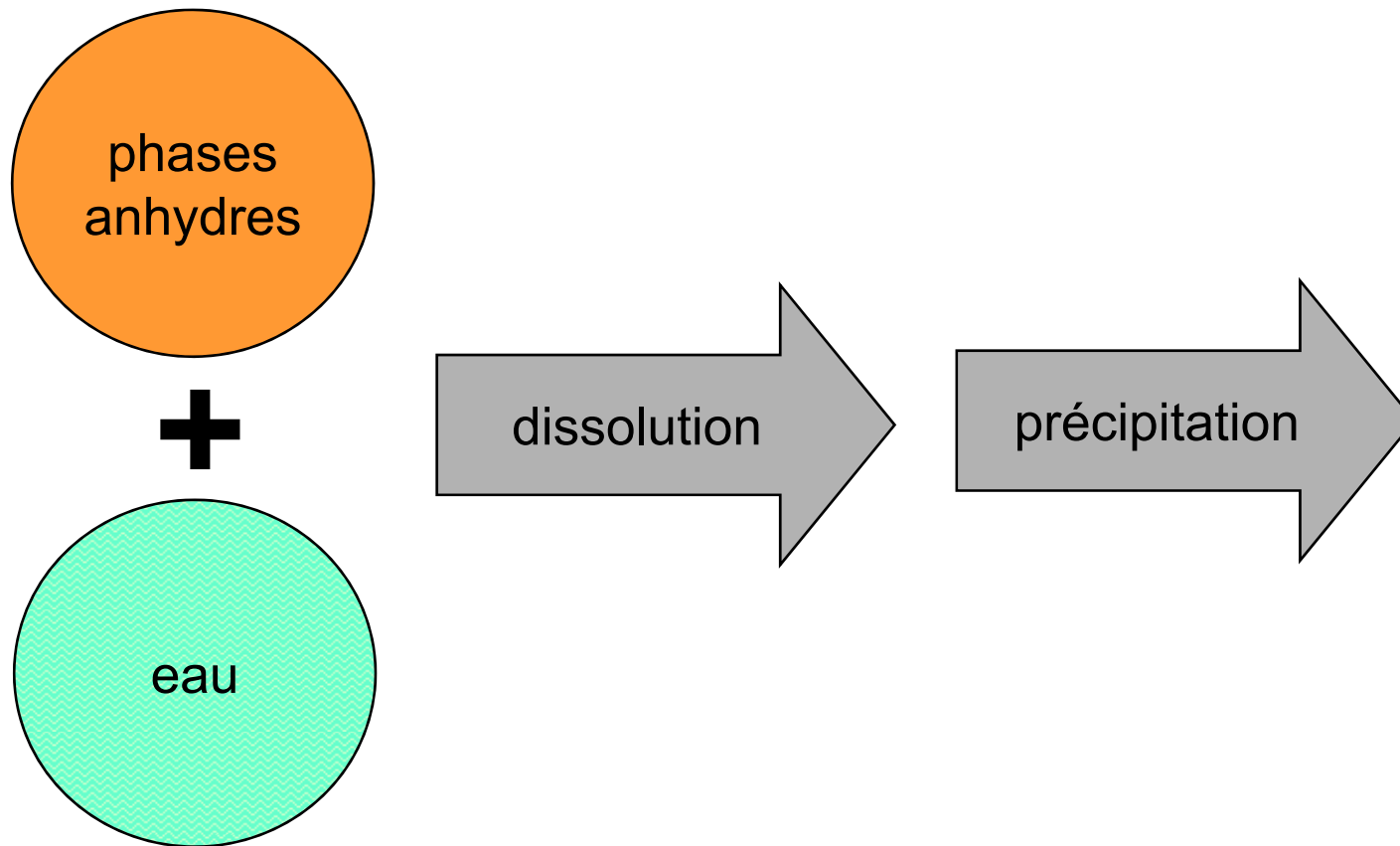


Résumé / questions

- Quelle est la différence entre le béton et le mortier?
- Pourquoi utilise-t-on des mélanges continus des granulats?
- Comment calcule-t-on les proportions de sable, fins et gros granulats pour avoir un mélange compact?
- Quelle est l'importance du rapport eau / ciment?
- Quel processus amène le durcissement du béton?
- Qu'est-ce que la prise? Comment la mesurer?
- Si le rapport e/c diminue, comment faut-il changer le dosage en ciment?
- Quels paramètres de formulation influence le «slump» du béton?
- Quel est le moyen le plus utilisé pour compacter le béton?

Chimie d'hydratation

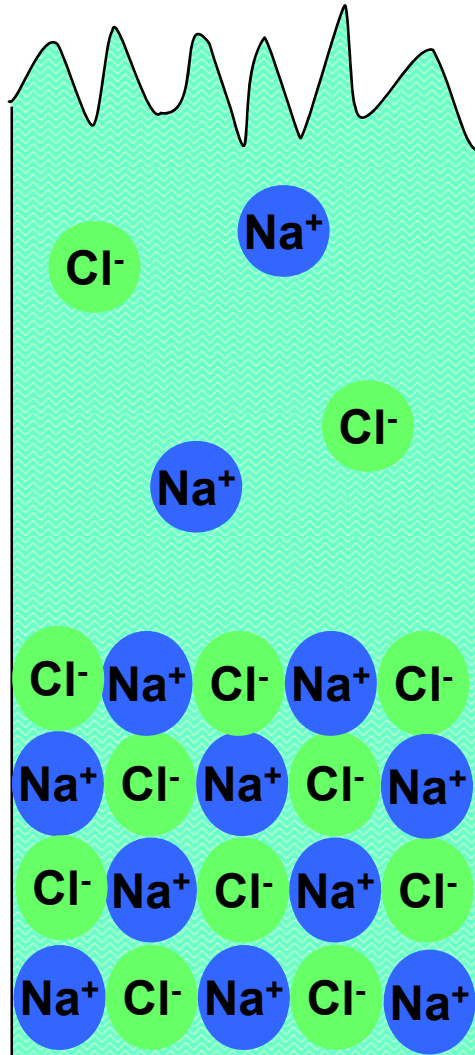
Hydratation



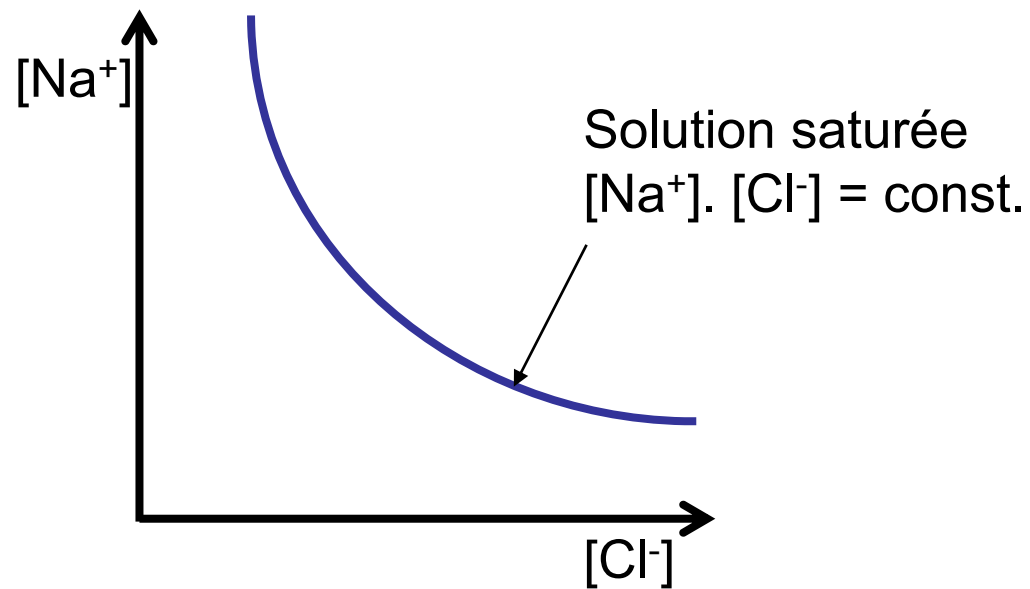
Dissolution

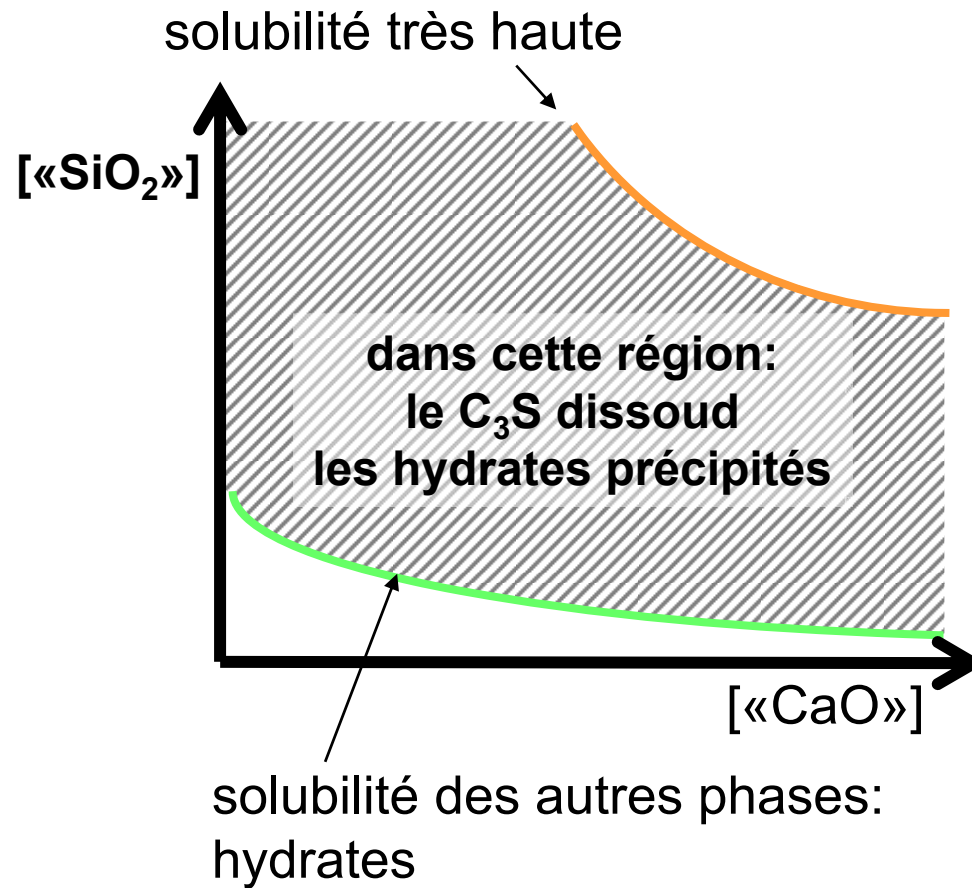
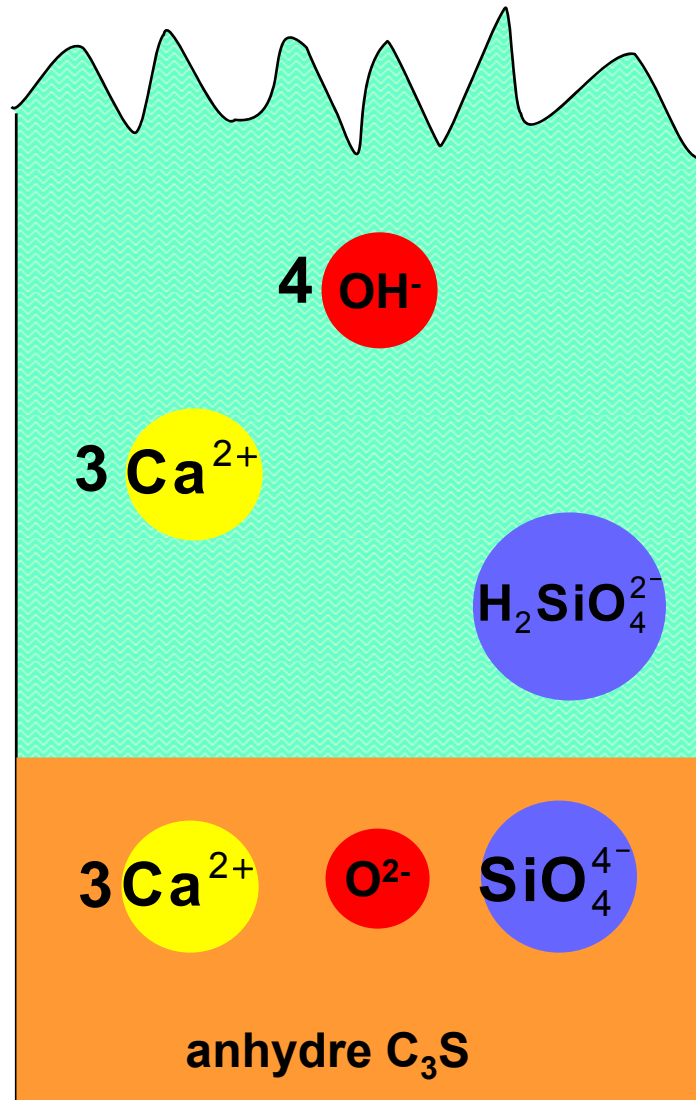
Ex. sel de table:

les ions dans un solide entré en solution.

