

Demi - journée Scientifique et Technique - 18 octobre 2019

Histoire et Géotechnique

# L'église St Michel de Draguignan : son comportement depuis un demi-siècle

Hassan FARHAT (ARCADIS)





- Sur l'emplacement actuel, la première église aurait été construite en 1356,
- Entre 1861 et 1864, l'église est démolie et entièrement reconstruite,
- Des désordres dès 1880 ; évolution jusqu'à la fermeture en 1957,
- Entre 1961 et 1964, importants travaux de confortement conçus par M. AUJARD, ABF et M. KERISEL : Démolition des voûtes de la nef, chaînage général,
- Système d'auscultation « régulier » depuis 1971 par le Cabinet CLARET et SIMECSOL devenant ARCADIS.

documents divers\Historique église.pdf

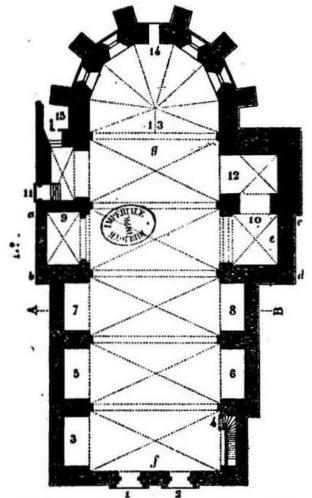


Fig. 6. — Plan de l'ancienne église de Draguignen (d'après Poulle).

Photo Bibl. Nat.



**Avant 1860** 



HISTORIQUE

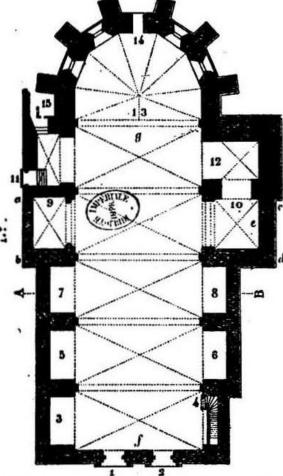
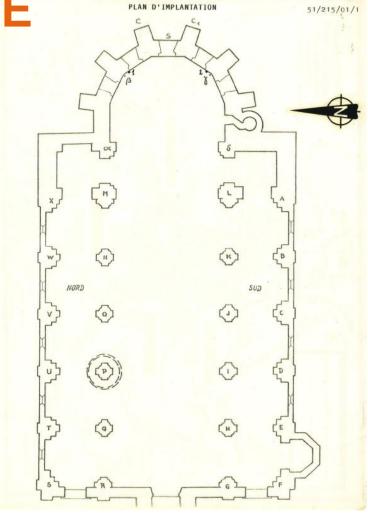


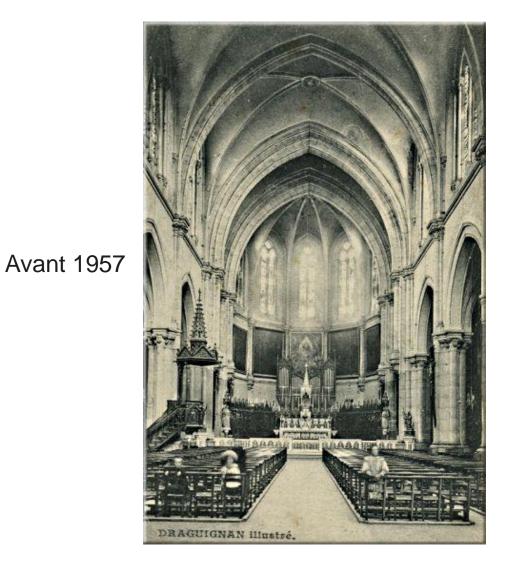
Fig. 6. — Plan de l'ancienne église de Draguignen (d'après Poulle). Photo Bibl. Nat.

