

# Rapport de prospections géophysiques à la basilique Saint-Maximin-la-Sainte-Baume

Albane Saintenoy\* & Emmanuel Léger†

Laboratoire GEOsciences Paris-Saclay, UMR 8148 CNRS, Université Paris-Saclay

Juin 2021

## Table des matières

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Méthodes utilisées</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Résultats</b>	<b>2</b>
3.1	Résultats globaux . . . . .	2
3.2	Zone 1 : Trace(s) de l'église primitive . . . . .	4
3.3	Zone 2 : Nef centrale . . . . .	4
3.4	Zone 3 : Au dessus de la crypte . . . . .	5
3.5	Zone 4 : Baptistère . . . . .	5
<b>4</b>	<b>Conclusions</b>	<b>11</b>
<b>5</b>	<b>Annexes</b>	<b>14</b>
5.1	Données MiniExplorer . . . . .	14
5.2	Données GPR . . . . .	16

## Résumé des points

Ce rapport contient l'analyse des données de prospections géophysiques (radar de sol et méthode électromagnétique dans le domaine fréquentiel (CMD-Miniexplorer)) effectuées sur la basilique de Saint-Maximin la-Sainte-Baume. Cinq points majeurs sont à retenir :

- Les environs de la crypte présentent de nombreuses anomalies, à l'Est et à l'Ouest, laissant entrevoir une extension plus importante qu'actuellement. Nous notons cependant que ces zones sont sans doute comblées par des gravats.
- Le centre de la nef présente une anomalie forte entre approximativement 0.5 - 1.25 mètre de profondeur, en forme de croix (Nord-Sud/Est-Ouest), étant synonyme d'anciennes galeries, qui ne semblent pas comblées.
- Cette croix semble liée à la crypte par une anomalie de direction SudOuest-NordEst.
- La partie Sud de la crypte, débordant sur l'aile Sud de la basilique présente une anomalie laissant présumer une liaison avec l'extérieur de l'église (se dirigeant vers la chapelle Saint Dominique).
- La partie Ouest de la nef, présente une anomalie semi-circulaire centrée sur la porte d'entrée de la basilique. Cette géométrie particulière fait irrémédiablement penser à l'abside d'une église romane, en accord avec les différentes hypothèses des archéologues/historiens.
- De nombreuses anomalies de petites tailles sont présentes à faibles profondeurs dans le chœur et les ailes (notamment aile Sud), qui correspondent vraisemblablement à des caveaux.

---

\*albane.saintenoy@universite-paris-saclay.fr, Laboratoire Geosciences Paris Saclay, Université Paris-Saclay

†emmanuel.leger@universite-paris-saclay.fr, Laboratoire Geosciences Paris Saclay, Université Paris-Saclay

# 1 Introduction

Ce rapport fait suite à la demande du diocèse de Fréjus-Toulon, représenté par Monsieur l'Abbé Stéphane Morin, archiviste diocésain. Les objectifs de la prospection géophysique étaient multiples :

- Mettre en lumière de possible(s) liaison(s)/connection(s) entre la crypte de Marie-Madeleine et le sud de la basilique.
- Trouver des tombeaux non référencés
- Trouver d'éventuelles cryptes
- Mettre en lumière les fondations de l'église présente avant la basilique.

Comme les cibles d'intérêt sont de natures différentes (vides/fondations), nous avons choisi une approche à deux méthodes électromagnétiques, à différentes fréquences. Cette dualité de fréquences mène à des sensibilités et surtout des paramètres physiques différents, tels que la permittivité diélectrique ou la conductivité électrique, propriétés intrinsèques des matériaux et donc par opposition de leur absence (vide).

Comme les méthodes utilisées sont sensibles à la réponse électromagnétique du milieu environnant, il est donc impossible de travailler proche de zones métalliques pour ne pas bruite les signaux. M. l'Abbé Stéphane Morin, nous a donc gentiment fait retirer toutes les zones occupées dans la basilique afin que nous puissions prospecter dans les meilleures conditions possibles. Les services généraux de la mairie ont réalisé un travail rapide et efficace nous permettant de couvrir toute la surface de la basilique en un temps très court.

## 2 Méthodes utilisées

La prospection géophysique a été réalisée les 31 mai et 1<sup>er</sup> juin 2021 en utilisant deux méthodes électromagnétiques :

- Le radar de sol (acronyme **GPR** dans le texte, pour Ground-Penetrating Radar), méthodes à hautes fréquences (150-800 MHz), permettant une résolution proche du demi centimètre dans le matériel calcaire,
- le CMD-MiniExplorer (acronyme **Minix**, dans le texte), méthode à moyenne fréquence électromagnétique (de l'ordre de la centaine de KHz).

Nous proposerons une vision des résultats provenant de ces deux méthodes, sensibles différemment aux différentes cibles/anomalies. Cette dualité permettra de mettre en lumière différemment certaines anomalies détectées. La présentation des résultats est volontairement épurée d'un point de vue technique afin d'alléger le rapport, cependant, nous restons à disposition pour de plus amples informations techniques si nécessaire.

## 3 Résultats

Nous avons choisi de présenter nos résultats en prenant un point de vue global pour commencer, pour continuer sur un point de vue plus détaillé sur certaines zones. Nous commençons avec les résultats à l'intérieur de la basilique ainsi que sur la place Charles d'Anjou, avant de présenter les résultats sur la place en face de la mairie annexe, déjà fouillée il y a quelques années.

### 3.1 Résultats globaux

La Figure 1 synthétise les cartes d'amplitudes GPR sur toute la zone d'étude à l'intérieur de la basilique et son parvis, à trois profondeurs différentes: en surface, à 1 m et 2 m de profondeur. Ces cartes sont données en annexes en plus grand format. Sur cette carte générale, nous avons encadré 3 zones qui nous semblent d'intérêt, à savoir la crypte et ses abords, l'entrée de l'église et le centre de la nef.

**En surface (0 m)**, on remarque à l'intérieur de la basilique des lignes verticales et/ou horizontales correspondant aux zones de dallage marbré, comme pointées sur la photographie de la Figure 2. Ces lignes nous permettent de vérifier notre alignement. On remarque dans le coeur une zone d'anomalies de faible profondeur, ainsi qu'une zone d'anomalie orientée Nord-Sud au sud de la crypte. Au sud du choeur, au sein de la chapelle Sainte Anne et Saint Nom de Jésus, deux débuts d'anomalies verticales semblent apparaître.