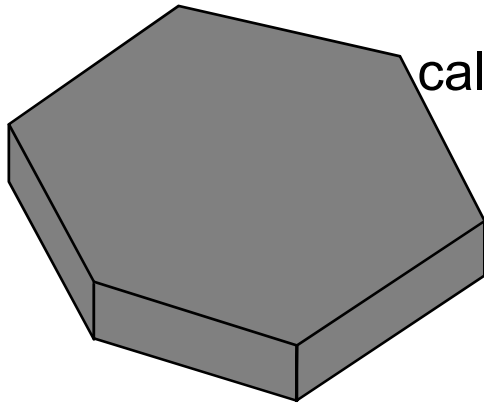


Il y a une « *limite de solubilité* »
au-delà de laquelle la solution est
« *saturée* »





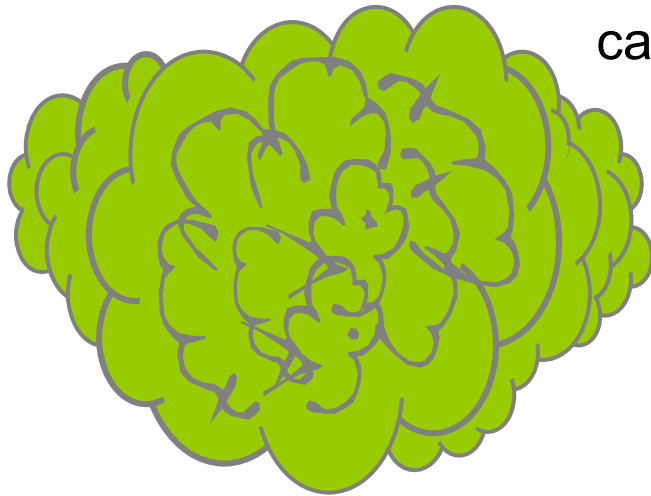
Hydrates de C₃S



hydroxyde de calcium
chaux hydratée
calcium hydroxyde
portlandite
 Ca(OH)_2
CH

cristallin
morphologie hexagonale

~ 25-28% pâte hydratée

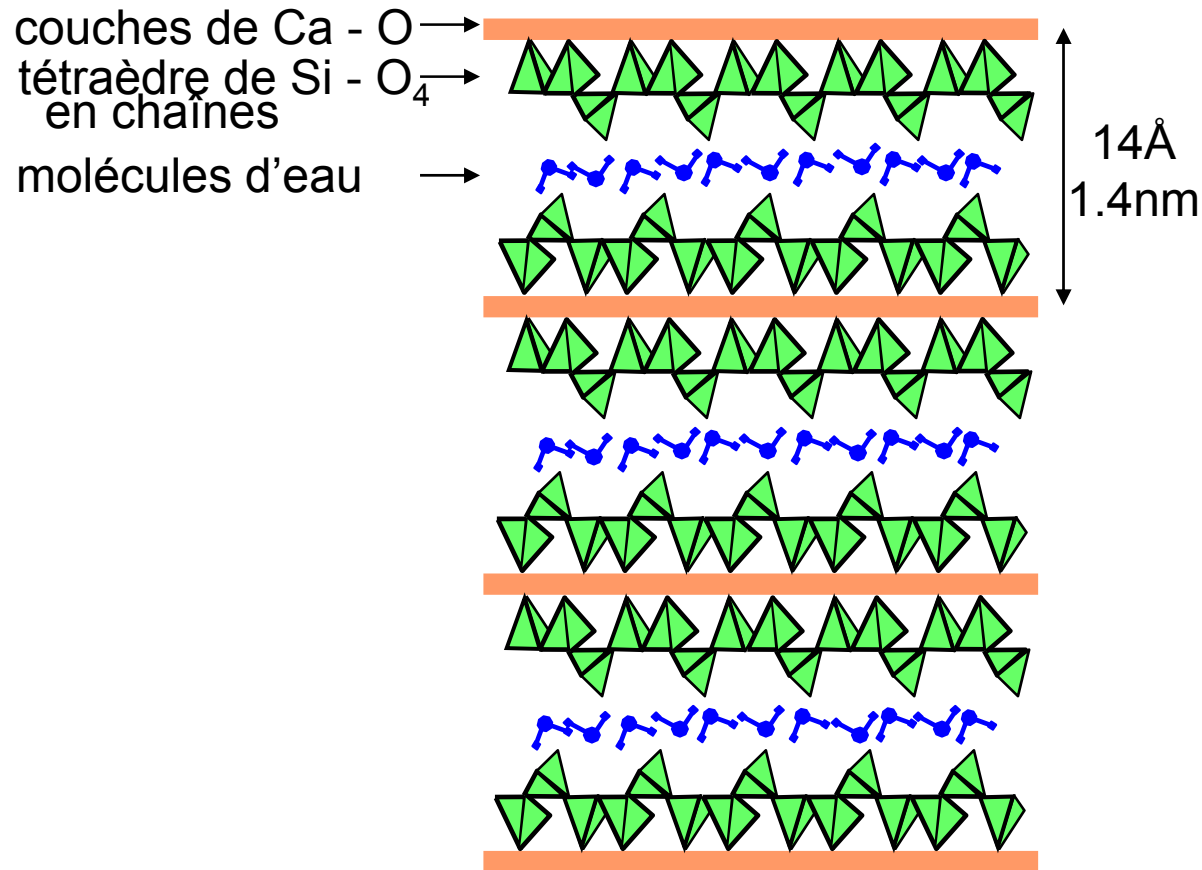


calcium silicate hydrate
C-S-H

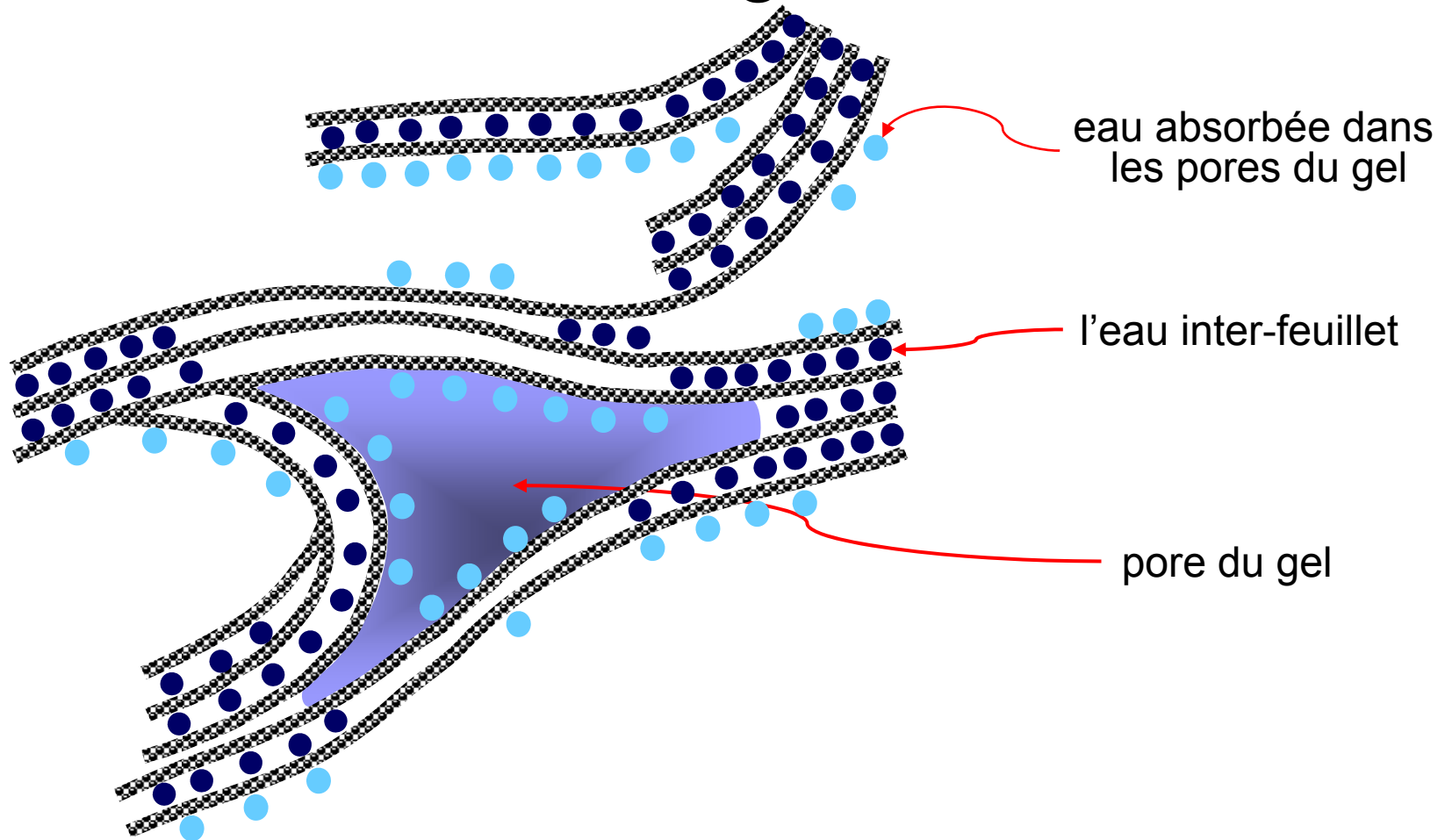
amorphe
multiples morphologies

~ 60-65% pâte hydratée

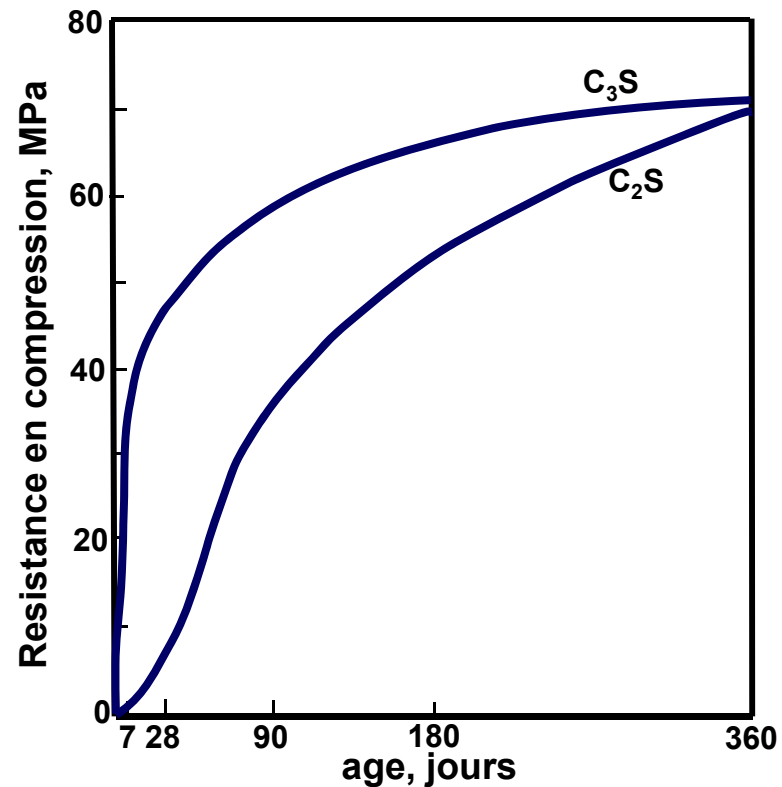
C-S-H, similarité au minéral Tobermorite



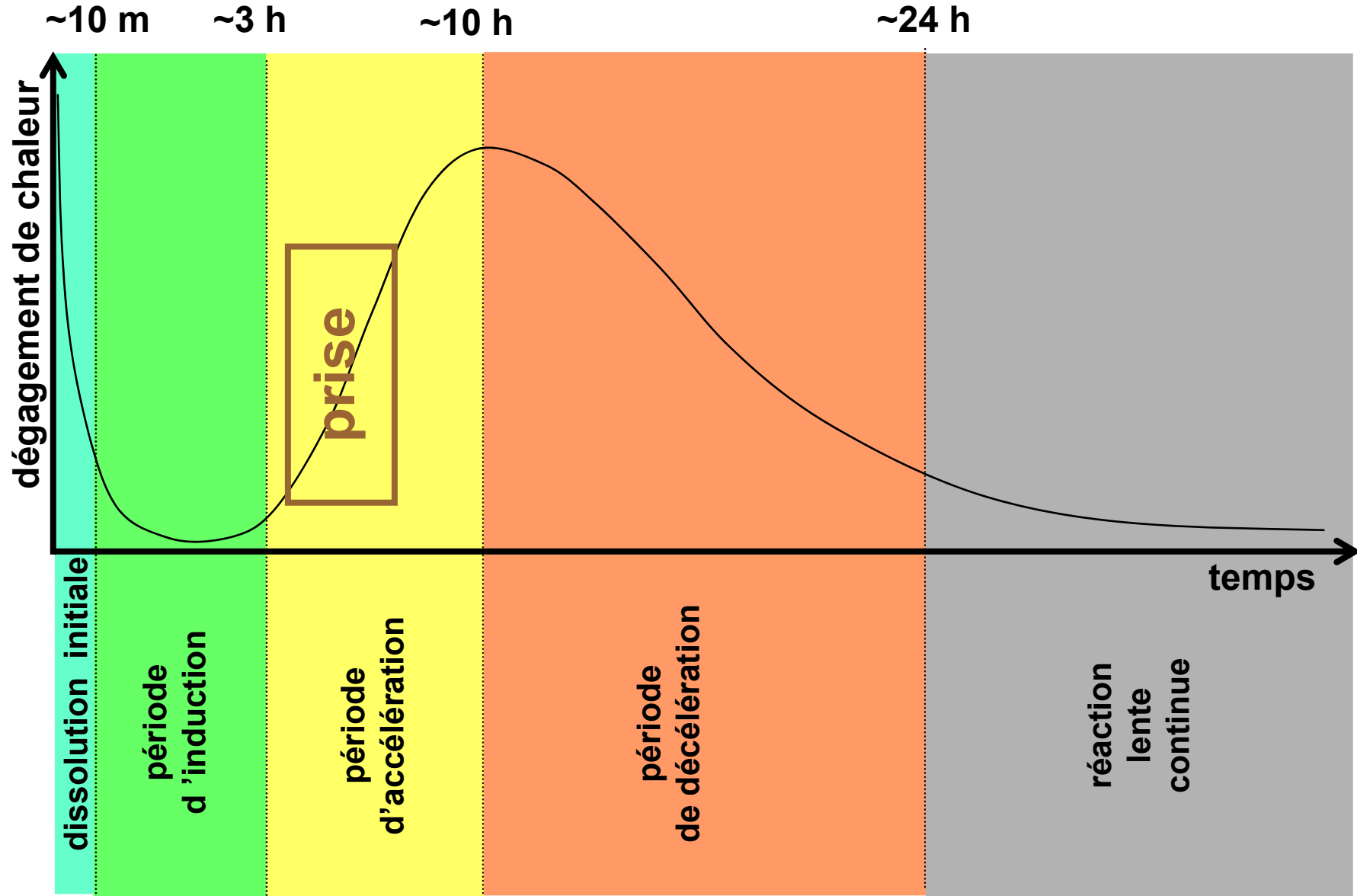
Modèle – « gel C-S-H »