Après 1864











Après 1964





Ingénieurs qui ont suivi cet ouvrage

**Ingénieurs et Techniciens mesures** 

Jean KERISEL (années 1960 à 1980)

Jacques ROBERT (années 1980)

Jean Michel RESCOUSSIER (années 1990 à 2010)

Jean BROSSIER (années 1990 à 2010)

Hassan FARHAT (années 2010)

Jean RAMOUSSIN

Rémi MANARDO

**Clive MEDWAY** 



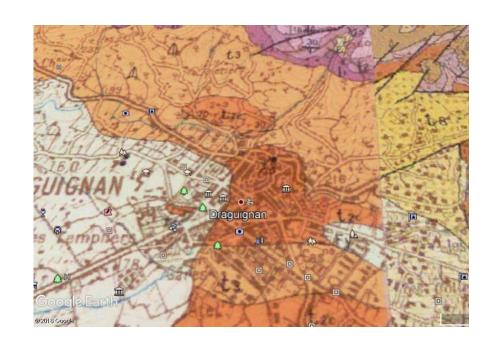


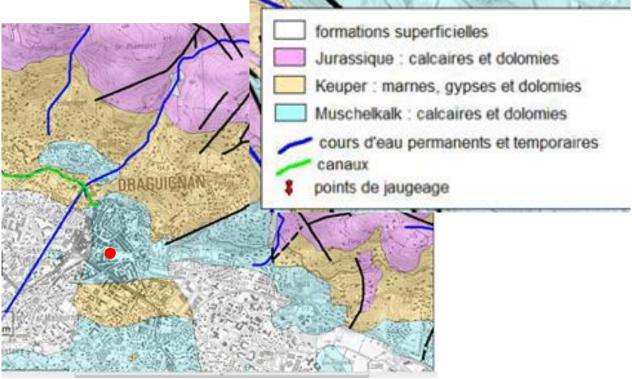


```
Monsieur le Sénateur-Maire ,
                         Je m'excuse infiniment d'avoir
tant tardé à répondre à vos lettres concernant l'Eglise
Paroissiale de DRAGUIGNAN. La cause en est double : la
première est que votre correspondance mété égarée dans
un mauvais service , et la deuxième est que Président pour
quatre ans de la Société Internationale de Mécanique des
Sols et Travaux de Fondation , je cours le monde pour pré-
sider de nombreux congrés .
                         Je fais sortir le dossier ; je
vais l'examiner et au besoin , j'irai sur place .
                         Veuillaz croire , Monsieur le
Sénateur-Maire , à l'assurance de mes meilleurs sentiments.
                                  J. KERISEL
```









documents divers\RP-63399-FR.pdf





t3. Keuper. Par suite d'effets tectoniques intenses, la feuille Draguignan se prête mal à l'étude du Keuper. Celui-ci présente à peu près tous les termes de la série que l'on peut reconstituer plus au Nord. Au sommet, se rencontrent des dolomies blanches qui alternent avec des marnes réséda surmontant des « marnes irisées » lie-de-vin et vert pastel, avec des blocs de cargneules géométriques. Plus bas, existent pêle-mêle des bancs dolomitiques très brisés, des cargneules, des marnes plus ou moins dolomitiques et du gypse en affleurements dispersés, sauf près de Flayosc où il est bien développé. Vers la base, se trouve un banc de calcaire dolomitique gris fumée clair, marbré de taches plus foncées, passant à la cargneule, et qu'il ne faut pas confondre avec le Muschelkalk.

t2c. Muschelkalk supérieur dolomitique (Lettenkohle). Ce niveau est formé de dolomies grises bien stratifiées, zonées, avec quelques bancs de marne verdâtre. Assez mince au Sud, la Lettenkohle s'épaissit localement et surtout vers le NE, où elle assimile le sommet des calcaires du Muschelkalk.





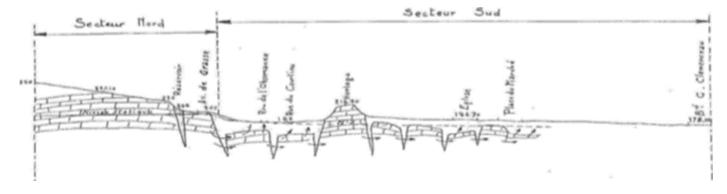
#### Formations du Muschelkalk:

Calcaires gris et compacts avec intercalations de bancs marneux et des bancs de dolomies

