



Le traitement des sols à la chaux, éléments fondamentaux

Journée Technique CFMS
Valorisation des Sols Fins

3 Décembre 2008

Paris

Par V.Lelong – Lhoist France

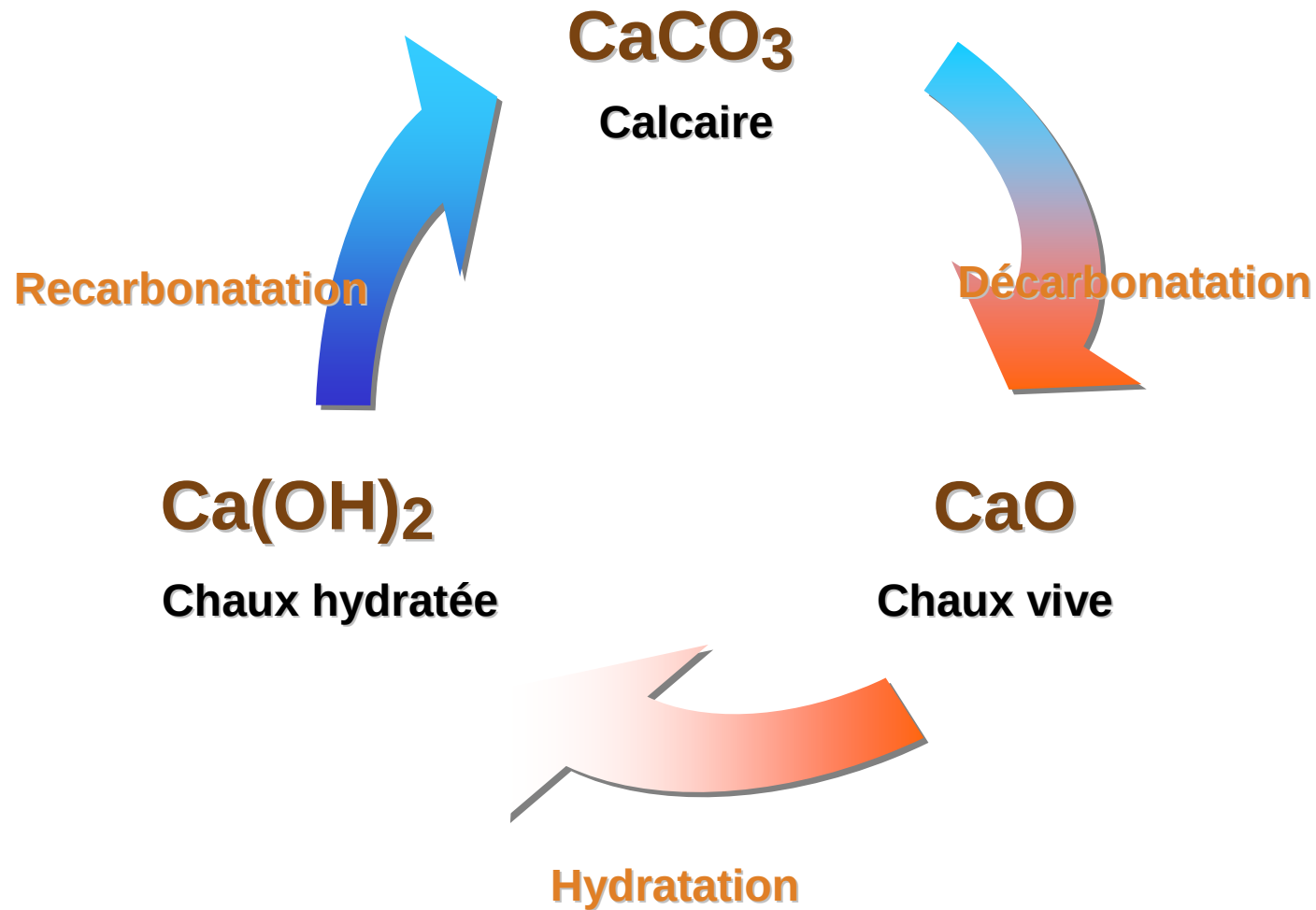


Sommaire

- La chaux aérienne
- Le sol fin, les argiles
- Le système argile/eau
- Les conséquences du traitement à la chaux sur le système argile/eau
- Les réactions sol /chaux
- Cas des sols crayeux
- Chaux & Ciment liants complémentaires
- Les applications du traitement à la chaux

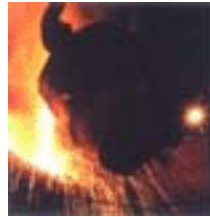


La chaux aérienne calcique



Applications de la chaux

Sidérurgie



Travaux Publics



Environnement



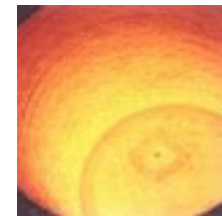
Construction



Chimie



Réfractaires



Agriculture



Papier





Propriétés structurantes de la chaux

- Ensemble des propriétés découlant des caractéristiques spécifiques de la chaux



- En Génie-Civil, la réputation de la chaux repose avant tout sur son rôle d'agent d'amélioration par assèchement des matériaux humides

- **Les autres propriétés sont inégalement exploitées**

- **Modification des sols, granulats, produits organiques**
- **Stabilisation des matériaux**





Normalisation de la chaux aérienne

- La chaux pour traitement de sol est régie par deux normes:
 - NF EN 459: définit les exigences et les classifications de la chaux de construction (marquage CE) mais ne permet pas de définir une chaux pour traitement de sol;
 - NF P 98-101: définit les exigences pour une chaux pour traitement de sol;
- En France nous utilisons pour le traitement des sols des chaux de classe CL80Q suivant EN 459 et répondant aux critères de NP P 98 101.



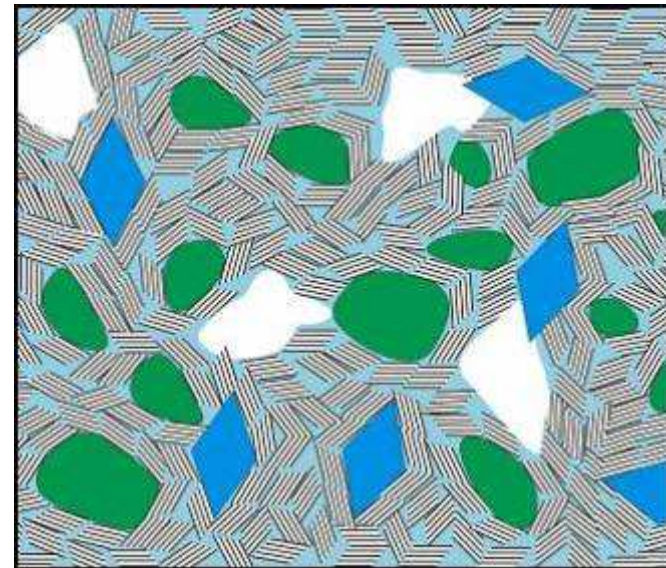
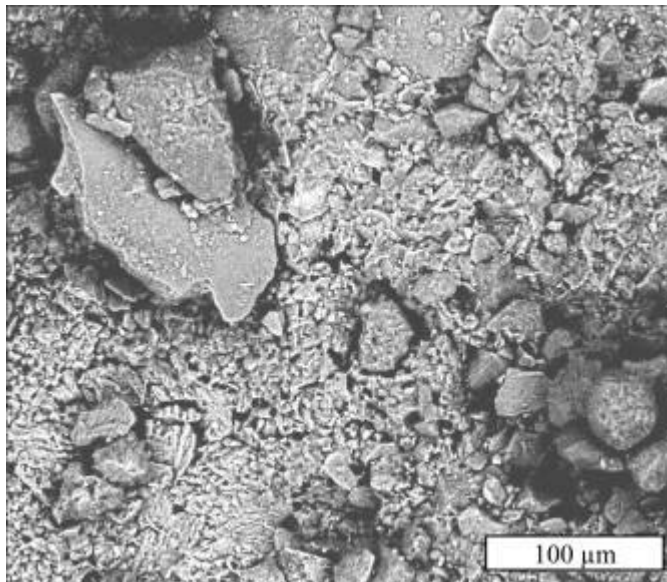
Les sols fins

