

Numéro d'affaire : 2023P74

Date : 26/09/2023

Indice : A



Rapport de diagnostic structure

Fosse Explosifs Fontevraud TE01

Etude réalisée pour :

Secrétariat général pour l'administration (SGA) / Antenne de Fontevraud



CIDECO – Campus scientifique des Cézeaux – 2 avenue Blaise Pascal – TSA 60206 – CS 60026 – 63178 AUBIÈRE cedex

www.cideco.tech

SIRET : 827 456 195 00011 - APE 7120B - TVA INTRACOMMUNAUTAIRE FR 81 827456195

CLIENT

Nom	Secrétariat général pour l'administration (SGA) / Antenne de Fontevraud	
Adresse	Fontevraud - L'Abbaye 49590 France	
Interlocuteur	Major Charly COITE	charly.coite@intradef.gouv.fr

CIDECO

AFFAIRE

Numéro d'affaire	2023P74	
Intitulé	Fosse Explosifs Fontevraud TE01	
Interlocuteur CIDECO	M. ANDRIANAVELONA	mami.andria@cideco.tech

INTERVENTION SUR SITE

Responsable	M. ANDRIANAVELONA	
Autres intervenants	K. BILLARD	

RAPPORT

Date	Indice	Observations/Modifications	Rédacteur	Rellecteur
26/09/2023	A	Rapport initial	M. ANDRIANAVELONA	L. AUDOUIN

Table des matières

1. Objet de l'étude	4
2. Déroulement de la mission.....	5
3. Auscultations.....	5
3.1 Auscultations non destructives	5
4. Inspection visuelle.....	6
4.1 Face des voiles	7
4.2 Tête des voiles.....	10
5. Essais en laboratoire	14
5.1 Résistance du béton	14
5.1.1 Carottage de la structure	14
5.1.2 Résistance à la compression	17
6. Préconisations.....	19
6.1 Voiles	19
6.1.1 Arrachement du béton	19
6.1.2 Fractures.....	22
6.2 Arases des voiles.....	23
6.2.1 Déformation des profilés sur arase.....	23
6.2.2 Eclats de béton	24
6.3 Profilés métalliques	25
6.4 Poutres en béton armé	26
6.5 Végétations.....	26
7. Conclusion.....	27
Annexes	28
Annexe 1 : Traces Géoradar	28
Annexe 2 : Plans.....	37

1. Objet de l'étude

La mission concerne la fosse explosifs « TE01 » située sur le camp militaire de Fontevraud. L'objectif est de réaliser un diagnostic technique des ouvrages béton et structures métalliques suite à une utilisation non-conforme en 2014 qui a fortement endommagé la structure.



Figure 1 : Fosse explosifs « TE01 »

VUE EN PLAN

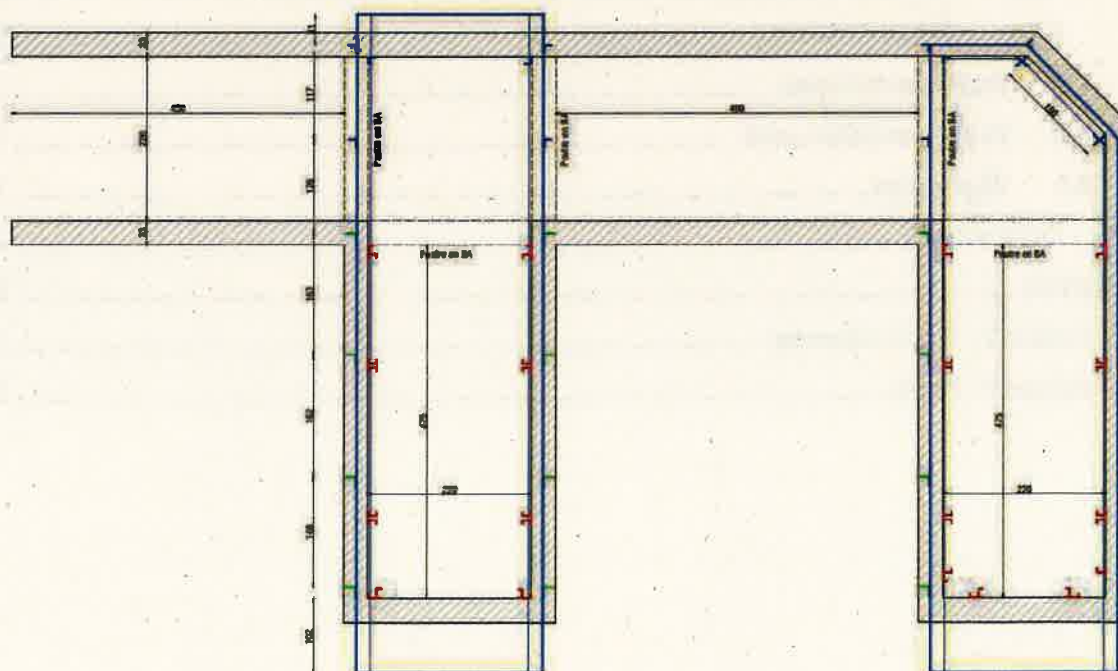


Figure 2: Vue en plan

2. Déroulement de la mission

Lors de notre intervention, les investigations suivantes ont été réalisées :

- Une inspection visuelle pour identifier les désordres présents sur les éléments structurels
- Une reconnaissance par sondage non destructif par radar structure pour indiquer la présence ou non d'armature dans les voiles béton endommagés.
- Des carottages pour prélever des échantillons dans ces mêmes voiles afin de réaliser des essais en laboratoires

Nous avons réalisé l'intervention sur site en date du 18 août 2023.

3. Auscultations

3.1 Auscultations non destructives

Les auscultations non destructives sont essentiellement menées à l'aide d'un géoradar Structure Scan XT. Les traces géoradar réalisées ont pour but de déterminer la composition et la nature des éléments structurels. Ces traces sont fournies en *annexe 1* du présent rapport.



Figure 3: Illustration GéoRadar

Les traces réalisées sont annotées sur le plan ci-après.

Au vu de la densité du ferrailage rencontré en peau, il est possible que la zone tendue des voiles se situe côté intérieur, les voiles travaillant de profilé métallique à profilé métallique. A contrario des voiles de soutènement classiques, présentant leur zone tendue côté « terres retenues ».

