

ETUDE HYDROGEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE  
DU VIEUX VILLAGE DE BREIL SUR ROYA

**RAPPORT D'ETUDE HYDROGEOLOGIQUE**

TEXTE

Décembre 2015

Demandeur : CONSEIL DEPARTEMENTAL DES ALPES MARITIMES  
Adresse : CADAM - Route de Grenoble - BP 3007  
06210 Nice cedex



Mandataire

BE en géotechnique : IMS<sup>RN</sup> - Parc Lingostière - St Isidore - 16, chemin de Saquier - 06200 NICE  
tél : 04 92 29 11 10 - fax : 04 92 29 11 20 - email : paca@imsrn.com - www.imsrn.com  
SARL capital 400000 € - SIRET 392 133 633 00033 - RCS Grenoble B 392 133 633 - N°TVA intracommunautaire FR43 392 133 633



Sous-traitant

BE en hydrogéologie : H2EA - 29 Avenue Auguste Vérola - 06200 NICE  
tél : 04 93 29 89 71 - fax : 04 93 29 89 71 - email : h2ea@free.fr - www.h2ea.fr  
SARL capital 7622 € - SIRET 433 161 304 000 20 - RCS Nice 2000B01388 - N°TVA intracommunautaire FR47 433 161 304

## AVANT-PROPOS

- Le vieux village de Breil sur Roya connaît des problèmes récurrents de stabilité des sols, avec des influences notables sur le bâti.

Suite à une première étude établie par Géolithe en janvier 2013 (BE en géotechnique), et critiquée par C. Mangan en mars 2013 (Conseil de la commune de Breil-sur-Roya), **le Conseil Général des Alpes Maritimes** (actuellement Conseil Départemental) a souhaité financer une étude approfondie pour préciser les conditions géologiques et hydrogéologiques du site, l'origine des sinistres, ses possibilités d'évolution dans le temps et examiner les solutions géotechniques envisageables.

Cette étude a été confiée au groupement IMSRN (BE en géotechnique, Nice) et H2EA (BE en hydrogéologie, Nice) en janvier 2014, sur la base d'un cahier des charges établi par le CETE Méditerranée (Assistant à Maîtrise d'Ouvrage).

- Le présent **rapport d'étude hydrogéologique** rend compte des investigations réalisées en 2014/2015, avec plans et figures, et établit des conclusions hydrogéologiques argumentées :

- la première partie (partie I) présente les apports des recherches bibliographiques et du recueil de témoignages oraux,
- la seconde partie (partie II) expose en détail les investigations de terrain réalisées, conformément au cahier des charges tranche ferme de notre mission,
- la troisième partie (partie III) fait la synthèse de l'ensemble des données acquises et permet de définir précisément le contexte géologique et hydrogéologique local,
- la quatrième partie (partie IV) résume les données acquises dans des termes plus accessibles et répond aux questions principales.

Les figures et annexes sont produites à part, pour faciliter la lecture.

- A la suite de ce rapport d'étude hydrogéologique, le groupement présentera les solutions géotechniques envisageables, tenant compte du contexte géologique et hydrogéologique identifié.

## SOMMAIRE

<b>AVANT-PROPOS.....</b>	<b>1</b>
<b>I RECHERCHES BIBLIOGRAPHIQUES ET RECUEIL DE TEMOIGNAGES ORAUX .....</b>	<b>5</b>
1 AVANT-PROPOS .....	5
2 EN RIVE DROITE .....	6
2.1 Pont SNCF sur la Lavina.....	6
2.2 Avenue de l'Aution.....	8
2.3 Théâtre de Verduze.....	8
2.4 Pont supérieur.....	9
2.5 Tunnel SNCF de Caranca et Gigne .....	10
2.6 Cartographie géologique de Breil sur Roya.....	12
3 LE BARRAGE ET LA RETENUE DE BREIL SUR ROYA .....	13
3.1 Le barrage.....	13
3.2 La retenue .....	15
3.3 L'évacuateur de crue.....	15
4 EN RIVE GAUCHE .....	16
4.1 La maison Boéri (actuel SPAR congélation).....	16
4.2 L'église Santa Maria in Albis et la chapelle de la Miséricorde.....	17
4.2.1 Bref historique.....	17
4.2.2 Etudes 1980/1983 .....	18
4.2.3 Travaux de confortement effectués .....	19
4.2.4 Apport des études et des travaux à la connaissance géologique et hydrogéologique.....	20
4.2.5 Résumé des causes évoquées à l'époque pour expliquer les désordres au bâti .....	21
4.3 L'Hôtel Roya .....	22
4.4 La Chapelle Ste Catherine .....	22
4.5 La maison Guidi (ancienne caserne des Chasseurs Alpains).....	23
4.5.1 Bref historique.....	23
4.5.2 Apport des études de sol réalisées.....	24
4.6 La place Brancion.....	26
4.7 Le canal de l'usine Cacciardi.....	27
4.8 La galerie effondrée de la parcelle 161.....	28
4.9 L'immeuble du 3 rue Ciappera .....	29
5 APPORT DES ETUDES GENERALES ANTERIEURES .....	30
5.1 Rapport CETE 2012.....	30
5.2 Rapport Géolithe 2013.....	30
5.3 Critiques concernant les études générales antérieures.....	30
6 RESUME ET CONCLUSIONS DES RECHERCHES BIBLIOGRAPHIQUES.....	31
<b>II INVESTIGATIONS 2014/2015 .....</b>	<b>32</b>
1 CAMPAGNE DE FORATION IMSRN/H2EA 2014/2015.....	32
1.1 Forages réalisés.....	32
1.2 Apport synthétique des campagnes de foration IMSRN 2014/2015.....	33
1.3 Equipement des forages.....	33
2 CARTOGRAPHIE DE LA FAILLE DE BREIL .....	34
3 DETERMINATION GYPSE/ANHYDRITE SUR ECHANTILLONS CAROTTES.....	34
4 ESSAIS D'EAU LEFRANC ET LUGEON .....	35
5 REBOUCHAGE ET RE-EQUIPEMENT DES PIEZOMETRES GEOLITHE .....	36
6 CAMPAGNE MICROMOULINET .....	36
7 ESSAIS DE POMPAGE .....	37
7.1 Dispositifs d'essais.....	37
7.2 Résultats.....	37
7.3 Interprétation.....	38
8 CAMPAGNES DE MESURE DE LA CONDUCTIVITE EN RIVE GAUCHE DE LA ROYA.....	38
9 PRELEVEMENTS POUR ANALYSES.....	39
10 OPERATION DE MULTI-TRAÇAGE .....	40

10.1 Avant-propos.....	40
10.2 Installation du dispositif de suivi.....	40
10.3 Injection des colorants.....	41
10.4 Récupération des données.....	42
10.5 Résultats.....	43
10.6 Interprétation.....	43
11 SUIVI MANUEL ET SUIVI PHYSICO-CHIMIQUE AUTOMATIQUE DES PIEZOMETRES.....	44
11.1 Suivi manuel des piézomètres.....	44
11.2 Suivi physico-chimique automatique des piézomètres.....	44
11.2.1 Dispositif de suivi.....	44
11.2.2 Résultats.....	44
11.2.3 Interprétation.....	45
<b>III SYNTHESE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE.....</b>	<b>48</b>
1 CONTEXTE GEOLOGIQUE GENERAL.....	48
2 CONTEXTE GEOLOGIQUE LOCAL.....	51
2.1 Lithologie.....	51
2.1.1 Les remblais anthropiques.....	51
2.2.2 Les éboulis quaternaires.....	52
2.2.3 Les alluvions quaternaires.....	52
2.2.4 Le substratum crétacé.....	53
2.2.5 Le substratum du Keuper.....	54
2.2 Structure.....	58
2.2.1 Cartographie 2D et 3D du substratum.....	58
2.2.2 Analyse structurale.....	58
3 CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE LOCAL.....	60
3.1 Aquifères locaux et fonctionnement.....	60
3.2 Carte piézométrique.....	61
<b>IV SYNTHESE ET CONCLUSIONS.....</b>	<b>63</b>
1 GEOLOGIE ET HYDROGEOLOGIE.....	63
2 LOCALISATION DES DESORDRES AU BATI.....	63
3 CONCLUSIONS SUR LES CAUSES DES DESORDRES.....	64
3.1 Cause principale des désordres.....	64
3.2 Causes secondaires des désordres.....	65
4. SOLUTIONS DE TRAITEMENT DES DESORDRES OBSERVES SUR LE BATI BREILLOIS.....	66
4.1 Contexte des solutions de traitement.....	66
4.2 Problématiques de fondations.....	66
4.3 Méthodologies de rétablissement de portance.....	66
4.4 Contraintes inhérentes aux travaux de reprise en sous-œuvre.....	67
4.5 Pérennité des travaux et obligations de résultats.....	67
4.6 Vérification et reprise des réseaux.....	68
<b>BIBLIOGRAPHIE CONSULTEE.....</b>	<b>69</b>



## LISTE DES FIGURES

Figure 1	Plan de situation général
Figure 2	Cartographie géologique détaillée de Breil sur Roya (CETE, 1978)
Figure 3	Plan de la Roya à l'amont du barrage (Société Hydroélectrique, 1920)
Figure 4	Coupes géologiques interprétatives sous les fondations nord, est et sud de la chapelle de la Miséricorde (d'après CEMEREX, 1987)
Figure 5	Rééquipement des piézomètres Géolithe 2012/2013 et réinterprétation des coupes Géolithe
Figure 6	Implantation des forages Géolithe 2012/2013 et IMSRN 2014/2015
Figure 7	Coupes synthétiques des forages IMSRN/H2EA 2014/2015
Figure 8	Cartographie de la faille de Breil par relevé des affleurements, résultats des forages et visites de caves
Figure 9	Essais de pompage
Figure 10	Campagnes de mesure de la conductivité en RG de la Roya
Figure 11	Résultats de l'opération de multi-traçage
Figure 12	Evolution piézométrique du 01/09/2014 au 01/09/2015
Figure 13	Evolution piézométrique lors de la remontée du lac du 09/12/2014
Figure 14	Cartographie géologique de Breil sur Roya village et cartographie du toit du substratum du Keuper (2D)
Figure 15	Représentation 3D du toit du substratum
Figure 16	Coupes géologiques interprétatives
Figure 17	Carte piézométrique au 05/07/2015

## LISTE DES ANNEXES

- ANNEXE 1 : PV des forages IMSRN 2014/2015
- ANNEXE 2 : Photographies des échantillons pour distinction Gypse/Anhydrite et résultats d'analyse CETE
- ANNEXE 3 : Essais d'eau Lugeon et Lefranc (Campagne IMSRN 2014)
- ANNEXE 4 : Investigations par micro-moulinet
- ANNEXE 5 : PV des essais de pompage
- ANNEXE 6 : Résultats des analyses physico-chimiques
- ANNEXE 7 : Etude géochimique des échantillons de la région de Breil (par V. Vallès, hydrochimiste à l'Université d'Avignon)
- ANNEXE 8 : Résultats du suivi du multitraçage par fluorimètres et fluocapteurs
- ANNEXE 9 : Tableau du suivi piézométrique manuel
- ANNEXE 10 : Suivi 2014-2015 niveau/conductivité/température des piézomètres de Breil
- ANNEXE 11 : Liste des forages utilisés pour la construction de la carte du toit du substratum au droit du vieux village.

# I RECHERCHES BIBLIOGRAPHIQUES ET RECUEIL DE TEMOIGNAGES ORAUX

## 1 Avant-propos

• **La bibliographie consultée est considérable** (55 références) et a nécessité de nombreuses journées d'investigations (cf. liste bibliographique en fin de rapport).

### Fonds consultés :

- Archives départementales 06,
- Archives départementales 13,
- Fonds Conseil Général 06,
- Fonds BRGM (Marseille + Infoterre),
- Fonds Mangan (Nice),
- Fonds Balandier (Breil),
- Fonds Botton (Breil),
- Fonds mairie de Breil sur Roya,
- Fonds SNCF (quelques éléments transmis par courrier),
- Fonds EDF (quelques éléments transmis par courrier).

La documentation retrouvée s'avère riche d'enseignements, en particulier le rapport de fin de travaux de 1987 remis par la Société CEMEREX pour rendre compte des travaux réalisés à la chapelle de la Miséricorde. Ces travaux ont rencontré le même contexte géologique que celui rencontré lors des phases de reconnaissance Géolithe (2012/2013) et IMSRN/H2EA (2014/2015). En outre, plusieurs documents témoignent de désordres au bâti avant la construction du barrage.

• Par simplicité, les informations recueillies sont présentées par site, en rive droite comme en rive gauche.

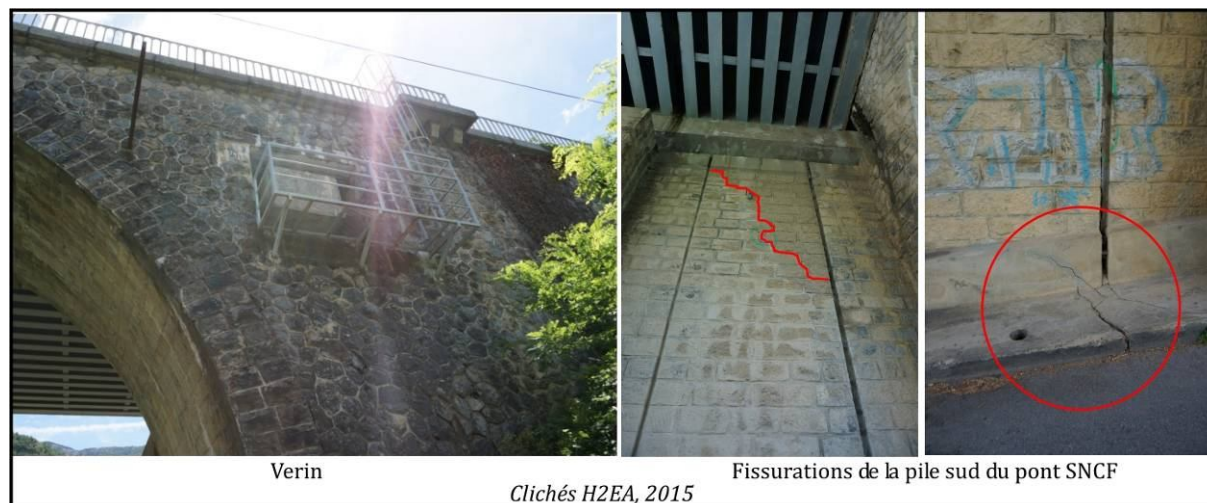
La présentation résume les informations **qui éclairent le contexte géologique et hydrogéologique local**, et n'a pas vocation à faire un résumé historique ou exhaustif. Pour certains aspects historiques, nous renvoyons aux travaux précis de Mr Botton et de l'Association de Protection du Bâti Breillois (ASPB), dont on trouvera les références en bibliographie.

## 2 En rive droite

Voir la figure 1.

### 2.1 Pont SNCF sur la Lavina

Les piles nord et sud du pont-rail SNCF sur La Lavina sont fondées sur le gypse, comme l'a montré les résultats de plusieurs forages de reconnaissance. Des affaissements du sol côté sud ont amené la SNCF à installer une poutre sur vérin pour compenser, année après année depuis 1932/1933, l'affaissement du sol et maintenir le tablier du pont horizontal. La pile sud du pontes est largement fissurée en 2014.



La SNCF nous a communiqué les rapports de deux campagnes de reconnaissance des sols effectuées en 2006 [ERG, avril et octobre 2006]. Les investigations ont été les suivantes :

Première campagne 2006 (depuis la plate-forme ferroviaire) :

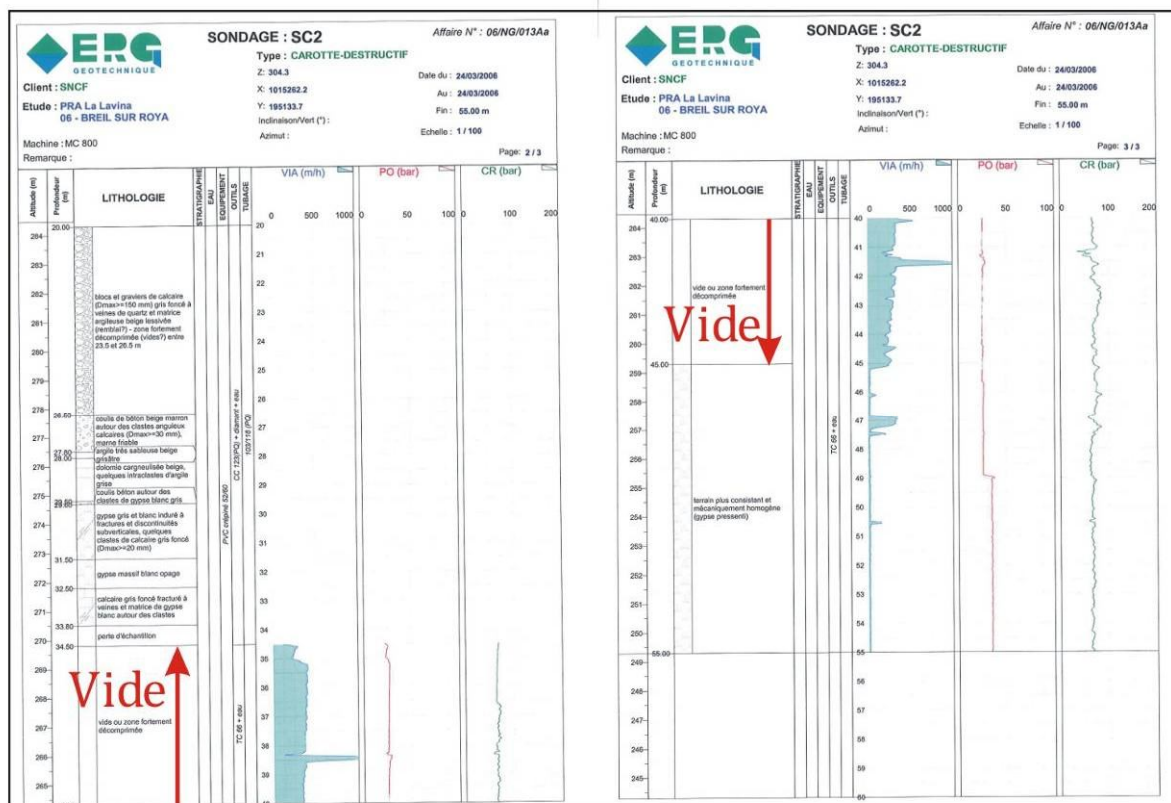
- 2 sondages carottés (SC1, 40 m / SC2, 55m)
- 5 sondages destructifs (SDP1, 40 m / SDP2, 30 m / SD3, 40,45 m / SD4, 51 m / SD5, 25 m / SD6, 30 m),
- gamma-Ray en SC1 et SD4,
- équipement piézométrique en SC1 / SC2 et SD4,
- analyse d'eau

Seconde campagne 2006 (investigations plus poussées sous la pile sud) :

- 1 sondage carotté incliné sous le pont (SC10, 30 m),
- 3 sondages destructifs depuis la plate-forme ferroviaire (SD11, 47m / SD12, 40 m, SD14, 32 m),
- 1 sondage destructif incliné sous le pont (SD13, 30 m)

Ces investigations confirment la présence de gypse sous les piles du pont, bien plus dégradé sous la pile sud du pont :

- zones fortement décomprimées dans le gypse immédiatement sous la maçonnerie, voire vide, globalement entre 283,5 et 279 m NGF environ (SDP1, SC10),
- **vide d'une dizaine de mètres de hauteur**, globalement entre 259 et 270 m NGF (SC2, SD12),
- présence d'eau dans le gypse (justifiant des équipements piézométriques),
- eau fortement chargée en sulfates (526 mg/l de sulfates en SC1), dont le niveau piézométrique s'équilibre apparemment à 280 m NGF environ (lac à 279,65 m NGF).

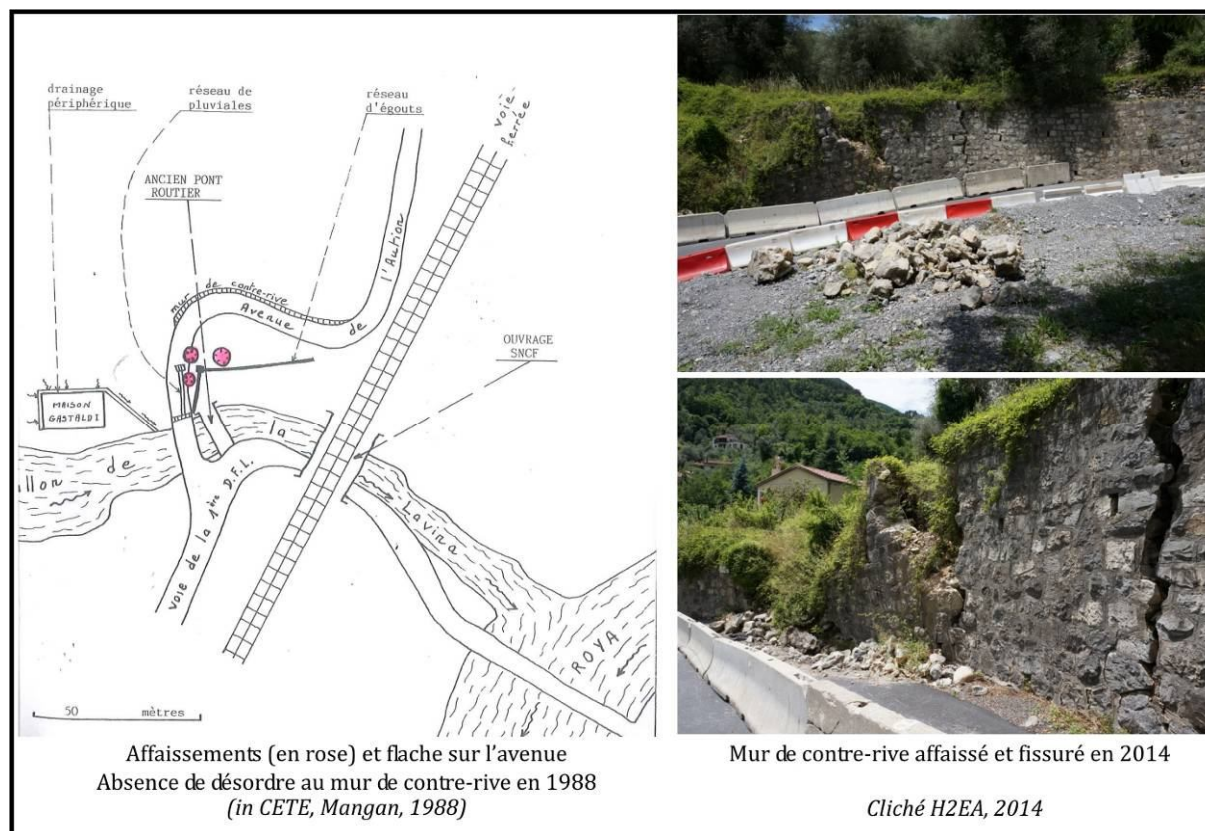


Coupe du forage SC2 montrant l'existence d'un vide de 10,5 m au sein des terrains triasiques, sous la culée sud du pont SNCF sur la Lavina (in ERG, 2006)

**Conclusions géologiques :** ces investigations montrent clairement que le substratum gypseux est aquifère, karstifié (cavités). Les désordres observés depuis 1933 (date de reconstruction du pont) sur la pile sud du pont (affaissement, fissuration), sont clairement liés à la dégradation lente du gypse en profondeur.

