



# IMG C

## L'instrumentation de la bibliothèque du CNAM : problématiques et solutions

Journée Technique  
Vendredi 21 septembre 2017  
à l'Amphithéâtre AUGUSTE BRULÉ

Ludivine MOUATT – GINGER CEBTP

# Sommaire

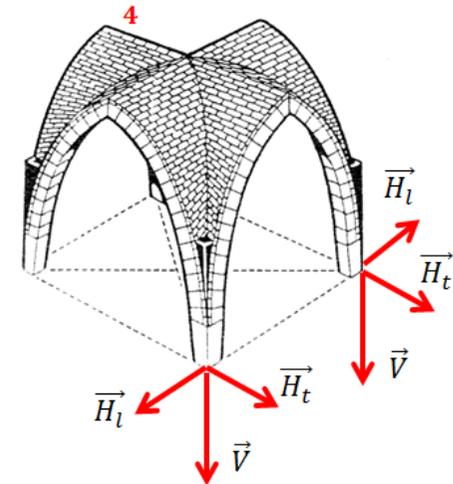
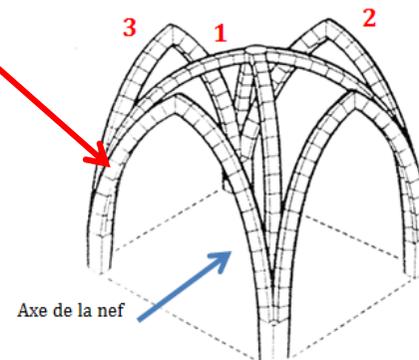
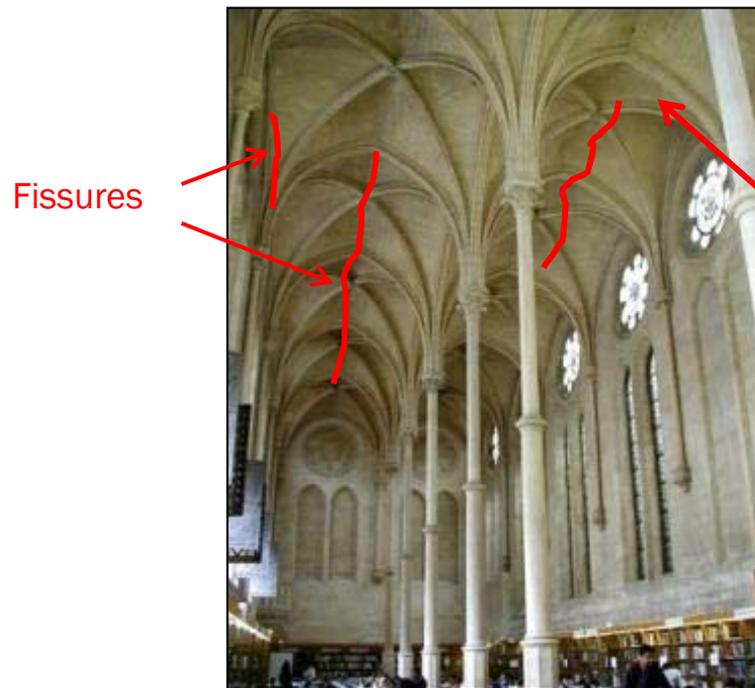
- Problématique
- Histoire
- Investigations et instrumentation
- Résultats
- Analyse



# Problématique

- Pathologies observées sur la bibliothèque du CNAM:

- Origine des désordres structurels ?
- Evolution des désordres?
- Coefficient de sécurité vis-à-vis de la rupture de la structure
- Réparations adéquates et optimales.



- Géométrie 3D complexe
- Maçonnerie:
  - Hétérogène
  - Non linéaire
  - Anisotrope

# Bibliothèque du CNAM

- Date de construction: 1230

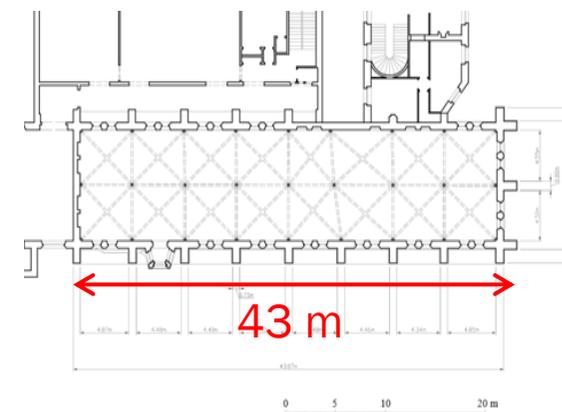
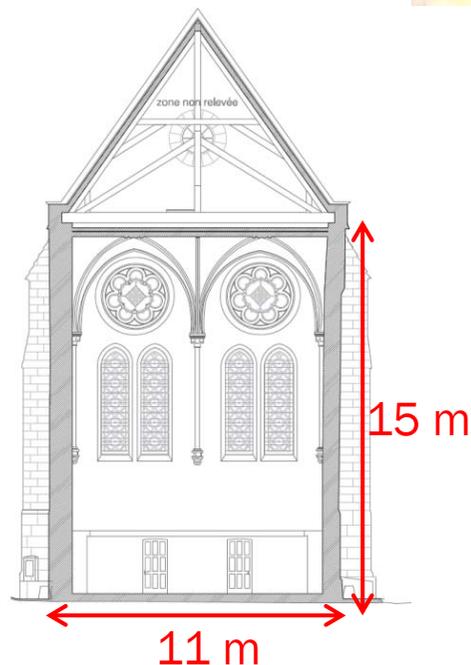
- Dimensions