- Les sols fins sont des matériaux dont le passant à 80 μm est supérieur à 35% et le $D_{\text{max}} < 50$ mm;
- Ils sont constitués de plusieurs phases:
 - Minérales (sable très fin: silice, calcaire ou autre débris de roches, argile..);
 - Eau libre;
 - Vide.
- Leur comportement mécanique est lié à leur teneur en argile et en eau.



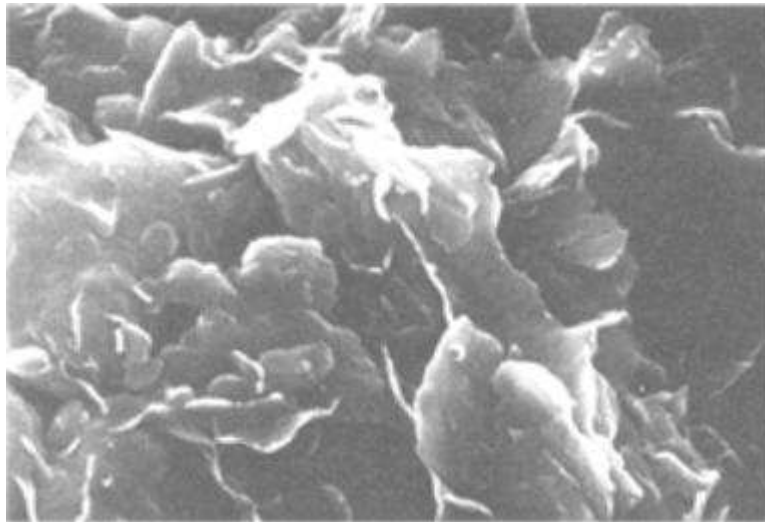
Sol fin: exemple d'un limon

 quartz
  calcite
  clays
  Capillary water
  air



D'après N.Cabane

L'argile



- Surface spécifique
 - Kaolinite – 15 [m²/g]
 - Illite – 100 [m²/g]
 - Smectite – 800 [m²/g]

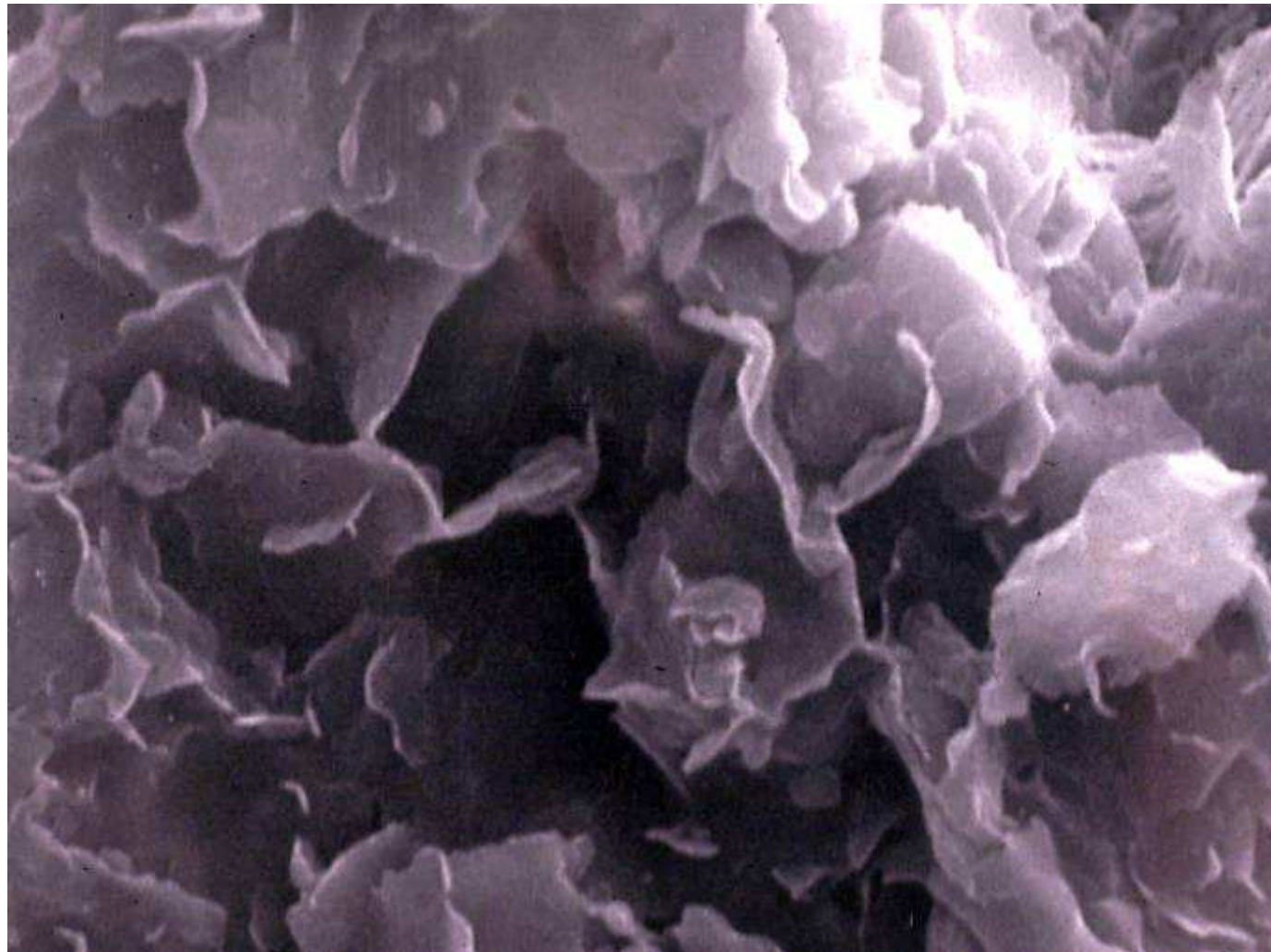
-L'argile est un minéral constitué de particules principalement composées de silice & d'alumine

- Sa très grande surface spécifique et son affinité avec l'eau fait que sa teneur dans un sol détermine le comportement mécanique global de celui-ci.

