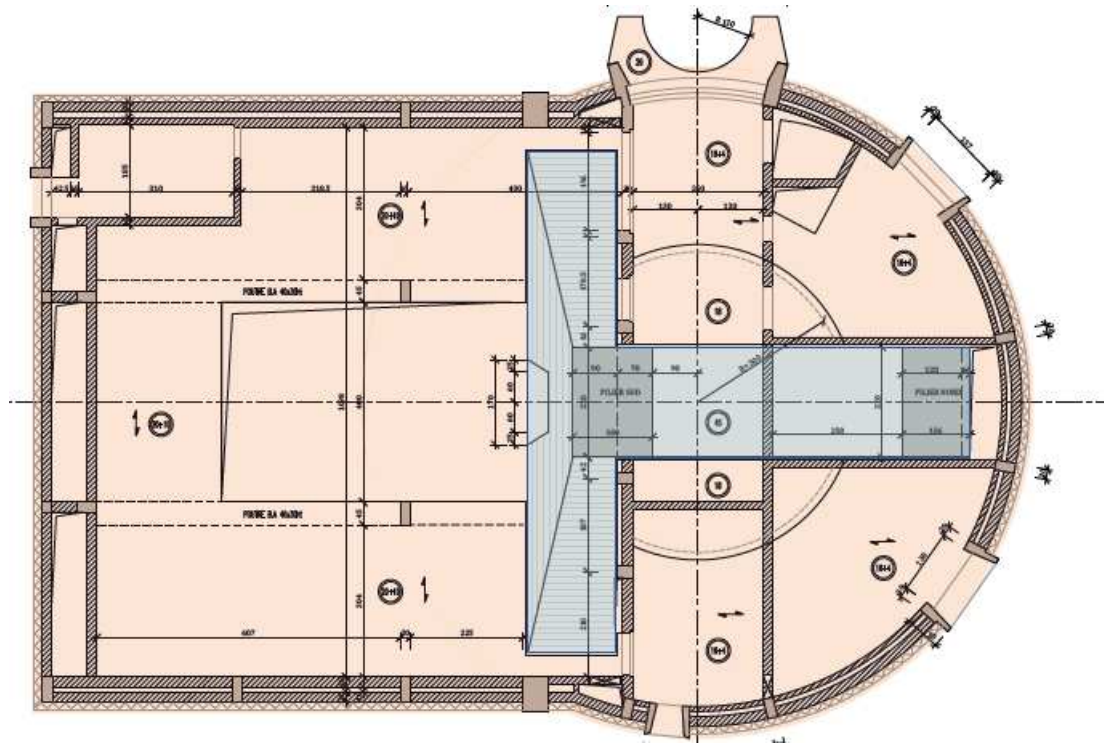


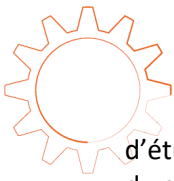
Figure 2: Vue en plan Plancher Haut du RDC





The architectural floor plan depicts a semi-circular hall with a rectangular extension on the left. The rectangular extension contains a staircase and a small room. The semi-circular apse on the right is divided into several smaller rooms. The plan includes dimensions, wall thicknesses, and door locations.

5



Nous précisons ici que les plans de relevé d'existant réalisés par notre équipe sont le fruit d'études basées sur les plans fournis par le client tirés des archives de l'OHP, sur les plans géomètres du cabinet OPSIA et sur les visites de site effectuées fin d'année 2024 et début d'année 2025.

La liste de ces documents est donnée ci-dessous avec quelques extraits :

- Plans EXE Grands Travaux de Marseille GTM datés de Juin 65 intitulés D.24-8, D.24-9 et D.24-10
- Plans architecte DCE de Mrs MARECHAL, SARBERON et COMPTOUR datés de Juin 64
- Détail d'exécution des roulements coupole EXE
- Plans géomètre OPSIA datés d'Octobre 2024 intitulés 19289\_FAC\_P01, 19289\_INT\_P01 et 19289\_COU\_P01

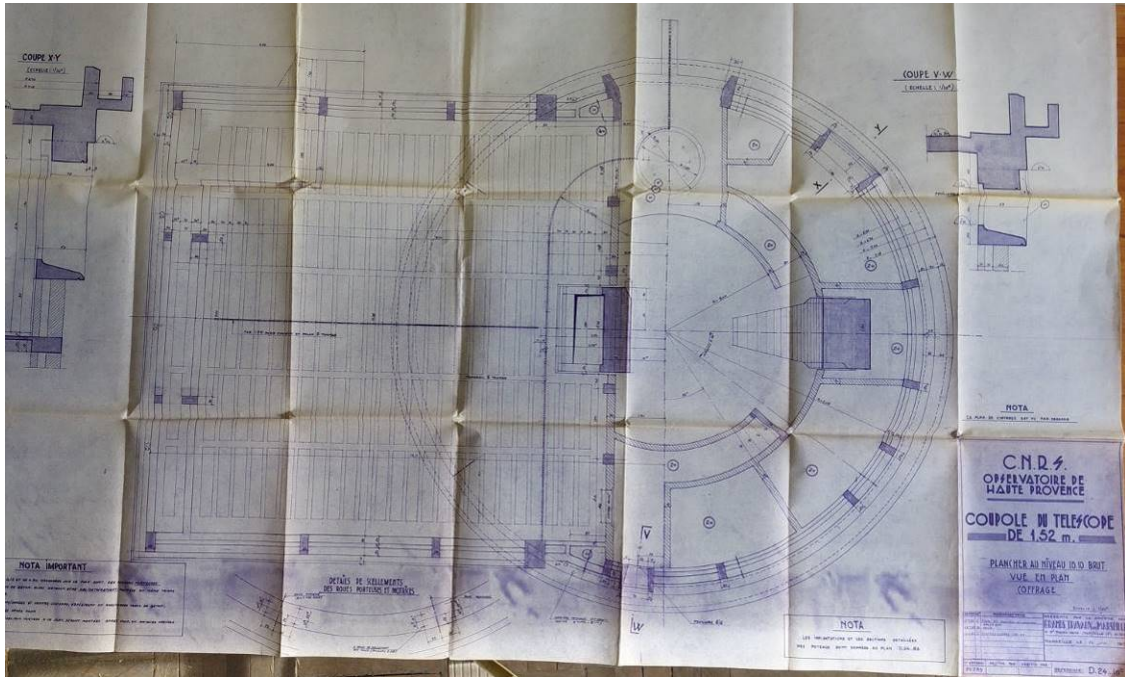


Figure 5 : Exemple Plan EXE GTM

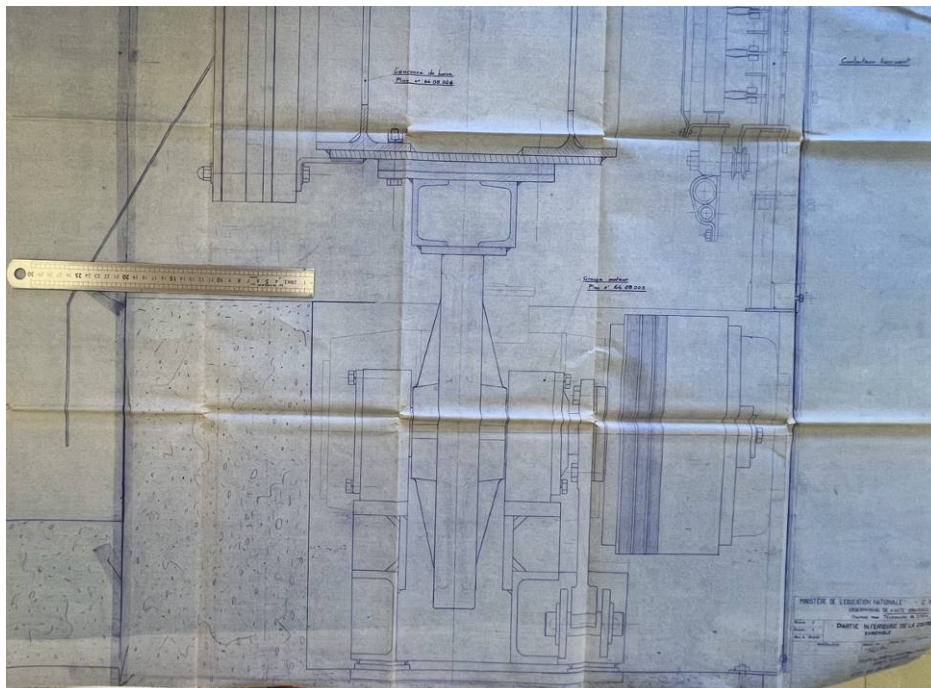
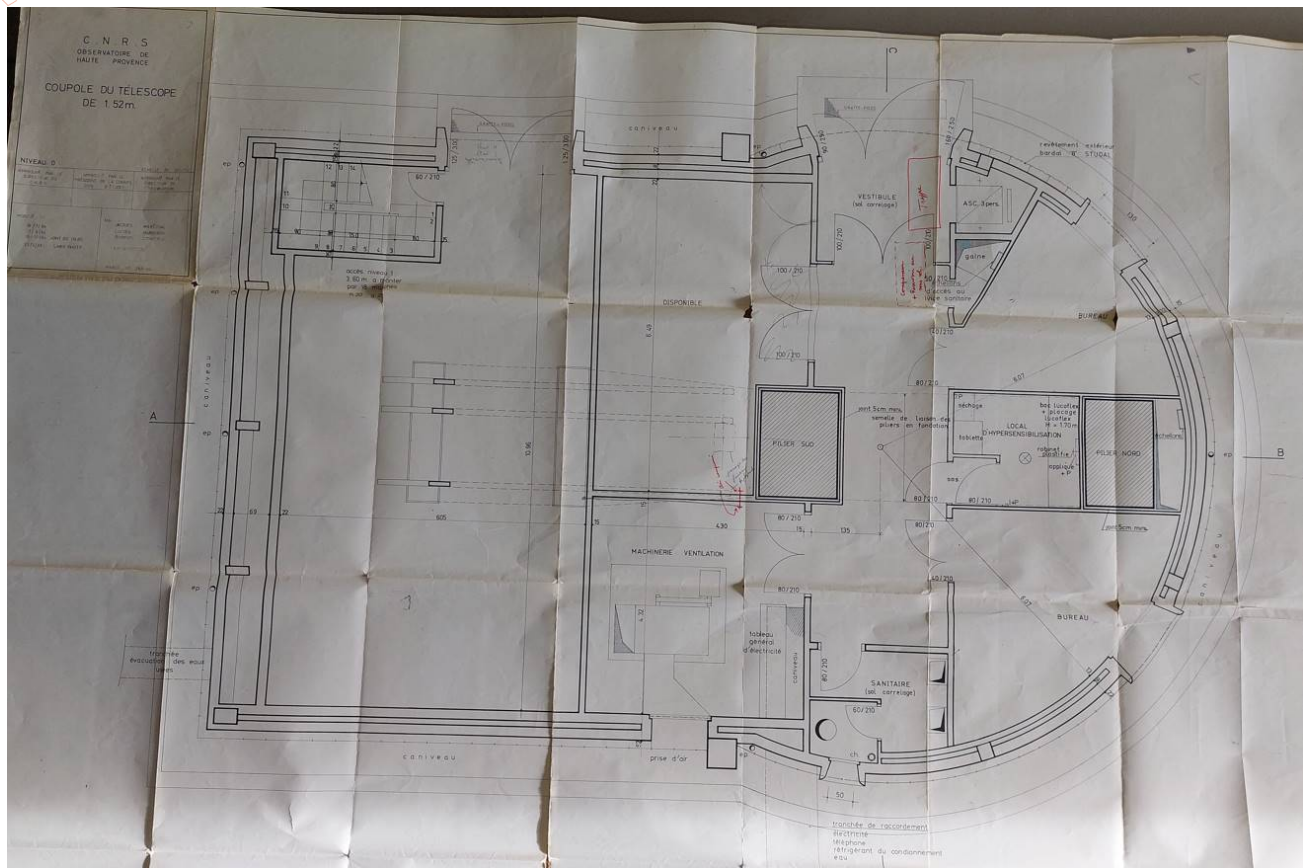


Figure 6 : Extrait Plan EXE Roulement coupole

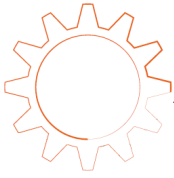




**PLAN DU REZ DE CHAUSSEE**

**PLAN DU NIVEAU 1**

**Figure 8 : Plans géomètre OPSIA**



## **b- Détails de la structure « Télescope » :**

La structure porteuse du télescope est réalisée via deux piliers monumentaux béton armé reliés entre eux à 7.5 m de haut par une dalle épaisse en béton armé coulée en place et fondée probablement sur des semelles superficielles isolées appuyées directement sur le rocher de la colline (hypothèse à vérifier par une future campagne de sondage).

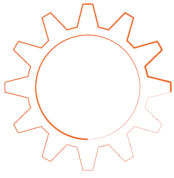


**Figure 9 : Structure Télescope « pilier Sud » peinte en bleue étage R+1**



**Figure 10 : Structure Télescope « pilier Nord » peinte en bleue étage R+3**

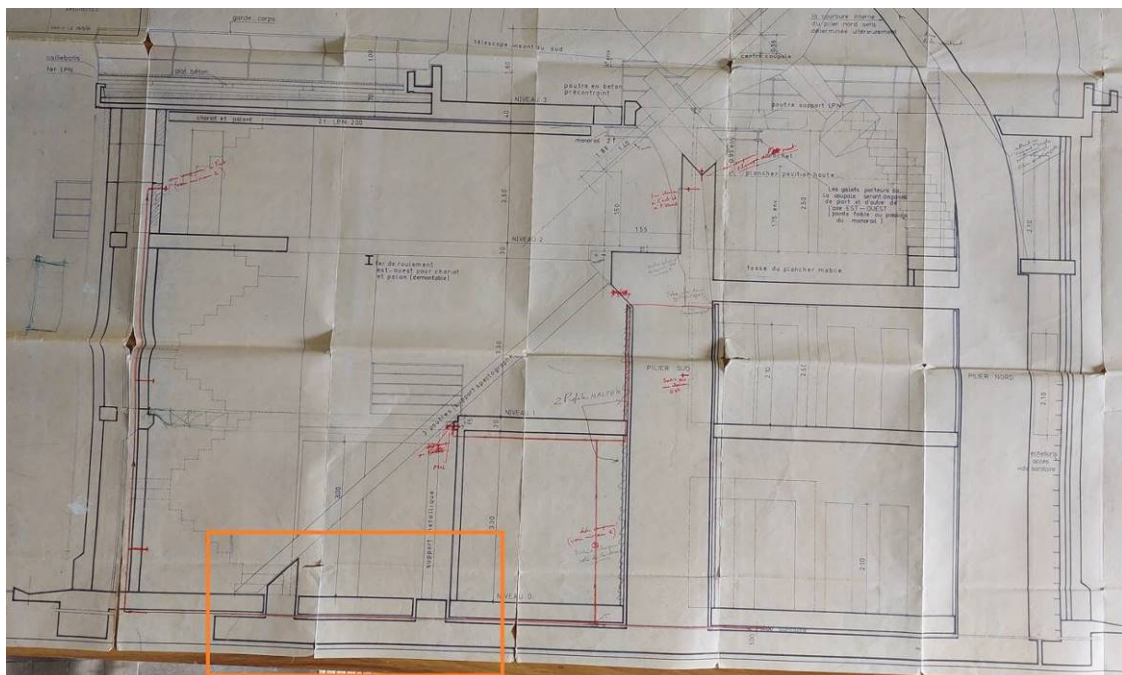




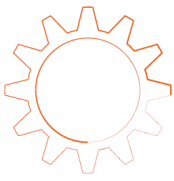
**Figure 11 : Fondations de la structure « Télescope » visible en vide sanitaire**

De plus, d'après les plans d'origine et les propos recueillis auprès des équipes de scientifiques, une troisième structure plus au Sud serait aussi rattachée aux deux piliers monumentaux.

Cette dernière permettait initialement de faire le lien entre le télescope et un spectromètre par l'intermédiaires de deux profilés métalliques aujourd'hui disparus.



**Figure 12: Troisième Structure "Télescope" tirée des anciens plans Architecte**



**Figure 13: Anciennes accroches troisième structure "Télescope"**

Concernant la structure interne des piliers, notre équipe a réalisé une campagne de sondages de reconnaissance des aciers du béton armé par l'intermédiaire d'un Ferroskan de la marque HILTI. Bien que les armatures existent, ces dernières semblent peu nombreuses sans pour autant nous inquiéter sur la solidité de l'ouvrage. En effet, au moment de la construction les réglementations de calcul étaient bien moins consommatrices d'acier et il était même courant de ne pas ferrailler certains éléments porteurs verticaux laissant ainsi travailler pleinement le béton seul en compression, dispositions aujourd'hui proscrites par les Eurocodes 2.

En outre, vu les dimensions des deux piliers, l'absence de fissures inquiétantes et les relatives faibles charges appliquées dessus, la présence d'un ferrailage espacé serait probablement justifiable.

Ci-dessous sont données les observations faites sur les deux piliers via le Ferroskan.



