



AFGC – Génie Civil en Transition, 18-19 mars 2015, Paris

DURABILITE DES BETONS DANS LES STRUCTURES DES SECTEURS AGRICOLES, AGROALIMENTAIRES ET LA METHANISATION

Alexandra Bertron, Célestine Voegel, Benjamin Erable, Gilles Escadeillas

bertron@insa-toulouse.fr



Laboratoire Matériaux et Durabilité des Constructions

- Milieux **agricoles et agroindustriels** : effluents lisiers, jus d'ensilage, vinasses, lactosérums...



- **Méthanisation**



Durabilité limitée des ouvrages en béton :
Attaques chimiques et biologiques



Problèmes économiques et environnementaux

Objectifs scientifiques et techniques :

- Comprendre les **mécanismes des altérations** du béton induites par les agents agressifs (chimiques, biologiques) :
⇒ **développer des bétons performants**
- Développer les **méthodologies** permettant ces investigations

Contexte normatif:

- **Pas d'essai normalisé** pour qualifier bétons dans ces environnements complexes
- EN 206-1/NF 18-011 :
Classification env. chimiques agressifs :
 - En fonction du **pH** principalement
 - **Pas de prise en compte de la composante microbiologique**

Effluents agro-industriels / Biodéchets

$4 < \text{pH} < 8$

Composés organiques complexes

Bactéries



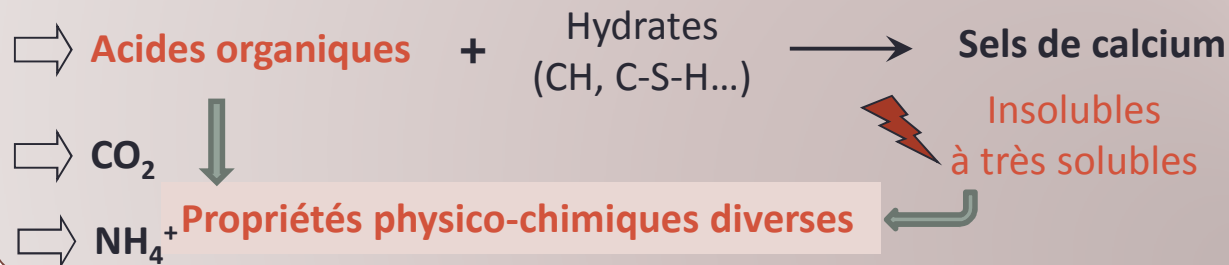
Produits du métabolisme :

Acides organiques, CO_2 , CH_4 ...

Etudes sur effluents réels :
lisiers, ensilages, mélasses...



Composantes chimiques :



1

Composante bactérienne :

$\Rightarrow$ Les bactéries peuvent avoir des effets spécifiques

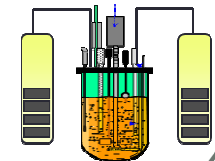
2

Etudes sur milieux modèles :