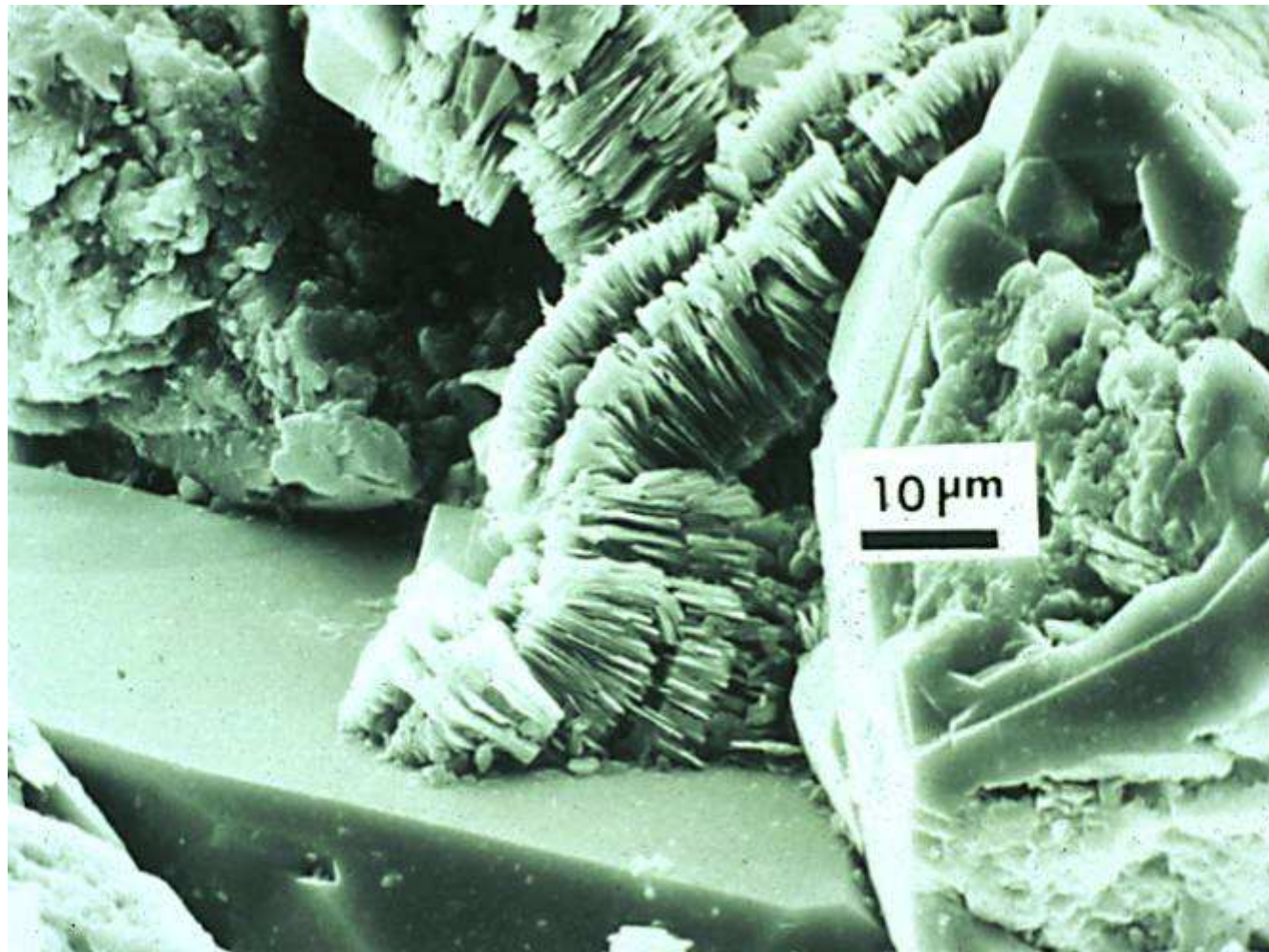




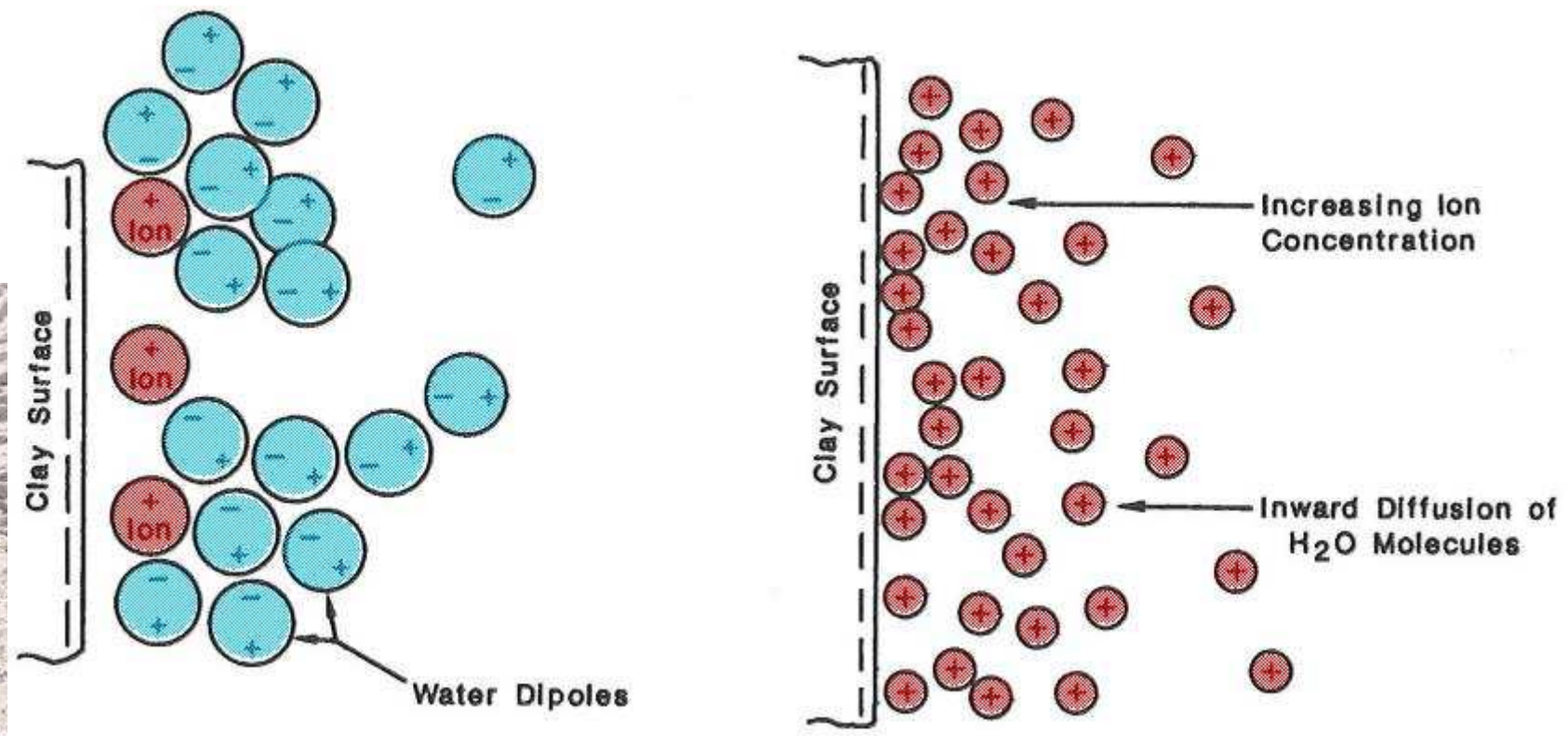
Vue au microscope électronique de Smectite