## 2.2 Avenue de l'Aution

Dans le virage de l'avenue de l'Aution (cf. figure 1), des affaissements de sol sont observés depuis au moins une quarantaine d'années et certainement bien davantage. L'ancien pont routier sur la Lavina (abandonné actuellement) présente un basculement et de nombreuses fissurations. Aujourd'hui, ces mouvements continuent et le mur de contre-rive se fissure largement.



Une étude menée par Mr Mangan pour le compte du CETE [CETE, 1988] a analysé ces désordres à l'époque et conclut que « *les mouvements constatés sur l'avenue de l'Aution proviennent sans aucun doute possible d'un réajustement de la couverture superficielle sous l'effet de dissolutions profondes au sein d'une lentille gypseuse* ».

## 2.3 Théâtre de Verdure

A l'emplacement du théâtre de Verdure actuel (cf. figure 1), une étude de Sol Essais (1986) a montré la présence de gypse à faible profondeur sous des éboulis de pente, avec un **vide dans le gypse** de 40 cm de 2,9 à 3,3 m en Pd3bis (investigations par pénétromètres dynamiques jusqu'à 7 m de profondeur).

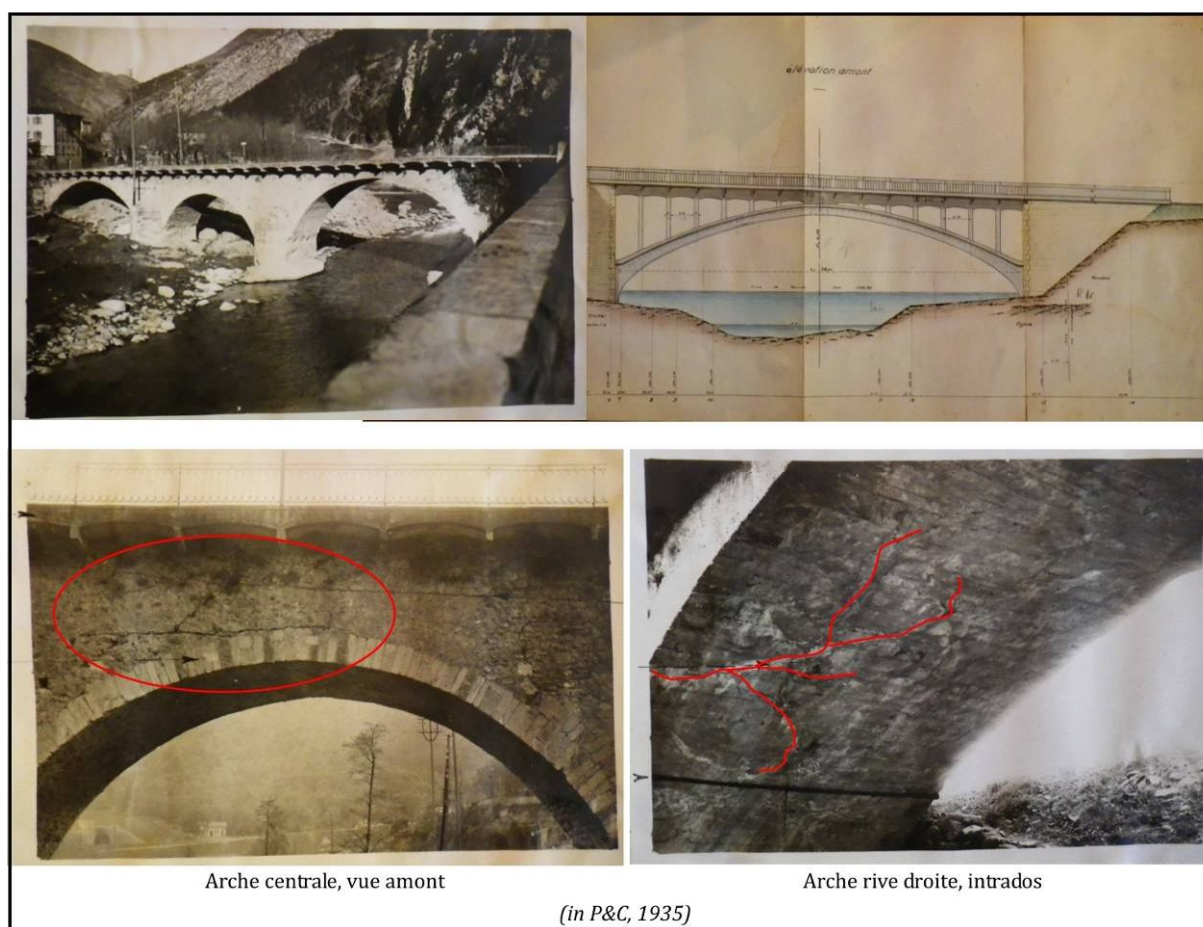


## 2.4 Pont supérieur

Nous avons retrouvé de nombreuses archives concernant le Pont Supérieur dans les Archives des Ponts et Chaussées (1908, 1931-1935, cf. bibliographie).

D'après ces archives, un premier pont à trois arches aurait été construit vers 1430. « *La chaussée devait être établie en dos d'âne, comme cela se faisait fréquemment dans les ponts anciens. Par la suite, le profil de la route dû être modifié et le pont fut rectifié en conséquence. Plus tard, l'ouvrage dont la solidité s'avérait douteuse, dû être consolidé par des chaînages en fer [...].* »

En 1910, les P&C ont procédé à un élargissement de l'ouvrage à l'aide de trottoirs en encorbellement, ce qui a contribué à alourdir considérablement l'ouvrage. Les « *lézardes qui existaient déjà prirent plus d'importance* ». Elles inquiétèrent le service des P&C, qui fit placer des témoins en 1927. En 1931, ces témoins sont disloqués et témoignent de la dégradation du pont, notamment sur la culée rive droite fondée sur le gypse :



Les P&C choisissent alors de reconstruire le pont entièrement (1 seule arche avec une portée de 35 m), qui est achevé en 1935, non sans difficultés : « *La construction de l'ouvrage a présenté d'importantes difficultés dues à la nature du sol de fondation de la culée rive droite. Les travaux de dégagement de la culée rive droite mirent à nu en surface **un gypse fortement fissuré, qui devenait légèrement plus compact dans les couches inférieures*** ».

Le pont actuel enregistre également des déformations, comme en témoigne une fissure visible sur l'ouvrage en rive droite :

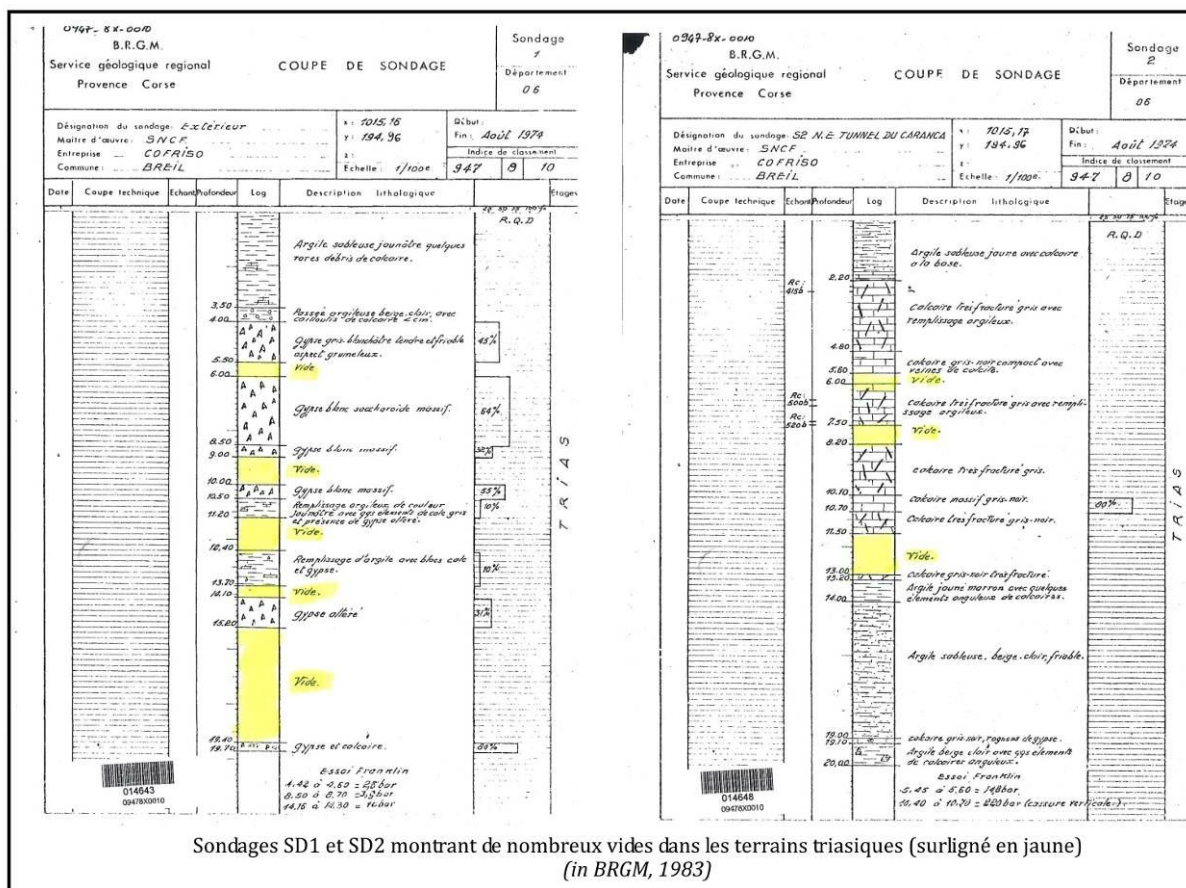


**Conclusions géologiques : au vu de ces archives, il apparaît certain que la présence de gypse sous la culée rive droite du Pont Supérieur, est à l'origine (en grande partie) des dégâts évolutifs constatés sur le pont.**

### 2.5 Tunnel SNCF de Caranca et Gigne

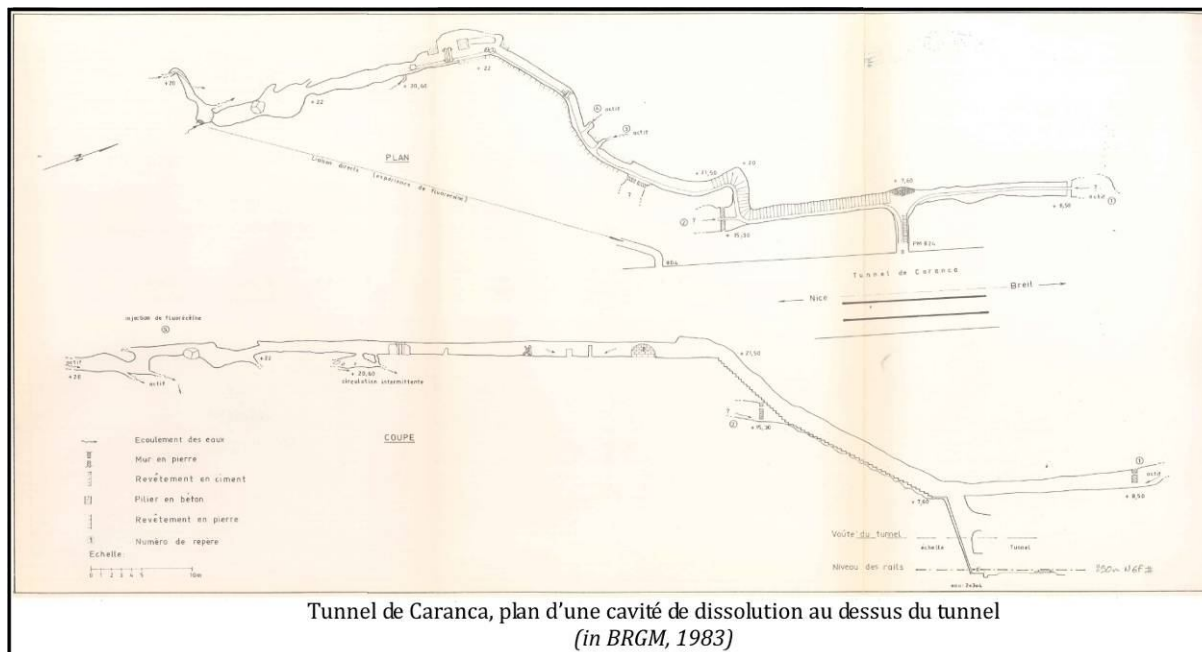
Les tunnels Caranca et Gigne (cf. figure 1) ont été construits entre 1920 et 1923. Une étude géologique et hydrogéologique, commandée au BRGM par la SNCF [BRGM, 1975) dans le cadre de travaux de réfection pour le tunnel Caranca, éclaire le contexte local.

- Les coupes de sondage effectuées en 1974 en tête du tunnel de Caranca (côté Breil) montrent l'existence d'un **substratum gypseux, parfois dolomitique, très altéré, avec de nombreux vides** jusqu'à 4,2 m de hauteur (Sondage 1 et 2), compris dans une tranche de terrain entre 295 et 280 m NGF (pas de sondages en dessous de cette cote).



Sondages SD1 et SD2 montrant de nombreux vides dans les terrains triasiques (surligné en jaune)  
 (in BRGM, 1983)

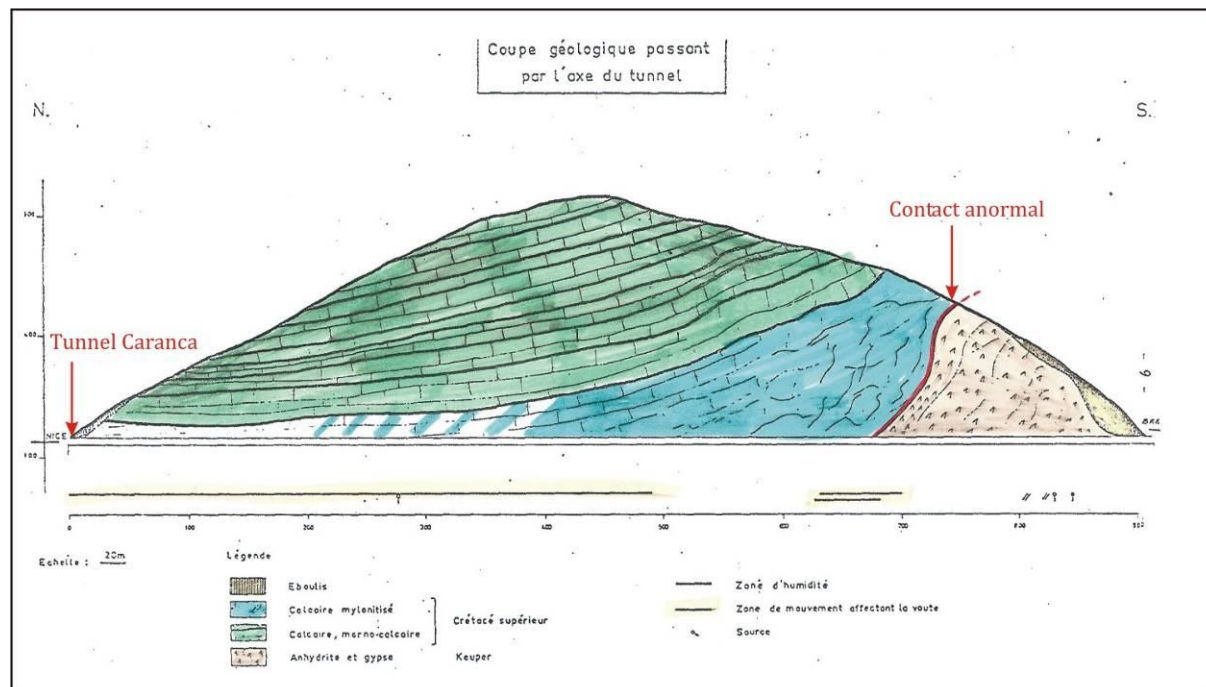
- Dans le cadre de cette étude, une cavité de dissolution naturelle dans le gypse (entrée au PM 824, tunnel de Caranca) a été explorée sur 90 ml environ, entre les cotes 307 et 322 m NGF environ, avec des écoulements faibles mais pérennes (0,75 à 3,5 l/s).



Tunnel de Caranca, plan d'une cavité de dissolution au dessus du tunnel  
 (in BRGM, 1983)



• Enfin, l'étude produit une coupe géologique interprétative, basée sur des données fiables, qui montre que le contact anormal entre le diapir triasique et les terrains encaissants crétacés est marqué par une zone de calcaires marneux crétacés mylonitisés (calcaires marneux et calcaires gris-noirs, veinés de calcite, très fracturés). On retrouve ce faciès dans le forage SC14, réalisé en 2014, sous le village de Breil.



Coupe géologique du tunnel SNCF Caranca montrant le contact entre le domaine triasique et le domaine crétacé, marqué par des calcaires marneux crétacés mylonitisés  
*Attention le nord et le sud sont inversés par erreur sur cette coupe  
 (in BRGM, 1975, colorisé par H2EA)*

**Conclusions géologiques :** cette étude montre que le substratum gypseux triasique peut être largement karstifié, avec des écoulements actifs, au dessus du niveau de base (sans lac : 272 m NGF, avec lac : 279,65 m NGF). Le contact par faille entre le domaine triasique (diapir) et les terrains encaissants est marqué par une zone crétacée broyée.

## 2.6 Cartographie géologique de Breil sur Roya

Voir la figure 2.

Cette cartographie très détaillée, effectuée par le CETE (C.Mangan) en 1978, au 1/5000 ème, dans le cadre du POS de Breil sur Roya, montre **de très nombreux affaissements actifs ou anciens**, localisés notamment en rive droite de la Roya, **au niveau des terrains alluvionnaires sur substratum gypseux**.

Cette cartographie n'identifie pas de gypse au niveau du vieux village de Breil sur Roya, faute d'affleurements observables.

**Conclusions géologiques :** l'origine de ces affaissements est visiblement à mettre en lien avec des dissolutions du substratum gypseux, sans doute en relation avec la rivière, qui provoquent des réajustements des terrains meubles sus-jacents jusqu'en surface.

### 3 Le barrage et la retenue de Breil sur Roya

#### 3.1 Le barrage

Nous avons retrouvé aux archives départementales quelques archives (1899-1920) concernant la retenue de Breil sur Roya avant sa création. Nous avons demandé, par l'intermédiaire du Conseil Général, à consulter les archives EDF, mais seules quelques études récentes (2011-2013), relatives à la reconstruction du barrage mobile et à la réhabilitation du barrage-poids, nous ont été communiquées. Entre ces dates, aucune autre archive (hormis une carte postale) n'a donc malheureusement pu être consultée (en particulier les plans d'exécutions, compte-rendu de travaux, sondages, etc.... relatifs à la construction du barrage et du seuil évacuateur de crue).

Les documents consultés apportent cependant quelques informations géologiques intéressantes.

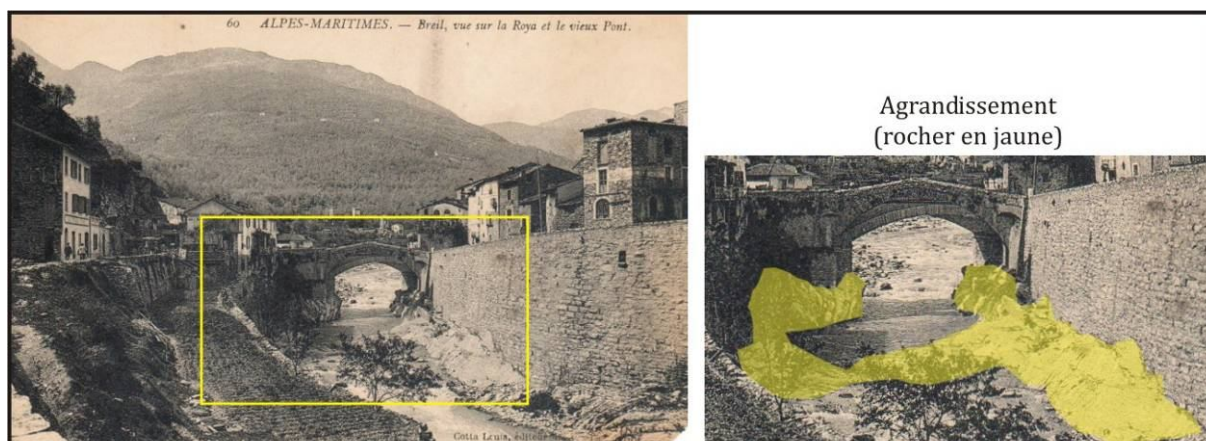
- Documents 1899-1920

Un plan de la Roya à l'amont du barrage, datant de 1920, dresse un état des lieux précis du lit de la Roya avant construction du barrage (cf. figure 3). Il est accompagné de plusieurs profils notés de A à K. On y observe notamment des « *banc de plâtre* », qui ne sont autre que des affleurements du substratum gypseux dans le lit même de la Roya (entre les cotes 275 et 278 m NGF environ, cf profil H). Au droit du futur barrage, le rocher (seuil créacé naturel) est à la cote 271,5 m NGF.

Une note sur ce plan de 1920 indique que « *Les incursions et les affouillements de la Roya ont profondément modifié l'état des lieux depuis l'époque ou fut dressé le cadastre (NDLR : 1865). Le canal du moulin Folco-Rostagni est aujourd'hui bien au dessus du niveau de la Roya ainsi que l'indiquent les cotes* ».

- Document antérieur à 1924

Une carte postale présente une vue de la Roya en aval du Pont Inférieur, avant la construction du barrage où l'on distingue nettement le fond rocheux continu de la rivière. Il n'y a pas de surcreusement de ce fond rocheux.



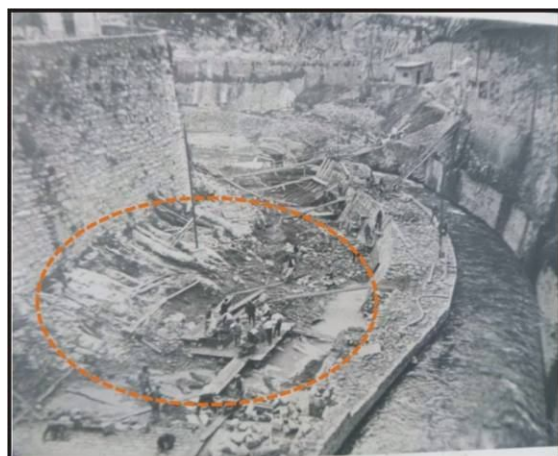
Carte postale antérieure à la construction du barrage montrant des affleurements rocheux continus en fond de rivière  
(in Fond iconographique Botton)

- Documents 2011-2013

Les reconnaissances géotechniques de la rive droite en aval immédiat du barrage ont consisté notamment en 4 sondages destructifs [Ginger CEBTP, 2011]. Ces sondages, de 7,5 à 20m, montrent le toit du Crétacé (calcaires marneux) qui évolue globalement entre les cotes 277,6 et 279,4 m NGF. Les calcaires marneux crétacés présentent de bonnes caractéristiques mécaniques. Aucune cavité n'a été recoupée.

Les reconnaissances géotechniques du barrage poids ont consisté notamment en 8 sondages carottés [SAM, 2012]. Ces sondages, de 18 à 19m de profondeur, ont recoupé le barrage et confirmé sa fondation sur le toit du Crétacé entre 271 et 273,7 m NGF. Les photographies des carottes montrent que les terrains crétacés sont représentés par des calcaires/calcaires-marneux gris-noirs, très souvent veinés de calcite.