- Acides organiques synthétiques



- Dispositifs expérimentaux spécifiques

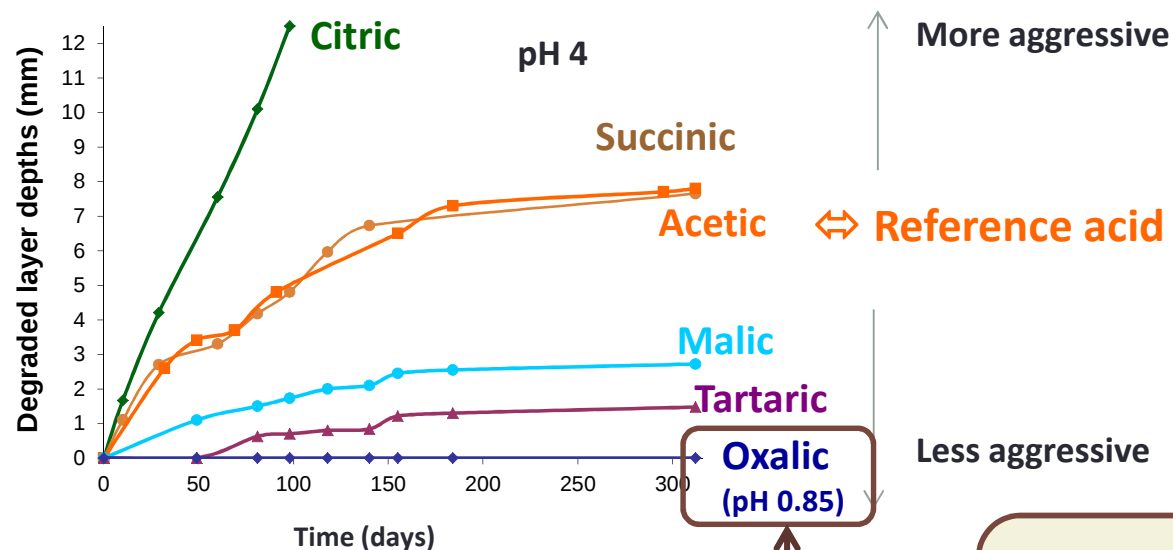


Attaque par les acides organiques

Agressivité relative des acides dans les milieux agro-industriels

Immersion de
pâtes de CEM I
dans solutions
acides

[acide] = 0.28 M



pH: pas suffisant
pour caractériser
agressivité d'une
solution acide

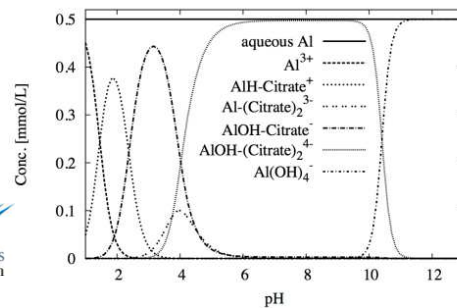
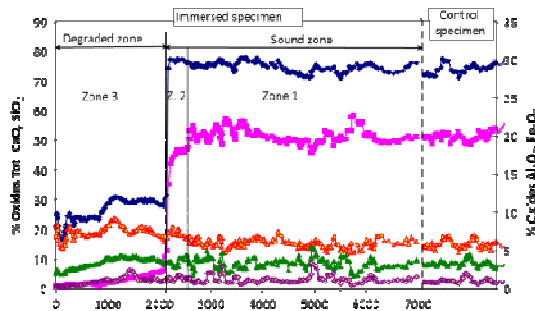
Bertron & Duchesne 2013
Larreur-Cayol et al. CCR 2011

Paramètres influant sur l'agressivité des acides organiques sur matériau cimentaire