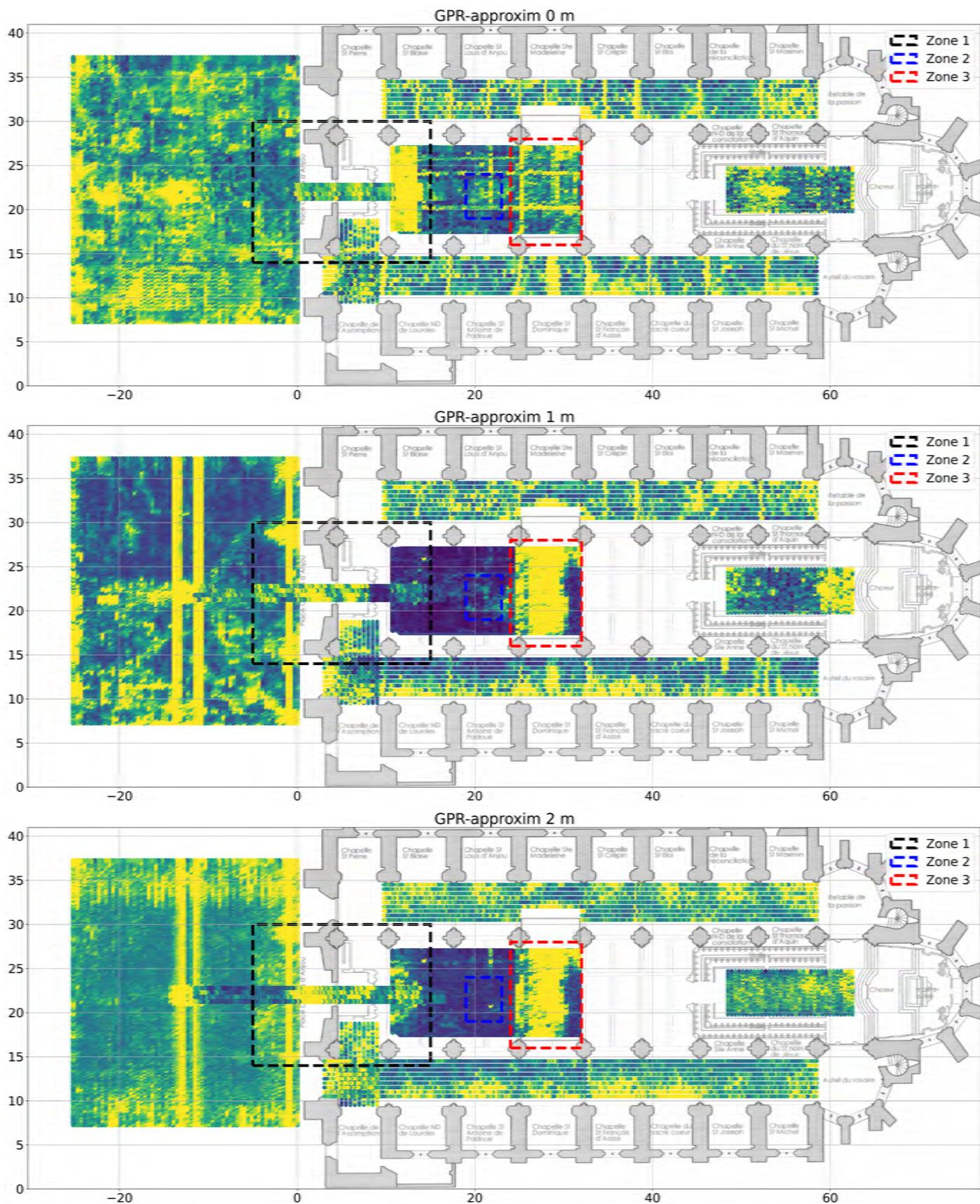


Figure 1: Vue d'ensemble des résultats GPR sur l'ensemble de la basilique à trois profondeurs, 0 m en haut, 1 m au milieu et 2 m en bas. L'échelle de couleur est différente pour chacune des sous-zones. Le fond de carte provient du cabinet d'étude "Architecture & Héritage", à l'échelle 1/250. Les zones d'intérêt développées plus loin sont encadrées en pointillés.

À **1 m** de profondeur, on remarque l'apparition de l'anomalie N-S liée à la présence de la crypte. Comme discuté plus loin, on distingue une séparation entre l'anomalie principale de la crypte et potentiellement un autre signal parallèle à cette dernière. On dénote aussi une plus grande visibilité des deux anomalies de la chapelle Saint Anne et de la chapelle du Saint Nom de Jésus. À l'extérieur de la basilique, on remarque les canalisations (électrique et eau) qui, sans doute, alimentent la fontaine de la place Charles d'Anjou. On remarque aussi deux, diagonales (arrondies) qui lient les angles de la basilique au centre de la place. Enfin, dans la partie Ouest de la nef, on commence à distinguer une anomalie, centrée sur la porte. Le chœur, quant à lui présente une anomalie rectangulaire vers l'Est de celui-ci.

Enfin, à **2 m** de profondeur, l'anomalie à l'Ouest de la nef (dans la zone 1) devient de plus en plus visible, sa forme semi-circulaire apparaît clairement. On remarque aussi une zone au sein du chœur aux alentours de 58 mètres. L'anomalie au sud de la crypte disparaît entièrement, laissant penser que cette zone (couloir/conduit) n'est plus présent à 2 m. Nous allons rentrer un peu plus dans les détails concernant les trois zones d'intérêt, soulignées sur les cartographies générales de la Figure 1. Nous commencerons par la **Zone 1**, qui exacerbe des anomalies à l'endroit supposé des fondations de l'église romane antérieure, pour continuer avec la **Zone 2**, centrée sur la nef, puis la **Zone 3** centrée sur la crypte et finir par le baptistère en dehors et au sud de la basilique.



