Identification et pathologie du patrimoine en ciment naturel de la région de Marseille

Myriam Bouichou

Elisabeth Marie-Victoire - Philippe Bromblet - Claire Valageas - Luca Baldazzi

" Les ciments naturels dans le patrimoine européen: histoire, propriétés, applications et conservation "

" Natural cements in European cultural heritage : history, properties, applications and conservation "

PARIS - 26 avril 2012 / 26th April

Contexte

- Marseille et sa région
  - de nombreux exemples de patrimoine en ciment naturel du XIX^{e} siècle, en particulier les façades en enduit-ciment,
  - mais patrimoine méconnu et donc peu, ou mal, restauré.

Objectifs

- Recenser les ciments naturels marseillais et leurs applications
- Caractériser les différents types de ciment
- Identifier les pathologies du patrimoine en ciment naturel

Etapes

1. Etude historique
2. **Enquête de terrain**
3. **Caractérisation des matériaux**

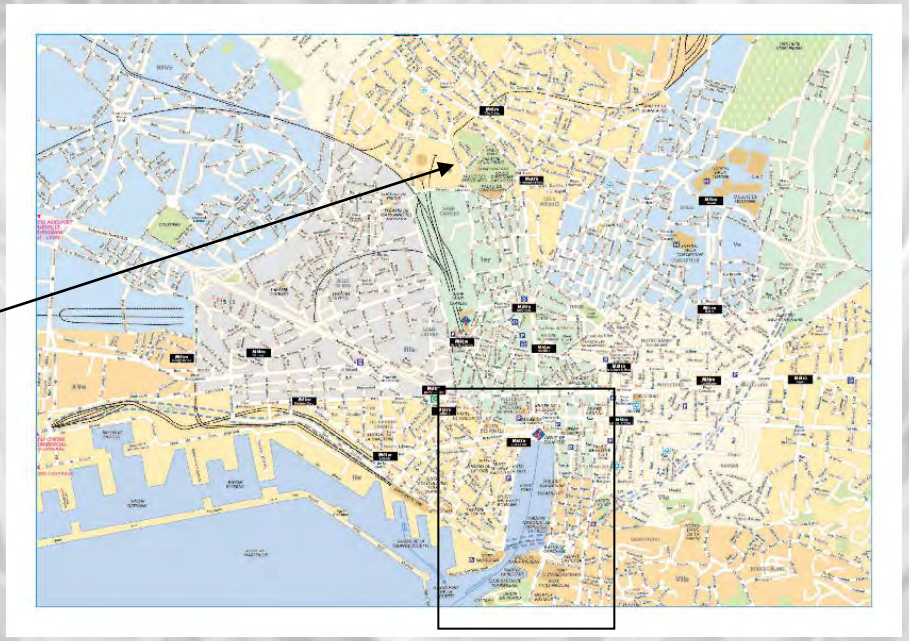
Enquête de terrain

Enquête de terrain

- Recensement
  - des édifices
  - des différentes formes d'enduit-ciment
  - des pathologies
  - des rénovations

Enquête de terrain

- 40 réalisations examinées
- Autour du vieux port :
  - quartier du Panier
  - quartier Noailles
  - quartier Belsunce
- Parc Longchamps



