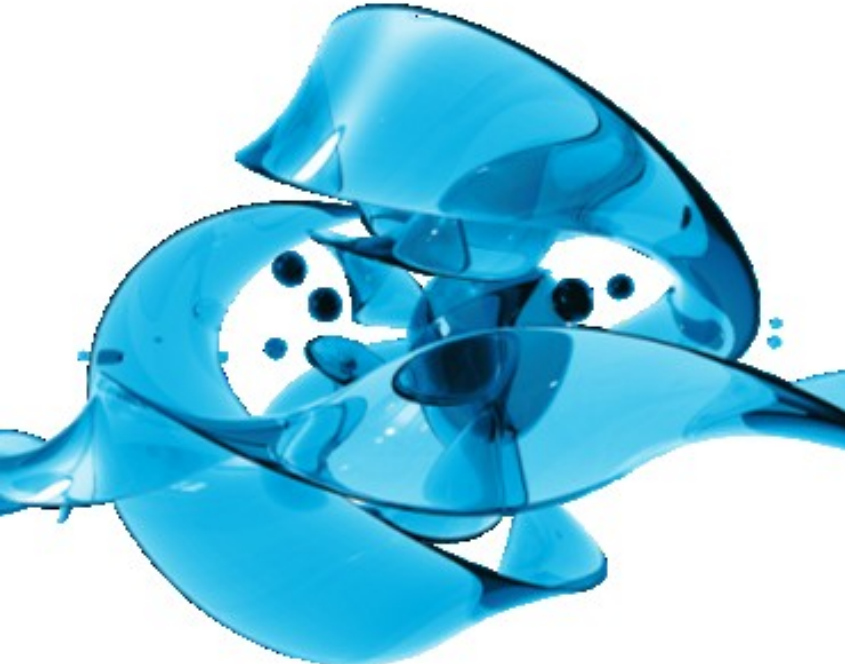



Procédés hydrométallurgiques pour la récupération et le recyclage des métaux



**Production de composés
métalliques par voie
humide à partir de
sources secondaires**



Baptiste LAUBIE & François LAPICQUE

Maître de conférences

Directeur de recherche





Contexte Lorrain

- Contexte industriel :
 - ↳ Mines
 - ↳ Sidérurgie, métallurgie,
 - ↳ Traitement de surface
 - ↳ Sites pollués
- Contexte de recherche :



CRPG
Géoréssources
LIEC
LSE



Cycle géochimique des éléments stratégiques

Valorisation des minerais (flottation, bio-hydrométallurgie et phytomine)
Impacts environnementaux (phytoremédiation et écotoxicité)

Procédés de séparation, précipitation
Ecoulement et transfert
Design de procédés
Electrochimie
Analyse de cycle de vie



Physicochimie
Spéciation
Electrochimie



Contexte Lorrain

- 2 plateformes expérimentales :

↳ **Steval** (Station expérimentale de valorisation des ressources et des substances résiduares)

↳ **GISFI** (Groupe d'intérêt scientifique des friches industrielles – Homécourt)



Broyeur à boulet



Séparateur Foucault



Colonnes de flottation

Etude des opérations unitaires du génie minéral solide/solide ou liquide/liquide jusqu'à l'échelle 1/1

Plateau technique de 2 000 m²

150 équipements de broyage, classification, séparation...



Construction de sols

Phytoremédiation (phytostabilisation et phytodégradation)

Atténuation naturelle et friches non-remaniées

Suivis lysimétriques





LRGP : Hydrométallurgie et procédés

Objectifs : production de composés métalliques principalement à partir de sources secondaires, par voie humide et à des températures modérées

- Sources secondaires :
 - ↳ **Matières premières secondaires** (MPS) : industries sidérurgiques, effluents industriels
 - ↳ **2nde mine** : industrie minière et milieux naturels
- Composés métalliques :
 - ↳ Métaux et oxydes métalliques
 - ↳ Nano-pigments
 - ↳ Sels métalliques
 - ↳ Composés organométalliques
- 3 actions développées au LRGP :
 - ↳ **Design de procédés hydrométallurgiques pour la valorisation des délaissés**
Phytomine, valorisation de boues sidérurgiques et Analyse de Cycle de Vie (ACV)
 - ↳ **Opérations unitaires pour l'hydrométallurgie**
Procédés de précipitation sélective et contrôlée
Procédés de séparation et architecture (échange d'ions...)
 - ↳ **Procédés électrochimiques pour l'hydrométallurgie**
Procédés d'électrolxiviation, d'électrodéposition et d'électroréduction