**Figure 14: Zone sondée au R+1 Pilier Sud**

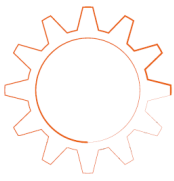


Figure 15: Zone sondée pilier Nord

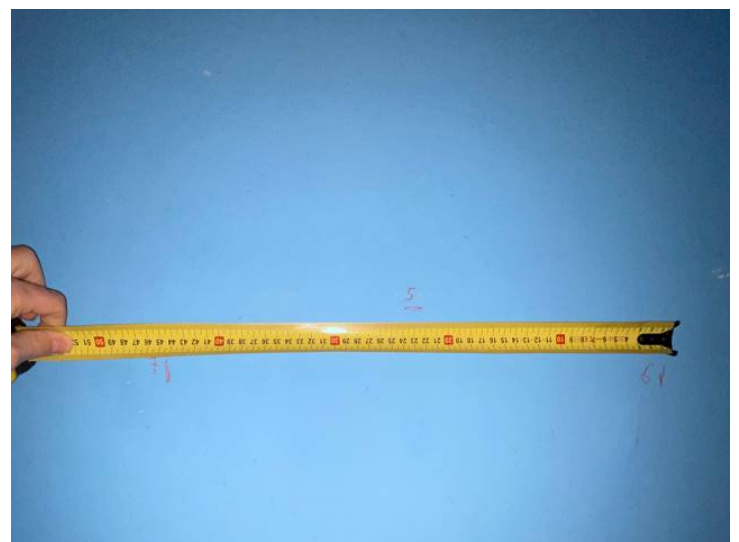
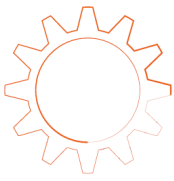


Figure 16: Espacements Verticaux et Horizontaux (identiques piliers Nord et Sud)

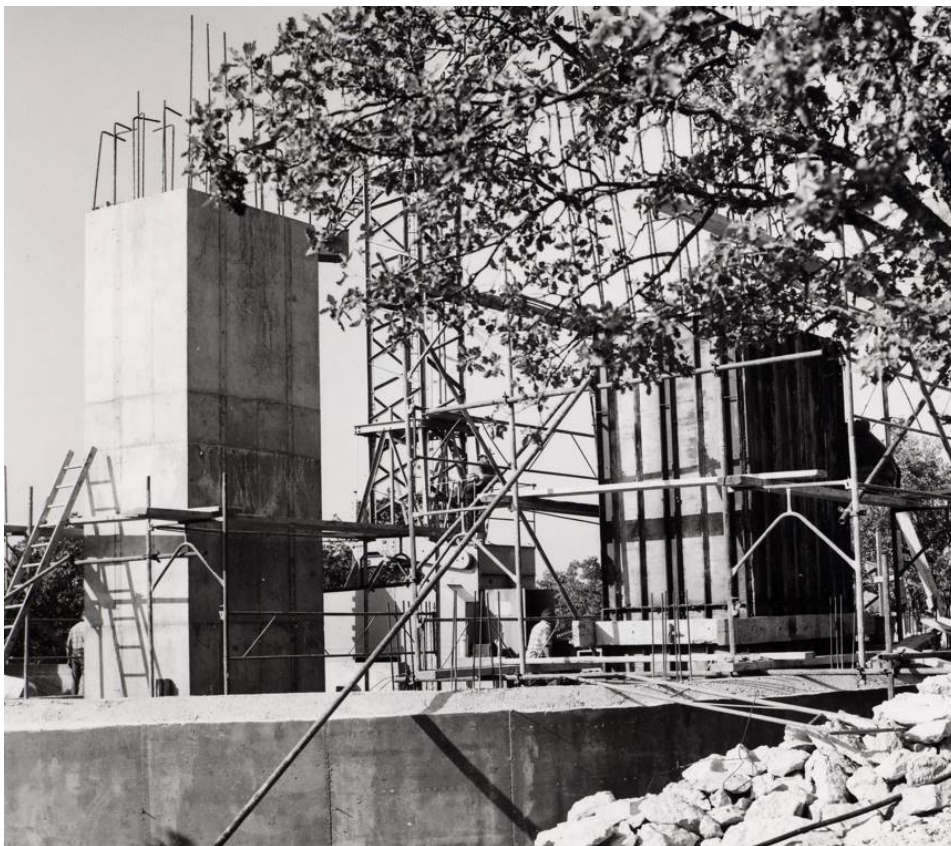




Nous pouvons ainsi voir que les aciers ont un espacement horizontal de 40cm et un espacement vertical de 40cm. Leur enrobage oscille entre 5 et 7cm ce qui est cohérent pour ce type d'ouvrage. Les diamètres semblent être du 14mm.

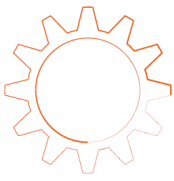
Nous rappelons ici qu'il est très difficile de déterminer avec précision les diamètres des aciers par Ferroskan. En effet, avec le temps, les armatures se corrodent augmentant ainsi légèrement leur diamètre (la corrosion entraînant une augmentation de volume). Il est ainsi nécessaire de faire des investigations destructives ponctuelles pour s'assurer de l'information.

A noter que cette disposition de ferrailage semble confirmée par une photo datant de l'époque de construction :



**Figure 17: Photos d'époque montrant un ferrailage très espacé des aciers verticaux des piliers**

Dans la seconde partie de l'étude (lot n°2), ces données récoltées seront analysées par le calcul au niveau du modèle par éléments finis avant les adaptations envisagées dans Providence.



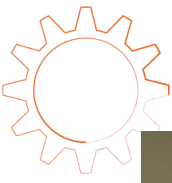
### **c- Détails de fonctionnement de la structure « Coupole » :**

L'ossature du reste du bâtiment dénommée structure « Coupole » est réalisée par l'intermédiaire d'éléments poteaux/poutres béton armé associées à de la maçonnerie en aggloméré de béton porteuse.

Les planchers quant à eux sont réalisés, selon les plans d'époque, avec des dalles coulées en place et avec des planchers poutrelles hourdis 20+4 c'est-à-dire 20 cm de poutrelles préfabriquées béton armé avec hourdis en corps creux béton surmontés d'une dalle de compression béton armé coulée de 4 cm. Ce type de structure, encore largement utilisée de nos jours, confèrent une rigidité importante en élévation et est encore parfaitement saine malgré la présence de plusieurs zones de fissurations superficielles dues à l'âge avancée de la structure et au mariage béton/maçonnerie entraînant des différentiels de rigidité et de comportement à la dilatation thermique.



**Figure 18 : Prise de vue en R+1 de la structure coupole**



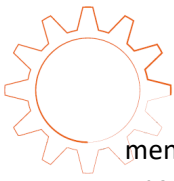
**Figure 19 : Prise de vue des planchers hauts en R+2 de la structure coupole**

Les fondations quant à elles sont probablement réalisées par des semelles filantes elles aussi appuyées directement sur le rocher comme en témoignent les structures de soubassement linéaires du vide sanitaire.



**Figure 20 : Présence de soubassements linéaires BA en vide sanitaire**

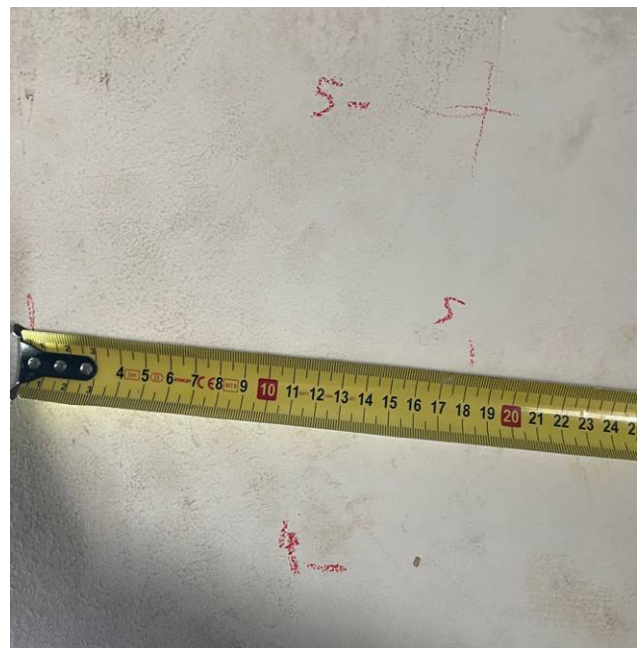




De la même manière que pour la structure télescope quelques sondages Ferroskan ont été menés sur cette ossature. Comme pour les piliers monumentaux, les poteaux investigués montrent une densité de ferrailages assez faibles au regard des réglementations actuelles.



**Figure 21: Sondage sur pilier périphérique en façade**



**Figure 22: Espacements Verticaux et Horizontaux**

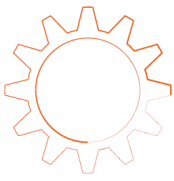


Figure 23: Zone sondée sur pilier central



Figure 24: Espacements Verticaux



Pour le poteau en façade, nous pouvons ainsi voir que les aciers ont un espacement horizontal d'environ 15cm (donnant l'espacement des cadres) et un espacement vertical (donnant l'espacement des aciers longitudinaux proche de la largeur totale) de 18cm. Leur enrobage oscille entre 4 et 6cm ce qui est cohérent pour ce type d'ouvrage. Les diamètres semblent être du 12mm pour les longitudinaux et du 6mm pour les cadres. Ces valeurs devront être confirmées par sondage destructif ponctuel.

Ces structures étant sollicitées d'une manière équivalente qu'actuellement dans le cadre du projet Providence et à la vue de leur bon état d'ensemble, il n'existe aucune raison visuelle de penser que la stabilité de ces ossatures soit à remettre en question.

## **d- Autres zones d'intérêt structurel**

### ***1- Jonction génie civil avec coupole métallique***

Une demande de la mission vise à s'attarder sur la jonction existante entre la coupole métallique mobile et la structure béton armé support. Lors de notre deuxième visite de site, nous avons pu observer la mécanique de rotation en enlevant plusieurs capotages mécaniques.

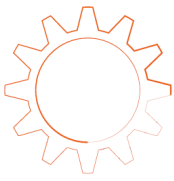


**Figure 25 : Photo de la jonction basse coupole / dalle béton**

Nous avons ainsi pu constater que les roulements sont assurés par des roues métalliques mus par deux moteurs électriques étaient fixes et directement scellés dans le béton armé. En effet, ces dix roues entraînent un rail suspendu limitant ainsi à dix points la jonction avec la structure diminuant au minimum les vibrations transmises par la rotation de la coupole en fonctionnement.

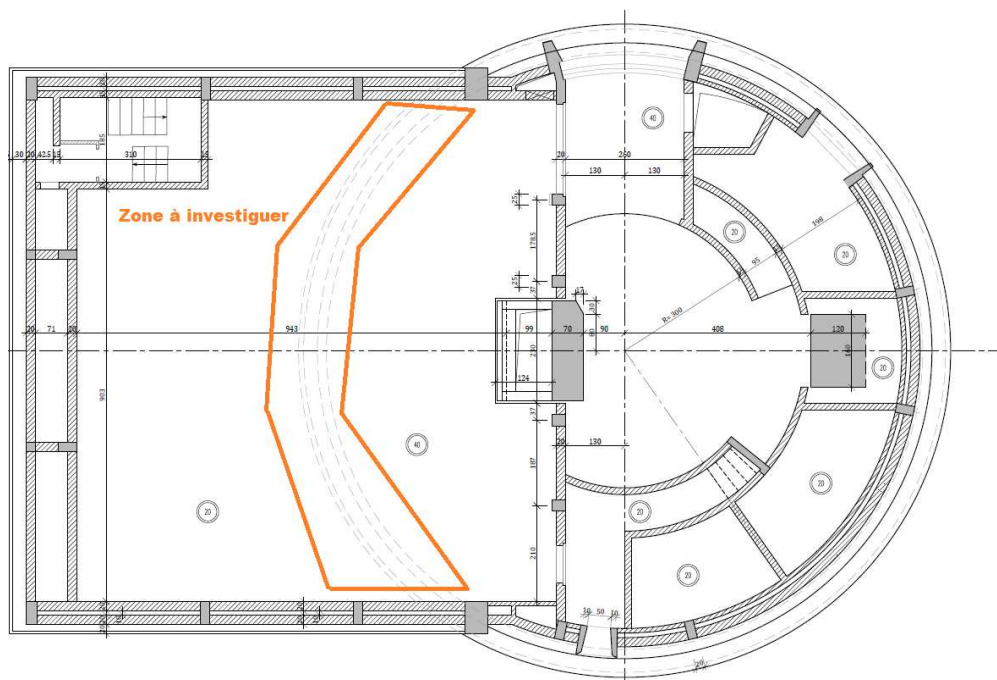
Ces efforts sont ensuite transmis à une structure porteuse horizontale de grande portée puisqu'aucun poteau n'est présent dans la salle principale du R+2. Cette structure n'a pour le moment pas pu être observée car noyée dans le béton armé et devra faire l'objet d'une campagne d'investigation complémentaire pour comprendre au mieux son fonctionnement.





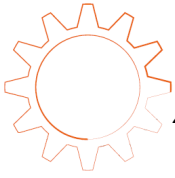
**Figure 26 : Roues fixées au sol sur dalle bétons**

A noter que la capacité de reprise des efforts horizontaux des amortisseurs visibles sur les roues ne sera pas abordée par manque d'informations quant à leur sujet malgré leur probable utilité majeure dans le fonctionnement de la mécanique d'ensemble.



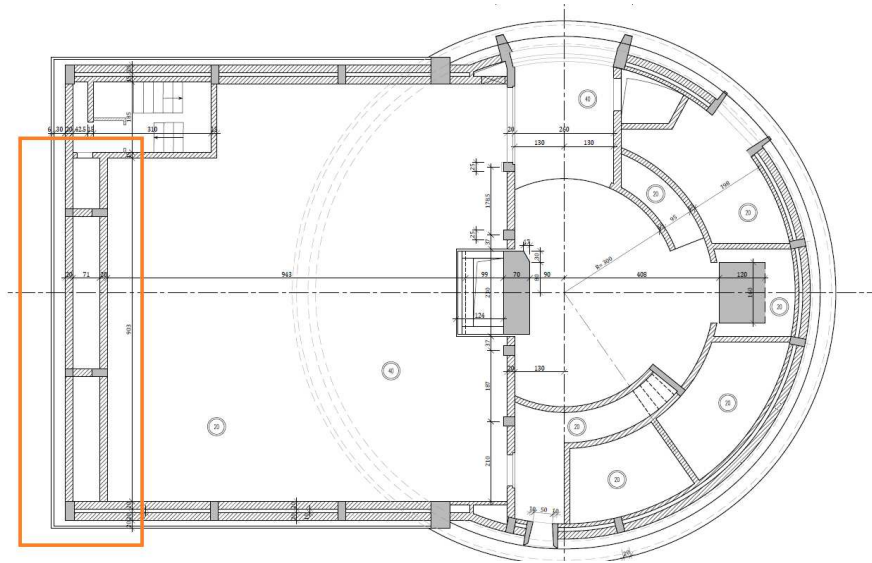
**Figure 27: Zone à investiguer en PH R+2**

Dans le cas où il ne serait pas possible de caractériser cette zone structurale, le projet devra se forcer de conserver la répartition actuelle des appuis pour ne pas modifier les descentes de charge.



## 2- Double façade structurelle Sud

Les vues en plan des documents d'origine de la construction montrent une particularité au niveau de la façade Sud. En effet, deux murs parallèles avec un espace vide de 70cm sont dessinés à chaque niveau illustrant la présence d'une double paroi structurelle.



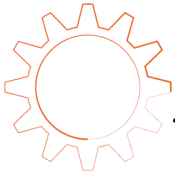
**Figure 28: Double ossature toute hauteur en façade Sud**

Cette particularité a pu être observée sur place lors de notre visite grâce à un accès empruntable à partir du dernier palier d'escalier.



**Figure 29: Espace vide en façade Sud**

Structurellement parlant, cette double structure ne présente pas d'intérêt technique. Sa présence semble donc être d'utilité thermique. Une raison possible évoquée par l'équipe du CNRS serait que cette configuration permettrait de découpler thermiquement l'intérieur et l'extérieur du bâtiment limitant ainsi les variations de température trop importantes qui pourraient perturber le télescope.



### 3- Plancher amovible du niveau R+2

Au niveau R+1, nous pouvons voir en levant la tête à proximité des deux piliers de la structure « Télescope » une zone décaissée de l'ossature bleue. Après discussion avec les équipes de l'OHP, il s'avère que cette partie est le siège d'un plancher mobile au R+2 sur la pièce qui abrite le télescope. Ce plancher pouvant changer d'altimétrie permet de récupérer en toute sécurité le miroir principal du télescope pour réaliser des opérations de maintenance.

Cette particularité est impérativement à prendre en compte pour concevoir la future structure de la nouvelle salle Coudée.

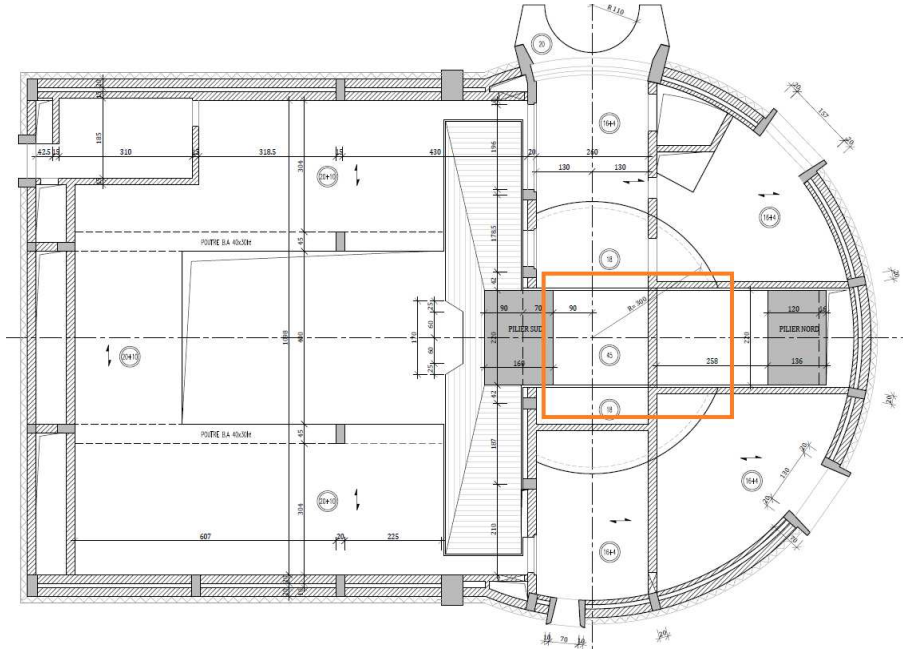
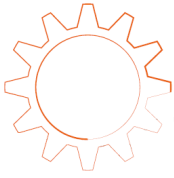


Figure 30: Zone avec plancher mobile en PH R+1



Figure 31: Plancher mobile pour maintenance du miroir principal





## e- Zone d'ombre à faire investiguer

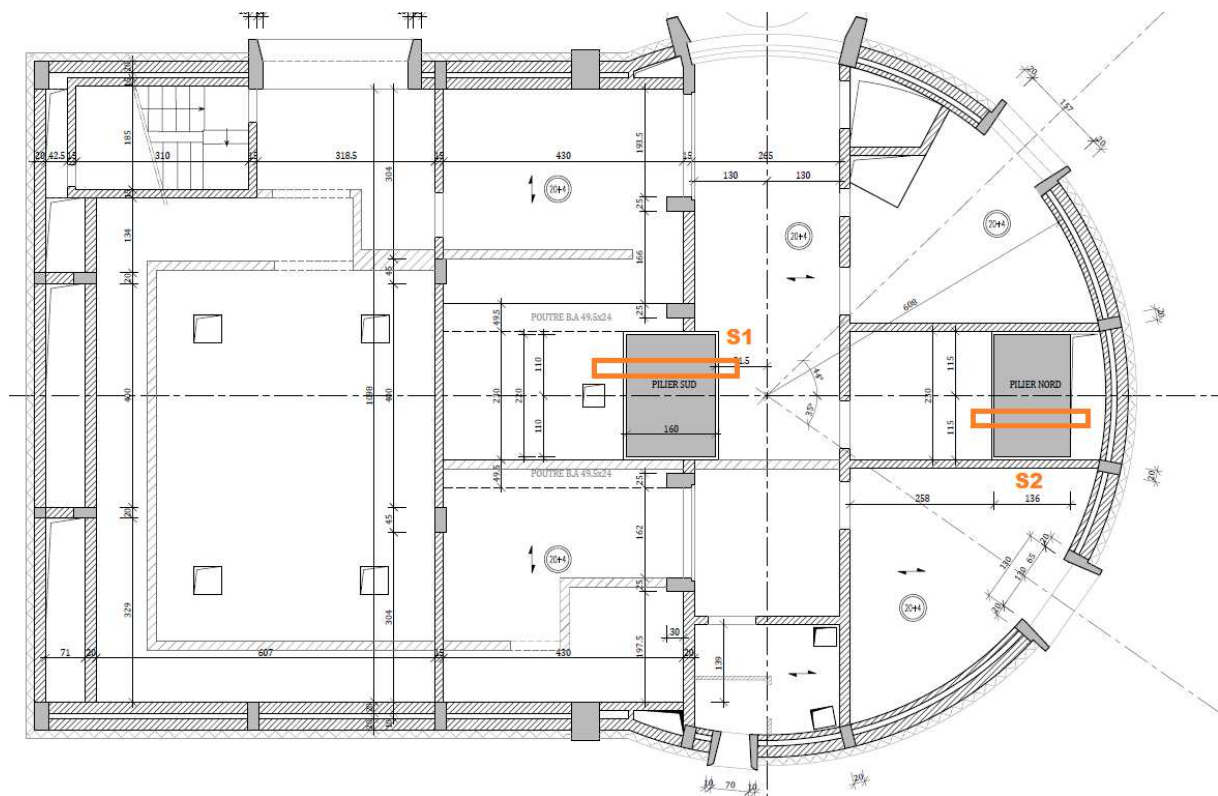
A la fin de notre étude de la structure existante, notre équipe a mis en évidence plusieurs zones d'ombre dont la compréhension plus poussée permettrait de minimiser les risques quant à la réhabilitation du bâtiment en vue du projet Providence.