Enquête de terrain

Base de données

Panier



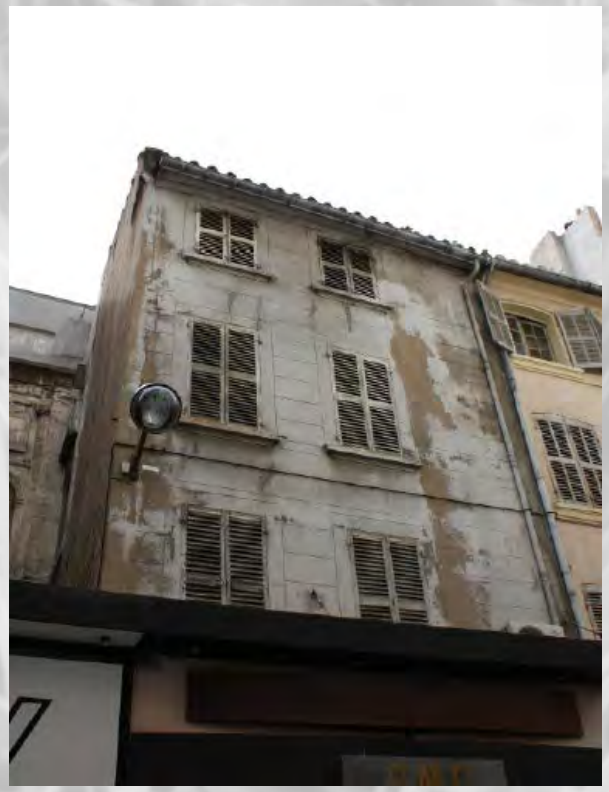
Noailles



Enquête de terrain
Applications

- Enduit avec tracés simples de faux joints





Quartier Belsunce : rue du Tapis vert

Enquête de terrain
Applications

- Enduit avec tracé simple de joints et décorations de portes et fenêtres





Quartier de Noailles : Rue d'Aubagne

Enquête de terrain
Applications

- Enduit avec effet de matières et décorations
  - *Effet poli*





Quartier de Noailles : Rue Pisançon, 1878

Enquête de terrain
Applications

- Enduit avec effet de matières et décorations
  - *Effet granulat apparent*







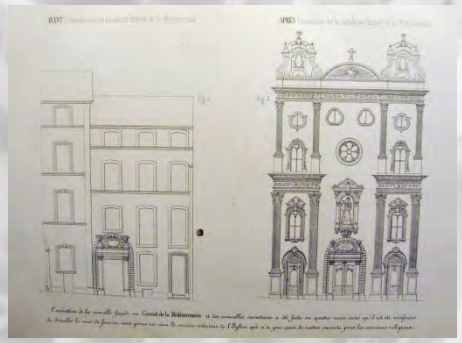
Quartier du Panier : place Daviel

Enquête de terrain
Applications

- Façade enduit-ciment avec des décorations complexes



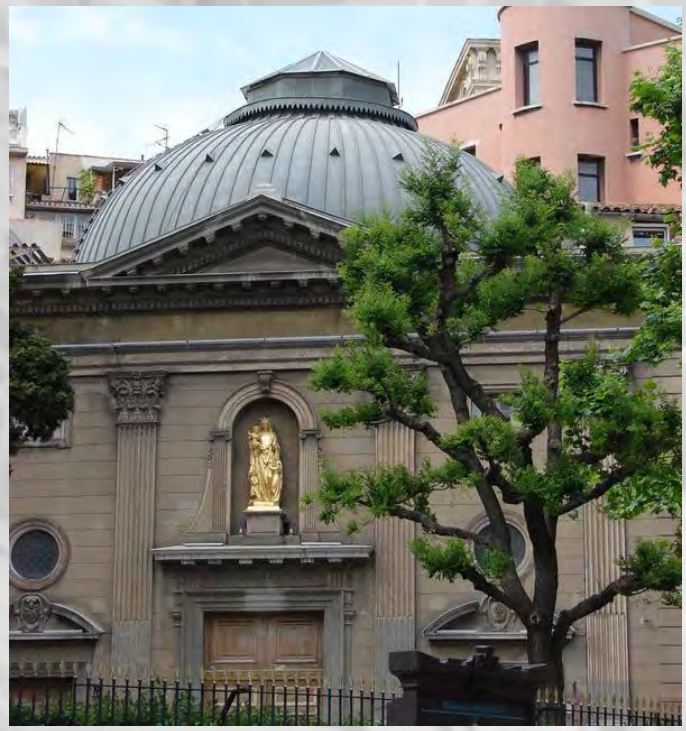
Eglise de La Mission de France, 1860





Enquête de terrain
Applications

- Façade enduit-ciment avec des décorations complexes

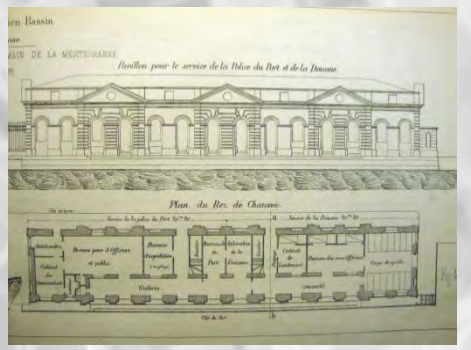






Chapelle du Calvaire

Enquête de terrain
Applications



- Bâtiments particuliers



Bâtiments de la consigne sanitaire, 1858, Vieux-Port, Marseille

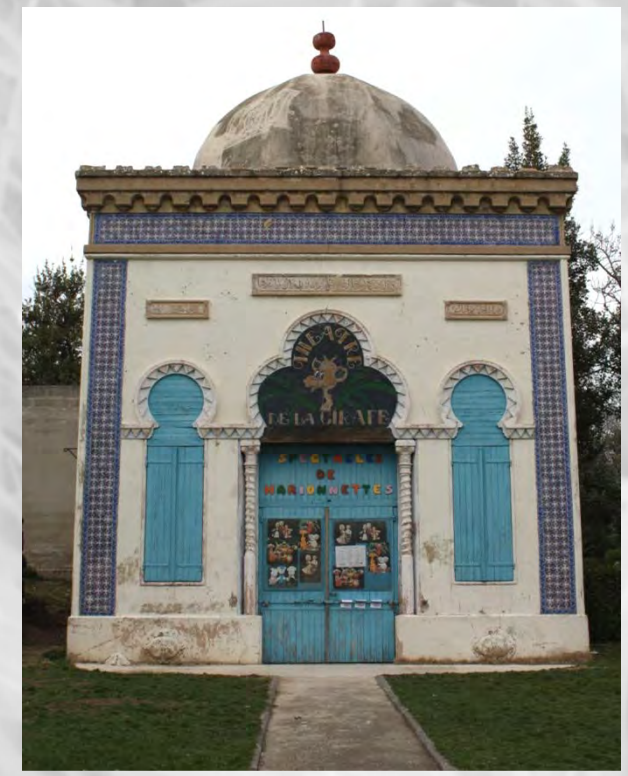




Enquête de terrain
Applications



- Bâtiments particuliers







Pavillon mauresque de la girafe, 1858, parc Longchamps

Enquête de terrain

Les plaques

- En métal, scellées
- Gravées, estampées…











Enquête de terrain

Les plaques

- Moulées, à Marseille...