Design de procédés hydrométallurgiques : récupération des métaux dans les boues d'épuration des fumées de hauts fourneaux

- M.O. Simonnot, J. Mocellin
Collaboration avec l'INRS ETE (Québec)

INRS
Université d'avant-garde

- Objectif :
 - ↳ développer un procédé hydrométallurgique viable économiquement pour récupérer le Zn, Mn et Pb, par lixiviation sélective



*Sol initial,
riche en Mn*



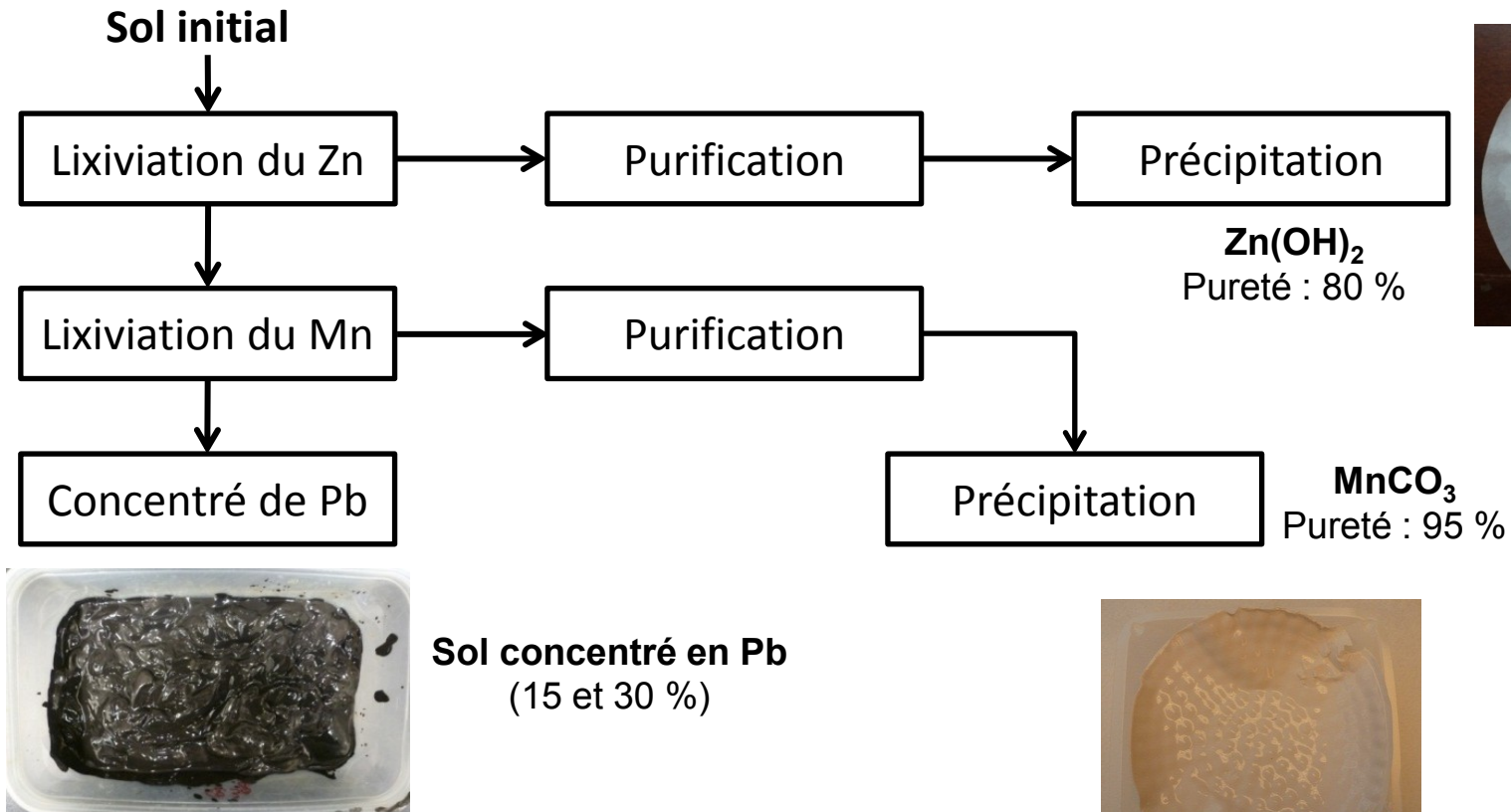
- Lixiviation sélective de Zn, Mn et Pb :
 - ↳ Zn soluble dans H_2SO_4 à faible concentration
 - ↳ MnO_2 insoluble dans H_2SO_4 → réduction préalable indispensable
 - ↳ Pb insoluble dans H_2SO_4 , même en conditions réductrices