Figure 2: Vue de l'aile Nord en direction de l'Ouest. La flèche jaune pointe le dallage de marbre/calcaire qui apparaît fortement sur les cartes GPR de la figure 1. À l'arrière plan, on voit l'entrée de la crypte et Albane Saintenoy prospectant avec le radar de sol. *Crédit photo E.L.*

### 3.2 Zone 1 : Trace(s) de l'église primitive

Sur la carte GPR-approxim 2 m de la figure 1, on observe en dessous des orgues une forme en demi cercle qui ressemble beaucoup à l'abside d'une église romane comme représentée sur page 90 de la revue Tattier (2009). Si l'on persiste dans l'idée d'une église romane primitive, on est tenté de relier cette anomalie en demi-cercle à l'Est à une zone de réflexions radar à l'Ouest de la zone 1, sur le parvis. Cependant, les réflexions sont faibles sur le parvis du fait des travaux déjà effectués et du bruit environnant (gonds et huisseries de la porte et seuil en métal). En comparant les données GPR avec celles du CMD Minix-explorer présentées Figure 11, on remarque que la crypte donne une anomalie magnétique différente de celle de cette zone, confortant l'idée que ce n'est pas du vide, mais bien des pierres de compositions différentes de l'église qui se trouve dans cette zone. Cette double approche confortent l'hypothèse de la présence de fondations dans cette zone. Au travers de cette cartographie, on remarque que la méthode électromagnétique est bien moins sensible aux petites anomalies (en dessous du mètre), et conforte notre choix d'utiliser le GPR pour le sondage de la basilique.

### 3.3 Zone 2 : Nef centrale

La figure 4 est un agrandissement de la zone centrale de la nef montrant les amplitudes des réflexions provenant entre 0.25 et 1.25 m de profondeur. À ces profondeurs on met en évidence des réflexions en croix centrées sur le point (21 m, 22.5 m).

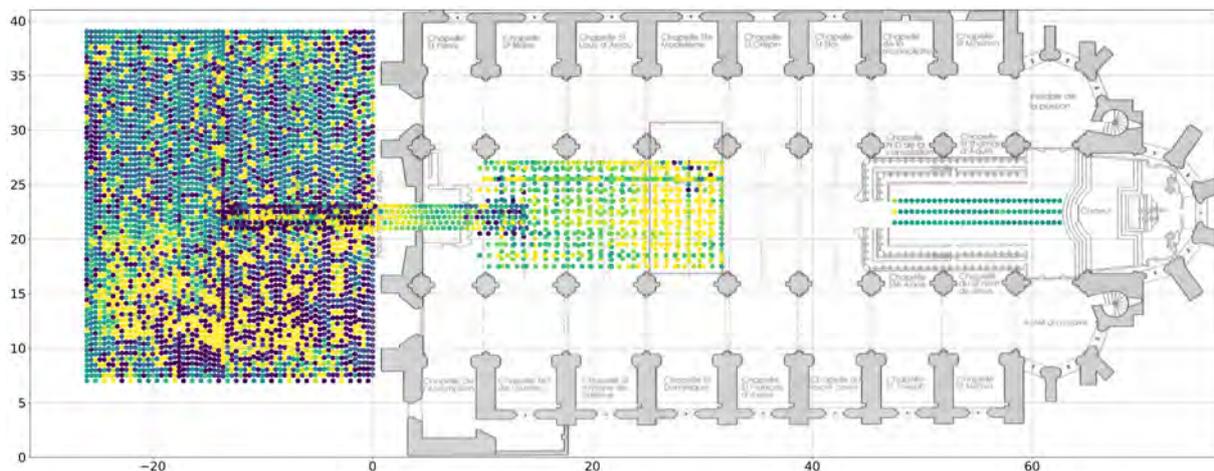


Figure 3: Carte de rapport de conductivité pour la profondeur apparente la plus grande sur la moyenne. Les valeurs jaunes sont les plus élevées alors que les bleues sont les plus basses.

La figure 6 montre le radargramme acquis d'Est en Ouest au milieu de la nef ( $Y = 21$  m). On y voit le toit de la crypte en bleu et un signal interprétable comme une galerie. Cette galerie en recoupe une deuxième visible sur la figure 7 montrant un radargramme acquis dans le sens Sud-Nord. La croix formée par ces deux galeries (si notre interprétation est correcte) est visible au centre de la carte d'amplitudes de la figure 4. A ces profondeurs superficielles, sous les orgues, une zone rectangulaire rouge, est visible. Cette zone se retrouve sur la carte de profondeur 1 m sur la vue d'ensemble du milieu de la figure 1. À noter que cette anomalie est invisible avec le CMD-MiniExporer, lui conférant une taille très modeste (sub métrique). En forçant les contrastes différemment, on découvre que la crypte et cette anomalie au centre de la nef sont reliées par une autre anomalie large, de direction SE-NO, qui pourrait potentiellement relier ces deux zones (Figure 5).

### 3.4 Zone 3 : Au dessus de la crypte

Les quatre radargrammes de la figure 8 permettent d'étudier un peu plus précisément la terminaison sud de la crypte, vue par les mesures radar faites sur le sol de la basilique. Le radargramme FILE\_001 (en haut à gauche de la figure 8 est acquis d'Est en Ouest sur la partie la plus au sud de la carte de la figure 4. Le suivant, FILE\_002, est 0.5 m au nord de FILE\_001 et ainsi de suite pour FILE\_003 et FILE\_004. En s'aidant des dimensions et de la coupe faites pages 78 et 79 dans le rapport Architecture et Héritage (1998), on retrouve bien, indiqué par les flèches rouges les hyperboles sur le toit du reliquaire (amplitudes très faibles sur FILE\_001 qui doit se trouver juste en bordure du reliquaire, plus marquées sur FILE\_002 et FILE\_003) puis sur le toit de la partie de la crypte contenant le sarcophage de Sainte Marie-Madeleine, un peu moins profond (FILE\_004).

Des zones de multiples petites réflexions sont entourées par des ellipses rouges, zones qui peuvent s'interpréter comme des parties remblayées. Il est intéressant que la zone entre 1 et 2 m du profil le plus au Sud, FILE\_001, se poursuive par une zone d'énergie entre 0 et 1 m dans la travée sud, devant la chapelle Saint Dominique (cartes GPR-approxim 0 m et GPR-approxim 1 m de la figure 1).

Des flèches bleu ciel pointent vers des hyperboles que l'on retrouve longeant le côté Ouest sur toute la longueur de la crypte, plus ou moins claires. Elles sont responsables de la ligne jaune qui longe l'emplacement de la crypte dans les cartes GPR-approxim 1 m et GPR-approxim 2 m. Cela donne l'impression d'une étendue de la galerie plus large que celle visible aujourd'hui.