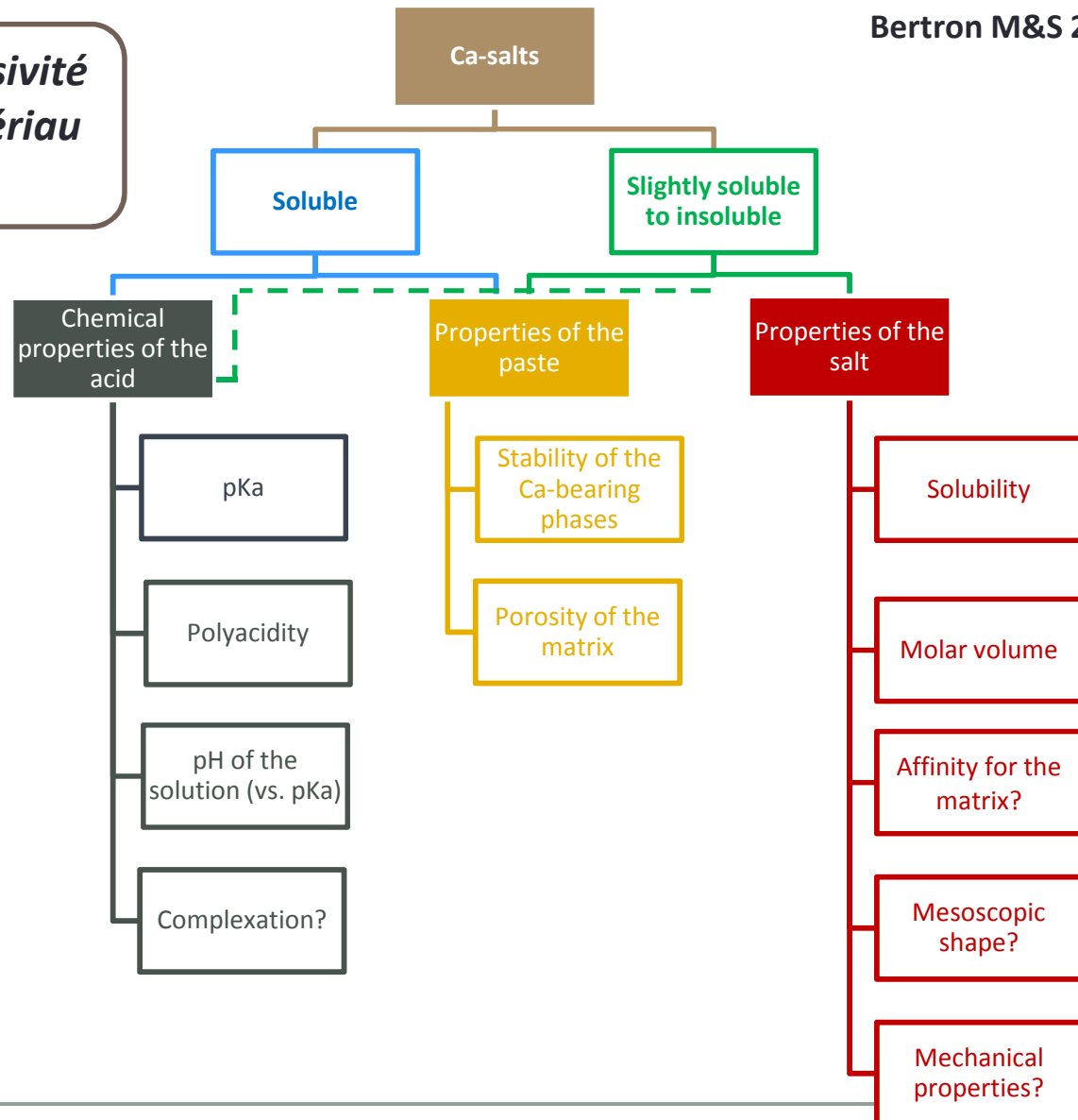
Bertron et al. CCR 2005, 2009

Larreur-Cayol et al. CCR 2011

Bertron & Duchesne 2013



De Windt et al. CCR 2015



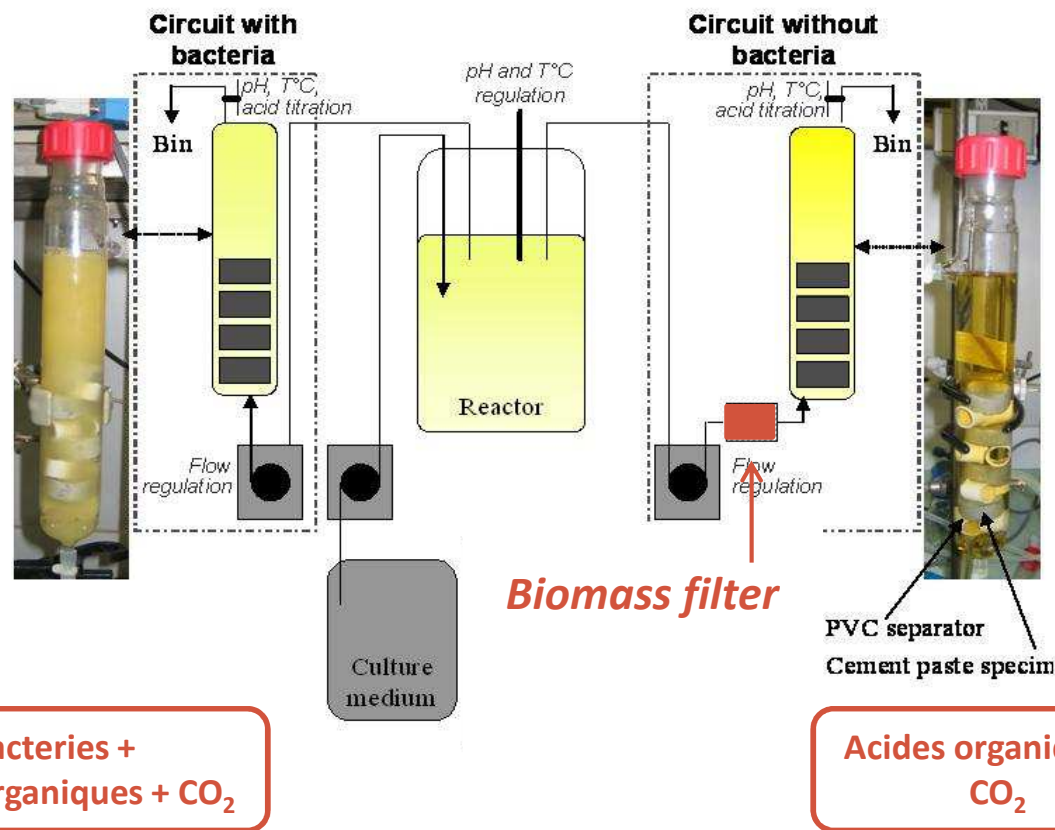
Objectif : analyser l'effet spécifique des microorganismes dans la dégradation / milieux agroindustriels