Ainsi, deux cahiers des charges de sondages géotechniques et gros œuvre ont été établis en vue de ces probables investigations complémentaires. Ces derniers sont donnés ci-dessous :

Les plans et la liste présentés ci-dessous précisent les sondages à réaliser et les résultats attendus :

### 1- Sondages Gros Œuvre :

#### ➤ S1 et S2 – Sondages sur piliers monumentaux



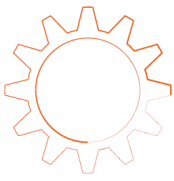
**Localisation :** Piliers en RDC.

#### **A réaliser :**

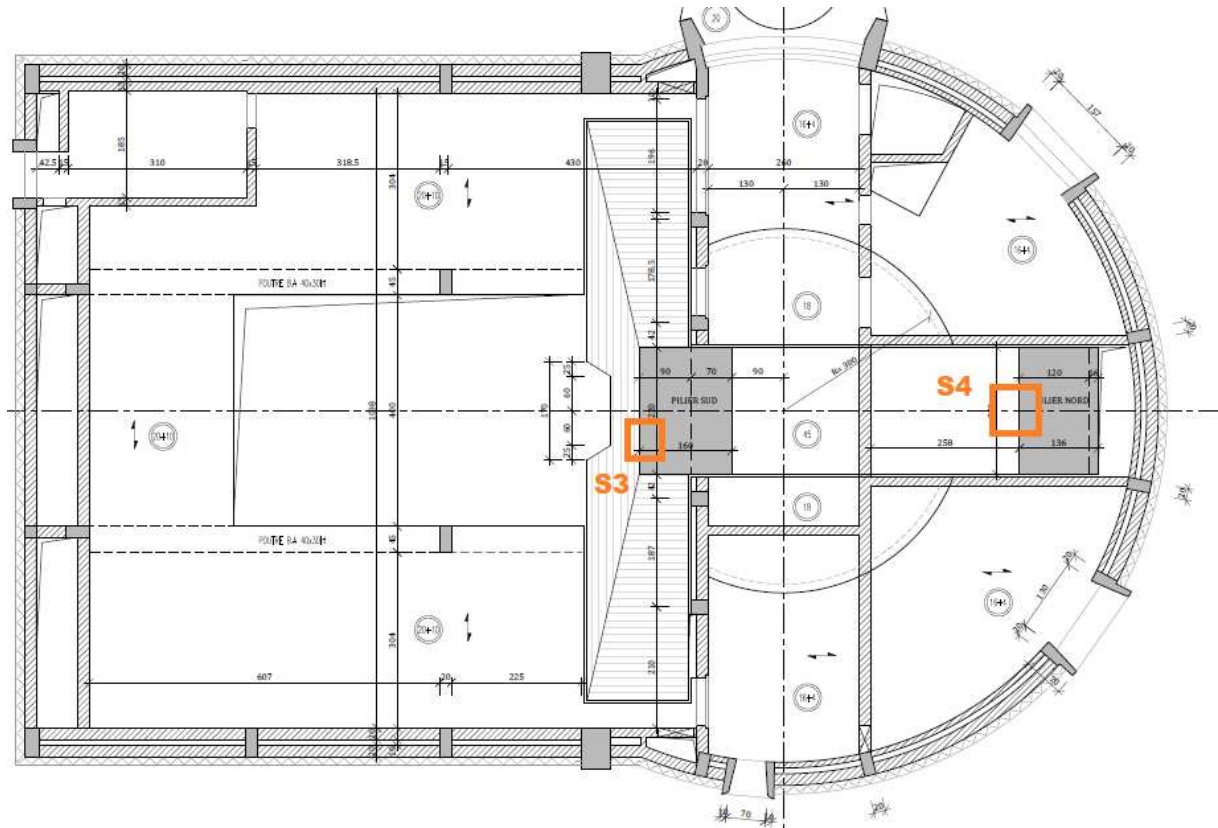
- Percement via perforateur sur a minima la moitié de l'épaisseur - diamètre minimum 10mm sur plus de 80 cm de profondeur.
- Ce sondage est à réaliser sur deux endroits de chacun des deux piliers (4 sondages en tout).

#### **Résultats attendus :**

- Reconnaître si les piliers présentent une cavité vide en son milieu.



➤ **S3 et S4 – Sondages sur piliers monumentaux**



**Localisation :** Piliers en R+1.

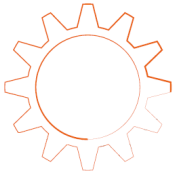
**A réaliser :**

- Percement via perforateur sur maximum 10cm de profondeur.
- Ce sondage est à réaliser sur deux endroits de chacun des deux piliers (4 sondages en tout).

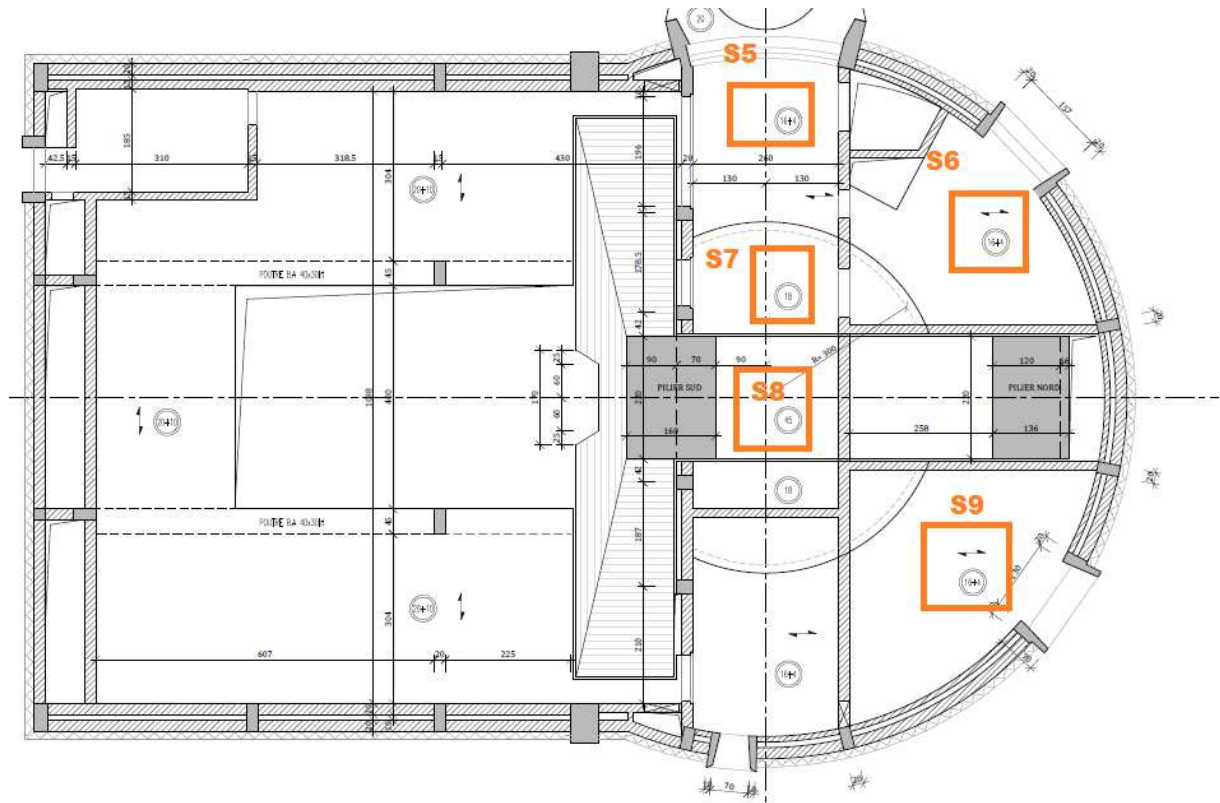
**Résultats attendus :**

- Reconnaître le diamètre des aciers en présence.

A noter que des reconnaissances via Ferroskan ont déjà été effectuées permettant de connaître avant sondage maçonnerie la position des fers et leur profondeur approximative.



➤ **S5, S6, S7, S8 et S9 – Sondages en planchers haut**



**Localisation :** Plancher Haut R+1 zone Nord.

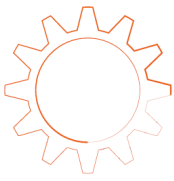
**A réaliser :**

- Sondages via mèche ou spatule sur une bande de 70cm de longueur et 10cm de largeur.

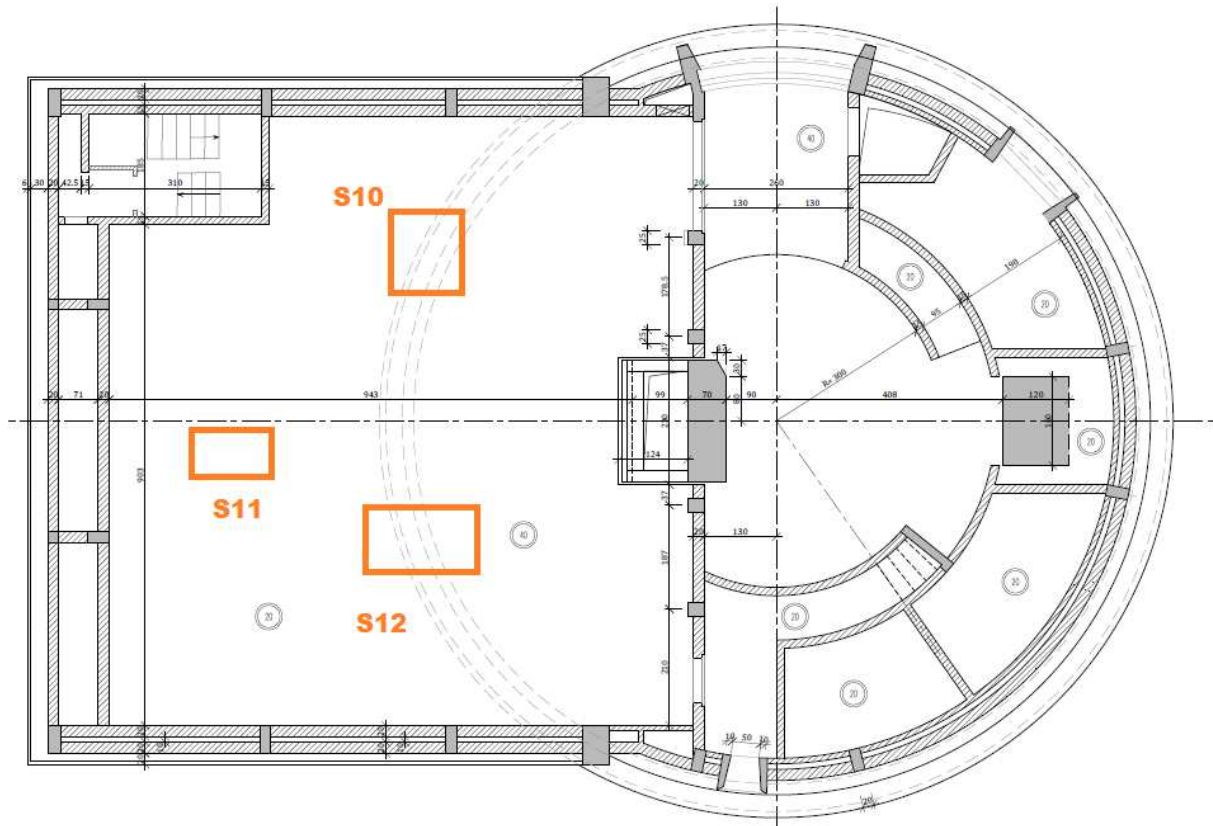
**Résultats attendus :**

- Reconnaître la nature des planchers (coulé en place ou poutrelles hourdis) et s'assurer de leur sens de portée.
- Dans le cas où les dalles sont coulées en place (forte probabilité uniquement pour S7 et S8), reconnaître le diamètre et les espacements des aciers en présence.





➤ S10, S11 et S12 – Sondages en planchers haut



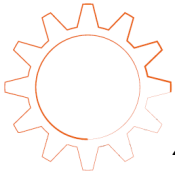
**Localisation :** Plancher Haut R+2 zone centrale.

**A réaliser :**

- Sondages via mèche ou spatule sur une bande de 70cm de longueur et 10cm de largeur.
- Aucun percement à la verticale traversant pour éviter de toucher l'étanchéité de l'ouvrage.

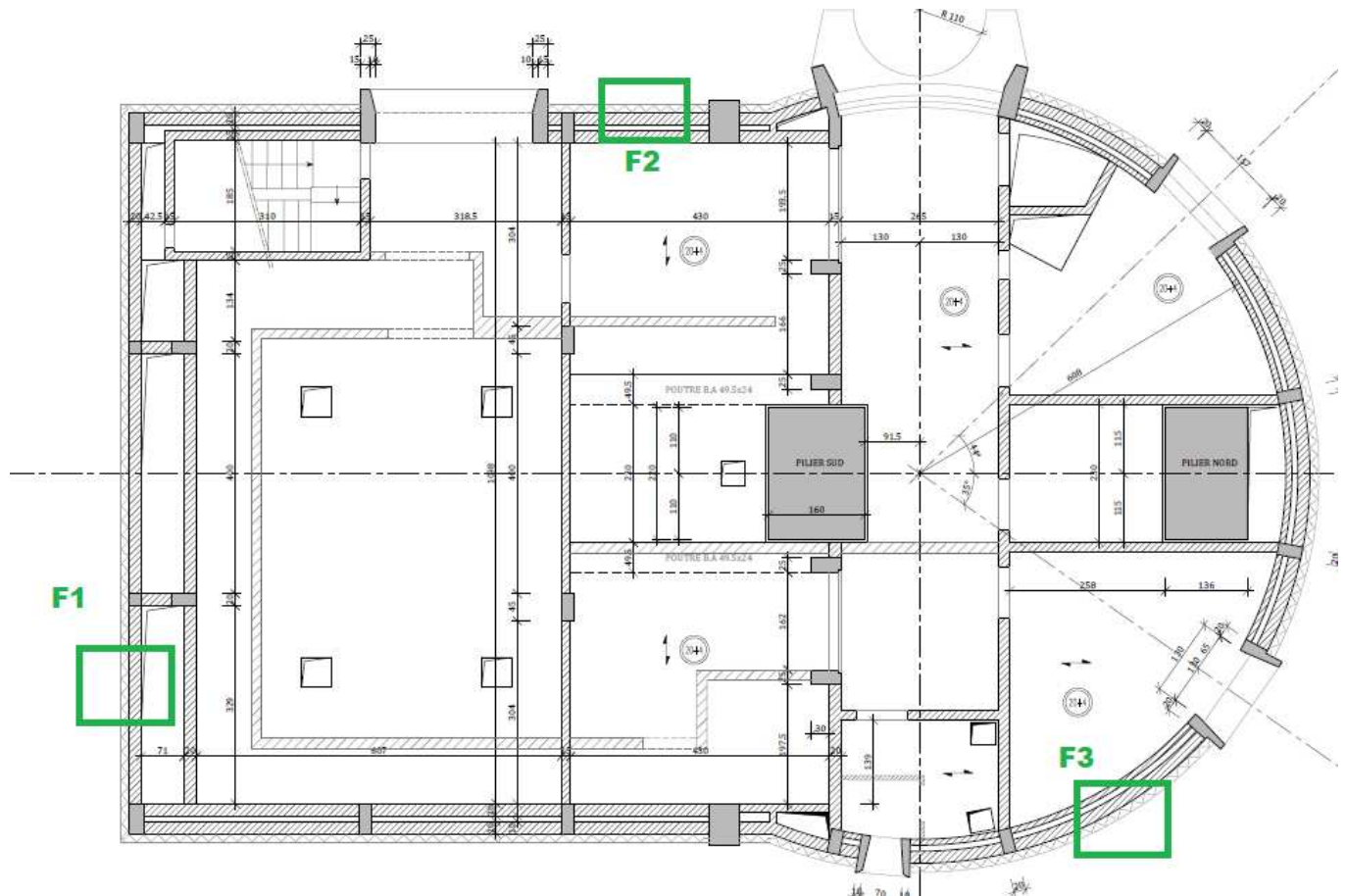
**Résultats attendus :**

- Reconnaître la nature des planchers (coulé en place ou poutrelles hourdis) et s'assurer de leur sens de portée.
- Dans le cas où les dalles sont coulées en place, reconnaître le diamètre et les espacements des aciers en présence.
- Comprendre comment la structure de la coupole est reprise en plancher haut du R+2.