Les quatre profils radar acquis au dessus du bout Nord de la crypte à l'aplomb du couloir étroit d'accès en escaliers, sont sur la figure 9. Les flèches rouges (orange) pointent sur la réflexion sur le toit (les marches) du couloir, d'environ 1 m de large. Les flèches bleues indiquent là encore des hyperboles de diffraction que l'on peut interpréter comme le toit (bleu clair) et le sol (bleu foncé) d'un galerie longitudinal à la crypte. Les ellipses rouges entourent des zones de multiples réflexions qui sont peut-être liées à la présence de remblais, et qui expliquent la largeur de la zone liée à la crypte sur les cartes radar des figures 1 et 4.

### 3.5 Zone 4 : Baptistère

Les cartes GPR obtenues à trois profondeurs au dessus de la zone du baptistère sont sur la figure 10. Sur la carte GPR-approxim 1 m, présentant les anomalies comprises entre 1 et 2 m de profondeur, on retrouve

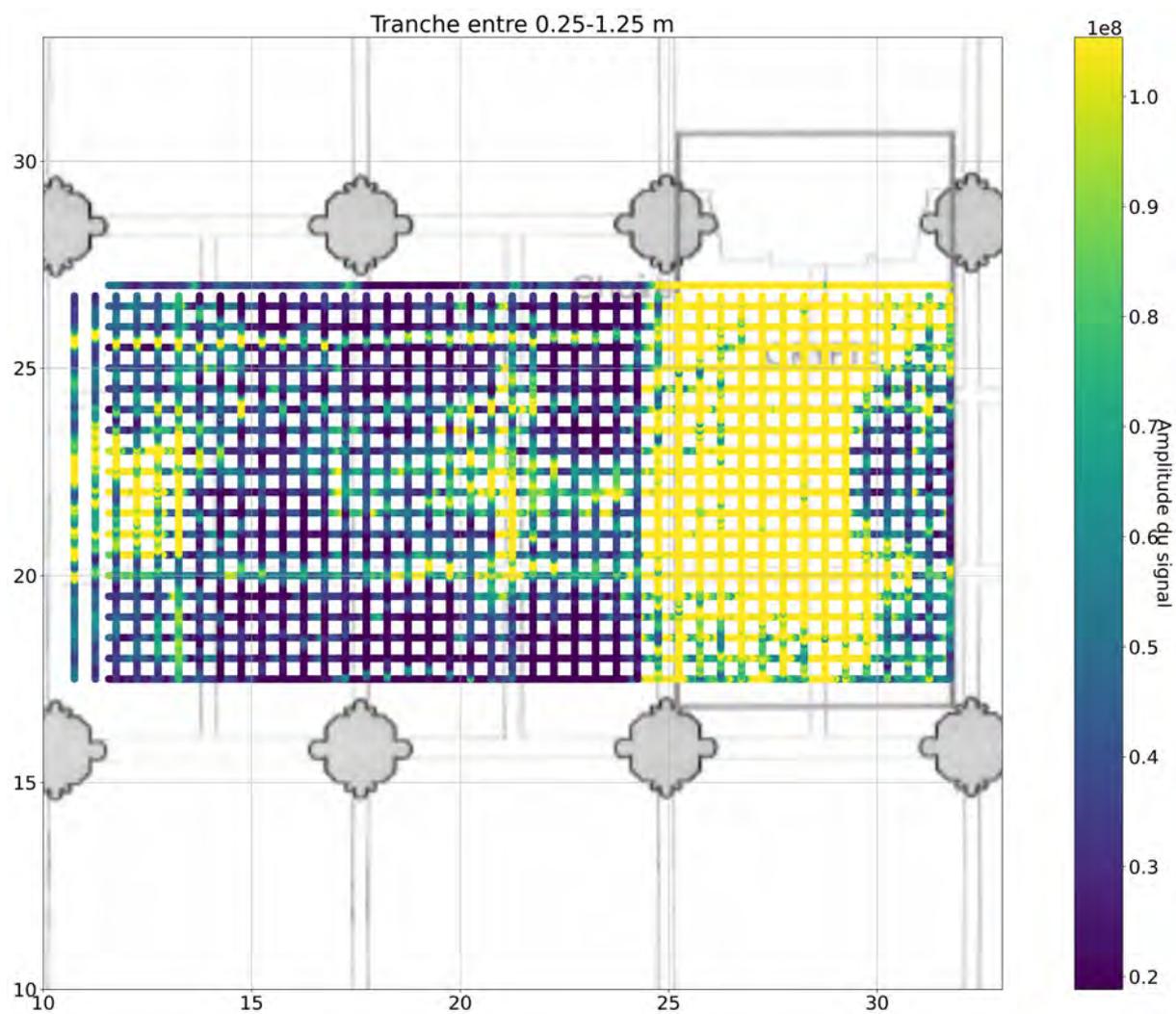


Figure 4: Agrandissement de la zone 3 de la Figure 1, correspondant à la zone centrale de la nef. L'échelle de couleur représente l'amplitude du signal, non normalisée. Carte d'amplitudes radar provenant entre 0.25 et 1.25 m de profondeur sur la nef centrale.

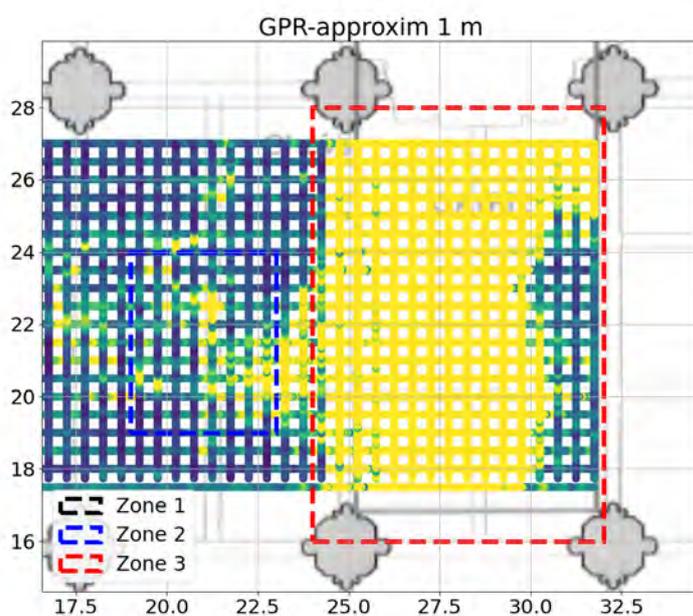


Figure 5: Agrandissement de la zone 2 et 3 de la Figure 1, correspondant à la zone centrale de la nef et le côté Ouest de la crypte.