- Deux rangées de voûtes à croisée d'ogives

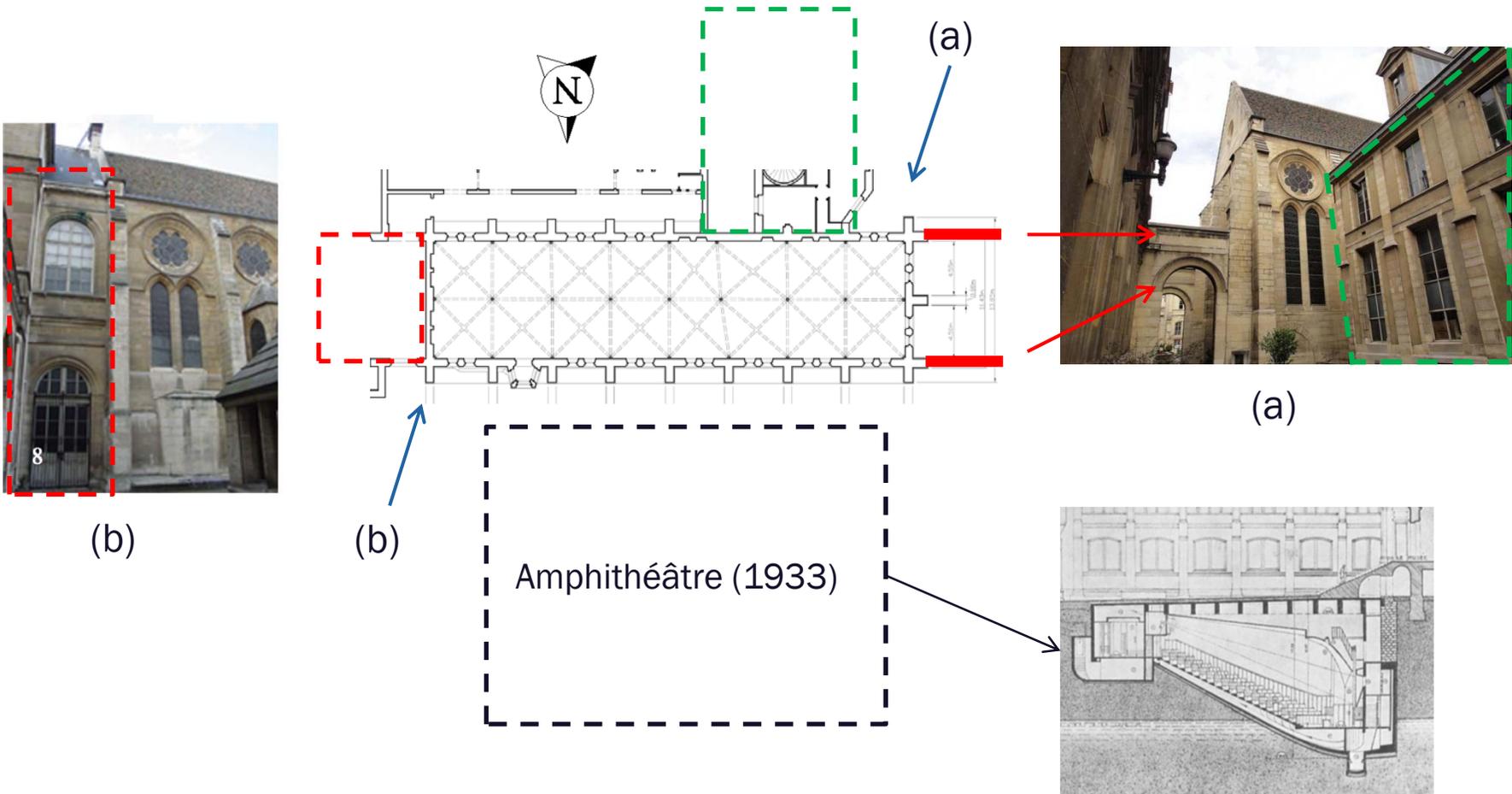


- Colonnes très élancées

- Maçonnerie de pierres calcaires appareillées  
liaisonnées par un mortier de chaux



- Environnement de la bibliothèque



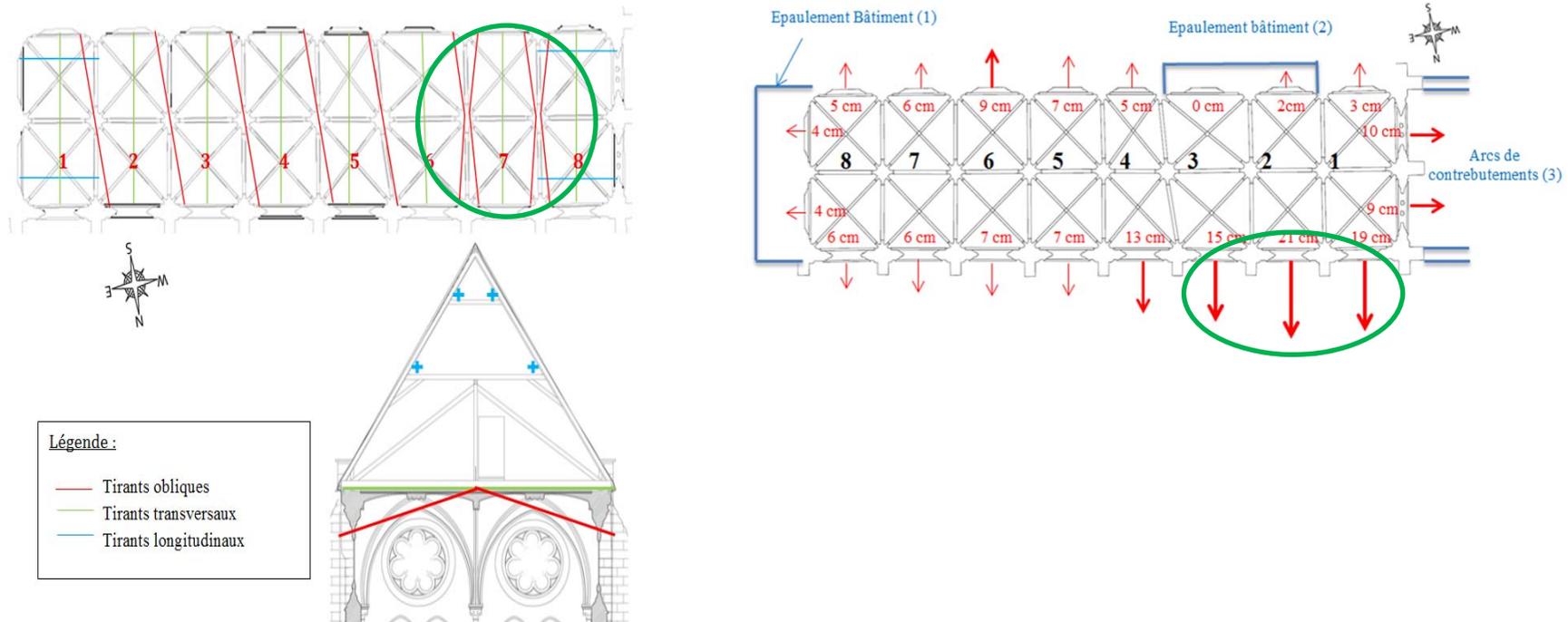
# Recherche Historique des Causes de Pathologies

