



N/Ref : ACoP - ICI - 2012 05  
*Affaire suivie par Anneli Duchatel*

Paris, le : **10 AVR. 2012**

à l'attention de: Monsieur François de Poncheville  
Cabinet MALVILLE-Syndic de Copropriété Fax 01 43 29 99 92

Objet : Institut des Cultures d'Islam -Site Stephenson  
Instrumentation cave voutée du 21 rue Doudeauville 75018 Paris

P.J. : Diagnostic d'une voute maçonnée du 15.03.2012 par GINGER CEBTP  
Dossier BDP3.C.005

Monsieur,

Je vous prie de bien vouloir trouver ci-joint le rapport de diagnostic établi par Ginger CEBTP concernant les voutes maçonnées en sous-sol de l'immeuble dont vous êtes gestionnaire situé au 21 rue Doudeauville dans le 18<sup>ème</sup> arrondissement de Paris.

Ce rapport donne la caractérisation de la pierre en œuvre et son diagnostic pathologique ainsi que le calcul de la poussée horizontale de la voute s'appuyant sur le mur mitoyen.

Les voutes présentant des fissures, un dispositif d'instrumentation a été mis en place dans les caves le 29 février 2012 pour une durée de 18 mois, soit jusqu'en septembre 2013 afin de vérifier l'activité des mouvements pendant les travaux que la ville de Paris conduit sur la parcelle voisine et qui ont débuté le 23 mars dernier.

- 7 jauges sont implantées au droit des fissures, d'une précision de 0,01mm et relevées trimestriellement par un technicien spécialisé à l'aide d'un appareil de mesure nommé « fissuromètre digital ».
- 3 convergences-mètres, capteurs d'une précision de 0,001mm permettent de suivre l'écartement des appuis des deux voutes nommées 1 et 2 les plus proches de la limite du chantier ainsi que l'éventuel affaissement de la voute 1. Des mesures automatiques sont réalisées toutes les 12 heures, stockées et relevées trimestriellement par un technicien spécialisé.

Dans ses conclusions, le bureau d'études Ginger CEBTP émet des préconisations se rapportant aux dégradations pathologiques et structurelles des voutes dont je vous invite à prendre connaissance. Il recommande également le maintien de l'étalement et la limitation d'accès au public des caves en attendant les résultats de l'instrumentation.

Je vous tiendrai informé des suites de ces mesures et vous prie de recevoir, Monsieur, l'expression de ma considération la meilleure.

Anneli DUCHATEL  
Chef du Pôle Culture

Copie : BPLC

Cabinet MALVILLE  
Syndic de Copropriété  
5, rue Basse des Carmes  
75005 Paris



DIRECTION REGIONALE Ile-de-France  
12, Avenue Gay Lussac  
ZAC La Clef Saint Pierre  
78 990 ÉLANCOURT

**GINGER CEBTP**

**UN PÔLE D'EXPERTISE UNIQUE AU SERVICE DE LA CONSTRUCTION**

Elancourt, le 15 Mars 2012  
**DOSSIER BDP3.C.005**

## **Diagnostic d'une voute maçonnée**

21, rue Doudeauville – 75 018 Paris

DIVISION MATERIAUX ET PATHOLOGIES DES OUVRAGES  
Service Maçonneries et Monuments Historiques

Affaire suivie par Céline DUJARRIER  
Téléphone : 01 30 85 24 76  
Fax : 01 30 85 21 83  
Mobile : 06 25 17 53 99  
E mail : c.dujarrier@gingergroupe.com



A la demande et pour le compte de :

Direction du Patrimoine et de l'Architecture  
98, quai de la Rapée  
75 570 Paris Cedex 12

Interlocuteur : Mme Sophie ALLARD

INGENIERIE EUROPE

GRUPE



**GINGER CEBTP**

*Vous aider à construire l'avenir*

ÉTUDE - EXPERTISE - MAÎTRISE D'ŒUVRE - CONTRÔLE - ANALYSE

## Sommaire

<b>1</b>	<b>CONTEXTE ET OBJECTIFS DE LA MISSION.....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>PROGRAMME D'INVESTIGATION .....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>CARACTERISATION DES PIERRES EN OEUVRE .....</b>	<b>3</b>
3.1	<u>CAROTTAGES.....</u>	3
3.2	<u>MESURE DE LA VITESSE DE PROPAGATION DU SON DANS LA PIERRE.....</u>	4
3.3	<u>MESURE DE LA POROSITE OUVERTE ET DE LA MASSE VOLUMIQUE APPARENTE (NF EN1936).....</u>	4
3.4	<u>MESURE DE LA RESISTANCE EN COMPRESSION (NF EN 1926) .....</u>	4
<b>4</b>	<b>CLACUL DE LA POUSSEE HORIZONTALE DE LA VOUTE.....</b>	<b>5</b>
4.1	<u>RELEVÉ DIMENSIONNEL.....</u>	5
4.2	<u>DETERMINATION DU POIDS PROPRE DE LA VOUTE.....</u>	5
4.3	<u>VALEUR DE LA POUSSEE HORIZONTALE H EN TETE D'APPUI .....</u>	6
<b>5</b>	<b>DIAGNOSTIC PATHOLOGIQUE.....</b>	<b>7</b>
5.1	<u>RELEVÉS DES DESORDRES .....</u>	7
5.1.1	<u>CHUTES DE PIERRES .....</u>	7
5.1.2	<u>FISSURES.....</u>	7
5.1.3	<u>ALTERATION DES MORTIERS DE JOINTS.....</u>	7
5.1.4	<u>PRESENCE D'HUMIDITE .....</u>	8
5.2	<u>ANALYSES LABORATOIRE.....</u>	8
5.2.1	<u>DIAGNOSTIC SELS.....</u>	8
5.2.2	<u>DIAGNOSTIC HUMIDITE.....</u>	8
5.3	<u>INTERPRETATIONS DES DESORDRES.....</u>	10
5.3.1	<u>CHUTES DE PIERRES .....</u>	10
5.3.2	<u>FISSURES.....</u>	10
<b>6</b>	<b>MISE EN PLACE D'UNE INSTRUMENTATION .....</b>	<b>10</b>
<b>7</b>	<b>CONCLUSIONS.....</b>	<b>11</b>
	<b>ANNEXE 1 : PHOTOGRAPHIE DES DESODRES .....</b>	<b>12</b>
	<b>ANNEXE 2 : LOCALISATION SCHEMATIQUE DES DESODRES.....</b>	<b>14</b>
	<b>ANNEXE 3 : RESULTATS DES ANALYSES LABORATOIRE.....</b>	<b>15</b>
	<b>ANNEXE 4 : IMPLANTATION SCHEMATIQUE DU DISPOSITIF D'INSTRUMENTATION.....</b>	<b>18</b>

## 1 CONTEXTE ET OBJECTIFS DE LA MISSION

Le service Maçonneries et Monuments historiques de GINGER CEBTP a été missionné par la direction du Patrimoine et de l'Architecture de la ville de Paris afin de réaliser un diagnostic d'une cave voûtée sise au 21 rue Doudeauville.

