



Diagnostic structure

Ferme de Bellevue

Quartier de Gaulle, 49590 Fontevraud-l'Abbaye

29 octobre 2021

Etude réalisée pour

L'ESID de Rennes

par : David Bongiraud, Fabien Bichard et Lionel Audouin



Table des matières

1. Objet de l'étude	3
2. Système constructif	4
2.1. Généralités	4
2.2. Détails.....	4
3. Observations visuelles.....	5
4. Implantation des investigations	7
5. Auscultations géoradar	7
6. Sondages destructifs.....	8
6.1. Pièce 007 – Sondage SD1	9
6.2. Pièce 008 – Sondage SD2	11
6.3. Pignon Ouest – Sondage SD3.....	12
7. Avis et préconisations	13
7.1. Synthèse des investigations	13
7.2. Préconisations	13
8. Conclusion	16
Annexe 1 : Traces géoradar	17
Annexe 2 : Fiches de sondages	21
Annexe 3 : Vidéo	22

1. Objet de l'étude

La ferme de Bellevue, située à Fontevraud sert actuellement de bivouac pour les militaires, le site va être soumis à un projet de valorisation.

L'objectif de la mission est de réaliser le diagnostic structural de la dalle de la pièce 007 du bâtiment 321 touchée par un phénomène d'affaissement, ainsi que d'établir le niveau de solidité et l'état de vétusté du pignon en tuffeau (façade ouest du bâtiment), afin d'apporter au maître d'ouvrage une connaissance précise de la solidité et de l'état de vétusté des structures, ainsi que des charges maximales admissibles par la structure.



Figure 1 : Vue aérienne du bâtiment



Figure 2 : Vue générale de l'aile concernée



Figure 3 : Affaissement de la dalle



Figure 4 : Déversement du pignon ouest

La mission s'est déroulée du 27 au 29 septembre 2021.

2. Système constructif

2.1. Généralités

La ferme de Bellevue (ou bâtiment 321) située sur le camp de Fontevraud, a été construite avant 1927.



Figure 5 : Photographie aérienne de la ferme de Bellevue datant de 1927– Source IGN

Le bâtiment est composé de 3 ailes. Seule l'aile Sud fait partie de la présente étude.

2.2. Détails

L'aile Sud, de plein pied, s'étend sur une surface d'environ 300m².

Le plancher est composé d'un dallage en béton d'épaisseur comprise entre 80 mm et 100 mm. Ce dallage a été coulé sur du concassé hormis au droit des pièces 006 et 007 où la dalle béton a été coulée sur un ancien plancher bois.

La charpente traditionnelle bois est soutenue par des façades en pierre de tuffeau. Le soubassement de ces murs, faisant office de fondation, est réalisé avec un mélange de pierre de couleur rougeâtre et de liant à la chaux.

3. Observations visuelles

L'examen visuel de la façade a permis d'identifier et de localiser les principaux désordres affectant la structure. Les principaux désordres sont décrits ci-après :

- Pignon Ouest :
 - Déversement du mur vers l'ouest avec une ouverture maximale du joint entre le pignon ouest et le mur nord de 6 cm ;
 - Altération de la pierre sur 90 cm de haut depuis le terrain naturel : Pierre pulvérulente détériorée par les remontées d'eau sur une profondeur maximale de 10 cm ;
 - Présence d'un caniveau béton en pied de mur, permettant à l'eau de stagner et de remonter dans la pierre ;
- Façade Sud :
 - Façade en bon état général ;
 - Pied de façade refait à neuf ainsi que l'évacuation des eaux avec mise en place de drains recouverts de gravillons ;
- Façade Nord :
 - Pied de façade altéré : Revêtement de protection localement désagrégé, pierres pulvérulentes détériorées par les remontées d'eau sur une profondeur maximale de 5 cm (caniveau béton en pied de mur) ;
 - Présence d'humidité à proximité de points d'eau (gouttières, descentes d'eau pluviales, robinet) ;
- Intérieur :
 - Plancher de la pièce 007 présentant une flèche importante suspectant un défaut de capacité portante ;
 - Charpente : Il a pu être observé partiellement une ferme de la charpente située proche du pignon ouest. L'entrait présente une fente importante sur appui.



Vue générale façade Nord 1/3



Vue générale façade Nord 2/3



Vue générale façade Nord 3/3



Façade Nord – Altération en pied et à proximité de la descente d'eau pluviale



Façade Nord – Altération du revêtement de protection en pied



Façade Nord – Déversement du pignon ouest



Déversement du pignon ouest vu depuis l'extérieur



Déversement du pignon ouest vu depuis l'intérieur



Charpente – entrain présentant une fente importante sur appui 1/2



Charpente – entrain présentant une fente importante sur appui 2/2



Vue générale du pignon ouest



Pignon ouest – Altération importante en pied de façade



Pignon ouest – Vue du soubassement



Façade Sud – pied de façade refait à neuf

Conclusions : La ferme de Bellevue est principalement affectée par le déversement du pignon ouest ainsi que par le fléchissement important de la dalle de la pièce 007 suspectant un défaut de capacité portante. A noter également le vieillissement de la façade en tuffeau notamment à cause d'un manque d'entretien et d'une mauvaise gestion des eaux pluviales.

4. Implantation des investigations

L'implantation des investigations (sondages et traces géoradar) est indiquée sur le schéma ci-dessous :

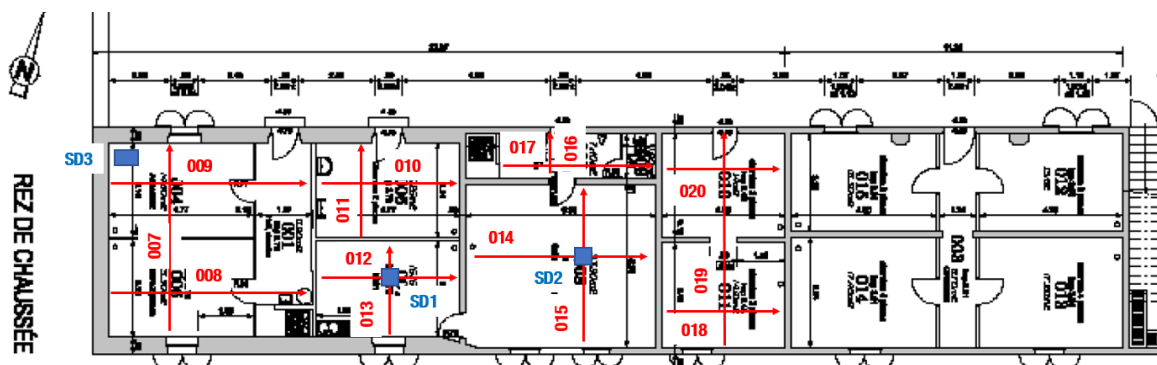


Figure 6 : Implantation des investigations – en bleu : les sondages / en rouge : les traces géoradar

5. Auscultations géoradar

20 traces géoradar ont été réalisées sur les différents éléments composant le plancher ; ces traces sont fournies en **Annexe 1** du présent rapport. Il est à noter que la numérotation des traces géoradar peut comprendre des sauts à cause de l'impossibilité d'exploitation de certaines mesures.

Ces auscultations au géoradar permettent généralement de déterminer :

- la constitution de l'élément sondé (maçonnerie ou béton armé) ;
- la présence et la répartition des armatures ;
- l'enrobage des aciers (profondeur) ;
- l'espacement des armatures.