Réactions globales



Cinétique

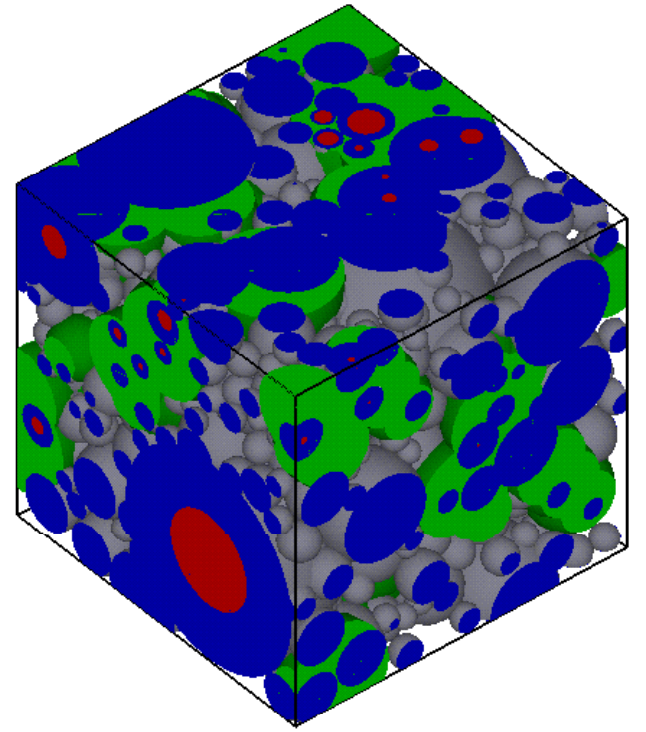
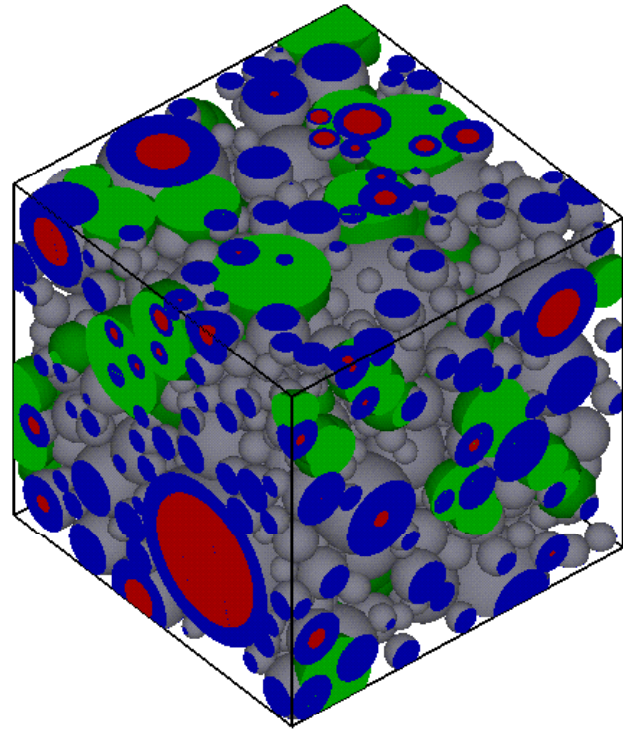
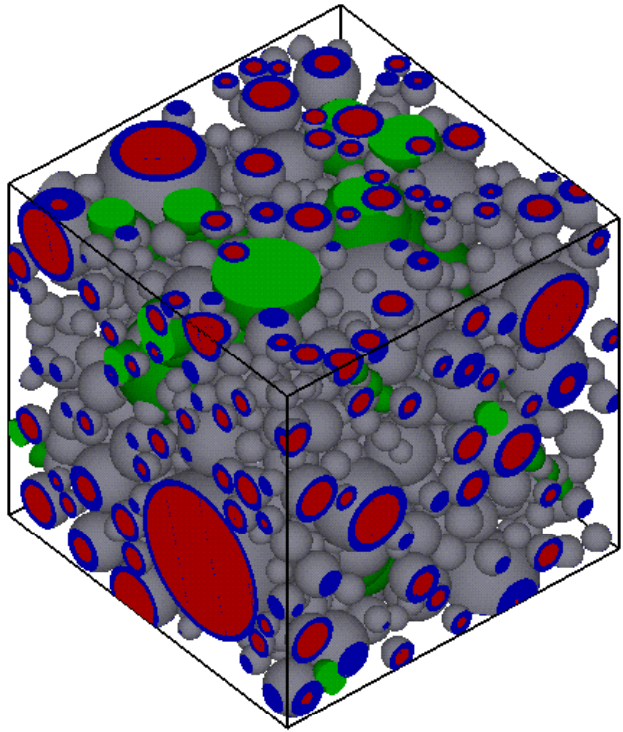