Cette demande intervient alors que des désordres ont été constatés sur les maçonneries de la cave engendrant la mise en étais de deux zones de voûtes. Il est par ailleurs à noter que la parcelle voisine subit actuellement de nombreuses modifications, notamment des excavations pour la réalisation des fondations du futur Institut des Cultures de l'Islam.

## 2 PROGRAMME D'INVESTIGATION

Afin de réaliser un diagnostic structurel et pathologique des caves du 21 rue Doudeauville, GINGER CEBTP a entrepris le programme suivant :

- calcul de la poussée horizontale exercée par la voûte sur le mur de séparation avec la parcelle voisine afin de permettre le dimensionnement d'un éventuel système de reprise de l'effort,
- diagnostic structurel et pathologique des pierres constitutives de la voûte afin de déterminer l'origine des désordres observés,
- mise en place d'un système d'instrumentation afin de contrôler d'éventuels mouvements structurels du mur de séparation avec la parcelle voisine.

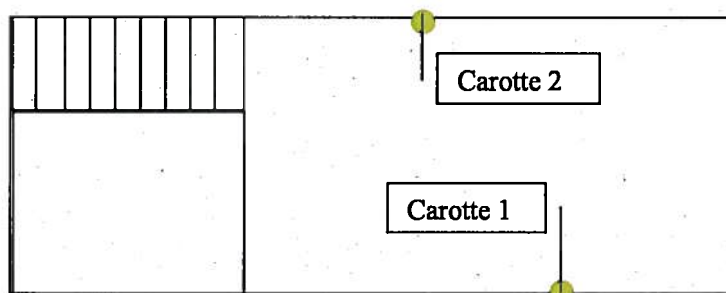
Les deux premières opérations ont été réalisées grâce à l'intervention sur site du 23 Janvier 2012.

## 3 CARACTERISATION DES PIERRES EN OEUVRE

### 3.1 Carottages

Afin de caractériser les pierres en œuvre dans les caves du 21 rue Doudeauville et déterminer par calcul la poussée horizontale de la voûte, deux prélèvements par carottage (diamètre 90mm) ont été effectués dans les maçonneries et soumis à analyses en laboratoire.

Les deux prélèvements ont été localisés comme suit :



Rue Doudeauville

Nous considérerons pour la caractérisation et les calculs les valeurs obtenues lors des essais réalisés sur la carotte 1, la carotte 2 ayant été prélevée dans une zone d'altération. Les résultats obtenus à partir de la carotte 2 seront intégrées au paragraphe du diagnostic pathologique.

### **3.2 Mesure de la vitesse de propagation du son dans la pierre**

Le principe des mesures est le suivant :

*Une impulsion de vibrations longitudinales est générée par un transducteur électro-acoustique maintenu en contact avec une surface de la pierre soumise à l'essai. Après avoir parcouru une longueur connue dans la pierre, l'impulsion de vibration est convertie en un signal électrique par un deuxième transducteur et des circuits électriques de chronométrage permettent de mesurer le temps de propagation de l'impulsion. La vitesse du son est liée à la compacité du matériau. Lorsqu'une pierre présente une anomalie (fissure, vides...) le temps de propagation de l'impulsion est plus long et donc la vitesse de propagation est plus faible que pour une pierre sans défaut. La vitesse de propagation du son varie de 1500m/s pour une pierre très tendre telle le tuffeau à 6000m/s pour des pierres dures comme certaines pierres marbrières ou certains granits.*



Des mesures ont été réalisées sur les carottes prélevées afin de caractériser la pierre en œuvre dans la voûte. Les valeurs moyennes obtenues sont :

	<b>Carotte 1</b>	Carotte 2
Mesures transversales	<b>2778 m/s</b>	2984 m/s
Mesures longitudinales	<b>3292 m/s</b>	3148 m/s

### **3.3 Mesure de la porosité ouverte et de la masse volumique apparente (NF EN1936)**

Les carottes prélevées ont été redimensionnées en prismes 70mm x 70mm x 70mm afin de réaliser les essais de caractérisation selon la norme NF EN 1936.

*La masse volumique apparente est le rapport de la masse de la pierre à son volume apparent ; elle donne une indication sur le degré de compacité d'une pierre. La masse volumique varie de 1500kg/m<sup>3</sup> pour les pierres calcaires es plus tendres à 2900kg/m<sup>3</sup> pour certains granits.*

*La porosité ouverte est le rapport exprimé en % du volume, entre le volume des vides accessibles à l'eau et le volume apparent. La porosité varie de 0,06% pour certains granits ou pierres calcaires très dures à 48% pour des calcaires très tendres.*

Les résultats des essais sont les suivants :

	<b>Carotte 1</b>	Carotte 2
Porosité ouverte	<b>20,2%</b>	28,0%
Masse volumique apparente	<b>2160 kg/m<sup>3</sup></b>	1940 kg/m <sup>3</sup>

### **3.4 Mesure de la résistance en compression (NF EN 1926)**

Des essais de compression ont été réalisés selon la norme NF EN 1926 sur les carottes prélevées redimensionnées afin d'obtenir des échantillons d'éclatement 1.