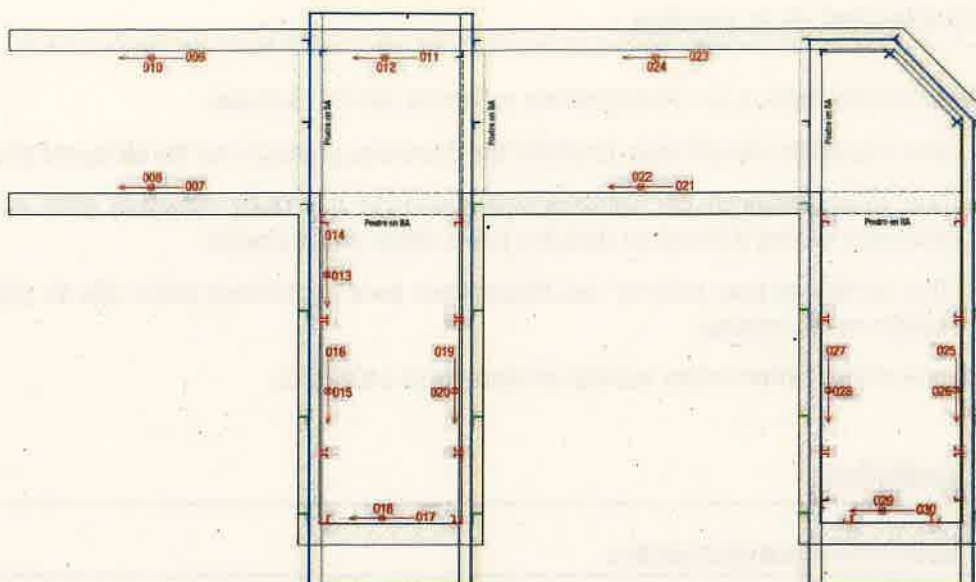


Figure 4: Localisation des traces Géoradar

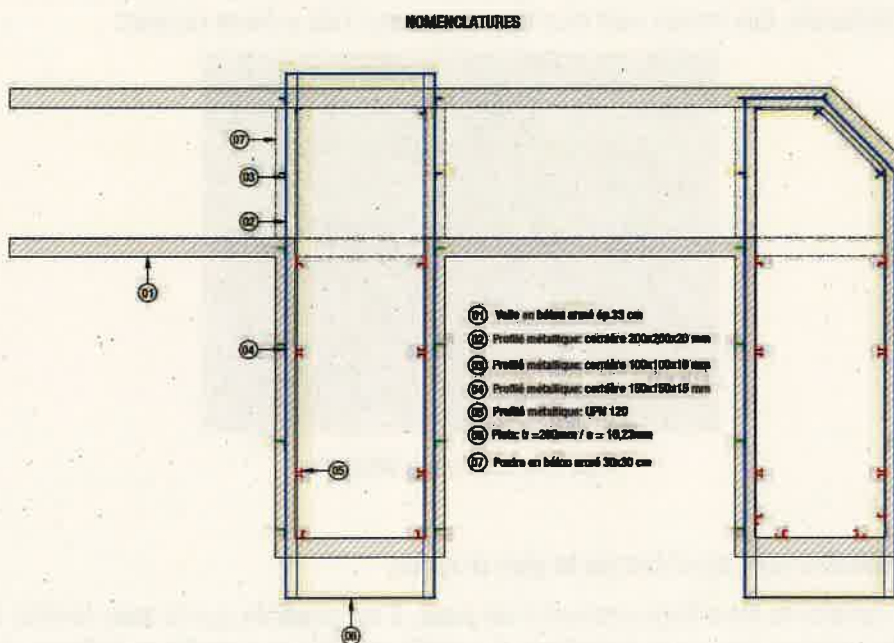


Figure 5: Nomenclatures des éléments

4. Inspection visuelle

L'inspection visuelle réalisée vise à mettre en lumière l'état de santé de la structure. Chacun des désordres est numéroté et repéré sur le plan ci-dessous. Le tableau qui suit ses plans décrit chacun des désordres observés.

4.1 Face des voiles

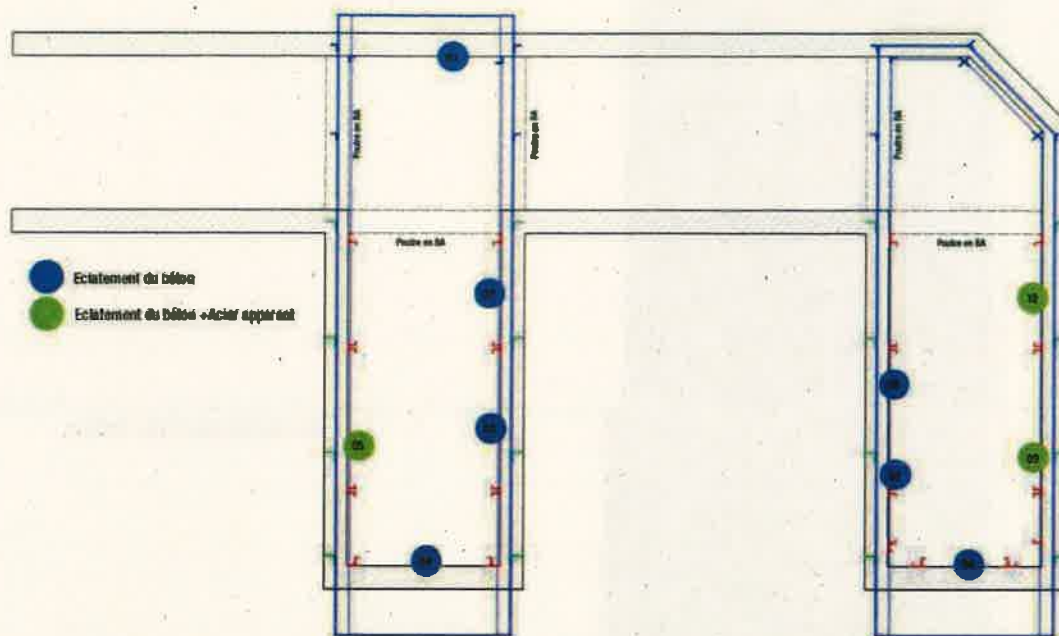











Figure 6: Localisation des désordres sur la face des voiles

Réf.	Photos	Commentaires
01		Arrachement du béton
02		Arrachement du béton

03			Arrachement du béton
04			Arrachement du béton
05			Arrachement du béton et aciers corrodés

06			Arrachement du béton
07			Arrachement du béton
08			Arrachement du béton
09			Ségrégation du béton avec aciers corrodés