Montage de lixiviation



Design de procédés hydrométallurgiques : récupération des métaux dans les boues d'épuration des fumées de hauts fourneaux

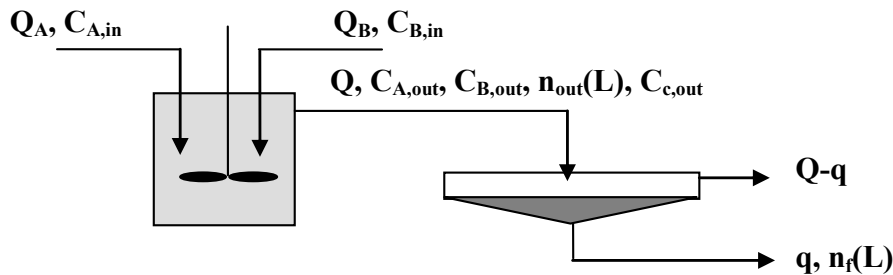


↳ Possibilité de valorisation par voie pyrométallurgique

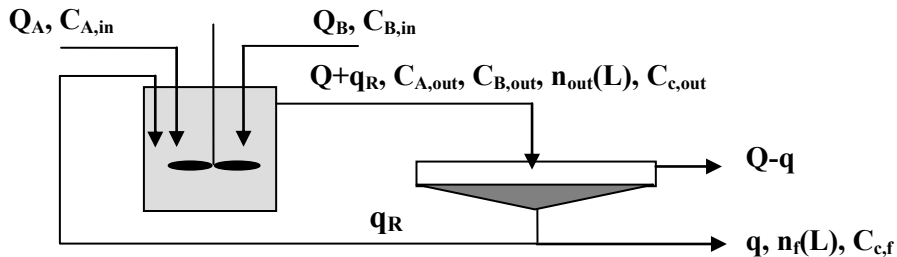


Opérations unitaires pour l'hydrométallurgie : génie de la précipitation

- H. Muhr, E. Plasari
- Conception de réacteurs de précipitation :



- ↳ **Procédé de précipitation classique :**
réacteur + décanteur
- Volume et coût importants



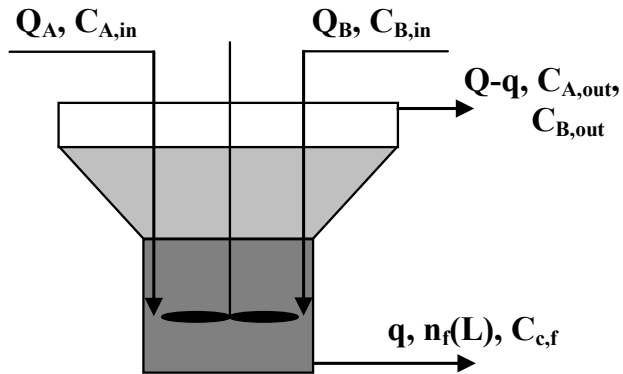
- ↳ **Procédé de précipitation avec recyclage :**
- Réduction du volume du réacteur en fonction du taux de recyclage
- Adaptation « bas-coût » d'installations existantes