*La résistance en compression est le rapport de la charge à la rupture à la section de l'éprouvette. Elle varie de 5MPa pour les pierres calcaires les plus tendres à 220MPa pour les pierres marbrières les plus dures.*

Deux essais ont été réalisés sur chaque carotte ; les résultats obtenus sont les suivants :

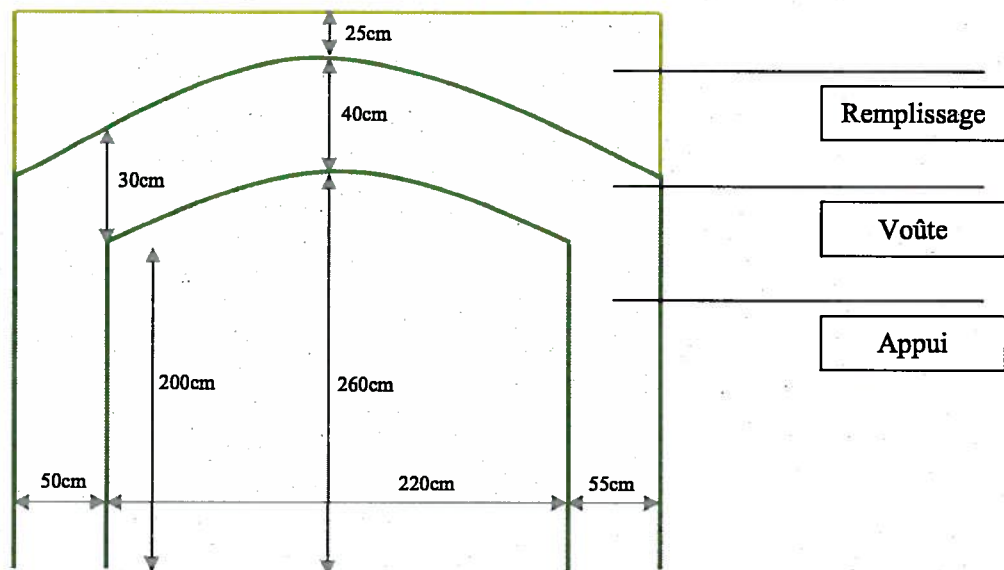
	<b>Carotte 1</b>	Carotte 2
Essai 1	<b>52,0 MPa</b>	23,0 MPa
Essai 2	<b>48,5 MPa</b>	16,5 MPa
Moyenne	<b>50,2 MPa</b>	19,7 MPa

Les pierres en œuvre sur la voûte des caves du 21 rue Doudeauville correspondent donc à une pierre calcaire de qualité moyenne.

## 4 CALCUL DE LA POUSSEE HORIZONTALE DE LA VOUTE

### 4.1 Relevé dimensionnel

Afin de déterminer la poussée horizontale exercée par la voûte en tête du mur de séparation avec la parcelle du futur Institut des Cultures de l'Islam, un relevé de la géométrie de la voûte a été effectué.



### 4.2 Détermination du poids propre de la voûte

Hypothèses de travail :

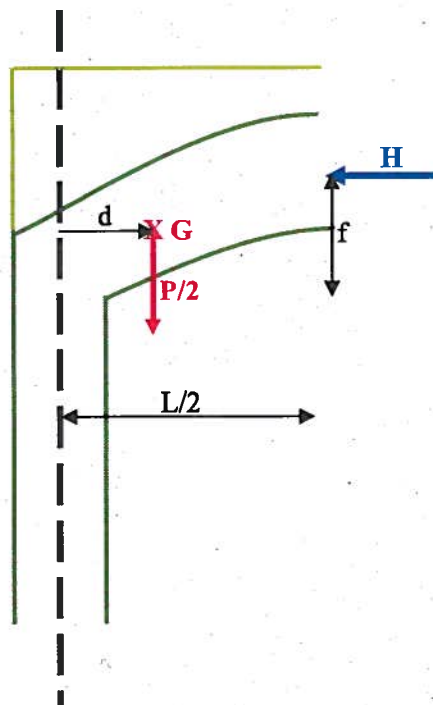
- la masse volumique de la pierre est  $\mu_p = 2160 \text{ kg/m}^3$
- la masse volumique du remplissage est  $\mu_r = 1500 \text{ kg/m}^3$
- la voûte est mise en charge par le plancher RDC et les cloisons ainsi que par les charges d'exploitation type logement : le plancher est constitué de 60cm de remplissage plâtre ( $\mu_r = 1500 \text{ kg/m}^3$ ) et de 5cm de tommettes de terre cuite ( $\mu_r = 1700 \text{ kg/m}^3$ ). Une charge de cloisons est présente de  $70 \text{ kg/m}^2$ . La charge d'exploitation est de  $150 \text{ kg/m}^2$ . Les calculs seront effectués selon le cas de charge ELU des EUROCODES soit  $1,35G+1,5Q$
- la constitution du plancher RDC est estimée selon l'expérience de GINGER CEBTP sur des constructions similaires dans Paris.

- les efforts sont transmis symétriquement sur les deux appuis, nous nous intéresserons ainsi à une demi-voûte sur une tranche de 1 ml
- les calculs sont réalisés à partir du guide de l'ANAHC.

Les charges permanentes représentent 2 324kg/ml. Les charges d'exploitation représentent 165kg/ml. Nous obtenons ainsi  $P = 1,35 G + 1,5 Q$  soit  $P = 3 385 \text{ kg/ml}$ .

#### 4.3 Valeur de la poussée horizontale H en tête d'appui

Soit  $P/2$  les charges (poids propre) et les surcharges (considérées nulles) agissant sur la moitié de la voûte et H l'effort horizontal nécessaire à l'équilibre de la voûte. Appelons d la distance du barycentre des charges à l'axe passant par le centre de gravité de l'appui et f la flèche de la voûte.



A l'équilibre :  $H f = P d / 2$

D'où la poussée horizontale :  $H = P d / 2f$

Dans notre cas,  $P/2=3385 \text{ kg/m}^3$

$d=0,65\text{m}$  (distance par rapport à l'axe de l'appui)

$f= 0,80\text{m}$ .

Nous obtenons :

$H = 2 750 \text{ kg/ml}$
---------------------------

#### Vérification :

- Les valeurs  $L/6$  et  $L/4$  représentent les bornes supérieures et inférieures de la distance d. Ici on obtient bien après calcul  $0,45\text{m} < d < 0,68\text{m}$  (avec  $L=2,72\text{m}$ ).



**La valeur de la poussée horizontale de la voûte en tête de son appui latéral est ainsi de 2 750 kg/ml. Il est à noter que cette valeur est obtenue avec pondération des charges et résulte de l'hypothèse que la voûte n'est pas chargée.**

## 5 DIAGNOSTIC PATHOLOGIQUE

De multiples désordres ont été relevés sur les maçonneries des caves du 21 rue Doudeauville. Un étaie provisoire a été mis en place dans les caves 1 et 2. Les photographies des désordres sont présentées en annexe 1. Leur implantation schématisée est fournie en annexe 2.