#### Zone faillée - Recouvrement :

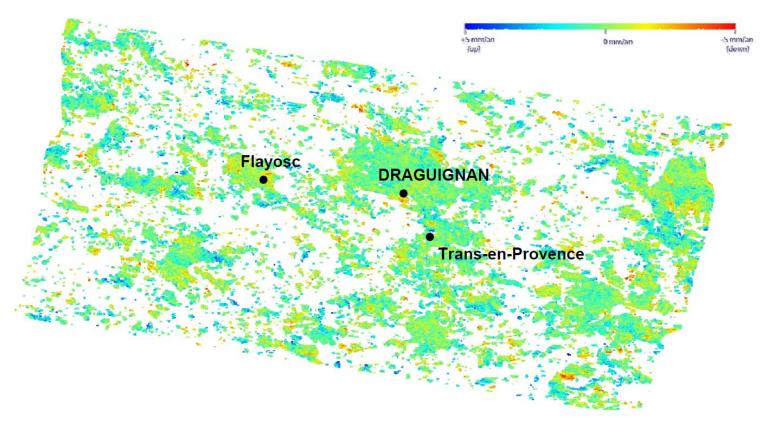
- Eboulis grossiers, argiles et cargneules du Keuper
- Conduit de drainage des eaux superficielles vers la nappe profonde.
- Les matériaux de remplissage se dégradent par les effets de circulation des eaux.
- Peuvent s'ajouter des dissolutions de couches profondes de gypse (foyer Ramadier)

#### Aucune cavité majeure n'a été reconnue – Nappe très profonde (40 m) ?









Source BRGM – Réflectométrie radar 2002 – 2010 documents divers\RP-59323-FR Region BRGM.pdf



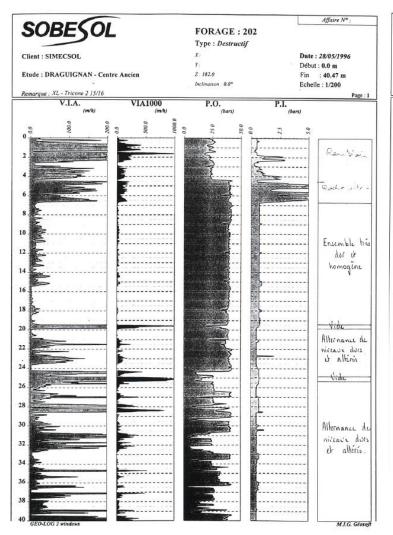


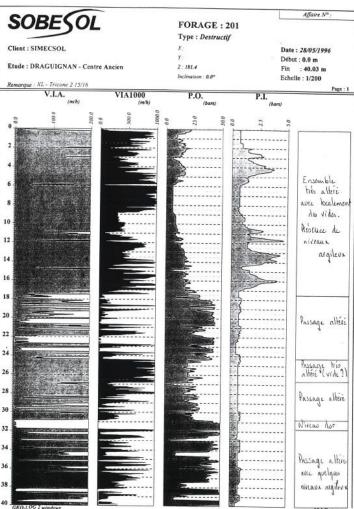
#### Des reconnaissances géotechniques par sondages carottés et destructifs :

- Campagnes de reconnaissance de 1958, 1992, 1994, 1996 et 2003,
- Reconnaissance par micro-gravimétrie entre 1988 et 1990.
- → Un substratum calcaire relativement sain sous une partie du clocher et la partie centrale de l'église.
- → Des sols de très faible compacité côté Est du clocher et en façade Nord de la nouvelle Halle du marché et sous la Place de le Vieille Halle.