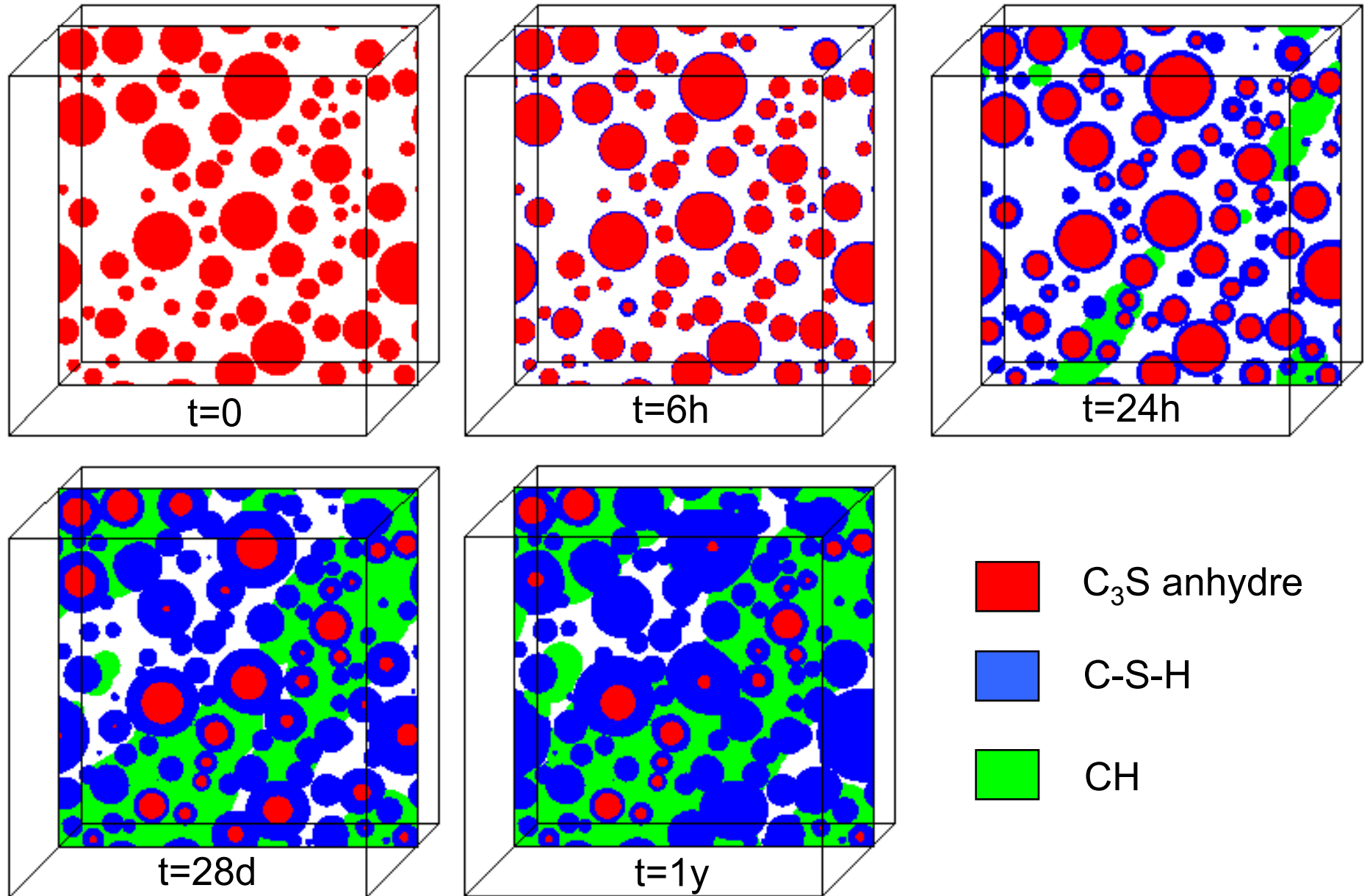
3 hrs



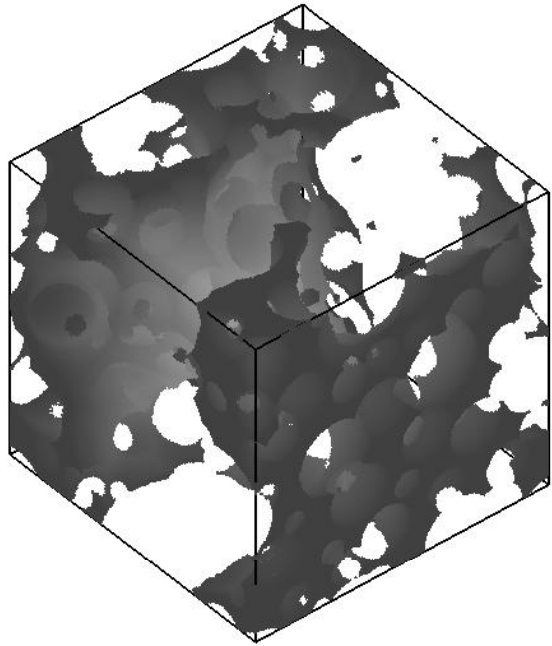
10 hrs



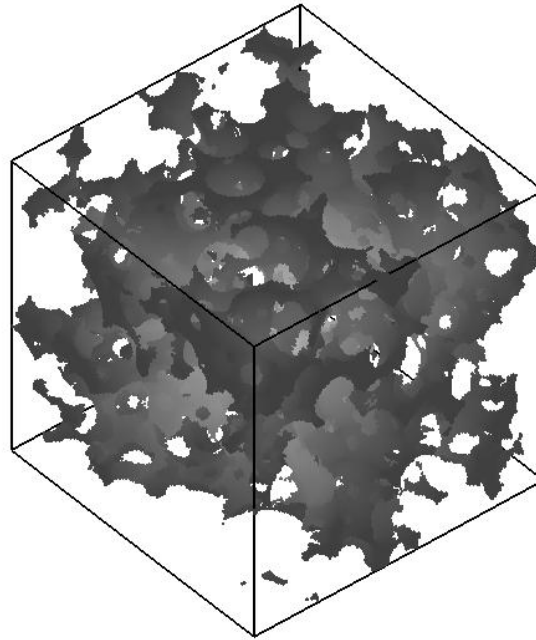
Simulation de microstructure de C_3S



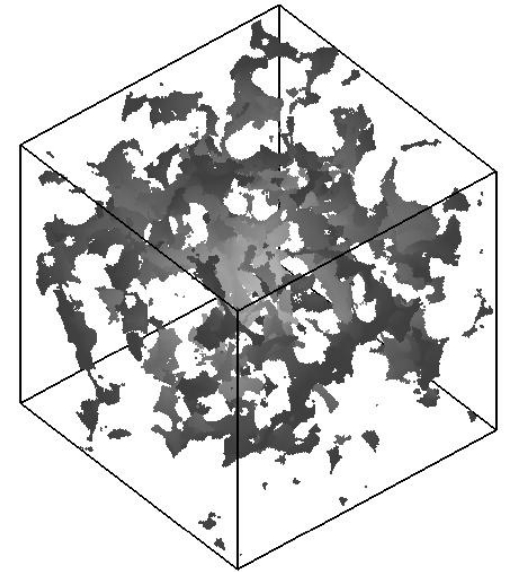
Porosité capillaire



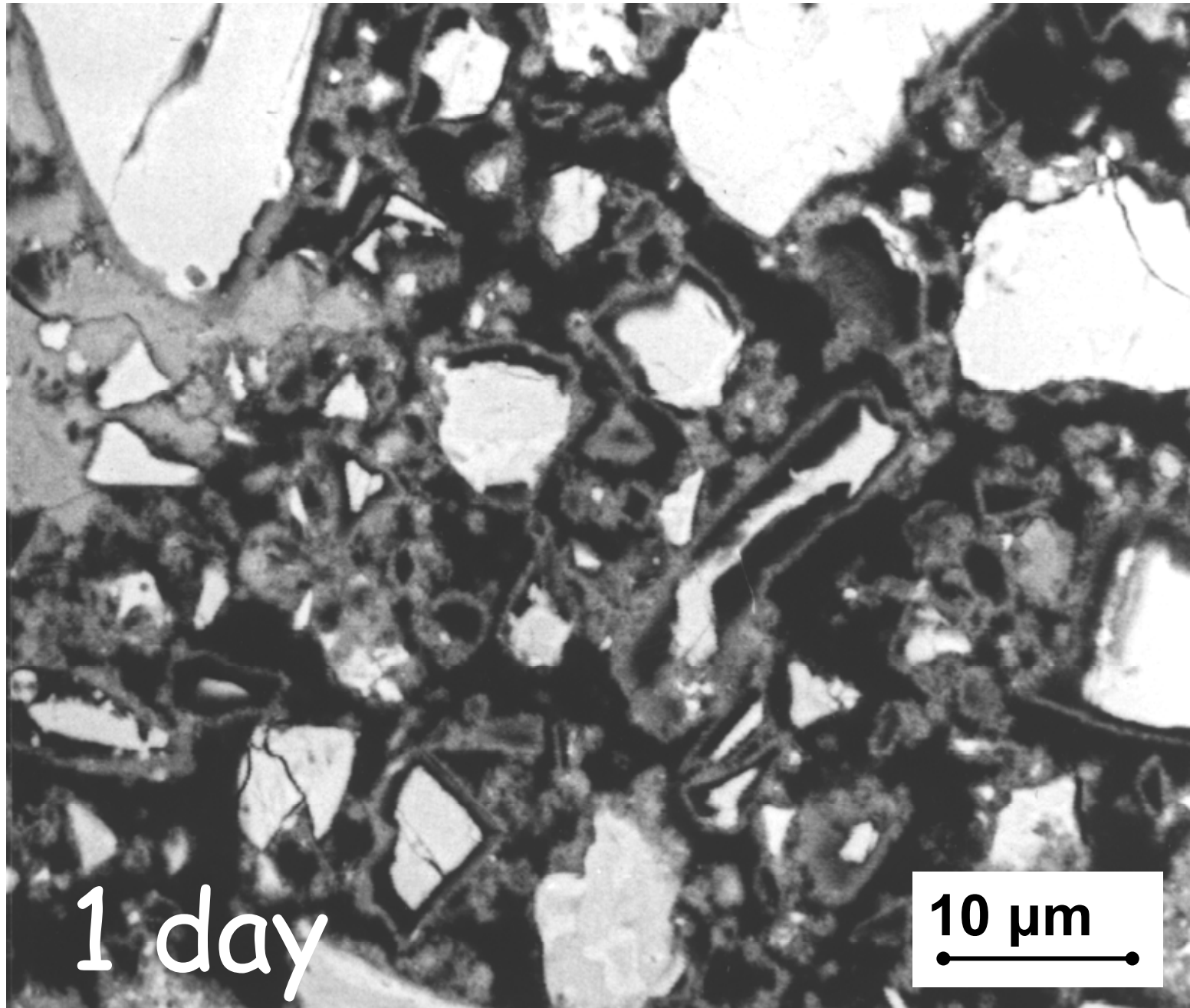
20% Porosité



10% Porosité

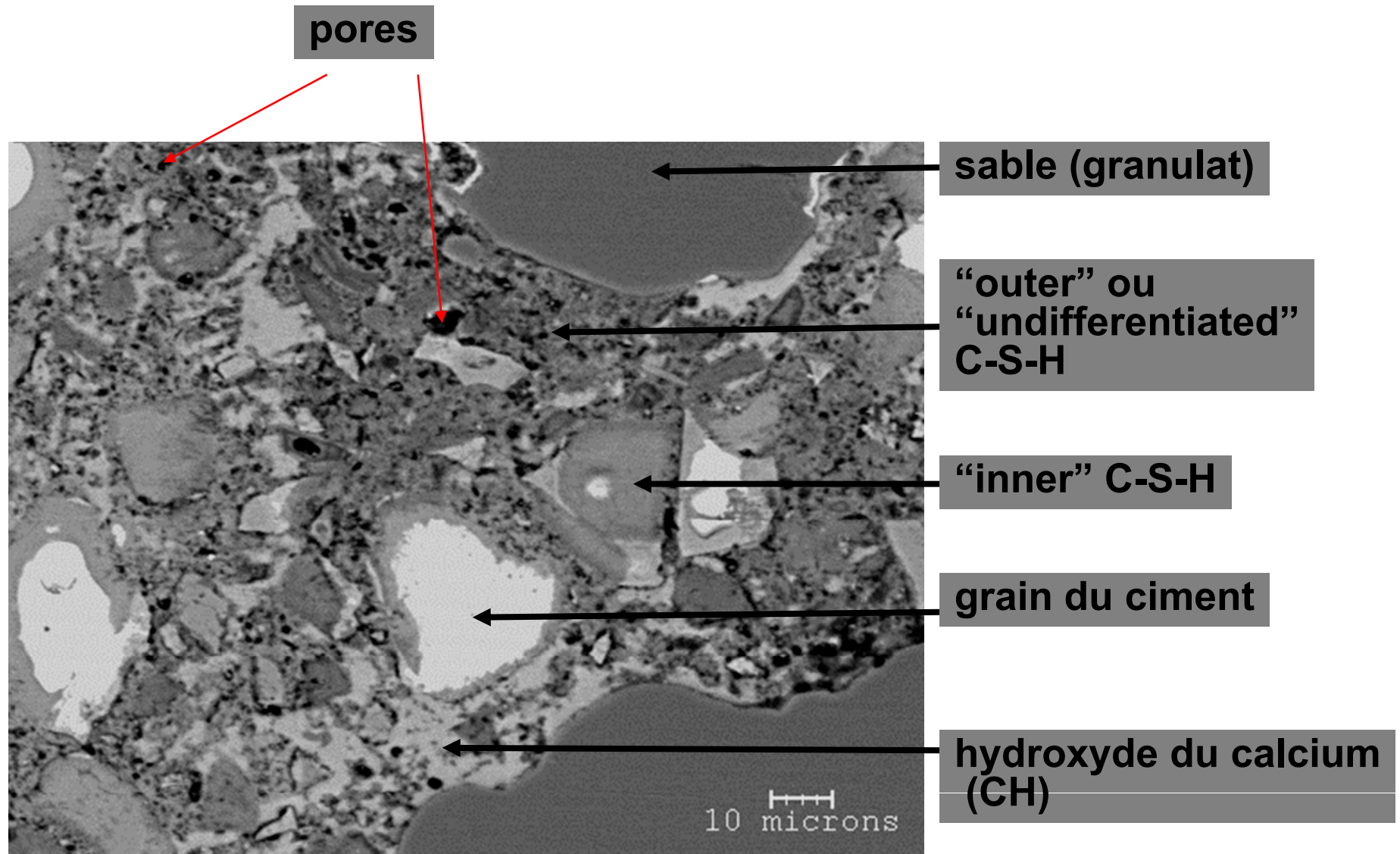


5% Porosité



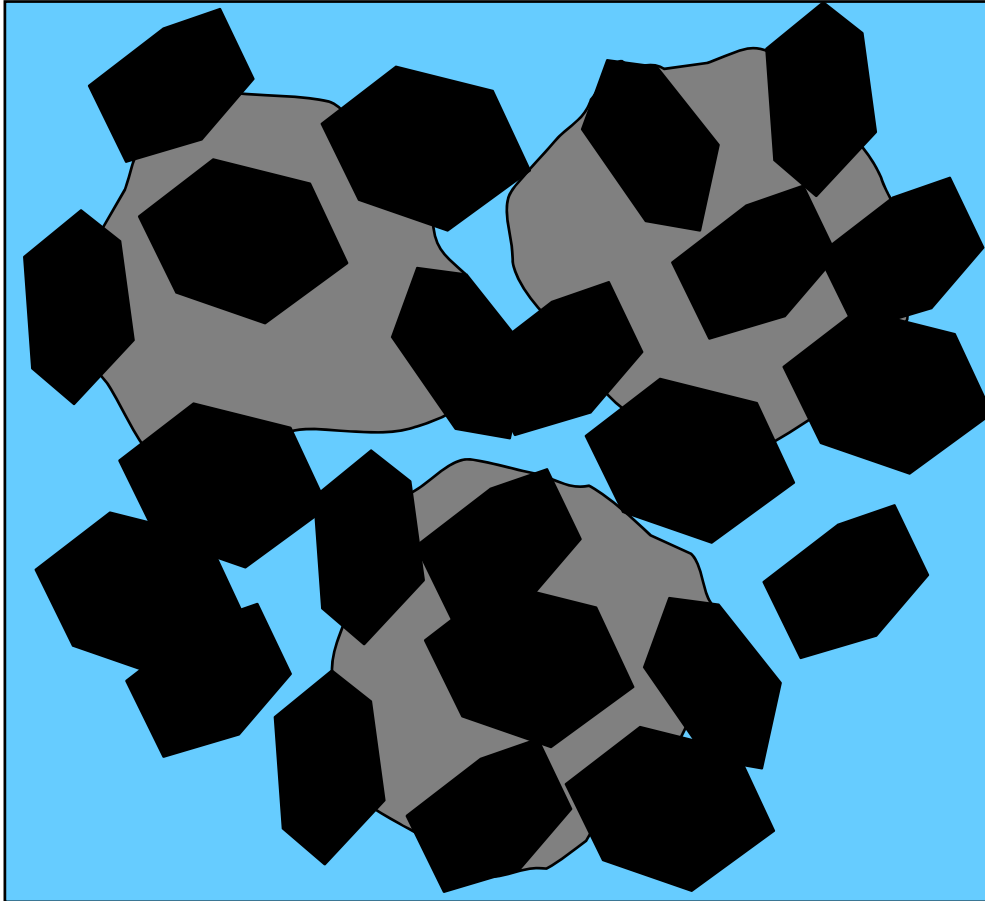
1 day

10 μm



Complexe, Hétérogène

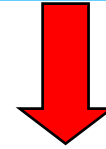
C_3A



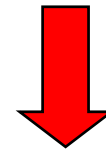
C_3A

+

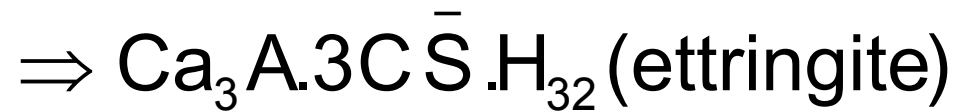
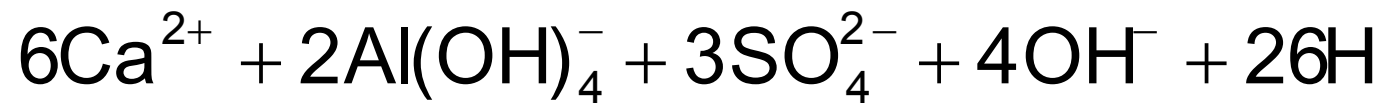
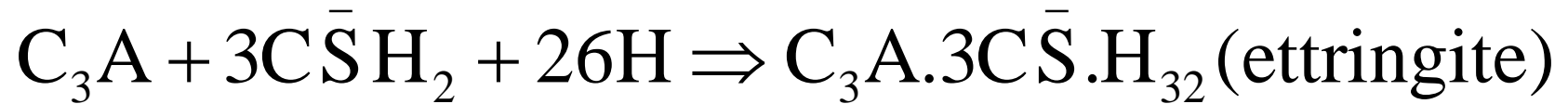
eau