4.2 Tête des voiles

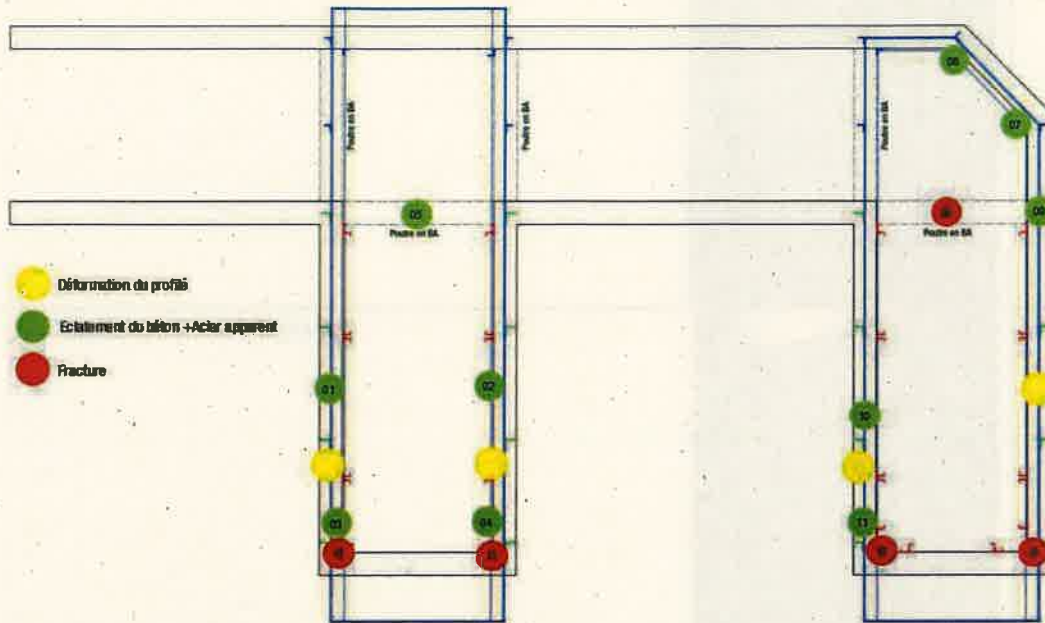














Figure 7: Localisation des désordres

Réf.	Photos	Commentaires
01		Arrachement du béton et aciers corrodés

02		Arrachement du béton et aciers corrodés
03		Arrachement du béton et aciers corrodés Déformation du profilé
04		Arrachement du béton et aciers corrodés
05		Eclatement du béton avec acier apparent sur la face supérieure de la poutre

06		Eclatement du béton avec acier apparent
07		Eclatement du béton avec acier apparent
08		Fracture localisée à mi-travée d'une ouverture 1 cm et acier apparent sur la face supérieure de la poutre
09		Eclatement du béton avec acier apparent Déformation du profilé

10		<p>Eclatement du béton avec acier apparent Déformation du profilé</p>
11		<p>Eclatement du béton avec acier apparent</p>
12		<p>Fracture à l'intersection des voiles</p>

Lors de l'inspection visuelle, nous avons remarqué que l'ensemble des profilés métalliques étaient corrodés.

5. Essais en laboratoire

5.1 Résistance du béton

5.1.1 Carottage de la structure

Six (06) carottes ont été prélevées dans les éléments de la structure, dont :

- 5 dans les voiles endommagés (C2-C3-C4-C5-C6)
- 1 dans le voile sain (C1)