## 2- Sondages Géotechniques :

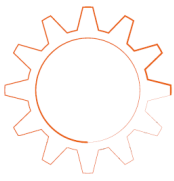
### ➤ F1, F2 et F3 – Reconnaissances de fondations en façade



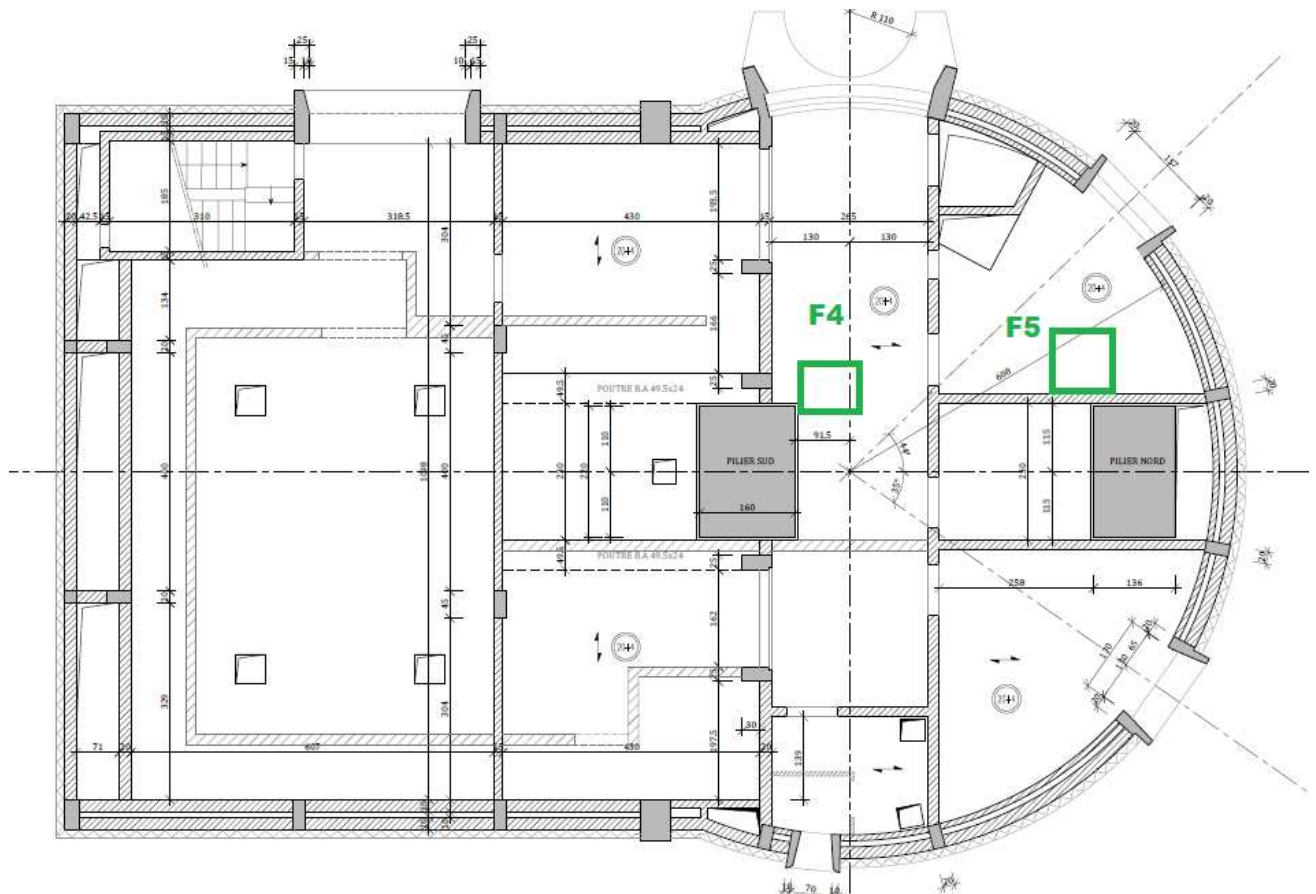
**Localisation :** En pied de façade.

#### **Résultats attendus :**

- Reconnaître les dimensions et profondeurs des fondations existantes.



➤ **F4 et F5 – Reconnaissances de fondations intérieures**

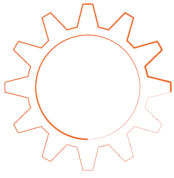


**Localisation :** A l'aplomb des piliers monumentaux.

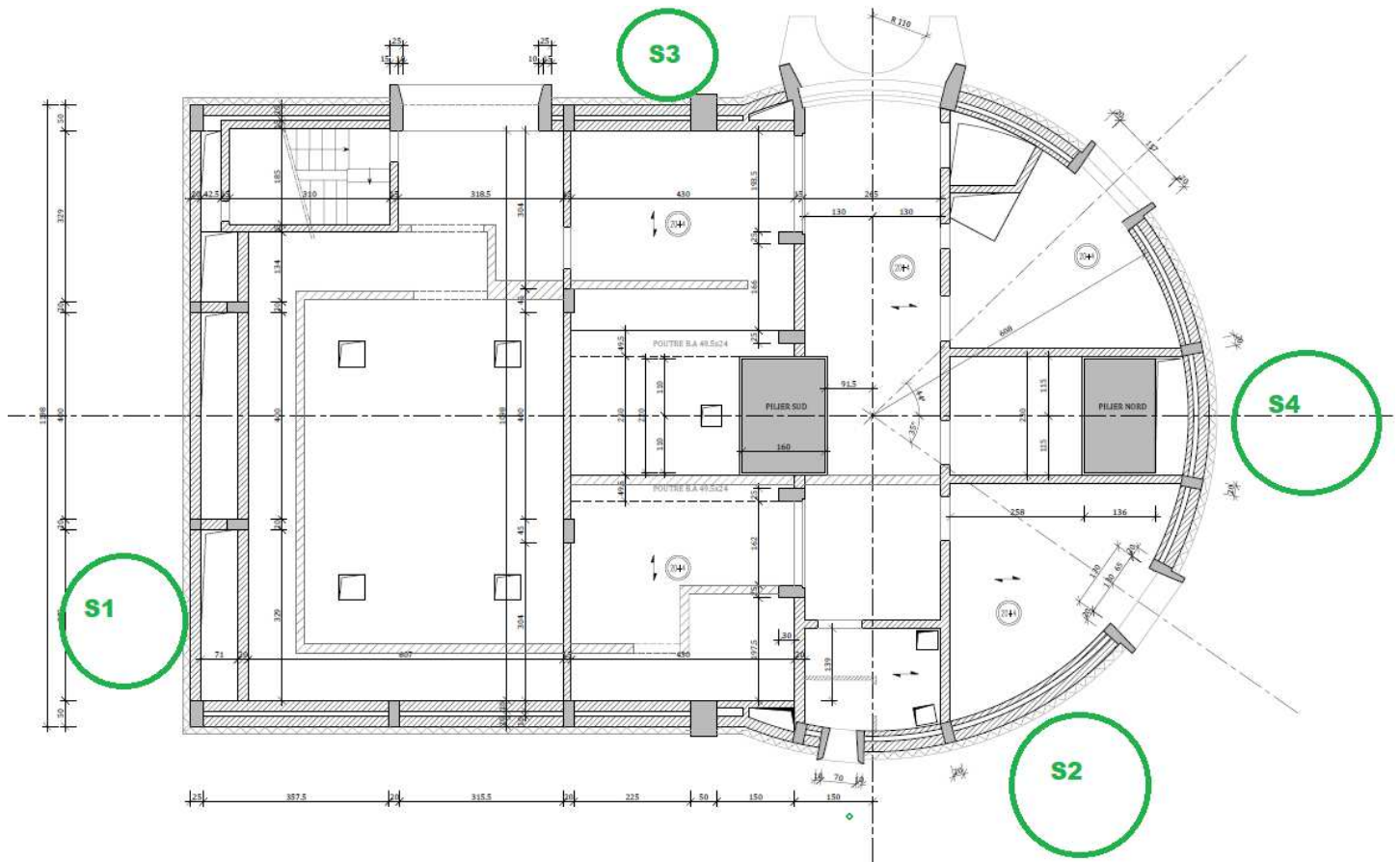
**Résultats attendus :**

- Reconnaître les dimensions et profondeurs des fondations existantes.





➤ S1, S2, S3 et S4 – Sondages via pénétromètre et pressiomètre



**Localisation :** En périphérie du bâtiment.

**A réaliser :**

- Sondages pénétromètre et pressiomètre.

**Résultats attendus :**

- Reconnaître la nature du sol en présence dans le cadre de la réhabilitation du bâtiment avec augmentation importante des descentes de charge verticales.

Ces informations nous paraissent essentielles pour pousser la gestion de risque de la présente faisabilité technique structurale.

A noter néanmoins que ces investigations ne font pas parties du cadre de notre étude et qu'une éventuelle extension de mission pourra nous être demandée par le client pour mettre à jour notre rapport.



### **III. Modifications de la structure du bâtiment en vue de PROVIDENCE :**

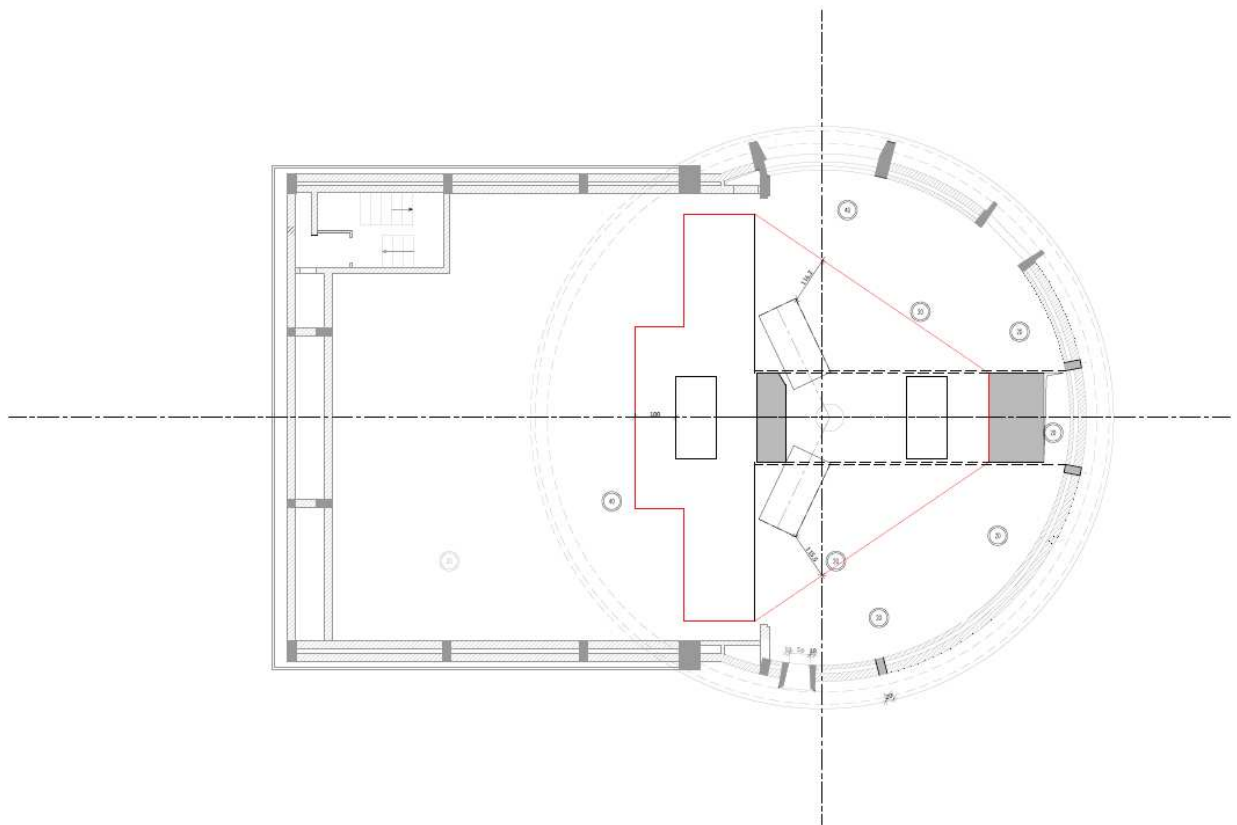
#### **a- Nouvelle salle Coudée :**

L'aménagement du nouveau télescope est associé à la création d'une salle Coudée possédant quatre bancs optiques rattachée impérativement à la structure « télescope ».

Le cahier des charges demandé par l'Onera est rappelé ci-dessous :

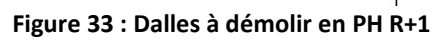
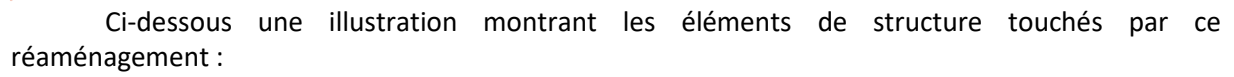
« La conception du pilier doit intégrer un espace de plateforme solidaire du pilier pouvant accueillir 4 bancs optiques de dimension 2 m x 1 m et leurs équipements associés (baies électroniques, refroidisseurs) pour une masse individuelle maximale de 1000 kg par ensemble banc optique + équipements associés. Les bancs optiques sont représentés en noir sur le schéma ci-dessous. Un espace de circulation de 1 m de large minimum doit être prévu autour des bancs optiques pour la circulation du personnel opérant l'installation. La hauteur sous plafond de la salle Coudée doit être supérieure à 2,3 m ».

Afin de respecter ces directives, notre équipe propose un aménagement tel que défini ci-dessous :



**Figure 32 : Proposition d'aménagement de la salle Coudée au R+2**

Cet aménagement nécessite la démolition de dalles en Plancher Haut du R+1 (PH R+1) de la structure « Coupole » et la Reprise en Sous Œuvre (RSO) de dalles conservées et de voiles porteurs verticaux de l'étage R+2 tout en conservant les désolidarisations des deux structures.





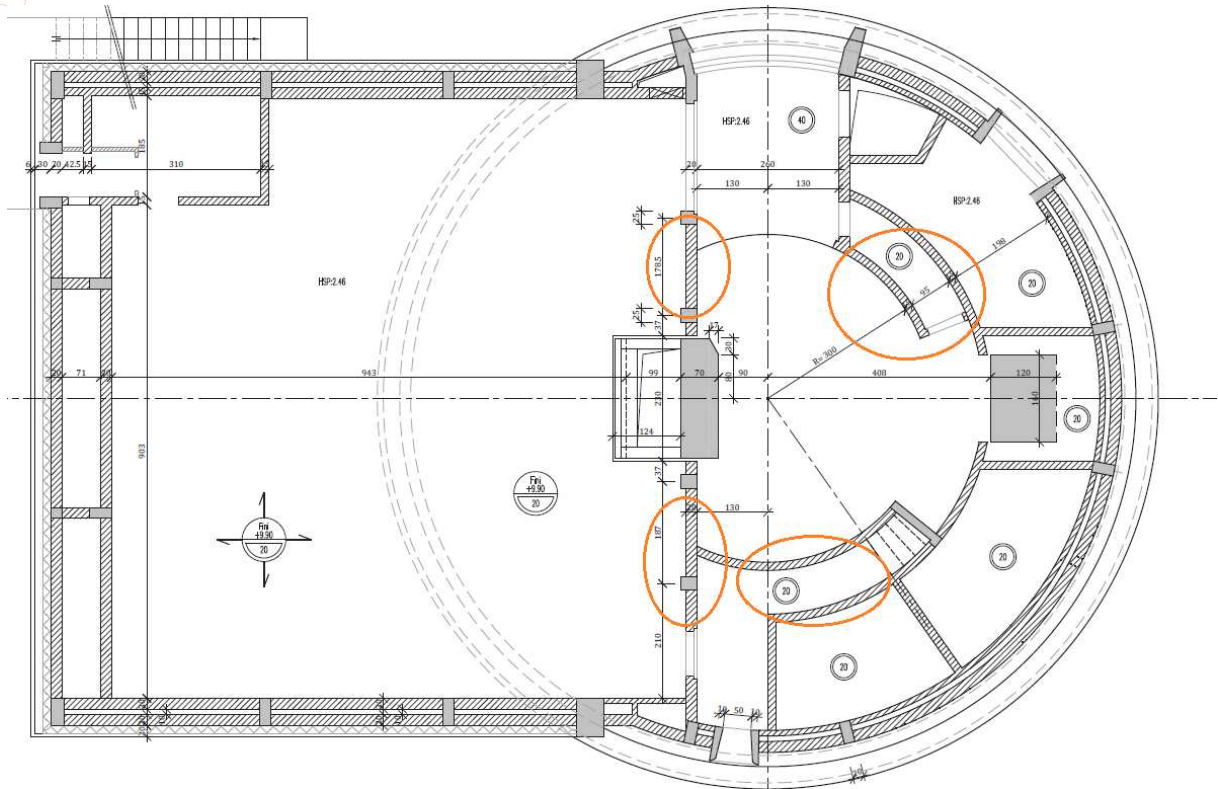
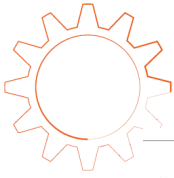


Figure 35 : Voiles en R+2 à reprendre en sous-œuvre

## b- Structure porteuse support du nouveau télescope :

Le nouveau télescope à mettre en place est un appareil optique fonctionnant différemment de l'actuel télescope T152 et avec des caractéristiques dimensionnelles et mécaniques d'une toute autre ampleur :