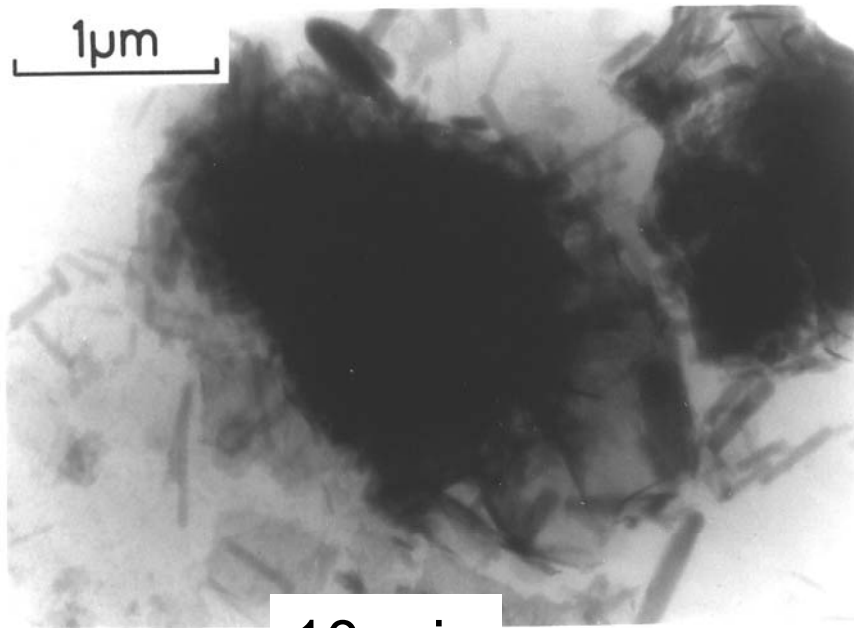


**réaction rapide
grandes plaques
d'hydrates**

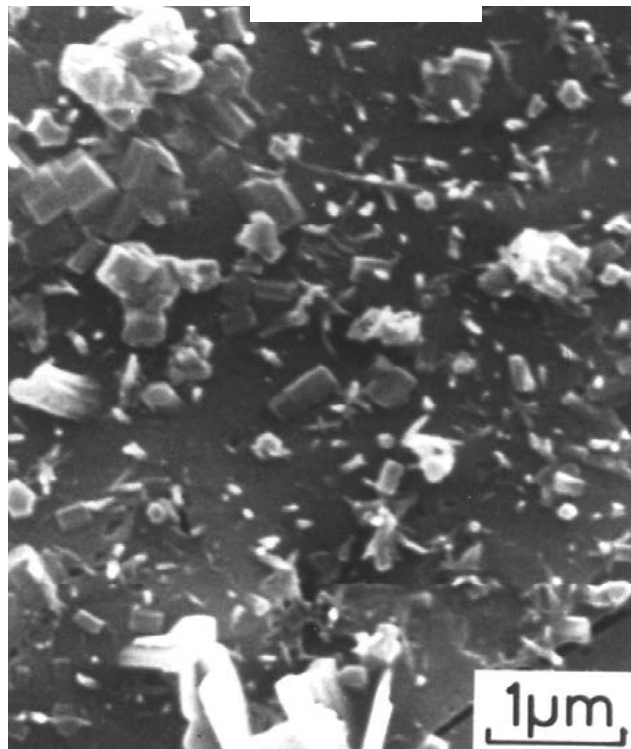


**rigidification
« prise flash »
« flash set »**



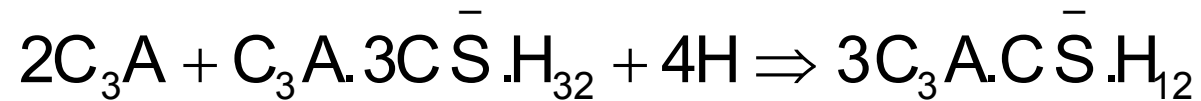


10 min

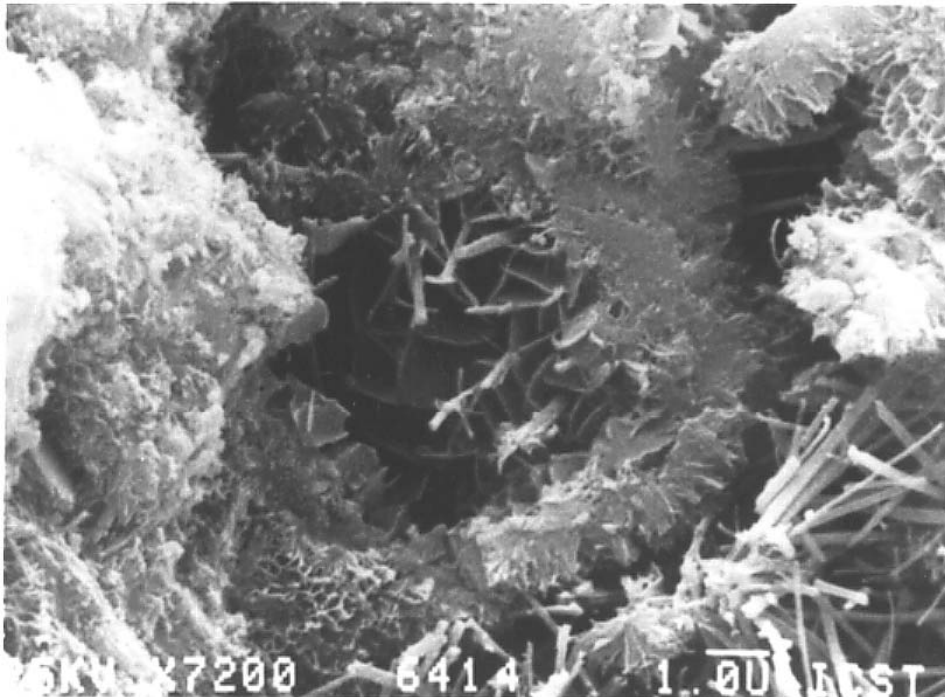


24 heures

Épuisement du sulfate

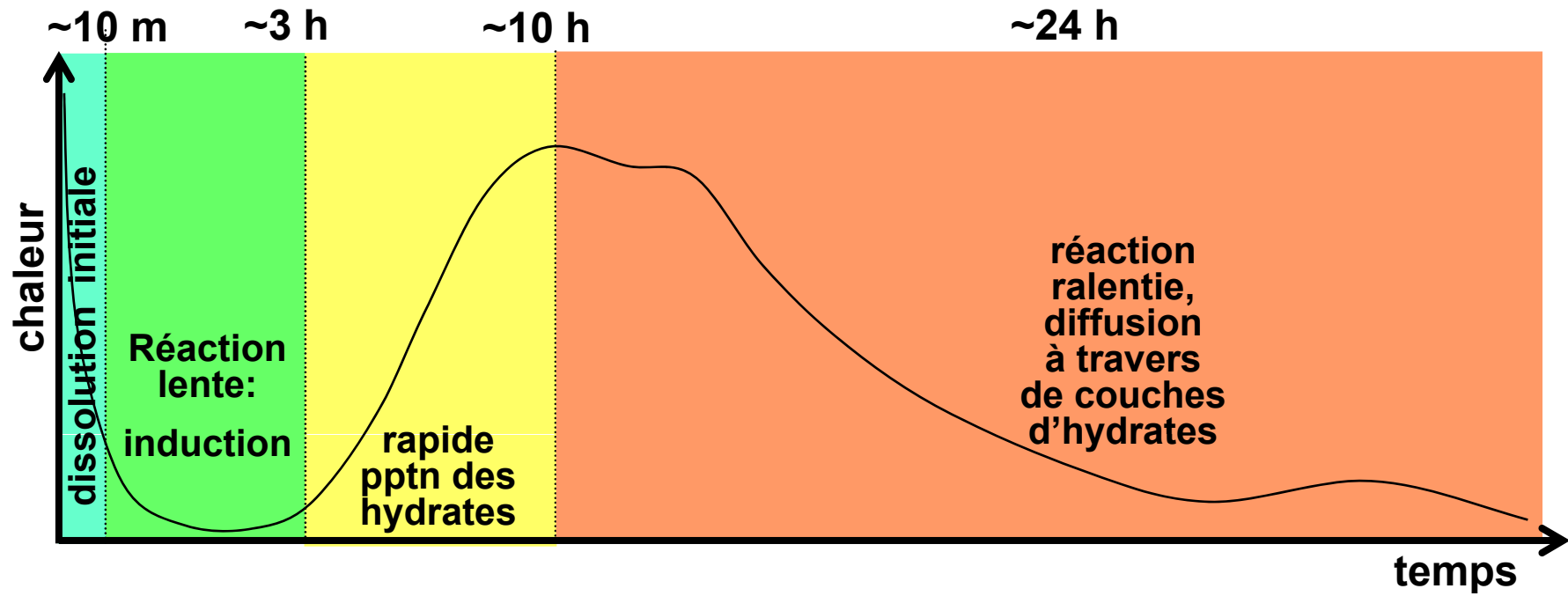
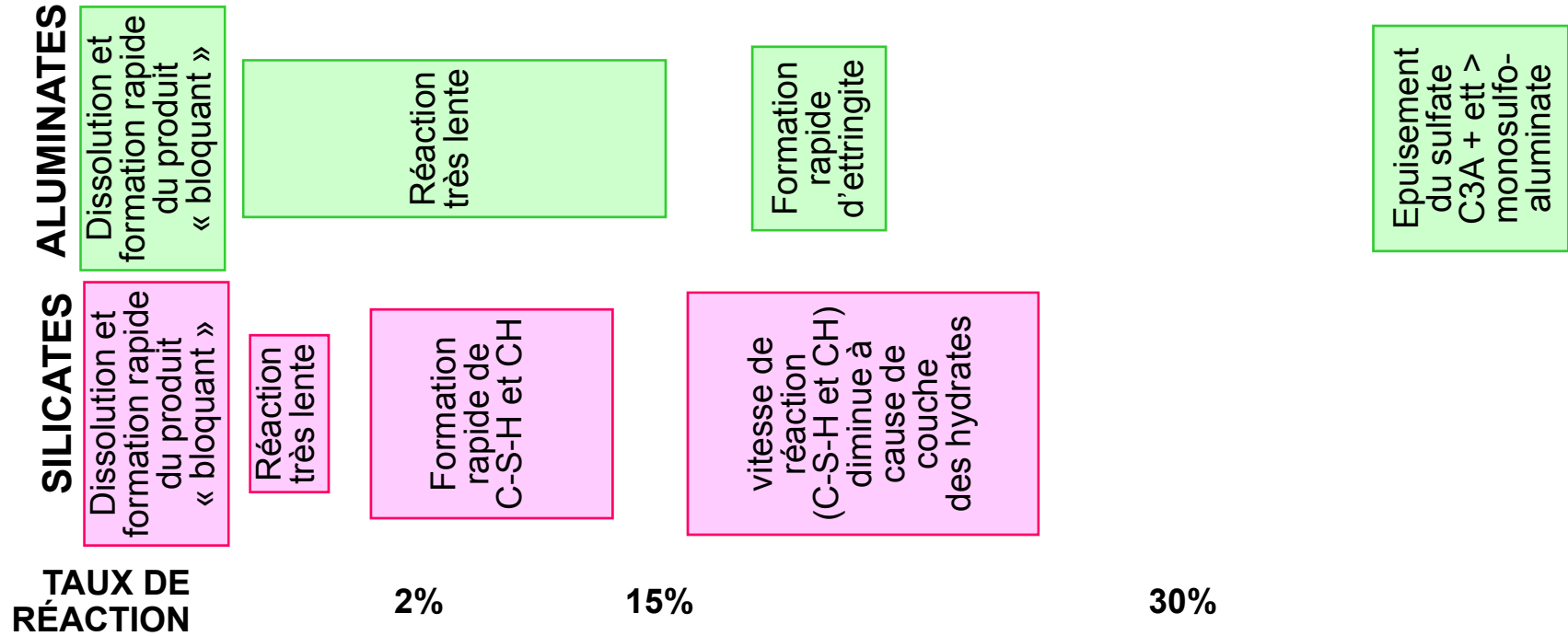


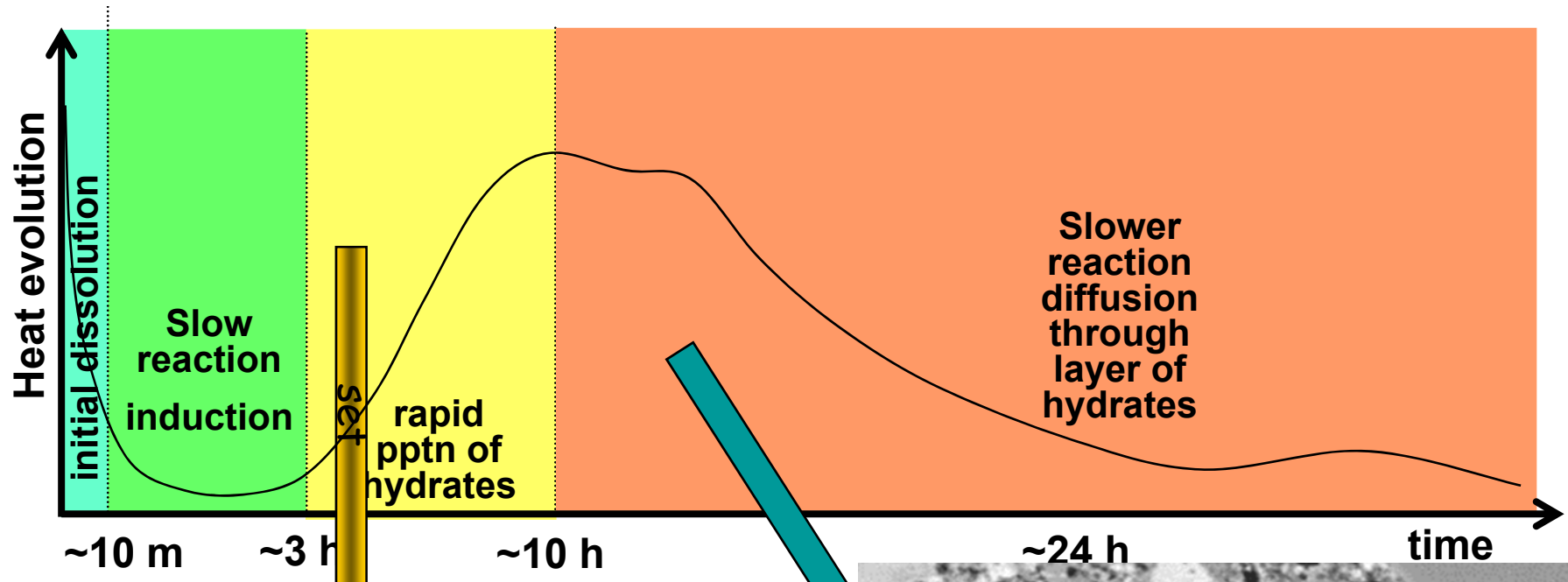
Calcium monosulfo aluminate
Monosulfo aluminate de calcium
"AFm"



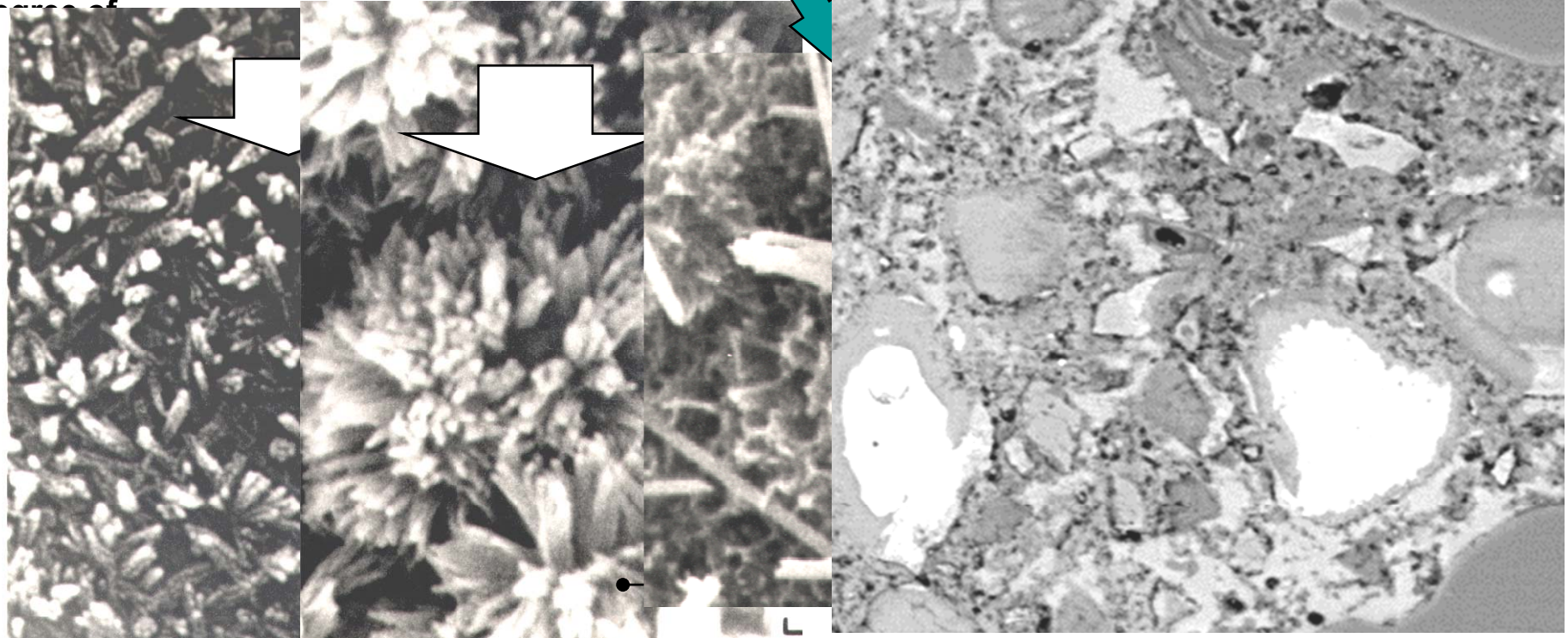
Pâte à 7 jours
Formation locale de monosulfo à l'intérieur des couches de C-S-H ou il y a du C_3A disponible.
L'ettringite reste à l'extérieur du grain.

Résumé de l'hydratation

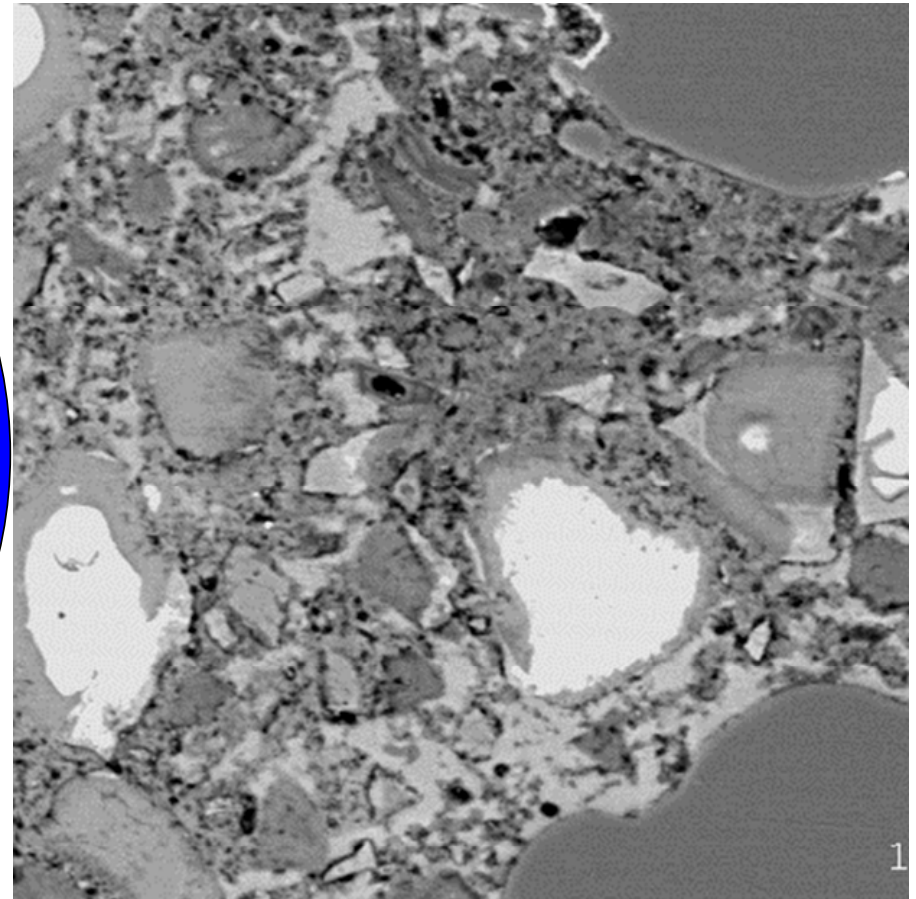
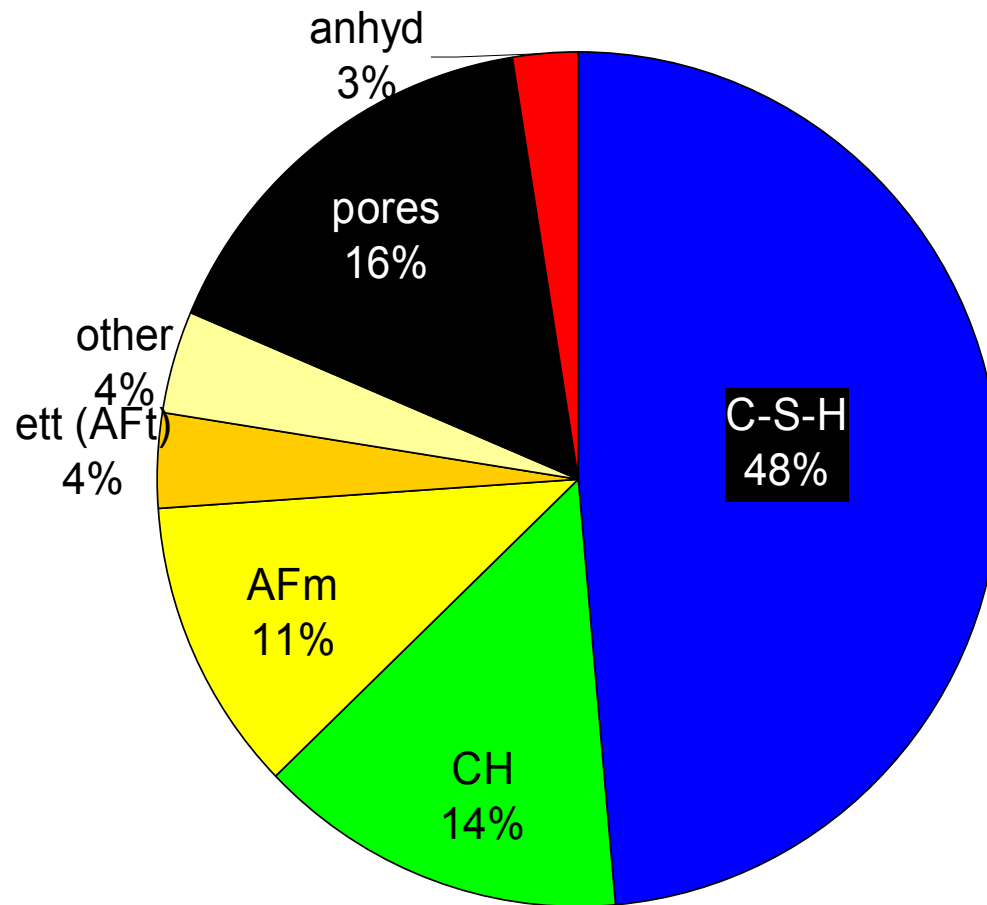