### 5.1 Relevés des désordres

#### 5.1.1 Chutes de pierres

Des chutes de pierres ont été observées dans les voûtes des caves du 21 rue Doudeauville. Aucune information quant à la datation du phénomène n'a pu être apportée.

Il a été observé que ces chutes de pierres concernent :

- des claveaux complets à la jonction des voûtes 1 et 2,
- des morceaux de pierres sur l'intrados des voûtes 1 et 2.

Il a été observé dans la zone de chute des claveaux la présence d'une canalisation dans les maçonneries. A proximité de certaines chutes partielles de pierres, ont été repérés des pièces métalliques servant à maintenir des canalisations (ou leur présence ancienne du fait de l'observation de traces de corrosion en surface des maçonneries).

Afin de vérifier l'état pathologique des pierres, des prélèvements de poudres ont été réalisés sur le mur latéral de la cave 1 à trois profondeurs et soumis à analyses (cf. paragraphe 5.2). La présence de sels pourra être détectée le cas échéant, de même qu'une humidité importante.

#### 5.1.2 Fissures

Des fissures ont été relevées sur les maçonneries :

- fissure 1 : il s'agit de la fissure principale ; elle se propage transversalement aux caves, dans la zone de passage. Elle concerne l'ensemble des caves.

- fissure 2 et assimilées : située sur l'intrados de voûte 1, elle correspond à la propagation de la fissure 1. L'on peut remarquer qu'un rebouchage d'une ancienne fissure a été réalisé sur la naissance de la voûte 1 ; la fissure 2 correspond très probablement à la réouverture de cette fissure rebouchée à proximité.

- fissure 3 : située sur le mur latéral de la cave 2, côté cour. Elle se propage verticalement du sol au plafond. On remarque en pied de la façade côté cour la présence d'un regard au même niveau.

#### 5.1.3 Altération des mortiers de joints

Les joints de pierres présentent un aspect « mousseux » blanc et une consistance pulvérulente.

Afin de vérifier la présence de sels dans les joints, des prélèvements de poudres ont été réalisés sur le mur latéral de la cave 1 à trois profondeurs et soumis à analyses (cf. paragraphe 5.2).

#### 5.1.4 Présence d'humidité

Des zones semblent présenter une importante humidité, ce qui a très probablement un effet négatif sur la consistance de la pierre et des joints.

Afin de vérifier la présence d'humidité, des prélèvements de poudres ont été réalisés en deux zones : sur le mur latéral et sur le mur du fond de la cave 1 à trois hauteurs et trois profondeurs (cf. paragraphe 5.2).

### 5.2 Analyses laboratoire

Les différents essais présentés dans le paragraphe 3 témoignent de la mise en œuvre d'une pierre calcaire de qualité variable. Afin de contrôler l'état pathologique de la pierre et des joints, un diagnostic « sels » ainsi qu'un diagnostic « humidité » ont été menés. Les résultats des analyses laboratoire sont fournis en annexe 3.

#### 5.2.1 Diagnostic sels

Des poudres ont été prélevées dans deux zones : les prélèvements de la zone 1 ont été réalisés dans le joint des pierres tandis que les prélèvements de la zone 2 ont été réalisés dans la pierre. Pour chaque zone ont été réalisés :

- 1 prélèvement de surface pour déterminer les sels en présence par examen de constitution minéralogique par diffraction des rayons X
- 3 prélèvements en profondeur depuis l'intérieur de la cave (de 0 à 1cm, de 1 à 2cm et de 2 à 3cm) pour mesurer la teneur en sels selon la norme italienne NORMAL 13/83.

Les résultats obtenus sur la zone 1 (joint) permettent de noter la présence de sulfates en quantité très importante – près de 90%, attribuables à la recristallisation de la calcite du gypse des joints (plâtre). Nous notons également des traces de calcite.

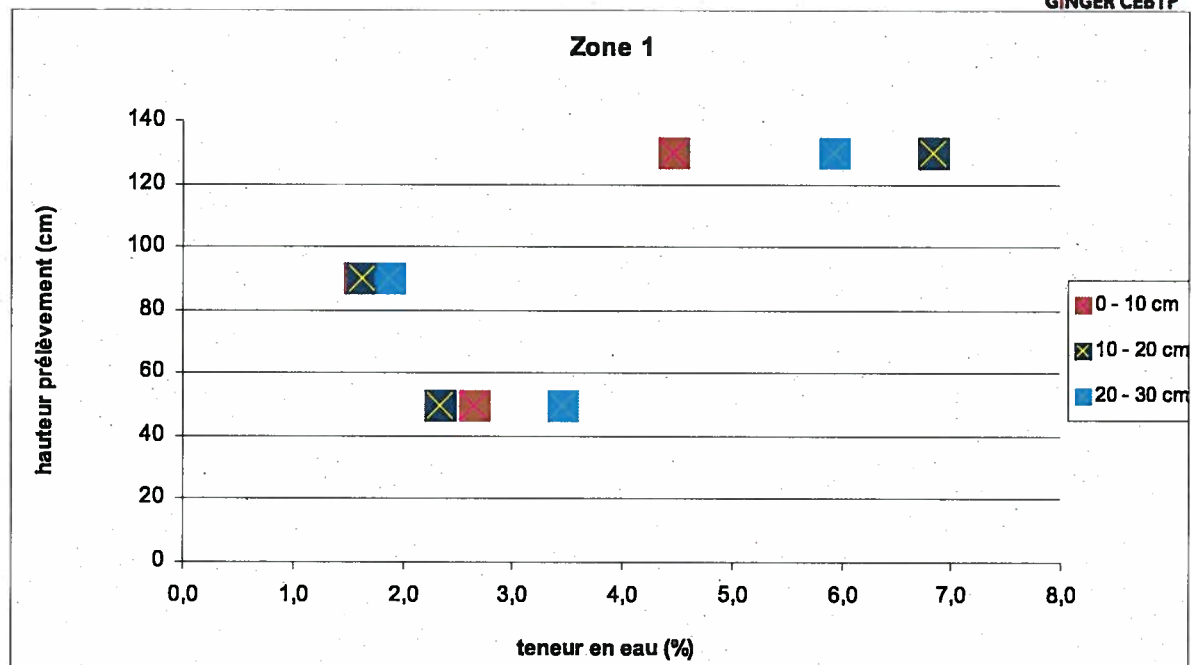
Les résultats obtenus sur la zone 2 (pierre) permettent de noter la présence de sulfates attribuable à la présence de gypse en quantité très importante – près de 11% sur l'échantillon prélevé entre 0 et 1cm. Nous notons également de la calcite en quantité très importante et du quartz.