Deux photos, retrouvées dans des rapports [Hydrostadium, avril et octobre 2013], montrent le substratum crétacé au niveau du barrage EDF :



Fond de rivière dégagé, 1924 (271,5 m NGF)  
(in Hydrostadium, juin 2013)



Fond de fouille, 25/06/2013 (270,5 m NGF)  
(in Hydrostadium, nov. 2013)

### Conclusions géologiques :

- 1) Le substratum gypseux du Keuper est à faible profondeur sous les alluvions du lit vif de la Roya. Il est identifié formellement entre les cotes 278 et 275 m NGF, plutôt côté rive droite, en face de la place Bianchéri et de la mairie.
- 2) Avant la construction du barrage (1924) et du seuil évacuateur de crue, la cote du lit de la Roya a fluctué en fonction du débit de la Roya, provoquant tantôt des engravements, tantôt des érosions importantes de son lit. La cote du lit d'alluvions de la Roya n'était donc pas figée.
- 3) Le seuil rocheux crétacé naturel se situait approximativement à la cote **271/272 m NGF**. Actuellement, il est légèrement décapé jusqu'à la cote 270,5 m NGF pour asseoir les ouvrages EDF.

### 3.2 La retenue

- Fonctionnement historique

Le barrage a été mis en fonction en 1924. Mr Ghirardi (ancien maire de Breil) et ses adjoints nous ont indiqué avoir connu des époques où le niveau de la retenue fluctuait fréquemment, parfois jusqu'à une à deux fois par jour.

- Fonctionnement actuel

Interrogée, EDF nous a précisé le fonctionnement du barrage à partir de sa remise en service en 2014

Exploitation du plan d'eau : la centrale de Breil fonctionne « au fil de l'eau ». La régulation du niveau du plan d'eau est assurée par les groupes de production via un automate programmable de conduite, situé dans la centrale, de manière à maintenir la cote du plan d'eau à un niveau constant, à la cote 279,70 m NGF.

Une fois le débit d'équipement (12,3 m<sup>3</sup>/s) dépassé et après avoir atteint la cote de 279,85 m NGF, l'automate programmable du barrage assure la régulation du plan d'eau et maintient la cote de la retenue à ce niveau en agissant sur l'ouverture des vannes.

Variations du plan d'eau : en exploitation normale, la cote du plan d'eau varie entre 279,65 et 279,85 m NGF, sauf en cas d'évènements météorologiques, externes ou de maintenance.

Curages du plan d'eau : il est prévu un effacement du barrage mobile à partir de 50 m<sup>3</sup>/s, ce qui aura pour conséquence de rendre les curages quasi-inexistants à l'avenir.

### 3.3 L'évacuateur de crue

Créé postérieurement à la retenue de 1924, l'évacuateur de crue situé en amont du pont Supérieur, permet de dériver les débits de la Roya dépassant les 200 m<sup>3</sup>/s grâce à deux galeries taillées dans les calcaires marneux crétacés. Elles permettent un rejet à la Roya en aval de Breil. Le seuil est à la cote 281,78 m NGF. La présence de cet évacuateur a réduit considérablement les dégâts liés aux crues, tels qu'observés par le passé (ASPB, 2013).

EDF ne nous a malheureusement donné aucune archive concernant cet évacuateur.

## 4 En rive gauche

### 4.1 La maison Boéri (actuel SPAR congélation)

Une archive intéressante, datant de 1899, nous a été fournie par l'ASPB.

Un procès-verbal d'expertise [Bergaud, 1899], expose les dégâts constatés sur la maison Boéri, « *qui indiquent un tassement de la maison Boéri, accentué à l'intersection des rues de la Boucherie et de la Banque [...] En notre avis, le peu de consistance du terrain gypseux surmonté d'une couche d'alluvions, sur lequel repose le massif de construction dont fait partie la maison Boéri Honoré, ne permet pas d'attribuer uniquement aux infiltrations de l'égout de la ruelle de la Banque, le tassement de la maison Boéri : il y a lieu de tenir compte de l'ébranlement général subi par les constructions établies sur cette nature de terrain lors du tremblement de terre de février 1887* ».

D'après P. Balandier (ASPB), des travaux importants de renforcement ont été réalisés sur cette habitation.

**Conclusions géologiques : l'existence d'un substrat gypseux sous le vieux village, surmonté d'alluvions peu consistantes, était connue au moins depuis 1899. Les causes des dégâts sont essentiellement attribuées à cette nature de terrain, accentués par des tremblements de terre.**



## 4.2 L'église Santa Maria in Albis et la chapelle de la Miséricorde

### 4.2.1 Bref historique

L'église Santa Maria in Albis (ou N.D des Neiges) a été construite à partir de 1650 à l'emplacement d'un plus ancien sanctuaire comme l'atteste son clocher roman qui a été mis au goût du jour au XVIIe siècle, comme bien des édifices de la région. Elle a été achevée en 1719 après une longue interruption. La chapelle Notre Dame de la Miséricorde (ancienne Chapelle des Pénitents), a été édifée contre l'église après 1763.

Ces deux monuments ont été classés aux Monuments Historiques en 1978. L'Architecte en chef des Monuments Historiques, Ivan Yarmola, constate à cette date que « *les églises et la chapelle, comme les maisons avoisinantes, sont affectées de multiples fissures* » [in Yarmola, 15/12/1980].

Les désordres les plus importants affectent la partie sud de l'ensemble formé par l'église et la chapelle. Ils touchent plus particulièrement la chapelle de la Miséricorde, qui présente une importante lézarde sur sa façade Est, évolutive à l'échelle de la dizaine d'années, témoignant d'un basculement du mur sud vers l'extérieur. Elle serait apparue subitement, en pleine messe, lors du séisme ligure du 23/02/1887 (information [www.azurseisme.com](http://www.azurseisme.com), consulté en mai 2014).



1948 1978  
Façade orientale de la chapelle de la Miséricorde en 1948 et en 1978,  
illustrant l'ouverture de la fissure principale en 30 ans  
(photographies, in Yarmola , 1978)

Mr Yarmola soupçonne des problèmes importants de tassements de fondations et sollicite officiellement, en 1980, le Ministère de la Culture pour que l'on mette à sa disposition les moyens de faire procéder aux sondages, aux études et aux travaux nécessaires en s'entourant d'experts [Yarmola, 15/12/1980].

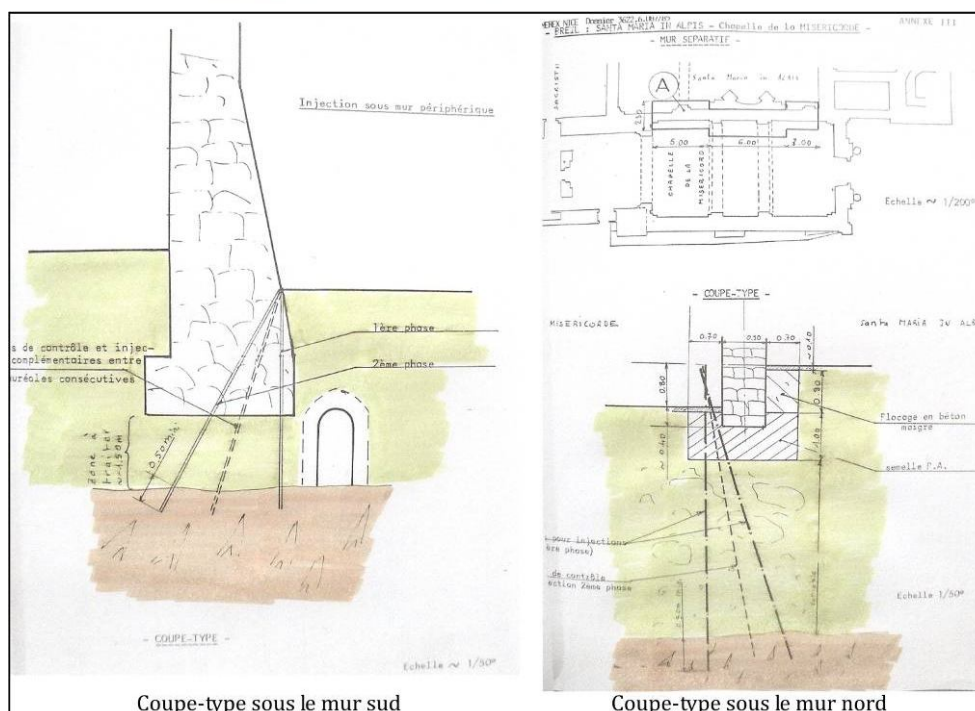
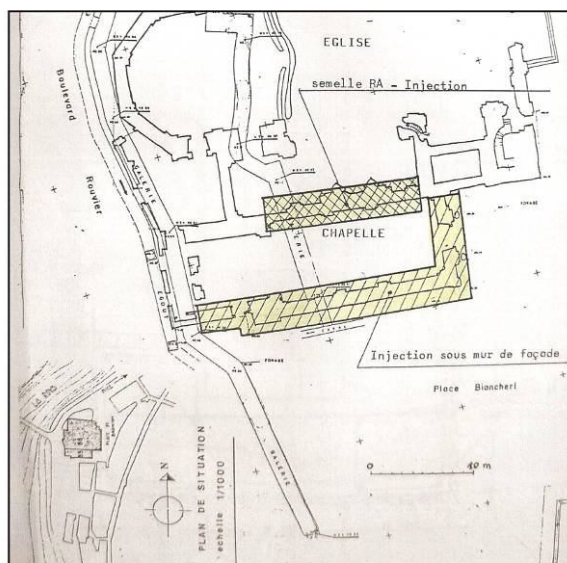


### 4.2.3 Travaux de confortement effectués

Les travaux retenus portent principalement sur la Chapelle de la Miséricorde. Ils concernent le mur sud (longeant la ruelle), le mur Est (façade), le mur séparatif entre la Chapelle et l'église Santa Maria.

Les travaux entrepris comprennent deux interventions (cf. illustration ci-dessous) :

- une reprise en sous-œuvre du mur séparatif par une semelle continue en béton armé dans laquelle vient s'encastrer le mur partiellement sans fondation,
- une consolidation du terrain d'assise des trois murs par injection d'un coulis stable bentonite/ciment jusqu'à 50 cm dans le substratum gypseux. L'injection a nécessité la réalisation de 70 forages carottés et l'injection de 70 m<sup>3</sup> de bentonite/ciment.



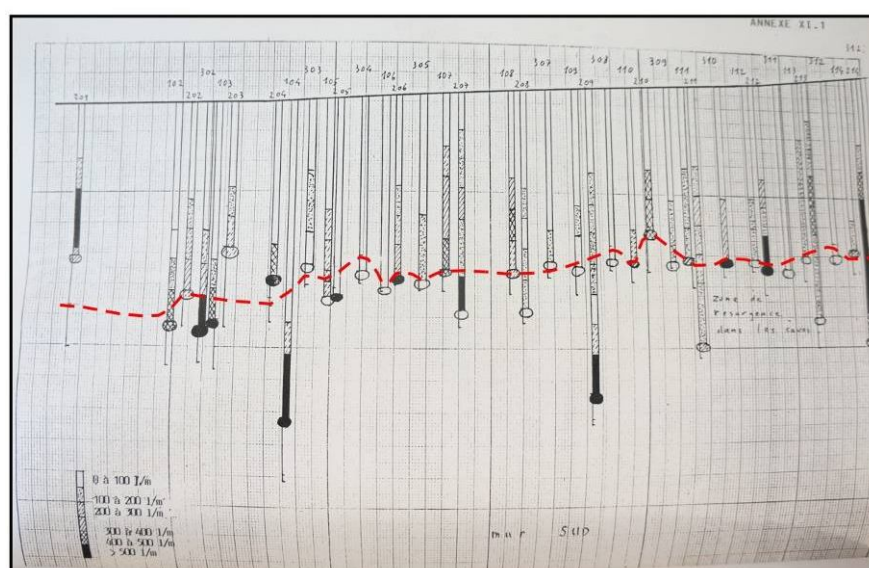
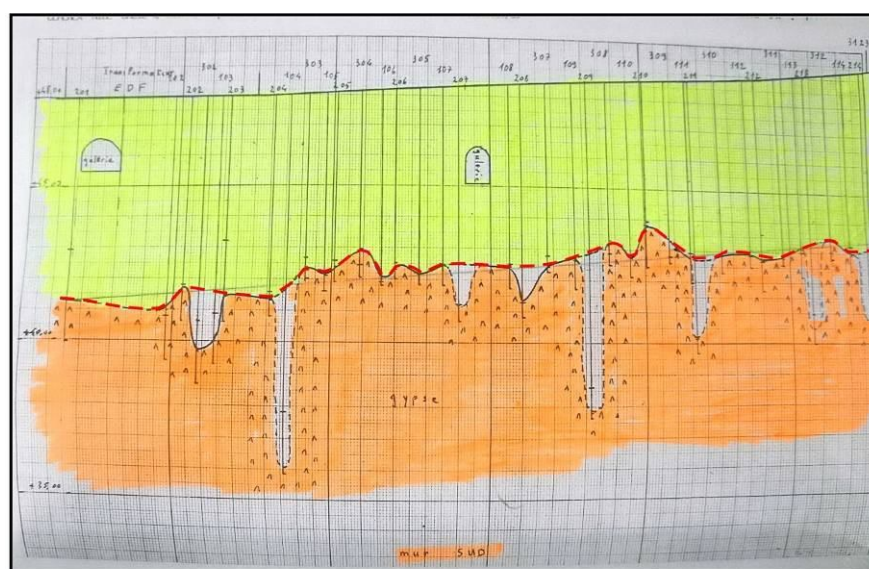
En jaune : remblais/alluvions    En orange : gypse

Illustration des travaux de confortement des fondations de l'église Santa Maria in Albis et de la chapelle de la Miséricorde (CEMEREX, 1987). Extraits colorisés



#### 4.2.4 Apport des études et des travaux à la connaissance géologique et hydrogéologique

- Les travaux de forage ont mis en évidence:
  - un substratum gypseux irrégulier s'approfondissant globalement vers l'ouest entre les cotes 277,9 m NGF et 276,2 m NGF, avec des surcreusements ponctuels jusqu'à la cote 273 m NGF environ sous le mur de refend nord de la chapelle ; on notera que les fondations du mur Est de la chapelle reposent quasiment directement sur le gypse (cf. figure 4 Coupes interprétatives CEMEREX).
  - des **vides fréquents de 0,5 à 1,2 m** sous la maçonnerie [EGCEC, 1985] ; cela rejoint l'observation de cavité par Yarmola en 1980 dans le sous-sol de l'hôtel Roya,
  - des remblais/alluvions très décomprimés, très difficiles à carotter [EGCEC, 1985],
  - que **les zones d'absorption du coulis de ciment les plus importantes se situent au contact avec le substratum gypseux, et dans le gypse lui-même** [Cemerex, 1987], ce qui a visiblement étonné CEMEREX à l'époque, l'amenant à reconsidérer le rôle du gypse et de sa dissolution dans l'origine des désordres.



Mise en évidence de la capacité d'absorption des injections par le gypse, sous la chapelle de la Miséricorde

- Les relevés piézométriques effectués en cours de travaux n'apportent pas d'informations très pertinentes, les relevés étant trop espacés (tous les 4 mois entre mai 1983 et déc 1984). Tout au plus peut-on relever que le niveau sur certains piézomètres semble influencé par le niveau de base (la Roya ou la retenue selon qu'elle est en eau ou pas). Un des piézomètres est apparemment colmaté (F1).
- Les relevés fissurométriques n'apportent pas d'informations très pertinentes également. Quelques fissures ont légèrement bougé lors des travaux de confortement. La plupart des mouvements sont liés à des phénomènes de dilatation dus aux variations de température. Seul le témoin implanté sur la plus importante fissure de l'édifice qui court verticalement dans l'axe de la façade de la Chapelle enregistre une légère ouverture (0,25 mm) durant la période des travaux. Cette ouverture s'inscrit dans l'évolution déjà constatée.
- Les dégagements des fondations de la chapelle ont réservé quelques surprises à l'époque :
  - mur séparatif entre la chapelle et l'église : « *Des surlargeurs du mur ont été fréquemment rencontrées. Elles ont été assimilées à des semelles* »
  - mur sud : Yarmola, visiblement intrigué, écrit en 1997 « *Enfin, à une époque ancienne, indéterminée encore, le pied du mur sud de la chapelle a été épaissi...* »

**Ceci montre que des mouvements de sols très anciens avaient déjà rendu nécessaire des confortements, à une époque bien antérieure au XIX<sup>ème</sup> siècle.**

#### **4.2.5 Résumé des causes évoquées à l'époque pour expliquer les désordres au bâti**

- Pour expliquer les désordres observés à la Chapelle de la Miséricorde, plusieurs explications sont avancées au cours du temps, par divers intervenants :
  - « *les tremblements de terre de 1905 et les secousses provoquées par les combats et les destructions de 1944* » [*in Yarmola, 15/12/1980*],
  - le battement de la retenue EDF (de plus de 2 m), qui provoquerait un entraînement de fines alluvions ; risque qui serait accru si les masques des berges présentent des défauts d'étanchéité [*in Yarmola, 15/12/1980*], et le réhaussement de la retenue en 1947 [*in Yarmola, 1984*],
  - les eaux telluriques provenant du coteau et circulant dans un ancien thalweg, au dessus du niveau du barrage, et qui auraient lessivés les sols sous les fondations [*in Yarmola, 1984 citant CEMEREX-CEBTP*],
  - le réseau d'égout et de minoterie passant à proximité et sous les églises [*in Yarmola, 31/08/1983*],
  - les anciens drains/canaux d'eaux pluviales de Breil (Nice matin, 28/03/1984),
  - la dissolution du gypse [*in Yarmola, 1986 et CEMEREX, 1987*],

On le voit, la confusion règne sur l'origine des désordres. Au final (1997), l'architecte Yarmola attribue l'origine des désordres à « *un lavage du sol alluvial sur lequel sont fondés les édifices* », mais ne sait pas trop à quoi l'attribuer (rivière, retenue EDF, canaux, fuites...).

- Nous avons recueilli exactement le même type de témoignages de la part de la population et de différents intervenants (mairie, ASPB...).

**Conclusions géologiques : sans discuter du mécanisme des désordres, on retiendra les faits suivants :**

- 1) de nombreux vides ont été constatés sous la maçonnerie,
- 2) la présence d'un substratum gypseux peu profond côté Est, s'approfondissant vers l'Ouest
- 3) l'existence de remblais/alluvions très décomprimés, visiblement sans consistance au contact remblais/alluvions et substratum gypseux, surtout en partie sud-ouest,
- 4) un toit du gypse très inégal et très altéré, avec des vides,
- 5) l'existence de tassements de sols sous l'église et la chapelle bien antérieurs au XIX<sup>ème</sup> siècle
- 6) le problème de tenue des sols touche également les bâtiments alentours, ainsi que les routes et les places.

#### 4.3 L'Hôtel Roya

- Ce bâtiment a visiblement présenté des problèmes de stabilité avant 1980, car la municipalité a fait réaliser une campagne de sondages carottés en 1980 pour sa réparation [in Doucier, 26/10/1981]. Nous n'avons pas retrouvé les documents originaux des sondages mais l'archive de Mr Doucier (direction du Patrimoine) indique : « Les résultats mettent en évidence la présence jusqu'à 7,50 m de profondeur de cailloutis où il est très difficile d'extraire des échantillons de terrain non remaniés ».

- L'architecte Yarmola signale « un affouillement de fondation dans un hôtel voisin de la chapelle m'a été montré, qui nécessite des travaux de reprise en sous-œuvre. » [in Yarmola, 15/12/1980].

**Conclusions géologiques :**

- 1) le substratum gypseux est à -7,5 m au droit de l'Hôtel (soit vers la cote 275,5 m NGF), et les terrains sus-jacents (remblais/alluvions) sont visiblement décomprimés,
- 2) Des vides ont été constatés sous les fondations de l'Hôtel, dans les remblais/alluvions.

#### 4.4 La Chapelle Ste Catherine

- L'architecte des Monuments Historiques (I. Yarmola) signale dans une archive de 1981 « Le Chapitre 2 concerne la **chapelle Ste Catherine**, moins affectée que Ste Marie in Albis et la chapelle des pénitents attenante, mais **déjà fissurée anormalement** » [in Yarmola, 08/12/1981]

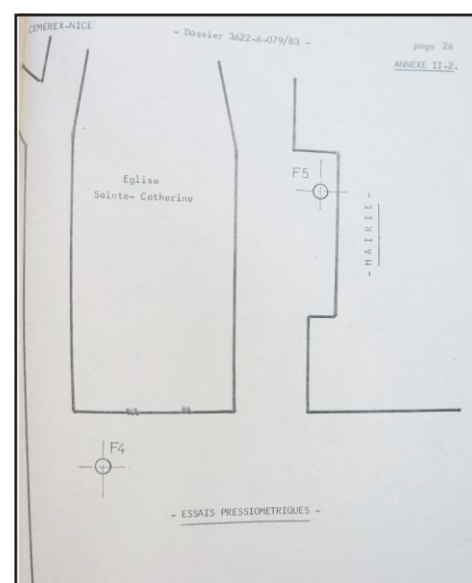
- En parallèle aux investigations effectuées pour la chapelle de la Miséricorde, deux forages avec essais pressiométriques ont été effectués à proximité de l'église Ste Catherine en 1983 [Cemerex, 1983], dont les résultats sont synthétisés dans le tableau suivant :

Forage n°4 (devant l'entrée)	0-3,85 : alluvions / remblais 3,85 – 5,60 m : gypse compact
Forage n°5 (à l'ouest de l'église, dans la ruelle entre la mairie et l'église)	0-3,5 m : remblais (peu portants) 3,5 – 8,85 m : alluvions compactes 8,85 – 10 m : gypse compact

A notre connaissance, il n'y a pas eu de suites à ces investigations.

**Conclusions géologiques :**

- 1) substratum gypseux identifié vers 279,15 m NGF devant l'église Ste Catherine,
- 2) substratum gypseux identifié vers 274,30 m NGF env. entre l'église et la mairie.



## 4.5 La maison Guidi (ancienne caserne des Chasseurs Alpains)

### 4.5.1 Bref historique

- La mise en œuvre des fondations de la maison Guidi est très ancienne. Hétérogène, elle s'étalerait entre le XVII<sup>ème</sup> et le XIX<sup>ème</sup> siècle. Depuis son achèvement au XIX<sup>e</sup> siècle, intégrant les éléments antérieurs comme soubassement, le bâtiment n'a pas subi de modification majeure. Le bâtiment possède un sous-sol partiel à l'ouest, entre la façade (sur l'ancien rempart) et le premier mur de refend, et dans la cage d'escalier qui y mène (information ASPB, Inventaire Mur en cours).

Le bâtiment est très largement endommagé et a fait l'objet d'un confortement fin 2013 (dalles béton et contreforts métalliques, étaitements).



(Cliché H2EA, octobre 2015)

Les observations mettent en évidence un déplacement des fondations à deux composantes : vers le bas (tassement) et vers le sud-est (glissement latéral). La rupture la plus marquée (sol et structure) se trouve à proximité du mur de refend situé à l'est de l'entrée.