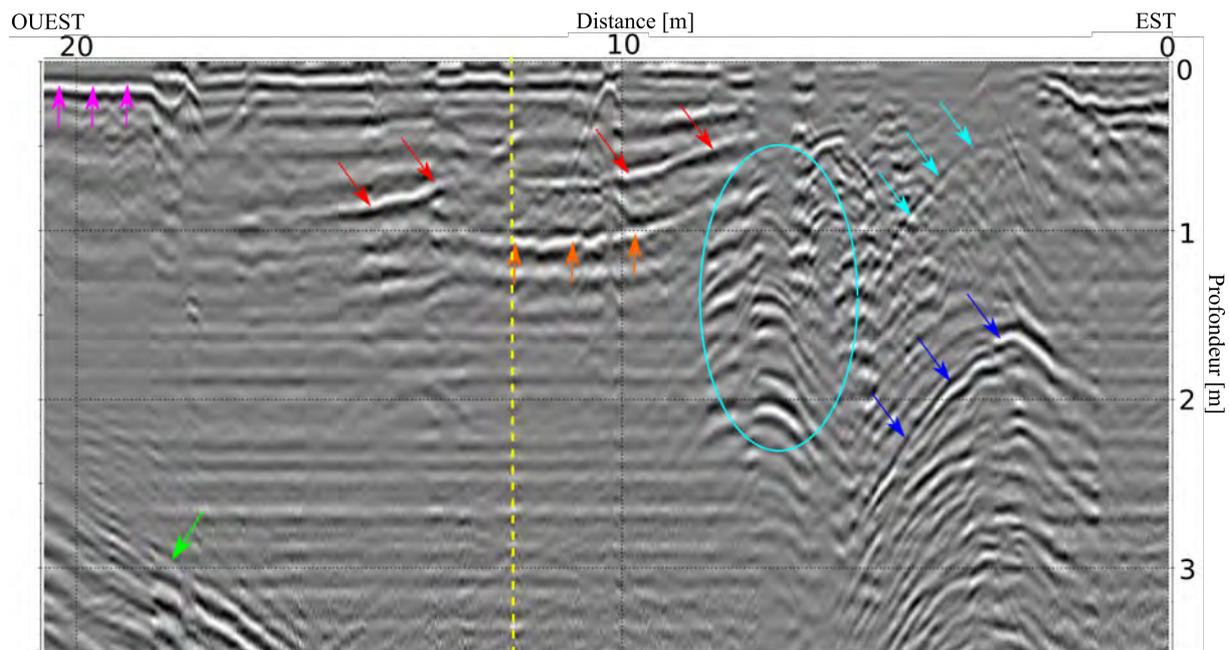


Figure 6: Radargramme acquis d'Est en Ouest au milieu de la nef ( $Y = 5$  m) avec les temps d'arrivée des réflexions en axe vertical gauche, et les profondeurs calculées en supposant une permittivité diélectrique relative  $\varepsilon = 9$  à droite. Les flèches bleues indiquent les réflexions sur le toit et le fond de la crypte, la flèche verte indique un réflecteur aérien, l'ellipse bleue indique une zone de remblai ou une galerie, qui jouxte la crypte, sur son côté ouest, les flèches rouges indiquent une réflexion sur le toit d'une galerie, les flèches orange sur son sol (environ à 1,5 m du toit en utilisant la vitesse d'une onde EM dans l'air). Les flèches magenta, à l'ouest, indiquent une dalle qui doit couvrir un caveau rectangulaire.

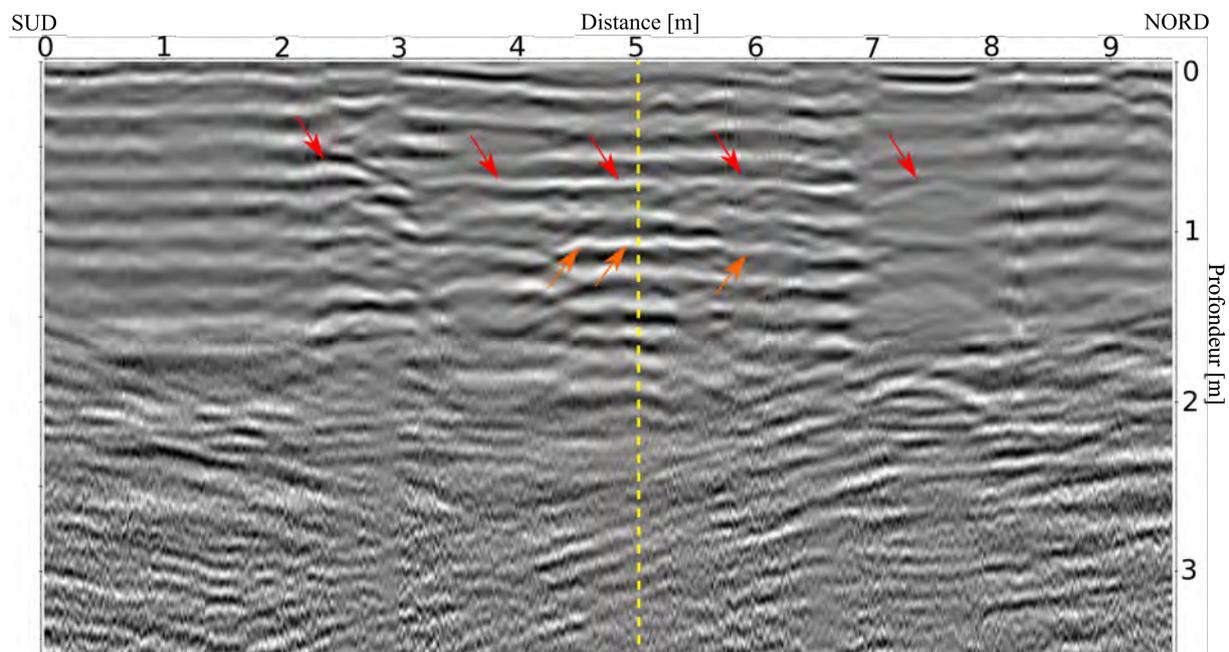


Figure 7: Radargramme acquis du Sud vers le Nord, croisant le profil de la figure 6 à 12 m avec les temps d'arrivée des réflexions en axe vertical gauche, et les profondeurs calculées en supposant une permittivité diélectrique relative  $\varepsilon = 9$  à droite. Les flèches rouges indiquent une réflexion sur le toit d'une galerie, les flèches orange sur son sol (environ à 1,5 m du toit en utilisant la vitesse d'une onde EM dans l'air).