Vue d'un empilement de feuillets argileux

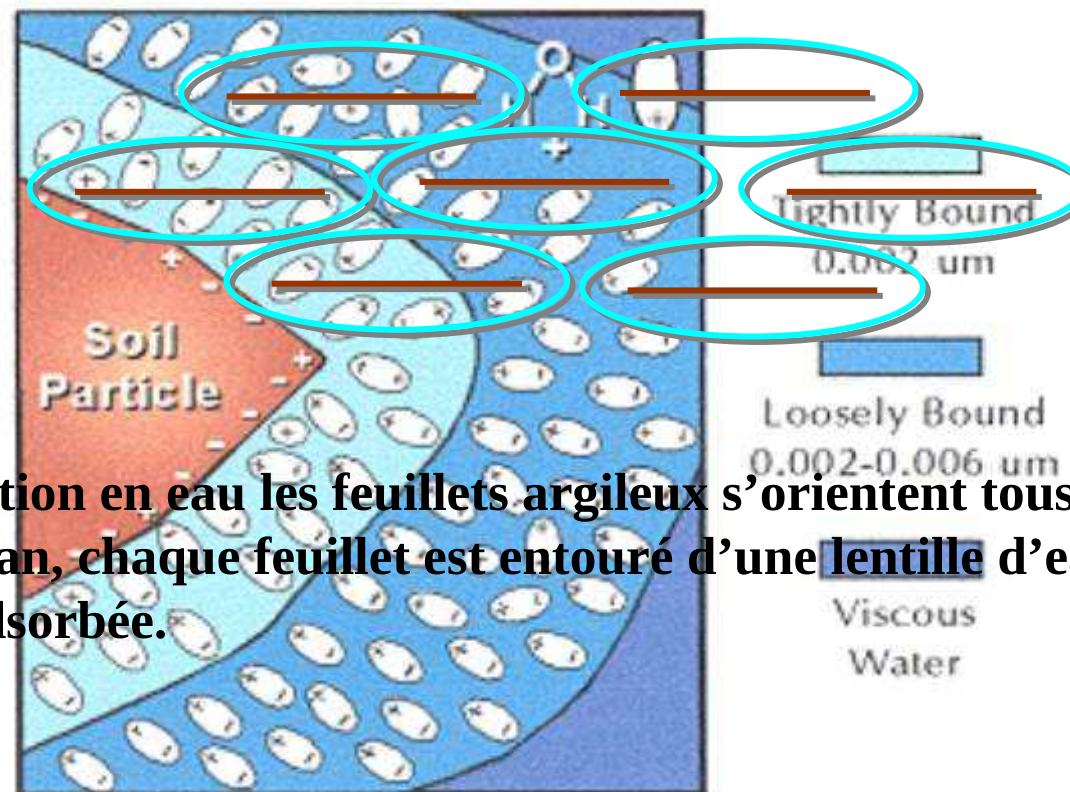


Le système Argile/Eau



La surface électronégative de l'argile attire des Cations (+) dissous et des molécules d'eau (dipole)

Les différentes couches d'eau dans le système argile/eau

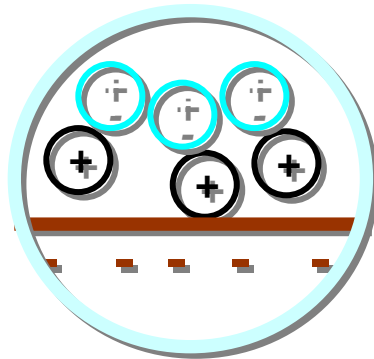


A saturation en eau les feuillets argileux s'orientent tous selon un même plan, chaque feuillet est entouré d'une lentille d'eau plus ou moins adsorbée.



Le système Argile / Eau / Chaux

Echange cationique

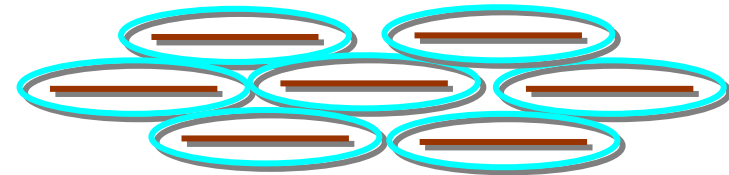


La floculation est due à:

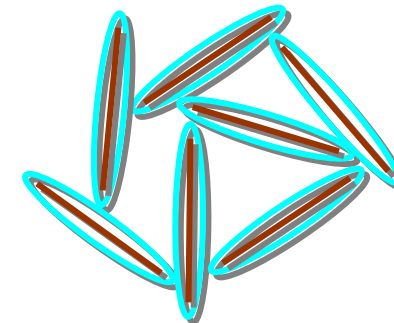
la réduction et la stabilisation des couches d'eau adsorbées

- l'attraction extrémité/face et la formation de ponts de Ca^{2+} entre particules d'argiles