Build-Mat-Bio Test - BMB Test

Ex : Lisier

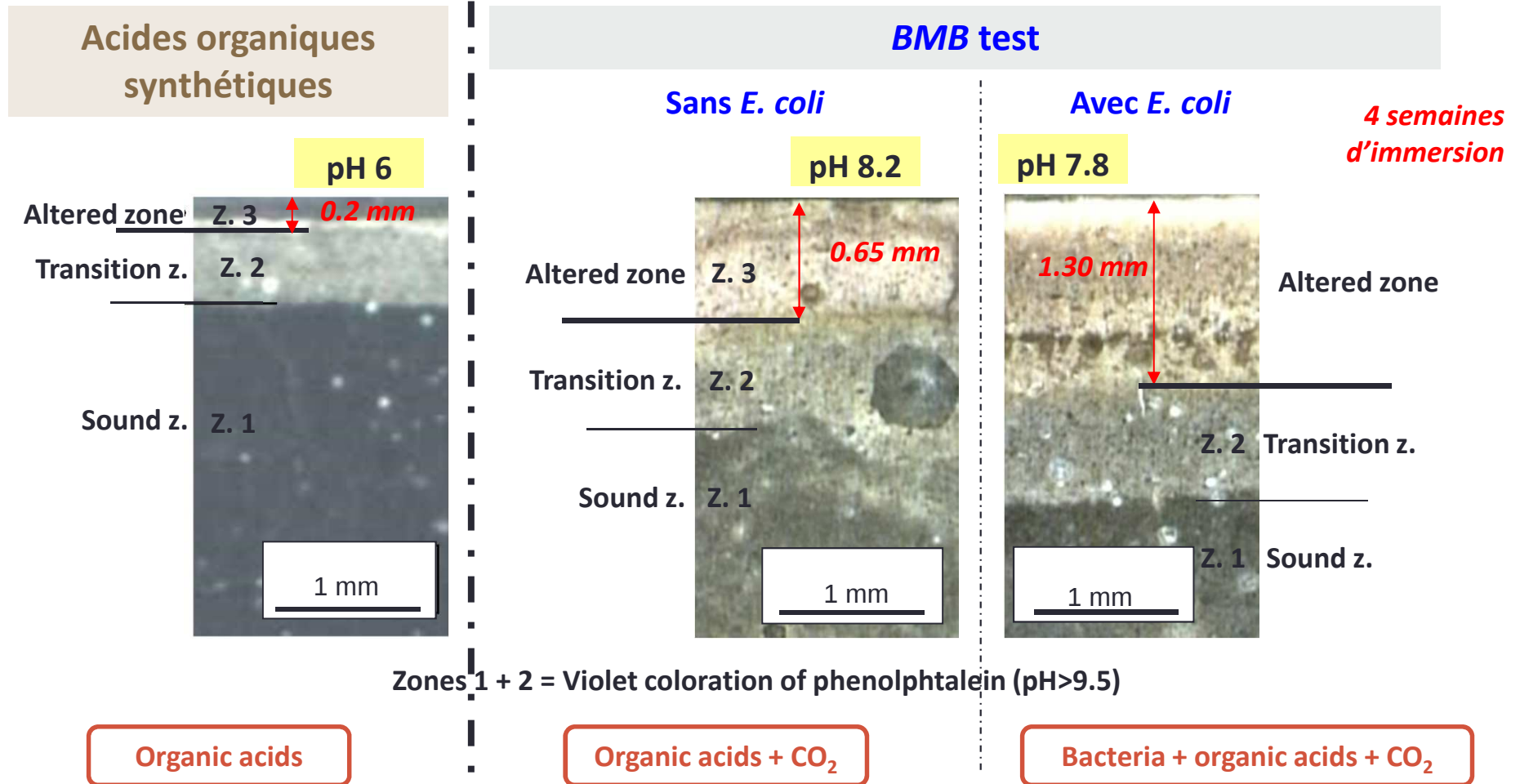
LGC

LISBP



Magniont et al. CCR 2011

Action des bactéries > comparison of alterations in the various media



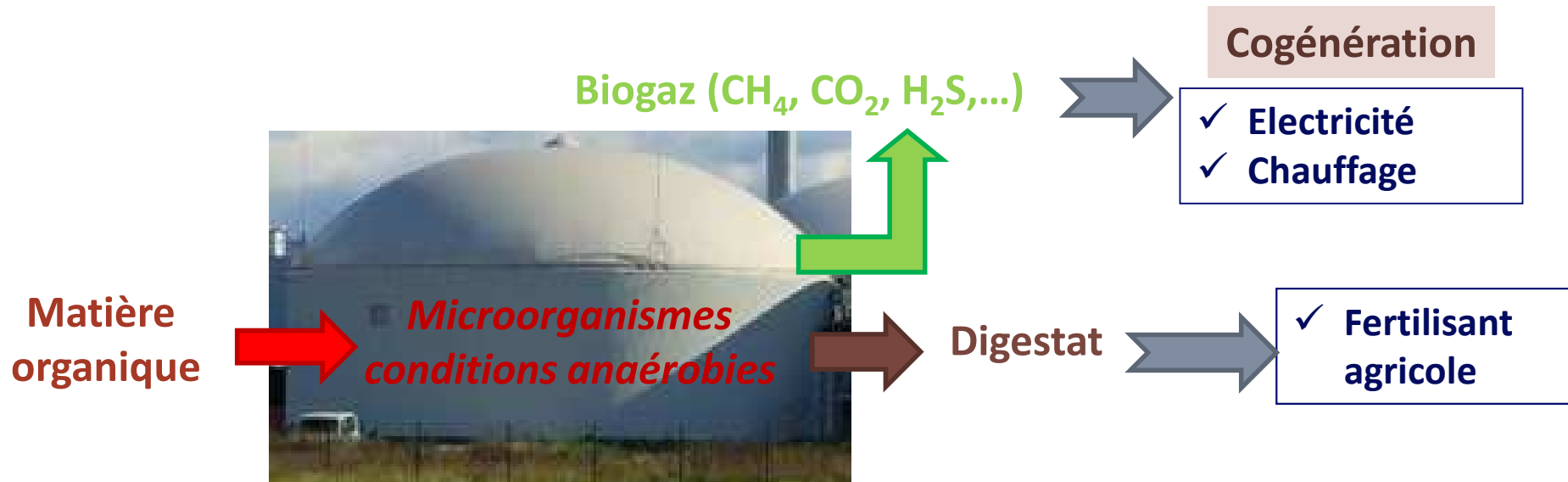
Effet spécifique du biofilm clairement mis en évidence

Magniont et al. CCR 2011



Méthanisation (digestion anaérobie) >

Principe et enjeux



L'ADEME* prévoit l'installation de 1500 unités de méthanisation à l'horizon 2020 en France contre 200 actuellement

Objectif : améliorer la durabilité des structures en béton pour permettre un développement pérenne de la filière



Images : ARIA Energies

*Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie



Méthanisation > Agressivité potentielle pour le béton

Composés chimiques

Normes **EN 206-1 / NF P 18-011**

pH : 6,8 à 7,4 (pH<6.2 toxique /méthanisation)

Non agressif

Acides : **acétate**, propionate, lactate, succinate,
butyrate (0,05-0,2 M, variable)

Non renseigné

Voegel et al 2015, Prescott et al. 2010, Mac Carty et al PW 1964

CO₂ : 2000-3000 mg.L⁻¹

Agressivité chimique forte

Cohen et al. WR (1979)

Ammonium (NH₄⁺) : 50<[NH₃]<200 mg/L

Agressivité chimique modérée à forte

Mac Carty et al. PW (1964)

Condition thermique : 35°C (autorégulation)