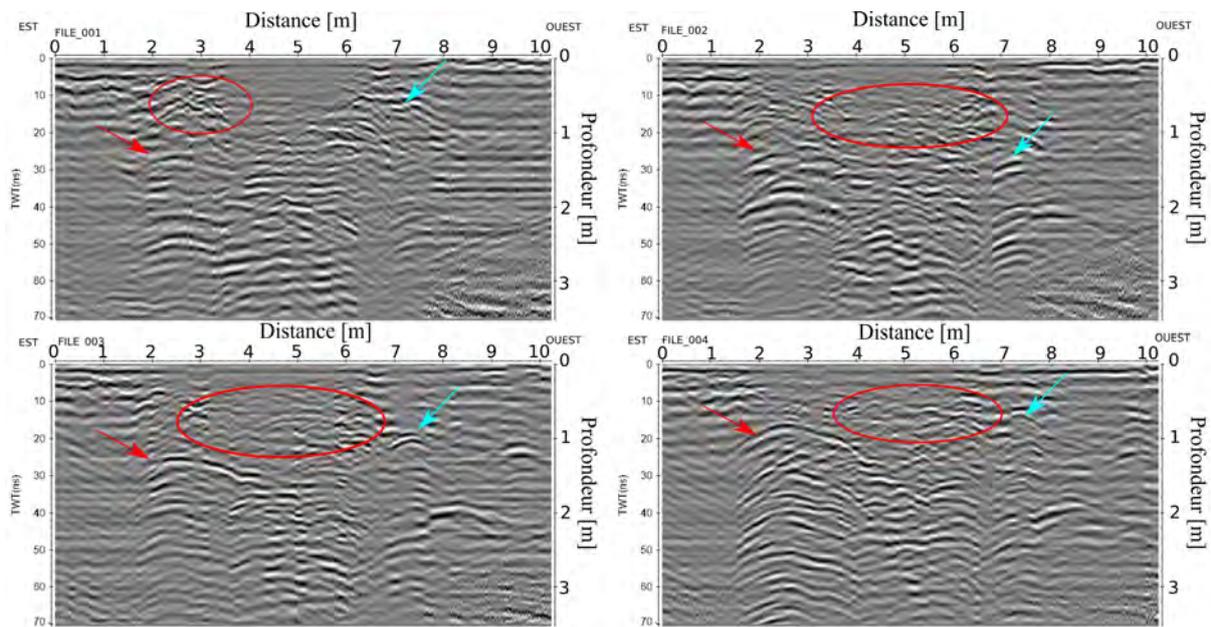


Figure 8: Quatre profils acquis d'Est en Ouest sur la partie la plus au sud de la carte 4.

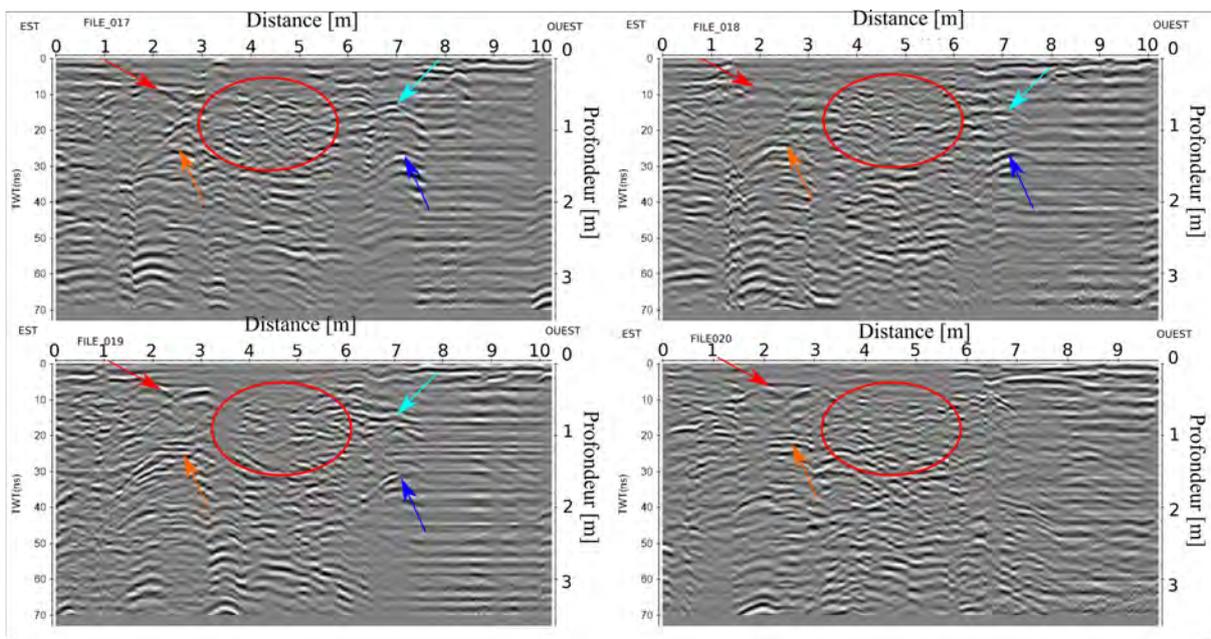


Figure 9: Quatre profils acquis d'Est en Ouest sur la partie la plus au nord de la carte 4.

des alignements que l'on peut relier aux fondations romanes, voir paléochrétiennes (d'après le rapport de fouilles Guyon et al. (2006)). On devine au sud de la carte la position de la cuve baptismale. Sur la carte GPR-approxim 2 m, on voit encore les fondations des murs ainsi que la cuve baptismale au Sud qui apparaît un peu plus marquée. Les données de CMD-Miniexplorer souffrent malheureusement pas mal du bruit environnant (chaîne métallique, panneau, plaque d'égout) et ne permettent pas de donner une interprétation correcte et significative des signaux. Nous les joignons néanmoins en annexe.