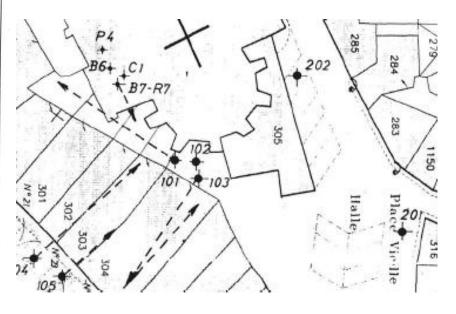








- Contexte géotechnique complexe,
- Variations brutales du niveau du substratum







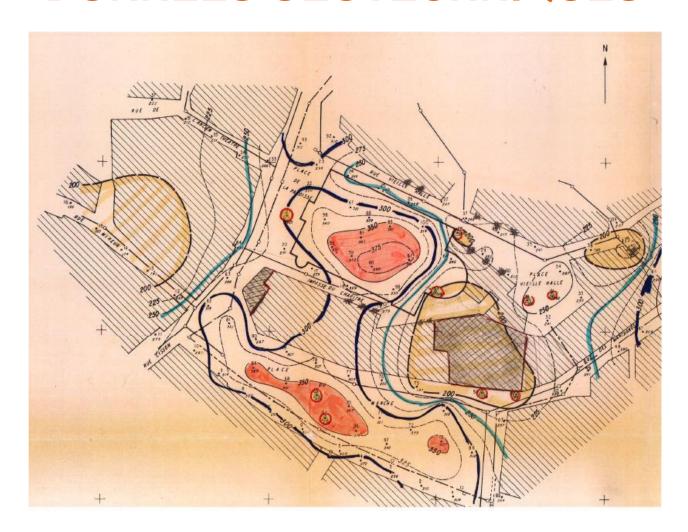
			Dossier Sin	erio/ PL	.2
	SIME	CSOL			
MI	CROGRA	VIMETRIE			
	DRAGUI	IGNAN			
ANON			UER		
	ECHELLE	: 1/500			
		MICROGRA  DRAGUI  ANOMALIE D  D=	DRAGUIGNAN	MICROGRAVIMETRIE  DRAGUIGNAN  ANOMALIE DE BOUGUER  D= 2,0	MICROGRAVIMETRIE  DRAGUIGNAN  ANOMALIE DE BOUGUER  D= 2,0

Station at son numbro	20
Valeur de Bouquer en microgal	,
Edux pluviales Ø 300	
Egouts Ø 200	
Courbe isoano-mate	
(Equidistance des courbes 25 microgals)	
Forages proposés	Δ

Mesures de 1988



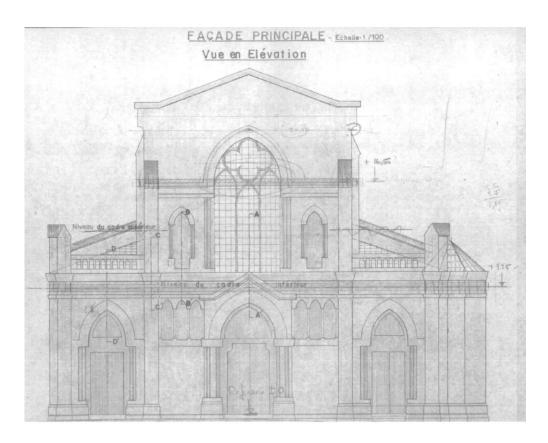


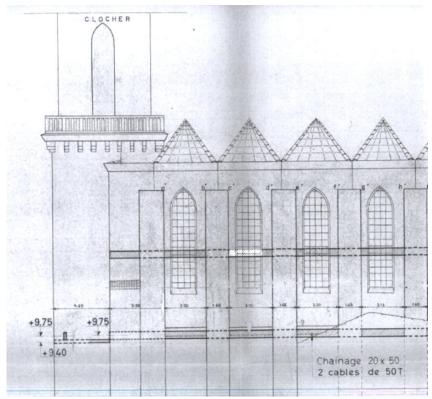






# LA STRUCTURE









## LA STRUCTURE

#### 1965 : Chaînage de l'église

Les tassements différentiels engendrent des fissures très importantes sur l'édifice.

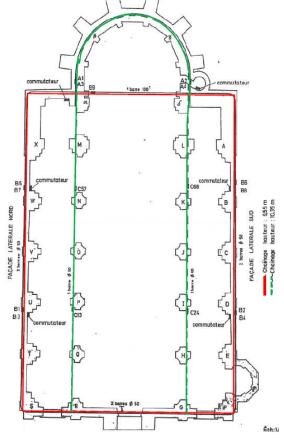
Afin de limiter la propagation de ces désordres structurels, deux chaînages ont été réalisés :

- Un chaînage latéral à une hauteur de 9.55m
- Un chaînage central à une hauteur de 10.35m

#### Entre 1961 et 1965 : Importants travaux de confortement :

- Démolition voûtes de la nef,
- Mise en place de chainages,
- Nouvelle couverture sur charpente.





#### **2** barres Ø **50**

Chainage hauteur : 9,55 m

**1 barre** Ø **50** 





Auscultations : à partir de 1964

- 1966: Tension dans la chainages Cordes vibrantes
- 1971 : Nivellement du socle des piliers
- 1978 : Mesures d'écartement entre piliers fil INVAR
- 1982 : Mesures d'inclinaison de diverses parties IMS
- 1982 : Fissuromètres à billes tri directionnels
- 1992 : Suivi topographique de la tour du Clocher.