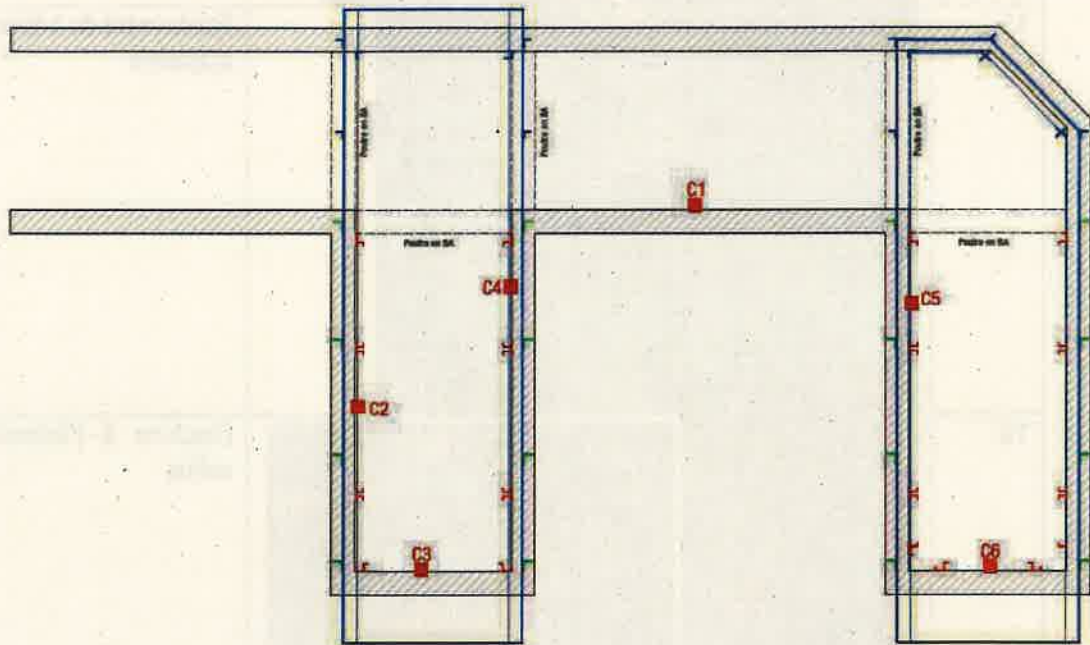


Figure 8: Implantation des carottages

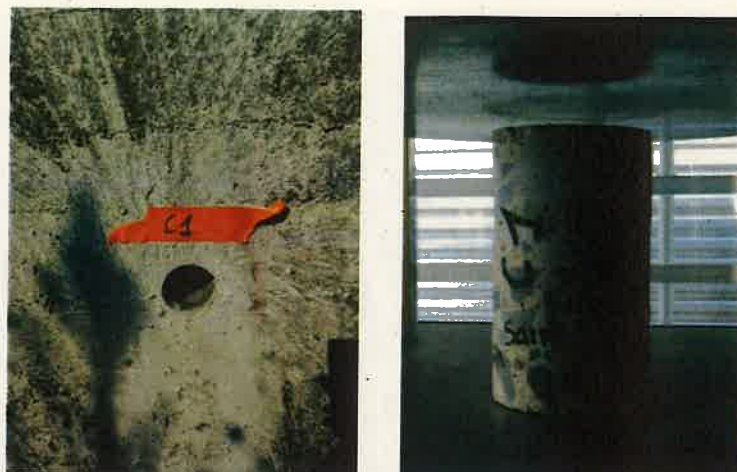


Photo 1: Carottage C1

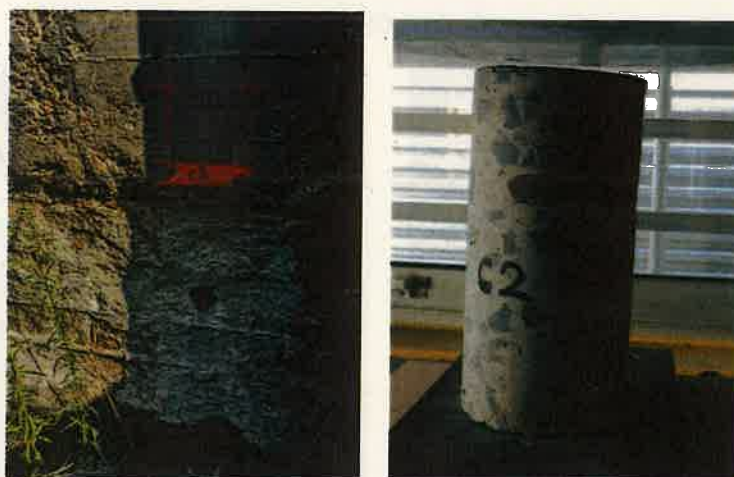


Photo 2: Carottage C2



Photo 3: Carottage C3



Photo 4: Carottage C4



Photo 5: Carottage C5



Photo 6: Carottage C6

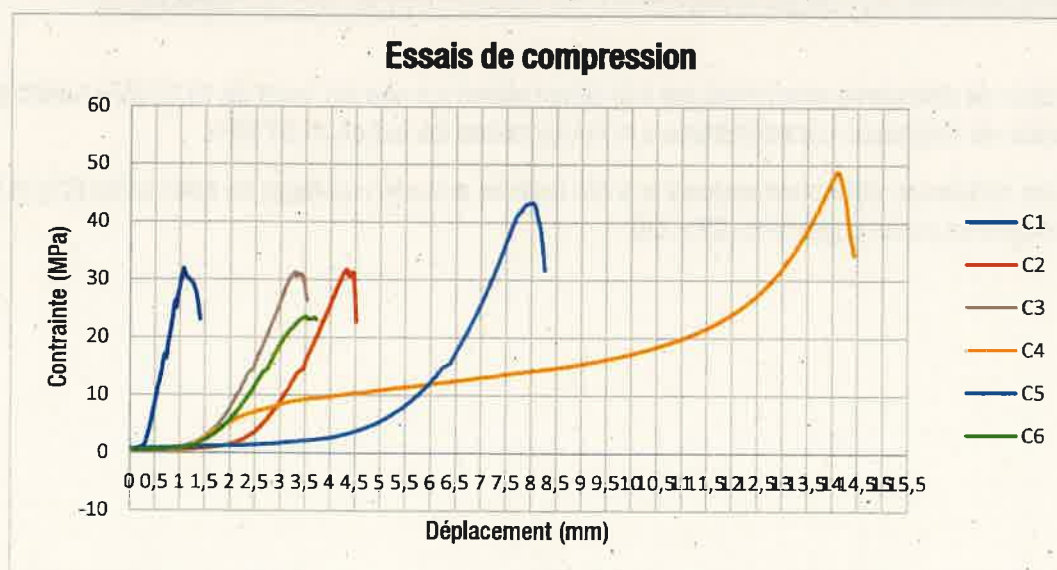
5.1.2 Résistance à la compression

Les essais de compression ont été réalisés sur une presse à béton étalonnée, de la plateforme MSGC. La vitesse de chargement est de 0,6 MPa/s, selon la norme EN12390-3.



Les courbes de comportement sont fournies sur le graphe ci-dessous, où la résistance à la compression varie de 23 à 48 MPa.

La résistance moyenne du béton de ces éléments éprouvettes est de 37,55 MPa.



Carotte	Diamètre (mm)	Hauteur (mm)	Poids (g)	Elancement	Densité (kg/m³)	Résistance apparente f_c (MPa)	K1	k2	Résistance sur site $f_{c,ls}$ (MPa)	Moyenne $f_{cm,ls}$ (MPa)	Coeff. de variation
C1	74	121	1220	1,64	2344	31,92	1,14	0,93	34,03	37,55	21,5%
C2	74	156	1500	2,11	2236	31,80	1,14	1,02	36,99		
C3	74	134	1370	1,81	2377	31,27	1,14	0,97	34,46		
C4	74	113	1140	1,53	2346	48,85	1,11	0,91	49,54		
C5	74	111	1160	1,50	2430	43,39	1,11	0,91	43,77		
C6	74	141	1470	1,91	2424	23,63	1,14	0,98	26,50		
Moyenne					2359,5	35,1			37,5		
Ecart-type					70,96	9,22			8,08		
Coefficient de Variation					3,0%	26,2%			21,5%		

A noter que, selon la norme NF EN 13791/CN (octobre 2021), le calcul de la résistance in situ n'est possible qu'avec un nombre d'échantillons minimal de 8 carottes, pour une zone d'essai « non petite ». Néanmoins, en suivant la philosophie de la norme, les résultats sont les suivants :

Localisation des prélèvements	Voile BA
Moyenne $f_{cm,ls}$ (MPa)	37,55
Coeff. de variation	21,5%
Résistance caractéristique sur site $f_{ck,ls}$ (MPa)	18,67
Résistance caractéristique de calcul f_{ck} (MPa)	21,97
Classe de béton	C20/25

La valeur de résistance caractéristique à la compression sur site $f_{ck,ls}$ est de 18,67 MPa tandis que la valeur de résistance caractéristique à la compression f_{ck} est de 21,97 MPa.

A noter qu'aucune différence majeure n'a été repérée entre le carottage en zone saine (C1) et les carottages en zones dégradées (C2 à C6)

6. Préconisations

L'inspection visuelle effectuée a révélé de fortes dégradations dans les différents éléments structurels notamment les profilés métalliques et les murs en béton armé.

Au vu des désordres rencontrés, nous recommandons de réaliser les actions suivantes :

6.1 Voiles

6.1.1 Arrachement du béton

Le plan ci-dessous illustre la répartition des zones de dégradation du voile.

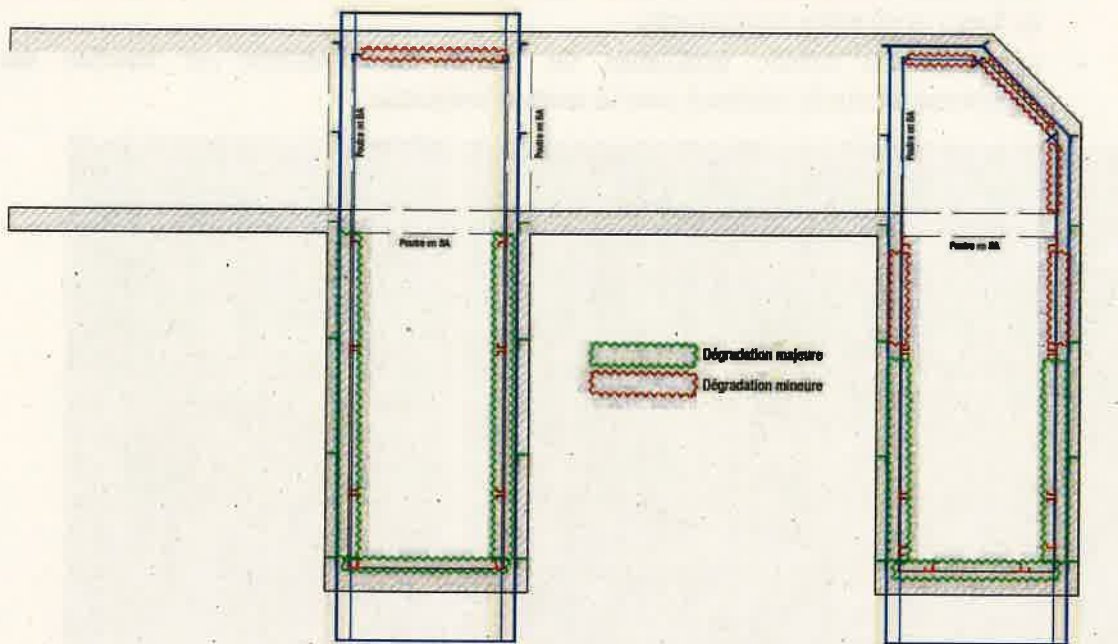


Figure 9: Répartition des zones d'arrachement sur voile

6.1.1.1 Zone avec dégradations mineures

Reconstitution partielle de béton dégradé sur une profondeur peu importante ou une surface peu étendue :