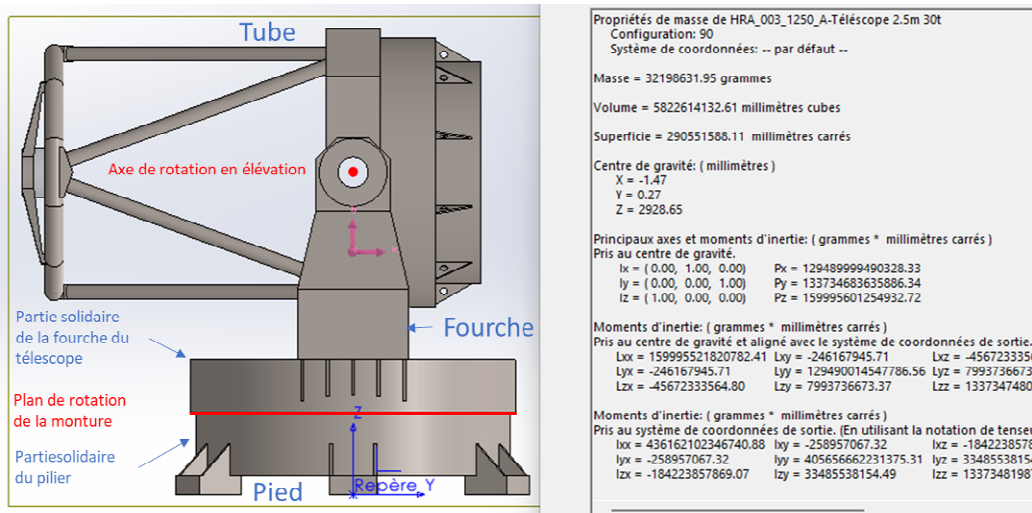
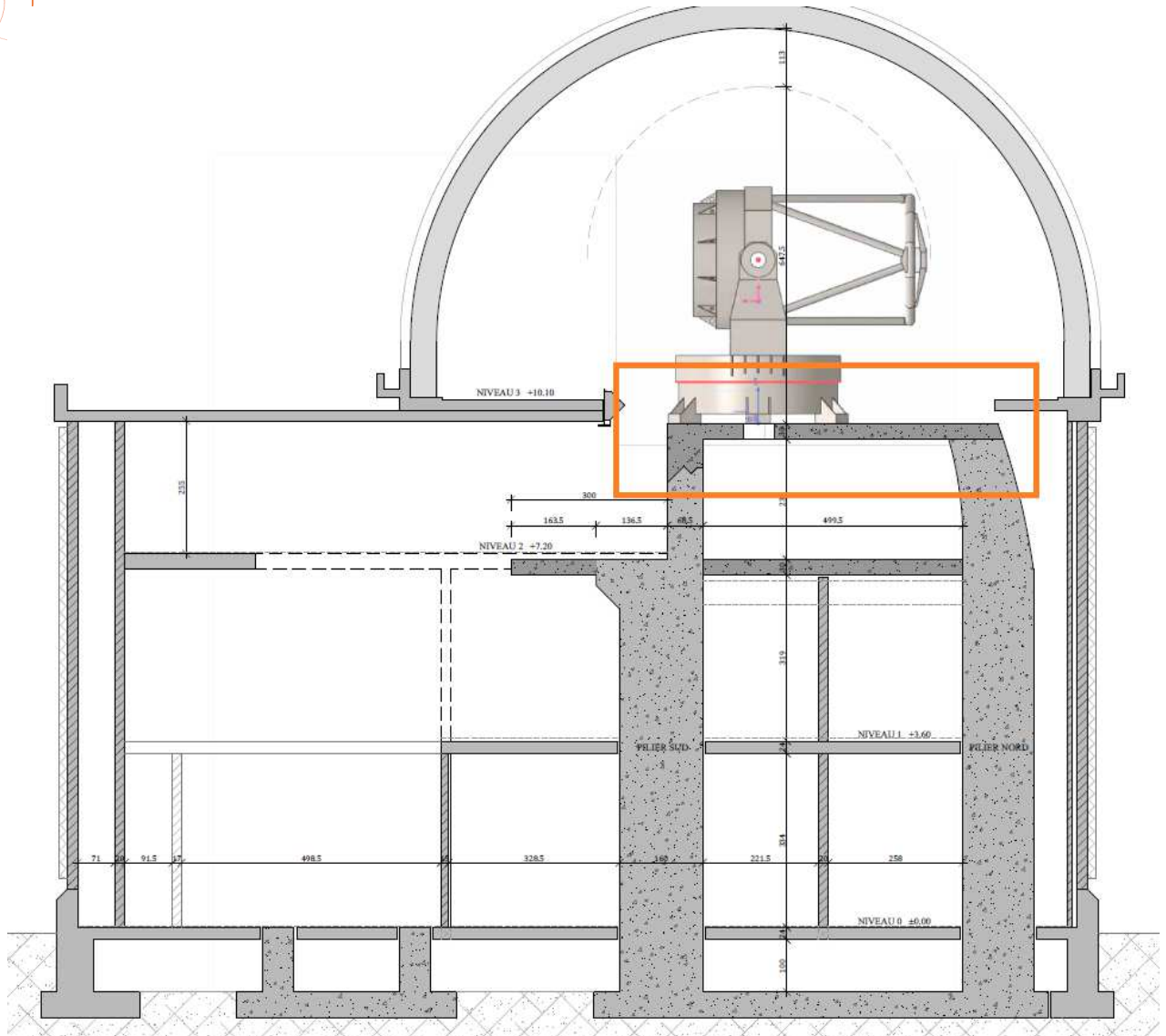
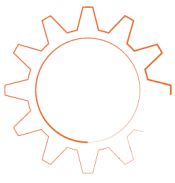


Figure 36: Caractéristique du nouveau télescope

Sa mise en place amène à repenser la configuration du niveau R+3 par la création d'une dalle horizontale appuyée sur les deux piliers monumentaux qui seront eux même réadaptés via tronçonnage de leur partie haute :



**Figure 37 : Nouvelle dalle support du futur télescope**

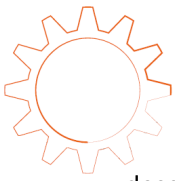
A noter que cette dalle, en plus de reprendre le poids conséquent du nouvel équipement, aura aussi la fonction de contreventement supplémentaire permettant de limiter les déplacements horizontaux de l'ouvrage lors de son fonctionnement.

D'un point de vue encombrement vertical, si nous considérons une coupole de dimension équivalente à l'actuel dôme et avec une hauteur libre minimale sous plafond de 2.30m pour la salle Coudée, l'espace libre résiduel entre le point culminant du télescope et le point **bas de la coupole actuelle** serait de 1.10 mètres.

### **c- Structure porteuse support de la nouvelle coupole :**

Comme explicité dans les précédents chapitres, l'actuelle coupole repose sur la structure béton armé du PH R+2 par l'intermédiaire de 10 points d'appuis répartis de façon homogène tout le long de sa périphérie.

Dans la mesure où la nouvelle coupole sera de dimension similaire mais d'un poids bien moins important, aucune structure de renfort n'est à concevoir pour reprendre les nouvelles charges.



Il faudra néanmoins s'assurer que le nouveau système reprenne formellement la position des descentes de charges actuelles pour éviter tout déséquilibre interne du béton armé. Dans le cas où cette directive n'est pas envisageable, une reconnaissance minutieuse des aciers de la dalle devra être entreprise afin de pouvoir recalculer les charges résiduelles admissibles sur les zones non touchées actuellement par les roues porteuses de la coupole.

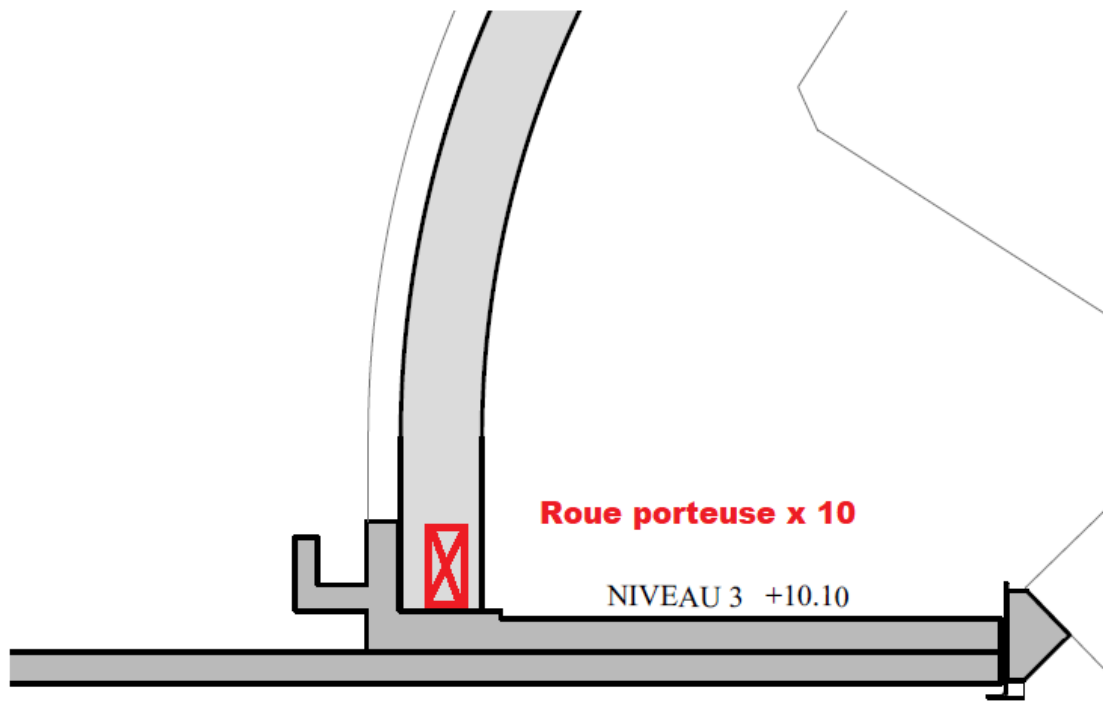


Figure 38 : Actuel appui des roues porteuses de la coupole





## IV. Faisabilité structurelle sur la partie « Télescope » :

### a- Méthodologie de l'étude :

L'objectif de cette étude est d'analyser l'impact du remplacement du télescope sur la structure des piliers porteurs. Pour cela, nous utiliserons le logiciel ADVANCE, un outil de modélisation par éléments finis permettant d'évaluer précisément le comportement mécanique des structures soumises à différentes sollicitations.

L'étude portera spécifiquement sur les piliers nord et sud, en considérant plusieurs cas de charges. Deux modèles seront générés :

1. **L'état actuel des piliers** avec le télescope existant. (Voir partie 4.2)
2. **La configuration future** intégrant le nouveau télescope. (Voir partie 4.3)

Cette analyse comparative nous permettra de quantifier l'évolution des efforts internes et des contraintes dans les piliers, ainsi que le pourcentage d'augmentation des charges transmises aux fondations. Ces résultats seront déterminants pour quantifier le risque sur la capacité portante des infrastructures existantes.

#### ▪ Hypothèses de chargement Télescope initial (T152)

À partir du plan structure fourni par l'OHP, nous avons pu décomposer les sollicitations induites par le télescope actuel en composantes verticales et horizontales, réparties sur les deux piliers porteurs à savoir.

Force verticale :

- Pilier sud : 6010 daN
- Pilier nord : 1870 daN

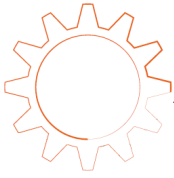
Force horizontale :

- Pilier sud : 2330 daN
- Pilier nord : 1770 daN

#### • Hypothèses de chargement Télescope futur (T250 de Providence)

D'après les spécifications du cahier des charges fourni par l'ONERA, la masse du nouveau télescope est approximativement de 32 tonnes.

Concernant les sollicitations horizontales induites par le télescope, le document de référence « DOTA-PROVIDENCE-CDC-008-0.3 » indique une accélération maximale en urgence de rotation de  $6^\circ/s^2$  soit  $0,3 \text{ m/s}^2$ , générant ainsi une force horizontale estimée à 960 daN ( $F = m \cdot a$ ) à répartir sur les deux piliers soit environ 480 daN par élément.



## b- Etude d'ingénierie AVANT PROVIDENCE :

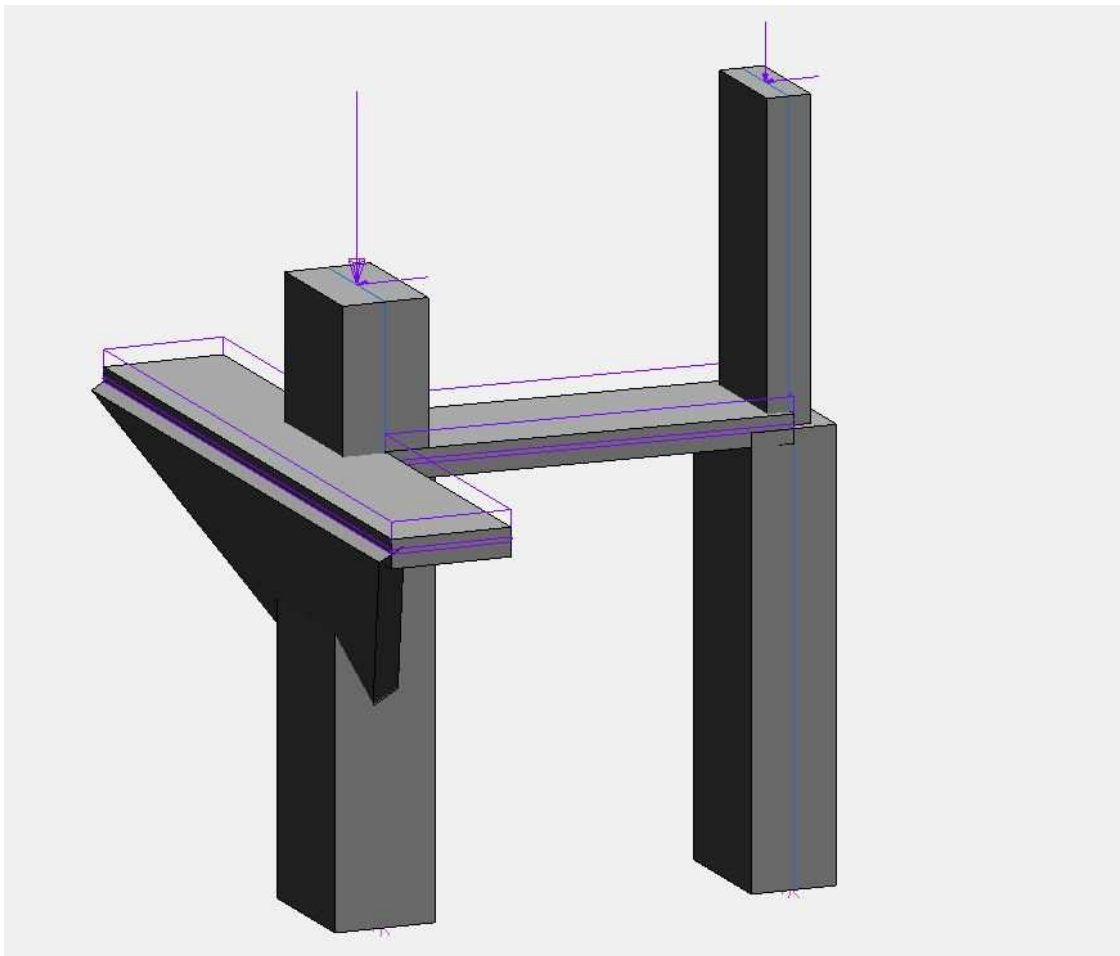
### Modélisation de la structure

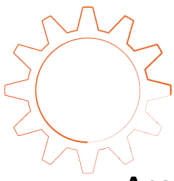
Les piliers nord et sud ont été modélisés sous forme de parois surfaciques en béton C25/30, avec les caractéristiques suivantes :

- Pilier Nord :
  - Épaisseur de 136 cm sur une hauteur de 7 m
  - Épaisseur de 70 cm sur une hauteur de 5 m
- Pilier Sud :
  - Épaisseur de 160 cm sur une hauteur de 7 m
  - Épaisseur de 136 cm sur une hauteur de 2,5 m
- Dalle :

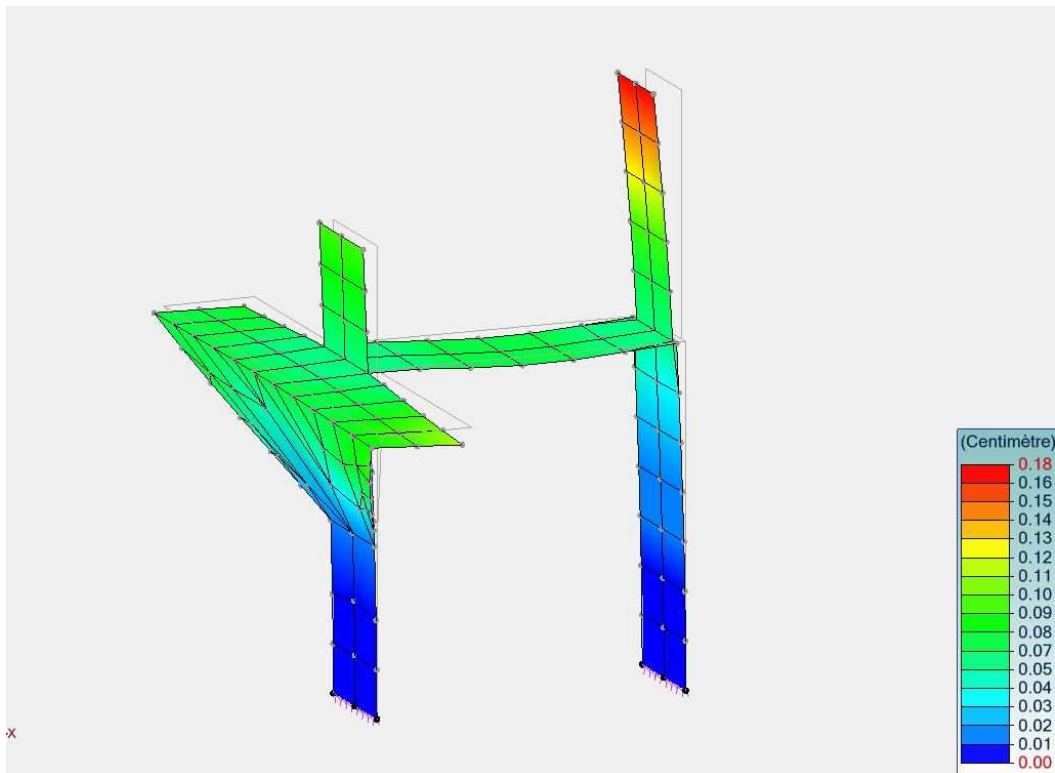
Les dalles ont été représentées en béton d'une épaisseur de 45 cm, avec une prise en compte des charges appliquées ci-dessous. :

  - Charge permanente représentant les cloisons, revêtement de sol : 0,15 T/m<sup>2</sup>
  - Charge d'exploitation représentant les divers machines présentes : 1 T/m<sup>2</sup>





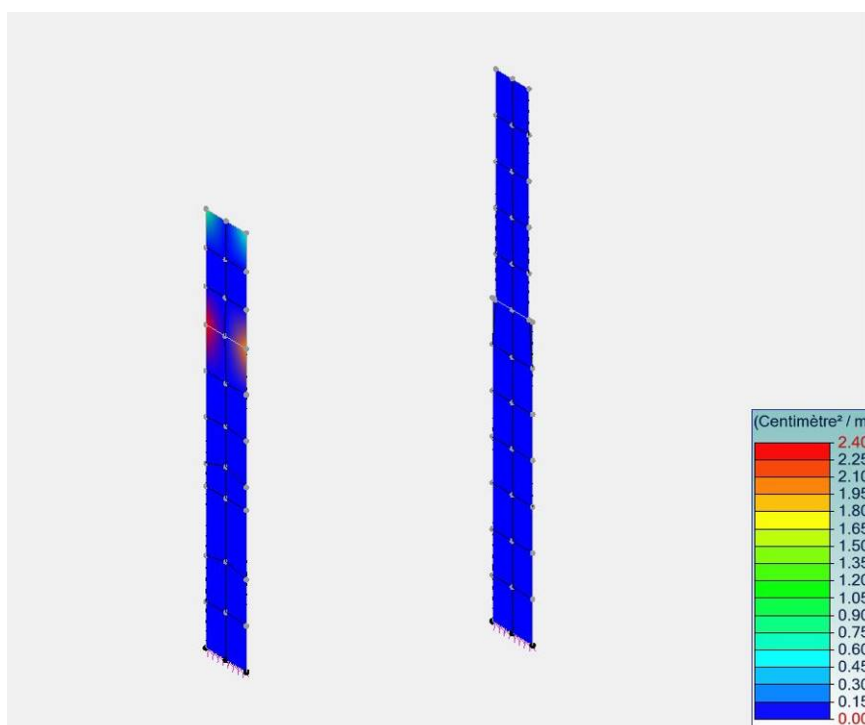
### Analyse des déplacements actuels via analyse éléments finis