- Des témoignages oraux indiquent que le bâtiment était déjà fissuré dans les années 1950/1960 (« on pouvait passer la tête dans certaines fissures », Mr Boéri Michel). Il semble cependant qu'une accélération des désordres ait eu lieu à partir de 2002/2003, inquiétant suffisamment la copropriété pour diligenter des investigations géotechniques dès 2004.



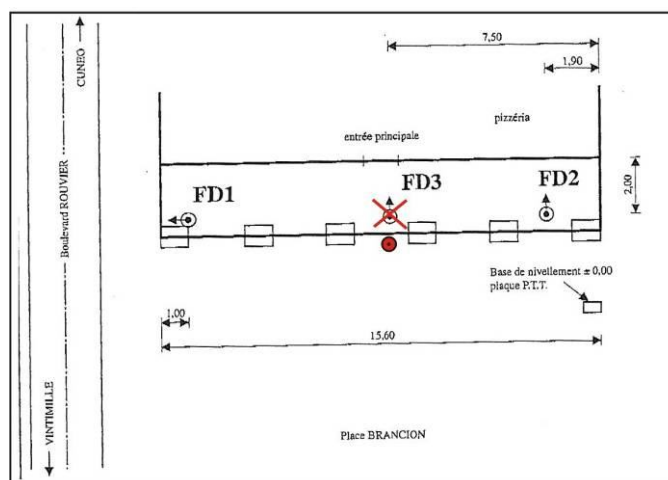
#### 4.5.2 Apport des études de sol réalisées

Depuis 2004, et avant notre étude, plusieurs forages concernant le Guidi ou réalisés à proximité immédiate, ont apporté des éléments géologiques :

##### Campagne Sol Essais, 2004

2 forages inclinés (FD1 et FD2) et 1 forage vertical (FD3) ont été réalisés

(in Sol Essais, 2004)



Les coupes sont réinterprétées par H2EA :

FD1 (10 m) Incliné 15 à 20° vers l'ouest	0-8,5 : remblais/alluvions, décomprimés de 2 à 8 m 8,5-10 m : gypse compact probable Toit du substratum gypseux : 276,62 m NGF
FD2 (10 m) Incliné 15 à 20° vers le nord	0-5,0 m : remblais/alluvions, décomprimés de 3,8 à 5,0 m 5,0- 10,00 m : gypse compact probable Toit du substratum gypseux : 280,28 m NGF
FD3 (15m) Subvertical	0-4,6 m : remblais/alluvions, passages décomprimés de 0,3 à 1,0 m, de 1,3 à 2,1 m, de 2,6 à 3,1m, de 3,8 à 4,6 4,6 – 15 m : gypse compact probable Toit du substratum gypseux : 280,44 m NGF

Le carottage SC15 réalisé par IMSRN/H2EA en 2014 a confirmé la présence du gypse sous le Guidi (cf. chapitre II).

##### Campagne Géolithe, 2012

Dans le cadre d'une étude plus générale sur l'aléa d'affaissement et d'effondrement du vieux village [Géolithe, 2013], Géolithe a mené deux campagnes de forages en 2012/2013, comprenant 13 forages (carottés, destructifs) dont 1 forage carotté à proximité immédiate de l'angle sud-est de l'immeuble Guidi (forage SC3, cf. position en figure 6 et coupe géologique réinterprétée en figure 5).

##### Coupe réinterprétée par H2EA

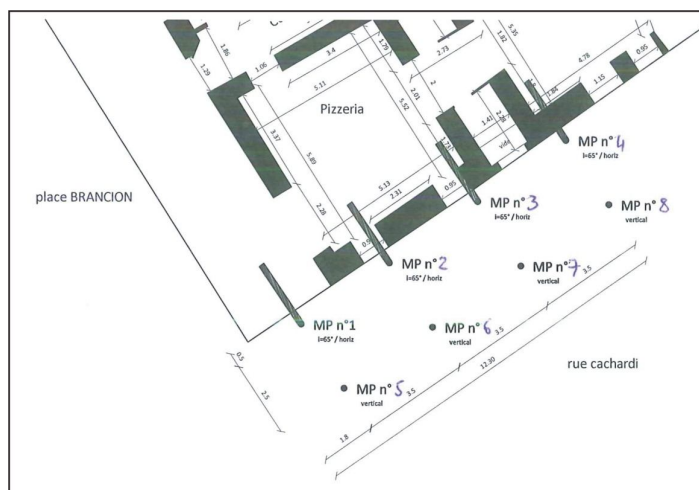
SC3 (25 m) Vertical	0-3,8 : remblais, décomprimés de 1,2 à 3,8 m 3,8-4,0 : vide 4,0- 7,8 : alluvions, 7,8-10,0 : mélange alluvions/gypse altéré (formant une boue sans consistance) 10-25 m : gypse compact, à passages altérés, venue d'eau dans le gypse à -11 m Toit du substratum gypseux : 272,83 m NGF
------------------------	---

La réalisation du carotté a été très problématique en raison de la mauvaise tenue des sols.

### Campagne Alberti, 2013

Plusieurs forages ont été réalisés dans la ruelle Cachiardi pour l'implantation de 8 micropieux, servant d'ancrage à la dalle béton de confortement de la façade Est du bâtiment Guidi.

(in Alberti, 2013)



MP1	Toit du substratum gypseux : 280,15 m NGF
MP2	Toit du substratum gypseux : 280,10 m NGF
MP3	Toit du substratum gypseux : 280,26 m NGF
MP4	Toit du substratum gypseux : 280,50 m NGF
MP5	Toit du substratum gypseux : 280,65 m NGF
MP6	Toit du substratum gypseux : 282,15 m NGF
MP7	Toit du substratum gypseux : 282,66 m NGF
MP8	Toit du substratum gypseux : 282,50 m NGF

### Conclusions géologiques concernant le secteur Guidi

Les investigations et les témoignages montrent :

- 1) des remblais/alluvions, de 3,8 à 8,5 m d'épaisseur, très décomprimés, avec des vides possibles (comme en SC3),
- 2) une transition alluvions/substratum gypseux très décomprimée,
- 3) la présence d'un substratum gypseux sous le Guidi,
- 4) le substratum est proche de la surface dans la ruelle Cachiardi (2,5 m), vers 10 m de profondeur au sud-est et vers 8m de profondeur à l'ouest du bâtiment Guidi. H2EA soupçonne un surcreusement globalement est-ouest, passant également sous le bar des Alpins. La campagne de foration 2014 devra le vérifier.
- 5) un substratum gypseux lui-même très altéré, avec des venues d'eau,
- 6) des évolutions des désordres au bâti plus ou moins évolutives, à l'échelle de la dizaine d'année.

#### 4.6 La place Brancion

Sur la place Brancion plusieurs témoins (information orale) font état d'un fontis sous chaussée, formé dans les années 1960, devant l'actuel Bar des Alpes ou à proximité immédiate.

Plus récemment, Mr Marinelli (services techniques de Breil) nous a indiqué l'existence d'une flache en 1995 (dépression), sans doute accentué par des fuites de réseau à l'époque.

D'autre part, l'ASPB a montré que la place a fait l'objet de plusieurs remblaiements successifs. C'est ainsi que le niveau du sol de la place est passé quelques centimètres au dessus du sol des arcades de la maison Guidi :



*Autre vue des arcades dans les années 50. On y observe également que le trottoir sous les arcades est encore nettement au dessus de la place. (Col. J.L Taylor)*



*Vue en mai 1994. La place a été remontée de 15-20 cm, et arrive désormais au niveau du sol sous les arcades. (Cliché P. Balandier)*



*Vue en février 2013. La place est à nouveau remontée de 15-20 cm. Le trottoir créé le long de la façade et les places de parking se trouvent désormais plus haut que le sol sous les arcades, où les eaux de pluie doivent désormais s'échapper par les fissures dans la dalle. (Cliché P. Balandier)*

Illustration fournie par l'ASPB, 2013

**Conclusions géologiques : ces indications témoignent d'un affaissement du sol généralisé sous la place Brancion, avec des indices plus prononcés (fontis, flache) dans l'axe du Bar des Alpains. Ces mouvements sont attestés depuis plus de 50 ans, avant même les travaux de confortement de la chapelle de la Miséricorde (1985).**



#### 4.7 Le canal de l'usine Cacciardi

L'ASPB nous a fourni une archive concernant le canal Cacciardi, qui alimentait en eau l'ancien moulin Cacciardi (sous l'actuel restaurant du Moulin). Il s'agit d'un rapport sur l'état du canal, dressé en 1913 par l'Agent voyer Général Bergondi (Bergondi, 1913).

Ce rapport décrit un canal dans un état tel qu'il ne peut plus être utilisé pour dériver de l'eau, en raison d'affaissements et de fissurations importantes de la galerie.

Une visite rapide d'une partie du canal par la cave de Mr Botton (1 rue Pasteur), a permis de constater effectivement l'état alarmant du canal (cf. photos ci-dessous), qui présente des désordres importants (radier affaissé, vides, fissures, voûtes déformées et parfois écroulées, zones partiellement inondées, infiltrations possible d'eaux pluviales ou usées...).



**Conclusion géologique : les déformations importantes de la galerie sont nettement liées à des affaissements du sol.**



Cette découverte nous a amené à proposer des investigations complémentaires sur les anciens canaux de Breil (canal Cacciardi, canal Toesca et Boéri, canaux d'eaux pluviales), avec repérage des canaux, relevé des désordres, photographies et analyse géotechnique.

Ces investigations seront exposées dans la suite de la présente étude.

#### **4.8 La galerie effondrée de la parcelle 161**

Mr Boéri Michel, ancien propriétaire de la cave située sur la parcelle 161 (en face de la chapelle de la Miséricorde), nous a indiqué que dans les années 1960/1970, le sol en terre battue de la cave s'était effondré sur 10 ml jusqu'au fond de la cave, révélant l'existence d'une galerie souterraine artificielle dans laquelle on pouvait sentir une circulation d'air.

Il s'agit vraisemblablement du prolongement vers l'Est d'une ancienne galerie de collecte d'eau pluviale, qui longe la chapelle de la Miséricorde par le Sud sur le plan du géomètre Canis, 1983.

Cette galerie a été rebouchée avec des remblais par la municipalité de l'époque.

**Conclusion : on ne peut savoir aujourd'hui s'il s'agit d'un simple effondrement du toit de la galerie par vieillissement, d'un effondrement lié à des circulations d'eaux résiduelles dans la galerie ou des effets indirects de la détérioration du sous-sol en profondeur. Au vu des fissures sur les bâtiments alentours, il est permis de formuler l'hypothèse que cet effondrement est lié à des problèmes de sols se répercutant sur la galerie.**

#### 4.9 L'immeuble du 3 rue Ciappera

La façade Est de cet immeuble a été reprise récemment (années 2000), en raison de nombreuses fissures témoignant d'un basculement vers l'Ouest.



On notera que les investigations 2015 par forage ont montré l'existence d'une galerie affaissée sous la fontaine et l'existence de terrains décomprimés en profondeur (cf. coupe SD19 et SP1), sur ce secteur.

**Conclusion géologique:** au vu des récents sondages, il apparaît évident que les dégâts de cet immeuble sont liés à la nature des sols en profondeur.

## 5 Apport des études générales antérieures

### 5.1 Rapport CETE 2012

En août 2012, le CETE remet un rapport intitulé « Compte-rendu du suivi piézométrique et fissurométrique réalisé pendant l'abaissement du niveau du lac EDF ».

L'apport principal de cette étude a été de montrer que les piézomètres suivis réagissaient très rapidement à l'abaissement (31/07/2012) et à la remontée du lac (02/08/2012). Ce suivi a également montré que les eaux souterraines présentaient une minéralisation marquée (supérieure à 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), témoignant de l'influence du gypse.

### 5.2 Rapport Géolithe 2013

En janvier 2013, le BE Géolithe remet un rapport intitulé « Aléa d'affaissement et d'effondrement du vieux village. Etude de diagnostic géotechnique ».

Plusieurs investigations ont été menées lors de cette étude, dont notamment :

- la réalisation de 9 sondages destructifs et 5 forages carottés (cf. implantation en figure 6),
- la réalisation d'un panneau électrique le long de la rue Pasteur.

Les conclusions de cette étude, notamment développées dans une présentation PowerPoint (PP) du 18 janvier 2013, sont globalement les suivantes :

- l'existence d'une nappe captive dans des alluvions jugées très perméables (p46 et p57),
- aucune circulation d'eau dans le gypse (hormis sur un forage, p60)
- aucune cavité dans le gypse (p60 et PP).

Géolithe conclut que les problèmes d'affaissements sont liés à l'entraînement de fines dans les alluvions, au toit d'un substratum gypseux pouvant être partiellement dissous par les circulations d'eau dans les alluvions (p58/59). Le gypse est considéré comme étant compact et sans circulations d'eau (PP).

Nous sommes en désaccord avec ces conclusions mais nous avons réutilisé les coupes des forages Géolithe, en les réinterprétant, afin d'en tirer le maximum d'informations. Cela a représenté un important travail, présenté en figure 5.

### 5.3 Critiques concernant les études générales antérieures

● Il ressort des résultats des forages réalisés que les cartes géologiques du commerce présentent une vision totalement fautive du substratum du vieux village de Breil, qui est assimilé à du Crétacé calcaire. Ces documents publics sont les suivants :

- la carte géologique au 1/80000ème « Nice Pont-Saint-Louis » (3ème édition), publiée en 1965 par le Service de la Carte Géologique de la France,
- la carte géologique au 1/50000ème « St Martin Vesubie - Le Boréon », publiée en 1967 par le B.R.G.M.

● Ceci explique les conclusions avancées dans des rapports retrouvés en archives, à savoir :

- Gérard GUIEU, géologue à la Faculté des Sciences de Marseille, le 27 novembre 1959 : Il signale des désordres multiples aux bâtiments à la base du vieux village, dans le quartier Eglises-Mairie-Salle des Fêtes, précise que « l'origine de ces manifestations n'est pas à rechercher dans la présence du Trias, la grande faille majeure de la vallée passant à l'ouest du secteur », et conclut que seules les eaux d'infiltration dans les terres de couvertures sont probablement à l'origine des sinistres constatés,

- Jean-Claude IVAN YARMOLA, architecte en chef des Monuments Historiques à Paris, le 15 décembre 1980 : Il signale que l'église Santa Maria, la chapelle de la Miséricorde et les maisons avoisinantes sont affectées de multiples fissures évolutives, considère que ces mouvements peuvent résulter d'un « entrainement des parties les plus fines des alluvions », et pense que les variations du niveau de la retenue d'eau d'EDF y sont peut-être pour quelque chose.

- La carte géologique, réalisée par le CETE d'Aix-en-Provence en 1979 dans le cadre du P.O.S communal et établie par Christian MANGAN, est par contre conforme à la réalité. Elle propose un recouvrement d'alluvions et d'éboulis sur un substrat méconnu (Trias et/ou Crétacé) et visualise les affleurements de Crétacé uniquement à l'est du vieux village et à sa terminaison méridionale. Les résultats des sondages de Géolithe sont en accord avec cette vision des choses et confirment le fait que la localisation précise de la faille mettant en contact le Trias et le Crétacé est de toute importance, car elle joue probablement le rôle d'une limite hydraulique majeure.
- C'est probablement sur la base des erreurs et des interprétations antérieures que Géolithe bâtit ses conclusions (cf. supra). Ces conclusions sont hautement critiquables et sont d'ailleurs infirmées par la présente étude. Il est regrettable que les nombreux indices des investigations Géolithe aient été mal interprétés.

## 6 Résumé et conclusions des recherches bibliographiques

- Les investigations des archives se sont avérées très riches d'enseignement. De ces recherches, il ressort que les affaissements de sols à Breil sont très anciens, bien antérieurs à la création du barrage en 1924 et qu'ils se poursuivent aujourd'hui.
- Ces affaissements, tant en rive gauche qu'en rive droite, ont eu des conséquences sur le bâti avec des évolutions décelables à l'échelle de la décennie : tunnel Caranca et Gigne, pont SNCF sur la Lavina, avenue de l'Aution, suspicion pour l'Eglise Santa Maria en raison de la surépaisseur du clocher, très ancienne consolidation des fondations de la chapelle de la Miséricorde, ancienne gendarmerie (actuelle mairie), immeuble Guidi, place Brancion, Hôtel Roya, immeuble Boéri (actuel SPAR congélation), canal Cacciardi.
- La connaissance de la présence de gypse sous le vieux village est attestée depuis au moins 1899, et vérifiée avec plus de 100 forages par la suite. Les archives montrent que le gypse s'avère aquifère, parfois très altéré, avec des vides métriques, karstifié, jusqu'à des profondeurs importantes (259 m NGF au moins).
- Cependant, des erreurs de cartographie géologique et de mauvaises interprétations géologiques ont laissé penser jusqu'à aujourd'hui que le gypse n'était pas en cause dans les problèmes de sols du village.

## II INVESTIGATIONS 2014/2015

### 1 Campagne de foration IMSRN/H2EA 2014/2015

#### 1.1 Forages réalisés

- Après examen des données existantes, le groupement H2EA/IMSRN a positionné les forages prévus en tranche ferme afin de lever certaines indéterminations (nature exacte des terrains), confirmer certaines hypothèses (surcreusement sous la place Brancion et sous la chapelle de la Miséricorde) et mailler davantage le vieux village.

Une première série de forages a été réalisée en mars/avril 2014, comprenant :

- 7 forages destructifs (FE1, FE1bis, FE2, FE3, SD16, SD17, SD18),
- 2 forages carottés (SC14 et SC15).

Une seconde série de forages a été réalisée fin août 2015, en tranche conditionnelle, afin d'apporter quelques informations complémentaires :

- sur la profondeur du substratum devant l'Eglise Santa Maria In Albis (afin de mieux cerner le surcreusement de la chapelle de la Miséricorde),
- sur la profondeur et l'état du sol au nord du village, dans une zone identifiée comme étant critique (galerie Cacciardi affaissée, reprise de la façade du 3 ruelle Ciapperra).

C'est ainsi qu'on été réalisés 2 forages destructifs (SD19 et SD20) et 1 forage pressiométrique (SP1).



(Forage SD20, 2015, cliché IMSRN)

Dans la plupart des cas, les forages ont été réalisés à l'air uniquement, afin de bien repérer les arrivées d'eau et établir une coupe géologique détaillée à l'aide de cuttings récupérés à l'avancement. Les forages carottés (SC14, SC15) et le forage pressiométrique SP1 ont été réalisés à l'eau.

- La position des forages est renseignée en figure 6. Les PV des forages sont présentés en annexe 1 et les coupes synthétiques sont présentées en figure 7.

## 1.2 Apport synthétique des campagnes de foration IMSRN 2014/2015

### Géologie

- Ces forages ont montré, de manière générale, la succession de terrains suivants :
  - remblais,
  - alluvions avec des niveaux décomprimés,
  - mélange alluvions/gypse, généralement décomprimé,
  - argiles à gypse/gypse franc, avec parfois des **vides francs** métriques (FE2, SC14, SC15, SD19) et quelques passages décomprimés.

On notera que le forage FE1 a recoupé les anciens remparts de Breil, nécessitant la réalisation du forage FE1bis. Le forage SD18, le plus au nord, a recoupé des éboulis avant de recouper des alluvions puis le gypse.

Les forages SC14 et SD17 ont montré également :

- la présence d'une écaille carbonatée du Crétacé en SC14,
- la présence de dolomies et cargneules du Keuper au SD17, au nord de l'Eglise Santa Maria.

### Hydrogéologie

Sous le village de Breil sur Roya, les formations alluviales recoupées sont à dominante argileuse et limoneuse. Aucun nouveau forage n'a recoupé de niveaux susceptibles d'avoir une perméabilité importante (comme des graves ou des galets sans matrice par exemple). De ce fait, les alluvions sont donc plutôt colmatées (très faible débit rencontré en foration) et nous n'avons rencontré aucun niveau lessivé dans les alluvions. Pour information, les forages SD6, SD7 et SD8 (réalisés par Géolithe), ont recoupé essentiellement des remblais, plus perméables que les alluvions.

**Les venues d'eau notables ont été rencontrées systématiquement à proximité du contact alluvions/gypse. Après foration, le niveau d'eau remonte dans le forage.** Cela montre que cette eau provient du gypse en charge sous les alluvions. Les fortes conductivités mesurées (de l'ordre de 2500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) vont également dans ce sens.

**Plusieurs venues d'eau distinctes ont été rencontrées dans le gypse (FE2, FE3).** Il est probable que cela soit aussi le cas dans les forages SC14 et SC15, mais la technique de foration à l'eau a masqué l'information. Ces eaux (jusqu'à 3  $\text{m}^3/\text{h}$ ) ont une conductivité comprise entre 2500 et 3000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (à 25°C).

## 1.3 Equipement des forages

Les équipements piézométriques effectués sont détaillés en figure 7.

Le forage FE1 (qui a traversé les remparts) a été rebouché.

Les forages FE1bis, SD16 et SD18 ont été **équipés aux alluvions** (crépine dans les alluvions/remblais).

Les forages FE2, FE3 et SC14 ont été **équipés au gypse** (crépine dans les niveaux gypseux et bouchon d'oregonite isolant des alluvions/remblais).

Le forage SD17, qui a rencontré des calcaires et dolomies très productives (débit > 5  $\text{m}^3/\text{h}$ ), a été **équipé dans le rocher** (crépine dans les dolomies, bouchon d'oregonite isolant des alluvions/remblais).

Les forages SD19 et SD20, secs, n'ont pas été équipés.

## 2 Cartographie de la faille de Breil

Voir la figure 8.

- Une cartographie de la faille de Breil sur Roya (au droit du vieux village) a été menée entre janvier et août 2014. Elle se base sur le relevé des affleurements de surface, les résultats d'une centaine de forages effectués entre 1984 et 2015, sur certaines données d'archives et la visite d'une **quarantaine de caves** ainsi que d'anciens canaux (canal Cacciardi, canal Toesca, canal Boéri). Elle a nécessité de nombreuses journées de travail. La visite des caves a bénéficié de l'aide de l'ASPB, qui a facilité le contact avec les habitants.
- La faille de Breil a une orientation globalement NNE/SSO. Elle est vraisemblablement très verticalisée mais peut posséder une inclinaison vers l'Est, puisque le forage SD10 a recoupé d'abord les calcaires crétacés surmontant le gypse (cf. coupes géologiques interprétatives en figure 17). Cette verticalité est en accord avec le contexte géologique général (faille délimitant un diapir triasique avec son encaissant).
- A l'Ouest de cette faille, le substratum est représenté par les terrains du Trias (essentiellement du gypse). A l'Est, le substratum est représenté par des calcaires marneux du Crétacé. Il est probable que la faille soit en fait un faisceau de faille, comme c'est souvent le cas.
- Aussi nous attirons l'attention sur le fait que le tracé de la faille est issu d'une interprétation. Il s'agit donc du tracé principal probable de la faille de Breil, avec les incertitudes attachées à une interprétation.

## 3 Détermination gypse/anhydrite sur échantillons carottés

- Le gypse et l'anhydrite n'ont pas la même solubilité. Le suivi géologique des forages carottés a laissé soupçonner la présence d'anhydrite en profondeur. Huit échantillons ont donc été prélevés, tant sur des carottes de la campagne Géolithe 2012 que sur des carottes de la campagne IMSRN H2EA 2014, pour analyse en laboratoire.