- Préparation de la zone : utilisation d'un marteau piqueur ou un burin pour retirer le béton endommagé autour de la zone éclatée et créer une surface propre et solide pour la réparation.
- Nettoyage de l'acier corrodé : nettoyage de l'acier à l'aide d'une brosse métallique ou d'une meuleuse pour enlever la rouille
- Préparation de la surface : humidification de la zone à réparer afin d'empêcher le béton de trop absorber la nouvelle réparation et application d'un apprêt d'adhérence sur la surface de l'acier et du béton environnants.
- Réparation du béton : application du mortier de réparation en fonction des recommandations du fabricant dans la zone endommagée.



Photo 7: désordres mineurs

6.1.1.2 Zones avec dégradations majeures

Au vu la forte dégradation de certains voiles, l'hydrodémolition associé à l'application de béton projeté semble être la méthode la plus appropriée.

Ci-après sont présentées les étapes de ce type de réparation :

- Hydrodémolition des zones de béton pulvérulent
- Préparation du béton projeté
- Traitement des aciers corrodés : application d'un inhibiteur de corrosion sur les aciers corrodés
- Mise en place d'armatures de renfort : c'est-à-dire intégration d'armatures supplémentaires dans les zones où une diminution de la section d'armature serait repérée
- Projection du béton à haute pression afin qu'il adhère au mieux à la surface endommagée
- Finition : lissage et de finition manuelle pur obtenir une surface uniforme et esthétique
- Curing : application d'une solution de cure ou la couverture de la zone réparée pour éviter le dessèchement trop rapide.
- Inspection et évaluation : il est important de procéder à une inspection pour s'assurer que la réparation a été effectuée correctement.



• Photo 8: désordres majeurs

6.1.2 Fractures

Le plan ci-dessous illustre la localisation des fractures au droit des intersections de voiles.

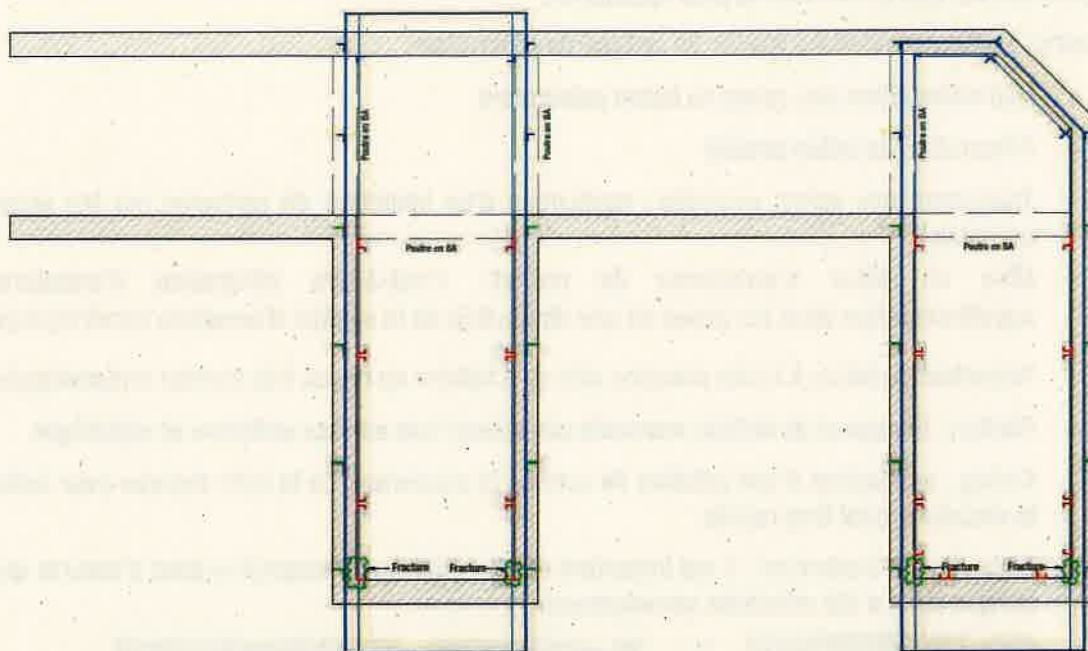


Figure 10: Implantation des fractures

Injection de l'ensemble des fractures au droit de l'intersection des voiles. Étant donné que la fissure présente une ouverture importante, il est nécessaire de procéder à son injection plutôt qu'à son calfeutrage, dans le but de restaurer l'intégrité structurelle du voile et d'assurer une uniformité. Cette approche contribuera également à prévenir la corrosion des armatures. Pour ce faire, la fissure sera traitée et comblée à l'aide d'un coulis de ciment de qualité R1 ou R2 conformément à la norme EN 1504, bien que l'utilisation de résine puisse également être envisagée.

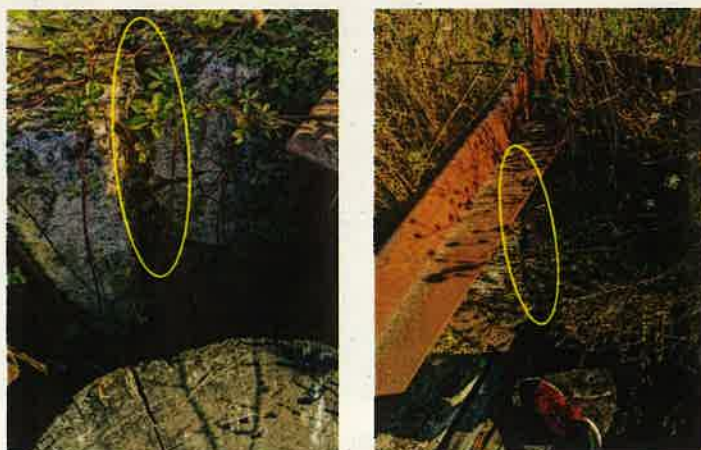


Photo 9: Fractures au droit de l'intersection des voiles

Les étapes générales de la technique d'injection des fissures sont les suivantes :