Enquête de terrain
Pathologies

- Faïençage
  - sur enduit



Bâtiments de la consigne sanitaire, 1858, Vieux-Port, Marseille

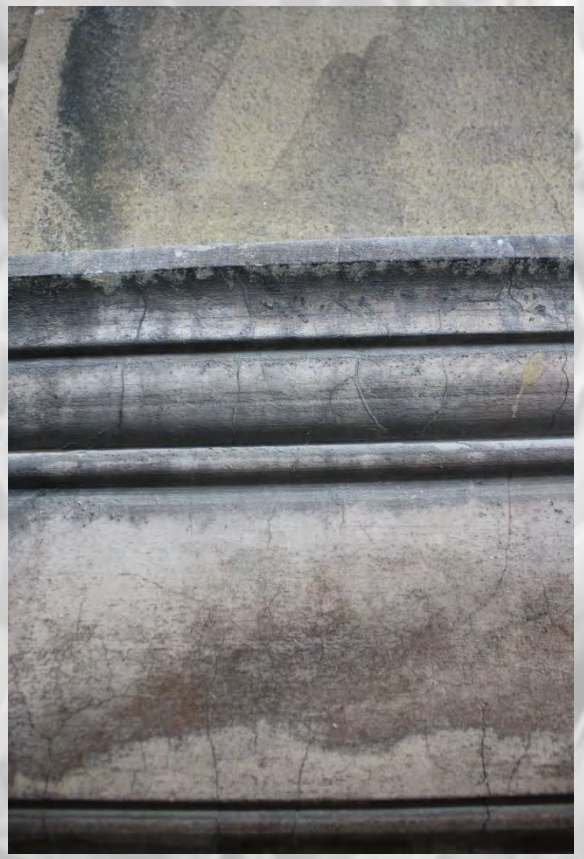


Pavillon de la girafe, parc Longchamps

Enquête de terrain
Pathologies

- Faïençage
  - sur modénature





Enquête de terrain
Pathologies

- Ecaillages, épaufrures et efflorescences
  - sur moulages







Enquête de terrain
Pathologies

- Décollement d'enduit



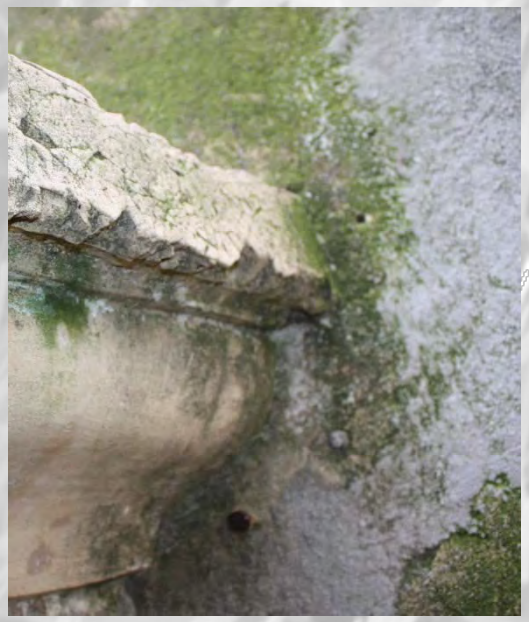


Enquête de terrain
Pathologies

- Salissures noires et recouvrement biologique



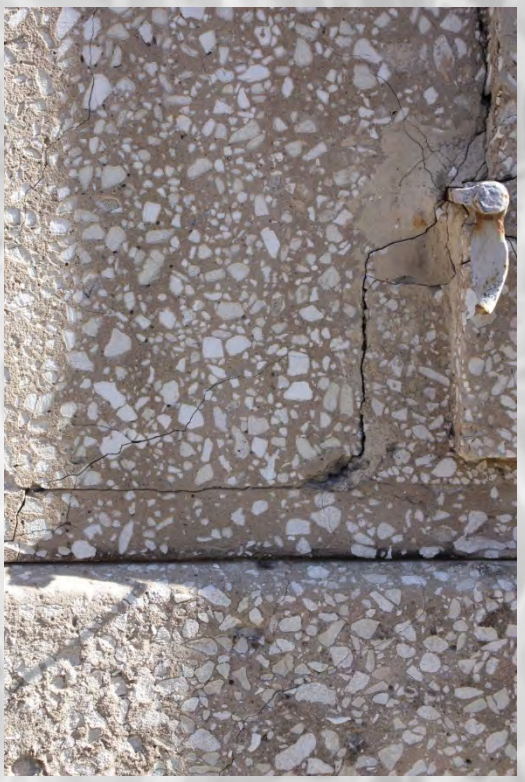




Enquête de terrain
Pathologies

- Dégradation particulière : érosion







Enquête de terrain
exemples de rénovation

- Ravalement avec peintures (minérale ou organique)





- Réparation traditionnelle avec du ciment Portland



Enquête de terrain - Bilan

- 40 édifices examinés
- Une multitude d'applications *(enduit, moulage, tirage au gabarit, effet poli, granulats apparents…)*
- 8 types de pathologies identifiées sur les mortiers de ciment *(faïençage, écaillage, épaufrures, efflorescences, décollement d'enduit, salissures noires, recouvrements biologiques, érosion)*
- 4 sites test sélectionnés (représentativité, difficultés de prélèvement…)

Caractérisation des matériaux

Caractérisations des matériaux

4 Sites de prélèvements

Eglise Notre Dame
des Accoules



→ Enduits

Chapelle du Calvaire

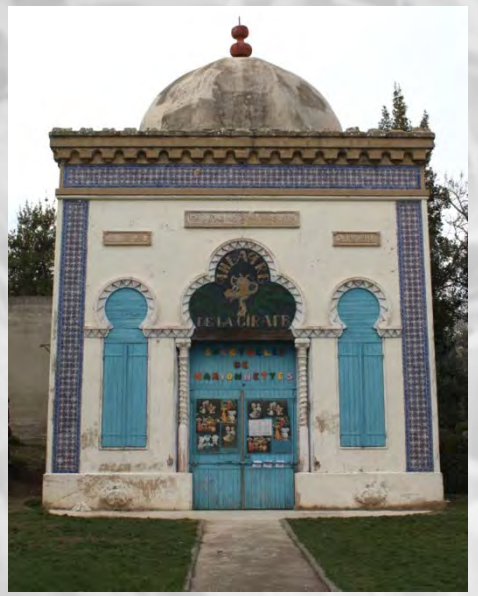


→ Enduits
Moulures
Tirages au gabarit

Caractérisations des matériaux

4 Sites de prélèvements

Pavillon mauresque
de la girafe



Enduits
Tirages au gabarit

Pavillon de l'intendance sanitaire



Enduits
Tirages au gabarit

Caractérisations des matériaux

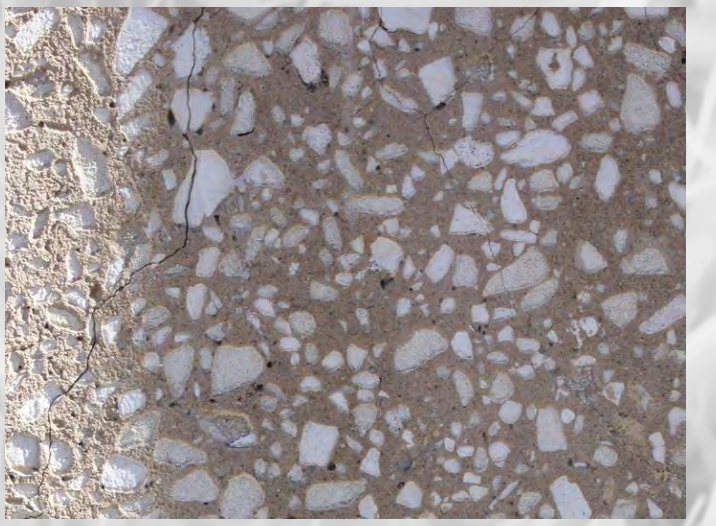
4 Sites de prélèvements

- + 2 prélèvements ponctuels

24 rue du Tapis vert



Place des Moulins



Caractérisations des mortiers

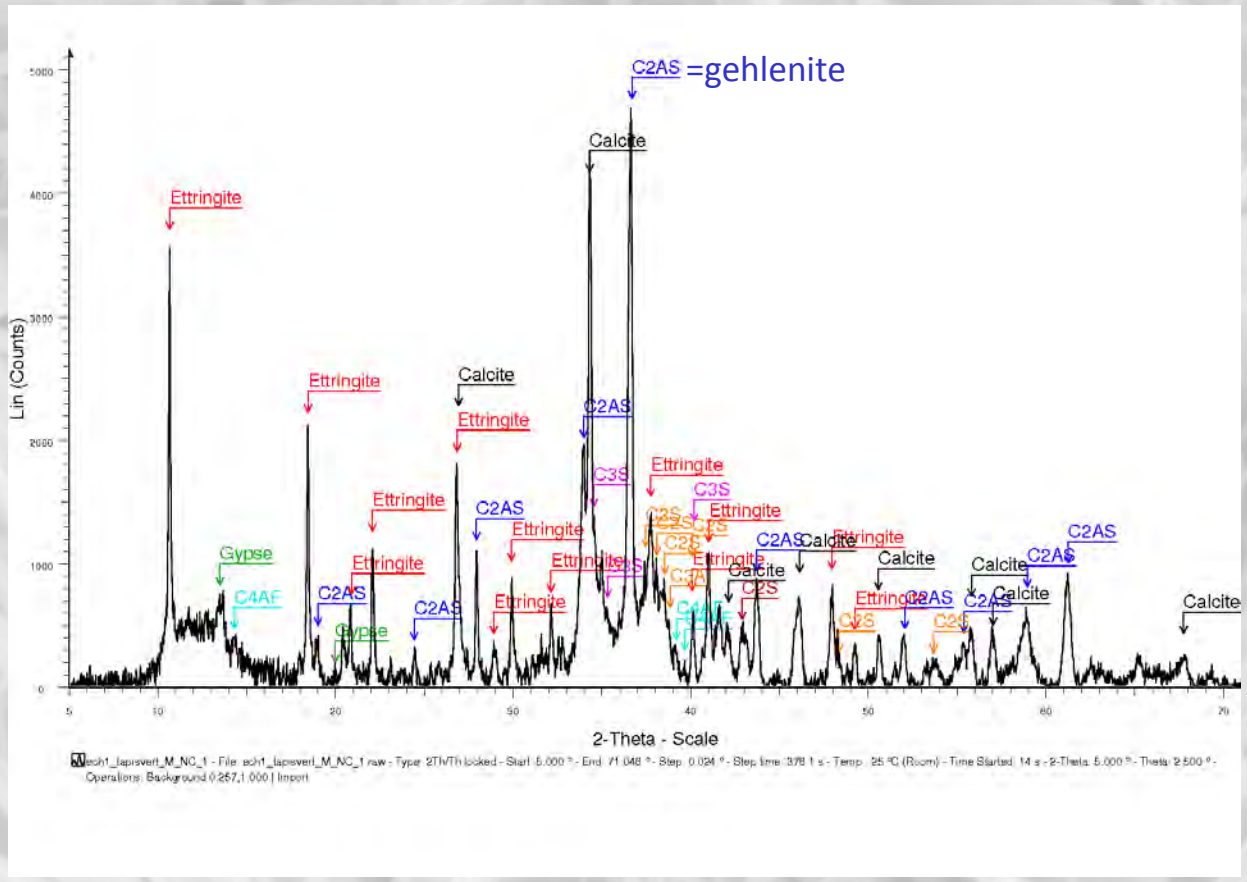
- Liants très peu étudiés, peu/pas de références
- Liants différents des Portland actuels (cuisson, cristallisation…)