- Etapes de la construction de l'édifice
  - Phasage:



- Conclusion:
  - Les dévers ont probablement été causés avant la mise en charge des voûtes :
    - Pas de déplacement observé pendant les années d'instrumentation
  - Causes probables:
    - échafaudages de construction, mauvais phasage de construction de la charpente
    - Amplifié par la déformation du mortier de chaux au jeune âge

- Construction d'un amphithéâtre souterrain (1933)
  - Présente une cause potentielle des désordres par modification de l'équilibre du sol
  - Cependant:
    - disposition particulière des tirants installés vers 1850
    - Mise en place de butées sur les façades de pourtour



# INSTRUMENTATION

# Fissuro-mètres

- Extensomètre potentiométrique linéaire (plage de mesure 25 mm et résolution 0,001 mm)
- Mesure et enregistrement en continu des capteurs

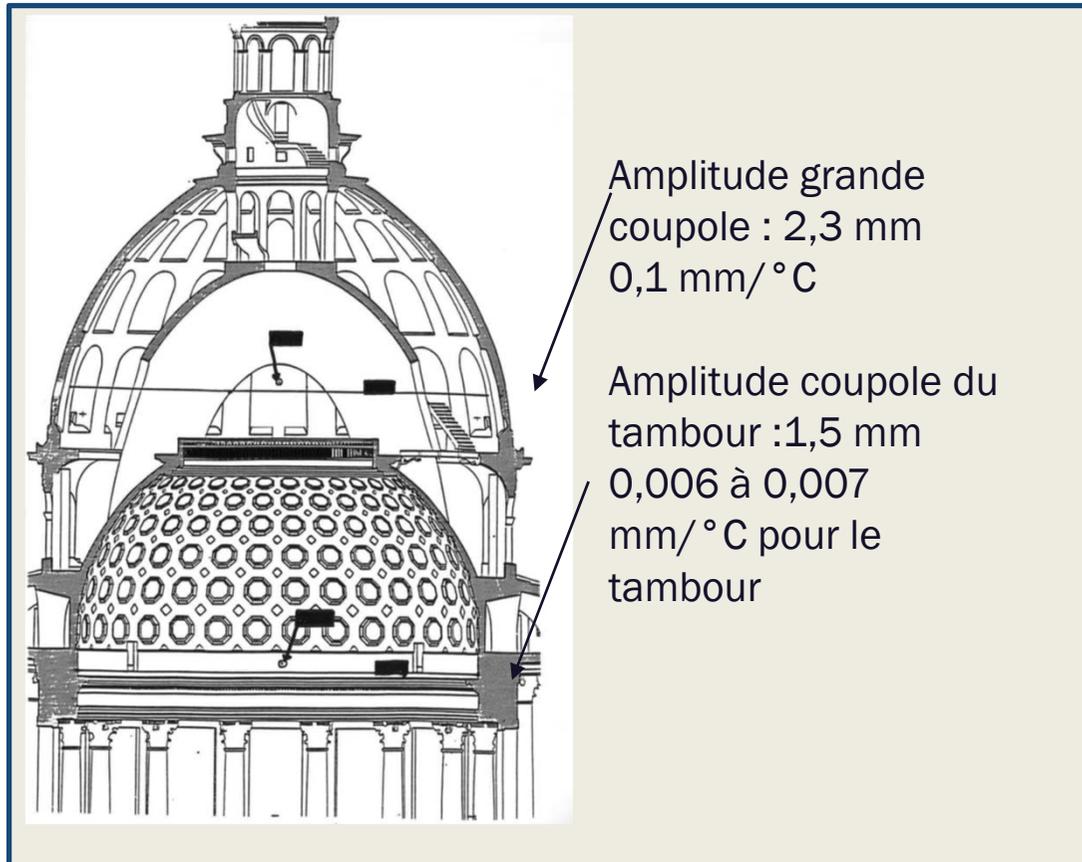


# Convergence-mètre

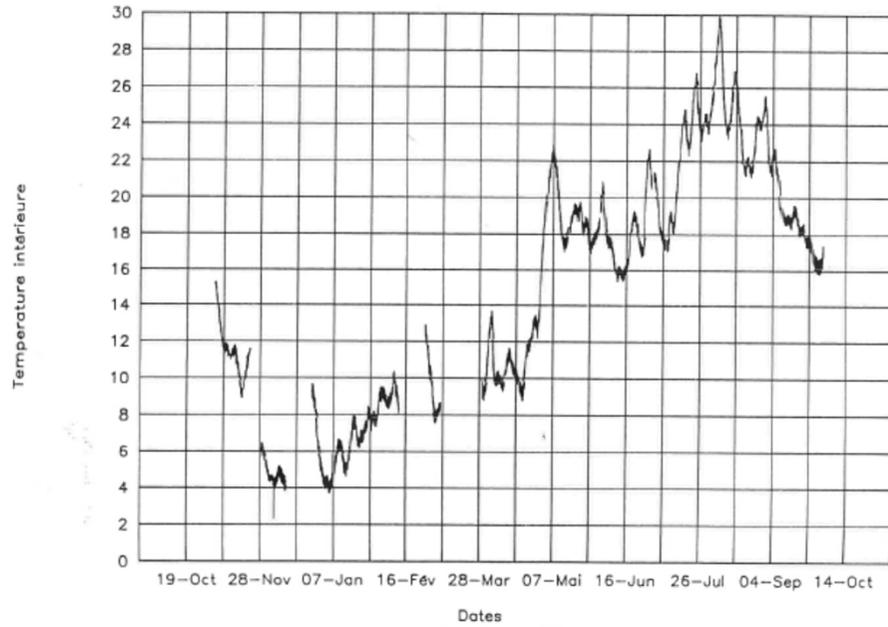
- Extensomètre potentiométrique linéaire,
  - la plage de mesure 25 mm
  - une résolution de 0,001 mm avec câble en fil invar,
- Mesure et enregistrement des capteurs en continu.

Mise en place de quatre convergence-mètre :

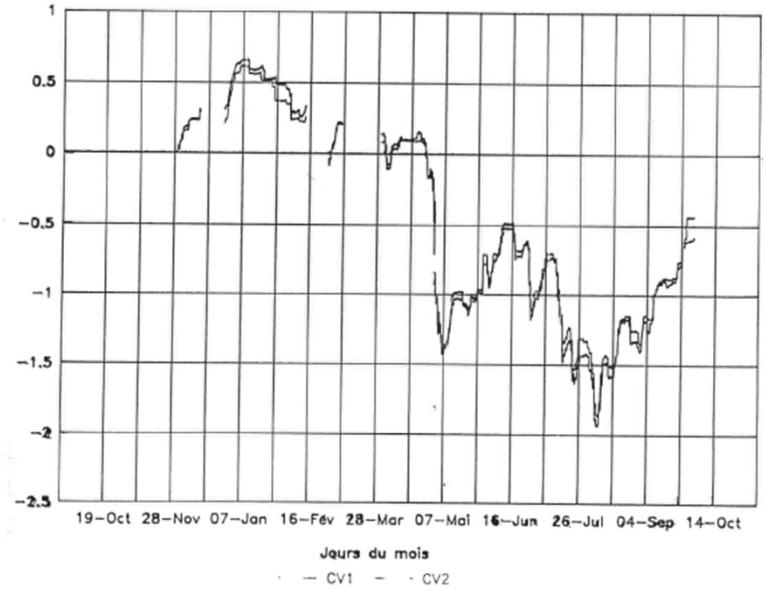
- deux au niveau de la grande coupole
- deux au niveaux du tambour