Ces analyses ont été menées par le laboratoire du CEREMA sur les échantillons suivants :

### **Campagnes Géolithe 2012 :**

SC3 : 14.0 m  
 SC3 : 24.0 m  
 SD12 : 10 m (noté SD mais carotté à partir de 10 m)  
 SD12 : 24 m

### **Campagne IMSRN-H2EA 2014**

SC14 : 18 m  
 SC14 : 23.5 m  
 SC15 : 9.5 m  
 SC15 : 25.3 – 25.4 m



Des photographies des échantillons et les résultats de l'analyse CETE sont présentés en annexe 2. Les essais de laboratoire ont donné les résultats suivants :

	Profondeur	Campagne	Masse éprouvette sèche (g)	Masse volumique apparente (mva)
SC3	14 m	Géolithe 2012	371	2.300
SC3	24 m	Géolithe 2012	1711	2.904
SD12	10 m	Géolithe 2012	229	2.241
SD12	24 m	Géolithe 2012	220	2.815
SC14	18 m	IMSRN H2EA 2014	519	2.312
SC14	23.5 m	IMSRN H2EA 2014	234	2.747
SC15	25.3 m / 25.4 m	IMSRN H2EA 2014	950	2.318
SC15	9.5 m	IMSRN H2EA 2014	395	2.253

**D'après ces résultats, les échantillons les plus profonds correspondent bien à de l'anhydrite (anhydrite : mva= 2.9, gypse : mva = 2.3).**

- Interprétation : la présence d'anhydrite en profondeur confirme l'existence d'un diapir triasique, dont la partie supérieure est constituée de gypse (chapeau altéré du diapir). Cela correspond bien au contexte géologique général (cf. partie II § 3). L'anhydrite étant moins soluble que le gypse, les karstifications principales ont lieu dans le gypse, soit dans la partie supérieure du diapir.

#### 4 Essais d'eau Lefranc et Lugeon

- Dans le cadre du marché étaient prévus la réalisation de deux essais de perméabilité Lefranc et deux essais de perméabilité Lugeon. Les essais de perméabilité Lefranc sont destinés au test des matériaux de compaction limitée sols, sables, limons... La perméabilité mesurée est intergranulaire. Les essais de perméabilité Lugeon sont destinés plutôt à des mesures de perméabilité pour des matériaux rocheux et compacts. La perméabilité mesurée est une perméabilité de fractures.

- Un essai Lefranc a été réalisé dans les alluvions/remblais (en FE3) et un essai Lugeon a été réalisé (en FE3) dans le gypse entre 22 et 25,2 m de profondeur, où des venues d'eau au gypse ont été identifiées (karstification). Les essais ont été réalisés lorsque le forage a présenté des arrivées d'eau. Les faibles quantités d'eau observées n'ont cependant pas permis la réalisation d'essais supplémentaires.

Les résultats de ces essais sont présentés en annexe 2.

- Les essais montrent **que les alluvions/remblais testés en FE3 ont une très faible perméabilité** (injection d'eau dans les alluvions quasi-nulle :  $1,7 \times 10^{-6}$  m<sup>3</sup>/s en moyenne). En revanche, **l'infiltration est beaucoup plus facile dans le gypse karstifié**, où un débit moyen d'infiltration de 4,2 m<sup>3</sup>/h a pu être observé (70 l/min en moyenne).

Ceci confirme les observations précédentes (campagne de forage 2014/2015) :

- des alluvions/remblais très peu perméables,
- du gypse karstifié avec des circulations d'eau (légèrement en pression) possible.



## 5 Rebouchage et ré-équipement des piézomètres Géolithe

Les équipements piézométriques effectués sont détaillés en figure 5.

- Initialement, tous les forages Géolithe (crépinés sur toute leur hauteur) devaient être rebouchés dans leur partie basale afin d'isoler la nappe du gypse de la nappe des alluvions (demande du CCTP).

Après réinterprétation des coupes de forages Géolithe et les essais au micro-moulinet, il a cependant été jugé pertinent de conserver certains piézomètres crépinés dans le gypse, en raison de venues d'eau identifiées ou suspectées au gypse.

- Les forages SD2, SD4, SD5, SD6, SD8, SD9, SC11 et SD12 ont été rebouchés en partie basse afin de n'observer que les fluctuations du niveau piézométrique des alluvions.

Les forages SD1, SC3, SC7 et SD13 ont été rebouchés en partie haute afin de n'observer que les fluctuations du niveau piézométrique du gypse. Pour ce type de rebouchage, il a été nécessaire de télescoper le tube piézométrique existant par un tube plus petit. Puis, à l'aide d'une collerette de séparation, l'espace entre les deux piézomètres a été rebouché jusqu'à la surface. De cette façon, seule la partie crépinée basse, c'est-à-dire au niveau du gypse, est demeurée fonctionnelle.

Le forage SD10, qui a recoupé les calcaires du Crétacé puis le gypse du Trias, a été rebouché en partie basale afin de conserver la partie crépinée uniquement dans les calcaires.

## 6 Campagne micromoulinet

- Ces essais étaient demandés dans le cadre du CCTP pour voir s'il existait un flux ascendant provenant du gypse (en régime statique) et identifier les venues d'eau (en régime statique ou dynamique).

- Les tests ont été effectués hors lac, le niveau de la Roya réglant le niveau de base. Seul SD17 a pu être testé en pompage à 4,3 m<sup>3</sup>/h (introduction d'une pompe possible). Les autres forages ont pu être testés en dynamique par injection à 3,2 m<sup>3</sup>/h. Les PV de ces tests sont présentés en annexe 4.

- Les investigations par micromoulinets ne mettent pas en évidence de flux ascendant, car il existe un équilibre de la nappe avec le niveau de base (la Roya). De manière générale, les essais confirment la **faible perméabilité générale des alluvions**, une augmentation générale de la perméabilité au niveau du contact alluvions/gypse et la présence d'eau plus minéralisée dans le gypse. Le gypse est peu ou pas perméable mais c'est dans cette formation qu'on a été identifiées des venues d'eau par micromoulinet au niveau de fissures ou cavités, déjà identifiées lors de la foration. En SD17 (forage aux dolomies triasiques), les eaux sont moins minéralisées.

Ces essais montrent clairement que le gypse est aquifère (parties fissurées ou karstifiées) et qu'il est à l'origine de la minéralisation des eaux souterraines.

## 7 Essais de pompage

### 7.1 Dispositifs d'essais

Les essais de pompages se sont déroulés entre le 16/07/2014 et le 18/07/2014 en FE1BIS (forage crépiné aux alluvions/remblais, en SC14 (forage avec 4 m de vide entre rocher crétacé et gypse du Keuper) et en FE2 (forage crépiné au gypse), en période de beau temps général.

Le 18/07/2014, vers 8 h00, EDF a ouvert les batardeaux du seuil amont (sous le pont supérieur) de manière à augmenter le débit réservé de la Roya, provoquant une légère remontée du niveau de base.

Parallèlement aux essais dans les trois forages, les niveaux ont été contrôlés manuellement sur les forages périphériques et sous le pont supérieur.



Pompe (débit nominal 2 m<sup>3</sup>/h à 25 m)

Débit exhauré du SC14 (environ 2,3 m<sup>3</sup>/h, régulier)  
(7 m<sup>3</sup> exhaurés au total en cours d'essai)



### 7.2 Résultats

**Les tableaux présentés en annexe 5 récapitulent les données brutes manuelles** recueillies au cours des essais, tant au niveau des forages testés qu'au niveau des forages périphériques (jaune : forage aux remblais/alluvions, orange : forage au Keuper, vert : forage au Crétacé).

Chaque forage testé a en outre bénéficié d'un **suivi par sonde automatique conductivité/température/pression**.

Les graphes de ces suivis sont présentés également en figure 9.

- Un pompage en FE2 fait réagir FE1bis, SC3, SD1 (en décalé) et SD2.
- Un pompage en FE1bis fait réagir FE2, SC3 et SD2.
- Un pompage en SC14, faible par rapport à la capacité du drain, ne fait réagir aucun piézomètre.

### 7.3 Interprétation

- Il apparaît que le niveau d'eau dans les piézomètres est réglé par le gypse (aquifère karstique et fissuré), légèrement en charge sous les alluvions/remblais peu perméables. Ceci explique que tout pompage induise un transfert de pression rapide aux piézomètres les plus proches connectés hydrauliquement.

C'est aussi la raison pour laquelle la méthode Theis/Jacob (calcul de la perméabilité en milieu poreux) ne peut pas être appliquée pour le calcul de la perméabilité car on ne se situe pas dans les conditions de validité de cette méthode.

Néanmoins, il est possible d'affirmer que la capacité de la nappe est faible, car les essais ont été menés à très petit débit (pompe de 2 m<sup>3</sup>/h) et ont provoqué rapidement le dénoyage de la pompe (FE1bis, FE2). **En résumé, de manière générale, il n'y a quasiment pas d'eau dans les alluvions/remblais et les flux dans le gypse sont faibles, à la faveur de niveaux fissurés/karstifiés.**

Il n'en est pas de même en SC14, où le forage a recoupé un **drain karstique majeur** (4 m de vide) et où le pompage à 2,3 m<sup>3</sup>/h était vraisemblablement bien en deçà du débit critique. Dans ce type de drain majeur, les transferts de pression en relation avec le niveau de base sont excellents et des transferts de masse possibles, comme cela a été démontré par le suivi conductimétrique de 1 an.

- On notera qu'il existe une indépendance entre le secteur Brancion (FE2, FE1bis) et le secteur A Ca d'Brei (SC14). Cette indépendance est également démontrée par traçage (cf. § 10), sans doute à mettre en relation avec le seuil haut du substratum gypseux qui existe entre ces deux secteurs (cf. carte du substratum).
- Le niveau d'eau en SD16 n'a pas varié au cours des essais. C'est le niveau le plus haut du secteur Brancion. Il est probable qu'il existe un apport en charge à proximité du SD16 (cf. carte piézométrique), issu du gypse, qui maintient ce niveau.

### 8 Campagnes de mesure de la conductivité en rive gauche de la Roya

- Conformément au CCTP, deux campagnes de mesure ont été effectuées, alors que la retenue n'était pas en eau, pour voir si des venues d'eau conductrices étaient détectables en rive gauche de la Roya, possiblement issues du coteau.

Une campagne en étiage le 23/08/2013 et une campagne en période de crue le 07/01/2014 (après les fortes précipitations de début janvier) ont été réalisées (voir la figure 10).

- Ces mesures ne mettent pas en évidence de venues d'eau conductrices en rive gauche.
- Interprétation : les flux issus du gypse sont trop faibles pour induire une augmentation de la minéralisation de la Roya. Ces flux existent néanmoins, comme le démontre la carte piézométrique et les résultats des essais de traçage.

## 9 Prélèvements pour analyses

- Nous avons proposé de réaliser quelques prélèvements pour analyse physico-chimiques en laboratoire, sur les eaux souterraines, et de mener une analyse de ces données avec l'aide d'un hydrochimiste (Mr V.Vallès, professeur à l'Université d'Avignon).
- Les prélèvements ont été les suivants :

Eau au soufflage	
19/03/2014	FE2 à -18,83 m
25/03/2014	SD17 à -22/23m
02/04/2014	FE3 à à -22/23 m
Eau lors pompage essai	
17/07/2014	SC14
18/07/2014	FE1bis
16/07/2014	FE2
Hautes eaux (avec lac remonté)	
17/12/2014	Rivière Roya
17/12/2014	SD17 à - 9m
17/12/2014	SD6 à - 5m
17/12/2014	SD8 à -5m
17/12/2014	SD10 à -6m
17/12/2014	FE3 à -17m
17/12/2014	FE1bis à -10m
17/12/2014	SC14 à -17m

Les résultats d'analyse sont présentés en annexe 6 et l'étude géochimique de Mr Vallès en annexe 7. Les conclusions de Mr Vallès sont les suivantes :

*« Les eaux de nappe du secteur de Breil sur Roya présentent de manière générale une forte minéralisation. Une partie des échantillons est en équilibre avec le gypse, minéral très présent sur ce secteur.*

*L'eau de la Roya, quant à elle, est sous-saturée. Elle est capable de dissoudre 1.46 g de gypse par litre d'eau de rivière, ce qui est conséquent. L'infiltration d'une telle eau peut conduire à des dissolutions minérales et des affaissements de terrain. L'étude détaillée des eaux de nappes montre une forte variabilité de la minéralité. Certaines eaux sont aussi diluées que celle de la rivière, pouvant elle aussi dissoudre du gypse et provoquer des affaissements.*

*Par ailleurs, il apparaît que les eaux sous saturées ont des signatures de surface différentes. Certaines d'entre elles semblent influencées par un passage dans le sol, avec une teneur non négligeable en nitrate, d'autres sont pauvres en nitrates et correspondraient à des infiltrations d'eau de rivière. Cette distinction est confortée par les diagrammes de concentration, mais aussi par un calcul ACP.*

*Ainsi, l'étude confirme que l'eau de la Roya et les infiltrations d'eau météorique peuvent induire des dissolutions importantes de sous-sol et les problèmes géotechniques associés. »*

- La minéralisation des eaux (de 1900 à 2500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en moyenne) est réglée par l'état de saturation des eaux dans cet aquifère vis-à-vis du gypse. Le forage SC14, qui a recoupé un drain majeur du substratum, montre que des venues d'eau sous-saturées, issues très probablement de pertes amont de la Roya, peuvent circuler au sein de l'aquifère (dissolution du gypse possible).

**Il est donc démontré que le gypse peut être dissous lentement, et provoquer des affaissements de sol à plus ou moins long terme.**

## 10 Opération de multi-traçage

### 10.1 Avant-propos

L'opération de multitraçage est destinée à mieux comprendre les circulations d'eau sous le village, sans la retenue EDF. Sur le principe, l'opération a consisté à injecter de la sulphorhodamine B dans le forage FE1BIS aux remblais/alluvions de la place Brancion et de la fluoresceïne dans une cavité présente en SC14 (cavité de 4 m environ entre du rocher crétacé et le gypse du Keuper) et à suivre le passage du colorant dans certains piézomètres et en Roya.

Le suivi est effectué à l'aide de fluocapteurs et par fluorimètres de terrain :

- **les fluocapteurs** sont des sachets de charbon actif qui piègent le colorant. Après analyse, on peut savoir si le colorant est passé ou pas, mais on ne sait pas à quel moment précisément. Il s'agit d'un suivi de base.

- **les fluorimètres de terrain** sont des appareils autonomes, qui enregistrent à pas de temps défini la fluorescence de l'eau dans différentes longueurs d'ondes. Le passage d'un colorant peut donc être détecté très précisément. Cependant, la fluorescence naturelle de l'eau et/ou des variations de turbidité peuvent perturber les signaux et il convient d'effectuer une interprétation.

### 10.2 Installation du dispositif de suivi

Le dispositif de suivi, installé le 06/08/2014, a consisté en :

- l'installation de 2 fluorimètres enregistreurs GGUN FL24 en rivière (aval barrage EDF, au droit de la mairie),
- l'installation de 2 fluocapteurs en rivière (aval barrage EDF, au droit de l'ancien lavoir),
- l'installation de 8 fluocapteurs dans divers forages (FE2, FE3, SD2, SC3, SD6, SC7, SD17, SC15).



Fluocapteur (avec sonde Solinst) en Roya



Fluorimètre GGUN FL 24 en Roya





Fluocapteur (avec sonde Solinst) dans certains forages

### 10.3 Injection des colorants

**Judi 7 août 2014 : injection de 5 kg de sulforhodamine B en FE1BIS** (place Brancion ; forage aux remblais/alluvions) le 07/08/2014 entre 12h00 et 14h00, puis injection d'eau claire pour pousser le colorant (du 07/08/2014 14h00 au 08/08/2014 à 10h, puis du 11/08/2014 11h au 11/08/2014 18h, soit 14 à 20 m<sup>3</sup>).



**Lundi 11 août 2014 : injection de 5kg fluoresceine en SC14** (angle A Ca d'Brei, en face de la Chapelle de la Miséricorde ; forage avec 4 m de vide franc entre 13,6 et 17,5 m) le 11/08/2014 entre 11h30 et 13h30, puis injection d'eau claire pour pousser le colorant (le 11/08/2014 de 13h30 à 18h, puis le 12/08/2014 de 8h30 à 18h, soit 20 m<sup>3</sup> environ).





## 10.4 Récupération des données

Les fluorimètres de terrain et les fluocapteurs ont été récupérés le 29/08/2014 après 23 jours de suivi. Les fluocapteurs ont été envoyés au laboratoire spécialisé Sciences Environnement (Besançon) pour analyse.



Fluocapteurs envoyés pour analyse au laboratoire

Lors de la récupération, on notera que le fluocapteur et sa ficelle en FE2 étaient colorés par la sulforhodamine :



Fluocapteur en FE2 coloré par la sulforhodamine injectée en FE1bis

## 10.5 Résultats

On trouvera en annexe 8 les graphes de suivi par fluorimètres et les spectres d'analyses des fluocapteurs.

Aucune coloration de la Roya n'a été détectée à l'œil nu par les habitants et les services de la mairie durant le suivi de 23 jours, ce qui confirme la faible perméabilité des terrains.

Le suivi par fluorimètre semble montrer de faibles pics de fluoresceïne mais il s'agit d'artéfacts liés à la turbidité. Le suivi semble montrer également une augmentation progressive de la sulforhodamine B. Cela est vraisemblable mais il pourrait également s'agir d'une dérive du capteur lié à l'encrassement de la cellule de mesure.

Les résultats des spectres de fluorescence des fluocapteurs sont excellents et lèvent toute ambiguïté :

- la sulforhodamine injectée en FE1bis est détectée en FE2 (au gypse), SD2 (aux alluvions), SD17 (aux dolomies triasiques) et en Roya (au droit de la mairie, comme en aval du barrage EDF),
- la fluoresceïne injectée en SC14 est détectée en SD6 (alluvions), en FE3 (au gypse) et en Roya (au droit de la mairie, comme en aval du barrage EDF).

Ces informations sont synthétisées sur la figure 11.

## 10.6 Interprétation

Les résultats de l'opération de traçage sont très satisfaisants, riches en enseignements, et éclairent le contexte hydrogéologique du secteur.

Le traçage montre qu'il existe un drainage de la nappe vers la Roya, avant le seuil crétacé, puisque l'on retrouve les deux traceurs dans la Roya au droit de la Mairie.

Ce drainage est lent et la dilution par la Roya est importante, car autrement les fluorimètres auraient enregistré un pic de colorants. Ce drainage lent confirme la faiblesse des flux issus du Trias.

Le fait que l'on ne retrouve pas de sulforhodamine B (injecté place Brancion) au niveau de la place Blanchéri confirme les directions de drainage de la nappe vers l'Ouest, selon les axes de surcreusement du substratum (cf. carte piézométrique et carte du substratum).

Le fait que l'on retrouve la fluoresceïne (injecté à l'angle A Ca d'Brei, dans un drain majeur du karst triasique) dans un piézomètre crépiné au gypse (FE3) montre que le drainage (en nappe captive) emprunte le réseau fissuré/karstique du Trias. Le fait que l'on retrouve la fluoresceïne dans un piézomètre crépiné dans les remblais perméables du Boulevard Rouvier (SD6) prouve bien que l'aquifère triasique (en pression) gagne les terrains meubles sus-jacents.

**Cela confirme en tous points l'évidence d'une nappe dans le gypse, en pression, qui s'écoule lentement en direction de la Roya.**

## 11 Suivi manuel et suivi physico-chimique automatique des piézomètres

### 11.1 Suivi manuel des piézomètres

- Un suivi manuel a été effectué durant tout le temps du suivi de 1 an, pour vérification du matériel automatique et disposer de mesures de contrôle. Le suivi a concerné tous les piézomètres existants et les piézomètres créés dans le cadre de l'étude, soit 21 forages. Certains relevés n'ont pu être effectués en raison de véhicules stationnant sur le piézomètre.
- Nous avons synthétisés ces données sous forme de double tableau, présentant la profondeur de la nappe et son altitude en M NGF (suite à nivellements). Ce tableau est présenté en annexe 9 et intègre les mesures antérieures à notre mission.

### 11.2 Suivi physico-chimique automatique des piézomètres

On entend par suivi physico-chimique le suivi par sonde automatique Solinst, enregistrant les données de niveau/conductivité/température.

#### 11.2.1 Dispositif de suivi

- Plusieurs forages ont été équipés, ainsi que le lac et la Roya, selon les modalités suivantes :

Piézomètre aux remblais/alluvions	SD2, SD6, SD8, SD9, SC11, SD12, FE1bis puis SD16
Piézomètre au Trias gypseux	SC7, FE2, SC14, FE3
Piézomètre au Trais dolomitique	SD17
Piézomètre au Crétacé calcaro-marneux	SD10
Roya amont	Au droit des services techniques de Breil
Lac	Au droit de la fontaine du lac

- Initialement, le suivi devait durer deux ans mais celui-ci a été rapporté à 1 an, en accord avec la maîtrise d'ouvrage et son AMO. Le suivi a débuté le 01/09/2014 et s'est achevé le 01/09/2015.

Afin de mettre en évidence d'éventuelles arrivées d'eau peu minéralisées par les coteaux (test d'une hypothèse), les sondes ont d'abord été réglées à pas de temps de 15 minutes. Cette hypothèse étant invalidée par le suivi, le pas de temps de suivi a ensuite été réglé à 1 heure.

- On notera que la crue exceptionnelle du 3 au 5/11/2014 a malheureusement emporté la sonde placée en Roya sous le pont supérieur de Breil et toutes les données antérieures ont été perdues. Une autre sonde, rachetée par le Conseil Général, a été placée dans le lac à partir du 17/12/2015. La sonde placée initialement en FE1bis, évoluant exactement comme FE2, a été déplacée en SD16 en cours de suivi. La sonde placée initialement en SD13 a été déplacée le 26/03/2015 en Roya, au droit des services techniques, pour un suivi amont de la Roya (avant l'affluent de la Lavina).

#### 11.2.2 Résultats

Le suivi réalisé a permis de disposer de 16500 données de niveau/pression/température par sonde, ce qui représente plus de 87000 données numériques de suivi.

Les données, considérables, sont restituées sous forme graphique, présentées en annexe 10 et corrélées aux données pluviométriques (fournies par le Conseil Général).

### 11.2.3 Interprétation

Voir la figure 12 à l'échelle annuelle et la figure 13 lors de la remontée du lac le 09/12/2014.

#### Au gypse (SC7, SD14, FE2, FE3) et aux remblais/alluvions de la place Brancion (SD2, FE1bis, SD16)

Il n'existe qu'une nappe, qui circule dans le gypse, est en pression sous les alluvions et peut localement remonter dans les alluvions lorsqu'elles sont décomprimées et/ou légèrement perméables. La minéralisation moyenne des eaux, à l'équilibre avec le gypse, est de 1900 à 2500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  à 25°C (cf. étude hydrochimique).

- **Avant la remontée du lac**, le niveau piézométrique de base est celui de la Roya. Hormis en SD2, les remontées du niveau de base lors des épisodes pluvieux se traduit par une augmentation rapide et corrélée du niveau des piézomètres (transfert de pression) sans transfert de masse (pas d'arrivées d'eau peu minéralisées de la Roya). Cela confirme que l'eau de ces piézomètres vient bien de l'aquifère triasique. Seul le forage SC14, qui a recoupé un drain majeur dans le gypse (4 m de vide), montre parfois une baisse de minéralisation parfaitement corrélable avec les épisodes pluvieux majeurs, traduisant une influence des eaux de surface de la Roya par les drains majeurs du gypse (confirmé par l'étude hydrochimique).