Nécessité de mise au point d'un protocole analytique pour l'identification et la caractérisation des ciments naturels

Diffraction des Rayons X + **Microscopie Electronique à Balayage couplée à une analyse élémentaire** + **Microscopie optique avec attaque chimique**

Caractérisation des phases cristallisées

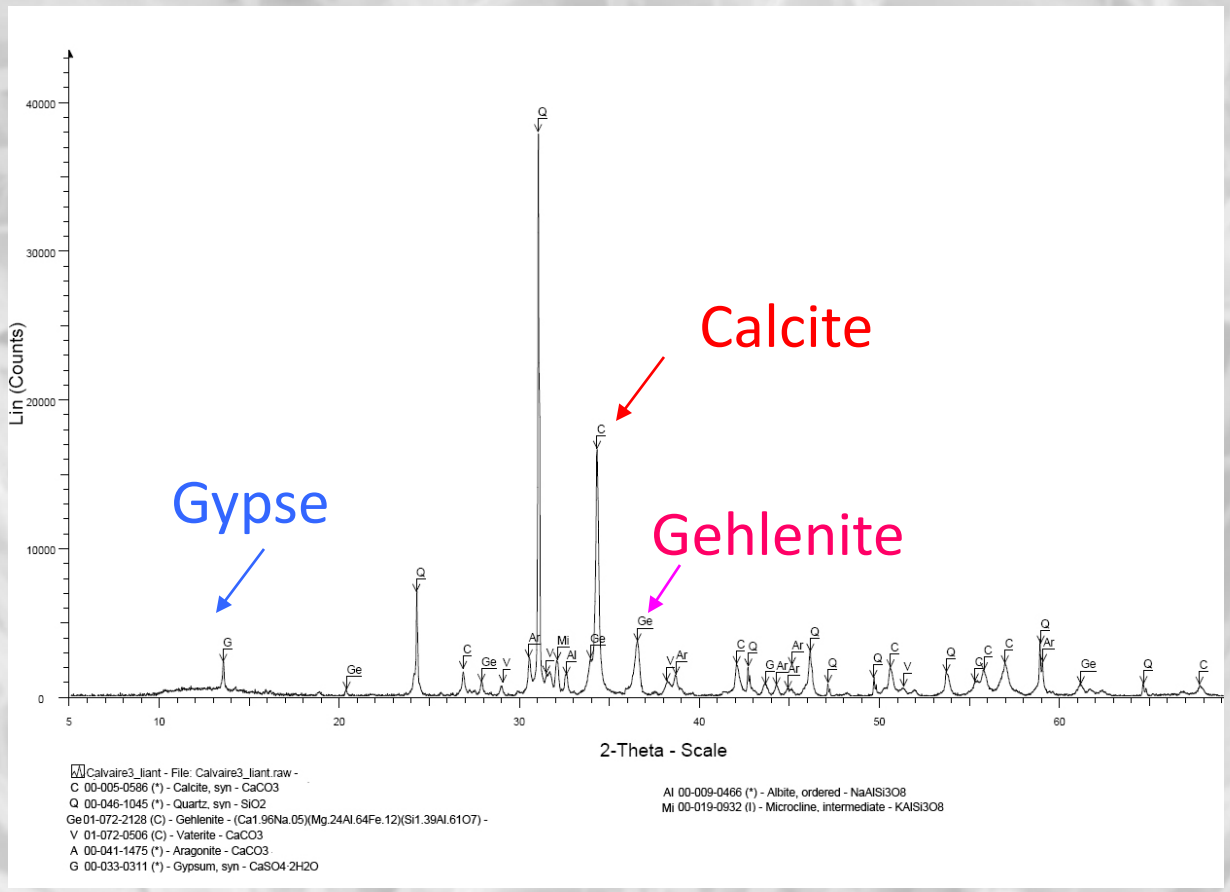
Diffraction des Rayons X



Diffractogramme sur poudre d'un échantillon ***non carbonaté*** *de* ***mortier riche*** *provenant d 'une modénature, Marseille*

Caractérisation des phases cristallisées

Diffraction des Rayons X



*Diffractogramme sur poudre d'un échantillon **carbonaté** de **mortier pauvre** provenant d'un enduit, Marseille*