- Enlèvement de tout matériau lâche, la poussière, l'eau et d'autres contaminants à l'intérieur de la fissure en utilisant des brosses métalliques, de compresseurs d'air, ou d'autres outils appropriés.
- Installation de dispositifs d'ancrage : installation des dispositifs d'ancrage le long de la fissure pour empêcher l'écoulement du matériau d'injection et garantir un renforcement adéquat.
- Choix du matériau d'injection : le plus couramment utilisé est une résine époxy ou un ciment de polymères.
- Surveillance : pendant le processus d'injection, il est important de surveiller la fissure pour s'assurer que le matériau remplit correctement la fissure et ne crée pas de bulles d'air ou de vides.
- Durcissement : une fois le matériau d'injection en place, il doit être laissé à durcir pendant un certain temps, en fonction des spécifications du matériau. Il est essentiel de protéger la zone contre les perturbations.
- Finition : une fois que le matériau d'injection a durci, la surface peut être lissée et nivelée pour correspondre à la surface environnante, si nécessaire
- Inspection finale : après la préparation, une inspection finale est effectuée pour s'assurer que la fissure a été correctement réparée et que la structure est renforcée de manière adéquate.

6.2 Arases des voiles

6.2.1 Déformation des profilés sur arase

Habituellement, afin de remédier à la déformation des profilés métalliques, il convient de respecter les étapes ci-dessous :

- Démontage :
 - Si possible, démontage du profilé métallique de son emplacement d'origine pour faciliter la réparation.
- Correction de la déformation :
 - Pour les déformations mineures, utilisation des pinces, des marteaux et des massettes pour redresser délicatement le profilé.
 - Pour les déformations plus graves, utilisation des techniques de chauffage et de refroidissement pour détendre le métal. Cela peut nécessiter des équipements de soudage spéciaux
 - Pour les profilés tordus, utilisation des serre-joints ou des étaux pour tenter de redresser le profilé.
- Soudage :
 - Étant donné l'ampleur de la déformation et la nécessité de réparer ou renforcer les parties du profilé, il pourrait être nécessaire de souder des pièces métalliques supplémentaires.
 - Il est important de posséder les compétences nécessaires en soudage et de faire usage des équipements de sécurité appropriés

- **Finition :**
 - Une fois que la déformation a été corrigée, il est important de procéder au lissage et au polissage de la surface du profilé afin d'éliminer les aspérités et les bavures
 - Mise en peinture et traitement de la surface pour éviter la corrosion.
- **Remontage :**
 - Si le profilé a été démonté, il serait préférable de le remonter à son emplacement d'origine.
- **Inspection finale :**
 - Il s'agit d'une vérification si la déformation a été correctement corrigée et que le profilé est fonctionnel et sûr.

Étant donné la condition actuelle des profilés métalliques (forte corrosion et déformation systématique), il semble plus avantageux et qualitatif de procéder au remplacement de l'ensemble des profilés situés au-dessus des voiles (découpe des pieds de profilés par disquage et ancrage de nouveaux profilés fabriqués et montés en usine par scellement chimique).

Cette solution semble plus économique et nécessite moins de temps à mettre en œuvre.



Photo 10: Déformation des profilés métalliques 200x200x20 mm

6.2.2 Eclats de béton

L'inspection visuelle a permis d'identifier les désordres au niveau de l'arase des voiles qui sont principalement des éclatements de béton avec aciers apparents corrodés.

Voici les étapes générales pour la réparation :

- **Nettoyage de la surface :** élimination de toute saleté, poussière ou autre contamination de la surface du béton armé. Utilisation d'un nettoyeur haute pression si nécessaire.
- **Traitement de la corrosion des armatures :** nettoyage et traitement afin d'arrêter la corrosion. Cela peut nécessiter le décapage du béton autour de l'acier et l'application d'un inhibiteur de corrosion
- **Réparation du béton :** utilisation d'un mortier de réparation spécialement conçu pour les structures en béton armé
- **Finition :** nivellement de la surface de la réparation pour correspondre au reste de la structure.
- **Protection et prévention :** application d'un revêtement de protection ou un scellant pour empêcher l'infiltration d'eau et la corrosion future.



Photo 11: Arrachement du béton sur l'arase des voiles

6.3 Profilés métalliques

Les profilés métalliques sont principalement affectés par une corrosion importante mais sans perte de section significative. Nous préconisons donc les actions suivantes :

- Nettoyage des profilés métalliques afin d'éliminer toute saleté, poussière, graisse ou autres contaminants. Il pourra être utilisé une brosse métallique, du papier abrasif ou un nettoyeur haute pression.
- Élimination de la corrosion en utilisant l'une des méthodes suivantes :
 - Brossage : Utilisation d'une brosse métallique afin d'enlever la rouille et les dépôts de corrosion destinée pour les petites zones affectées.
 - Sablage : Le sablage consiste à projeter des particules abrasives sur la surface métallique afin d'éliminer la corrosion. Cette solution peut s'avérer nécessaire pour les zones fortement corrodées.
 - Décapage chimique : Les décapants chimiques sont des produits spécialement conçus pour dissoudre la rouille et la corrosion.



Photo 12: sablage des profilés



Photo 13: décapage chimique

- Conversion de la corrosion : Une fois que la corrosion a été éliminée, application d'un convertisseur de rouille ou un inhibiteur de corrosion pour prévenir la récurrence et transformer la rouille en une couche protectrice.
- Revêtement protecteur : application d'un revêtement protecteur sur les profilés métalliques. Les options courantes incluent la peinture, la galvanisation à chaud, la galvanisation électrolytique ou l'application de revêtements anticorrosion spéciaux.
- Maintenance régulière des profilés métalliques en surveillant l'apparition de la corrosion et en effectuant des retouches si nécessaire

6.4 Poutres en béton armé

En ce qui concerne les poutres en béton armé, lors de la phase de travaux, il sera essentiel de retirer les coffrages en bois actuellement présents sur le pourtour des poutres afin de vérifier la présence éventuelle de défauts.

Les possibles éclats et fractures devront être traités conformément aux méthodes décrites en chapitres 6.1.2 et 6.2.2.



Photo 14: Fracture au niveau de la face supérieure de la poutre

6.5 Végétations

- Au vu de l'attaque des végétations à l'intérieur et autour de l'ouvrage, il est nécessaire de réaliser un débroussaillage.
- Elimination de la mousse sur les murs par nettoyage à haute pression.

7. Conclusion

En conclusion, le diagnostic de la structure de la « Fosse explosifs TE01 » située sur le camp militaire de Fontevraud a permis d'identifier plusieurs aspects cruciaux relatifs à son état actuel.