Ces résultats permettent de conclure à la formation en surface des maçonneries de sulfates de calcium par dissolution de la calcite des joints par action de l'eau puis recristallisation pulvérulente.

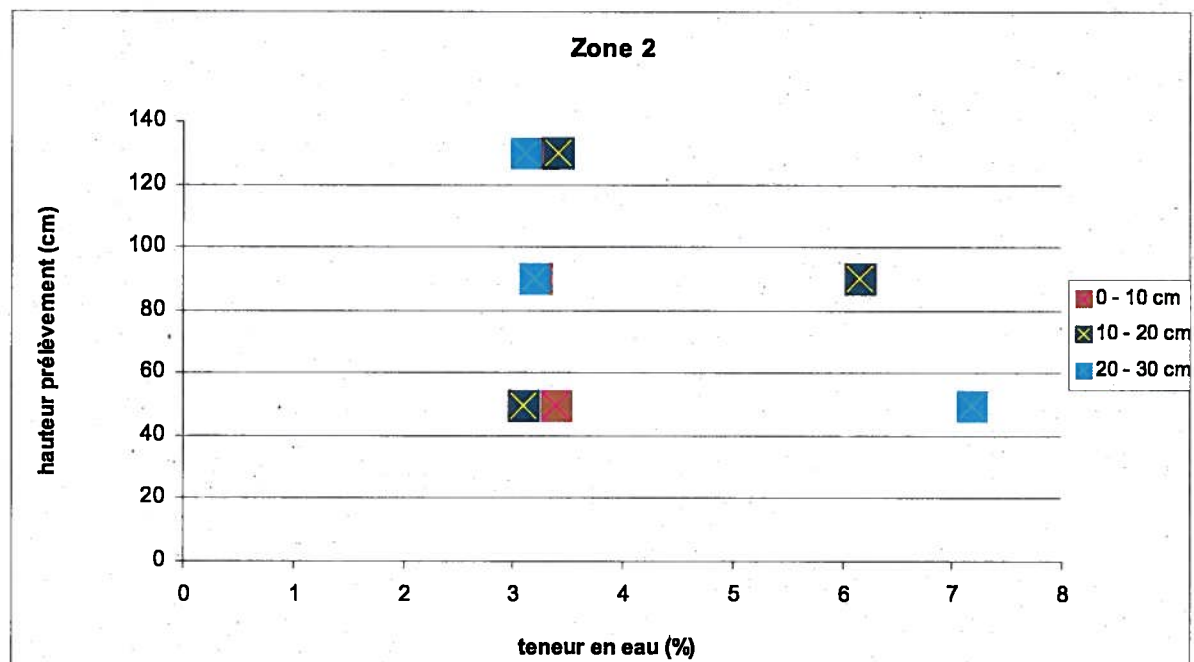
#### 5.2.2 Diagnostic humidité

Afin de vérifier la présence d'une humidité pouvant avoir un impact sur la consistance des maçonneries, des échantillons de poudres ont été prélevés depuis l'intérieur de la cave 1, en deux zones à trois hauteurs et trois profondeurs. La zone 1 correspond au mur latéral gauche et la zone 2 au mur du fond.

Les poudres ont été mises en étuve ventilée à 70°C jusqu'à séchage complet. Les gradients d'humidité obtenus sont présentés ci-dessous :



La zone 1 témoigne d'une humidité modérée, légèrement plus prononcée en tête du mur et vers l'extérieur : cela correspond à une humidité infiltrante par les voies d'écoulement naturelles présentes au niveau du RDC.



La zone 2 témoigne également d'une humidité modérée, légèrement plus prononcée en partie centrale du mur.

Néanmoins les teneurs en eau mesurées sur les deux zones demeurent acceptables pour un niveau de cave en sous-bassement.

### **5.3 Interprétations des désordres**

#### **5.3.1 Chutes de pierres**

Les différentes chutes de pierres ont des causes multiples :

L'existence d'une venue d'eau au niveau de la canalisation présente dans la masse des pierres, combinée à la formation de la fissure 1, peut avoir provoqué la chute des claveaux dans le passage des caves 1 à 2.

Une partie des chutes partielles de pierre pourrait résulter la présence de sels dans les maçonneries : les pluies s'infiltrant au niveau des caves, le plâtre des joints se dissout, provoquant la migration en surface de sulfates dans les pierres. Les sels se cristallisent sous forme pulvérulente et provoquent l'éclatement superficiel de la pierre.

L'état pulvérulent des joints est expliqué par la présence d'humidité, même modérée, dans les caves et les probables nombreux cycles d'humidification subis par les maçonneries depuis leur mise en œuvre.

Les autres chutes partielles sont le fait de la présence, actuelle ou non, de pièces métalliques. L'humidité ambiante génère la corrosion des éléments métalliques. La couche de corrosion se forme et vient faire gonfler l'élément. Ce gonflement provoque l'éclatement local de la pierre.

#### **5.3.2 Fissures**

Ne disposant d'aucun élément de datation des fissures ou concernant leur évolution, seules des hypothèses peuvent être avancées pour le moment. Les fissures 1 et 2 pourraient être la conséquence d'un mouvement global du mur de soubassement côté cour. La fissure 3, verticale, témoigne par ailleurs d'un phénomène de traction sur le mur, potentiellement le résultat de la présence d'un regard dans la cour. La mise en place de jauges au droit des fissures principales devrait permettre de préciser si les mouvements perdurent et si un confortement des structures est nécessaire.

## **6 MISE EN PLACE D'UNE INSTRUMENTATION**

Les voutes des caves présentant des fissures, un dispositif d'instrumentation a été mis en place dans les caves afin de vérifier l'activité des mouvements. Ce dispositif est jugé d'autant plus nécessaire que des travaux d'excavation ont eu lieu sur la parcelle voisine du 21 rue Doudeauville.

Le 29 Février 2012 une instrumentation a ainsi été mise en place pour une durée de 18 mois. Le dispositif est constitué de :

- sept jauges GINGER CEBTP : implantés au droit des fissures, ces capteurs d'une précision de 0,01mm permettront de mesurer l'activité des fissures. Ces jauges seront relevées trimestriellement par un technicien spécialisé à l'aide d'un appareil de mesure nommé « fissuromètre digital ».