- **Lors de la remontée du lac (09/12/2014)**, le niveau piézométrique de base remonte avec le lac. Tous les piézomètres (hormis SD16) s'équilibrent rapidement avec le nouveau niveau de base, par transfert de pression. **Les variations de niveau liées à la remontée du lac le 09/12/2014 sont de l'ordre de 0,50 cm place Brancion (SD2, FE2, situés en queue de lac) jusqu'à 1,7 m en aval (FE3)**. Hormis en SD2 (difficilement interprétable), il n'y a pas de transfert de masse lors de la remontée du lac, confirmant les constatations précédentes. On notera que le forage SD16 montre une piézométrie plus élevée et une influence nulle (ou minime) du niveau lac. Cela traduit vraisemblablement un apport de la nappe du gypse en pression dans ce secteur (voir la carte piézométrique en figure 17).

- **Après la remontée du lac**, le niveau de base est représenté par le lac (279,65 à 279,85 m NGF) et par la Roya en amont du lac. Tous les piézomètres sont à globalement à l'équilibre avec le niveau de base, hormis FE2 et SD16, toujours légèrement plus haut. Les minéralisations évoluent peu, à l'équilibre avec le gypse. Il n'y a qu'en SC14 (drain majeur au gypse) que l'on enregistre encore des baisses (minimes) de conductivité liées à des épisodes pluvieux. De manière générale, la présence du lac induit une stabilité accrue de la minéralisation dans l'aquifère, en bloquant les écoulements du gypse vers le niveau de base (gradient d'écoulement plus faible avec la présence du lac).

#### Au gypse (SC13) et aux remblais/alluvions de la rue Pasteur (SC11)

En SD13, le niveau piézométrique évolue peu (variations inférieures à 50 cm). La conductivité (proche de 45000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) n'est pas représentative de l'eau du gypse. Nous pensons que les boues de forage utilisées lors de la foration par Géolithe sont à l'origine de cette anomalie conductimétrique. La remontée du lac n'influence pas le piézomètre.

En SC11, la sonde a été placée légèrement au dessus du niveau d'eau pour voir si, en crue, des apports d'eau douce issues du coteau pouvaient exister. Hors crue, l'eau en fond de forage est un résidu non représentatif, expliquant la raison pour laquelle la sonde n'a pas été placée dans l'eau. La nappe remonte lors des épisodes pluvieux mais il s'agit d'eau minéralisée, sous influence du gypse. Il n'y a pas d'apport d'eau douce des coteaux.



### **Aux remblais du boulevard Rouvier (SD6, SD8)**

Le forage SD6 semble représentatif des remblais, plus perméables, du Boulevard Rouvier.

- **Avant la remontée du lac**, le niveau piézométrique de base est celui de la Roya.

En SD6, le niveau piézométrique est en équilibre avec la Roya et les augmentations du niveau de la Roya se traduisent par une baisse de la conductivité des eaux. Cela montre un **transfert de pression et un transfert de masse** dans les remblais les plus perméables. On notera qu'une fois que la Roya redescend, la minéralisation des eaux du piézomètre augmentent progressivement traduisant plutôt un équilibre où les eaux minéralisées du gypse viennent régler la minéralisation dans le piézomètre.

*Nota à propos d'anomalies en SD6 : on notera que le piézomètre enregistre, avant les pluies d'automne 2014, des pics de minéralisation allant jusqu'à 1600-1750  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , sans raison apparente. Comme ce piézomètre est influencé par l'eau de la Roya, il pourrait s'agir de l'arrivée d'eaux très minéralisées de la Roya arrivant par bouffée de l'amont (travaux sur le tunnel de Tende?). Malheureusement le suivi en Roya (sous le pont supérieur) à la même période n'a pas pu le confirmer en raison de la perte de la sonde lors de la crue exceptionnelle de début novembre 2014 (309 mm de pluie les 3 et 4/11/2014, plus de 190 m<sup>3</sup>/s à Piene).*

En SD8, le niveau piézométrique est également en équilibre avec la Roya. Lorsque la cote de la Roya est inférieure à la base du piézomètre, celui-ci est sec. Les remontées du niveau de la Roya sont enregistrées par le piézomètre. La conductivité, établie entre 700 et 900  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , montre la relation avec les eaux de la Roya, sans influence de la nappe établie dans le gypse.

En SD9, la tranche d'eau dans le piézomètre est très faible. Les variations piézométriques semblent réglées avec le niveau de la Roya. La crue de début novembre 2014 fait chuter la conductivité de 2700 à 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  mais le reste de la courbe montre davantage des eaux piégées ou peu circulantes. Comme en SD6, on retiendra que le piézomètre réagit aux fortes crues où des eaux moins minéralisées de la Roya peuvent ponctuellement pénétrer les remblais mais que la plupart du temps la minéralisation des eaux du piézomètre est réglé par les conditions de dissolution du gypse, qui sature les eaux peu circulantes de la nappe.

- **Lors de la remontée du lac (09/12/2014)**, le niveau piézométrique de base remonte avec le lac.

En SD6 et SD8, la remontée du lac se traduit par une remontée immédiate du niveau. En SD6, elle se traduit par une diminution de la conductivité et une baisse de la température, qui s'interprète comme une arrivée directe d'eau du lac dans le piézomètre à travers les remblais, chassant les eaux plus minéralisées à l'équilibre du piézomètre. En SD8, on n'observe pas de baisse conductimétrique car l'eau du piézomètre est déjà à l'équilibre avec les eaux du lac.

En SD9, on n'enregistre aucune variation lors de la remontée du lac, ce qui est normal car il est situé en amont de la zone d'influence du lac, où le niveau de base est réglé par la Roya.

- **Après la remontée du lac**, le niveau de base est représenté par le lac pour SD6 et SD8.

En SD6 et SD8, le niveau piézométrique est en équilibre avec le lac. En SD6, la conductivité s'élève progressivement jusqu'à une valeur moyenne de 1800  $\mu\text{S}/\text{cm}$  traduisant un nouvel état d'équilibre où c'est l'eau issue du gypse qui règle la minéralisation des eaux. Désormais, le piézomètre SD6 est peu influencé par les variations de conductivité du lac, car les flux deviennent minimes. En SD8, la minéralisation est liée à celle du lac directement.

### **Aux calcaires-marneux du Crétacé (SD10)**

Le niveau piézométrique en SD10 est directement lié à la pluviométrie, qui induit une remontée immédiate de niveau puis une vidange lente du piézomètre. Comme un pompage pour prélèvement chimique a vidé le piézomètre en deux minutes, nous pensons que le niveau enregistré n'est pas vraiment représentatif et qu'il s'agit simplement d'un remplissage du piézomètre par des eaux de ruissellement de subsurface.

La remontée du lac n'influence pas ce piézomètre. Le niveau peut d'ailleurs peut passer sous le niveau du lac.

### **Aux dolomies du Keuper (SD17)**

Le forage SD17 est crépiné dans la dolomie du Keuper. Le niveau est en équilibre avec la nappe contenue dans le gypse et remblais/alluvions alentours et soumis aux mêmes variations (transfert de pression).

Les eaux dans ce piézomètre, sans contact direct avec le gypse, sont moyennement minéralisées (600 à 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  à 25 °C), avec des fluctuations plutôt tamponnées hormis lors de la crue exceptionnelle du 5 novembre 2014. Celle-ci a en effet entraîné une augmentation rapide de la minéralisation de 600 à 900  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Il est fort probable que la minéralisation des eaux soit stratifiée dans ce piézomètre et que la remontée du niveau ait entraîné la remontée d'eau plus minéralisées au niveau de la sonde.

### III SYNTHÈSE GÉOLOGIQUE ET HYDROGÉOLOGIQUE

#### 1 Contexte géologique général

- Le secteur d'étude s'inscrit en partie nord-est de l'arc de Nice, qui appartient aux chaînes subalpines méridionales.

La tectonique de la région est particulièrement complexe et directement héritée des mouvements alpins. Lors des poussées tectoniques, la série sédimentaire coiffant le massif de l'Argentera-Mercantour (du Trias au Nummulitique) a en effet subi des plissements plus ou moins intenses et des chevauchements localisés.

Il en résulte une alternance irrégulière d'anticlinaux jurassiques souvent déversés et aux axes fréquemment faillés, voire même parfois chevauchants sur les synclinaux intermédiaires à cœur crétacé ou nummulitique.

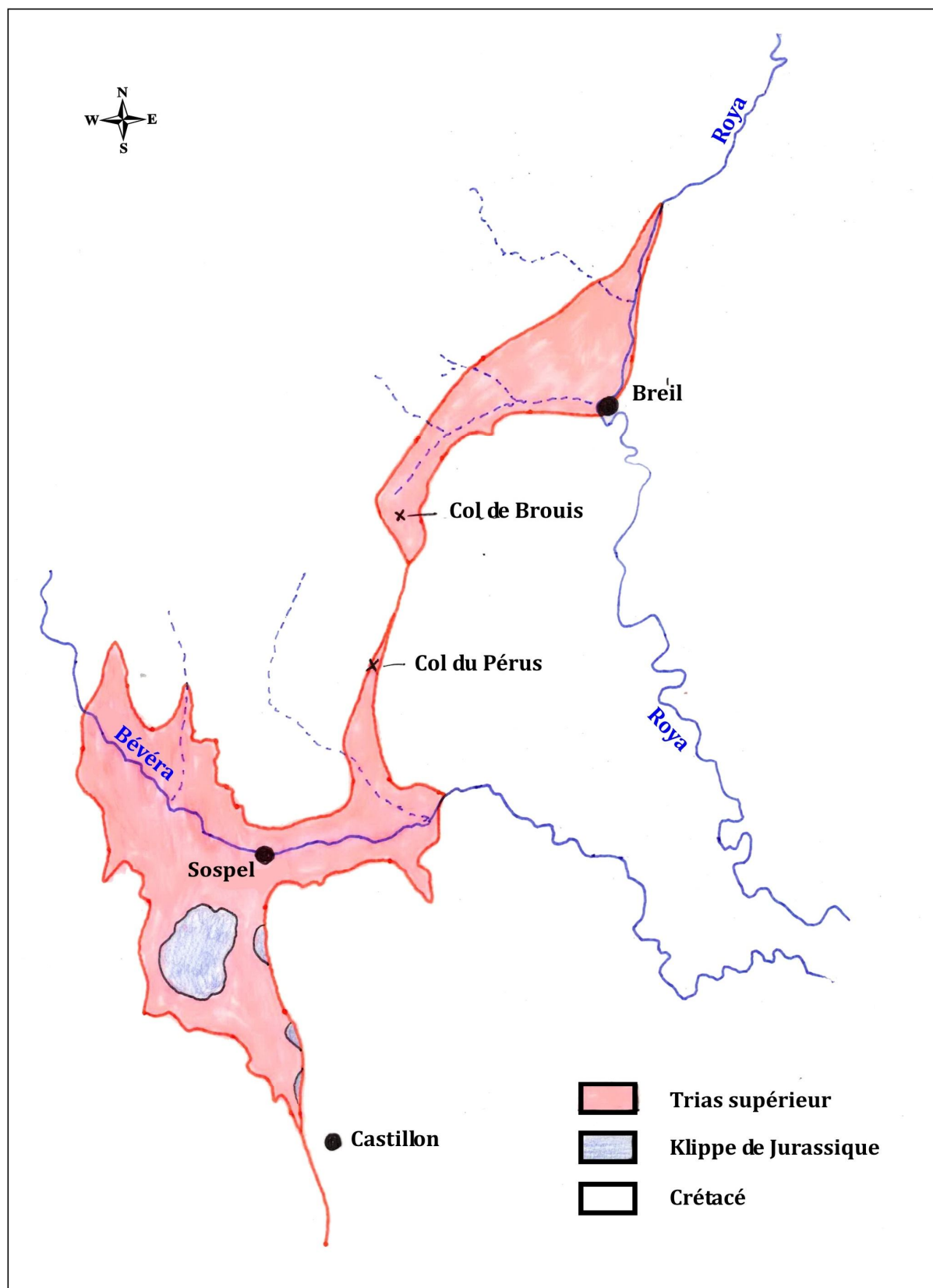
Ces unités plissées sont en outre découpées par un réseau serré de décrochements NNE-SSW et NNW-SSE, ainsi que par des accidents transverses.

- Les formations triasiques constituent l'assise basale de la série sédimentaire et leur plasticité relative a largement favorisé le décollement des diverses unités. Elles se sont en outre accumulées par diapirisme dans certaines fractures majeures et ont permis des injections de matériel évaporitique le long de failles et de décrochements transverses.

En bordure de ces remontées triasiques, l'intensité de la tectonique est enfin attestée par un broyage généralisé et par une grande complexité de détail.

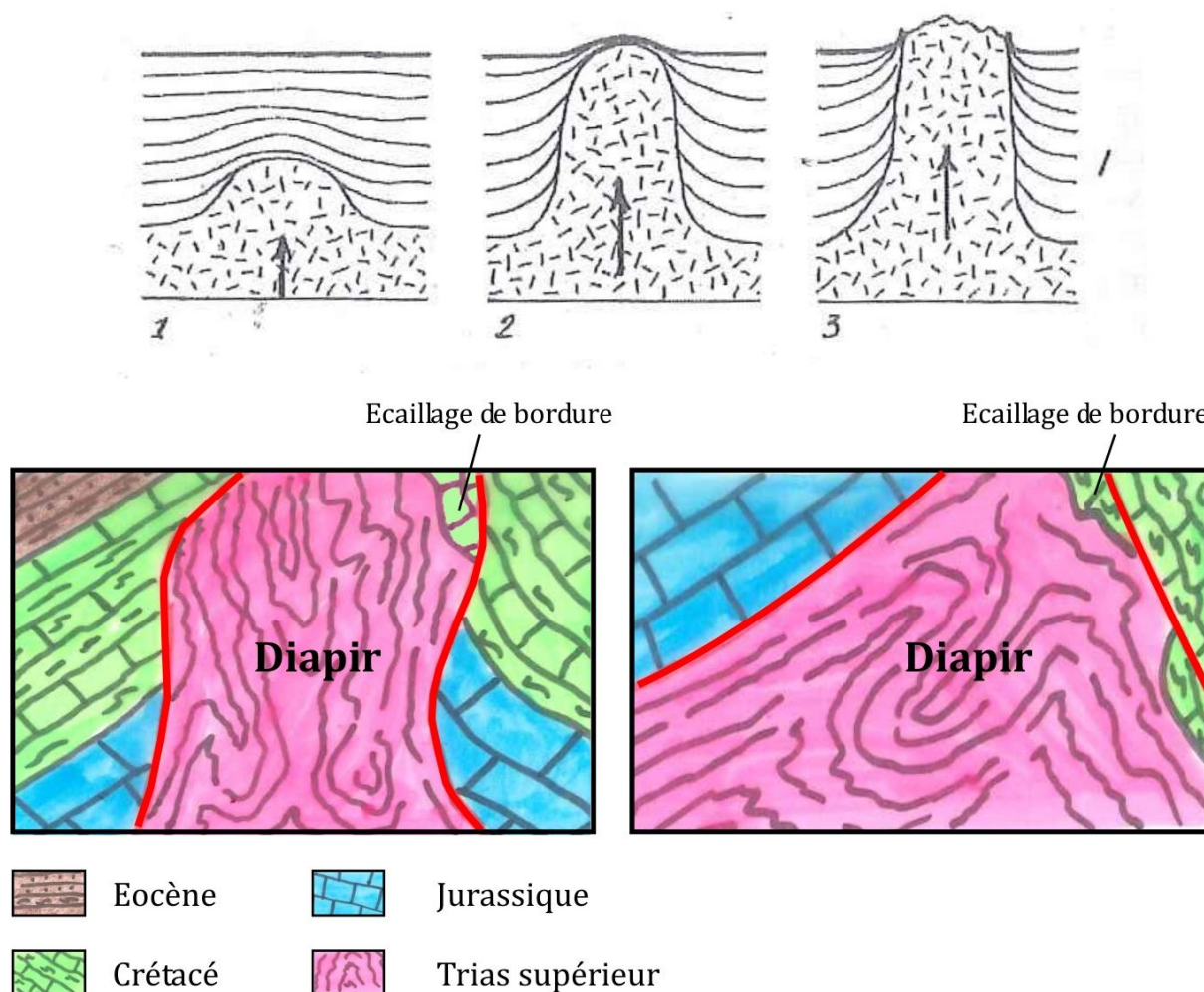
- Le domaine analysé correspond à un anticlinal jurassique d'orientation NE-SW, qui sépare deux importants synclinaux à cœur tertiaire :
  - le synclinal de Turini - Peira Cava à l'ouest,
  - le synclinal de l'Arpette - Piène à l'est.

Cet axe anticlinal est en outre traversé par une grande cassure, connue régionalement sous le nom de « faille Monaco - Sospel - Breil », véritable cicatrice entre l'arc de Nice et l'arc de la Roya. Cette structure tectonique majeure est plus ou moins injectée de Trias sur le linéaire de Castillon, Sospel, col du Pérus, col de Brouis et Breil, et des diapirs importants y ont été générés sur les territoires de Sospel et de Breil (voir le schéma en page suivante).



Faille Monaco-Sospel-Breil et diapirs sur le territoire de Breil et Sospel

Ces diapirs résultent de la plasticité relative des mélanges de cargneule, gypse et argile, dont l'ascension très lente au cours du temps au sein de formations plus compactes (calcaires et marno-calcaires) fracture généralement les roches de bordure et peut même générer des écaillages plus ou moins dissociés de la masse (voir schémas ci-dessous).



Coupe type de diapir triasique

Schéma illustratif de la tectonique salifère

*D'après Adolphe Nicolas, Ed. Masson, 1989 in « Principes de tectonique »*

Ainsi en est-il probablement, dans le cadre des reconnaissances engagées, des masses de calcaire crétacé chapeautant le gypse triasique au droit des forages SD10 (écaille de bordure) et SC14 (écaille disjointe).



## 2 Contexte géologique local

### 2.1 Lithologie

La description lithologique se base sur de multiples données d'investigations :

- les nombreuses archives retrouvées (plus de 100 forages, textes, iconographie..., cf. chapitre I),
- la campagne de foration de Géolithe 2012/2013 **réinterprétée** (cf. figure 5),
- la cartographie de la faille de Breil (IMSRN/H2EA 2014, cf. figure 8),
- la campagne de foration de IMSRN/H2EA de 2014 (9 forages) et 2015 (3 forages) (cf. figure 7)

Des terrains les plus récents aux plus anciens, on distingue :

- des remblais d'origine anthropique,
- des éboulis quaternaires (en haut de pente, à la base des falaises du vieux village),
- des alluvions récentes (au niveau du lit de la Roya actuelle) et anciennes (coteau rive gauche de la Roya),
- le substratum rocheux crétacé (à l'Est de la faille Breil-Sospel)
- le substratum du Keuper (gypse, argile à gypse, dolomies et cargneules, à l'Ouest de la faille Breil-Sospel).

#### 2.1.1 Les remblais anthropiques

##### Répartition

*« Le problème de l'habitat s'est posé à Breil lorsque les maisons groupées dans l'enceinte de l'antique castrum n'ont plus suffi à satisfaire la forte croissance démographique au XIII<sup>ème</sup> siècle. Ne pouvant s'étendre vers le sud sur les espaces cultivés proches du castrum, l'agglomération s'est développée vers le nord » [Botton, 1996]*

Autour de l'église formant un promontoire s'avancant dans la Roya (fondée sur le rocher), de nouveaux espaces ont ainsi progressivement été conquis par des remblaiements : le nord du village jusqu'au pont supérieur, la place Brancion, la place Bianchéri, et jusqu'au pont inférieur.

##### Nature, épaisseur, état

- **Les remblais de la place Brancion** sont très divers et traduisent des remblaiements successifs. Il s'agit essentiellement de cailloutis et d'alluvions diverses, sans doute issus de chantiers périphériques. Ils atteignent jusqu'à 5 m de profondeur dans un axe de surcreusement du substratum (FE1, FE2, SC3, SD16). Ces remblais sont plutôt argileux et nettement colmatés (hormis le premier mètre). Ils sont largement décomprimés (on note même une cavité de 0,2 m en SC3, à la transition avec les alluvions sous-jacentes).

- **Entre la chapelle de la Miséricorde et A Ca d'Brei**, les remblais atteignent 5/6m d'épaisseur (SD4, SC14) et sont de nature essentiellement argileuse. Ils sont colmatés et décomprimés.

- **Les remblais du Boulevard Rouvier** sont représentés par des cailloutis de calcaires marneux crétacés (issus notamment de la carrière Ciappera de Breil, lors de la construction du Boulevard en 1891) et d'alluvions rapportées plus ou moins argileuses. Au nord de l'Eglise Santa Maria, ils comblent les volumes entre l'ancien rempart et la digue actuelle. Au sud de l'église, ils comblent globalement l'espace sur une largeur comprise entre la digue et la mairie actuelle.

**Ces remblais ont été recoupés jusqu'à 5/6 m** de profondeur environ au nord de l'église Santa Maria (SD9, SD17), et jusqu'à 4/5 m de profondeur au sud de l'église (SD6, SC7, SD8, FE3). L'ancien rempart a été recoupé par le forage FE1 jusqu'à -6,6 m. Une pièce de monnaie a été retrouvée en cours de foration en FE3 vers -2 m.

Les remblais du Boulevard Rouvier sont légèrement colmatés dans l'ensemble, avec une légère fraction argileuse. Ils sont en relation directe avec la Roya, comme le montre le suivi conductivité (cf. partie II chapitre 11).

## **2.2.2 Les éboulis quaternaires**

### Répartition

Les éboulis quaternaires se situent à la base des reliefs crétacés et sur le coteau urbanisé rive gauche de Breil-sur-Roya, en discordance sur le substratum rocheux crétacé et/ou les alluvions anciennes.

### Nature, épaisseur, état

Les éboulis sont constitués de cailloutis de calcaires marneux issus de la falaise crétacé. Ils sont grossiers et propres en partie amont, parfois consolidés (cave parcelle 208). Plus en aval, ils sont pris dans une matrice argileuse brune (SD18, cave parcelle 523). Leur épaisseur décroît vraisemblablement avec l'éloignement à la falaise (4 m d'épaisseur en SD18). Au niveau des places Brancion et Bianchéri, ils n'ont pas été observés dans les forages. Ils sont localement décomprimés au droit de SD18.

## **2.2.3 Les alluvions quaternaires**

### a) Alluvions récentes

#### Répartition

Elles combrent le lit vif de la Roya et les axes de surcreusement du substratum.

#### Nature, épaisseur, état

- Dans le lit vif de la Roya, les alluvions récentes sont grossières et globalement peu épaisses, comme en témoignent les observations suivantes :

- au droit des services techniques actuels, le substratum gypseux est à l'affleurement dans le lit de la rivière (281/282 m NGF),
- la crue de janvier 2015 a dégagé les alluvions et a mis à nu le substratum gypseux au droit de SD9 (279,5 m NGF env.), montrant que l'épaisseur de ces alluvions dans le lit vif est inférieure au mètre,
- au droit de la retenue EDF actuelle, les archives montrent des affleurements de gypse sur une centaine de mètres en rive droite vers la cote 276 m NGF [Société Hydro-Electrique du Sud-Est, 1920].