Floculation



Saturation en Na^+



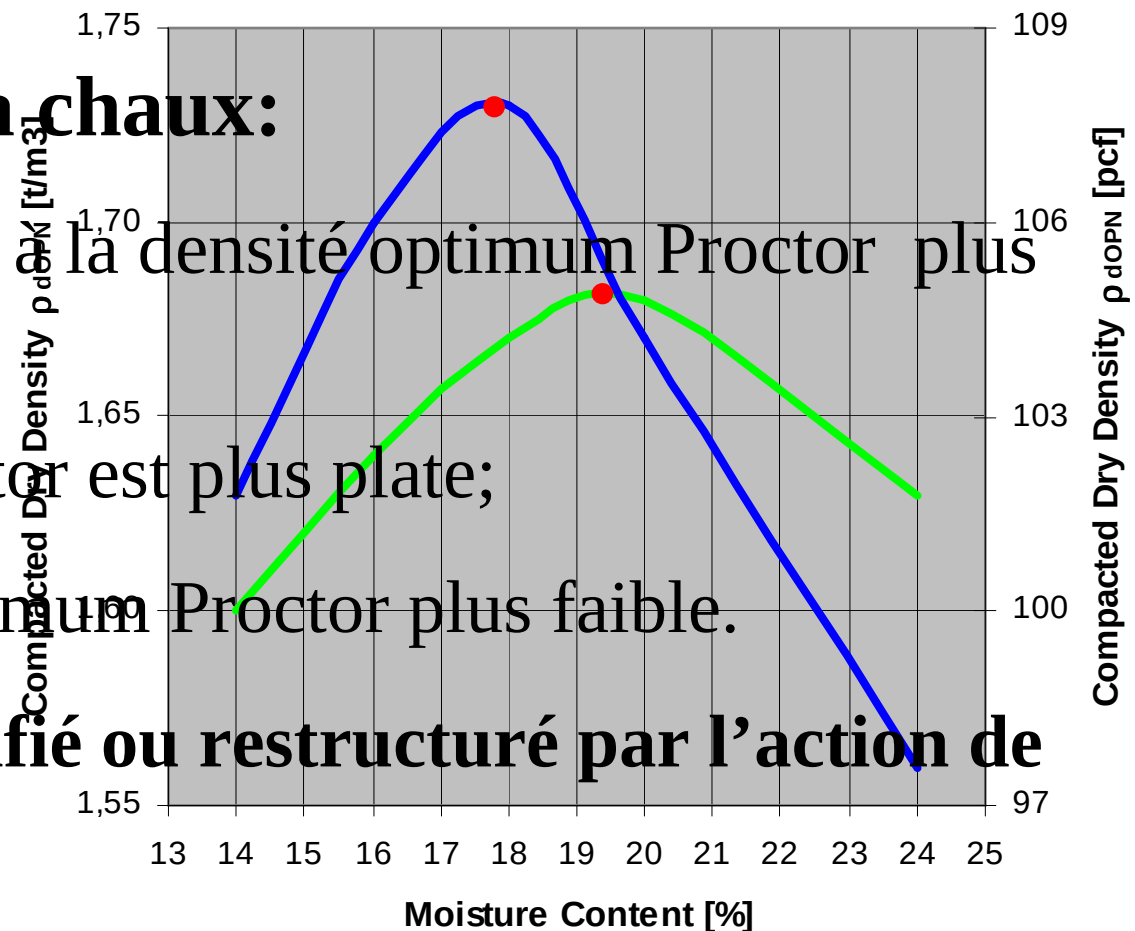
Saturation en Ca^{++}

Conséquence de l'échange cationique

Sol traité à la chaux:

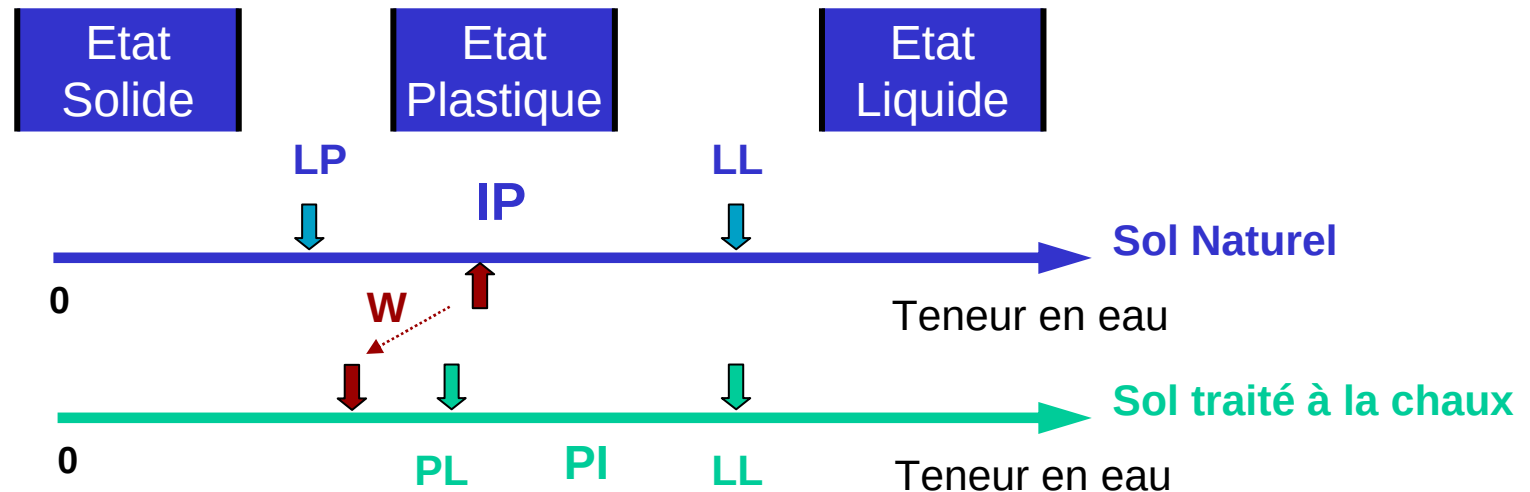
- Teneur en eau à la densité optimum Proctor plus importante
- la courbe Proctor est plus plate;
- La densité optimum Proctor plus faible.

Le sol est modifié ou restructuré par l'action de la chaux



Réduction de la Plasticité (IP)

$$\text{Limites d'Atterberg : } IP = LL - LP$$



Amélioration immédiate de la portance et de l'ouvrabilité du sol

Les réactions sol / chaux

- **Des réactions immédiates:**
 - Hydratation de la chaux vive au contact de l'eau libre
 - Echange Cationique avec l'argile
 - Flocculation/agglomération des particules argileuses
- **Des réactions à plus long terme:**
 - Réaction pouzzolanique
 - Carbonatation



Les pouzzolanes

**Matériau à grande surface spécifique
siliceux ou alumino-siliceux qui en
présence de chaux et d'eau produit une
réaction cimentaire (Par exemple de la
silice)**