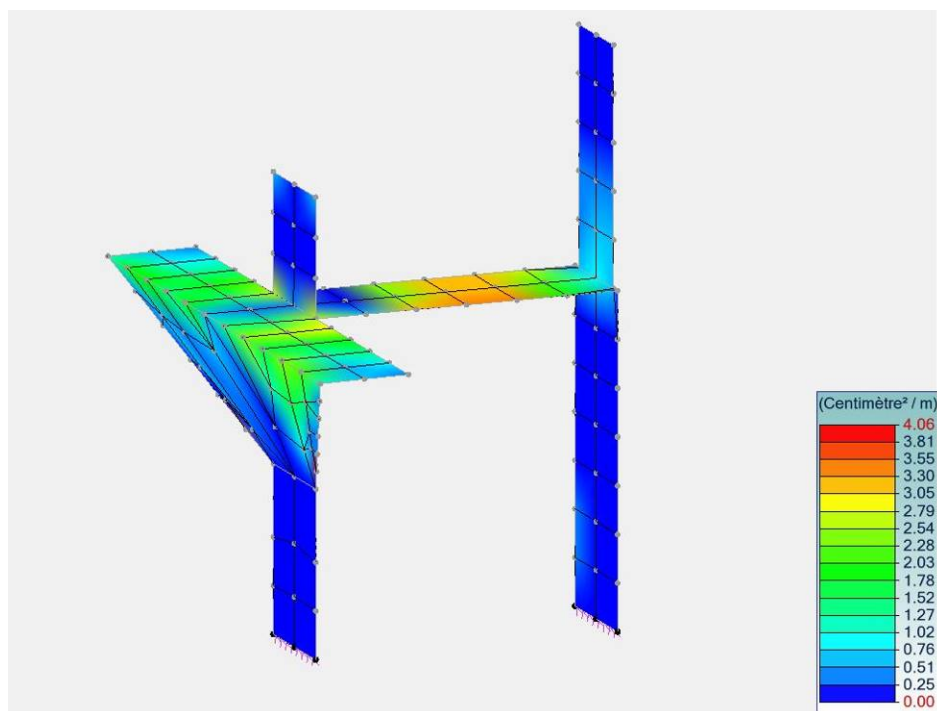
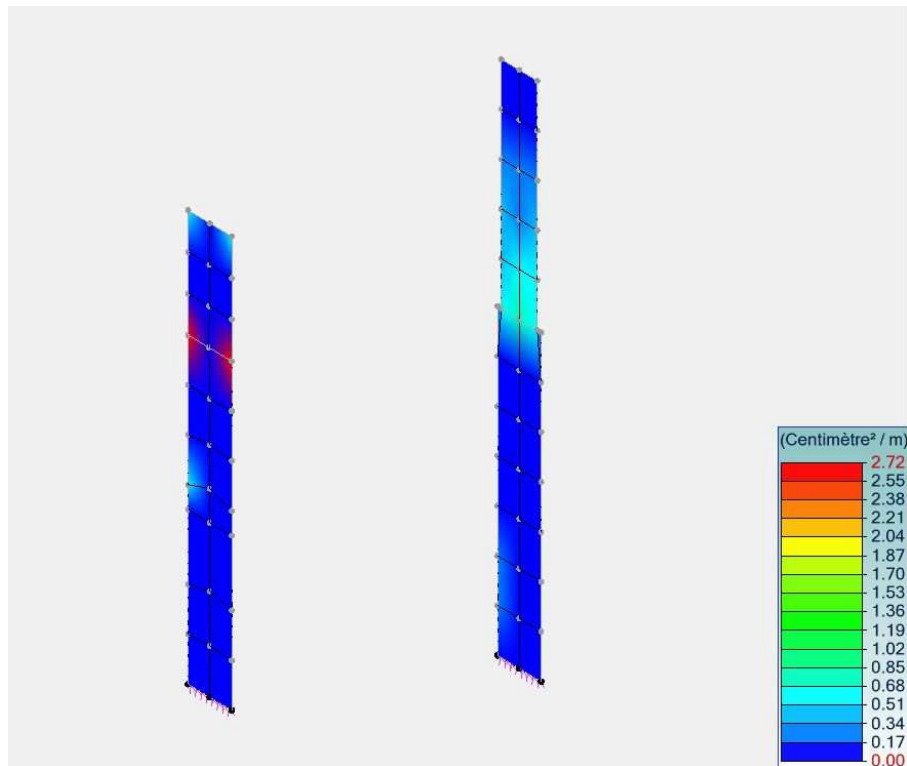
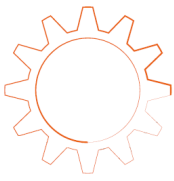


L'amplitude des déplacements ne dépasse pas les 0.18cm aux ELS sur le point le plus défavorable du pilier Nord.

### Etude sur la résistance de la structure

Dans le cadre de notre modélisation, les sections de ferrailage vertical des piliers ont été estimées à moins de  $1\text{cm}^2/\text{ml}$  avec une petite pointe à  $2,72\text{ cm}^2/\text{ml}$  pour la jonction avec la dalle existante sur la base des charges appliquées et des hypothèses de calcul retenues. Concernant la dalle, le ferrailage en nappe inférieure a été évalué à  $3,36\text{ cm}^2/\text{ml}$ .





À ce stade, aucun sondage destructif ou non destructif n'a été mené sur la structure existante afin de confirmer la conformité du ferrailage en place avec celui déterminé par calcul.

L'analyse des résultats indique toutefois que les sections d'acier obtenues sont supérieures aux besoins structurels résultant des sollicitations modélisées.

En conséquence, la structure semble présenter un surdimensionnement par rapport aux efforts théoriques attendus.





## **Analyse des descentes de charges sur les fondations :**

Suite à la modélisation réalisée, les descentes de charges sur les fondations ont été estimées comme suit :

- **Pilier sud** : 181,56 tonnes
- **Piliers nord** : 83,89 tonnes

Ces valeurs résultent des hypothèses de charges appliquées sur la structure et des conditions aux limites définies dans notre modèle.

## **c- Etude d'ingénierie APRES PROVIDENCE :**

### **Modélisation de la structure**

Les piliers nord et sud ont été modélisés sous forme de parois surfaciques en béton C25/30, avec les caractéristiques suivantes :

- **Pilier Nord** :
  - Épaisseur de 136 cm sur une hauteur de 7 m
  - Épaisseur de 136 cm sur une hauteur de 4 m
- **Pilier Sud** :
  - Épaisseur de 160 cm sur une hauteur de 7 m
  - Épaisseur de 136 cm sur une hauteur de 4 m

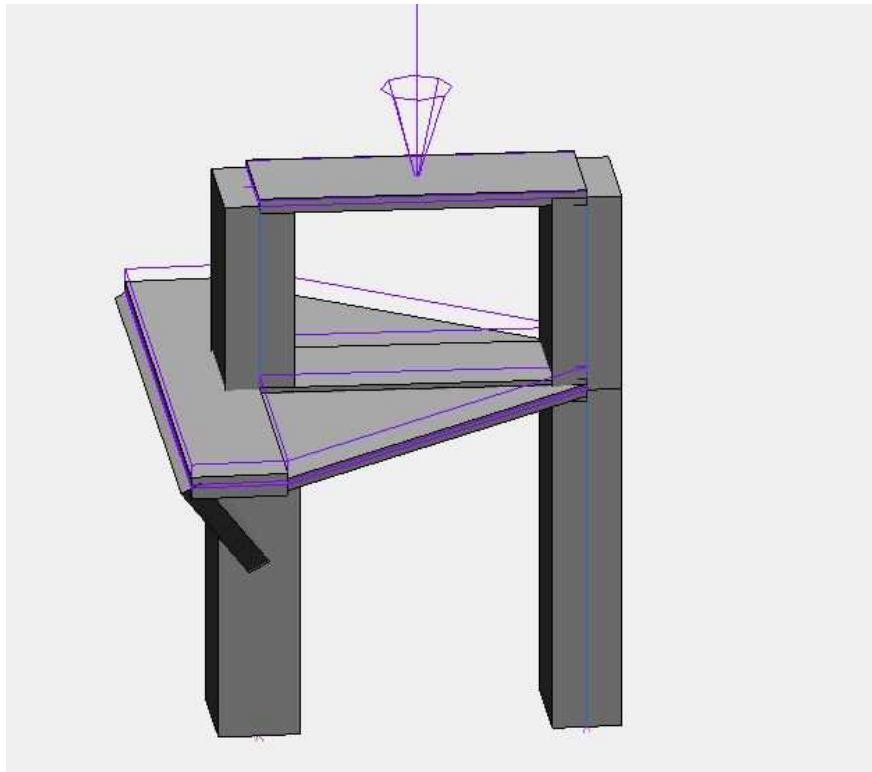
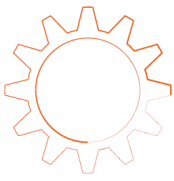
- **Dalle**

Les dalles ont été représentées en béton d'une épaisseur de 45 cm, avec une prise en compte des charges appliquées ci-dessous.

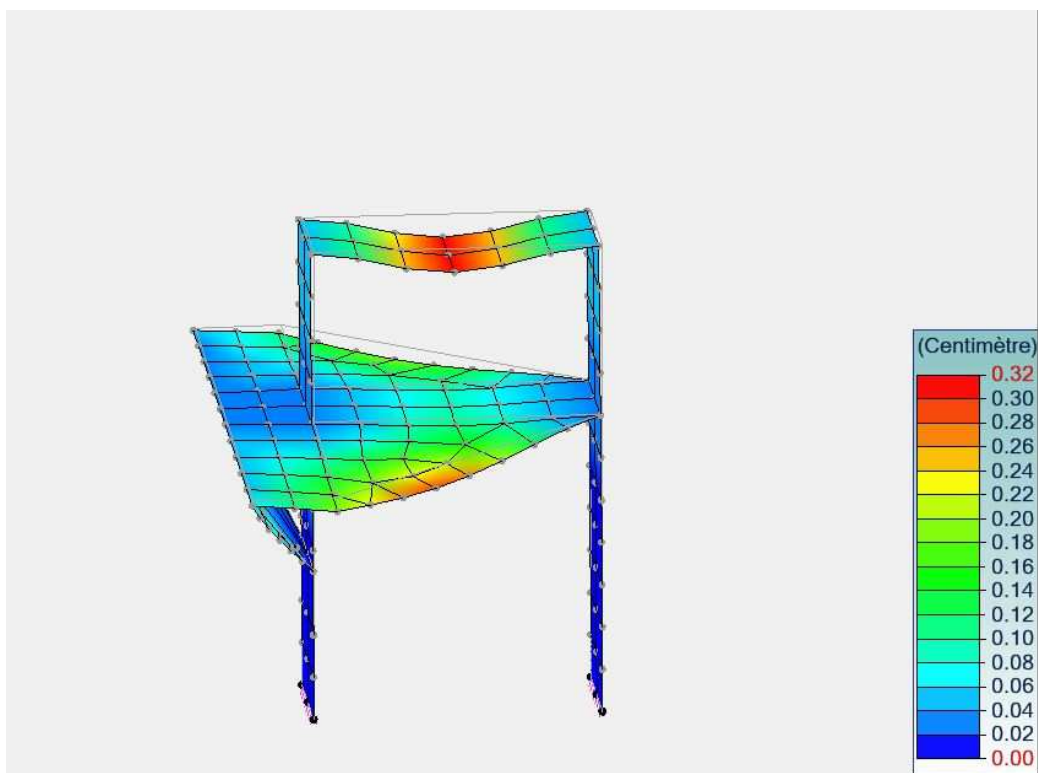
- Charge permanente représentant les cloisons, revêtement de sol : 0,15 T/m<sup>2</sup>
- Charge d'exploitation représentant les divers machines présentes : 1 T/m<sup>2</sup>

Les deux dernières dalles au sommet ont été modélisées en béton d'une épaisseur de 20 cm et 30 cm avec respectivement comme charge :

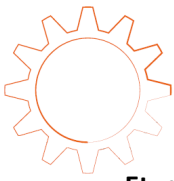
- Charge permanente représentant les cloisons, revêtement de sol : 0,15 T/m<sup>2</sup>
- Charge d'exploitation représentant les divers machines présentes : 1 T/m<sup>2</sup>
- Charge permanente représentant les cloisons, revêtement de sol : 0,15 T/m<sup>2</sup>
- Charge d'exploitation représentant les divers machines présentes : 0,25 T/m<sup>2</sup>



### Etude sur les déplacements de la structure

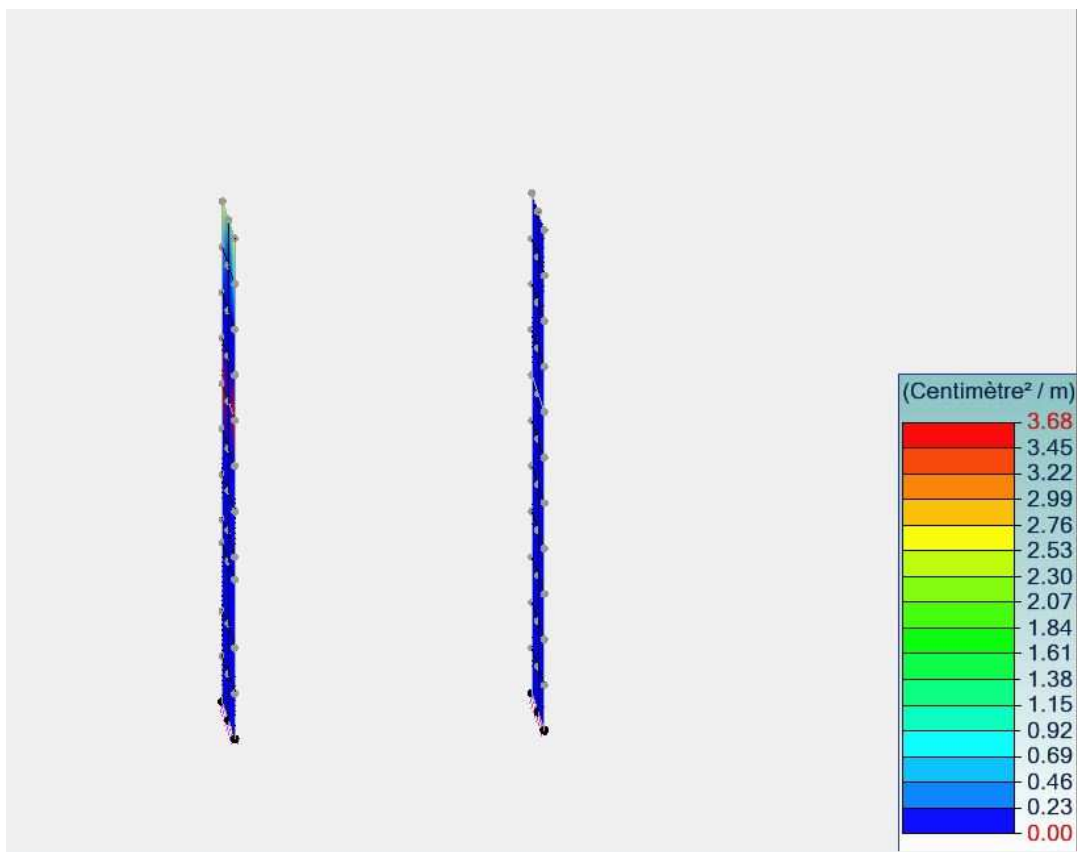
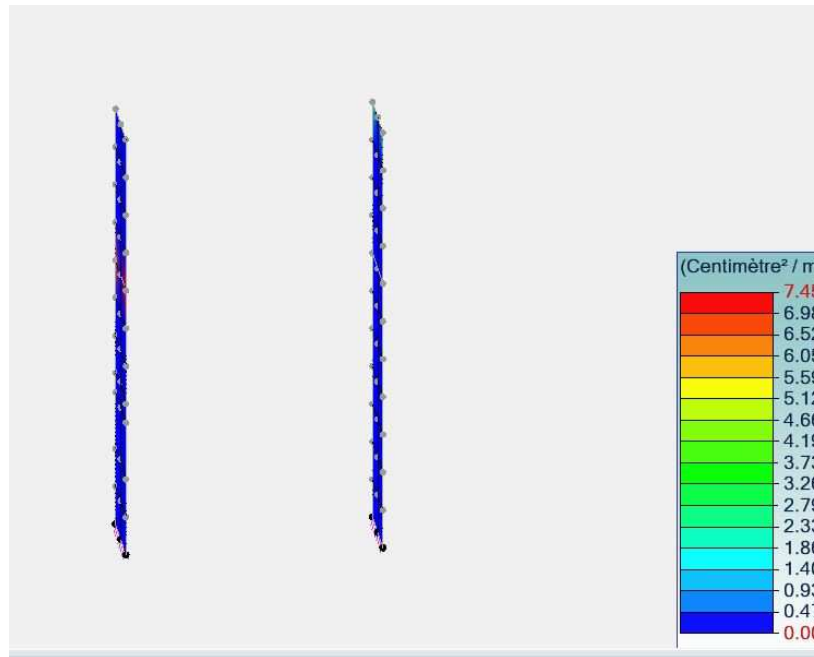


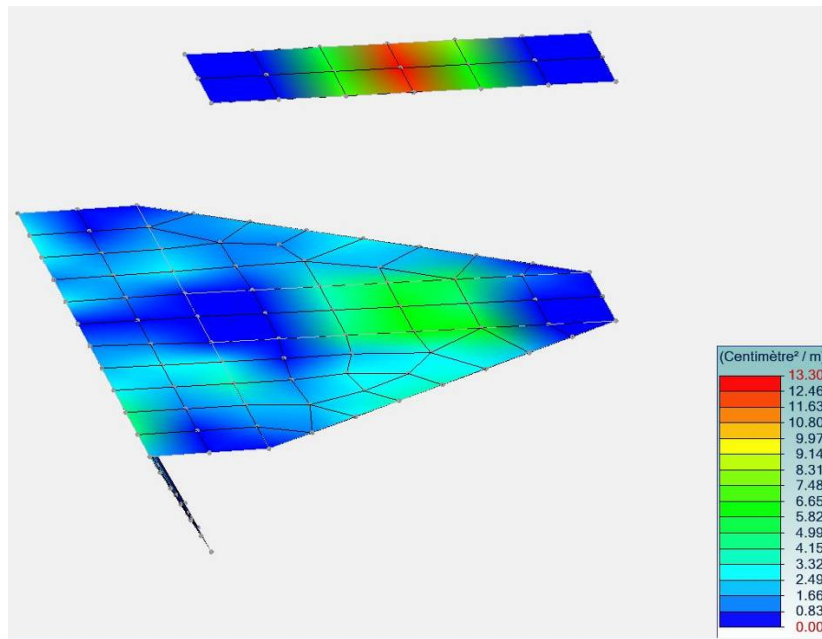
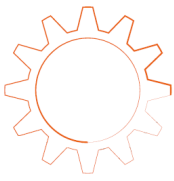
L'amplitude des déplacements ne dépasse pas les 0.32cm aux ELS sur le point le plus défavorable de la dalle support du télescope. Cette valeur est faible par rapport aux demandes fixées par la réglementation des Eurocodes qui limitent pour les planchers les déplacements au 250ème de la portée maximum de l'élément.