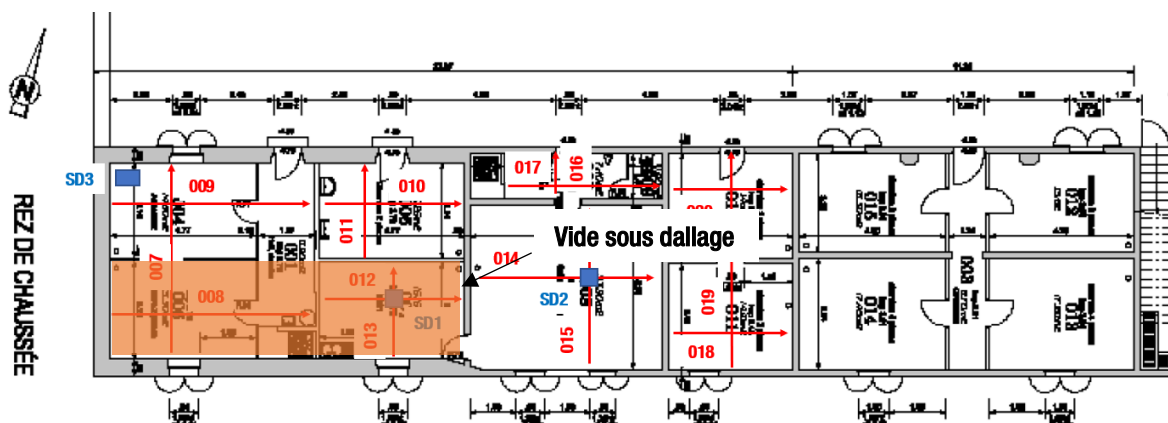


Figure 7 : Implantation de la zone présentant un vide sous dallage

A noter que dans le cadre de cette mission, les auscultations ont également mis en avant un vide situé sous le dallage au droit des pièces 006 et 007 et potentiellement en pièce 001. Ce vide a pu être vérifié par le sondage SD01 (voir chapitre suivant). La présence de vide induit que le dallage ne repose pas, ou plus, sur terre-plein.

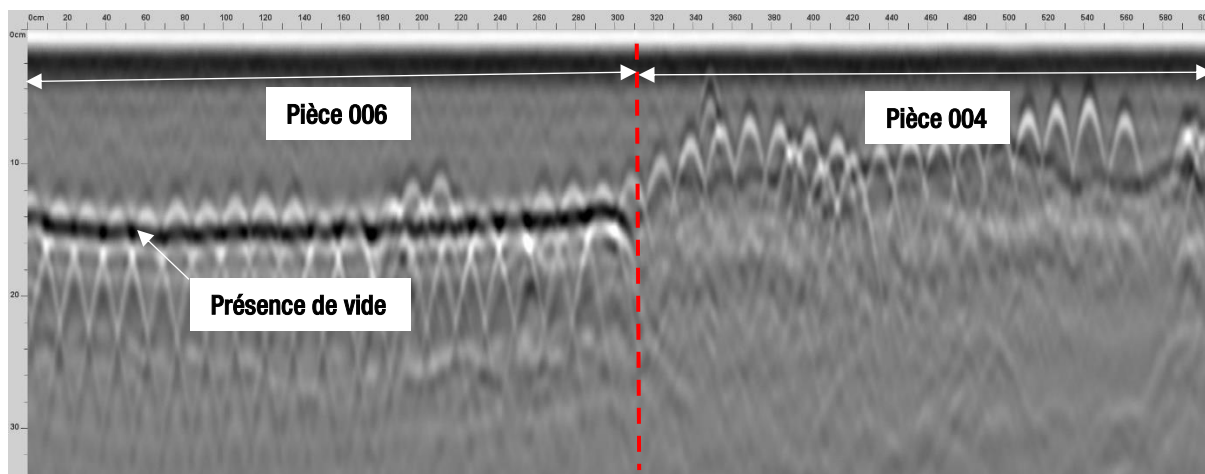


Figure 8 : Trace géoradar 008 – Présence de vide

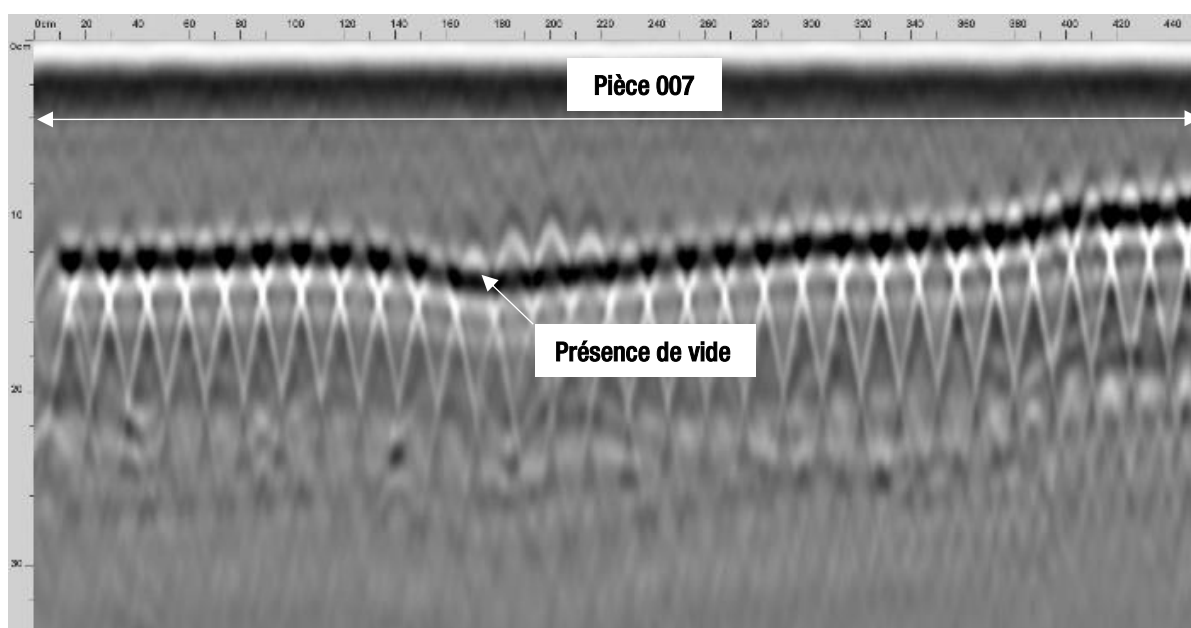


Figure 9 : Trace géoradar 012 – Présence de vide

6. Sondages destructifs

Dans le but de mieux comprendre la constitution de la structure, nous avons réalisé différents sondages destructifs. La localisation des sondages est disponible en chapitre 4.

Les coupes de sondages sont disponibles en *annexe 2*.

Les sondages destructifs ont été rebouchés après chaque intervention, et un nettoyage des lieux a été effectué.

6.1. Pièce 007 – Sondage SD1

Les différentes traces Radar réalisées sur le dallage de la pièce 007 et le sondage SD1 ont mis en avant :

- Un dallage béton de 10 cm d'épaisseur coulé sur un ancien plancher bois, totalement détruit par l'humidité. Le dallage ne repose donc actuellement sur rien. Le vide présent entre la sous-face du dallage et le niveau du sol est d'environ 23 cm.
- La présence d'un treillis soudé de type R903 (catalogue ADETS de 1985, diamètres 3,5 mm x 3,5 mm, espacement 150 mm x 150 mm). Ce type de treillis (anti-fissuration) confirme l'hypothèse d'un dallage et non d'une dalle portée.
- Le treillis soudé est positionné en partie basse avec un enrobage nul par rapport à la sous-face. Ce faible enrobage, a engendré une corrosion avancée des armatures avec perte de section.