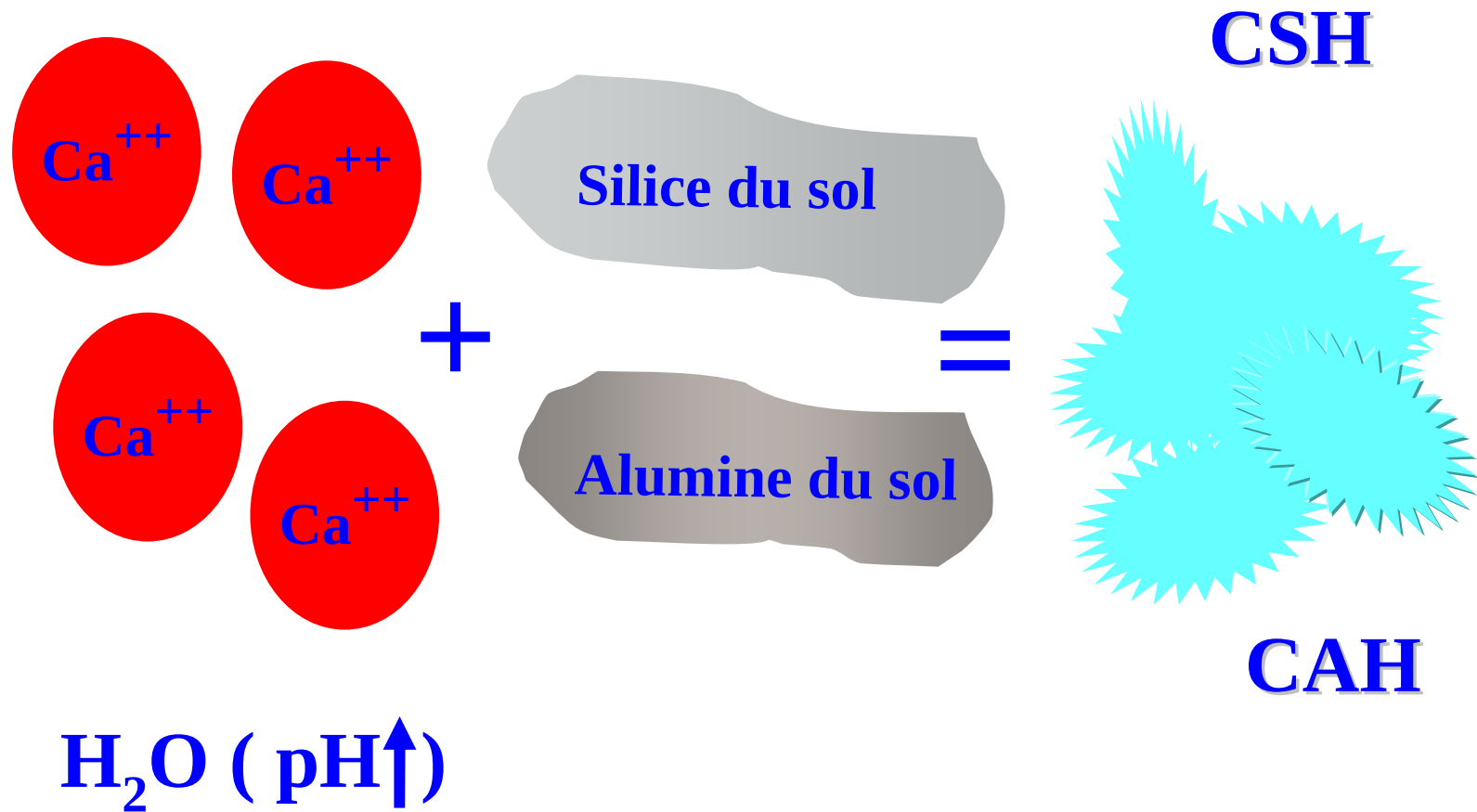


La réaction pouzzolanique

- **L'introduction de chaux dans un sol modifie durablement le pH de celui-ci même à faible dosage ($\text{pH} > 12$);**
- **A ce niveau de pH, SiO_2 et Al_2O_3 de l'argile deviennent solubles et les réactions cimentaires sont possibles**
 - $\text{Ca}^{++} + \text{SiO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{CSH}$
 - $\text{Ca}^{++} + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{H}_2 = \text{CAH}$