Caractérisation des phases cristallisées

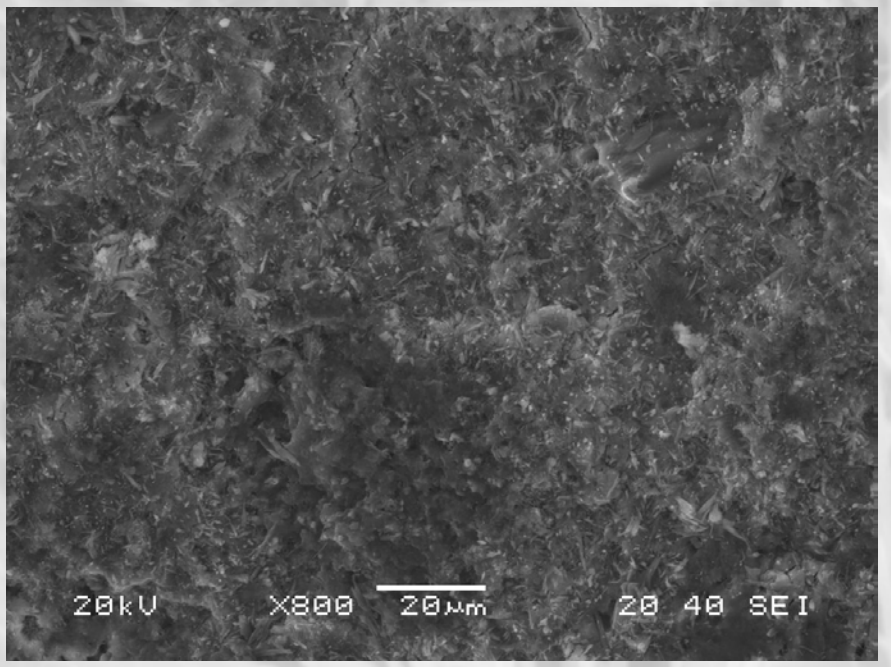
Diffraction des Rayons X

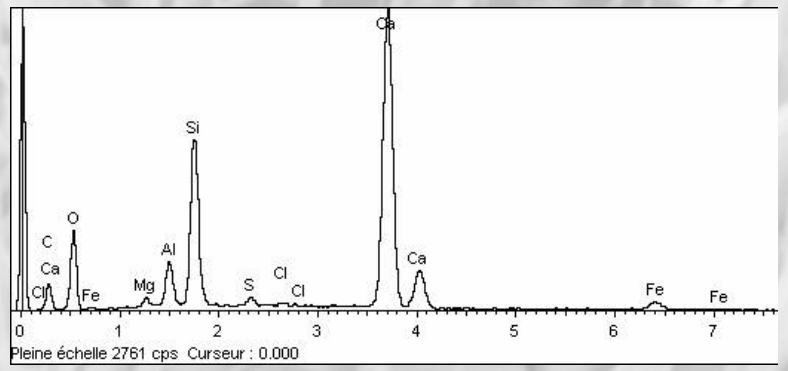
- Première information rapide sur la nature du liant
- Mortier pauvre en liant : éléments anhydres non détectés
- Mortier carbonaté : phases hydratées originelles du liant non présentes
- Pas d'information sur les éléments peu ou pas cristallisés

⇨ **Nécessité d'utiliser les techniques de microscopie**

Caractérisation des phases hydratées
Microscopie électronique à balayage

Zone non carbonatée : matrice = phases C-A-S-H, (silico-aluminates de calcium hydratés) et fins cristaux d'ettringite



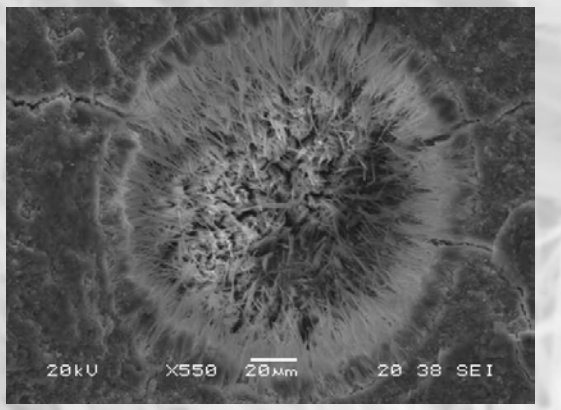


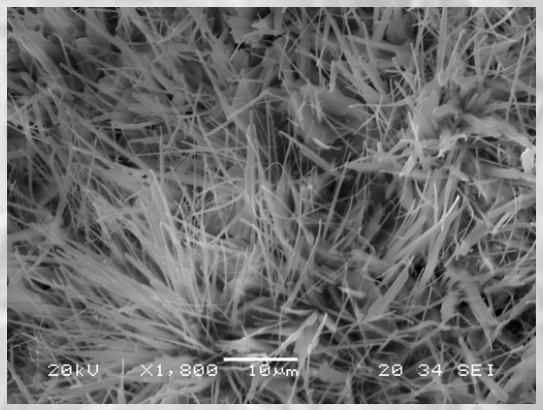
Observations sur fracture d'un échantillon de mortier provenant d'une modénature, Marseille, rue du tapis vert

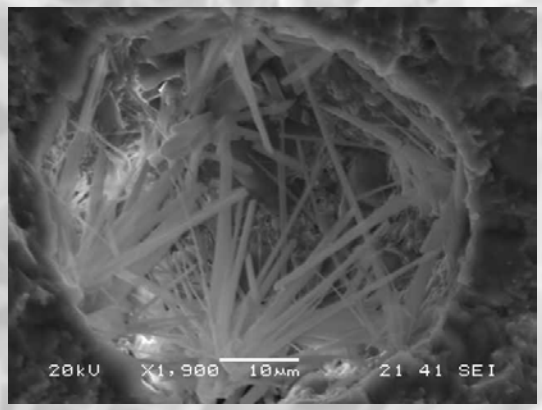
Caractérisation des phases hydratées

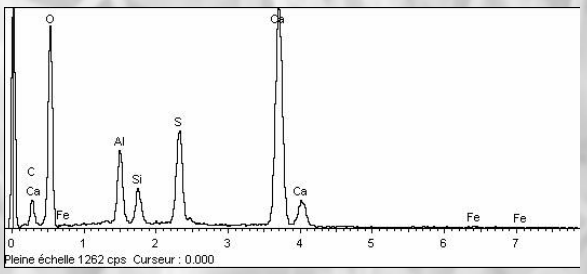
Microscopie électronique à balayage

Zone non carbonatée : porosité = ettringite, cristallisation en aiguille







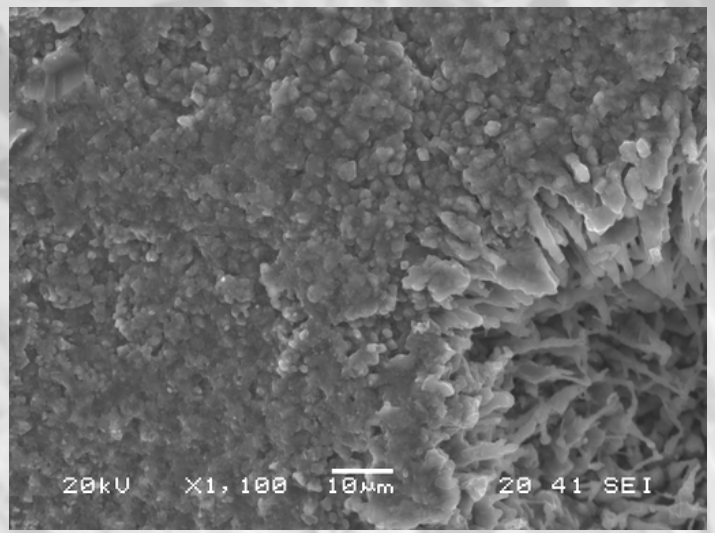


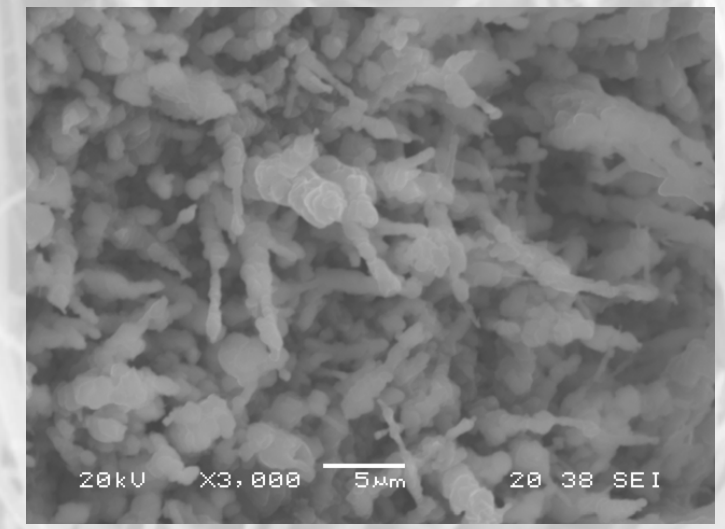
Observations sur fracture d'un échantillon de mortier provenant d'une modénature, Marseille, rue du tapis vert