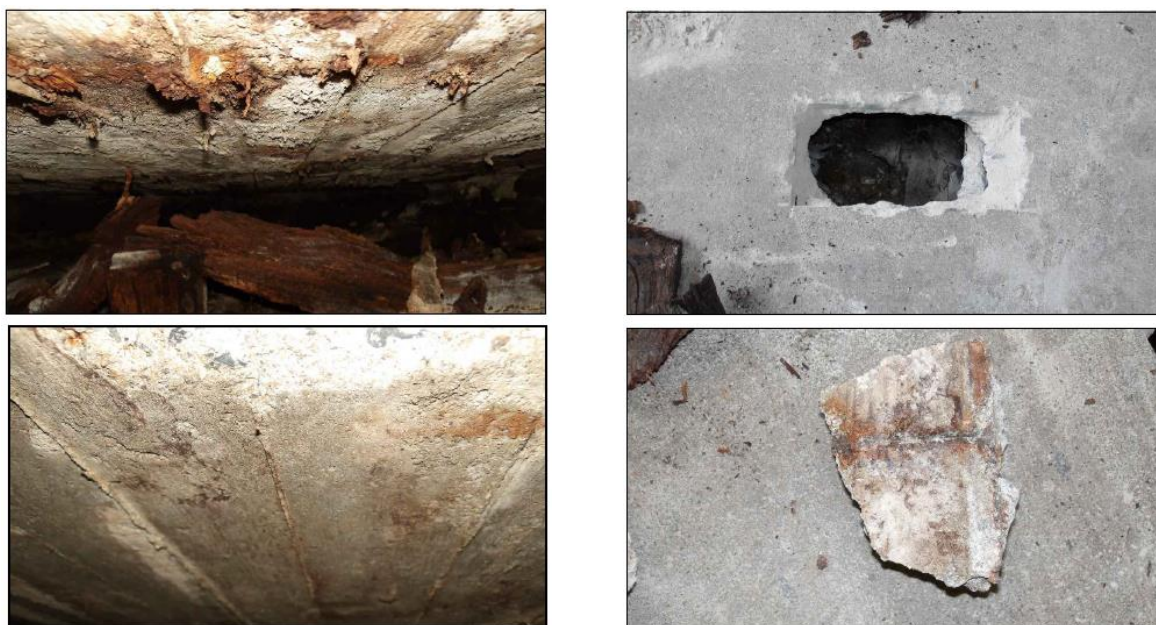


Figure 10 : Extrait annexe 2

SUR STOCK PRODUITS STANDARD													
	Désignation ADETS	Sect. S cm ² /m	S s cm ² /m	E e mm	D d mm	Abouts AV AR ad ag mm.mm	Nbre de fils N n	Longueur largeur L l m	ROULEAUX	PANNEAUX	Poids nominal kg/m ²	Surface 1 rouleau ou 1 panneau m ²	Poids 1 rouleau ou 1 panneau kg
TSL	R901	0,48	0,48 0,32	200 300	3,5 3,5	150.150 100.100	12 167	50,00 2,40	*		0,625	120,00	75,06
	R902	0,64	0,64 0,32	150 300	3,5 3,5	150.150 75.75	16 167	50,00 2,40	*		0,750	120,00	90,06
	R903	0,64	0,64 0,64	150 150	3,5 3,5	75.75 75.75	16 334	50,00 2,40	*		1,000	120,00	120,12
	P903	0,64	0,64 0,64	150 150	3,5 3,5	75.75 75.75	16 32	4,80 2,40		*	1,000	11,52	11,52

Figure 11 : Catalogue ADETS de 1985

Ci-dessous est présenté un calcul à l'ELU sous forme de dalle portée :

- 1^{er} cas : uniquement sous poids propre
- 2nd cas : en considérant une charge d'exploitation de 150 kg/m² :

Calcul de M_{Rd} :

- $A_s = 0,64 \text{ cm}^2/\text{m}$
- $d = 0,0983 \text{ m}$
- $f_{cd} = 13,33 \text{ MPa}$ (hypothèse béton C20/25)
- $f_{yd} = 435 \text{ MPa}$ (hypothèse $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$)

Soit $M_{Rd} = 2,86 \text{ kN.m/ml}$

Calcul de M_{Ed} :

- $g = 25 \times 0,10 \times 1 = 2,5 \text{ kN/ml}$
- $q = 1,5 \times 1 = 1,5 \text{ kN/ml}$
- $L = 4,50 \text{ m}$ (portée)
- Cas 1 (sous poids propre) : $1,35 \times g \times L^2/8 = 8,5 \text{ kN.m/ml}$
- Cas 2 (avec exploitation de 150 g/m²) : $(1,35 \times g + 1,5 \times q) \times L^2/8 = 17,1 \text{ kN.m/ml}$

Vérifications :

- Cas 1 : $M_{Ed} > M_{Rd}$ avec un taux de travail de 297%
- Cas 2 : $M_{Ed} > M_{Rd}$ avec un taux de travail de 597%

Conclusions :

Le sondage et les relevés radar ont mis en avant un vide important en-dessous du dallage. De plus les armatures du dallage sont également corrodées avec perte. Ce type de ferrailage ne permet pas la reprise des efforts (ferrailage de dallage et non de dalle portée).

En conséquence, le plancher de cette zone ne peut pas être exploité en l'état.

6.2. Pièce 008 – Sondage SD2

Les différentes traces Radar réalisées sur le dallage de la pièce 008 et le sondage SD2 ont mis en avant :

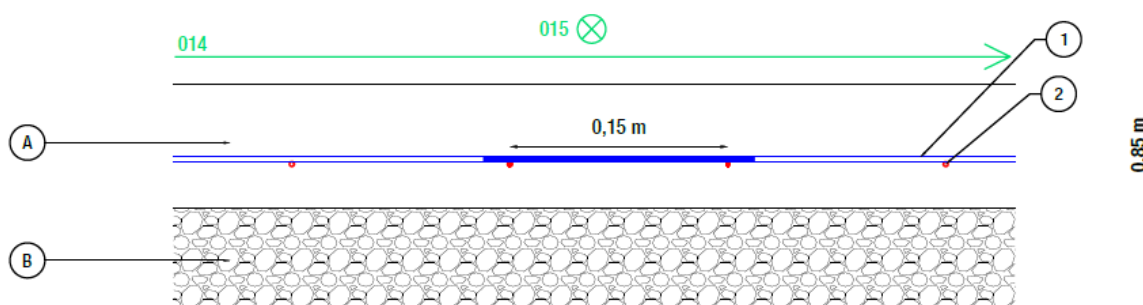
- Un dallage béton de 8,5 cm d'épaisseur coulé directement sur une couche de concassés ;
- La présence d'un treillis soudé de type R903 (catalogue ADETS de 1985, diamètres 3,5 mm x 3,5 mm, espacement 150 mm x 150 mm) ;
- Le treillis soudé est positionné proche de la fibre neutre, permettant aux armatures d'avoir un enrobage conséquent

Conclusions :

Le sondage et les relevés radar ont mis en avant un dallage béton de 8,5 cm d'épaisseur. Ce dallage a été coulé directement sur un mélange de concassés. A noter qu'aucun film de polyane n'est présent entre le dallage et les concassés pouvant ainsi laisser passer les remontées d'humidité.