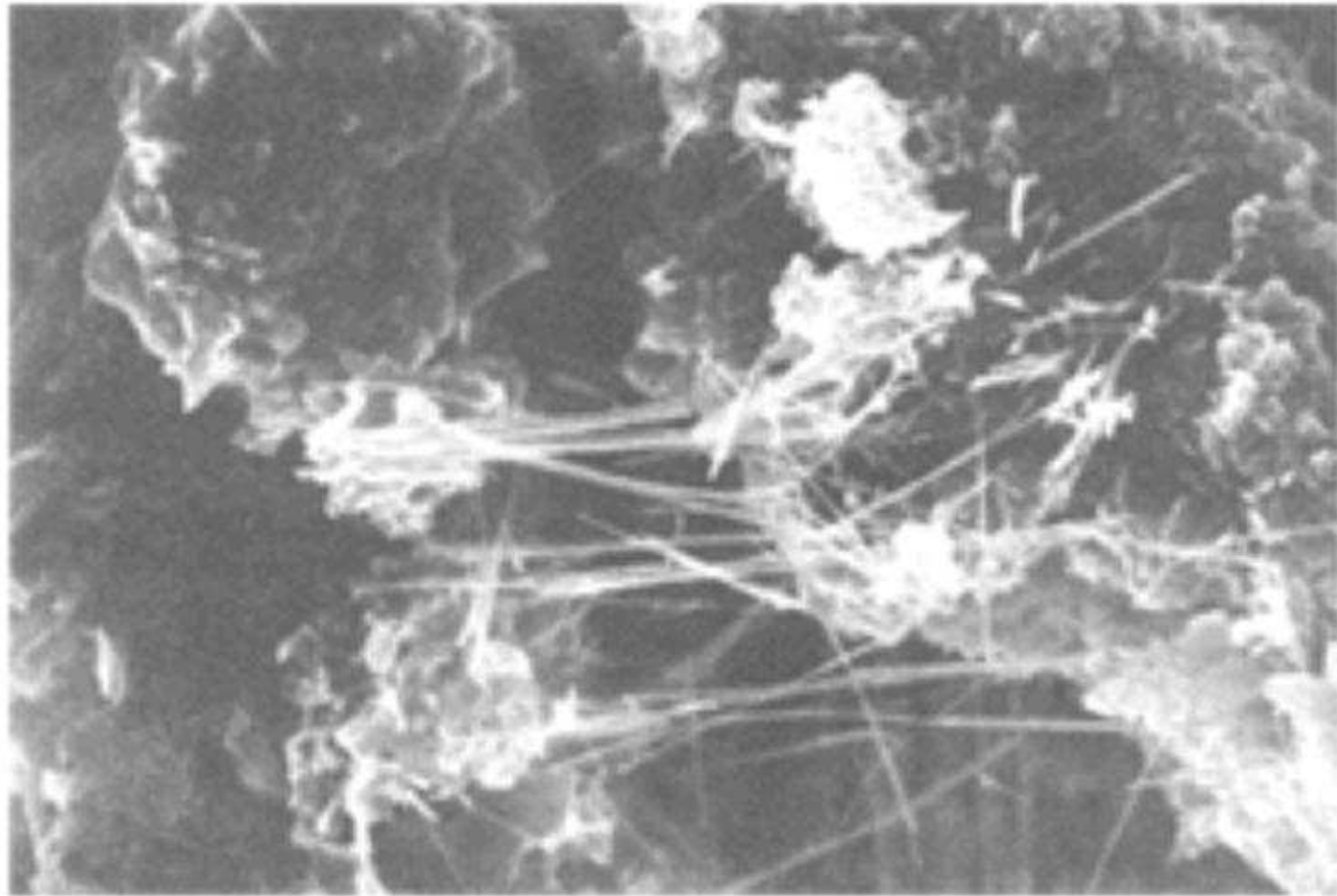


Réaction pouzolanique argile /chaux

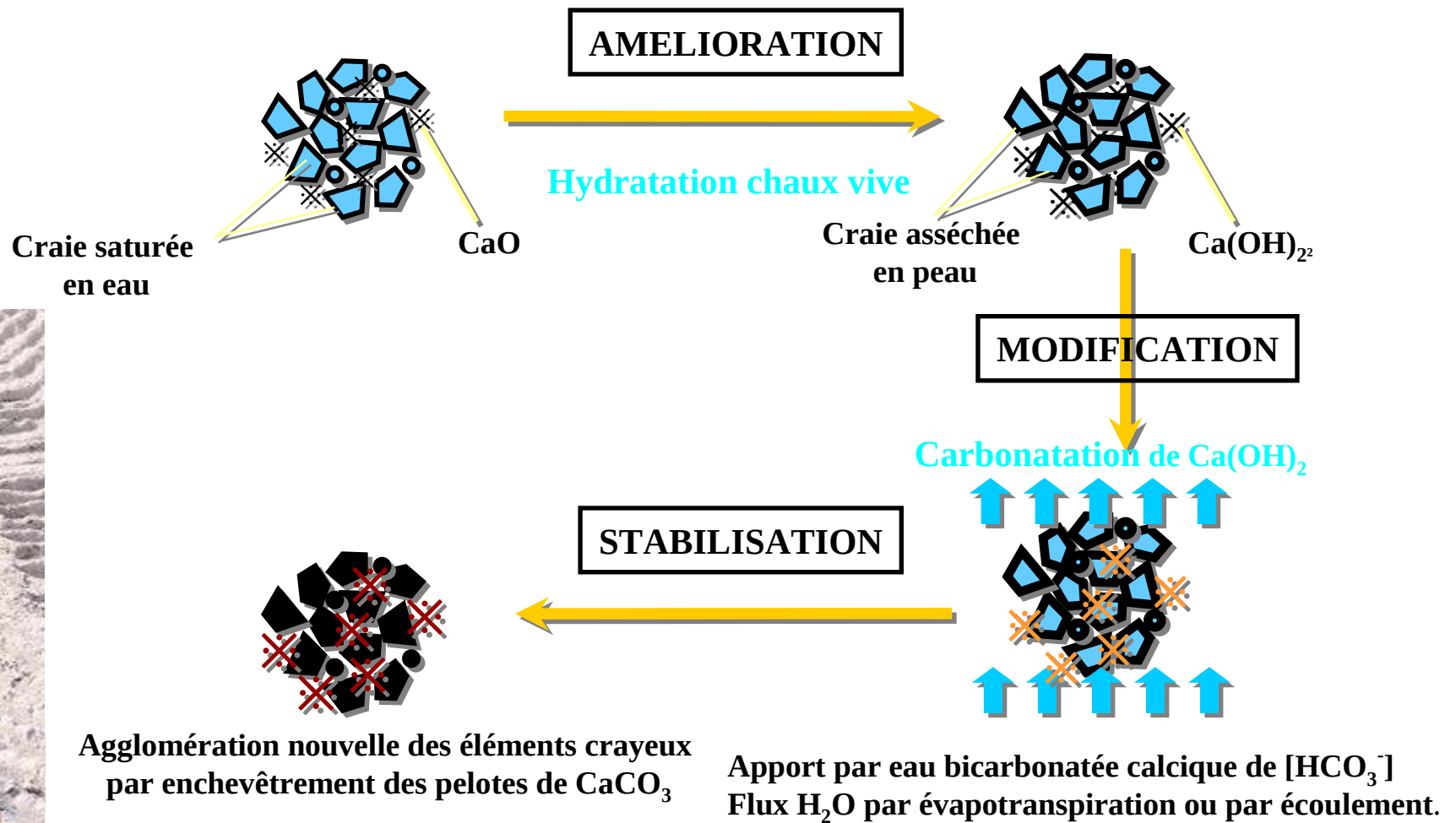




Vue microscope d'un sol argileux après réaction pouzzolanique

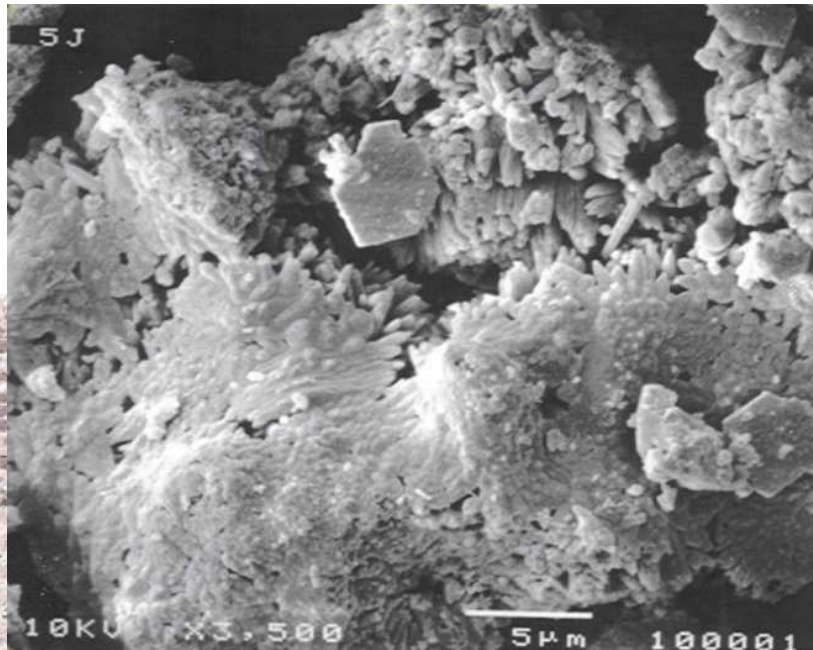


Le traitement de la craie à la chaux



Selon Pr. Paquet

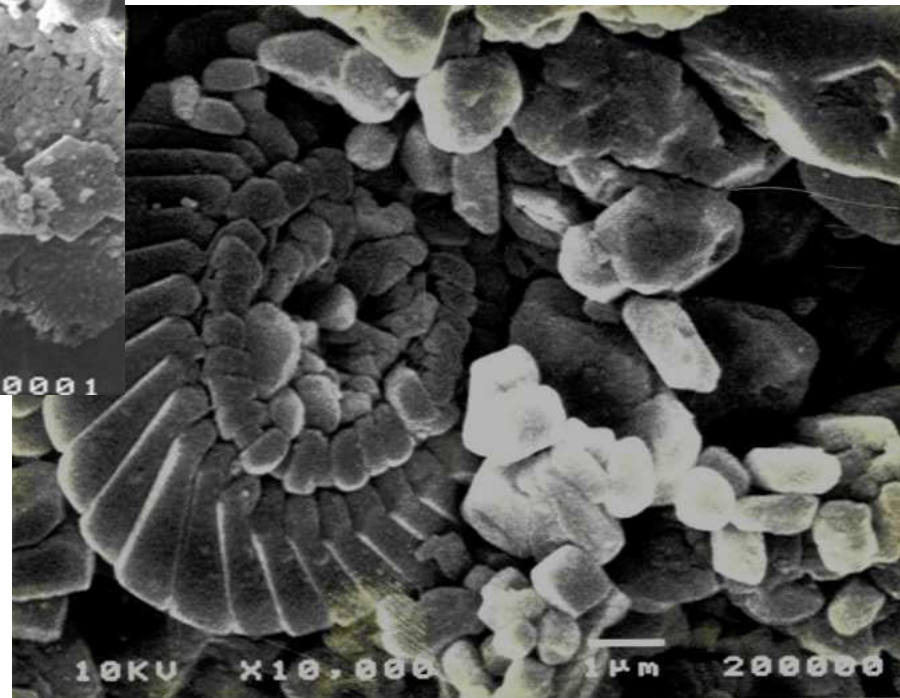
Vue au microscope de craie



Craie traitée chaux

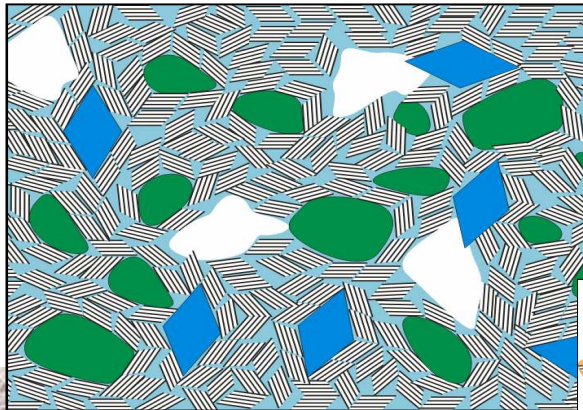


Craie naturelle

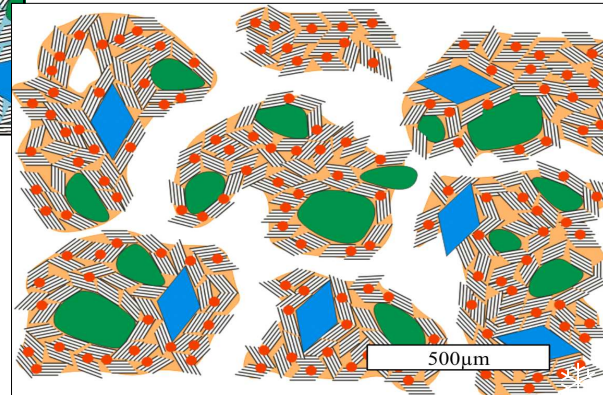




Chaux & Ciment deux liants complémentaires pour un traitement efficace

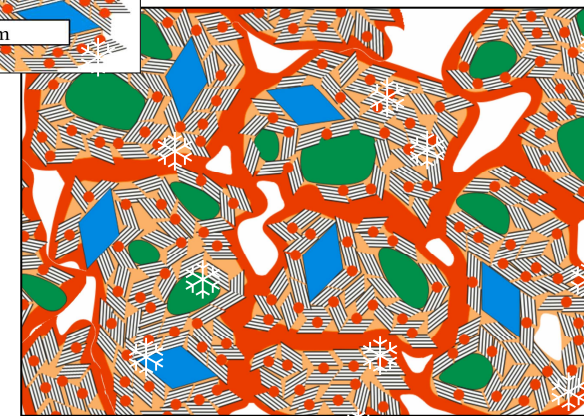


Sol naturel:
structure
homogène
et isotrope



Sol + CaO
=grumeaux

Hydrate de 2ème
génération



Ponts calciques
entre particules
argileuses



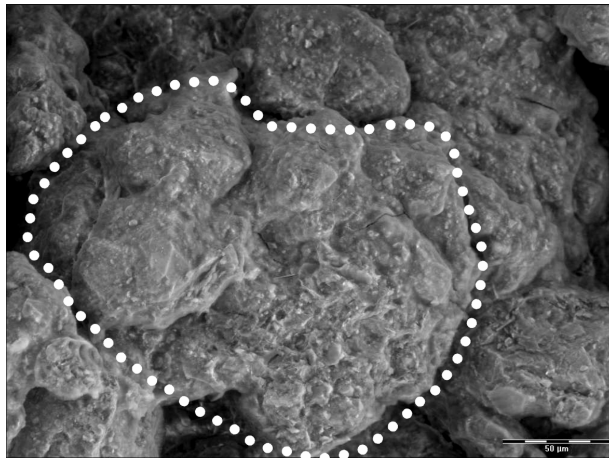
Les grumeaux pralinés de ciment =
traitement réussi



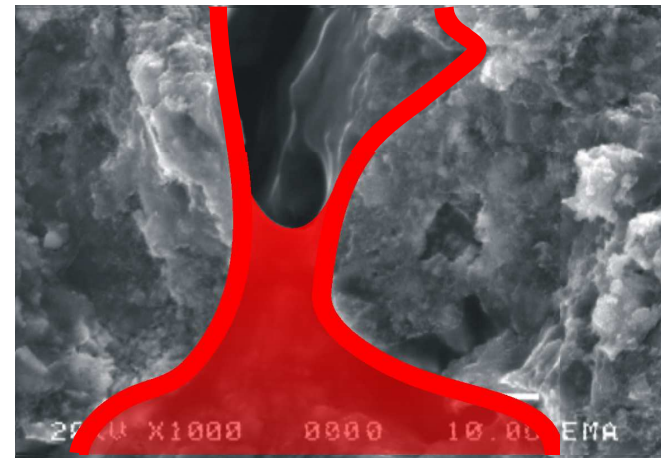
D'après N.Cabane



Après 28 jours: structure de limon traité avec succès à la chaux et au ciment



Grumeaux enrobés de
ciment



Liaison cimentaire entre deux
grumeaux

D'après N.Cabane



Les applications de traitement de sol à la chaux

- Réemploi des sols fins humides:
 - en remblai;
 - en couche de forme;
 - utilisation de chaux vive broyée.
- Réemploi des sols argileux secs:
 - en remblai;
 - en couche de forme;
 - en assise de chaussée (USA);