Il est vraisemblable qu'il existe un ou plusieurs axes de surcreusement dans le substratum gypseux sous le lit vif de la Roya, où les alluvions seraient plus épaisses, mais ces axes n'ont pas été identifiés.

- Dans les axes de surcreusement du substratum sous le village, les alluvions récentes sont constituées d'argiles à galets de toutes tailles et sont nettement colmatées. Elles peuvent atteindre jusqu'à 7/8 m d'épaisseur et sont décomprimées (SD4, FE1bis, FE2).

- En dehors des axes de surcreusement, les alluvions récentes sont de même nature mais peu épaisses (inférieures à 4 m en SD5, SD6, SC7, SD8), voire inexistantes (SD1). Elles sont colmatées également.

## b) Alluvions anciennes

### Répartition

Des alluvions anciennes, altitudinalement plus élevées que les alluvions récentes (jusqu'à 294 m NGF environ), ont été observées sur le coteau en rive gauche de la Roya, sous le bâti. Il s'agit vraisemblablement d'anciennes terrasses alluviales, lorsque la Roya était plus haute.

### Nature, épaisseur, état

Il s'agit d'alluvions constituées essentiellement d'argiles et de limons sableux, à galets de tailles diverses (forages de la rue Pasteur : SC11, SD12, SD13). On peut observer des galets géants dans de nombreuses caves de Breil, jusqu'à 1,5 m de diamètre (cave parcelle 509, rue de Turin) :



- L'état de ces alluvions anciennes n'est malheureusement pas connu, car les forages Géolithe 2014 de la rue Pasteur ne disposent pas d'enregistrement des paramètres à l'avancement (incapacité de l'entreprise sous-traitante, d'après une information des services techniques de la mairie). Il est vraisemblable que les alluvions soient décomprimées au droit de SC11 (vide de 0,2 m signalé sur la coupe) et peut-être au droit de SD12.

### **2.2.4 Le substratum crétacé**

Définition substratum : terme très général désignant ce sur quoi repose une formation géologique prise pour référence. Pour l'étude de Breil, on désigne sous le terme de substratum tout terrain situé sous les alluvions/remblais meubles.

Le substratum crétacé est rocheux, représenté par des calcaires marneux gris et des calcaires gris-noirs, en petits bancs.

Il a fait l'objet d'une cartographie détaillée de surface et par visite de caves et d'anciens canaux (cf. chapitre I § 2 et cartographie associée en figure 8). On le trouve en rive gauche de la Roya, en contact par faille avec le gypse diapirique du Keuper (cf. § 2.2 Structure). Du nord au sud, il est visible à l'affleurement au niveau du Pont Supérieur, au nord du canal Cacciardi, dans plusieurs caves, dans les ruelles du Breil historique, et réapparaît largement à partir de l'ancien lavoir (actuellement sous les eaux du lac). A l'affleurement, il est en bon état. En profondeur, à proximité de la faille de Breil, il est mylonitisé (bréchiq, veiné de calcite comme en SC14 où le forage traverse vraisemblablement un écaillage de bordure, entraîné e par le diapir triasique).

## 2.2.5 Le substratum du Keuper

Le substratum du Keuper est représenté par des formations gypseuses (gypse, argiles jaunes/ocres à gypse, anhydrite en profondeur), ainsi que par des cargneules et de la dolomie. Il est limité à l'Est par la faille Breil-Sospel.

### a) Substratum gypseux

#### Répartition

Contrairement aux études géologiques les plus anciennes (Guieu, BRGM), la Roya n'est pas calée sur la faille Breil-Sospel. En effet, on trouve le substratum gypseux en rive droite comme en rive gauche de la Roya, sous le vieux village de Breil, comme en témoigne plus d'une centaine de forages et de nombreuses observations historiques (cf. chapitre I § 1, recherches bibliographiques).

La crue de janvier 2015 a mis à nu le substratum gypseux dans le lit de la Roya, en face de SD9 (279,5 m NGF environ), comme on peut le voir sur la photo ci-contre (tâche claire). Cela illustre de manière indéniable la faible épaisseur des alluvions et la proximité du substratum gypseux au niveau du village.



#### Nature, épaisseur, état

Une analyse sur plusieurs échantillons de carottes a été réalisée par le CEREMA et montre, de manière générale, la présence de gypse en partie supérieure du substratum puis d'anhydrite plus en profondeur (cf. chapitre I § 3). Le gypse se forme par hydratation de l'anhydrite et constitue une couche d'altération superficielle des diapirs. D'après les quelques éléments récoltés, il semble que l'anhydrite se rencontre à partir de 23/25 m de profondeur. Le gypse apparaît néanmoins plus épais dans les axes de surcreusement du substratum ou à proximité, où l'altération est plus importante (SC15, gypse à 25,4 m). Il faut enfin signaler la présence de dépôts d'argiles à gypse, qui peuvent atteindre plusieurs mètres d'épaisseur (identifiés de manière indéniable en FE1bis, FE2, FE3, SD19 et par analogie en SD2, SC3 (appelé « boue » dans les coupes Géolithe 2013).





Les sondages carottés et les sondages destructifs montrent différents états du substratum :

- de manière générale, le gypse sain et l'anhydrite sont compacts et de bonne tenue,
- le contact alluvions/remblais et substratum gypseux se marque souvent par une zone de gypse altéré, à faible consistance,
- les argiles à gypse ont également une faible consistance ; au droit de la place Brancion, la zone de transition entre les remblais/alluvions se marque même par un mélange alluvions/remblais et ces argiles à gypse, formant une « boue » sans consistance jusqu'à 6 m d'épaisseur, et qui témoigne du phénomène d'affaissement des terrains meubles dans le substratum altéré. Un phénomène équivalent de mélange est observable au sud de la mairie, où l'on constate l'existence d'une « boue » sans consistance de 5 m d'épaisseur (SD8).
- le gypse présente parfois des passages altérés et décomprimés (SC3, SD12, SC15, SD16, SP1), des **traces de dissolution** (SC3, SC14), des **vides francs** jusqu'à 4 m (SD1, SC7, FE2, SC14, SC15, SP1). Ces altérations sont liées à des circulations d'eau légèrement en charge dans le gypse (cf. § 2.4).



## b) Substratum dolomitique et cargneulique

### Répartition

- En rive droite, il est visible à l'affleurement et forme des pitons rocheux qui émergent du gypse (par érosion différentielle) :



*Piton rocheux (dolomie, cargneules, calcaires à laminites)  
à l'Est du pont SNCF sur la Lavina (cliché H2EA, 2014)*

- En rive gauche, ce substratum dolomitique a été reconnu par forage (SD17) et par observation directe sous l'ancien moulin Cacciardi /église Santa Maria in Albis ainsi que sur le linéaire du canal Boéri à proximité du Moulin.



*Affleurement de dolomies/cargneules du Keuper sous l'ancien moulin  
Cacciardi/église Santa Maria In Albis (cliché H2EA, 2014)*



Ce sont d'ailleurs des affleurements rocheux dolomitiques que l'on distingue au pied de l'ancienne passerelle Charabot, sur une ancienne carte postale de 1900. Cet affleurement est masqué aujourd'hui par les travaux d'élargissement du Boulevard Rouvier réalisés en 1985 (un nouveau mur de soutènement a été construit dans la Roya à l'avant de celui des années 1890, englobant les derniers vestiges de la digue de protection de l'église déjà là au XVIIIème siècle (information ASPB 2014).



Affleurement probable de dolomies/cargneules du Keuper  
sous la pile Est de la passerelle Charabot (détruite), 1900  
(in Fond iconographique Botton)

Bien que sa géométrie ne soit pas cernée (et ne puisse l'être complètement sans d'autres investigations), ce substratum rocheux est vraisemblablement un piton rocheux à l'image de ceux observés en rive droite.

#### Nature, épaisseur, état

- Il s'agit de calcaires dolomitiques, parfois de cargneules.
- La présence de ce substratum dolomitique explique vraisemblablement la fondation de l'église et du moulin à cet emplacement, ainsi que la vergence de la Roya vers l'ouest, obligée de contourner cet obstacle rocheux. Cette découverte a son importance car l'existence de ce point dur a vraisemblablement conditionné la morphologie du substratum triasique (surcreusements au sud et au nord, séparés par une crête topographique). Hors c'est justement au droit de ces surcreusements qu'ont été identifiés les désordres principaux (place Brancion, chapelle de la Miséricorde).
- Le substratum dolomitique triasique est par nature un terrain de bonne tenue.

## 2.2 Structure

### 2.2.1 Cartographie 2D et 3D du substratum

Voir la cartographie en 2D en figure 14 et en 3D en figure 15.

• **La cartographie du toit du substratum a été établie sur la base de 111 forages (cf. annexe 11) et des observations directes de terrain.** Les forages sont les suivants :

- 5 forages de reconnaissance CEMEREX (1983),
- 70 forages CEMEREX dans le cadre des travaux de consolidation de la chapelle de la Miséricorde (1987),
- 3 forages Sols Essais pour reconnaissance des sols à côté de la maison Guidi (2004),
- 13 forages Géolithe réalisé dans le cadre de l'étude d'aléa affaissement et effondrement du village (2012-2013),
- 8 forages Alberti, réalisés pour le confortement de la maison Guidi (2014),
- 12 forages IMSRN, réalisés pour l'étude hydrogéologique et géotechnique du village (2014-2015).

### 2.2.2 Analyse structurale

Voir les coupes géologiques interprétatives en figure 16.

• Etablie au front de la faille marquant le contact principal entre les assises du Crétacé supérieur à l'est-sud-est et du Trias supérieur (Keuper) à l'ouest – nord-ouest, la carte donne une bonne idée globale de la géométrie du toit du substratum triasique sous les parties nord et nord-ouest du village de Breil.

Sa réalisation repose sur l'exploitation de l'ensemble des forages recensés dans le secteur (cf. annexe 11), avec, bien évidemment, des imprécisions plus ou moins importantes lorsque des interprétations ont dûes être faites (coupes de forages incertaines et/ou manque de forages).

• Dans l'ensemble le toit du substratum est incliné de la colline vers le cours de la Roya, entre les cotes NGF 285 et 270 m. Les pentes moyennes y évoluent de 0,15 à 0,25 et tendent à diminuer à l'extrémité septentrionale du secteur cartographié (de 0,08 à 0,13).

• **La carte met surtout en évidence 2 surcreusements majeurs** en partie médiane, de direction moyenne N100E, atteignant une profondeur de 6 à 10 m dans l'axe.

Ces surcreusements ont été creusés par des écoulements d'eau à une époque antérieure, lorsque le lit de la Roya était plus bas que l'actuel. Les eaux responsables étaient en partie superficielles, mais également souterraines, si l'on en juge par les multiples indices de karstification qui affectent le substratum, aussi bien des vides francs que des zones décomprimées dans le gypse et à son toit (FD1, FD2, MP5, SD1, SD2, SC3, SC7, SC14, SC15, SD18, SD19, FE1bis, FE2).

Le remplissage alluvial qui a recouvert ce substratum par la suite est également affecté de tassements variables suivant les secteurs, ce qui témoigne de la poursuite dans le temps des karstifications souterraines amorcées (vides francs et passages décomprimés dans les FD3, MP3, SC3, SC11).

- La localisation de ces axes de surcreusement résulte probablement de zones faillées transverses affectant le substrat triasique et d'arrivées d'eau depuis la partie amont de la Roya.

Quant à la croupe interfluve qui sépare ces surcreusements, elle semble liée à l'existence locale d'une lentille dolomitique, retrouvée par le sondage SD17 et observée dans la galerie sous le moulin Cacchiardi. Son prolongement sous les églises Notre-Dame de l'Assomption et Santa-Maria in-Albis est fort probable, si l'on compare leur bonne stabilité d'ensemble par rapport à la chapelle de la Miséricorde voisine, fondée sur du gypse et dont l'assise a dû être totalement reprise par injections en 1987.

Remarques :

- on notera que le forage en SD10 a recoupé le Crétacé sur 4 mètres, en position anormale sur des marnes/gypses du Keuper. Vu la proximité d'affleurements rocheux **en place** dans les caves alentours (parcelle 117, parcelle 295), ce forage prouve de manière indéniable la nature diapirique du Keuper, qui est remonté en découpant/broyant à l'emporte-pièce son encaissant. Le contact se fait par faille de type « faille inverse ».
- on notera que le forage SC14 a recoupé des terrains crétacés sur 7/8 mètres, très broyés (brèche calcaire de faille, calcaires gris-noirs veinés de calcite). Il s'agit probablement d'un écaillage de bordure de diapir. Il présente le même faciès que les terrains crétacés broyés recoupés par le tunnel Gigue et Caranca, au contact entre gypse du Keuper et calcaires-marneux du Crétacé [BRGM, 1975].

### 3 Contexte hydrogéologique local

#### 3.1 Aquifères locaux et fonctionnement

- Sur le secteur du vieux village, on distingue plusieurs aquifères :
  - **les dolomies et chargeules du Keuper** (aquifère fissuré, et probablement karstifié), situées à proximité et sous l'église Santa Marian In Albis. Cet aquifère a une extension limitée car il s'agit vraisemblablement d'un piton rocheux isolé, au sein de la masse gypseuse du Keuper. La nappe qui s'y développe est en équilibre avec le niveau de base (la Roya et le lac),
  - **le gypse du Keuper** (aquifère karstifié). C'est l'aquifère principal du secteur. Il est légèrement en charge par rapport au niveau de base (Roya, lac). Il est probablement alimenté par des pertes amont de la Roya.
  - **les alluvions quaternaires (aquifère poreux)**. Le suivi géologique lors des forages, les essais par micromoulinet, les essais de pompage montrent que ces alluvions sont peu perméables dans leur ensemble et finalement peu épaisses.
  - **les remblais**. Plutôt épais (jusqu'à 6 m), ils sont peu perméables dans l'ensemble hormis sous le boulevard Rouvier (matériaux de remblai plus caillouteux).
- **Il existe une nappe établie dans le gypse (aquifère fissuré et karstique), qui règle le niveau dans la plupart des piézomètres.** Cette nappe est légèrement en charge sous des alluvions/remblais très peu à peu perméables, ce qui explique que les venues d'eau aient été rencontrées essentiellement dans le gypse ou au contact gypse/alluvions/remblais.
- La minéralisation des eaux (de 1900 à 2500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en moyenne) est réglée par l'état de saturation des eaux dans cet aquifère vis-à-vis du gypse. Le forage SC14, qui a recoupé un drain majeur du substratum, montre que des venues d'eau sous-saturées peuvent circuler au sein de l'aquifère (dissolution du gypse possible).
- Les variations de niveau liées à la remontée du lac le 09/12/2014 sont de l'ordre de 0,50 cm place Brancion (SD2, FE2, situés en queue de lac) jusqu'à 1,95 m en aval (SD8).
- Le suivi montre que les variations de niveau comme de minéralisation deviennent très faibles lorsque le lac est en place et maintenu de niveau. Les gradients hydrauliques étant plus faibles avec le lac, cela a pour conséquence directe de ralentir les flux dans l'aquifère triasique (et donc la dissolution). Cela n'empêche pas par ailleurs un drainage lent de l'aquifère triasique vers le lac puisque la charge dans l'aquifère triasique est légèrement plus importante (voir la carte piézométrique).
- Hors présence du lac, les remblais du boulevard Rouvier, plus perméables, peuvent être influencés par les eaux moins minéralisées de la Roya. Lors de la remise en eau, l'eau du lac a influencé les eaux contenues dans les remblais mais une fois le lac plein, un nouvel équilibre se met en place où l'influence du lac se fait moins sentir.



### 3.2 Carte piézométrique

Voir la figure 17.

L'intérêt d'une carte piézométrique est d'identifier les directions d'écoulement et les axes de drainage principaux de la nappe.

- Il est bon de rappeler que de multiples arrivées d'eau ont été constatées lors de la réalisation des forages, aussi bien dans le substrat gypseux et à son toit (FE2, SD1, SC3, SD9, SD18), que dans la couverture alluviale, lorsqu'elle était décomprimée et/ou perméable (SD2, SC3, SD6, SC7, FE1bis, FE2). Les observations effectuées montrent en outre que les arrivées principales concernent le gypse et sont fréquemment en charge sous le recouvrement alluvial peu ou pas perméable.

**On conclura donc qu'il n'existe qu'une nappe, qui circule dans le gypse, est en pression sous les alluvions et peut localement remonter dans les alluvions lorsqu'elles sont décomprimées et/ou légèrement perméables.**

- Deux piézomètres n'ont pas été utilisés pour la réalisation de cette carte en raison de leur non-représentativité :
  - le SD18 en partie nord, dont le tubage est en PVC plein à partir de -10 m dans le soubassement gypseux. L'eau y est en fait piégée.
  - le SD10 en partie sud-est, qui teste la nappe du Crétacé, dont le drainage s'effectue dans les canaux évacuateurs de crue d'EDF qui passent sous la croupe dominante de la Ciaperra et sortent dans le méandre aval de la Roya vers la cote NGF 265 m, voire moins.
- La carte piézométrique de la nappe a été établie à partir des mesures du 3 juillet 2015 qui sont les plus complètes et concernent 18 piézomètres.

On constate en fait l'existence de plusieurs zones bien distinctes :

- en partie nord, un drainage de la nappe parallèlement au lit de la Roya, en direction du sud-ouest, avec un gradient moyen de 0,053, et ce jusqu'à un axe de drainage majeur transverse de direction N100E, vers lequel les gradients latéraux évoluent de 0,029 à 0,087,
- en partie médiane, une crête piézométrique s'intercale entre l'axe transverse précédent et un autre axe transverse de drainage vers la Roya, de direction identique, avec un gradient hydraulique moyen évoluant de 0,011 à 0,015,
- en partie sud, une autre crête piézométrique borde l'axe de drainage précédent, puis l'écoulement s'effectue en direction de la roya avec un gradient plus faible (de l'ordre de 0,003 à 0,004).

- Certaines parties de la carte sont plus ou moins interprétées en raison de l'insuffisance du nombre de piézomètres dans un contexte aussi compliqué, mais **l'intérêt principal de cette représentation repose sur la bonne superposition des 2 axes de drainage préférentiels de la nappe en direction de la Roya sur les 2 surcreusements du toit du substratum précédemment identifiés.**

Des décalages substantiels subsistent entre les 2 représentations cartographiques, qui résultent uniquement du nombre insuffisant de points de reconnaissance et de leur absence dans plusieurs secteurs.

Il semblerait en outre qu'un autre axe de drainage transverse de moindre importance existe en partie sud, au travers de la Place Biancheri (SD5, SC7, FE3), mais les données sont insuffisantes pour conclure précisément.

**Quoiqu'il en soit, ces données permettent de conclure que des écoulements souterrains persistent aujourd'hui au droit des axes de surcreusement antérieurement créés, avec, peut-être, deux affluents latéraux de l'axe septentrional et un autre axe de drainage transverse plus au sud.**

## IV SYNTHÈSE ET CONCLUSIONS

*Définition générale : le gypse est une roche sédimentaire, lentement soluble dans l'eau et qui peut être karstifiée (organisation d'un système de drainage préférentiel par des fissures élargies par dissolution). Les effets de sa dissolution peuvent être visibles à l'échelle humaine car ils occasionnent des dégâts au bâti ou des dépressions (fontis) en surface.*

### 1 Géologie et hydrogéologie

Les investigations menées, tant bibliographiques que techniques, montrent la présence de gypse sous le vieux village de Breil sur Roya, sous des remblais/alluvions meubles très peu perméables. Ce gypse se situe à l'Ouest d'une faille tectonique majeure (faille Breil-Sospel), dont le tracé a pu être précisé.

Comme l'ont montré de nombreux forages au droit du vieux village, il existe des circulations d'eau dans le gypse, ainsi que de nombreuses cavités (jusqu'à 4 m sous l'angle de A Ca d'Brei). Le gypse est parfois très altéré et décomprimé. Les remblais/alluvions peuvent également être très décomprimés.

Les eaux qui circulent dans le gypse ont pour origine des pertes de la Roya en amont ou à proximité du village. Cette origine ne fait guère de doute en raison de marqueurs d'eau de surface, révélés par l'examen hydrochimique. Il n'a pas été identifié d'apport d'eau par les coteaux ou encore par les reliefs qui dominent Breil (drainés vers le sud-est). Les eaux, légèrement en pression sous le vieux village, sont restituées à la Roya avant le verrou rocheux situé sous le pont inférieur de Breil, comme l'a montré une expérience de traçage.

Il n'existe qu'**une seule nappe**, circulant légèrement sous pression dans le gypse, sous une couverture de remblais/alluvions peu perméables qui la contraint. Les flux d'eau transitant par le gypse et les remblais/alluvions apparaissent faibles, au vu de la restitution des traceurs. Hormis dans les remblais plus perméables du Boulevard Rouvier, il n'est pas constaté d'invasion des eaux de la Roya ou du lac vers le vieux village. Au contraire, c'est l'eau du gypse qui s'écoule vers la Roya/le lac.

Deux axes de surcreusement principaux ont été identifiés dans le gypse, établis sous la place Brancion et sous la chapelle de la Miséricorde, à peu près perpendiculairement à l'axe de la rivière (voir la carte du substratum). C'est dans ces axes de surcreusement que s'effectue le drainage principal de la nappe (voir la carte piézométrique). Il peut exister d'autres axes de surcreusement, mais le maillage des forages est insuffisant pour les identifier.

### 2 Localisation des désordres au bâti

Les désordres ont lieu à l'Ouest de la faille Breil-Sospel.

- Les désordres principaux se concentrent au dessus des deux axes de surcreusement du gypse établis sous la place Brancion et sous la chapelle de la Miséricorde, à peu près perpendiculairement à l'axe de la rivière. Ces axes de surcreusement préexistaient avant l'installation des habitations de Breil et ont été remblayés pour permettre la construction. Les écoulements dans le gypse, et donc la dissolution, sont plus importants au droit de ces axes. Cela explique les désordres constatés notamment au bâtiment Guidi, à l'immeuble du Bar des Alpines, et aux bâtis à l'angle A Ca d'Brei. Les fuites du réseau d'eau place Brancion sont liées au mouvement des sols qui ont cassé les réseaux. Il est évident que des fuites non réparées n'ont pas amélioré la situation, qu'il fallait éviter l'infiltration d'eau, mais le mécanisme principal est lié à l'évolution du gypse en profondeur.

- Il existe également de nombreux désordres au nord du village, vers la fontaine, dans un secteur où les sols ont également été reconnus comme étant décomprimés (voire vides).
- Plusieurs désordres sont enfin observés sur les structures de nombreux immeubles (fissures plus ou moins ouvertes) et dans les anciennes galeries de Breil (affaissées, fissurées, effondrées), témoignant de l'affaissement des sols.

### 3 Conclusions sur les causes des désordres

#### 3.1 Cause principale des désordres

- Les désordres observés sur de nombreux bâtiments de Breil sont liés **principalement** à la présence de gypse et à sa dissolution, sous des remblais/alluvions meubles (fait identifié localement depuis au moins 1899).

Lorsqu'une cavité se crée dans le gypse ou que le gypse est trop altéré, il peut s'affaisser. Les matériaux meubles situés au dessus se ré-agencent et créent un affaissement visible en surface (appelé flache), voire des fontis, comme cela a pu être observé avenue de l'Aution. Lorsque cet affaissement a lieu sous les fondations d'un bâtiment, la tenue des terrains sous les fondations diminue petit à petit. Les terrains se tassent et des cavités peuvent se former sous les structures du bâtiment, comme cela a pu être observé sous les fondations de la Chapelle de la Miséricorde en 1978.