Le sondage SD02, réalisé sur une zone saine (pas de fléchissement du dallage), a donc permis d'identifier avec certitude la cause des désordres sur les zones dégradées :

- Les dallages sont « sains » lorsqu'ils ont été coulés sur une couche de concassé ;
- Les dallages présentent un fléchissement anormal, et sont impropres à leur exploitation, lorsqu'ils ont été coulés sur un ancien plancher bois aujourd'hui inexistant (pièces 006 et 007 et potentiellement pièce 001)



Référence	Type	Epaisseur
A	DALLAGE BETON ARME	8,5 cm
B	CONCASSE	-



Figure 12 : Extrait annexe 2

6.3. Pignon Ouest – Sondage SD3

Le sondage SD03, réalisé en pièce 004 au pied du pignon ouest, a mis en avant :

- Un dallage en béton armé de 8 cm d'épaisseur coulé sur 20 cm de concassés peu compactés, eux-mêmes reposant sur ce qui semble être le terrain naturel (terre rouge compacte) ;
- Le soubassement du pignon ouest est réalisé avec un mélange de pierre de couleur rougeâtre et de liant à la chaux (noté E ci-dessous) ;
- Les premières pierres de tuffeau situées au-dessus du soubassement sont humides et pulvérulentes. Une vidéo, disponible en annexe 3, présente le caractère pulvérulent de la pierre.

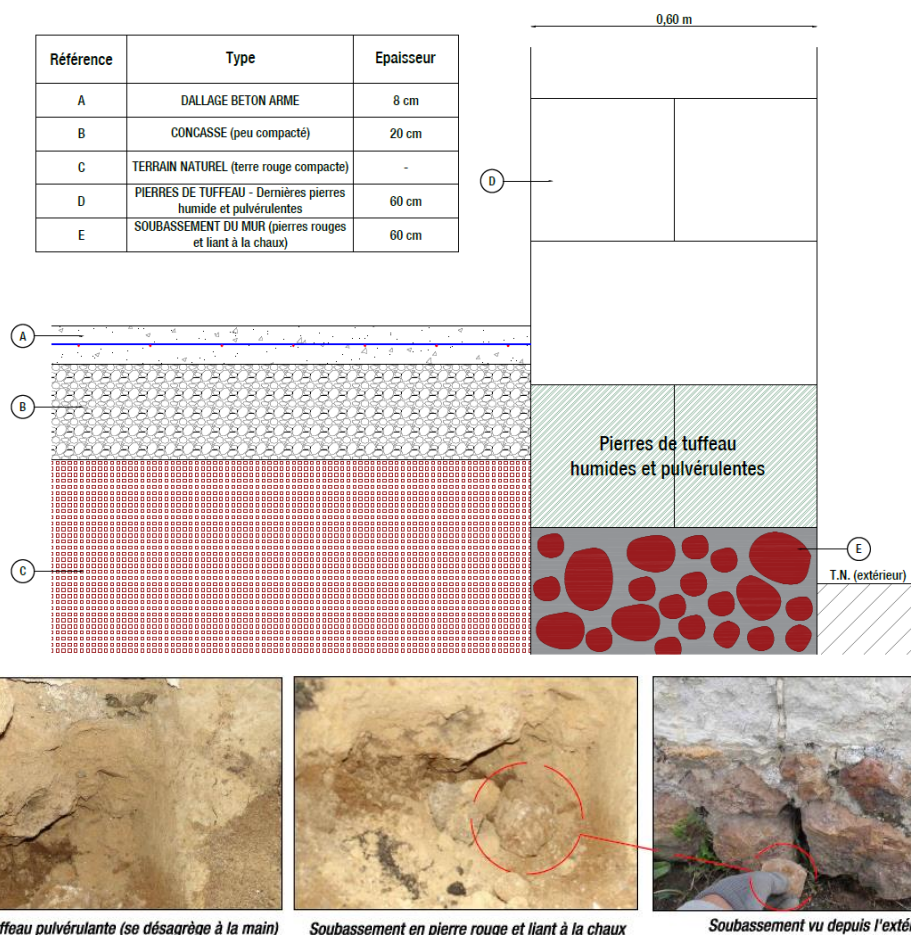


Figure 13 : Extrait annexe 2

Conclusions :

Le déversement du pignon ouest s'explique par le fait qu'une partie du mur en tuffeau soit enterrée (mauvaise mise en œuvre) laissant l'humidité altérer la pierre de tuffeau. Au fil des années, la pierre est devenue pulvérulente et a perdu une grande partie de sa capacité à reprendre les charges de compression. Pour mémoire, cette pierre est très sensible à l'eau qui est absorbée par le calcaire poreux se détériorant par une cristallisation saline et par l'effet du gel.

7. Avis et préconisations

7.1. Synthèse des investigations

Les investigations menées sur le pignon ouest et la dalle 007 de la ferme de Bellevue ont permis de mettre en avant les points suivants :

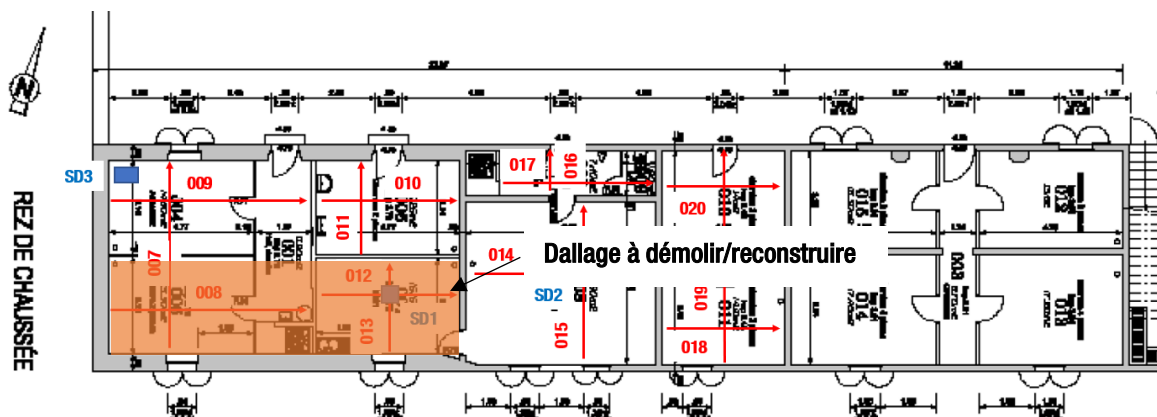
- La ferme de Bellevue est principalement affectée par le déversement du pignon ouest ainsi que par le fléchissement important de la dalle de la pièce 007. A noter également le vieillissement de la façade en tuffeau notamment à cause d'un manque d'entretien et d'une mauvaise gestion des eaux pluviales (hormis la façade Sud ayant déjà fait l'objet de réparations).
- **La pièce 007** présente un fléchissement anormal de sa dalle dû à un vide important en-dessous du dallage. En effet la dalle a été coulée sur un ancien plancher bois, totalement détruit par l'humidité. De plus les armatures du dallage sont également corrodées avec perte. Ce type de ferrailage ne permet pas la reprise des efforts (ferrailage de dallage et non de dalle portée). **En conséquence, le plancher de cette zone ne peut pas être exploité en l'état.**
- Les relevés Radar ont mis en avant un vide important également au droit du dallage de la pièce 006 et la pièce 001. La présence de vide induit que le dallage ne repose pas, ou plus, sur terre-plein. **Les planchers de ces zones (pièces 001 et 006) ne peuvent pas être exploités en l'état.**
- **Le déversement du pignon ouest s'explique par le fait qu'une partie du mur en tuffeau soit enterrée** (mauvaise mise en œuvre) laissant l'humidité altérer la pierre de tuffeau. Au fil des années, la pierre est devenue pulvérulente et a perdu une grande partie de sa capacité à reprendre les charges de compression. Pour mémoire, cette pierre est très sensible à l'eau qui est absorbée par le calcaire poreux se détériorant par une cristallisation saline et par l'effet du gel. **Un renforcement du pignon est à prévoir afin de pouvoir exploiter de nouveau le bâtiment.**