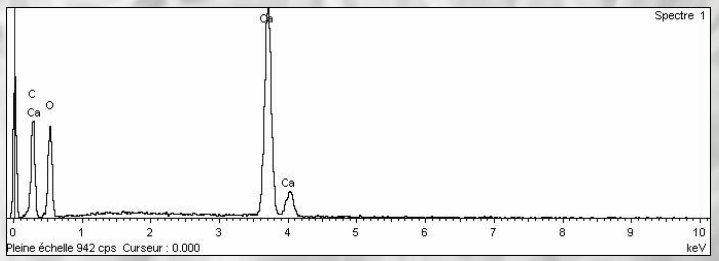
Caractérisation des phases hydratées

Microscopie électronique à balayage

Zone carbonatée : Calcite





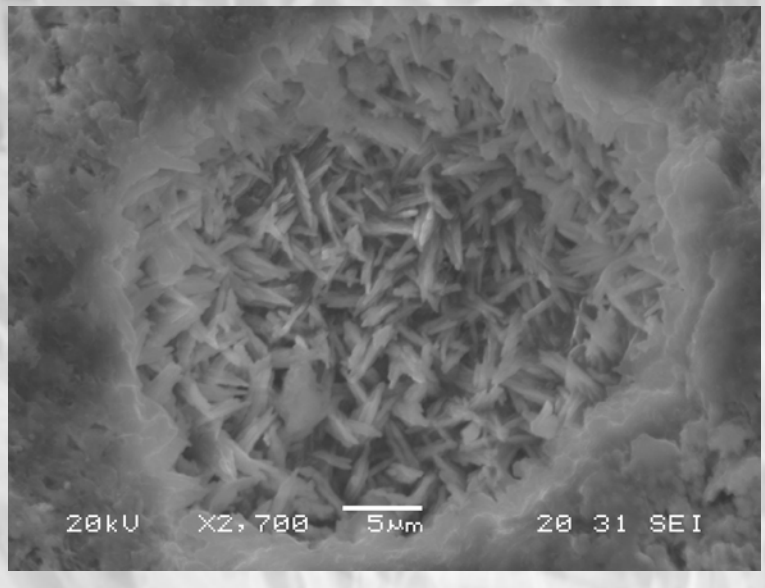


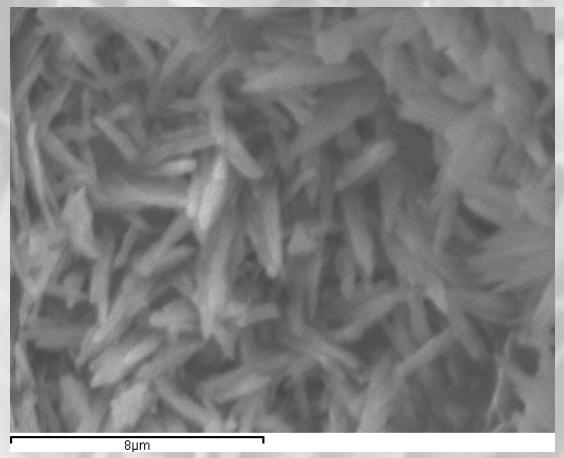
Observations sur fracture d'un échantillon de mortier provenant d'une modénature, Marseille, rue du tapis vert

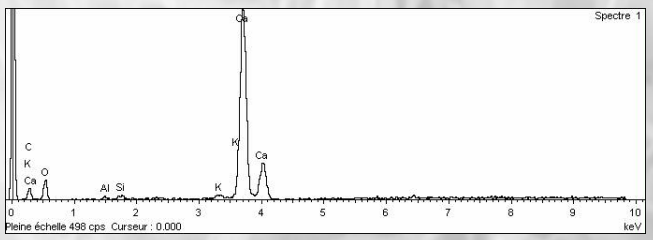
Caractérisation des phases hydratées

Microscopie électronique à balayage

Zone carbonatée : vatérite

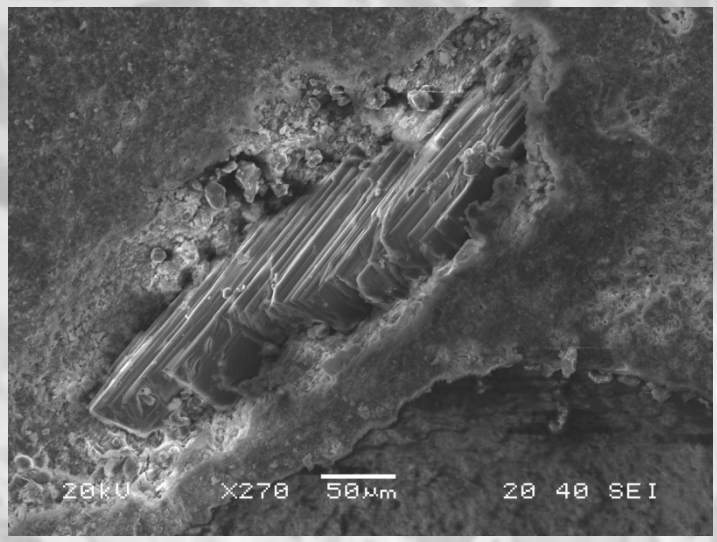


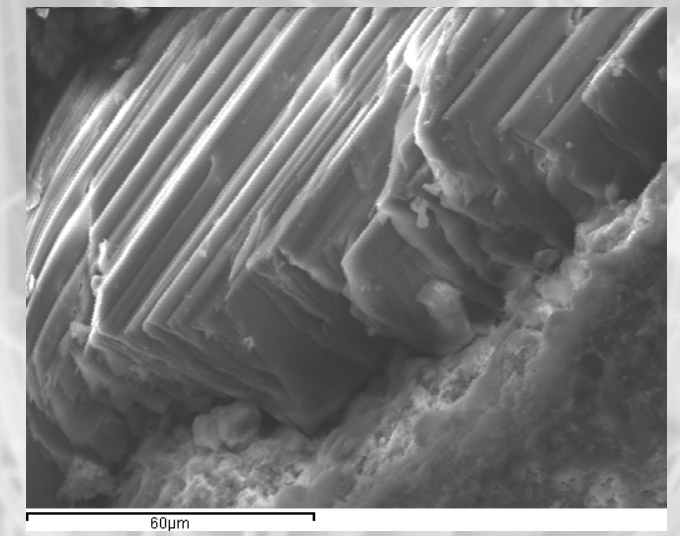


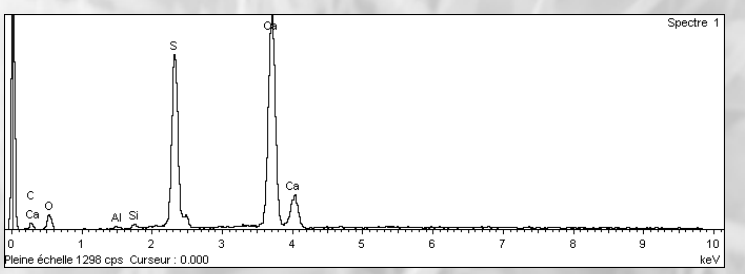


Caractérisation des grains anhydres
Microscopie optique + MEB

Zone carbonatée : gypse







Caractérisation des phases hydratées
Microscopie électronique à balayage

- *Informations : compositions chimiques, compacité, morphologie, localisation des phases hydratées*
- Zone Non-carbonatée :
  - Phase CASH
  - Ettringite
- Zone carbonatée :
  - Carbonates de calcium : calcite et vatérite
  - Gypse