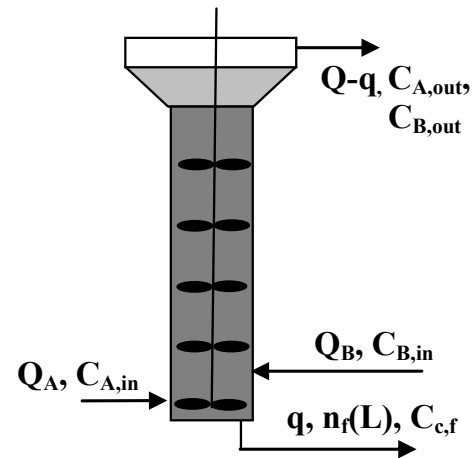
Opérations unitaires pour l'hydrométallurgie : génie de la précipitation

- H. Muhr, E. Plasari
- Conception de réacteurs de précipitation :
 - ↳ Procédés plus efficaces

Précipiteur avec un réacteur
parfaitement agité + un décanteur



Précipiteur avec un réacteur à lit
fluidisé + un décanteur

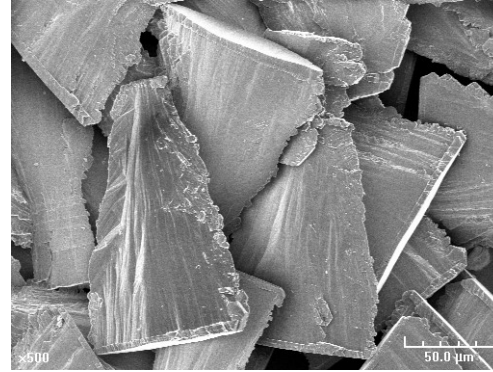
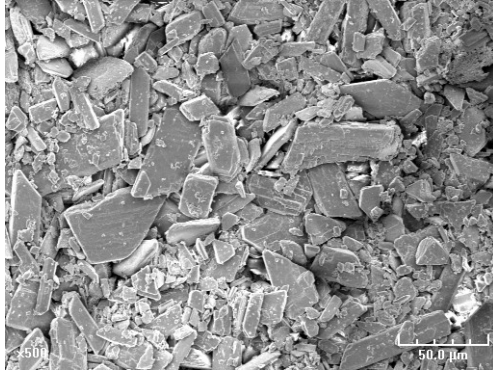


- Réacteurs à forte densité de solide
- Volume nettement réduit
- Obtention d'un bonne qualité physique du solide



Opérations unitaires pour l'hydrométallurgie : génie de la précipitation

Procédé classique

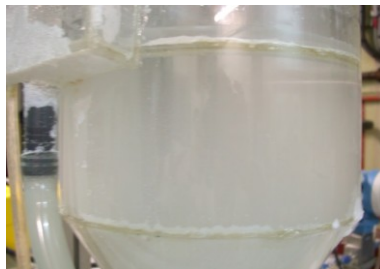
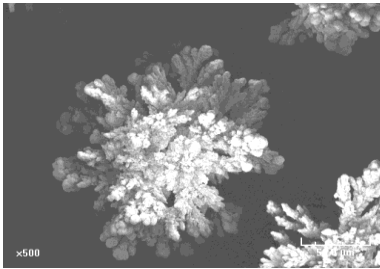


Réacteur à lit fluidisé

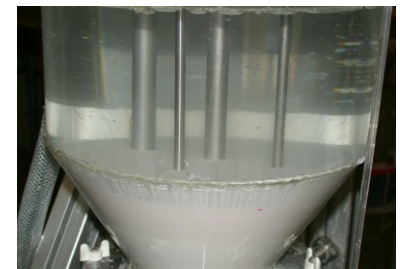
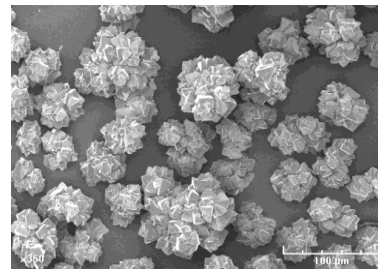
Traitement d'effluent agricole : formation de gypse