7.2. Préconisations

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

- Concernant le dallage, il sera nécessaire de démolir/reconstruire une partie du dallage existant suivant les étapes décrites ci-dessous :
 - Démolition du dallage des pièces 007, 006 et 001 partiellement (voir figure ci-après) ;
 - Evacuation des gravats en déchetterie appropriée ;
 - Remblaiement du vide sous dallage par réalisation d'une couche de forme servant d'assise au dallage ;
 - Compactage de la couche de forme et contrôle du compactage ;
 - Mise en place d'un film anticapillaire ;

- Réalisation du dallage dimensionné conformément au DTU 13.3 et aux charges d'exploitation prévues dans le cadre du projet de réaménagement de la ferme de Bellevue



- Concernant le pignon ouest, il sera nécessaire de reprendre en sous-œuvre la fondation du mur :
 - Mise en place d'étaie de type buton (voir ci-dessous) afin de soutenir le pignon et sécuriser un éventuel déversement du mur ;



Figure 14 : Exemple d'étaie

- Réalisation d'une étude géotechnique de type G5 afin de définir le principe de fondation en sous-œuvre à mettre en place et définir le sol d'assise ;
- Reprise en sous-œuvre du soubassement et des pierres altérées en touche de piano, c'est-à-dire par phases alternées qui permettent de ne pas dégager de façon continu les parties présentant des désordres. Le décaissement devra être réalisé sur toute la partie de pierre pulvérulente y compris fondation ;
- Concernant les pierres enterrées pulvérulentes : Remplacement des pierres par un matériau peu sensible à l'humidité et compatible avec la pierre de tuffeau (à définir lors de l'étude géotechnique) ;
- Concernant les pierres hors sol pulvérulentes : Remplacement des pierres pulvérulentes par des pierres moins sensibles à l'humidité (pierre de Richement par exemple)

- **Concernant les façades ouest et nord**, il est nécessaire de traiter les pieds de façades et les zones d'humidité afin d'empêcher la pénétration des eaux pluviales et d'arrêter les remontées capillaires dans le mur. Les travaux à réaliser sont du même type que ceux déjà réalisés sur la façade Sud :
 - Vérification et reprise de l'étanchéité de la couverture particulièrement au droit des égouts de toit et des raccords ;
 - Démolition des caniveaux bétons situés en pied de façade ;
 - Mise en place de drains en pied de façade avec gravillons pour éviter les éclaboussures d'eau ;
 - Reprise du soubassement avec un mortier de chaux (ne pas appliquer d'enduit étanche, celui-ci pourrait emprisonner l'eau dans les murs)
 - Reprise des premières pierres présentant des désordres :
 - Nettoyage doux à l'eau ;
 - Ragraéage en enlevant les parties altérées friables et à appliquer sur la partie saine et nettoyée. Le mortier devra imiter la pierre tout en respectant l'appareillage de manière à redonner au matériau d'origine l'apparence de son épiderme ;
 - Pour les parties à ragréer de plus de 2 cm d'épaisseur, il sera nécessaire de disposer des armatures dans la partie saine ;
 - Rejointement à la chaux avec de la poudre de calcaire.

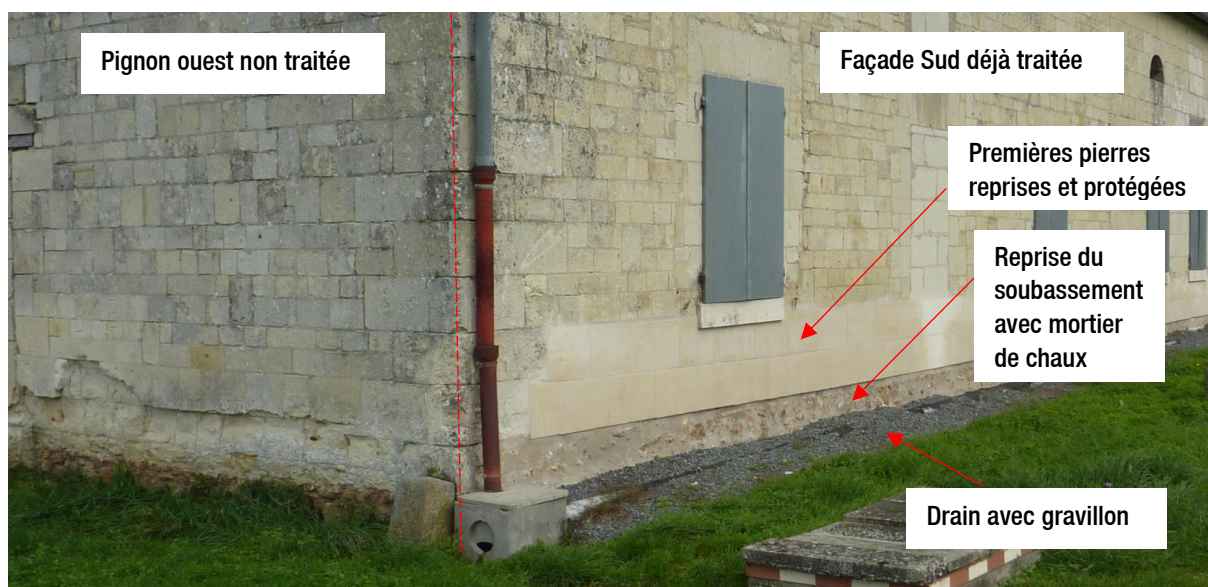


Figure 15 : Illustration des travaux déjà réalisés sur la façade Sud à réaliser sur les façades Nord et Ouest

8. Conclusion

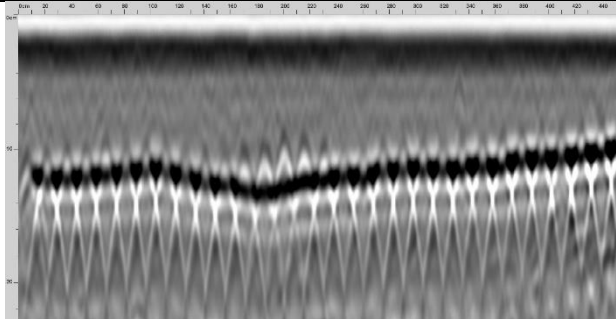
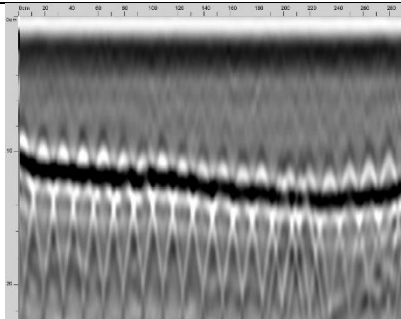
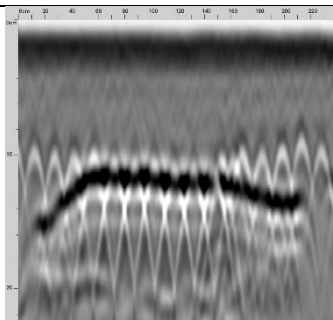
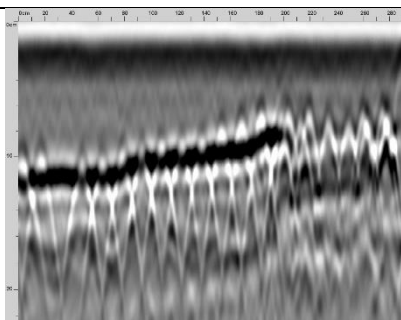
La ferme de Bellevue, située à Fontevraud sert actuellement de bivouac pour les militaires, le site va être soumis à un projet de valorisation. L'ESID de Rennes a donc mission CIDECO afin d'établir le niveau de solidité et l'état de vétusté du bâtiment.