Non renseigné

Biofilm

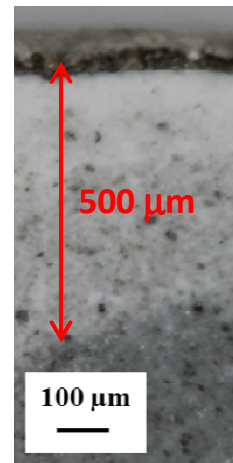
Non renseigné



Milieux mal caractérisés, grande variabilité

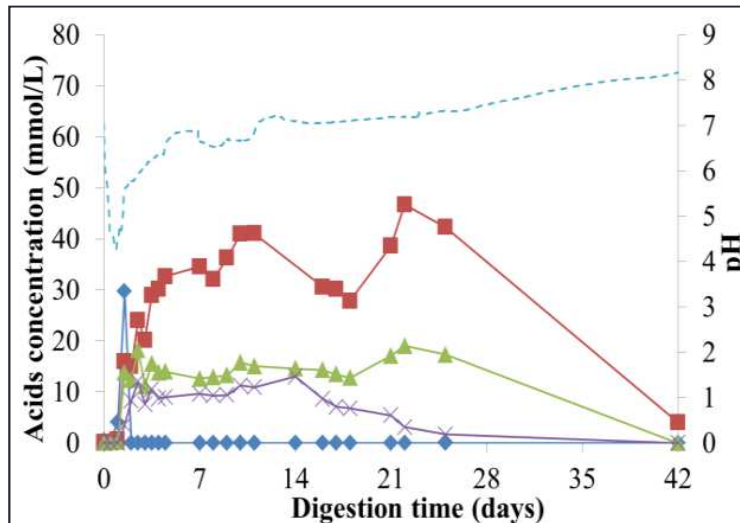
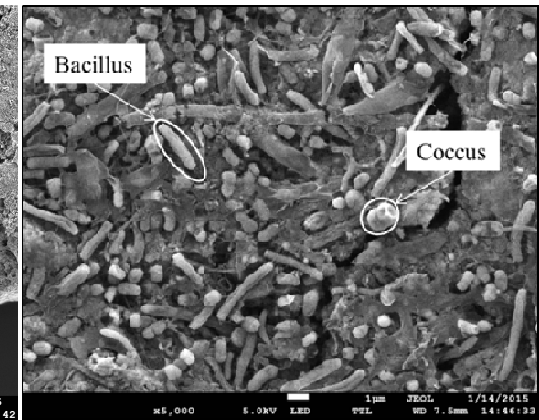
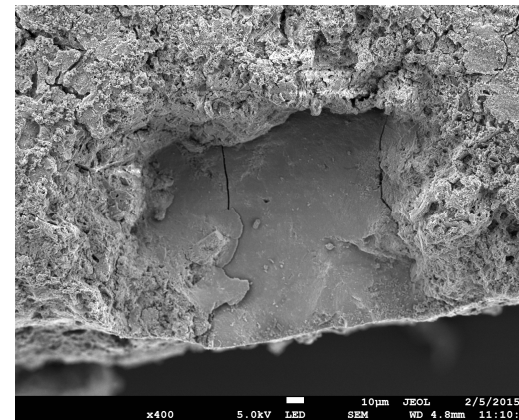
Méthanisation > Caractérisation des milieux et effet du matériau sur biofilm

Voegel et al. M&T 2015, ICC 2015

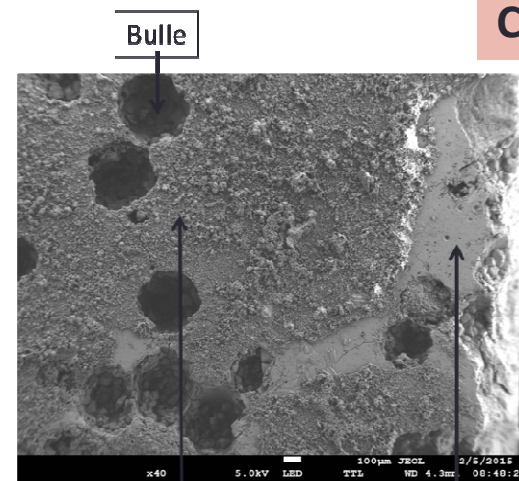


6 semaines d'immersion

CEM I



CAC



Zone recouverte de biofilm

Zone sans biofilm

Chainette

- Caractérisation chimique et biologique des milieux
- Compréhension des **mécanismes d'interaction matériaux-biofilm**
- **Modélisation des attaques – prédiction de la durée de vie**
- Développement de bétons performants : **piste biologique – piste liants**
- **Mise à jour des normes EN 206-1 / NF P 18-011**
- Méthodes d'essais normalisées / durabilité bétons
- **RILEM TC 253-MCI «Microorganisms-Cementitious materials Interactions» (2013-2018)**

Chair: A. Bertron, Secretary: Dr H. Jonkers, U. Delft, The Netherlands





Rencontre SGR-LMDC

MÉCANISMES PHYSICO-CHIMIQUES DE LA DURABILITÉ DES MATÉRIAUX CIMENTAIRES : ÉTUDES EXPÉRIMENTALES ET MODÉLISATION

Dr Alexandra Bertron, Prof. Martin Cyr, Dr Thomas de Larrard

bertron@insa-toulouse.fr, cyr@insa-toulouse.fr, delarrar@insa-toulouse.fr

Laboratoire Matériaux et Durabilité des Constructions

Réponse gouvernementale aux pollutions d'origine agricole : PMPOA 1&2 (1993 et 2001) – PMBE (2004)

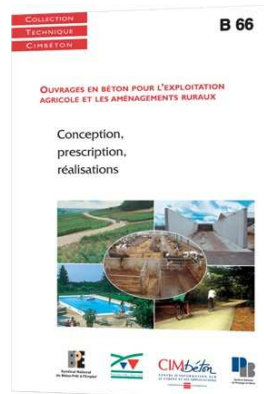
Construction des ouvrages agricoles en béton :

- Fascicule B66 CIMBéton**

Stockage effluents (lisiers, ensilages...) :

- Environnements XA2 ou XA3 (EN 206-1)
- pH < 4 : protection

Nota : EN 206-1 ne considère pas les environnements chargés en microorganismes dans les env. agressifs