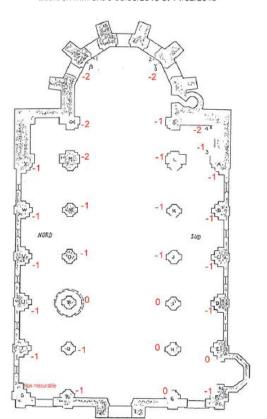


COMMUNE DE DRAGUIGNAN
EGLISE SAINT-MICHEL

**NIVELLEMENT DES PILIERS** 

SCHEMA SANS ECHELLE

Ecart en mm entre 06/03/2018 et 14/02/2019

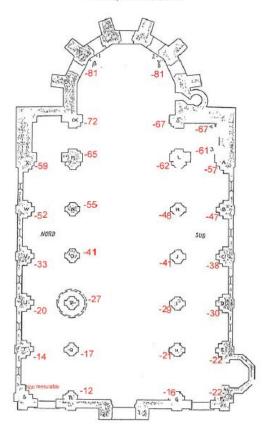


Tassement des piliers

NUVELLEMENT DES PILIERS

SCHEMA SANS ECHELLE

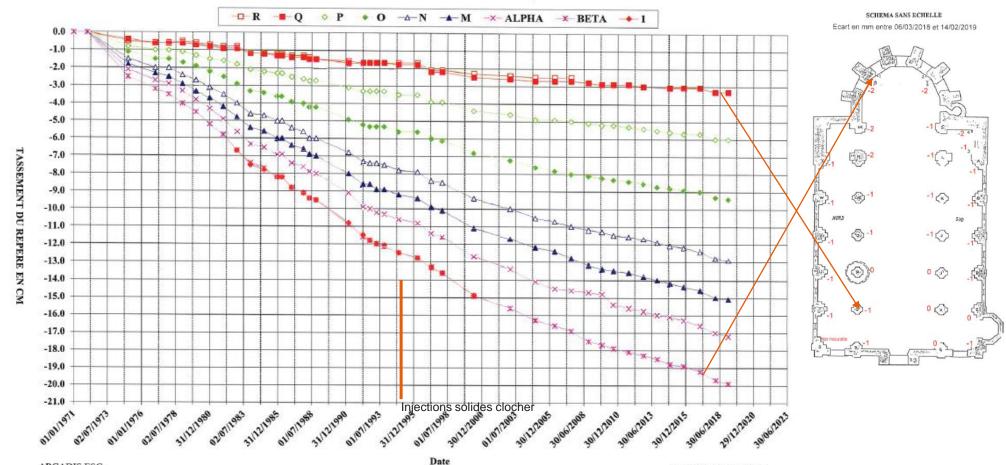
Ecart depuis 1992 en mm







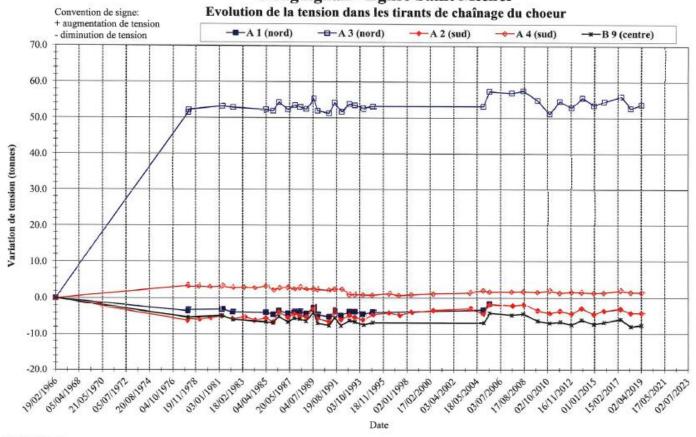
#### DRAGUIGNAN - EGLISE SAINT MICHEL Travées NORD Evolution du tassement des socles des piliers