Drum of



Bilan Volumétrique



Pâte de ciment Portland, E/C = 0,5, 14 mois

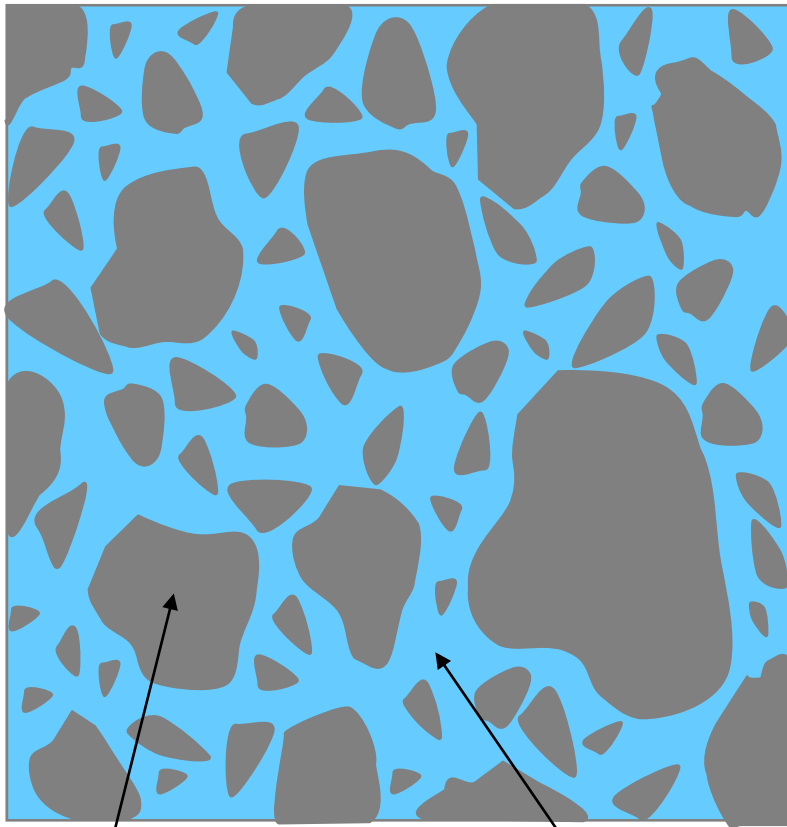
À retenir

- Dissolution puis précipitation
- Hydrates: C-S-H autour des grains et CH entre les grains pour les silicates (C_3S et C_2S)
- Ajout du gypse pour contrôler réaction C_3A – favorise formation d'ettringite
- Ettringite et AFM (ou monosulfate) sont les produits issus du C_3A qui va jouer un rôle important dans la résistance aux eaux sulfatées

The basics

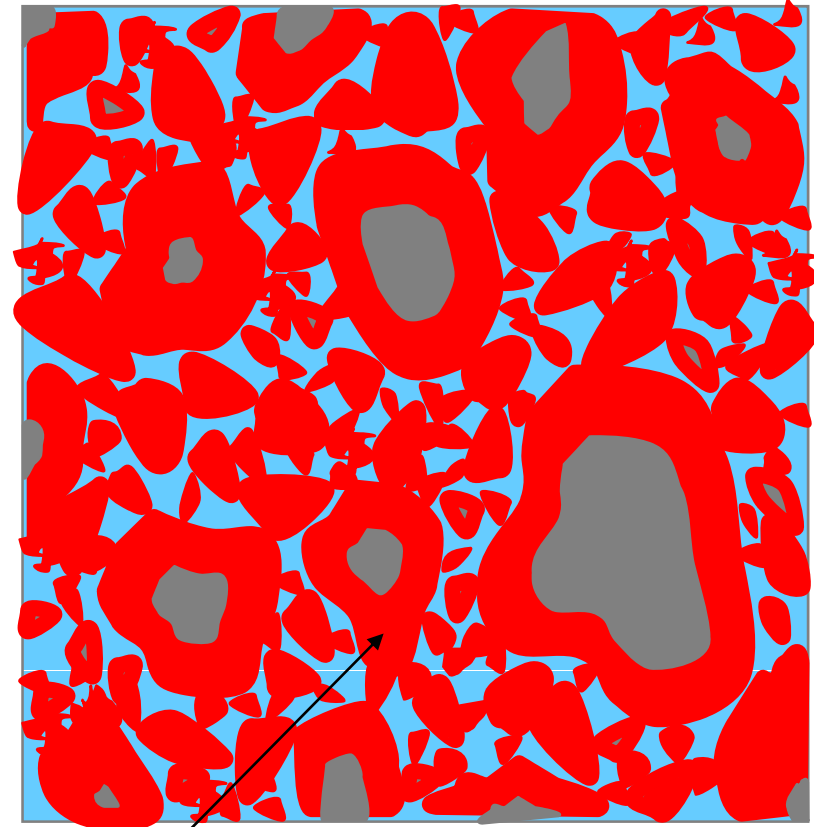
Increasing solid volume, replaces water

Transformation from fluid paste to solid



Cement grain

water



hydrates

Questions

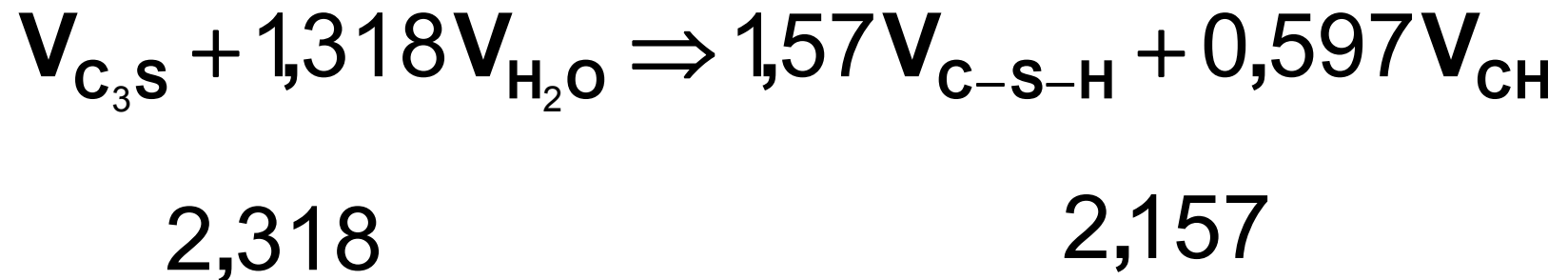
- Quelle phase contribue le plus au développement de la résistance du béton de ciment de Portland?
- Quels sont les produits principaux d'hydratation de cette phase?
- Le gypse est ajouté pendant le broyage du clinker pour contrôler l'hydratation de quelle phase?
- Quels sont les produits d'hydratation les plus importants résultant de l'hydratation de la phase C3A?

Structure Physique d'une pâte de ciment

Importance de la structure physique:

- Résistance mécanique
- Comportement vis-à-vis de l'eau;
- Durabilité

Changements volumétriques

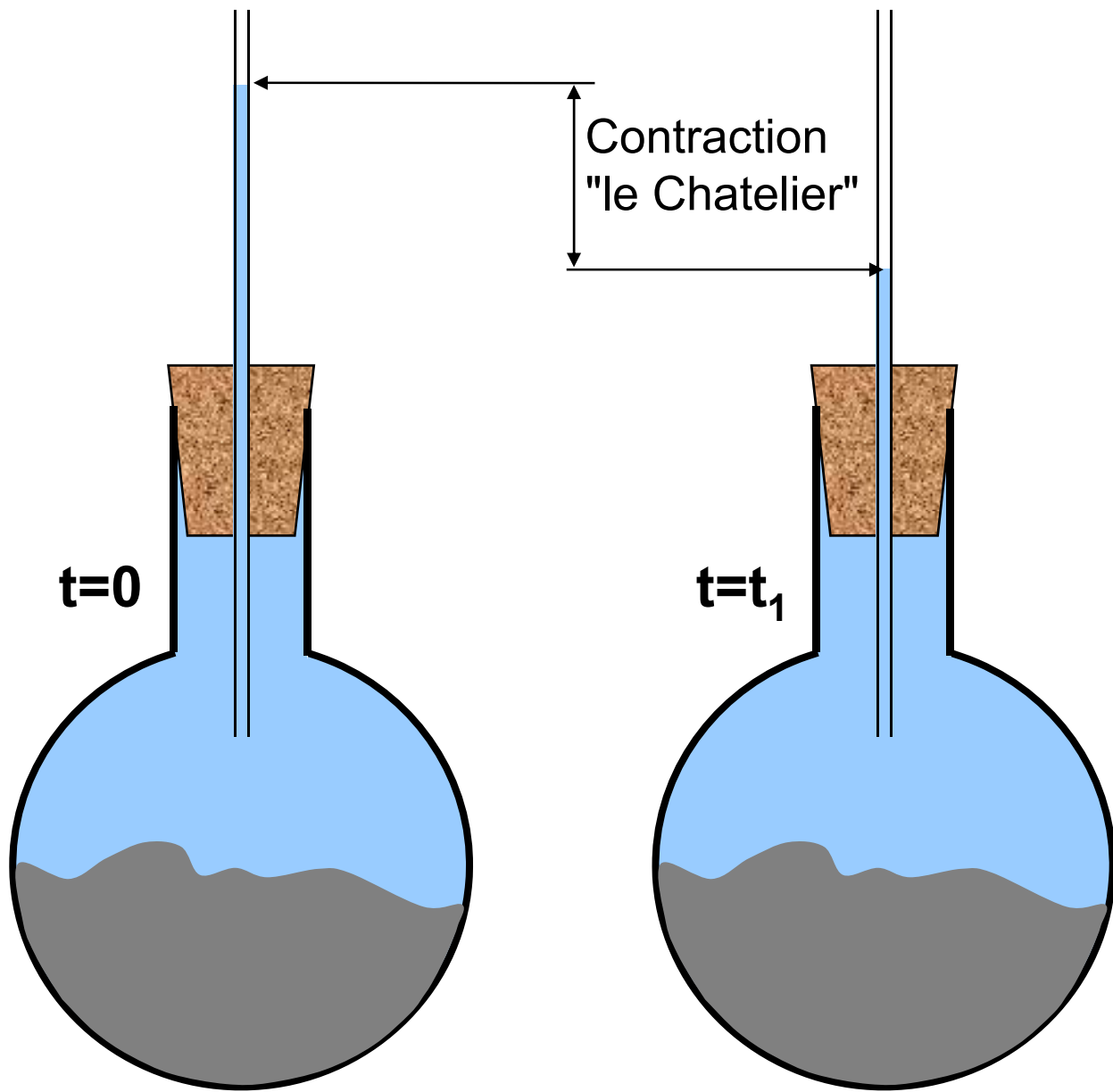


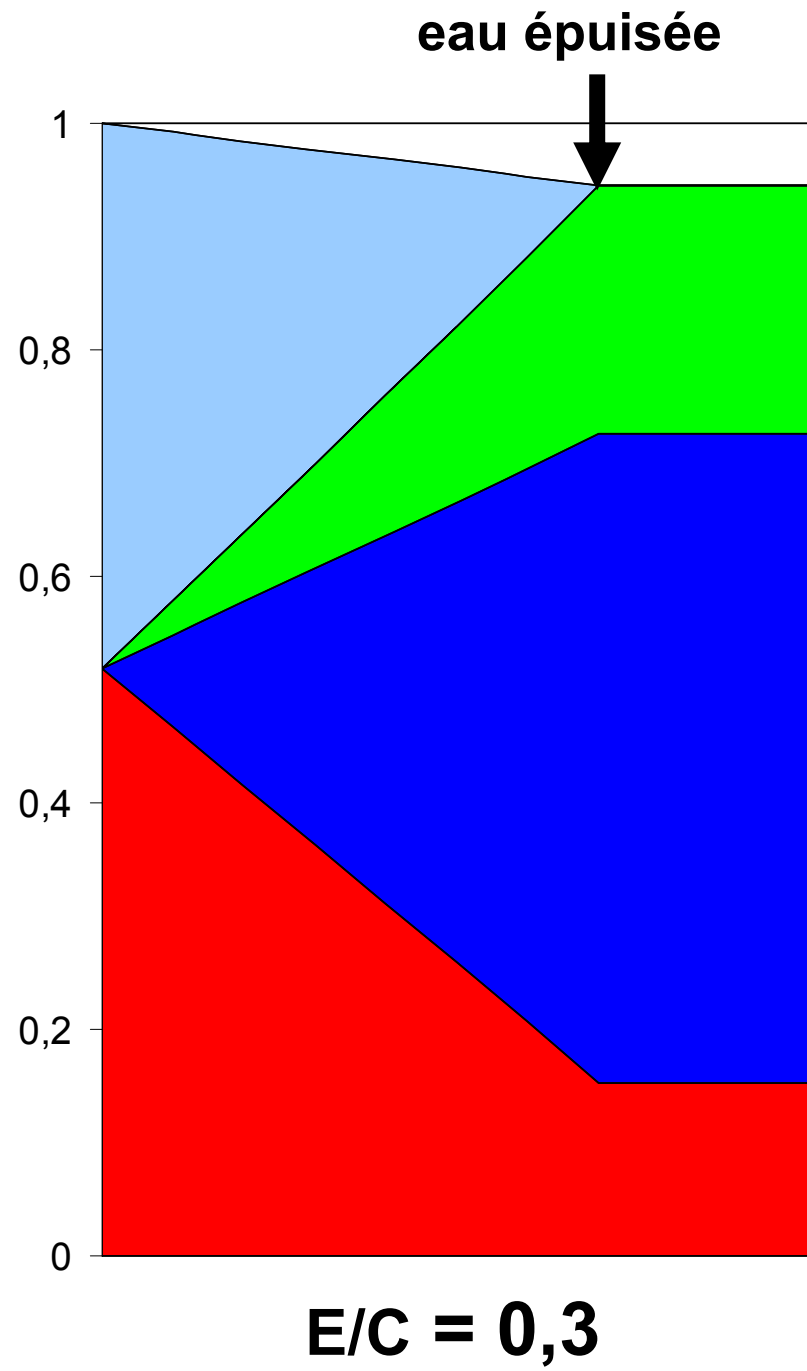
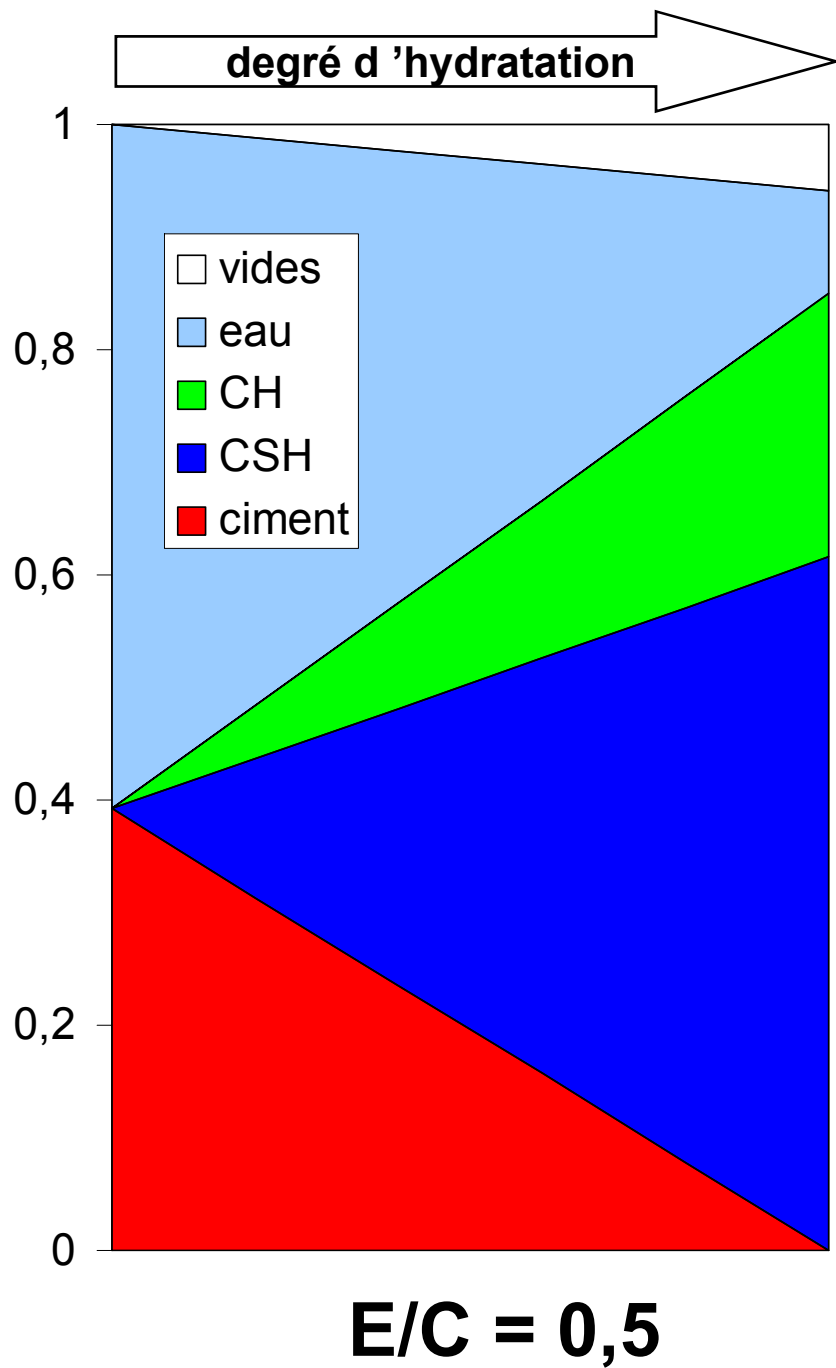
Volume du solide augmente, mais le volume total diminue:

Contraction Le Chatelier:

$$\Delta V = \frac{0,161}{2,318} = \sim 7\%$$

**Valeurs entre
5 et 10%
en fonction des
hypothèses**

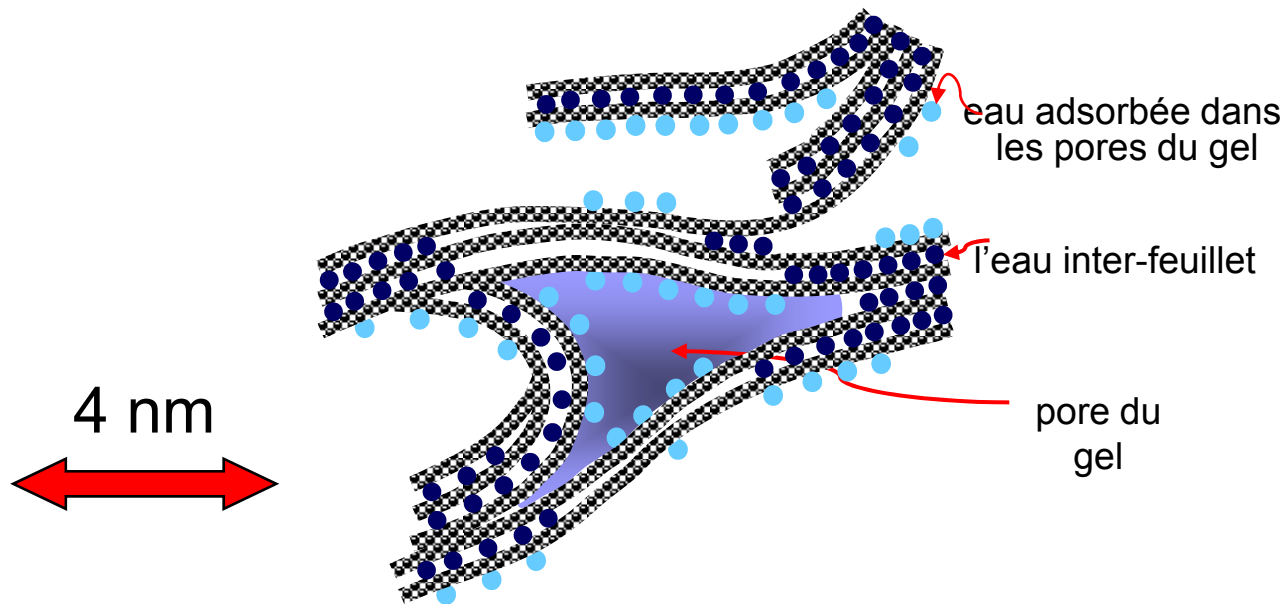




Particularité de la porosité d'une pâte de ciment:

- Gel du C-S-H
- Surface spécifique $\sim 700 \text{ m}^2/\text{g}$
- porosité « intrinsèque » $\sim 28\%$

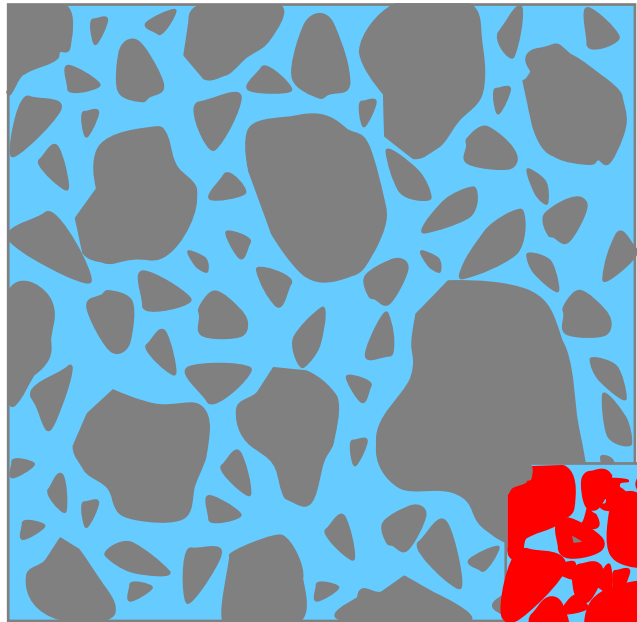
Modèle – « gel C-S-H »



FELDMAN and SERREDA, 1964


Dimension « caractéristique » des pores $\sim 20\text{\AA}$, 2nm

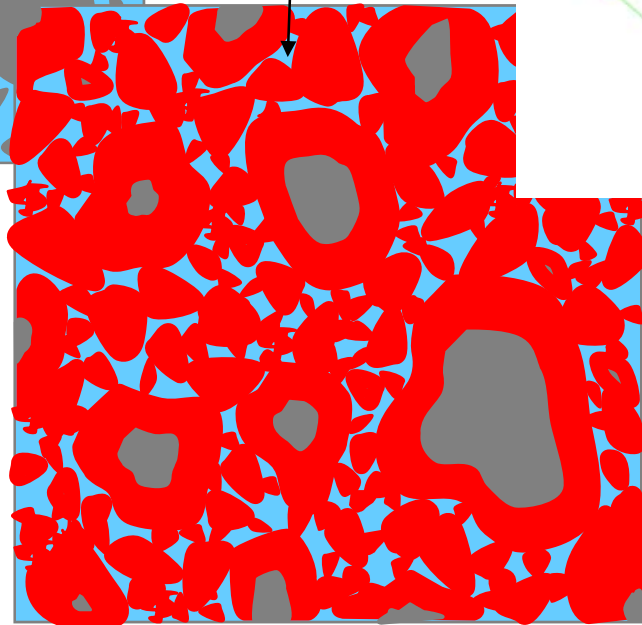
Changement d'échelle: $\div 10\ 000$



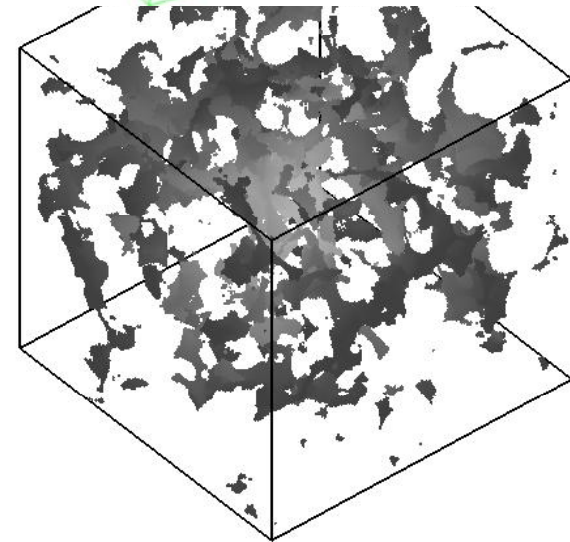
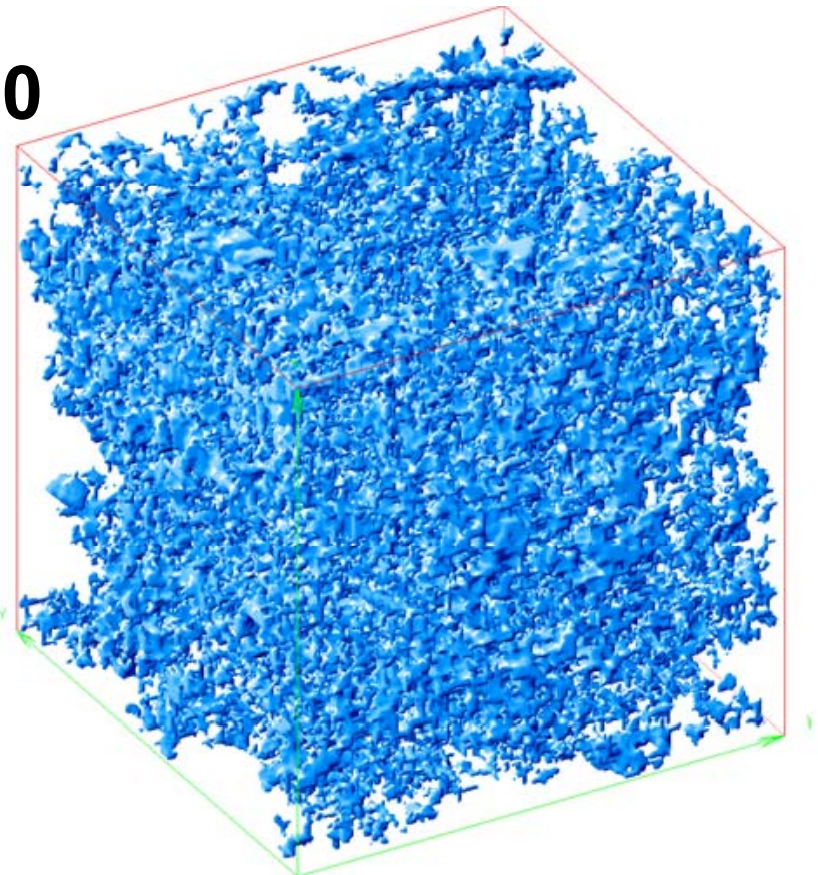
les
Pores
capillaires