## Etude sur la résistance de la structure

Dans le cadre de notre modélisation, les sections de ferrailage vertical des piliers ont été estimées à moins de  $1\text{ cm}^2/\text{ml}$  avec une petite pointe à  $7,46\text{ cm}^2/\text{ml}$  pour la jonction avec la dalle qui devra être recréée sur la base des charges appliquées et des hypothèses de calcul retenues. Concernant les dalles à recréer, le ferrailage en nappe inférieure a été évalué à  $13,30\text{ cm}^2/\text{ml}$  pour celle la plus haute et  $8\text{ cm}^2/\text{ml}$  pour la nouvelle dalle de la salle Coudée.





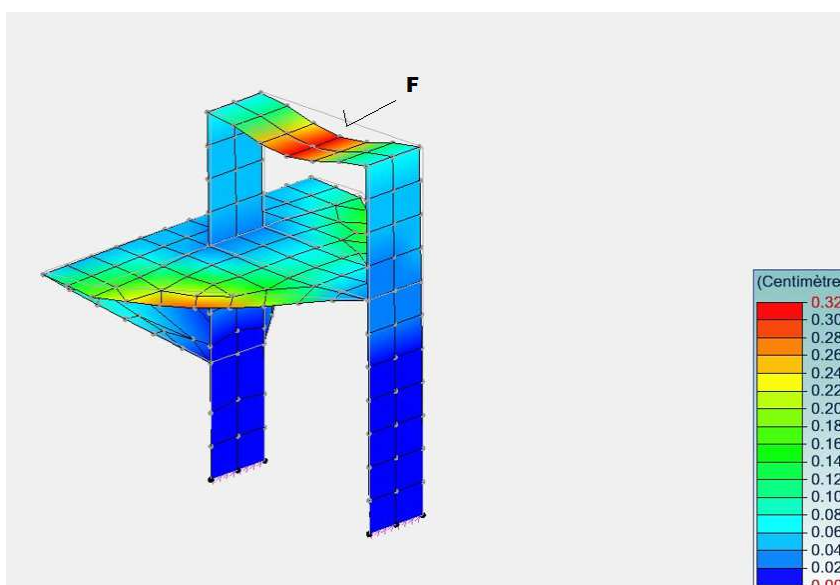
En conclusion, l'accroissement des charges appliquées sur les murs a conduit à une augmentation du ferrailage. Toutefois, seul un sondage des murs permettra de déterminer précisément le ferrailage existant. Une fois ces données collectées, nous pourrons les comparer aux estimations réalisées afin d'évaluer si l'armature en place est suffisante ou si des renforcements sont nécessaires.

#### Analyse des déplacements sur nouveaux efforts horizontaux :

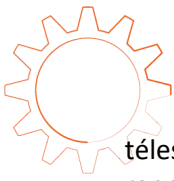
- Premier cas de charge étudié :

Comme vu précédemment, l'accélération en mode ralliement du télescope amène un effort global de  $F = 960$  daN. Cette sollicitation a été rentrée dans les données d'entrée de notre modèle de calcul afin d'estimer les déplacements engendrés dans ce mode d'observation.

Uniquement le cas le plus défavorable sera ici étudié à savoir lorsque l'effort se retrouve perpendiculaire à l'axe principal de la dalle béton armé support :



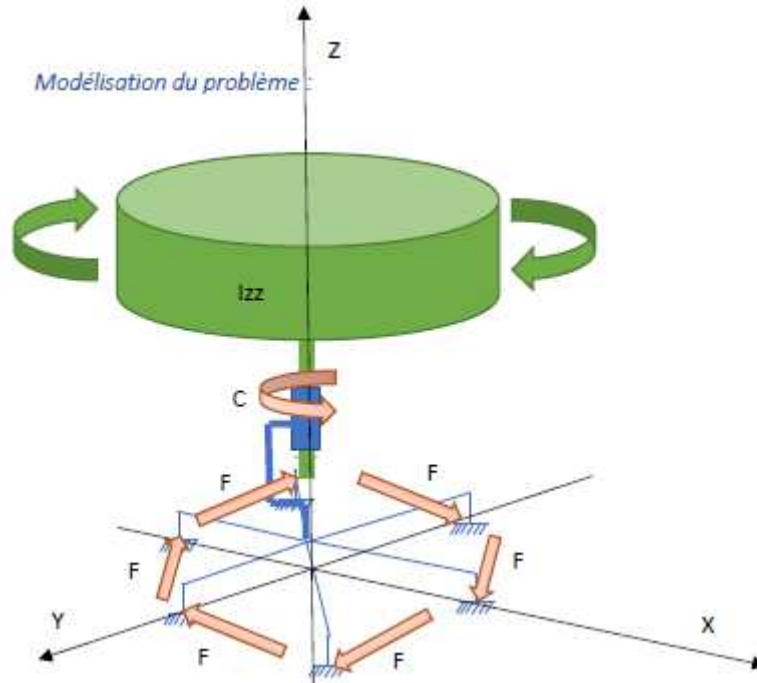




Ce calcul montre que l'impact de la force horizontale provenant de l'accélération du télescope est faible car les valeurs de déplacements (dans les trois directions) sont inchangées par rapport au modèle « sans effort F » présenté dans le paragraphe suivant et ne remettent donc pas en question la structure interne de l'ouvrage.

- **Deuxième cas de charge étudié :**

Une autre approche consiste à modéliser les effets d'accélération du télescope en activité par plusieurs efforts horizontaux concentrés sur les 6 ancrages boulonnés de la base de l'équipement tel que présenté ci-dessous :



Théorème du moment dynamique :

$$C = I_{zz} * \text{Alpha}$$

C : Couple à la jonction partie tournante(vert) /partie fixe(bleu) du télescope en N.m

I<sub>zz</sub> : Inertie du télescope partie fixe + tournant autour de Z en Kg.m<sup>2</sup> donnée par sldworks au-dessus. Probablement surévalué car on devrait retirer la contribution de la partie fixe ici (à prendre pour un ordre de grandeur uniquement donc).

Alpha : accélération ou décélération en rad/s<sup>2</sup> (6°/s à 0°/s en 0.1s donc 60°/s<sup>2</sup> donc 1.05rad/s<sup>2</sup>)

$$C = 147\,000 * 1.05$$

$$C = 154\,350 \text{ N.m}$$

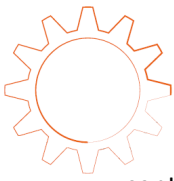
$$6F = C/L$$

F effort à un point d'encrage de la partie fixe (il y en a 6) en Newton

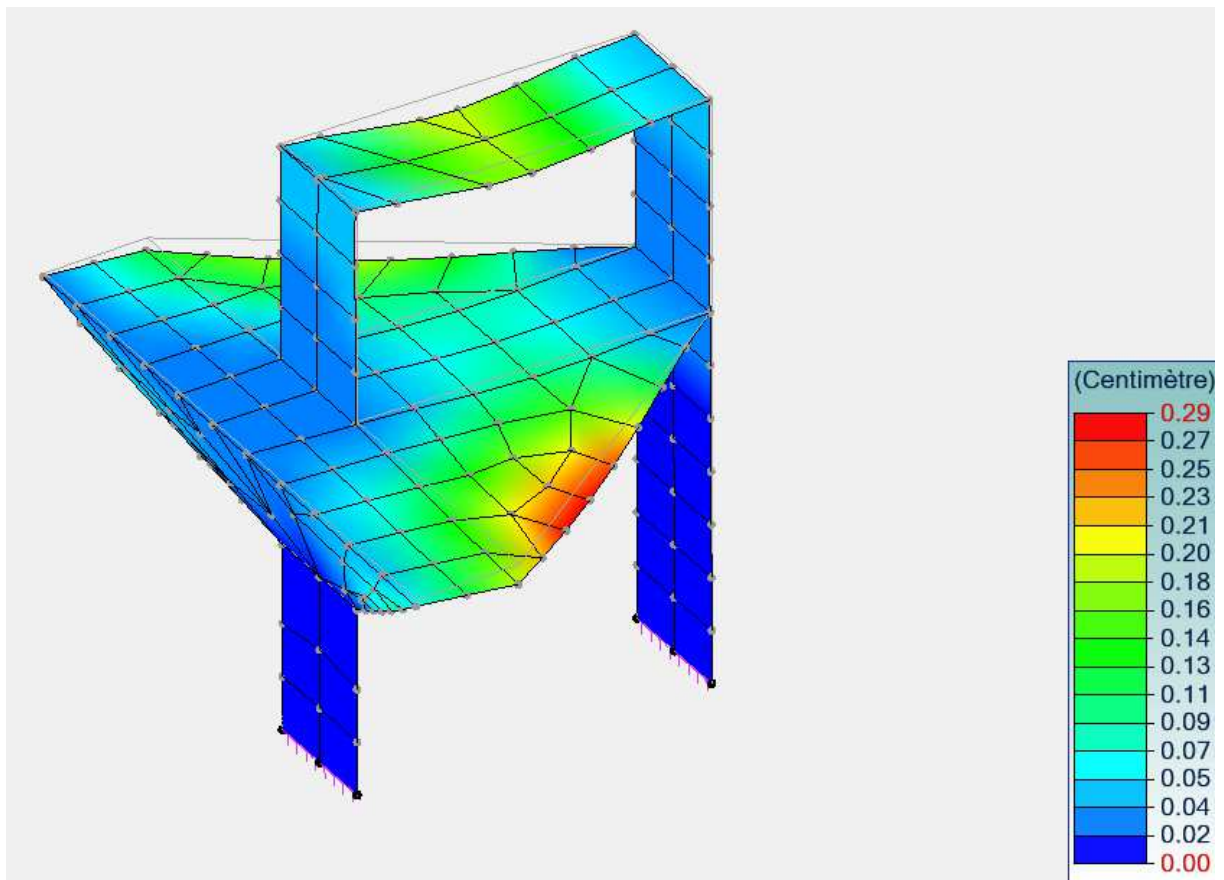
L distance entre axe de rotation et point d'encrage en mètre

$$F = 154000/(6*2.3)$$

$$F = 11000 \text{ N par encrage}$$



Dans cette version du modèle, pour éviter d'être dans une configuration trop défavorable, le centre de gravité du télescope a été déplacé pour être axé à l'axe de la coupole. Ces efforts ont été insérés dans la modélisation et donnent les résultats ci-dessous :



Ce nouveau calcul montre que l'impact de la force horizontale provenant de l'accélération du télescope avec un effort horizontal de 1.1T pour les six ancrages est faible car les valeurs de déplacements (dans les trois directions) sont presque inchangées par rapport au modèle « sans effort F » présenté dans le paragraphe suivant et ne remettent donc pas en question la structure interne de l'ouvrage.

### Analyse des descentes de charges sur les fondations

Suite à la modélisation réalisée, les descentes de charges sur les fondations ont été estimées comme suit :

- **Pilier sud** : 243,92 tonnes
- **Piliers nord** : 134,61 tonnes

Ces valeurs résultent des hypothèses de charges appliquées sur la structure et des conditions aux limites définies dans notre modèle.

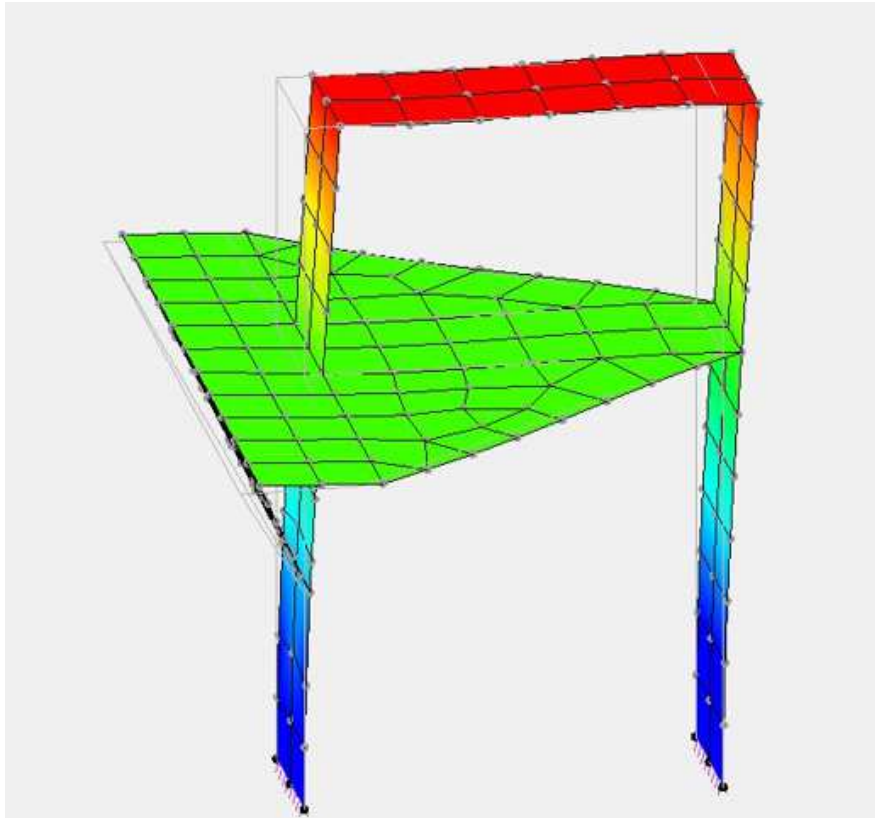


## Analyse dynamique sommaire de la structure

A la demande du client, une analyse modale a été réalisée sur notre logiciel aux éléments finis sans prise en compte de spectre de plancher afin d'avoir des ordres de grandeur des fréquences propres les plus significatives. Les modes principaux par direction et les résultats de l'analyse sont donnés ci-dessous pour un prise compte de 100 modes :

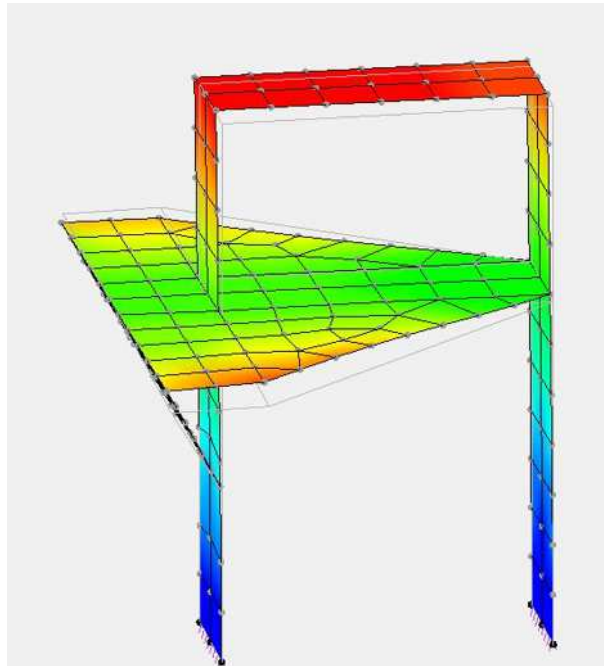
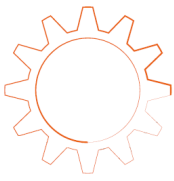
### Sens longitudinal suivant X :

Le mode n° 1 correspond à un mode structure excitant une masse modale relativement importante de 75,92 % suivant une période de 0.21 s.



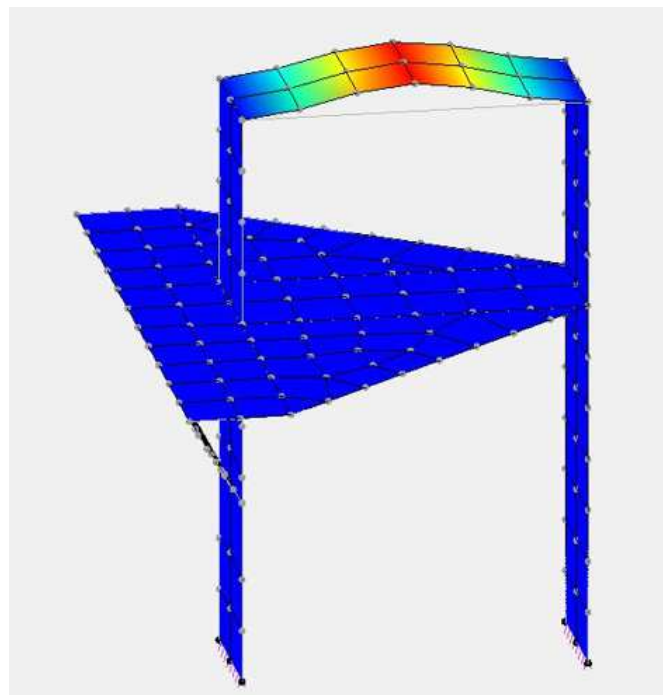
### Sens longitudinal suivant y :

Le mode n° 2 correspond à un mode structure excitant une masse modale relativement importante de 68.55 % suivant une période de 0.16 s.

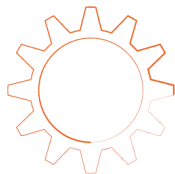


Sens longitudinal suivant z :

Le mode n° 3 correspond à un mode structure de plancher excitant une masse modale relativement faible de 12.03 % suivant une période de 0.11 s.