#### Draguignan - Eglise Saint Michel

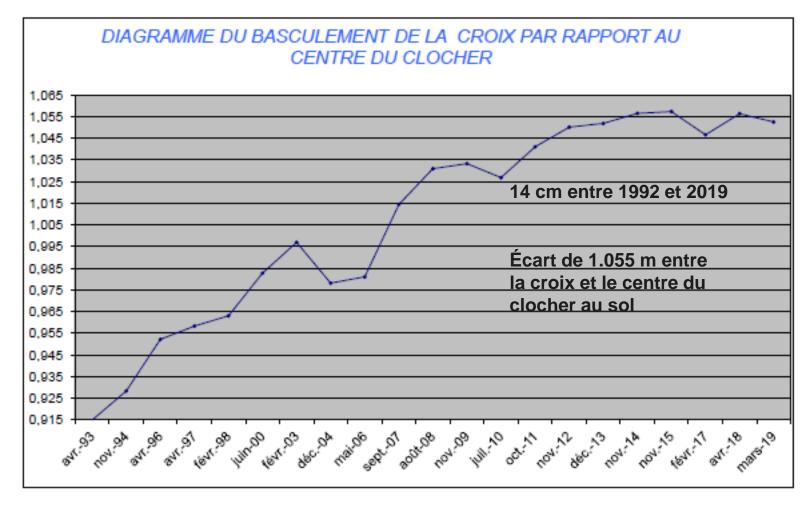


ARCADIS ESG TEMOINF2.XLSGraph choeur



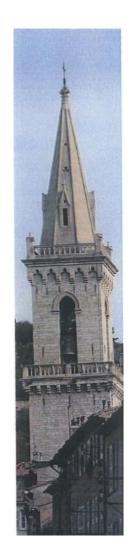


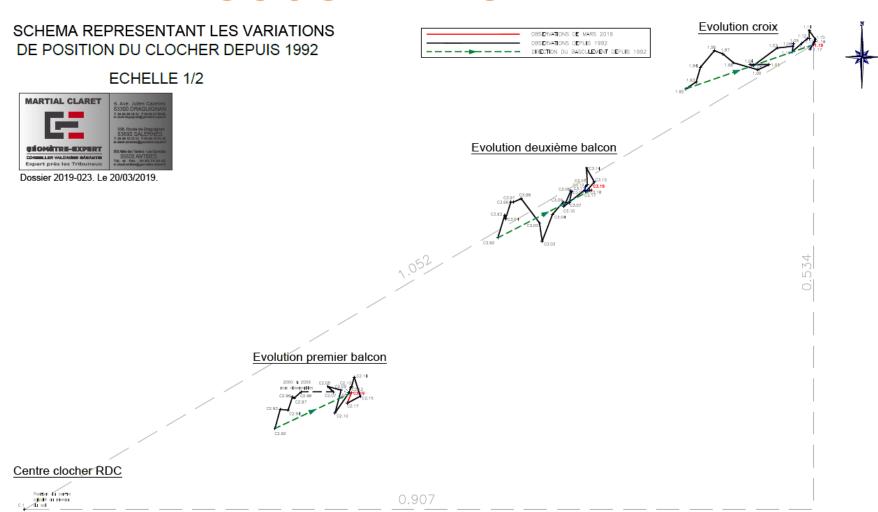








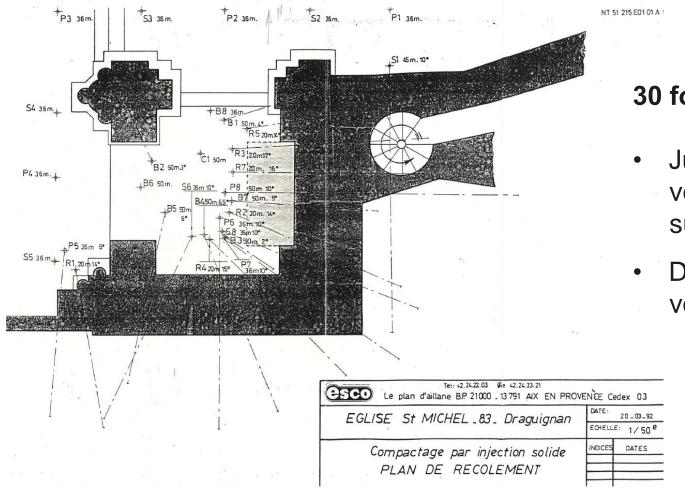








# **INJECTIONS SOLIDES SOUS LE CLOCHER 1992**



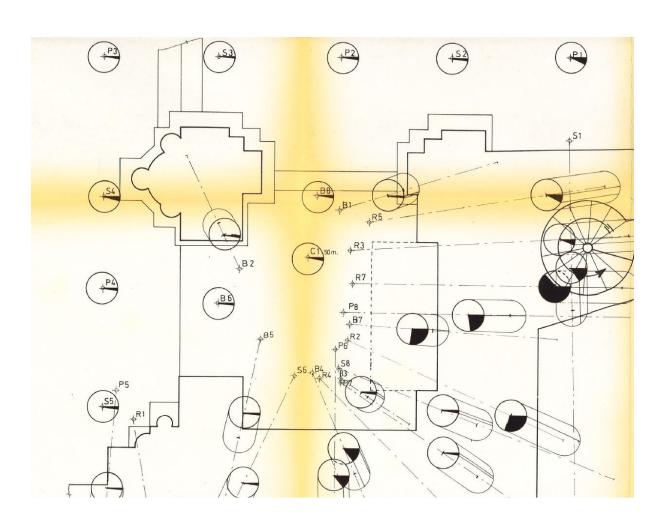
#### 30 forages d'injection au total

- Jusqu'à 20 m : volumes importants autour du pilier sud-est
- De 20 à 40 m : volumes dans la partie médiane

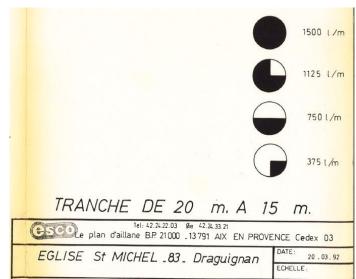




#### **INJECTIONS SOLIDES SOUS LE CLOCHER 1992**



# SYNOPTIQUE DES VOLUMES D'INCORPARATION



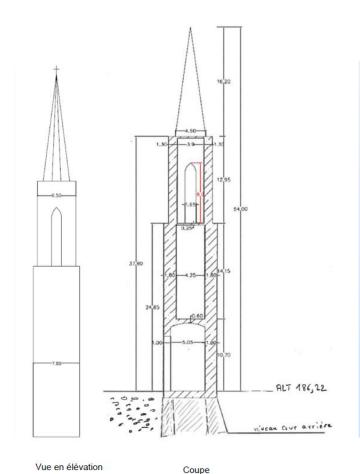


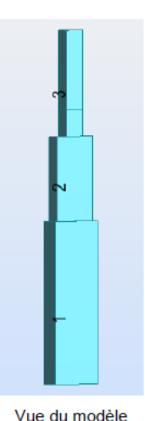
## COMPORTEMENT DE L'OUVRAGE

- Poursuite du tassement de l'ouvrage : abside, Tour du clocher.
- Tassement de l'ordre de 2 mm/an côté est et de 1 mm/an dans la partie médiane.