- Fascicule 74 30 mai 2012 => 1998 :**

Cahier des charges des ouvrages de stockage des lisiers et autres effluents liquides :

Construction des réservoirs en béton CEM III/C, CAC - 400 kg/m³



- NF P 18-011 :**

Acides XA2 : CEM II/B avec tout type d'addition (hors calcaire et schiste) – 20 à 35 % addition

CEM III/A ES CEM IV/B et B

Acides XA3 : CEM III/ A, B et C, CEM V/A et B, CSS (laitier + CaSO₄), CAC

TEXTES OFFICIELS

LOGEMENT

EQUIPEMENT

CONSTRUCTION DES RÉSERVOIRS EN BÉTON

Fascicule 74
Cahier des clauses techniques générales

Document annexé à l'arrêté du 30 mai 2012

N° 98-3 T.O.

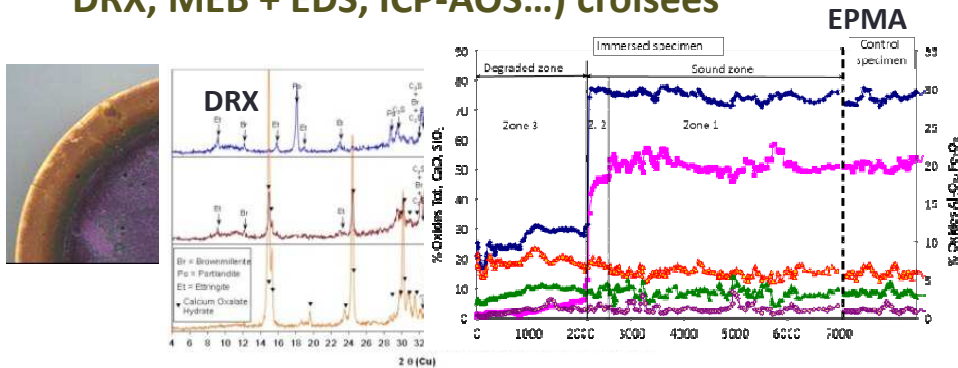


MINISTÈRE DE L'ÉQUIPEMENT,
DES TRANSPORTS ET DU LOGEMENT

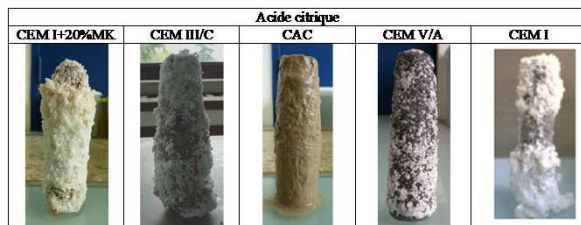
Compréhension des mécanismes d'altération > Méthodologie générale

Campagne expérimentale

- Exposition de matériaux aux espèces agressives
- Large palette de liants** (ordinaires, spéciaux : CAC, additions: laitiers, CV, FS, MK...)
- Différentes techniques analytiques (EPMA, DRX, MEB + EDS, ICP-AOS...) croisées**



Bertron et al. CCR 2005, M&S 2007, 2009

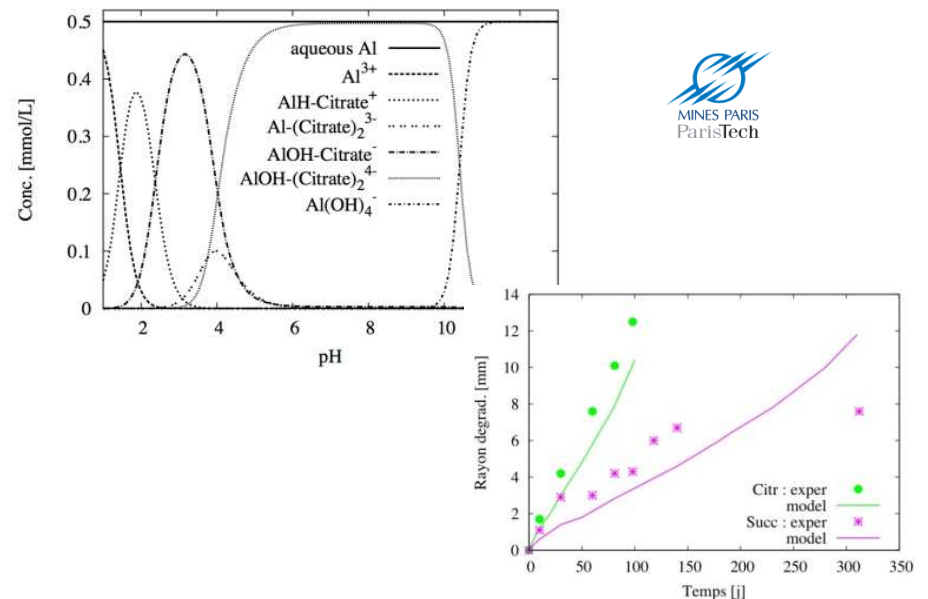


Larreur-Cayol et al. CCR 2011, Voegel et al. 2014

Modélisation du transfert réactif et des équilibres en solution

CHESS, HYTEC, collab. Mines Paris

- Compléter **compréhension mécanismes, cinétiques d'altération**
 - Spéciation Al, Ca (complexes, sels)**
- Large gamme de pH et de concentrations