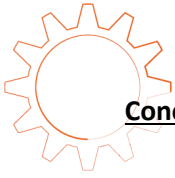






Grandeurs des modes propres								
Mode N°	Pulsation (Rad/s)	Période (s)	Fréquence (Hz)	Énergie (J)	Masses modales			Amortissement (%)
					X T (%)	Y T (%)	Z T (%)	
1	29.63	0.21	4.72	428.08	272.03 ( 75.92)	0.03 ( 0.01)	0.33 ( 0.09)	5.00
2	39.29	0.16	6.25	746.81	0.05 ( 0.01)	245.61 ( 68.55)	0.22 ( 0.06)	5.00
3	58.25	0.11	9.27	1696.18	0.00 ( 0.00)	0.00 ( 0.00)	43.10 ( 12.03)	5.00
4	66.35	0.09	10.56	2081.87	0.00 ( 0.00)	0.04 ( 0.01)	0.20 ( 0.06)	5.00
5	87.61	0.07	13.94	2224.39	0.04 ( 0.01)	13.20 ( 3.68)	27.64 ( 7.71)	5.00
6	102.70	0.06	16.34	3284.13	0.05 ( 0.01)	5.92 ( 1.65)	37.32 ( 10.42)	5.00
7	142.70	0.04	22.71	8497.52	26.70 ( 7.45)	0.03 ( 0.01)	0.19 ( 0.05)	5.00
8	150.02	0.04	23.88	7887.56	17.23 ( 4.81)	0.31 ( 0.09)	1.07 ( 0.30)	5.00
9	163.31	0.04	25.99	7111.18	0.11 ( 0.03)	1.03 ( 0.29)	0.64 ( 0.18)	5.00
10	190.85	0.03	30.37	17730.03	0.04 ( 0.01)	36.27 ( 10.12)	0.00 ( 0.00)	5.00
11	221.09	0.03	35.19	10505.43	0.47 ( 0.13)	0.11 ( 0.03)	35.24 ( 9.84)	5.00
12	257.41	0.02	40.97	24742.46	0.05 ( 0.02)	0.00 ( 0.00)	0.00 ( 0.00)	5.00
13	263.90	0.02	42.00	34286.02	0.00 ( 0.00)	0.09 ( 0.03)	0.00 ( 0.00)	5.00
14	276.30	0.02	43.97	15343.36	0.40 ( 0.11)	7.19 ( 2.01)	0.50 ( 0.14)	5.00
15	293.02	0.02	46.64	19986.66	1.03 ( 0.29)	1.98 ( 0.55)	3.04 ( 0.85)	5.00
16	315.55	0.02	50.22	26825.41	2.83 ( 0.79)	0.41 ( 0.11)	19.52 ( 5.45)	5.00
17	335.71	0.02	53.43	36352.75	2.36 ( 0.66)	0.22 ( 0.06)	28.44 ( 7.94)	5.00
18	363.34	0.02	57.83	48607.89	0.01 ( 0.00)	6.22 ( 1.74)	0.52 ( 0.15)	5.00
19	380.70	0.02	60.59	41938.92	0.75 ( 0.21)	0.06 ( 0.02)	1.44 ( 0.40)	5.00
20	405.34	0.02	64.51	47743.74	0.00 ( 0.00)	2.75 ( 0.77)	0.93 ( 0.26)	5.00
21	410.45	0.02	65.33	60662.60	0.02 ( 0.00)	1.37 ( 0.38)	1.31 ( 0.37)	5.00
22	421.16	0.01	67.03	65330.84	6.44 ( 1.80)	1.35 ( 0.38)	4.32 ( 1.21)	5.00
23	427.09	0.01	67.97	71034.97	1.56 ( 0.44)	4.48 ( 1.25)	20.13 ( 5.62)	5.00
24	443.57	0.01	70.60	80362.44	0.14 ( 0.04)	0.17 ( 0.05)	6.20 ( 1.73)	5.00
25	457.01	0.01	72.74	70983.61	1.69 ( 0.47)	1.07 ( 0.30)	43.68 ( 12.19)	5.00
26	476.17	0.01	75.79	78981.81	2.98 ( 0.83)	0.00 ( 0.00)	28.61 ( 7.98)	5.00
27	490.66	0.01	78.09	59973.77	0.04 ( 0.01)	2.25 ( 0.63)	7.98 ( 2.23)	5.00
28	509.63	0.01	81.11	92964.79	0.03 ( 0.01)	0.07 ( 0.02)	4.06 ( 1.13)	5.00
29	523.74	0.01	83.36	68451.22	0.50 ( 0.14)	0.22 ( 0.06)	0.07 ( 0.02)	5.00
30	529.91	0.01	84.34	71280.47	0.10 ( 0.03)	0.00 ( 0.00)	4.02 ( 1.12)	5.00
31	547.27	0.01	87.10	75783.91	0.12 ( 0.03)	0.04 ( 0.01)	1.77 ( 0.49)	5.00
32	549.77	0.01	87.50	129530.41	0.41 ( 0.11)	0.06 ( 0.02)	0.92 ( 0.26)	5.00
33	572.30	0.01	91.08	160277.79	0.06 ( 0.02)	0.06 ( 0.02)	2.11 ( 0.59)	5.00
34	589.97	0.01	93.90	169594.45	0.05 ( 0.01)	0.03 ( 0.01)	2.72 ( 0.76)	5.00
35	617.06	0.01	98.21	98947.79	1.46 ( 0.41)	0.09 ( 0.03)	0.01 ( 0.00)	5.00
36	625.50	0.01	99.55	106539.84	0.06 ( 0.02)	0.01 ( 0.00)	1.96 ( 0.55)	5.00
37	638.80	0.01	101.67	84255.69	0.19 ( 0.05)	0.05 ( 0.01)	0.31 ( 0.09)	5.00
38	649.01	0.01	103.29	88101.56	0.68 ( 0.19)	0.00 ( 0.00)	0.05 ( 0.01)	5.00
39	665.89	0.01	105.98	147350.27	0.00 ( 0.00)	1.10 ( 0.31)	0.01 ( 0.00)	5.00

Figure 39 : Tableau des caractéristiques des 39 premiers modes

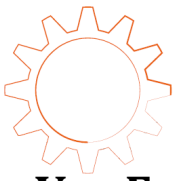


## **Conclusion du risque pris sur l'ouvrage**

En conclusion, la charge verticale appliquée sur le pilier sud est passée de 181,56 tonnes à 243,92 tonnes, tandis que celle du pilier nord a augmenté de 83,89 tonnes à 147,34 tonnes, induisant une hausse significative des sollicitations structurelles verticales. Cette évolution correspond à une augmentation des charges de 34 % pour le pilier sud et de 60 % pour le pilier nord, conséquence directe de l'installation du nouveau télescope.

Même si ces valeurs semblent à première vue importantes, il est essentiel de rappeler que dans le cas où les fondations actuelles sont assises sur un sol rigide tel que le rocher semblant affleurant visible ponctuellement dans le vide sanitaire, cette augmentation serait probablement largement supportable. Cette conclusion est à valider par une étude géotechnique approfondie.

Concernant les charges horizontales, les ordres de grandeur nous amènent à penser que ces effets seront négligeables sur la structure existante de l'ouvrage.



## V. Faisabilité structurelle sur la partie « Coupole » :

### a- Méthodologie de l'étude :

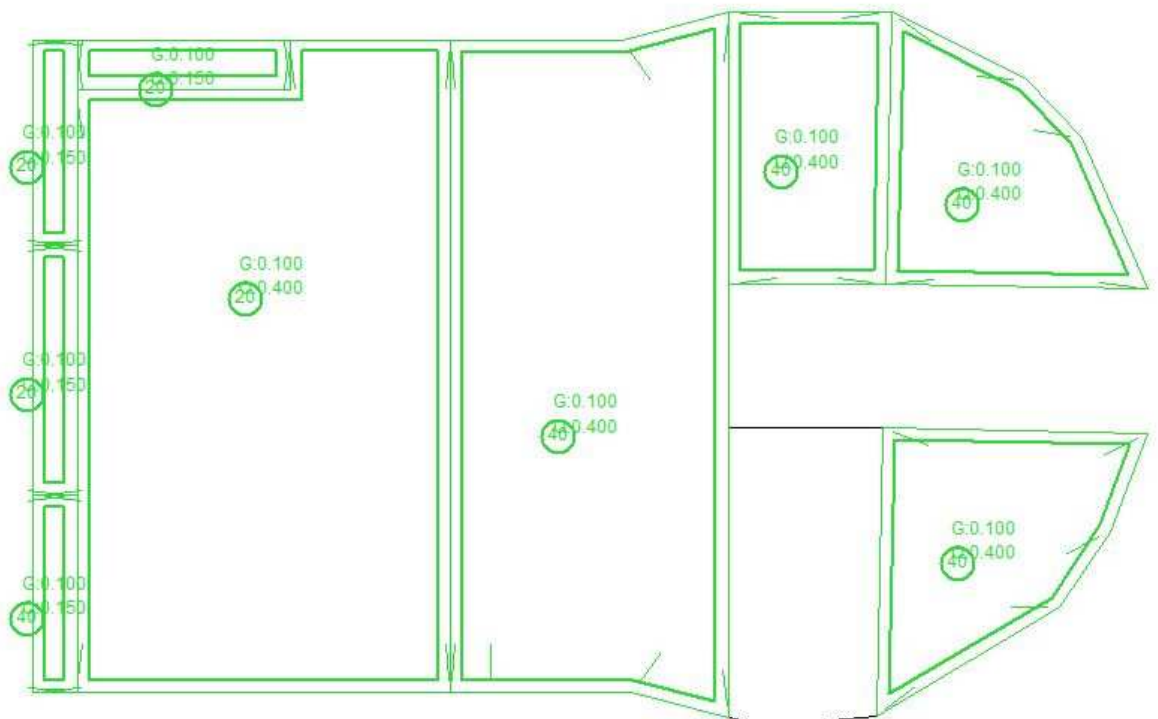
Dans le cadre de cette étude, nous allons modéliser la coupole sous le logiciel Arch Ossature Graitec. Ce logiciel est spécialisé dans le calcul des descentes de charge pour les bâtiments standards comme celui étudié. Les ossatures ont été modélisées en prenant en compte les différentes structures de dalles béton, conformément aux plans structures réalisés par STRUCTUA. Au niveau chargement, l'actuelle coupole a une masse de 120 tonnes et un diamètre de 12 m.

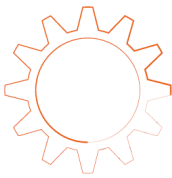
A noter que dans la mesure où la structure de la nouvelle coupole est bien plus légère que celle actuelle, nous avons estimé non nécessaire la modélisation sous logiciel élément fini. L'étude présentée ci-dessous aura donc pour but uniquement de présenter une estimation des descentes de charges sous les fondations actuelles.

### b- Etude d'ingénierie AVANT PROVIDENCE :

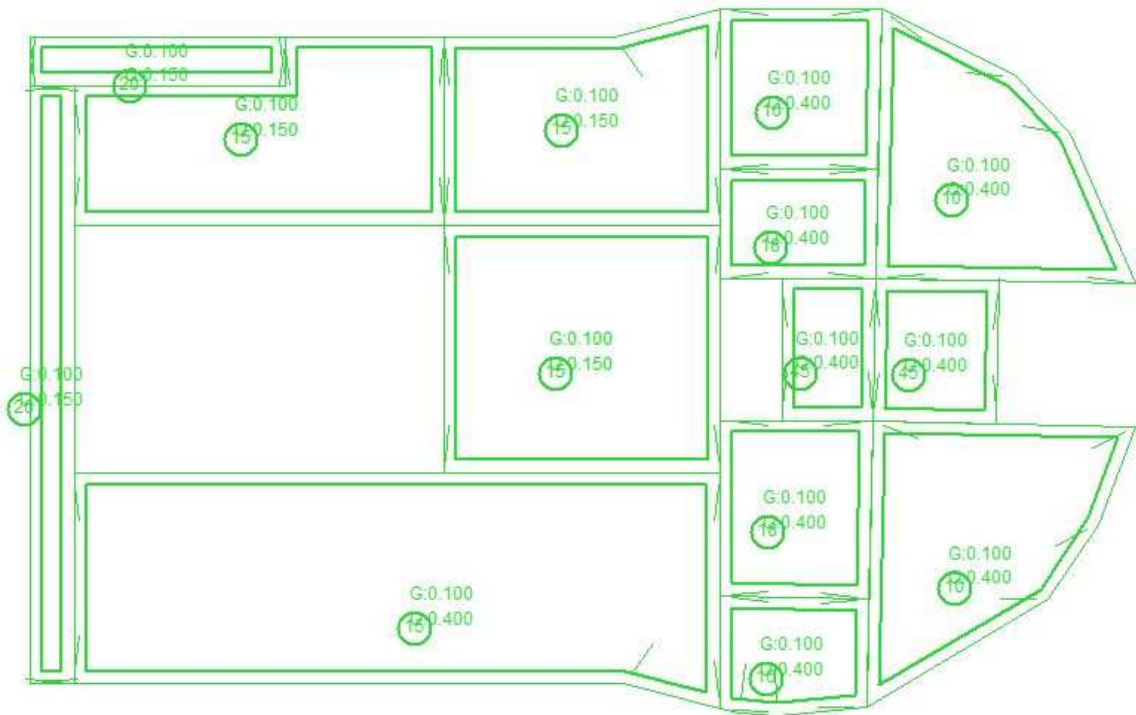
Les illustrations ci-dessous montrent les différentes hypothèses structurelles prises pour les chargements et les épaisseurs de planchers :

#### Niveau R+2

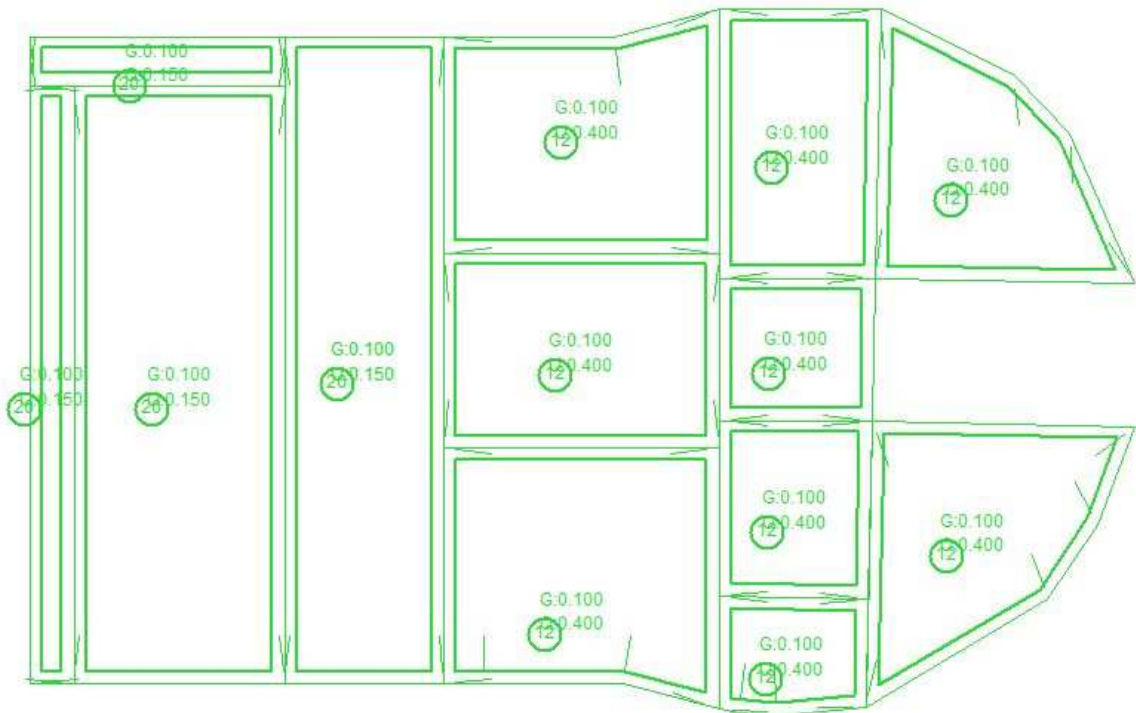




**Niveau R+1**

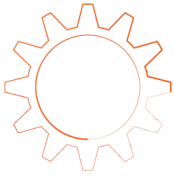


**Niveau RDC**







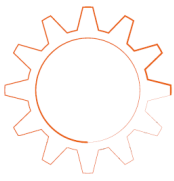


Elément		G ( T/M)	Q ( T/M)
Semelle F.	1	3.2	0.2
Semelle F.	2	6.8	1.0
Semelle F.	3	4.4	2.8
Semelle F.	5	2.5	0.1
Semelle F.	6	3.7	1.3
Semelle F.	7	3.9	1.1
Semelle F.	8	3.7	0.7
Semelle F.	9	2.4	0.0
Semelle F.	10	4.6	1.3
Semelle F.	11	4.2	1.3
Semelle F.	12	3.7	1.3
Semelle F.	13	2.5	0.1
Semelle F.	14	-3.0	-1.9
Semelle F.	15	3.0	-0.8
Semelle F.	16	7.5	3.6
Semelle F.	17	6.7	2.7
Semelle F.	18	1.8	0.1
Semelle F.	19	4.5	1.2
Semelle F.	20	4.6	1.6
Semelle F.	21	3.9	2.0
Semelle F.	22	2.2	0.0
Semelle F.	23	23.8	11.7
Semelle F.	24	3.5	0.3
Semelle F.	25	2.5	0.1
Semelle F.	26	2.5	0.1

### c- Etude d'ingénierie APRES PROVIDENCE :

Dans la mesure où le poids de la nouvelle coupole est bien moins important que pour la configuration actuelle, nous pouvons conclure que la faisabilité technique vis-à-vis des efforts verticaux est de fait validée. Néanmoins, comme explicité précédemment, il sera nécessaire de vérifier le système de portée des planchers sous les roues porteuses de la coupole existante afin de comprendre son fonctionnement et ne pas réaliser des erreurs de conception quant aux nouveaux appuis du nouvel équipement.

Concernant les sollicitations horizontales induites par le mouvement de la coupole en mode ralliement, le document de référence « DOTA-PROVIDENCE-CDC-008-0.3 » indique une accélération maximale en urgence de rotation de  $6^\circ/s^2$  soit  $0,3 \text{ m/s}^2$ , générant ainsi une force horizontale estimée pour une structure d'un poids de 13 Tonnes à 390 daN ( $F = m \cdot a$ ) à répartir sur les n roues porteuses du nouvel équipement. Cet effort est tout à fait négligeable pour une structure béton armé aussi massive que la structure porteuse existante.



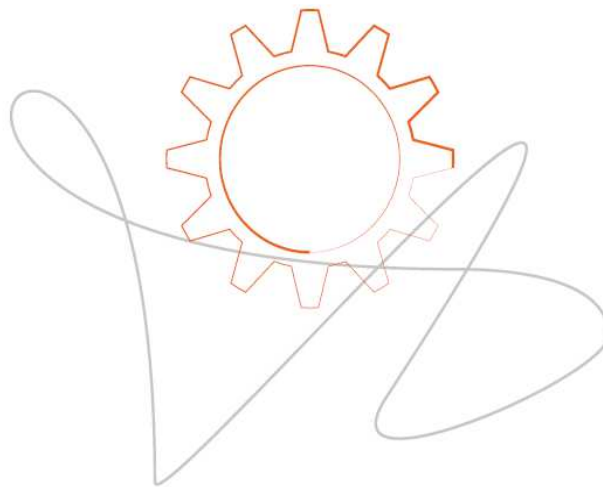
## **VI. Conclusion de l'étude :**

A la fin de cette analyse, nous pouvons avancer que la réhabilitation du bâtiment abritant le télescope T152 est techniquement envisageable avec une prise de risque minimale.

La source de risque la plus importante réside dans la validation de la portance des sols et des éventuels tassements différentiels sous les fondations existantes de la structure « télescope » à cause de l'augmentation importante des efforts verticaux amenés par le nouveau télescope.

Néanmoins, ce projet devra être validé en détails par une équipe de maîtrise d'oeuvre qui se devra de pousser notre analyse afin de s'assurer de la véracité de nos hypothèses et de nos modèles de calculs.

**Fin du rapport**



S T R U C T U A  
INGENIERIE