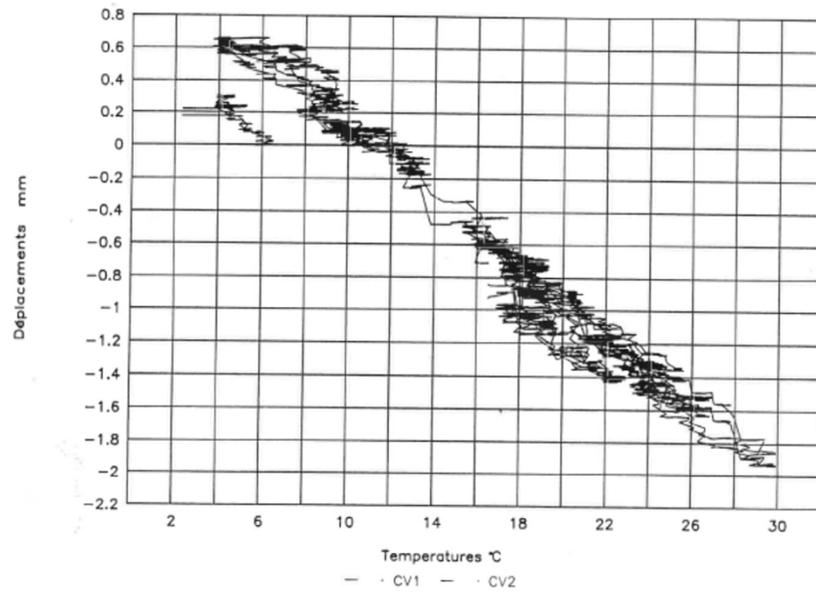
Grande coupole



Grande coupole  
Convergençemètres

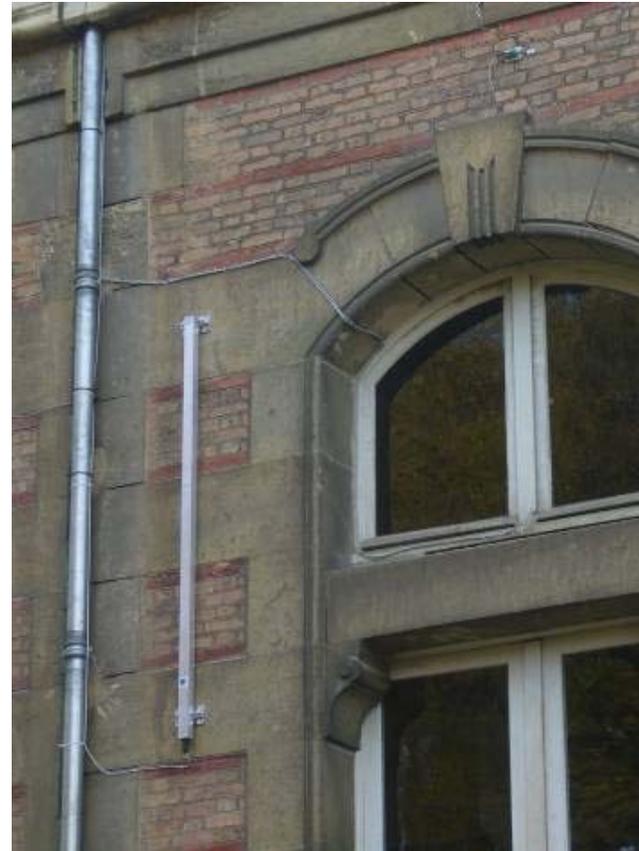


Grande coupole



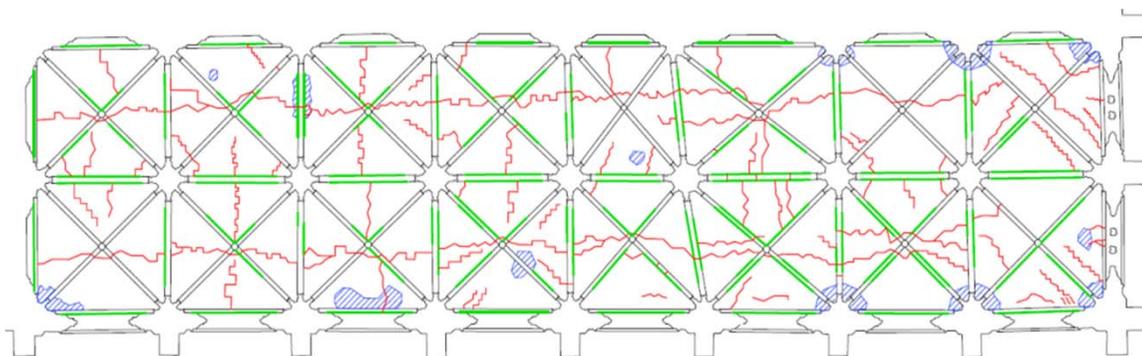
# Inclinometre

- mesure précise et à long terme des mouvements horizontaux associés à une inclinaison de la structure
- constitué d'un fil en acier invar
- L'étendue de mesure de ces pendules est de  $\pm 50\text{mm}$  avec une résolution soit  $0,001\text{mm}$ .
- Les capteurs sont raccordés à une centrale pour mesure et enregistrement en continu.

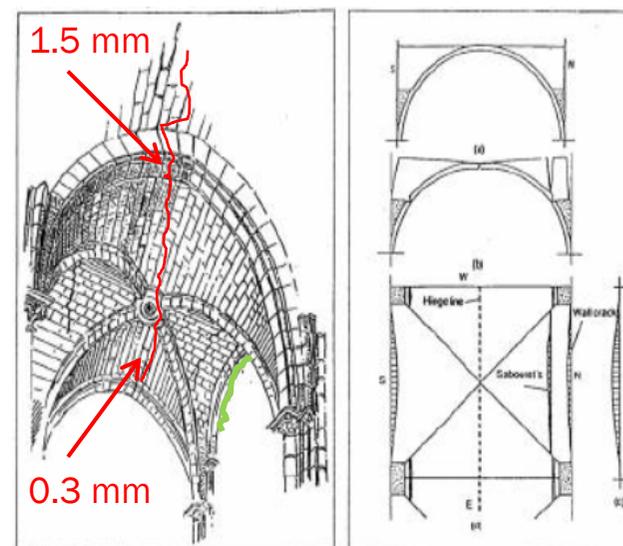


# Désordres observés

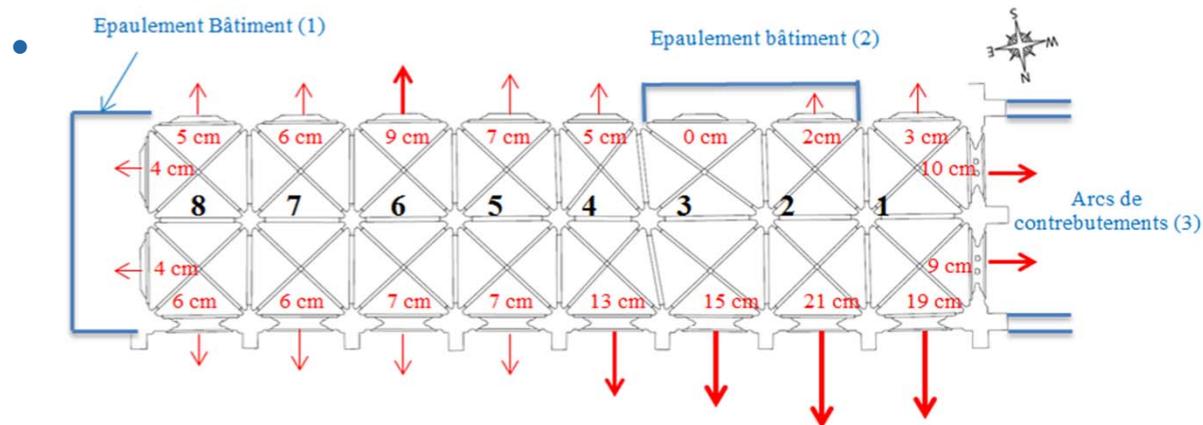
- Fissuration présentant une ouverture relativement constante :
  - Fissuration longitudinale en clé de voûte
  - Fissuration de désolidarisation nervure voûtains



Légende: — Fissure sur voûtain  
 — Fissure de désolidarisation Nervure/Voûtain  
 ▨ Traces d'humidités



(a) [Abraham, 1934], (b) [Heyman, 1997]