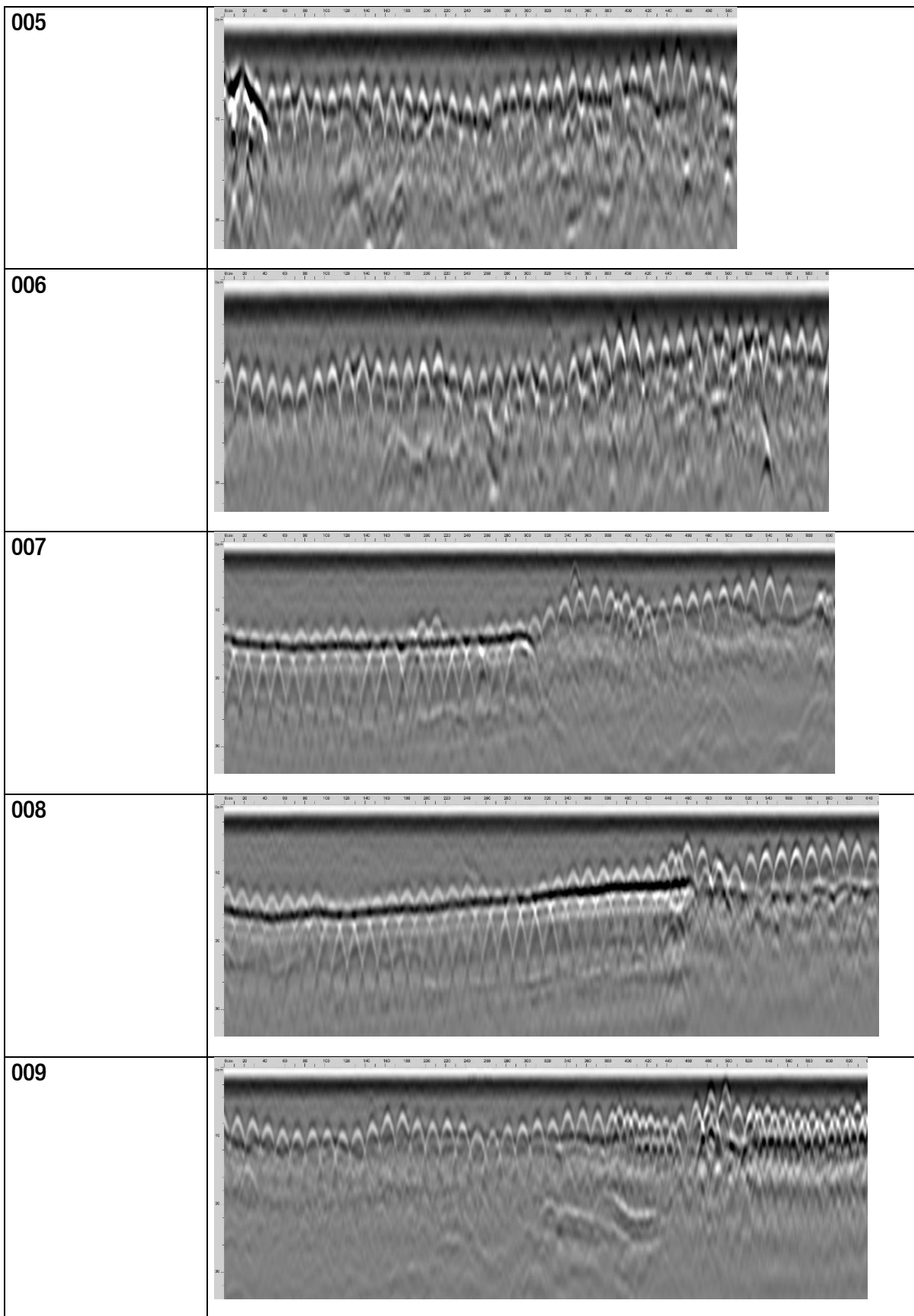
L'ouvrage est principalement affecté par le déversement du pignon ouest ainsi que par le fléchissement important de la dalle de la pièce 007. A noter également le vieillissement de la façade en tuffeau.

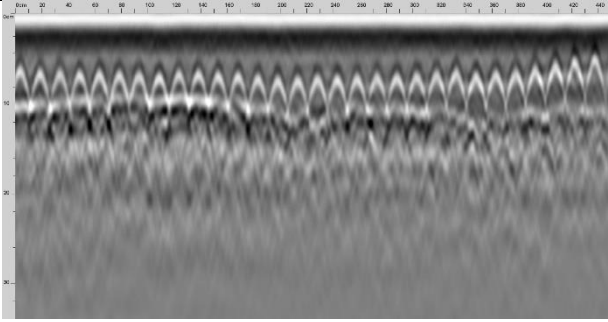
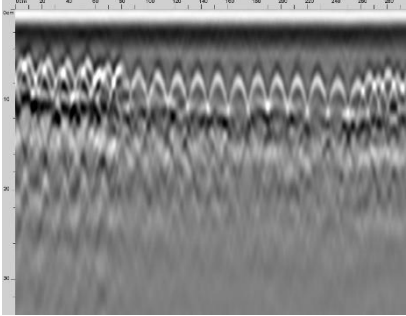
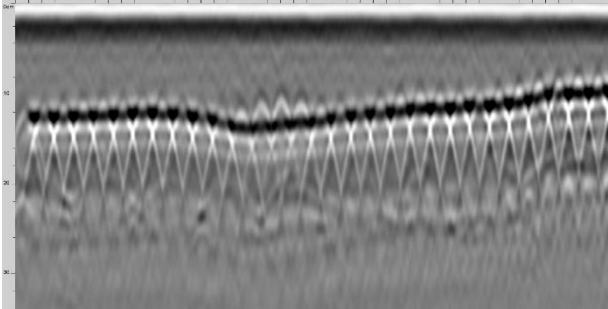
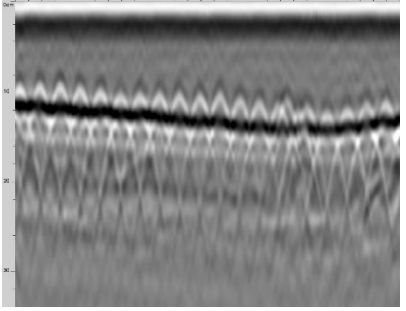
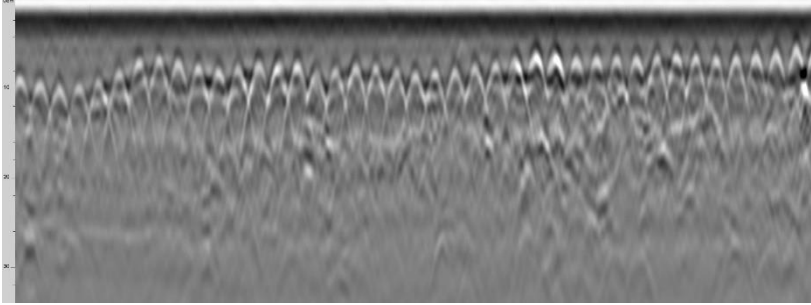
Les auscultations menées ont permis de définir la cause des désordres (voir chapitre 7.1) ainsi que les préconisations d'actions associés (voir chapitre 7.2). **En tout état de cause le bâtiment ne peut pas être exploité à l'heure actuel sans les travaux de renforcement du dallage et du pignon ouest.**