 - Utilisation de chaux vive broyée, chaux hydratée ou lait de chaux.
- Recyclage des matériaux d'excavation:
 - en centrale fixe ou semi-mobile;
 - in-situ par godet-malaxeur.





Quelques références:

- **Normes**

- NF P 98 101 : Chaux pour traitement de sol
- NF EN 459 : Chaux de construction

- **Guide techniques**

- Guide du Traitement des Sols pour le terrassement publié en 2000 par le SETRA
- Guide du Traitement des Sols Application à la réalisation d'assises de chaussée publié en 2007 par le SETRA
- Guide Régionaux:
 - Valorisation des excédents de déblais de travaux publics publié par la DRIF en Décembre 2003;
 - Utilisation des craies en technique routière par le CER Champagne Ardenne en Janvier 2005.
 - Guides Haute Normandie et Ile de France sur l'emploi des limons en technique routière.

- **Ouvrages de référence**

- « Quelques aspects théoriques et pratiques de la stabilisation des sols à la chaux (Effets immédiats de la chaux) par R.Van Ganse (Revue la Technique Routière Vol XVI – N°3 1971 publié à Bruxelles)
- « Stabilization of Pavement subgradres & Base courses with Lime »Dallas Little National Lime Association (1995)
- « La Chaux, ses utilisations » J.Claude édité par le syndicat de la chaux (Janvier 1995)

- **Adresses**

- Chambre Syndicale des Fabricants de Chaux Grasse et Magnésienne
8, rue Alfred Roll 75008 PARIS 01.44.01.47.01
- www.lhoist.com