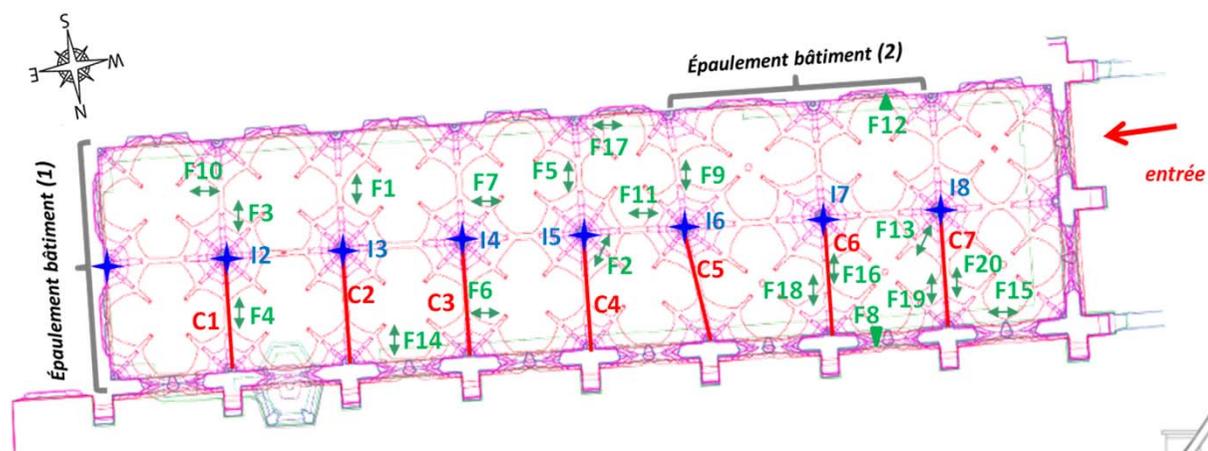


Corrélation entre dévers mesurés et environnement de la bibliothèque!

- Cause probable sur des 2 types de désordres (fissures et dévers):
  - Remarque importante: les deux types de désordres ne sont pas nécessairement le résultat d'une même cause.
  - 3 possibilités:
    - Poussée générée sur les contreforts vers l'extérieur
      - Voûtes? Echafaudages de construction?
    - Rotation ou dénivellation d'appui
    - Diminution des caractéristiques mécaniques des maçonneries?
  - Ces 3 possibilités peuvent se combiner

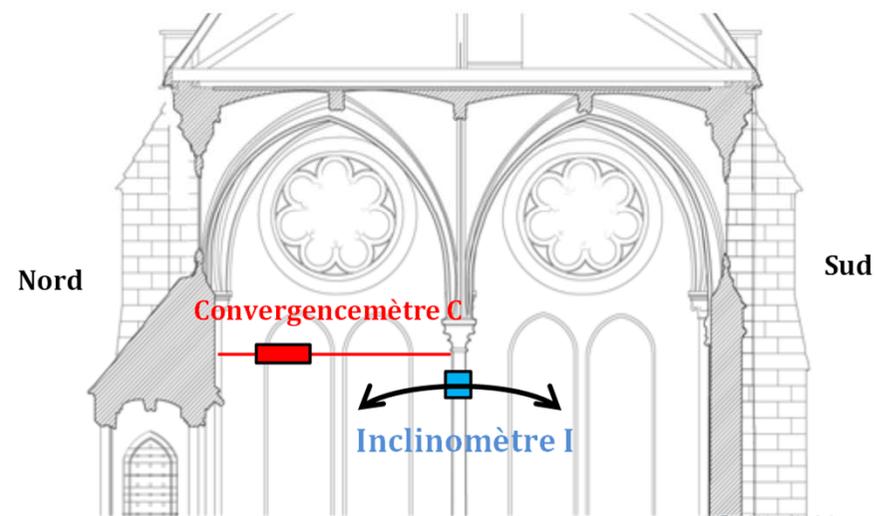
# Evolution des pathologies aujourd'hui

- Mise en place d'une instrumentation depuis 2009
- Fissuromètres, Convergencemètres, inclinomètres