- trois convergence-mètres : ces capteurs d'une précision de 0,001mm permettront de suivre l'écartement des appuis des voutes 1 et 2 ainsi que l'éventuel affaissement de la voute 1. Deux convergence-mètres sont ainsi placés horizontalement et un convergence-mètre est positionné verticalement. Un système d'acquisition placé dans la cave 1 permet la réalisation de mesures automatiques à la fréquence d'une mesure toutes les 12h. Les données stockées seront relevées trimestriellement par un technicien spécialisé.

Le schéma d'implantation des capteurs est fourni en annexe 4.

Un rapport d'interprétation des résultats sera remis à l'issue du suivi de 18 mois.

## 7 CONCLUSIONS

Les caves du 21 rue Doudeauville présentent des dégradations pathologiques et structurelles.

Les chutes de pierres partielles ne présentent pas de caractère de gravité, se limitant à la peau des maçonneries. GINGER CEBTP préconise la purge des morceaux de pierres présentant un risque de chute. Aucun traitement des sels n'est préconisé.

GINGER CEBTP préconise la réalisation d'investigations au niveau de la canalisation présente dans le passage des caves 1 à 2 fin de vérifier l'existence d'une fuite et une réparation le cas échéant.

GINGER CEBTP préconise, au regard de leur état pulvérulent, une purge des joints suivie d'un rejointoiement à partir d'un mélange de plâtre et chaux aérienne. GINGER CEBTP précise néanmoins que ce traitement constituera un entretien des maçonneries et non un traitement ; le phénomène présente par conséquent une probabilité importante de retour. La mise en place d'un système de ventilation des caves plus performant pourra néanmoins limiter le dit phénomène, l'humidité générale étant de cette façon réduite.

L'activité des fissures sera contrôlée grâce à la mise en place du système d'instrumentation, de même que l'éventuel déséquilibre pouvant être généré par les travaux sur la parcelle voisine ou la mise en œuvre d'un système de butée.

GINGER CEBTP préconise de maintenir l'étalement en attendant les résultats de l'instrumentation et de limiter l'accès aux caves au public.

Elancourt, le 15/03/2012

Rédigé par	Relu par
Céline DUJARRIER Ingénieur chargée d'affaires Service Maçonneries et Monuments historiques	Ludivine MOUATT Responsable du service Maçonneries et Monuments historiques

## ANNEXE 1 : PHOTOGRAPHIES DES DESORDRES



fig 1 : Chute des claveaux entre caves 1 et 2



fig 2 : Présence de canalisations dans la zone de chute des claveaux



fig 3 : Chutes de pierre partielles, cave 1



fig 4 : Chutes de pierre partielles à proximité de pièces métalliques, cave 2



fig 5 : Fissure 1 transversale dans passage des caves, cave 2



fig 6 : Fissure 1 transversale dans passage des caves, cave 2



fig 7 : Fissure 2 à proximité de la fissure rebouchée, cave 1



fig 8 : Fissure 3 verticale, mur côté cour, cave 2

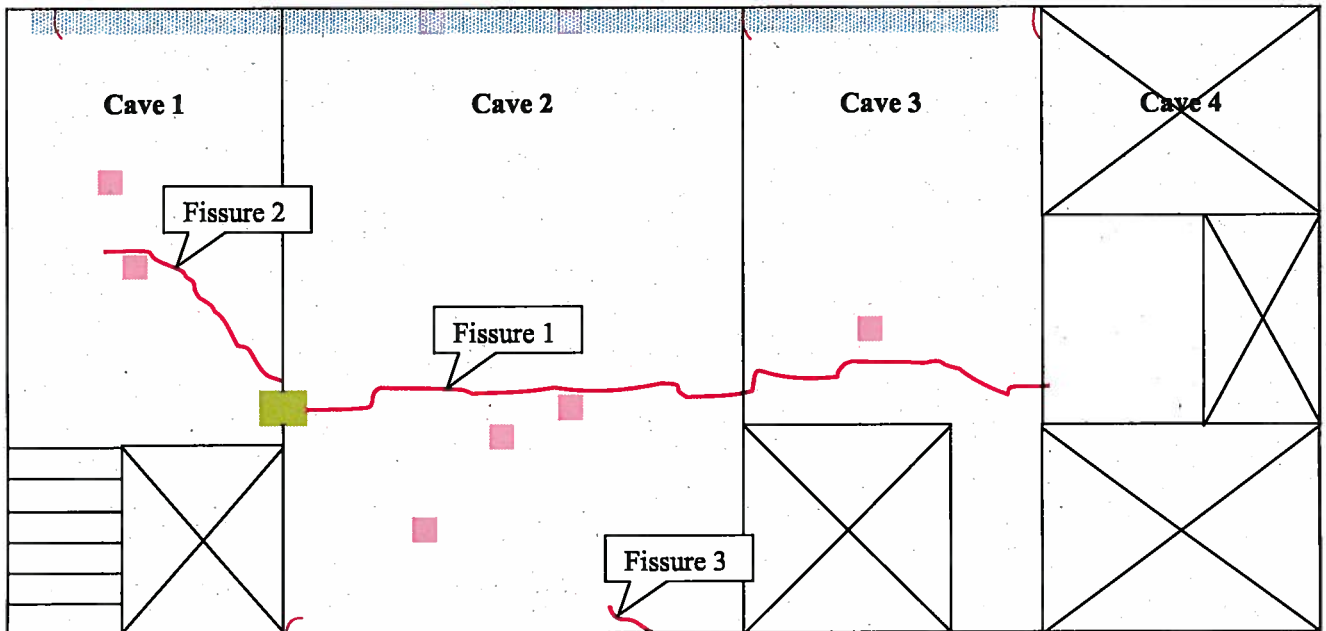


fig 9 : Joint pulvérulent et « mousseux », cave 1








fig 10 : Zone humide, mur du fond, cave 1

## ANNEXE 2 : LOCALISATION SCHEMATIQUE DES DESORDRES



### Légende

-  Fissure
-  Chute de claveaux
-  Chute de pierre partielle
-  Zone humide
-  Zone non accessible



### ANNEXE 3 : RESULTATS DES ANALYSES LABORATOIRE

#### MESURE DE LA MASSE VOLUMIQUE APPARENTE ET DE LA POROSITE OUVERTE NF EN 1936

( Prismes 70x70x70 mm)