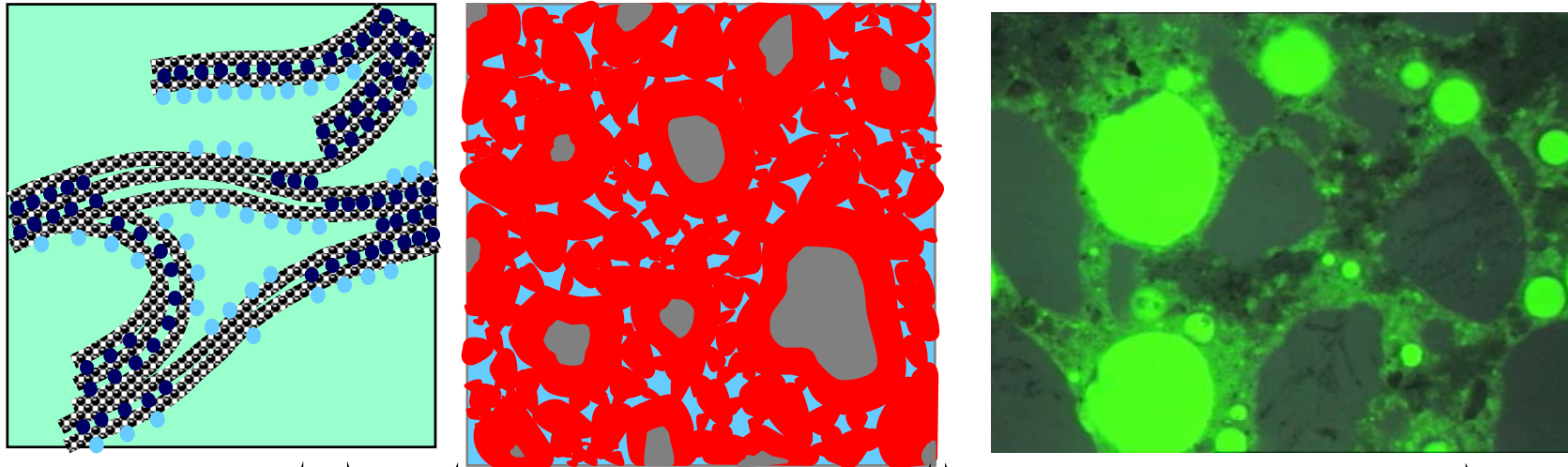
frais

40 μm




durci

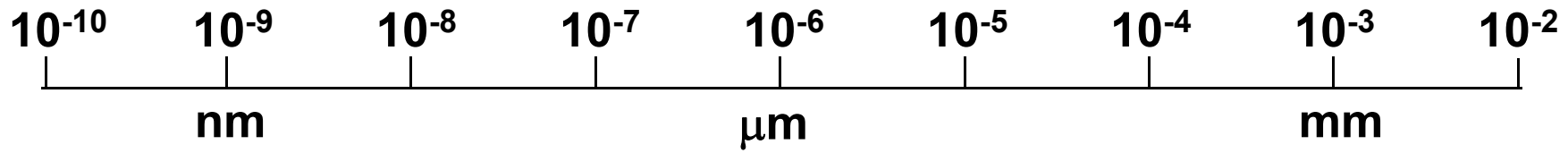




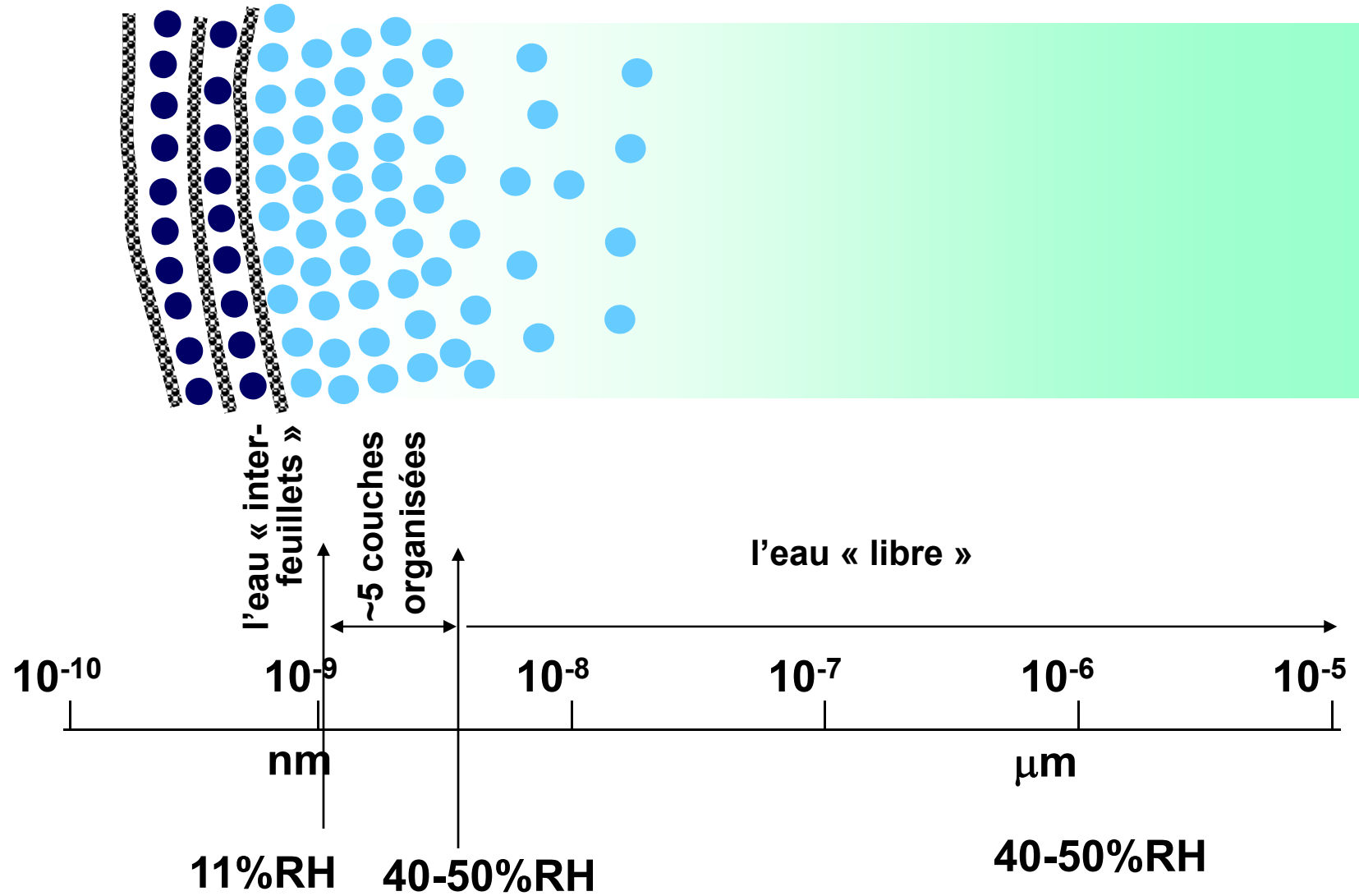
pores
du gel

Pores capillaires

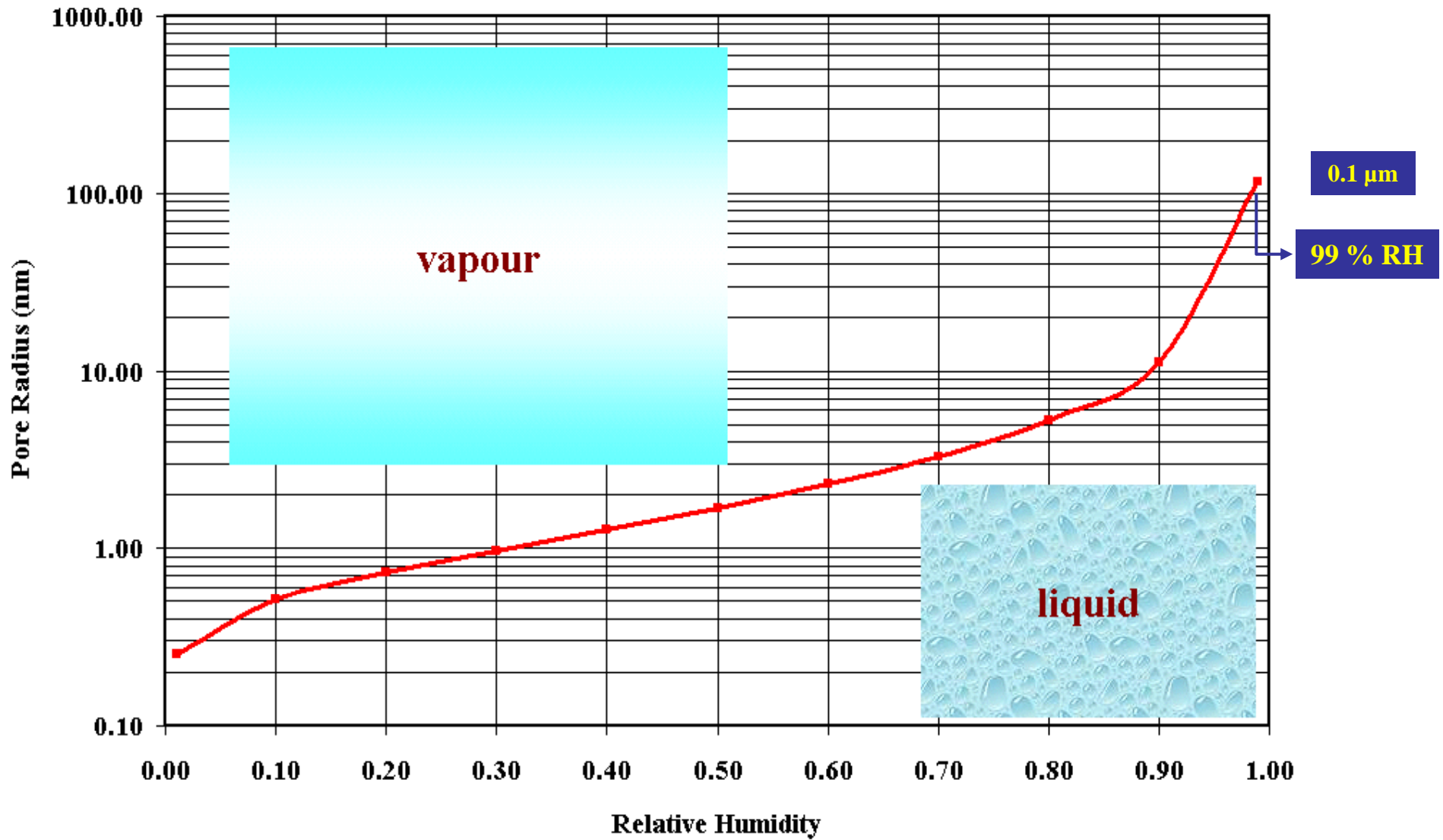
Vides d'air
et de compactage



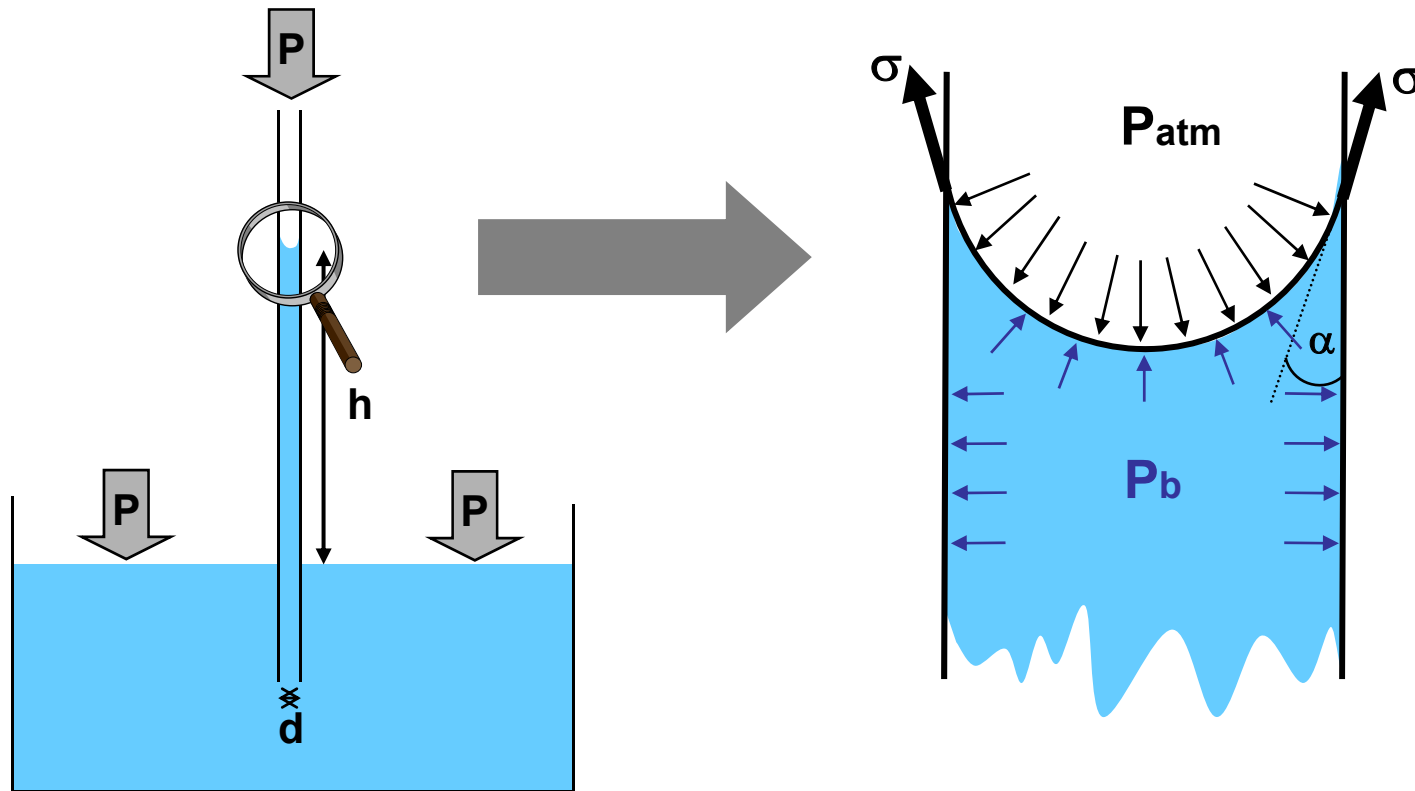
État de l'eau



$$R_{pK} = -\rho_l \cdot \frac{M}{RT} \cdot (2 \cdot \sigma(T) \cdot \cos \beta) \cdot \frac{1}{\text{Ln}(\text{HR})}$$



Forces capillaires



$$\sigma \cos \alpha \cdot 2 \pi r = (P_{\text{atm}} - P_b) \pi r^2$$

$$\Delta P = \frac{2\sigma \cos \alpha}{r}$$

eq. Laplace

Pressions générées

$$\Delta P = \frac{2\sigma \cos \alpha}{r}$$

$\sigma \sim 0,072 \text{ J/m}^2$ énergie de surface

$\alpha = \sim 0^\circ$

$\sim 0,072 \text{ N/m}$ tension superficielle

$r = 1 \text{ }\mu\text{m}$ $\Delta P \sim 0,1 \text{ MPa}$

$r = 100 \text{ nm}$ $\Delta P \sim 1 \text{ MPa}$

$r = 50 \text{ nm}$ $\Delta P \sim 2 \text{ MPa}$

$r = 10 \text{ nm}$ $\Delta P = 10 \text{ MPa}$

Questions

- Pendant l'hydratation, le volume global augmente-t-il ou diminue-t-il?
- Quelles sont les principales catégories du pore en pâte de ciment?
- A HR de 80%, quelle est la plus grande taille des pores saturés en eau?
- A partir de quelle taille de pores la force de capillarité dépasse-t-elle la contrainte de traction dans la pâte de ciment?