Caractérisation des grains anhydres

Microscopie optique - Modénatures

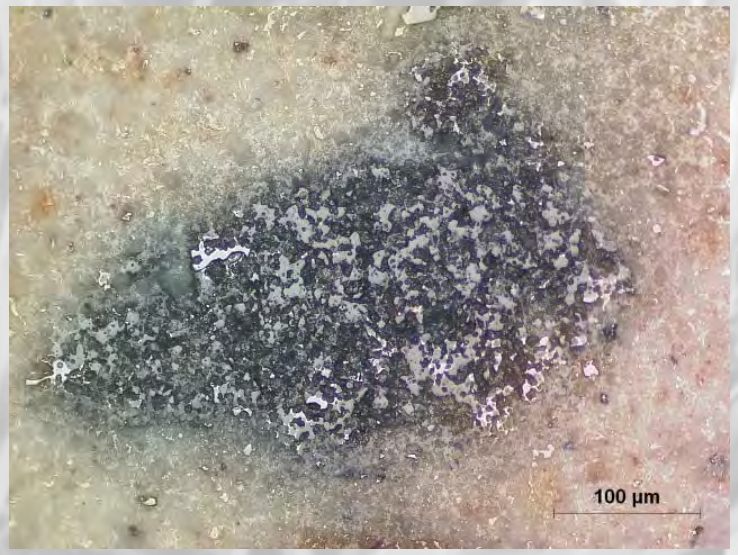


Calvaire 8, grain hydraté à l'intérieur et avec des cristaux irréguliers.



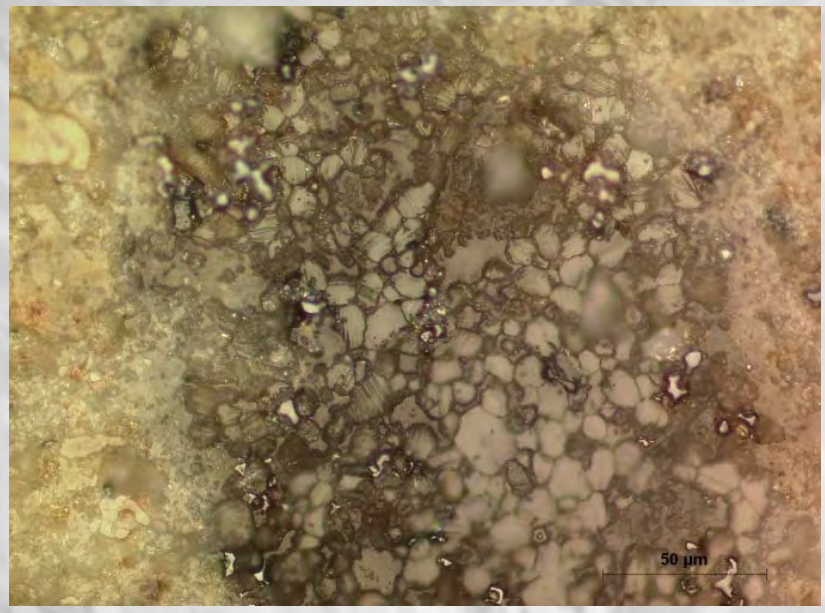


Calvaire 12 cristaux irréguliers, grains de quartz résiduels.



Caractérisation des grains anhydres

Microscopie optique - Enduits

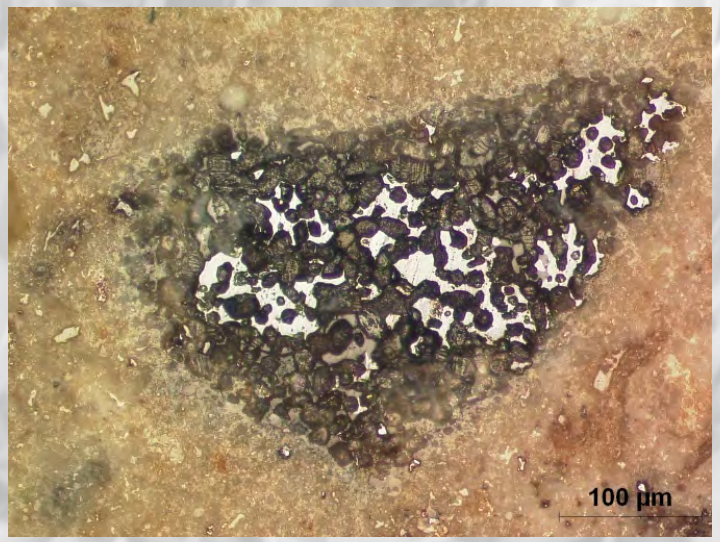


Calvaire 3, cristaux bien formés de C2S avec une série de stries parallèles.





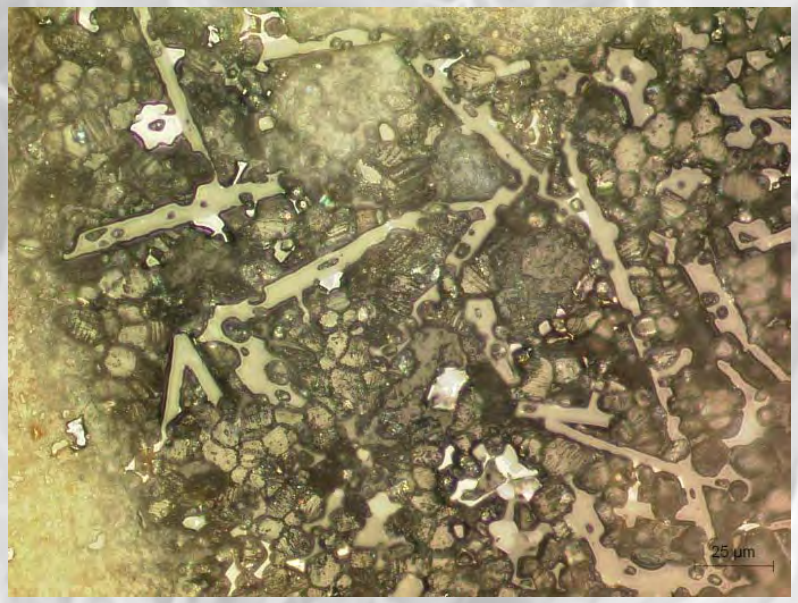
Calvaire 5, cristaux bien formés de C_2S avec une série de stries parallèles, la phase interstitielle est blanche.