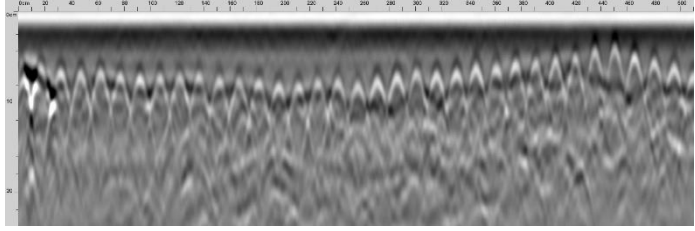
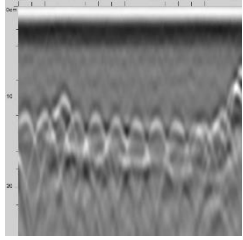
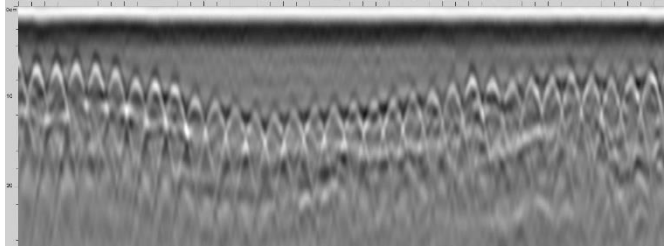
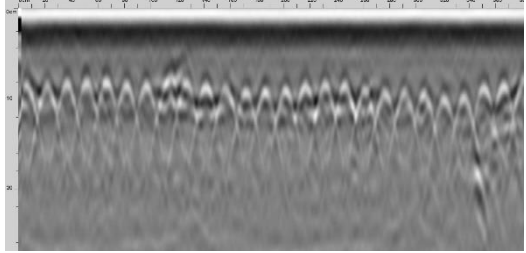
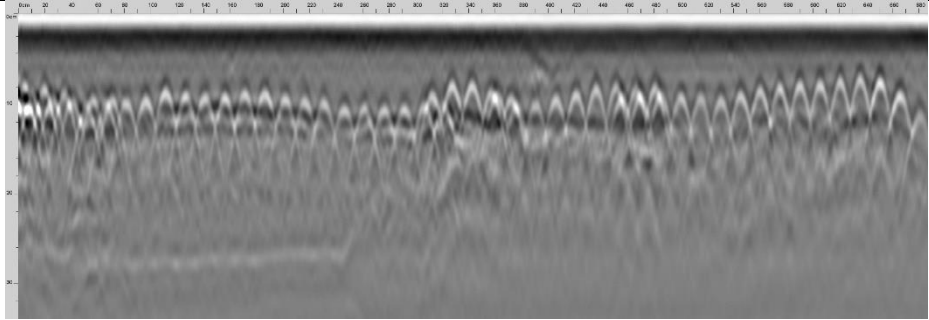
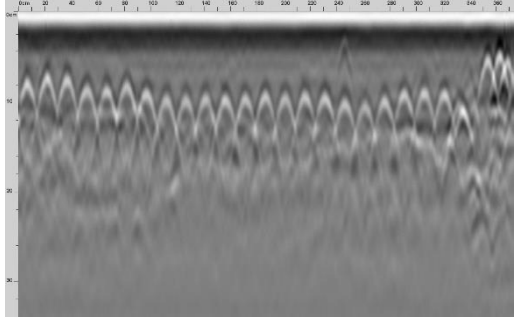
Annexe 1 : Traces géoradar

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

No	Trace
001	
002	
003	
004	

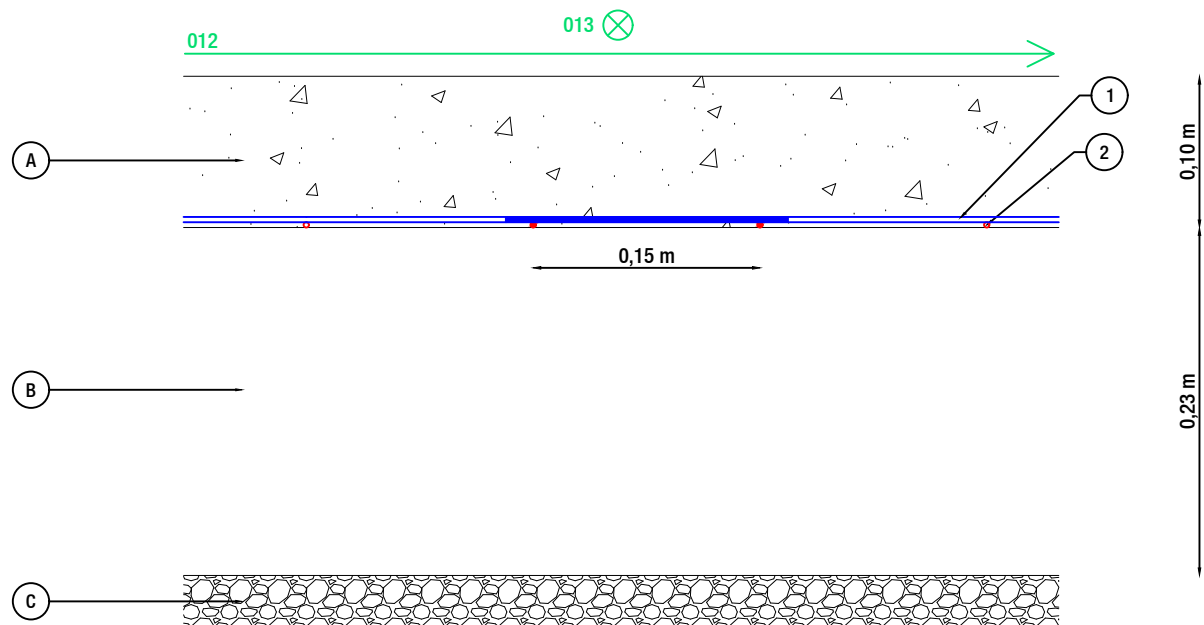


010	
011	
012	
013	
014	

015	
016	
017	
018	
019	
020	

Annexe 2 : Fiches de sondages

Fiche de sondage - Sondage SD1

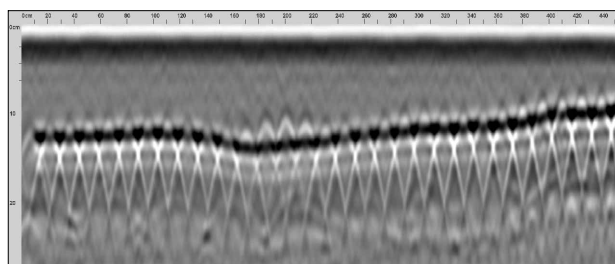


SD1 - REVETEMENTS

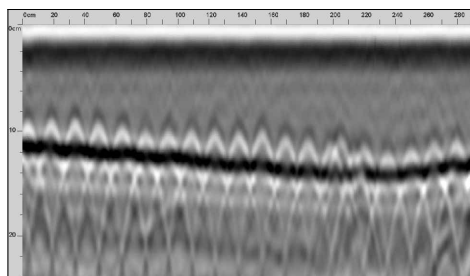
Référence	Type	Epaisseur
A	DALLAGE BETON ARME	10 cm
B	VIDE (ancien plancher bois)	23 cm
C	TERRAIN NATUREL	-