- La cinétique des désordres est variable, fonction de l'avancée de la déstructuration du sol et de la résistance des fondations à l'affaissement. Les structures se fissurent ou cassent lorsqu'elles ont atteint leur limite de résistance, ce qui peut laisser imaginer que la cause est brutale et rapide, alors que leur origine est le fait d'un processus naturel plutôt lent. Les données historiques montrent en effet que les évolutions sont relativement lentes (de l'ordre de la dizaine d'années). Cela s'explique par le fait que les flux transitant par le gypse sont faibles.

Remarques :

- l'affirmation, selon laquelle les désordres au bâti sont liés à un lessivage des alluvions par la Roya ou le lac, doit être écartée. Aucune alluvions lessivées n'ont été mises en évidence par les forages. Les alluvions se sont montrées au contraire très colmatées et quasiment sans eau. Les piézomètres aux remblais/alluvions enregistrent en fait le niveau d'eau dans le gypse, légèrement en pression sous les remblais/alluvions peu perméables.

- il est constaté que la présence du lac à niveau constant réduit les vitesses d'écoulement dans le gypse et induit une stabilité chimique des eaux accrue (une nappe saturée de sulfates issues du gypse a moins de capacité de dissolution). Contrairement à ce que l'on peut imaginer de prime abord, la présence du lac à niveau constant a donc davantage tendance à ralentir les effets de la dissolution naturelle du gypse plutôt que de les accélérer.

### 3.2 Causes secondaires des désordres

● Si la cause principale des désordres est d'origine naturelle (dissolution lente du gypse), plusieurs facteurs peuvent ou ont pu accélérer les désordres, et dont le rôle a pu être variable :

- 1) la présence d'anciennes galeries de minoterie ou pluviales,
- 2) les fuites, rejets inadaptés ou rejets accidentels de réseau (eau pluviale, eaux usée, voire eau potable),
- 3) le type de fondations du bâti,
- 4) les injections sous la chapelle de la Miséricorde,
- 5) les tremblements de terre.

1) Il existe un réseau complexe de galeries, très anciennes, créées par le passé pour alimenter des moulins. Une partie du bâti breillois a été édifié postérieurement, au dessus de ces structures.

Ces galeries présentent de nombreux désordres, très variables selon les endroits, lesquels sont parfois liés à des affaissements du sol, tandis que d'autres résultent du vieillissement des ouvrages au cours du temps. Certains désordres ont été recensés en 1913 et les visites effectuées en 2014/2015 montrent que des travaux de consolidation très frustes et sommaires ont été faits au coup par coup par les propriétaires des bâtiments dominants et/ou la commune.

En raison de leur état, ces galeries constituent un risque pour le bâti existant et c'est en particulier le cas du canal Cacciardi (canal situé au nord du village et suivant l'intérieur des anciens remparts jusqu'au moulin Cacciardi, actuel restaurant du Moulin).

2) Quatre anciennes galeries d'eaux pluviales ont été identifiées et partiellement explorées dans leurs parties aval. Les investigations ont montré que certaines étaient toujours fonctionnelles et que les eaux pluviales pouvaient gagner les anciennes galeries de minoterie, puis s'infiltrer dans le sol. Leur présence, mais surtout leur fonctionnement, constituent donc un facteur secondaire dans l'origine des désordres.

Plusieurs fuites du réseau d'eau usée ont été identifiées dans les anciennes galeries, ainsi que des rejets inadaptés des eaux pluviales. En s'infiltrant dans le sol, ces écoulements aggravent les désordres tant au niveau du gypse qu'au niveau du bâti. Par ailleurs, les affaissements de sol peuvent provoquer la rupture accidentelle des réseaux, comme cela a pu être constaté par le passé place Brancion sur le réseau d'eau potable, constituant un facteur secondaire aggravant des désordres.

3) Plusieurs bâtis présentent des fondations sommaires, peu rigides, qui se déforment en cas d'affaissement des sols lié au gypse. On s'en persuade aisément en comparant les fondations d'A Ca d'Brei (de bonne facture) avec les fondations sommaires des habitations situées immédiatement à l'Est et très largement fissurées.

4) Quant aux travaux effectués à la Chapelle de la Miséricorde (injections dans les alluvions et surtout dans le gypse), il est possible qu'ils aient modifié les cheminements d'eau dans le sol et aient contribué également à aggraver les désordres. Cependant, il est impossible de le démontrer, étant donné l'hétérogénéité de l'aquifère gypseux.

5) Enfin, les tremblements de terre peuvent constituer un facteur déclenchant de désordres au bâti, pour peu que les fondations aient été fragilisées préalablement par l'affaissement lent du sol. C'est ainsi qu'est apparue soudainement la fissure principale sur la façade Est de la chapelle de la Miséricorde, lors du tremblement de terre ligure de 1887.



## 4. Solutions de traitement des désordres observés sur le bâti breillois

### 4.1 Contexte des solutions de traitement

Les solutions décrites exposent les techniques envisageables pour traiter les désordres observés sur les superstructures du bâti breillois (tranche ferme du marché). Les solutions de traitement des instabilités des galeries seront exposées dans le rapport spécifique à la tranche conditionnelle.

La définition des solutions de traitement des désordres du bâti breillois doit prendre en compte différents aspects dont la liste, non exhaustive, est la suivante :

- le type d'ouvrage à considérer (notion de catégorie d'ouvrage et d'enjeu) : bâtiment privé, bâtiment public, bâtiment classé, ouvrage de génie civil...
- la nature des désordres : fissuration, tassements, déformations... ;
- l'intensité des désordres : endommagement peu visible, endommagement perturbant la fonctionnalité des ouvrages (notions d'ELS : Etat Limite de Service), endommagement mettant la stabilité des ouvrages en péril (notion d'ELU : Etat Limite Ultime) ;
- l'évolution potentielle des désordres : désordres en apparition, désordres anciens mais peu évolutifs, désordres très évolutifs (notion d'intensité d'aléa : Cf Etude d'Avant-Projet et carte d'aléa) ;
- la garantie de succès et la pérennité des solutions techniques proposées.

L'ampleur de l'aléa diagnostiqué sous le bâti breillois est considérable et la prise en compte dans la balance de l'impact financier des travaux, des procédures de suivi, des problématiques foncières... est indispensable.

### 4.2 Problématiques de fondations

Comme cela a été démontré plus avant, une grande partie des désordres observés sur les superstructures des ouvrages du Vieux Village de Breil sur Roya est à relier à des problématiques de perte de portance des terrains de fondation (hors des endommagements normaux liés à l'âge des bâtiments). Ces pertes de portance sont la conséquence de la dissolution du gypse en profondeur qui provoque le foisonnement des matériaux sus-jacents. Ce foisonnement des matériaux aboutit à l'affaissement de surface ou au fontis dans son stade ultime.

Ces pertes de portance impactent des matériaux ; alluvions et remblais qui, par nature, présentent initialement une capacité portante médiocre.

En outre, l'âge du bâti breillois fait que les ouvrages sont dans leur majorité appuyés sur des fondations superficielles en matériaux anciens (mortiers, moellons,...) et parfois dégradés voire même n'en disposent pas.

Le cœur du sujet réside par conséquent dans le rétablissement d'une portance sous les bâtiments en considérant que le seul horizon géotechniquement stable est la formation triasique gypse/anhydrite non dissoute. En effet, la présence du gypse ne constitue pas en elle-même un aléa tant qu'elle n'est pas couplée à des phénomènes de dissolution. Les essais pressiométriques réalisés dans le gypse sain ont, de fait, révélé des pressions limites supérieures à 4 MPa.

### 4.3 Méthodologies de rétablissement de portance

La maîtrise des affaissements à l'origine des désordres passe irrémédiablement par un transfert des descentes de charges des ouvrages au gypse ou à l'anhydrite en profondeur. Le transfert de

ces charges ne peuvent se traduire que par une reprise en sous-œuvre en fondations profondes des ouvrages sinistrés.

Les méthodologies étant diverses, il convient d'écartier toutes les techniques d'amélioration de sol et de reprises en sous-œuvre se traduisant par des écrans étanches, des remplissages généralisés de cavités ou des modifications significatives de la perméabilité des terrains.

En effet, la réalisation de ce type de travaux entraîne de manière inévitable des réorganisations dans les écoulements d'eau en profondeur (débits, trajets, capacités d'absorption de l'eau circulante...). Ces modifications du modèle hydrogéologique sont alors susceptibles de générer des désordres importants dans des zones aujourd'hui non affectées. Les conséquences à court et long terme de tels travaux sont imprévisibles et irréversibles.

Sur la base de ce constat, des solutions de reprise en sous-œuvre par micropieux sont mises en avant car elles revêtent un caractère ponctuel. Hors du diamètre de l'enrobage de l'armature (max 300 mm), le modèle hydrogéologique n'est pas affecté.

La réalisation de micropieux ponctuels, couplée au contrôle des terrains traversés (notamment les zones de vides ou décomprimées) et à la maîtrise des débits d'injection permettrait de traiter les problématiques de portance tout en minimisant les risques de désordres secondaires collatéraux.

L'utilisation de matériaux de scellement (coulis, mortier...) spécifiques devra être envisagée en considérant les pertes d'injection possibles (gestion de la viscosité des scellements notamment), l'agressivité des sulfates sur les matériaux, la corrosion des armatures...

La mission géotechnique d'Avant-Projet s'attachera à étudier plus précisément :

- les conséquences de ces reprises en sous œuvre sur les superstructures des ouvrages (tassements différentiels, intégration dans les structures...);
- les problématiques d'accès et de réalisation de ces travaux;
- l'approche dimensionnelle de ces reprises en sous-œuvre;
- les procédures de contrôle de réalisation;
- les méthodologies de surveillance et d'alerte pendant et après les travaux.

#### **4.4 Contraintes inhérentes aux travaux de reprise en sous-œuvre**

A titre non exhaustif, la définition des méthodologies de reprises en sous-œuvre par micropieux devra prendre en compte les problématiques suivantes :

- ouvrages sinistrés construits sur des matériaux potentiellement hétérogènes (remblais, alluvions, éléments rocheux isolés...);
- présence d'ouvrages anciens enterrés faisant parfois office de fondation: ancien rempart, canaux souterrains...;
- exigüité des zones de travail;
- ancienneté du bâti et endommagement parfois avancé des structures;
- aléa d'effondrement lors des phases de travaux.

#### **4.5 Pérennité des travaux et obligations de résultats**

De toute évidence, la garantie totale de résultat se traduisant par une disparition complète de l'aléa d'effondrement sous le village de Breil est illusoire.

De ce fait, la notion « d'aléa résiduel acceptable » devra être définie dans le cadre de l'Avant-Projet et en accord avec la Maîtrise d'Ouvrage afin de cadrer la suite des études.

Enfin, la confrontation des méthodes de calcul actuelles (prise en compte du séisme, coefficients de sécurité...) face aux méthodes de construction anciennes sera à l'origine d'un décalage dimensionnel à l'échelle des ouvrages. La définition d'un équilibre dimensionnel entre les parties anciennes (renforcement?) et les parties nouvelles (allègement) devra être établie en

collaboration avec la Maîtrise d'Ouvrage.

#### **4.6 Vérification et reprise des réseaux**

Il apparaît indispensable de vérifier tous les réseaux enterrés pour envisager les réparations nécessaires, d'éventuelles déviations, voire la création de nouveaux réseaux. Ce travail devrait être engagé avant même la reprise du bâti et des galeries.

En ce qui concerne le réseau de pluviales, il n'est que partiellement connu des services techniques. Sur certains tronçons reconnus dans la cadre de la présente étude, il était nécessaire d'effectuer un entretien général (curage, réparations), ce qui est certainement généralisable. Il faut absolument éviter le rejet des eaux pluviales dans les anciennes galeries.

En ce qui concerne les réseaux d'eaux usées, outre un entretien indispensable, nous avons identifié plusieurs tronçons de galeries où les eaux usées s'infiltraient dans le sol. De notre point de vue, le réseau EU du canal Cacciardi doit être supprimé et dirigé vers le canal Boéri. Le canal Boéri, servant de réseau de collecte, doit être partiellement repris, pour un fonctionnement optimum. L'aval du canal Toesca ne devrait plus être utilisé pour les eaux usées.

En ce qui concerne le réseau d'eau potable, la commune ou une société spécialisée, devrait être à même de vérifier son rendement exact, de manière à repérer toute fuite.

Nice, décembre 2015

Pour H2EA (sous-traitant), Guillaume TENNEVIN  
Hydrogéologue, co-gérant de H2EA

Pour IMSRN (mandataire), Olivier Ivanez  
Géotechnicien, directeur d'IMSRN Nice

## BIBLIOGRAPHIE CONSULTEE

### Etudes d'ordre général

1959 (27 novembre), Gieu (géologue). Etude géologique des érosions causées par la Roya. *Fonds Mangan*.

1978, CETE. Plan d'occupation des sols. Commune de Breil.

1996, Botton. Histoire de Breil et des Breillois. Les éditions du Cabri.

2012 (août), CETE Méditerranée. Mairie de Breil sur Roya. Compte-rendu du suivi piézométrique et fissurométrique réalisé pendant l'abaissement du niveau du lac EDF. *Fonds Conseil Général 06*.

2013 (14 janvier), GEOLITHE. Commune de Breil sur Roya, vieux village. Aléa d'affaissement et d'effondrement du vieux village. Etude de diagnostic géotechnique, rapport G5. *Fonds Conseil Général 06*.

2013 (18 janvier), GEOLITHE. Etude de l'aléa d'affaissement et d'effondrement du vieux village de Breil sur Roya. Diaporama de la réunion publique du 18 janvier 2013. Document consultable sur : [http://cms.sictiam.fr/cms/8\\_breil\\_sur\\_roya/upload/2013/Pr%C3%A9sentation%20publique\\_zip.pdf](http://cms.sictiam.fr/cms/8_breil_sur_roya/upload/2013/Pr%C3%A9sentation%20publique_zip.pdf)

2013 (mars), Mangan (géologue). Commune de Breil sur Roya, désordres affectant le vieux village. Analyse critique du rapport d'étude établi par Géolithe le 14 janvier 2013. Rapport inédit pour la commune de Breil sur Roya. *Fonds Conseil Général 06*.

### Immeuble Guidi

2004 (2 juin), SOL-ESSAIS. Rapport d'étude de sol. Ancienne maison Guidi. Breil sur Roya. *Fonds mairie de Breil sur Roya*.

2010 (5 juillet), Bousquet. Rapport d'expertise, immeuble 1 Place Brancion, Breil sur Roya. Dossier n°1002385-9. *Fonds mairie de Breil sur Roya*.

2013, Alberti. Micropieux à l'Est de la maison Guidi. *Fonds mairie de Breil sur Roya*.

2015 (24 septembre), ASPB. Eléments historiques pour la connaissance des berges alluvionnaires de Breil-sur-Roya depuis 1890.

### Eglise Santa Maria et chapelle de la Miséricorde

(*Fonds archives départementales 13, archives 1784W165, 1784W166 et 1784W168*)

1971 (15 mai), Mairie de Breil sur Roya. Eglise paroissiale « Santa Maria in Albis », inscrite à l'inventaire supplémentaire des monuments historiques, demande de subvention complémentaire. Délibération du 15 mai 1971.

1979 (9 janvier), Yarmola (architecte en chef des monuments historiques). Lettre MH 21/79 – AM au directeur régional des affaires culturelles.

1980 (15 décembre), Yarmola. Lettre MH 55/80 – AM à Monsieur le Ministre de la Culture et de la Communication. *Avertissement ferme sur instabilités*.

1981 (26 octobre), Ministère de la Culture et de la Communication. Compte-rendu de la réunion du 21/10/1981.

1981 (12 novembre), CEMEREX. Eglise Sainte Marie In Albis, chapelle des Pénitents contigüe, à Breil sur Roya. Proposition technique.

1981 (8 décembre), Yarmola. Breil sur Roya. ND des Neiges et 2 chapelles. Rapport à l'appui d'un projet de travaux ayant pour objet : Etude des désordres affectant ces bâtiments.

1982 (2 mars 1982), Yarmola. Lettre 609/82 à Monsieur Marino, maire adjoint, mairie de Breil sur Roya.

1983, Canis (géomètre expert). Eglise de Breil sur Roya. Plan des galeries (1/200 ème).

1983 (31 août), CEMEREX. Eglise Sainte Marie à Breil s/Roya. Lettre d'envoi du plan des galeries sous l'église de Breil sur Roya à l'architecte Yarmola (*avec commentaire*).

1983 (24 mai), Ministère de la Culture. Lettre à Monsieur le Conservateur Régional des Monuments Historiques.

1983 (19 décembre), Yarmola. Lettre 506/83 à Monsieur le Conservateur Régional des Monuments Historiques.

1983, CEMEREX. Dossier 3622-6-079/83. Forages pressiométriques F1 à F5, Eglise Sainte Marie et Eglise Sainte Catherine (*extrait avec position et coupes pressiométriques*). Fonds Infoterre.

1984 (28 mars), Nice Matin. Article intitulé « Cette ruine : une des plus belle façades baroques... Menacée de dynamitage la chapelle de la Madone à Breil sera sauvée ».

1984 (29 septembre), Yarmola. Breil sur Roya. Eglise Santa Maria in Albis & Chapelle. Rapport à l'appui d'un projet de travaux ayant pour objet : la confortation des fondations.

1985 (25 septembre), Ministère de la Culture. CCAP du Marché de confortation des fondations de la chapelle de la Miséricorde.

1985 (22 janvier), CEMEREX. Eglise Santa Maria In Albis, Chapelle de la Miséricorde, Eglise Sainte-Catherine. Relevé des ouvertures de fissures et piézométriques au 04/12/1984.

1985 (16 décembre). EGCEC (Etudes, Génie Civil et Coordination). Résultats d'ensemble des travaux de confortement réalisés au 15 décembre 1985 et leur incidence éventuelle sur la suite. Courrier adressé à Mr Yarmola.

1986 (06 octobre), Yarmola. Breil sur Roya. Chapelle de la Miséricorde. Rapport à l'appui d'un projet de travaux ayant pour objet : la restauration de la façade principale.

1987, CEMEREX. Eglise Santa Maria In Albis, Chapelle de la Miséricorde, à Breil sur Roya. Travaux de confortement des fondations. Rapport de fin de travaux (30 pages et 36 annexes).

1997 (septembre), Yarmola. Chapelle de la Miséricorde, CI.M.H 28 décembre 1978. Etat sanitaire.



## **Barrage et retenue de Breil sur Roya**

1899 (8 février), Société d'étude des forces motrices de la Roya. Projet de barrage et dérivation, usine de Breil. Plan général à 1/10000 ème. *Fonds archives départementales 06 (7S0067)*.

1899 (9 septembre), Ponts & Chaussées, service hydraulique. Prises d'eau, plan général dressé par l'ingénieur ordinaire. *Fonds archives départementales 06 (7S0067)*.

Date ?. Société hydroélectrique du sud-est. Chute de Breil sur la Roya. Projet d'exécution-Prise d'eau, note descriptive et technique.

1920, Société hydroélectrique du sud-est. Demande de concession barrage et prise d'eau (*avec plans et coupes*). *Fonds archives départementales 06 (7S0075)*.

## **Pont supérieur et passerelle Charabot**

1908, Ponts & Chaussées. Elargissement et réparation du pont supérieur de Breil, rapport de l'ingénieur. *Fonds archives départementales 06 (02S1319)*.

1931-1935, Ponts & Chaussées. Reconstruction du pont supérieur. *Fonds archives départementales 06 (02S1319)*.

1959 (27 novembre), Gieu (géologue). Etude géologique des érosions causées par la Roya.

## **Maison Boéri (actuel Spar- partie congélation à Breil sur Roya)**

1899, Bergaud. Procès-verbal d'expertise, désordres maison Boéri. *Fonds Balandier, actuelle SURGEL à Breil sur Roya*.

## **Théâtre de Verdure**

1986 (13 mars), SOLESSAIS. Aménagement du tour du lac, théâtre de Verdure. Rapport d'étude de sol préliminaire. *Fonds Mangan*.

## **Piscine de Breil sur Roya**

1964 (8 mai), FONDASOL. Ville de Breil sur Roya, construction d'une piscine. Reconnaissance géologique. *Fonds Mangan*.

## **Avenue de l'Aution**

1988, CETE. Affaissements de l'avenue de l'Aution, (06, Breil sur Roya). Avis géologique et géotechnique. Dossier GS.T.88.454. *Fonds Mangan*.

## **Canaux et moulins**

1899 (8 février), Société d'étude des forces motrices de la Roya. Projet de barrage et dérivation, usine de Breil. Plan général à 1/10000 ème. *Fonds archives départementales 06 (7S0067)*.

1899 (9 septembre), Ponts & Chaussées, service hydraulique. Prises d'eau, plan général dressé par l'ingénieur ordinaire. *Fonds archives départementales 06 (7S0067)*.

1913 (3 mars), Bergandi (voyer communal). Rapport sur l'état du canal d'aménée des usines Toesca et Cacciardi. *Fonds Balandier*.

1983, Canis (géomètre expert). Eglise de Breil sur Roya. Plan des galeries (1/200 ème). *Fonds archives départementales 13, 1784W168*).

## Pont sur la Lavina

2006 (10 avril), ER. Pra sur la Lavina, ligne de Nice à Breil (945) – km 43,438, ligne de Coni à Vintimille (946) – km 78,362. Campagne de reconnaissance des sols. *Rapport inédit pour la SNCF. Fonds SNCF*.

2006 (04 octobre), ER. Pra sur la Lavina, ligne de Nice à Breil (945) – km 43,438, ligne de Coni à Vintimille (946) – km 78,362. Campagne de reconnaissance complémentaire des sols. *Rapport inédit pour la SNCF. Fonds SNCF*.

## Tunnel SNCF Caranca et Gigue

2013, ITFF (Inventaire des Tunnels Ferroviaires de France). Fiche tunnel de Carança. *Fonds ITFF consultable sur <http://www.tunnels-ferroviaires.org/>. Consultation effectuée en décembre 2013*.

2013, ITFF (Inventaire des Tunnels Ferroviaires de France). Fiche tunnel de Gigne. *Fonds ITFF consultable sur <http://www.tunnels-ferroviaires.org/>. Consultation effectuée en décembre 2013*.

1975 (juin), BRGM (Dellery). Tunnel du Caranca. Etude géologique et hydrogéotechnique. *Rapport inédit 75SGN183PRC pour la SNCF*.

1976, SNCF. Tunnel de Gigne. Fiche signalétique de tunnel. *Fonds SNCF*.

1968, SPIE. Souterrain de Caranca. Carnet de sondages (VI B 2). *Fonds SNCF*.

1962, SPIE. Souterrain de Caranca. Carnet de sondages (VI B 1). *Fonds SNCF*.

## Plans de géomètre

1983, Canis (géomètre expert). Eglise de Breil sur Roya. Plan des galeries (1/200 ème). *Fonds archives départementales 13, 1784W168*).

2013 (décembre), SEGC. Plan de situation des piézomètres rue Pasteur. Echelle au 1/100 ème.

2013 (décembre), SEGC. Plan de situation des piézomètres Immeuble Guidi. Echelle au 1/200 ème.

## Divers

Cartes postales anciennes de Breil sur Roya. *Fonds Botton*.

Site internet de l'ASPB : <http://www.aspb.fr/> (consulté en nov. 2015)