Les principales constatations issues de cette évaluation comprennent :


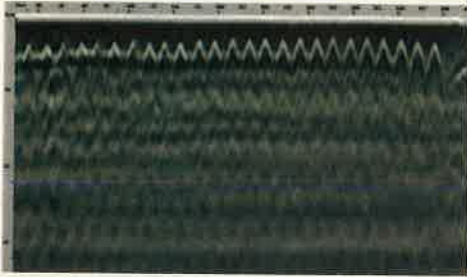
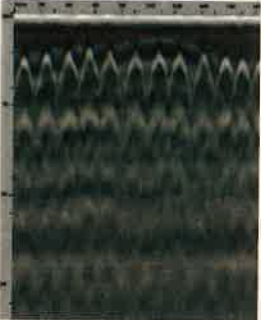
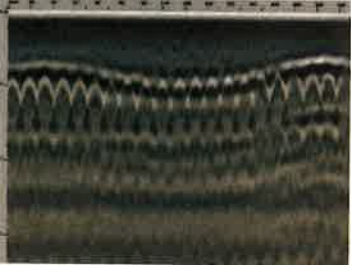

- L'état général de la structure présentant des signes de détérioration, notamment des fractures, des déformations des profilés, arrachement du béton et corrosion des profilés. Ces problèmes sont préoccupants et nécessitent une intervention pour garantir la sécurité et la stabilité et la sécurité à long terme de la structure.
- Les auscultations non destructives réalisées ont permis de vérifier la présence et la densité du ferrailage dans les voiles
- Des essais laboratoires ont permis de vérifier que le béton était de qualité correcte et de déterminer sa résistance à la compression (classe C20/25).
- Les préconisations de travaux définies en chapitre 6





Annexes

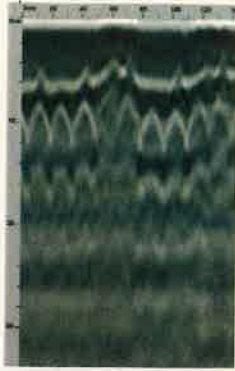



Annexe 1 : Traces Géoradar




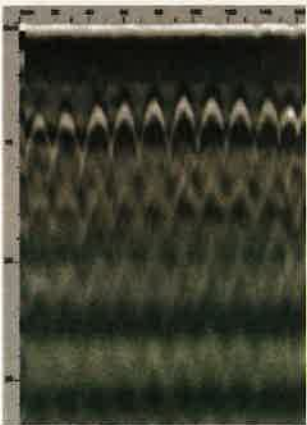
Le tableau ci-dessous fournit les traces Géoradar réalisées au cours de cette étude.

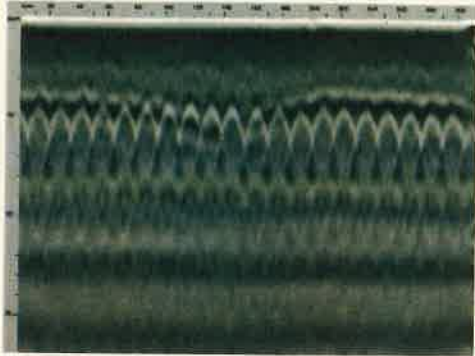
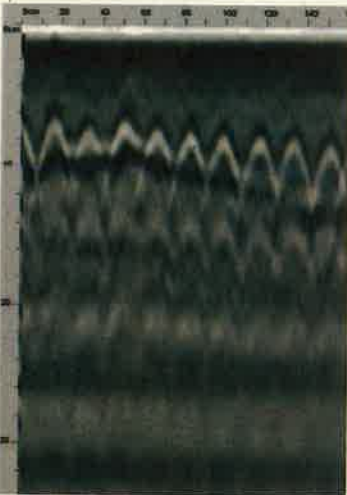
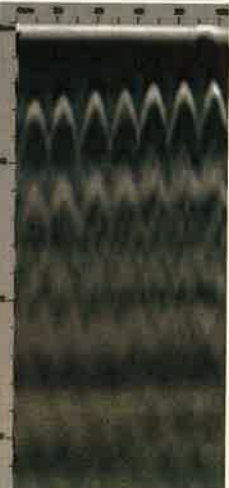
N°	Trace
001	
002	
003	
004	
005	