SD1 - ARMATURES

Référence armature	Type	Ø	Nombre / espacement	Enrobage	Etat
1	RL	3,5	150 mm	3,5 mm	Corrodé
2	RL	3,5	150 mm	0 mm	Corrodé avec perte de section



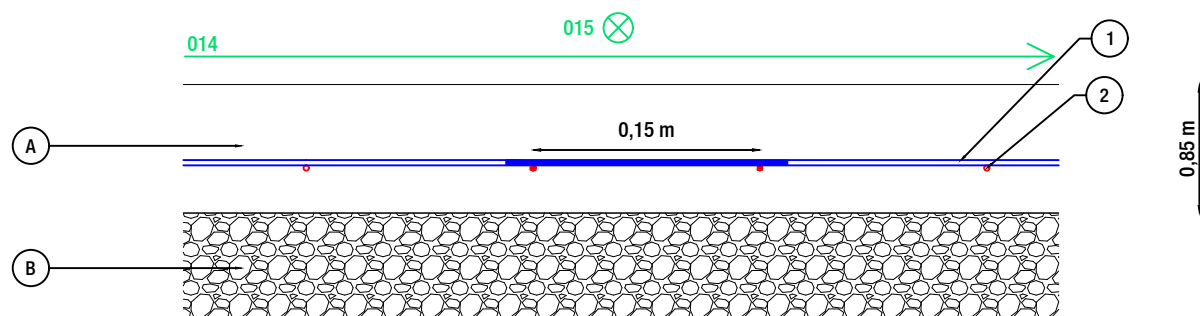
File 012



File 013



Fiche de sondage - Sondage SD2

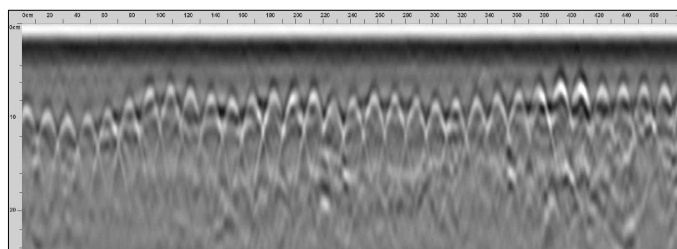


SD2 - REVETEMENTS

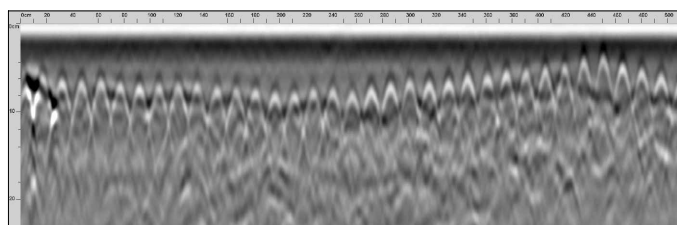
Référence	Type	Epaisseur
A	DALLAGE BETON ARME	8,5 cm
B	CONCASSE	-

SD2 - ARMATURES

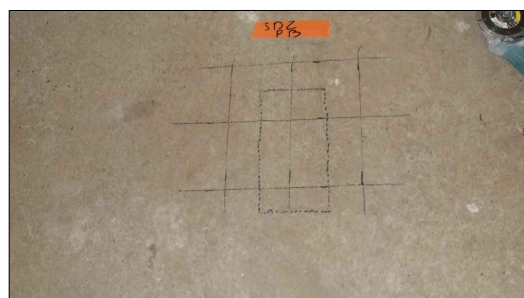
Référence armature	Type	Ø	Nombre / espacement	Enrobage	Etat
1	RL	3,5	150 mm	c _{sup} = 50 mm	Sain
2	RL	3,5	150 mm	c _{sup} = 54 mm	Sain



File 014



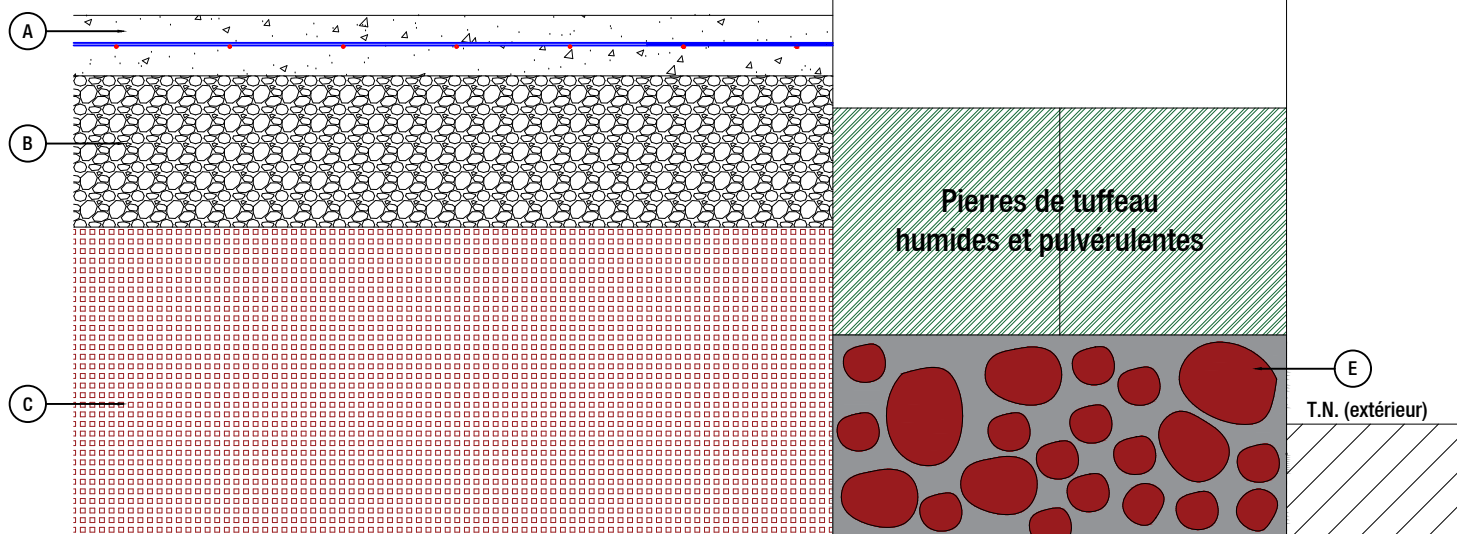
File 015



Fiche de sondage - Sondage SD3

0,60 m

Référence	Type	Epaisseur
A	DALLAGE BETON ARME	8 cm
B	CONCASSE (peu compacté)	20 cm
C	TERRAIN NATUREL (terre rouge compacte)	-
D	PIERRES DE TUFFEAU - Dernières pierres humide et pulvérulentes	60 cm
E	SOUBASSEMENT DU MUR (pierres rouges et liant à la chaux)	60 cm



Vue générale



Vue générale



Sous-face de dalle et concassé



Pierre de tuffeau pulvérulente (se désagrège à la main)



Soubassement en pierre rouge et liant à la chaux



Soubassement vu depuis l'extérieur

Annexe 3 : Vidéo