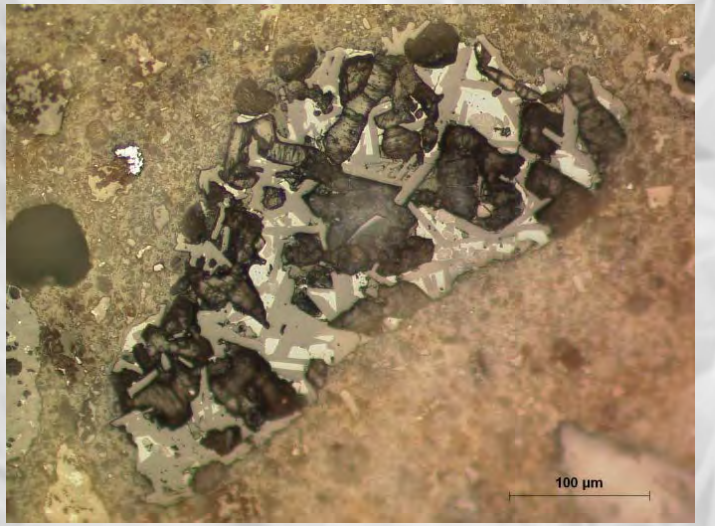


Caractérisation des grains anhydres
Microscopie optique - Enduits



Calvaire 4, cristaux bien formés de C2S avec une série de stries parallèles, la phase interstitielle forme des arrêtes.

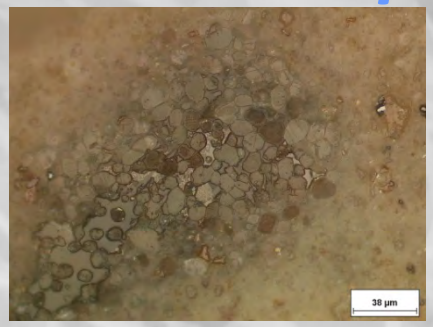


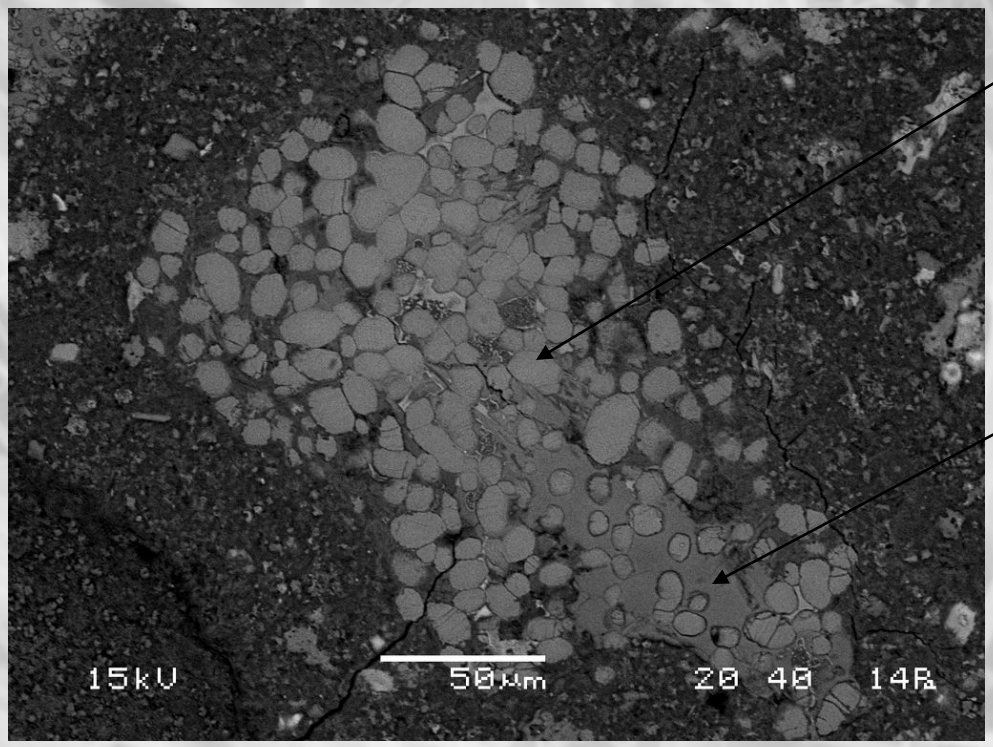


Calvaire 4, cristaux de C2S avec une série de stries parallèles, forte teneur en phase interstitielle avec une séparation des phases C3A et C4AF → refroidissement lent.

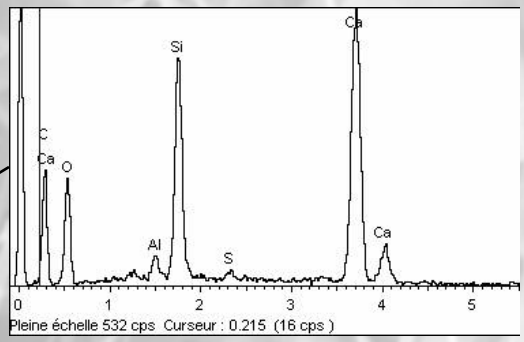
Caractérisation des grains anhydres

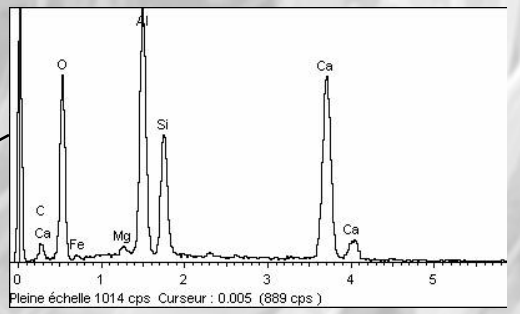
Microscopie électronique à balayage - Enduits





C_2S





C_2AS

Caractérisation des grains anhydres
Microscopie optique + MEB

- *Informations : compositions chimiques, taille et morphologie des grains anhydres*

Modénatures	Enduits
▪ Cristaux irréguliers de C_2S ▪ Absence de C_3S ▪ Température de cuisson basse ⇒ Prise et durcissement rapide du ciment ⇒ Productivité des moulages augmentée	▪ Cristaux réguliers et ronds de C_2S ▪ Absence de C_3S ▪ Température de cuisson plus haute mais < 1150°C (présence de Gehlenite) ⇒ Prise et durcissement plus lent du ciment ⇒ Application de l'enduit facilitée

Étude historique *Conditionnement*

20 à 30 minutes





2 à 5 minutes

15 à 20 minutes





5 à 10 minutes

Conclusion

- **Étude historique**
  - Richesse d'informations techniques et scientifiques
- **Enquête de terrain**
  - Une multitude d'exemples, d'applications et de pathologies
- **Caractérisation du matériau**
  - Confirmation du type du liant (ciments naturels)
  - Des ciments différents suivant les applications

Les façades en enduit-ciment de Marseille

Les multiples ciments en façade de Marseille, un patrimoine complexe, difficile à restaurer

Merci de votre attention