- Ralentissement des tassements par rapports aux années 80 et 90.
- Ralentissement du basculement de la tour du clocher.
- Est-ce que les injections solides sous la tour ont ralenti le basculement ?
- Effet favorable de la collecte des eaux de ruissellement autour de l'édifice.
- Structure : analyse de la stabilité de la Tour du clocher. Et la charpente en bois de la toiture.









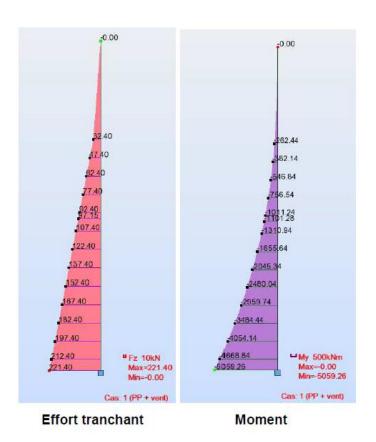
- Effet de l'inclinaison de la Tour,
- Stabilité et efforts internes sous l'action du vent,

région vent	V <sub>b,0</sub> [m.s <sup>-1</sup> ]	C <sub>dir</sub>	C <sub>season</sub>	V <sub>b</sub> [m.s <sup>-1</sup> ]
2	24	1	1	24

- La structure dessinée sur Autocad et modélisée sous Robot,
- Une valeur caractéristique de la résistance de la maçonnerie (pierre et mortier) à 8.3 MPa.
- Une valeur de calcul de la résistance de la maçonnerie à 8.3/3 = 2.8 MPa