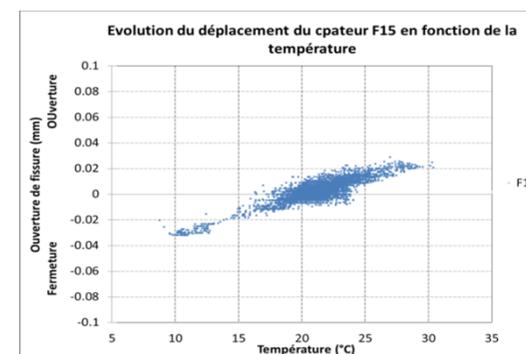
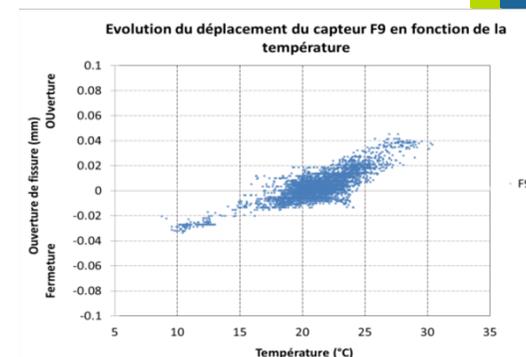
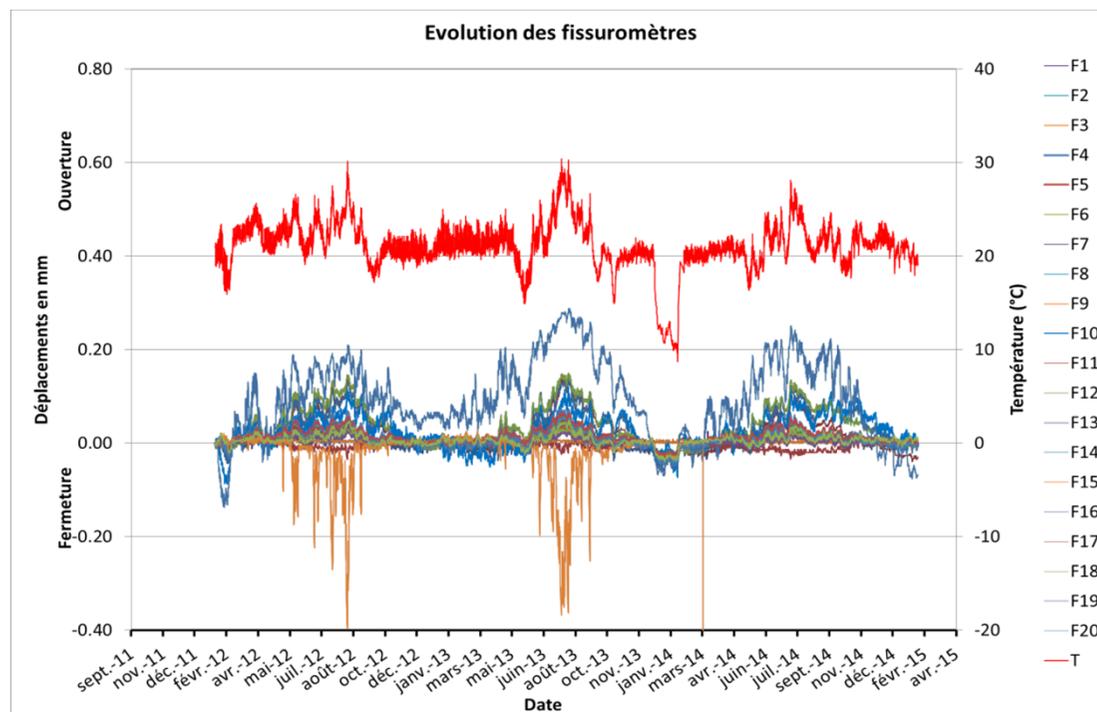