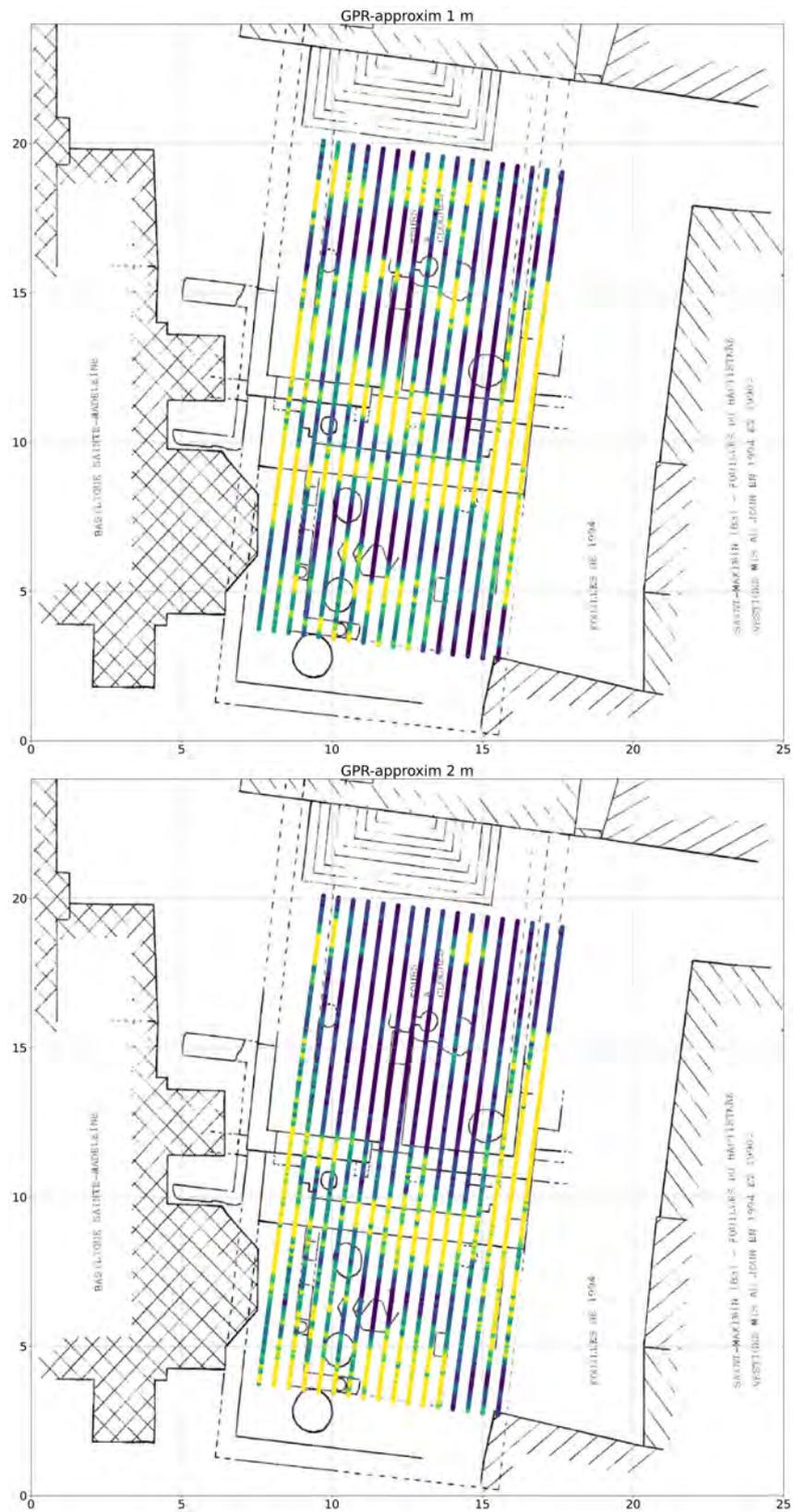


Figure 10: Cartes d'amplitudes radar reçues à deux profondeurs (1 m et 2 m) au dessus de la zone du baptistère. Le fond de carte provient du rapport Guyon et al. (2006).

## 4 Conclusions

Plusieurs zones d'intérêt ont été mise en exergue durant notre prospection, plus particulièrement :

- Les environs de la crypte présentent de nombreuses anomalies, à l'Est et à l'Ouest, laissant entrevoir une extension plus importante qu'actuellement. Nous notons cependant que ces zones sont sans doute mal comblées avec des gravats ou des restes de construction.
- Le centre de la nef présente une anomalie forte entre approximativement 0.5 - 1.25 mètre de profondeur, en forme de croix (Nord-Sud/Est-Ouest), étant synonyme d'anciennes galeries, qui ne semblent pas comblées. De plus, cette croix semble liée à la crypte par une anomalie de direction SudOuest-NordEst.
- La partie Sud de la crypte, débordant sur l'aile Sud de la basilique présente une anomalie laissant présumer la présence d'une galerie liant l'extérieur de l'église.
- La partie Ouest de la nef, présente une anomalie semi-circulaire centrée sur la la porte d'entrée de la basilique. Cette géométrie particulière fait irrémédiablement penser à l'abside d'une église romane, en accord avec les différentes hypothèses des archéologues/historiens.
- De nombreuses anomalies de petites tailles sont présentes à faibles profondeur dans le chœur et les ailes (notamment aile Sud), qui correspondent vraisemblablement à des caveaux.

Au delà des données présentées ici, nous restons à votre entière disposition pour clarifier, approfondir et expliquer les données présentées. Cela dit, nous suggérons la mise en place de quelques fouilles dans certaines de ces zones afin de calibrer les données géophysiques et comprendre ces anomalies.

## **Remerciements**

Nous tenons à remercier M. l'Abbé Stéphane Morin, Mme Françoise Sur, M. Pierre Jany ainsi que les services techniques de la Mairie de Saint-Maximin-la-Sainte-Baume, l'association des Amis de la Basilique. Au-delà des acteurs locaux, nous remercions aussi Pierre Carrive, doctorant, qui a beaucoup participé aux mesures GPR.

## Références

- Architecture et Héritage, R. W. (1998), Crypte de la basilique Sainte-Marie-Madeleine: Mission de diagnostic pour la restauration et la mise en valeur de la crypte, Technical report.
- Guyon, J., Fixot, M. & Carrazé, F. (2006), ‘Les premiers monuments du culte chrétien à Saint-Maximin’, *Revue de la basilique marie-Madeleine* pp. 101–110.
- Tattier, P. (2009), ‘Saint-maximin, naissance d’une ville’, *Revue de la basilique marie-Madeleine* pp. 71–94.