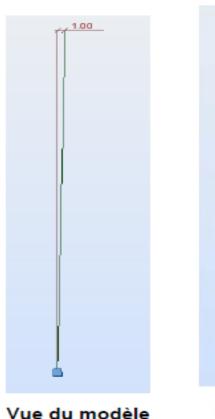


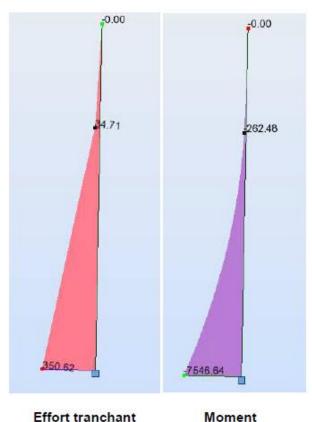
$\sigma_N[MPa]$	σ <sub>м</sub> [MPa]	σ <sub>totale</sub> [MPa]
0.49	1.19	1.67
0.46	1.09	1.55
0.41	0.95	1.36
0.37	0.82	1.18
0.32	0.69	1.02
0.28	0.58	0.86
0.23	0.48	0.71
0.18	0.39	0.57
0.14	0.31	0.45
0.17	0.55	0.72
0.14	0.41	0.55
0.10	0.30	0.40
0.06	0.21	0.27
0.01	0.14	0.16
	MAX =	1.67

Analyse de la structure sous vent réglementaire – Structure verticale







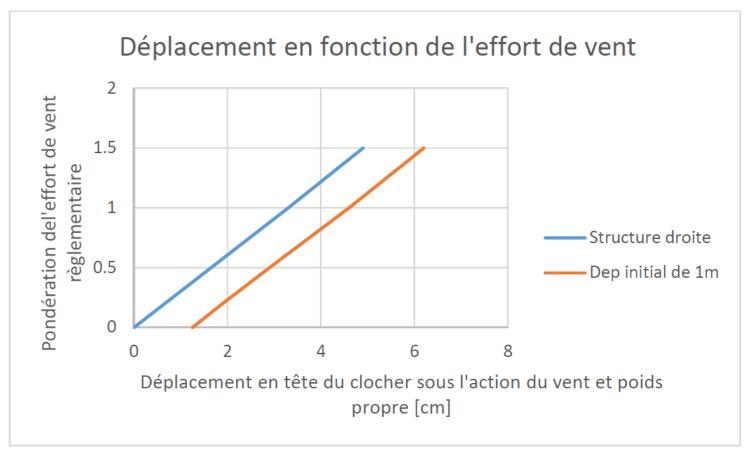


$\sigma_{N}[MPa]$	σ <sub>м</sub> [MPa]	$\sigma_{\text{totale}} \text{[MPa]}$
0.49	1.77	2.26
0.47	1.62	2.09
0.43	1.40	1.83
0.39	1.19	1.58
0.35	0.99	1.35
0.31	0.82	1.14
0.28	0.66	0.94
0.24	0.53	0.76
0.20	0.40	0.60
0.27	0.70	0.97
0.21	0.50	0.71
0.14	0.34	0.48
0.08	0.22	0.30
0.01	0.14	0.16
	MAX =	2.26

Analyse de la structure avec un déplacement en tête de 1 m (inclinaison de la tour) et vent réglementaire.







Analyse de la structure avec un déplacement initial de 1 m





Charge du vent majorée – pondération 1.5

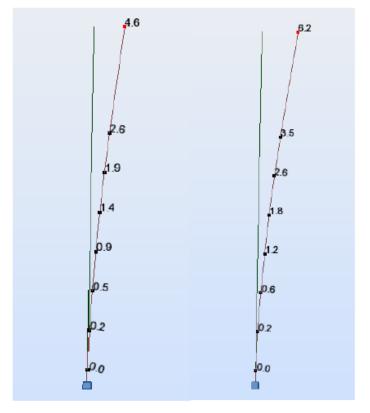
Le glissement des pierres : 
$$\frac{T}{N} = 0.41 > 0.39$$

Excès de contrainte de compression :

$$\sigma_{\text{max}}$$
 = 2.9 MPa >  $\sigma_{\text{lim}}$  = 2.8 MPa

Situation qui peut devenir critique

#### Déplacements en cm



Effort règlementaire

Cas pondéré (x1.5)





Poursuite des auscultations. Réflexion sur le matériel de mesure à mettre en place

Quel type de confortement structurel et des sols en place ?

# Merci pour votre attention



# Arcadis. Improving quality of life.