006	
007	
008	
009	
010	


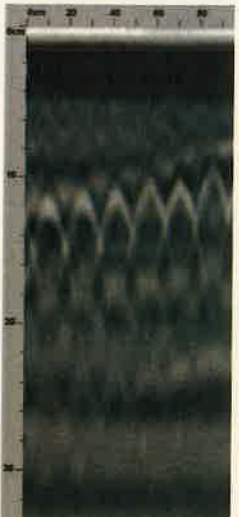

011	
012	
013	
014	

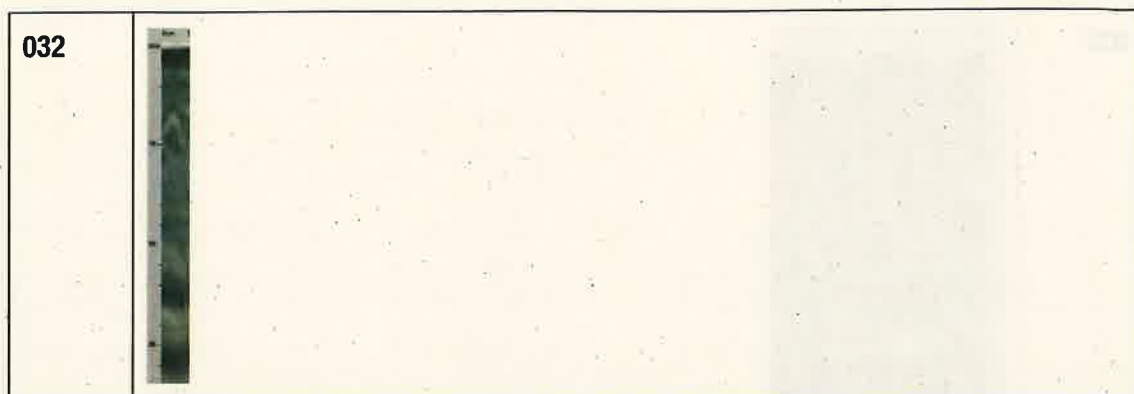
015	
016	
017	
018	

019	
020	
021	
022	

023	
024	
025	

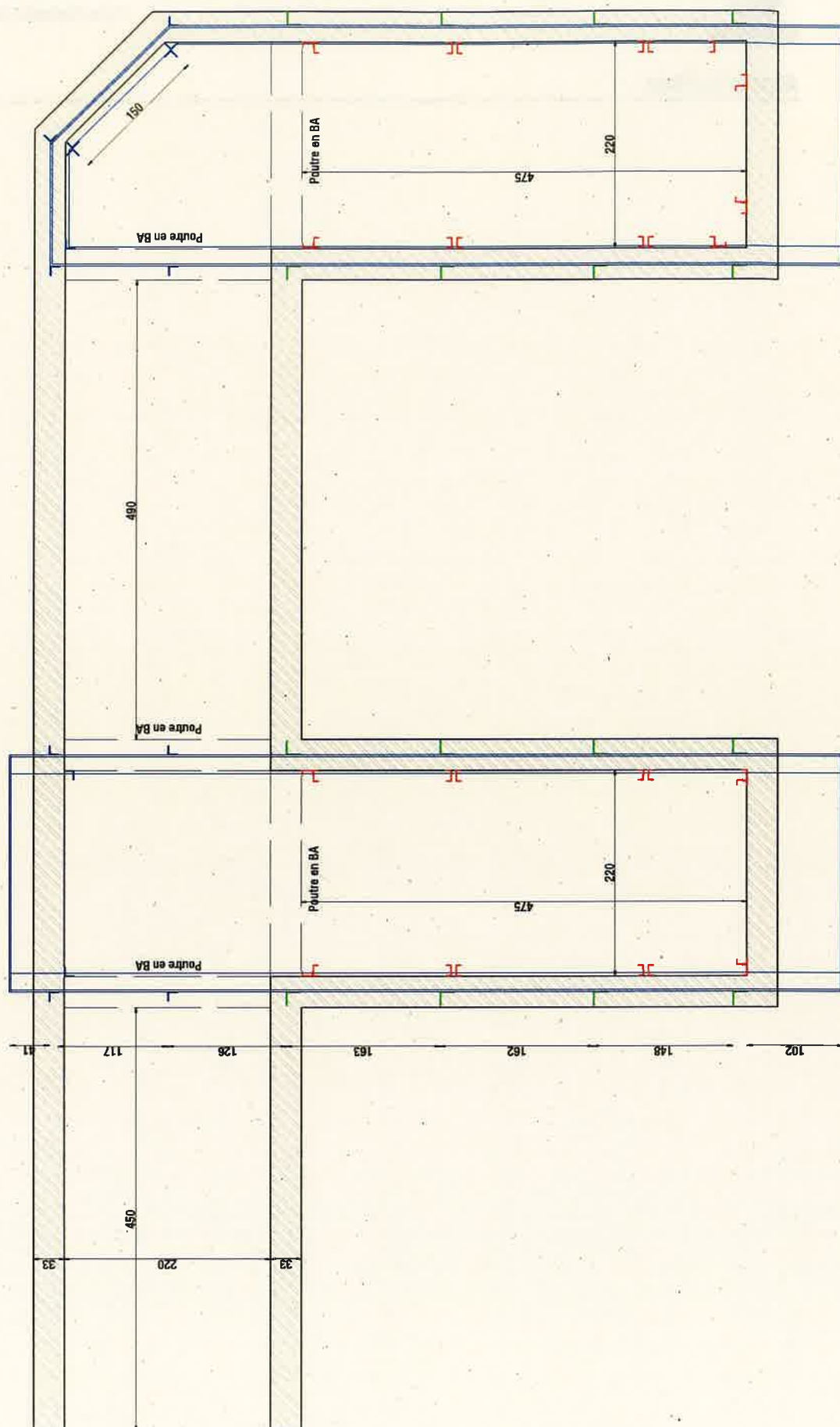
026	
027	
028	

029	
030	
031	

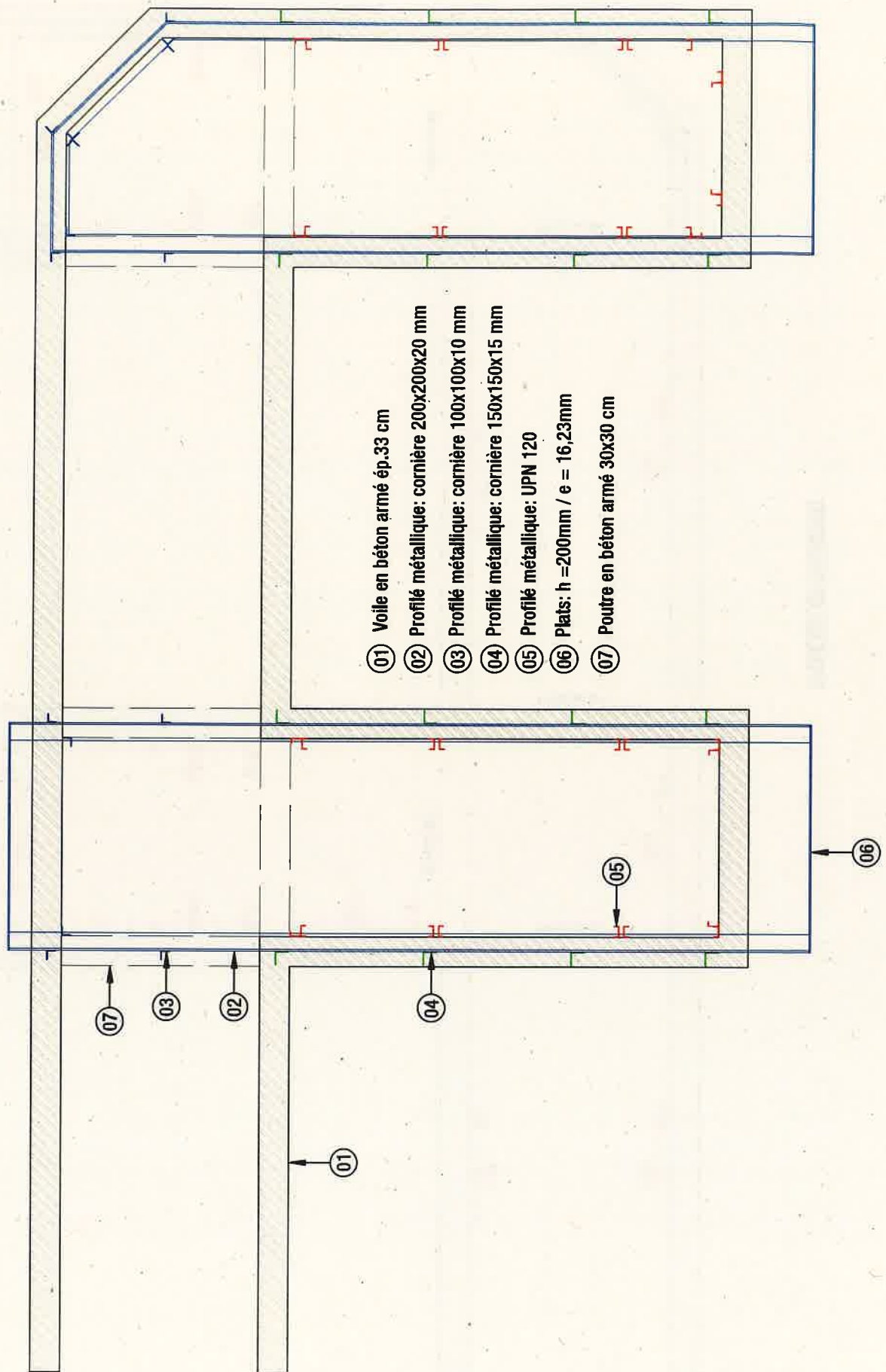


Annexe 2 : Plans

VUE EN PLAN



NOMENCLATURES



TRACES GEORADAR