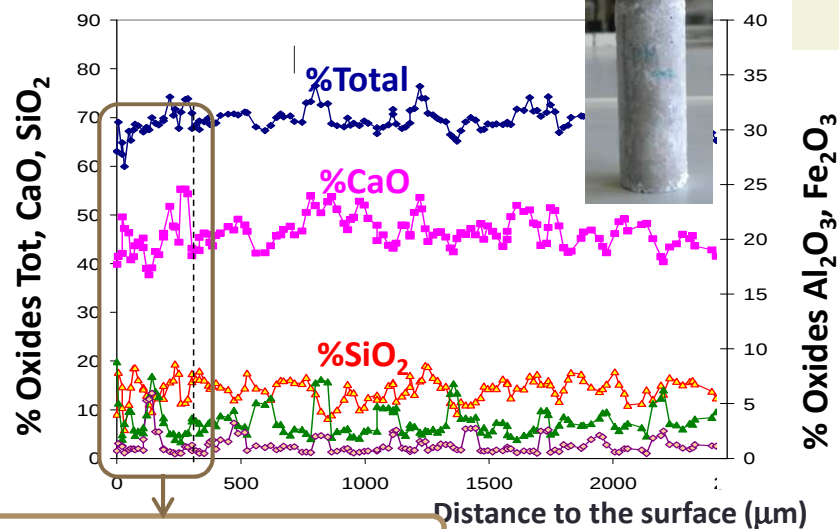
De Windt et al. CCR 2015

Attaque par les acides organiques > Mécanismes d'altération

Acide avec sel protecteur : *oxalique*

Acide avec sel destructeur : *citrique*

pH 0.85



EPMA + XRD + SEM

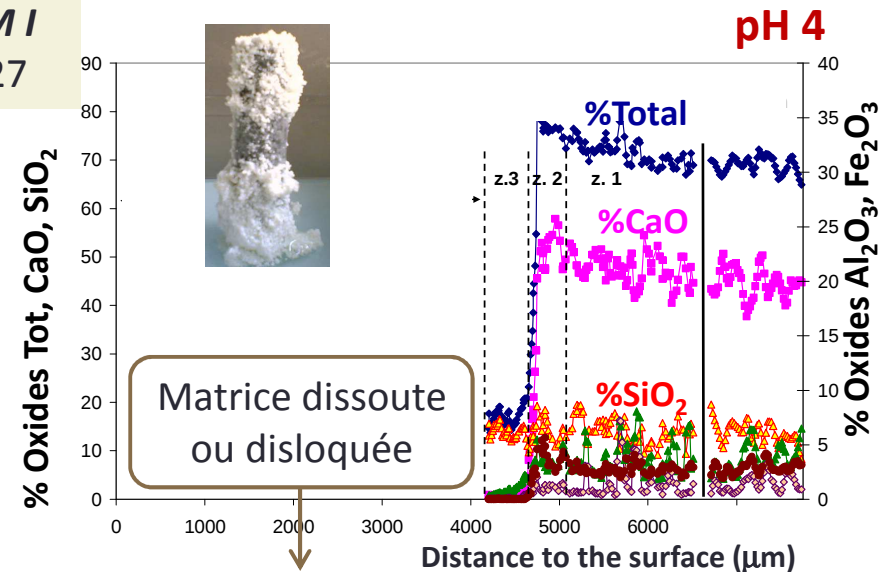
$V_m(\text{CH}) = 33 \text{ cm}^3/\text{mol}$

$V_m(\text{Ca-Ox}) = 66 \text{ cm}^3/\text{mol}$

Ca-oxalate : scelle la porosité de pâte CEM I
Est très stable, adhère à la matrice



Pâte CEM I
W/C=0.27



$V_m(\text{C-S-H}) = 125 \text{ cm}^3/\text{mol}$

$V_m(\text{Ca-Cit}) = 518 \text{ cm}^3/\text{mol}$

Volume molaire élevé du Ca-citrate
Faible adhérence à la matrice