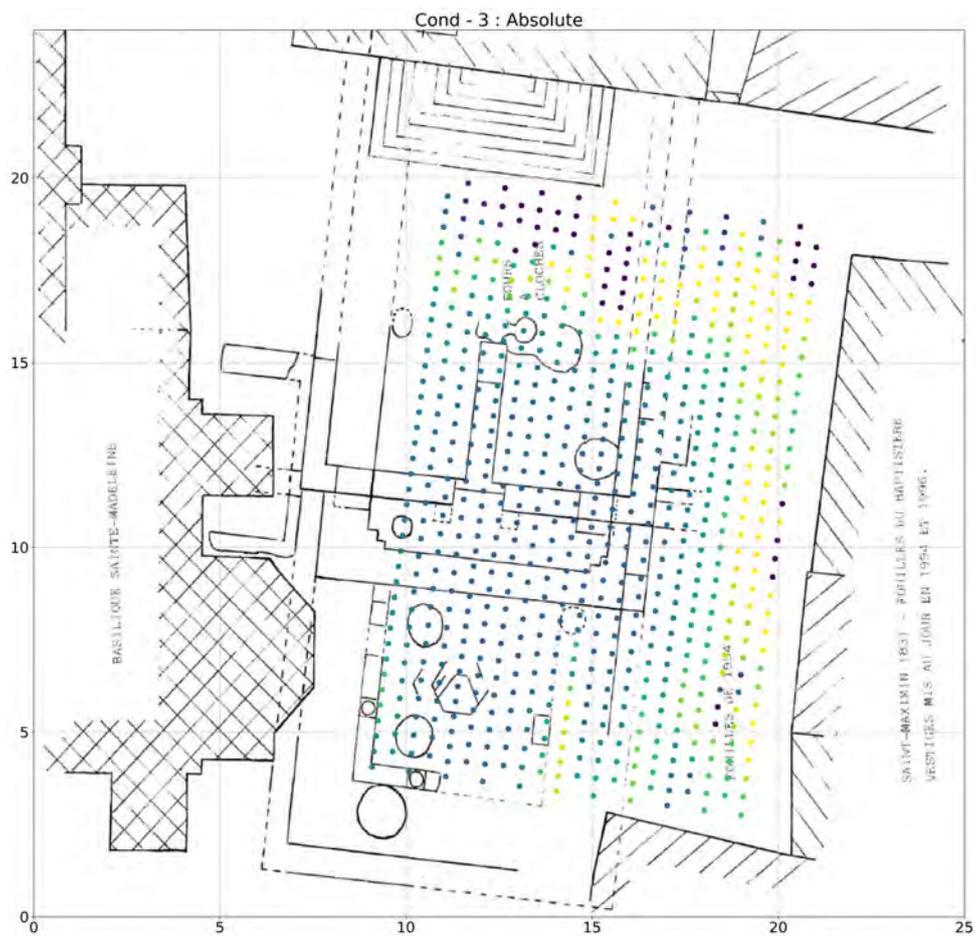


Figure 12: Valeurs Absolues de conductivité apparente déterminées par MiniExplorer. De haut en bas de profondeur décroissante.

## 5.2 Données GPR



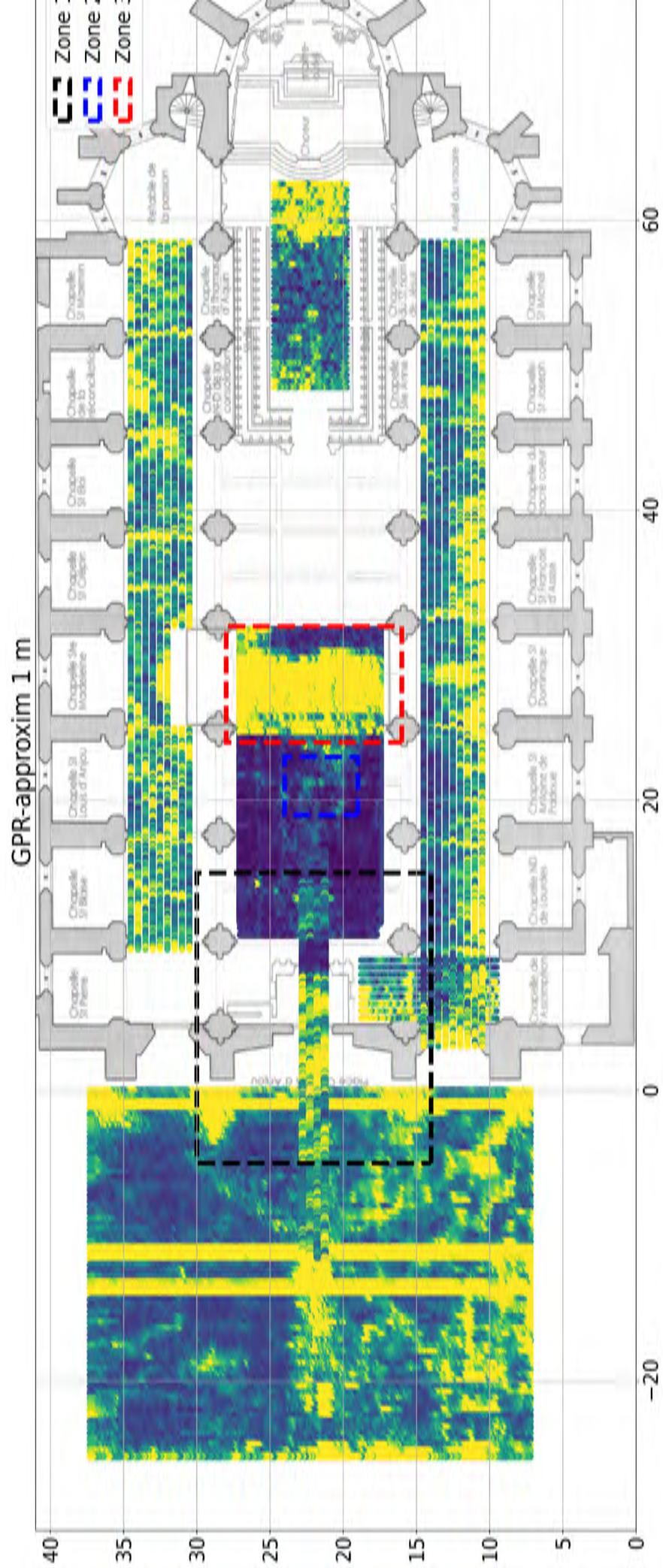


Figure 14: Carte GPR pour la surface (1 m)