N°	Masse sèche $m_a$ (g)	Masse humide $m_h$ (g)	Masse dans l'eau $m_b$ (g)	Masse volumique apparente ( $kg/m^3$ )	Porosité ouverte (%)
C1	540,96	591,58	341,10	2160	20,2
C2	648,16	741,51	407,90	1940	28,0

#### RESISTANCE A LA COMPRESSION NF EN 1926 ET 772.1

Référence de la carotte	Masse (kg)	Dimensions de l'échantillon ( mm )		Mva ( $kg/m^3$ )	Rupture	
		diamètre	hauteur		charge (kN)	contrainte (MPa)
C1 A	1,337	93,5	91,4	2130	358,2	52,0
C1 B	1,303	93,4	89,7	2120	331,4	48,5
C2 A	1,188	93,4	93,9	1850	157,3	23,0
C2 B	1,187	93,6	92,3	1870	113,4	16,5

#### DIAGNOSTIC SELS

##### 1- Examen de constitution minéralogique par diffraction des rayons X d'une poudre de pierre

Espèce minérale	Sel 1 RX	Sel 2 RX
Gypse $CaSO_4 \cdot 2H_2O$	++++	++++
Calcite $CaCO_3$	tr	+++
Quartz $SiO_2$	nd	+

*Les appréciations sont celles de l'échantillon examiné au laboratoire. Elles ne peuvent être assimilées à celles de l'ensemble de l'ouvrage sans un examen sérieux de l'homogénéité du matériau.*

##### Légende

++++ quantité très importante

+++	quantité importante
++	quantité moyenne
+	faible quantité
tr	traces
nd	non détecté

## 2- Dosages des anions selon la norme italienne NORMAL 13/83

Les résultats, exprimés en pourcentages massiques, sont présentés dans le tableau suivant :

Références	% SO <sub>4</sub>	% Cl	% NO <sub>3</sub>
Sel 1 0-1 cm	27,35	< 0,01	< 0,01
Sel 1 1-2 cm	52,30	< 0,01	< 0,01
Sel 1 2-3 cm	49,74	< 0,01	< 0,01
Sel 2 0-1 cm	6,30	0,01	0,04
Sel 2 1-2 cm	0,81	0,01	0,06
Sel 2 2-3 cm	0,81	0,03	0,05

## 4- Constitution minéralogique par diffraction des rayons X

L'échantillon « Sel 1 RX » est majoritairement constitué de gypse. On note également la présence de calcite à l'état de traces. L'échantillon « Sel 2 RX » est majoritairement constitué de gypse et de calcite, ainsi que de quartz en plus faible quantité.

## 5- Dosage en sels

En considérant que tous les sulfates dosés proviennent de gypse, nous pouvons alors calculer la teneur en gypse selon la formule suivante :

$$\% \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = 1,79 \times \% \text{SO}_4$$

Les teneurs obtenues sont présentées dans le tableau suivant :

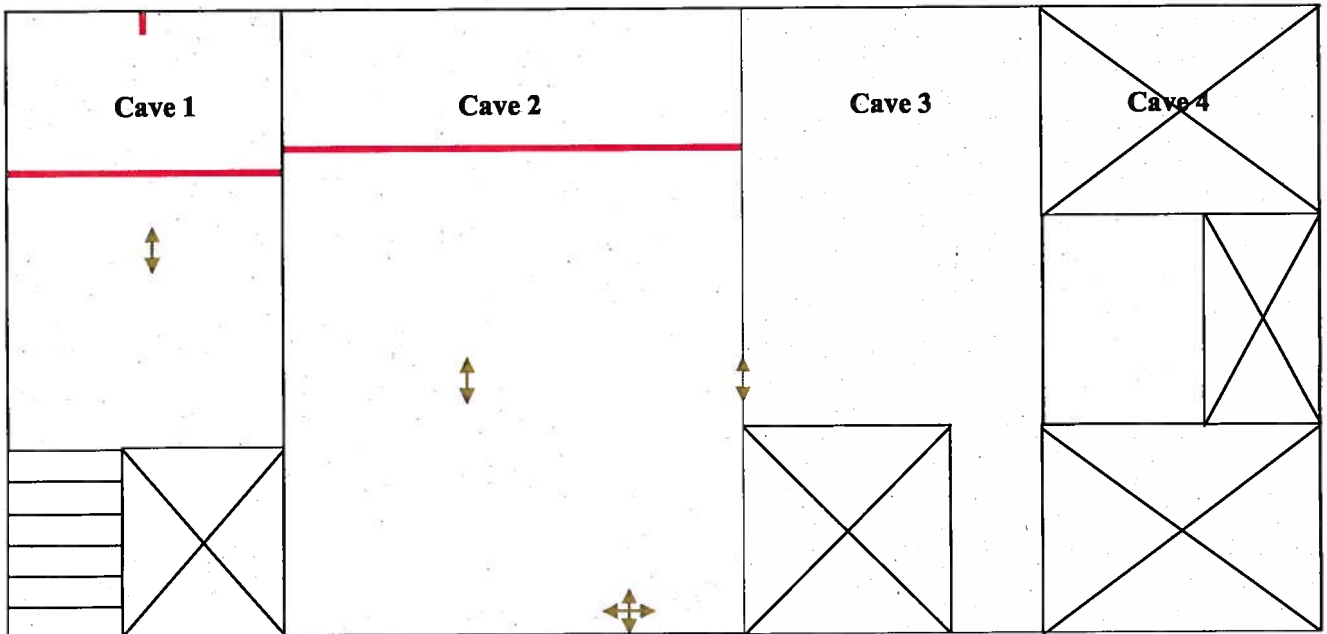
Références	% CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O
Sel 1 0-1 cm	49,02
Sel 1 1-2 cm	93,73
Sel 1 2-3 cm	89,14
Sel 2 0-1 cm	11,29
Sel 2 1-2 cm	1,45
Sel 2 2-3 cm	1,46