## Légende

- convergencemètre
- ★ inclinomètre
- ↔ capteur de déplacement sur fissure

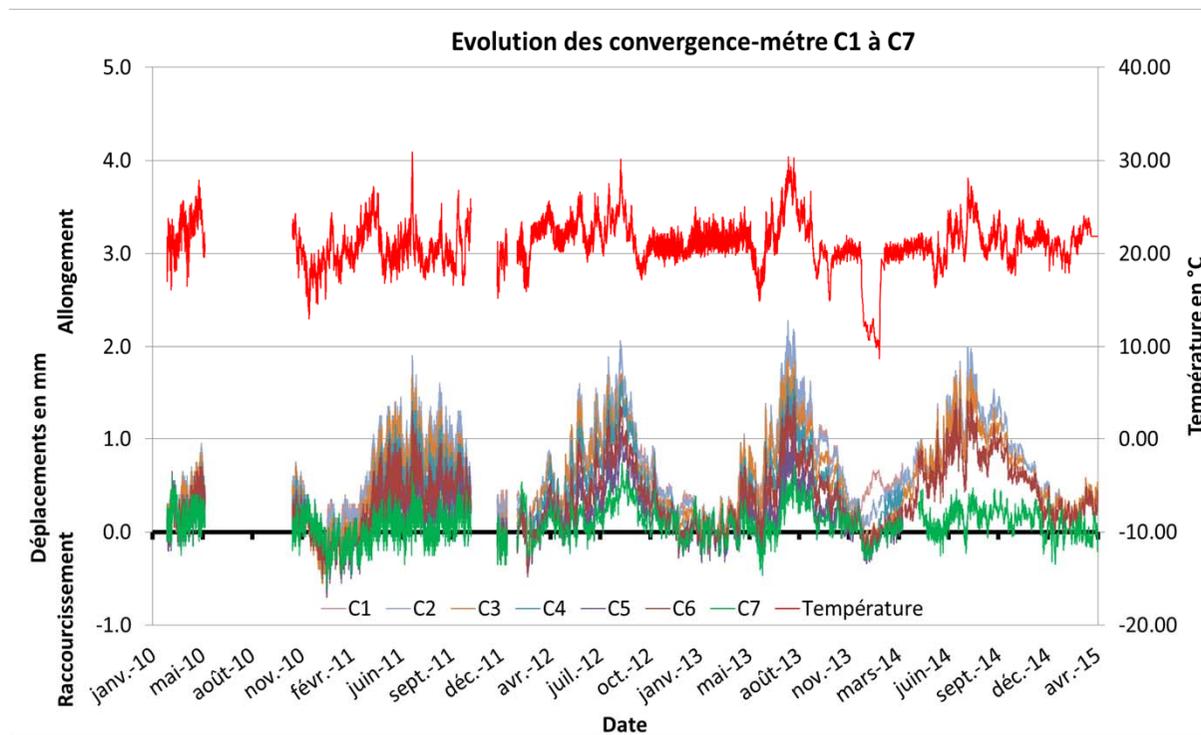


- Mise en place d'une instrumentation depuis 2009
  - Fissuromètres



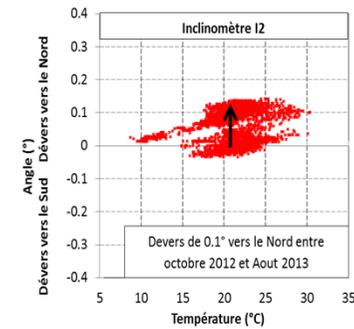
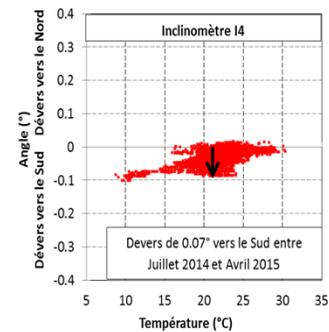
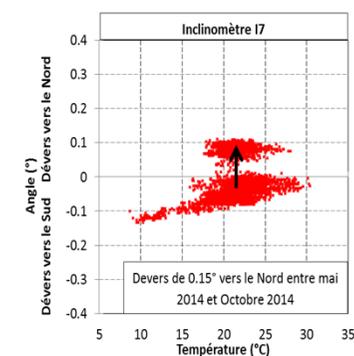
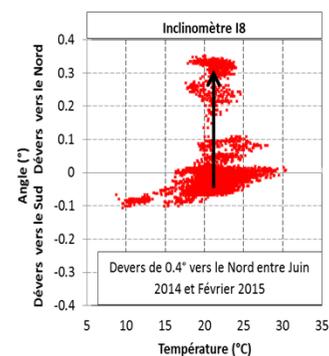
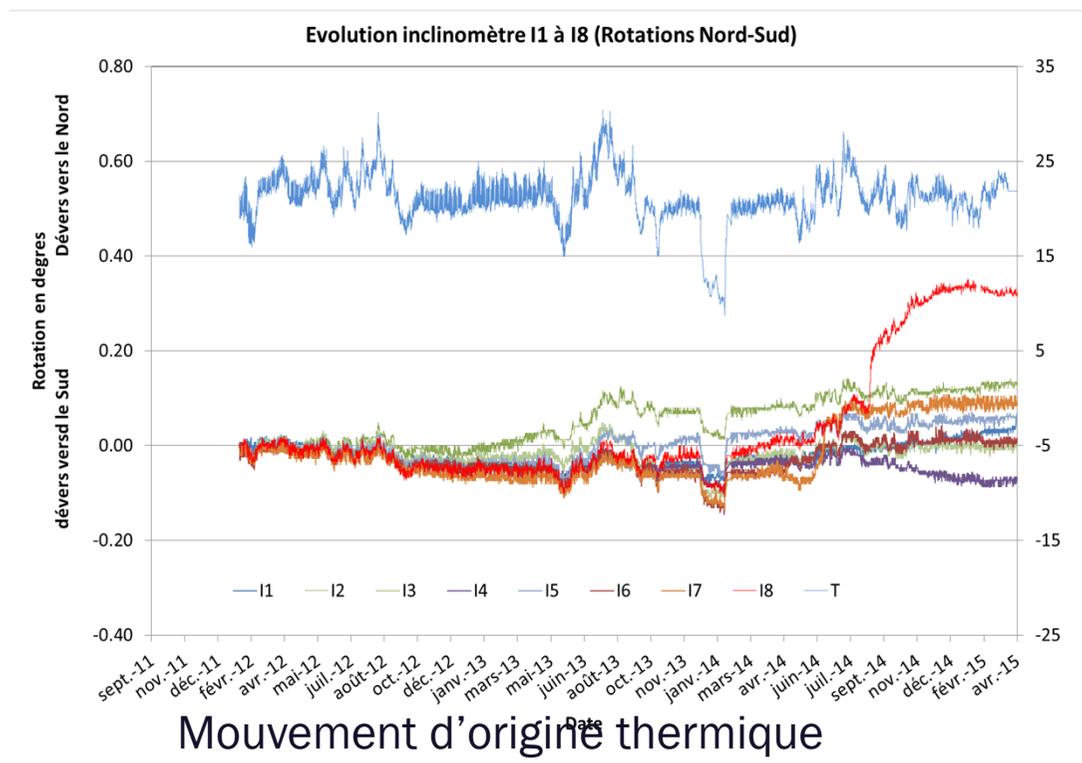
- Mouvements d'origine thermique
- Dépendance linéaire positive entre température et ouverture

- Mise en place d'une instrumentation depuis 2009
  - Evolution des distance entre appui de voûte



- Mouvements d'origine thermique
- Dépendance linéaire positive entre température et ouverture:
  - En été, dilatation des voûtes, de la charpente

- Mise en place d'une instrumentation depuis 2009
  - Evolution des rotations en tête de colonne



Mouvement d'origine non expliquée

# instrumentation

- Synthèse:
  - Mis à part des rotations irréversibles: l'ensemble des mesures indiquent une stabilité de la structure
  - En été: dilatation thermique des voûtes et de la charpente qui entraîne
    - Ouverture des fissures
    - Écartement des appuis

# Conclusion sur la stabilité de la bibliothèque du CNAM

- Les causes des désordres
  - Fissuration des voûtes
    - Liée à l'écartement des appuis de l'ordre du cm lors de leur mise en charge
  - Dévers
    - Les dévers semblent donc avoir une cause plus lointaine (avant la mise en charge des voûtes)
    - Dévers déjà observés en 1850 (disposition particulière des tirants)
    - Cause potentielles: poussée des échafaudages de construction, mauvais phasage constructif de la charpente
    - La poussée des voûtes ne peut être la cause principale de ces dévers (absence de glissement relatif en charpente et tête de mur)
    - Aucune des observations faites pendant les années d'instrumentation ne permet de mettre en évidence des mouvements de glissement
- Evolution stable des désordres sur la période d'instrumentation

# Conclusions à ce stade de l'étude

- Rappel des objectifs:
  - Origine des désordres structurels ?
  - Evolution des désordres?
  - Coefficient de sécurité vis-à-vis de la rupture de la structure?
- Premières réponses:
  - A priori, origine lointaine dans le temps (échafaudages?)
  - Evolution stable des désordres
  - La poussée des voûtes doit avoir une influence négligeable
- Pour valider ces premières conclusions et établir un coefficient de sécurité:
  - Modélisation structurelle de la bibliothèque du CNAM
  - Adaptation de l'instrumentation sur une période plus longue pour être représentatif de la vie de l'ouvrage

**Merci de votre attention**