### DIAGNOSTIC HUMIDITE

Prélèvements le 22/01/2012

zone	hauteur	profondeur (cm)	masse (g)				m eau	%
			23/01/2012	25/01/2012	30/01/2012	01/02/2012		
Z1 mur latéral gauche	H1 1,30m	0/10	27,34	26,11	26,12	26,12	1,22	4,46232626
		10/20	20,48	19,08	19,08	19,08	1,40	6,8359375
		20/30	26,82	25,25	25,25	25,23	1,59	5,92841163
	H2 0,90m	0/10	26,27	25,87	25,87	25,85	0,42	1,59878188
		10/20	27,72	27,27	27,27	27,27	0,45	1,62337662
		20/30	23,93	23,49	23,49	23,48	0,45	1,88048475
	H3 0,50m	0/10	32,44	31,58	31,58	31,58	0,86	2,65104809
		10/20	38,05	37,16	37,16	37,16	0,89	2,3390276
		20/30	36,48	35,22	35,22	35,22	1,26	3,45394737
Z2 mur du fond	H1 1,30m	0/10	35,36	34,25	34,25	34,24	1,12	3,16742081
		10/20	29,02	28,04	28,04	28,03	0,99	3,41144039
		20/30	14,44	13,99	13,99	13,99	0,45	3,11634349
	H2 0,90m	0/10	37,78	36,60	36,58	36,57	1,21	3,20275278
		10/20	15,42	14,46	14,47	14,47	0,95	6,16083009
		20/30	12,53	12,13	12,13	12,13	0,40	3,19233839
	H3 0,50m	0/10	52,20	50,44	50,43	50,43	1,77	3,3908046
		10/20	32,34	31,35	31,35	31,34	1,00	3,09214595
		20/30	23,26	21,58	21,59	21,59	1,67	7,17970765

## ANNEXE 4 : IMPLANTATION SCHEMATIQUE DU DISPOSITIF D'INSTRUMENTATION



↔ Jauge CEBTP

— Convergence-mètre

**Le réseau : compétences, écoute et disponibilité, réactivité**

*Vous aider à construire l'avenir*

GINGER CEBTP est organisé en **9 centres régionaux**, couvrant l'ensemble du territoire métropolitain, auxquels s'ajoutent des présences fortes en Nouvelle Calédonie, en Polynésie Française, en Guyane, à la Martinique, à La Réunion et nouvellement à l'international en Algérie. Ce sont au total **plus de 45 centres de compétence** au plus près des chantiers et des besoins, garantissant le maximum d'efficacité et de réactivité.

INGENIERIE EUROPE

GRUPE



**GINGER CEBTP**

## GINGER CEBTP

Siège social :  
12, avenue Gay Lussac  
ZAC La Clef Saint Pierre  
78990 Elancourt  
Tél. : 01 30 85 24 00  
Fax : 01 30 85 24 30  
cebtpr.info@gingergroupe.com  
www.ginger-cebtp.com



GINGER CEBTP est une société du Groupe Grontmij



### ■ REGION ILE-DE-FRANCE

Direction régionale et commerciale  
Elancourt  
Tél. : 01 30 85 24 00  
Valenton  
Tél. : 01 56 87 12 90

### ■ DIRECTIONS NATIONALES

Direction des grands projets Infrastructures  
Elancourt  
Tél. : 01 30 85 24 15  
Bordeaux  
Tél. : 05 56 12 98 19

### ■ PÔLE SONDAGE GINGER CEBTP

Chartres  
Tél. : 02 37 88 03 30

### ■ REGION OUEST

Nantes  
Tél. : 02 40 92 18 71  
Angers  
Tél. : 02 41 34 58 60  
Chartres  
Tél. : 02 37 88 32 96  
Le Mans  
Tél. : 02 43 76 86 86  
Orléans  
Tél. : 02 38 56 55 52  
Quimper  
Tél. : 02 98 16 02 46  
Rennes  
Tél. : 02 99 27 51 10  
Tours  
Tél. : 02 47 42 84 90  
Vannes  
Tél. : 02 97 40 25 65

### ■ REGION NORMANDIE

Saint-Etienne-du-Rouvray  
Tél. : 02 32 19 63 00  
Caen  
Tél. : 02 31 84 28 14

### ■ REGION SUD-OUEST ATLANTIQUE

Bordeaux  
Tél. : 05 56 12 98 10

Bayonne

Tél. : 05 59 55 88 10  
Niort  
Tél. : 05 49 08 13 12

### ■ REGION SUD-OUEST MEDITERRANEE

Toulouse  
Tél. : 05 62 87 11 60  
Agen  
Tél. : 05 53 68 44 30  
Béziers  
Tél. : 04 67 76 23 18  
Limoges  
Tél. : 05 55 30 80 80  
Montpellier  
Tél. : 04 67 22 50 80  
Perpignan  
Tél. : 04 68 55 54 11

### ■ REGION PACA

Aix-en-Provence  
Tél. : 04 42 99 27 00  
Bastia  
Tél. : 04 95 30 50 40  
Nice  
Tél. : 04 92 29 37 10

### ■ REGION CENTRE-EST

Lyon  
Tél. : 04 72 79 59 59  
Clermont-Ferrand  
Tél. : 04 73 27 72 00  
Grenoble  
Tél. : 04 38 72 93 93  
Saint-Etienne  
Tél. : 04 77 30 32 50

### ■ REGION NORD

Béthune  
Tél. : 03 21 56 43 43  
Amiens  
Tél. : 03 22 66 32 90  
Reims  
Tél. : 03 26 87 86 00  
Troyes  
Tél. : 03 25 75 58 89

### ■ REGION EST

Strasbourg  
Tél. : 03 88 81 20 50  
Dijon  
Tél. : 03 80 78 76 60  
Montbéliard  
Tél. : 03 81 71 70 50  
Nancy  
Tél. : 03 83 95 11 19

### ■ DOM - TOM - POM

La Réunion  
Tél. : 02 62 49 49 01  
cebtprareunion@gingergroupe.com  
Martinique  
Tél. : 05 96 51 99 51  
Tél. : 05 96 51 60 11  
geode-solen@wanadoo.fr  
Guyane  
Tél. : 05 94 31 14 61  
lbtpr@wanadoo.fr  
Polynésie Française (TOM)  
Tél. : 00 689 42 02 09  
labotpr@mail.pf  
Nouvelle Calédonie (POM)  
Tél. : 00 687 25 00 70  
lbtpr.noumea@lbtpr.nc

### ■ INTERNATIONAL

GINGER CEBTP Algérie  
Tél. : + 213 21 91 70 92  
ginger.cebtpr@gmail.com

### ■ AUTRES FILIALES

GINGER CATED  
Tél. : 01 30 85 24 64  
GINGER CEBTP ATM  
Tél. : 01 30 85 37 00  
GINGER CEBTP Démolition  
Marseille (siège)  
Tél. : 04 91 09 17 30  
IDF  
Tél. : 01 48 12 06 18  
Toulouse  
Tél. : 09 51 09 29 93  
Lyon  
Tél. : 04 72 79 34 23