↳ Importance des conditions opératoires sur la structure des précipités obtenus

Aragonite



Calcite

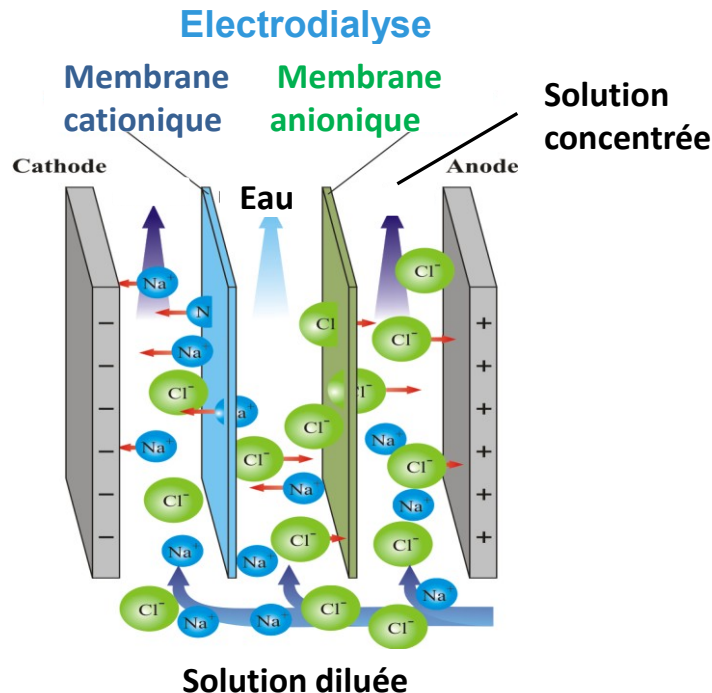


↳ Des résultats prometteurs pour les métaux (U, Ni...)

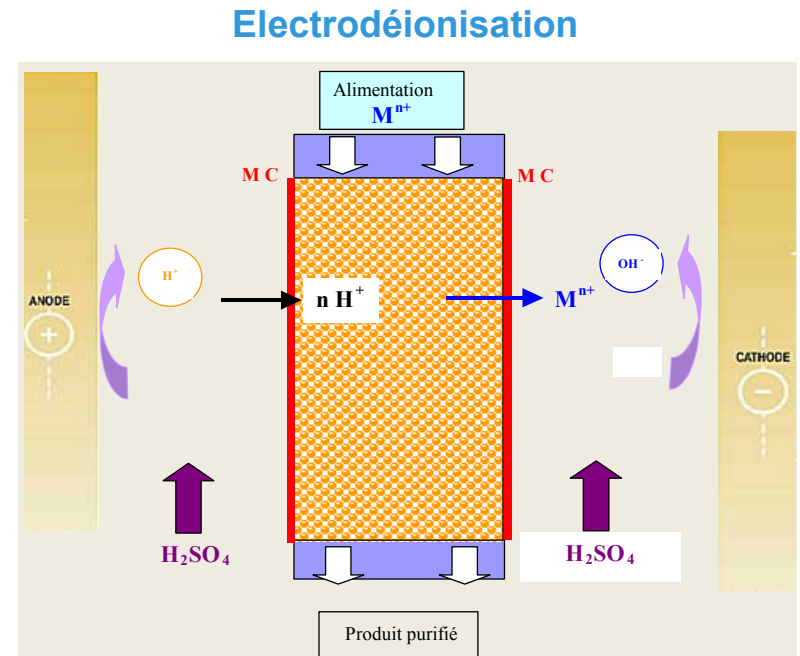


Opérations unitaires pour l'hydrométallurgie : génie de la séparation

- L. Muhr, F. Lapicque
- Architectures de procédés électromembranaires couplés à l'échange d'ions
 - ↳ Electrodéionisation (EDI) = électrodialyse + échange d'ions



Concentration de solutions salines avec des conductivités électriques suffisantes



Effluents peu concentrés : métaux lourds (l'industrie nucléaire), métaux précieux (galvanoplastie)

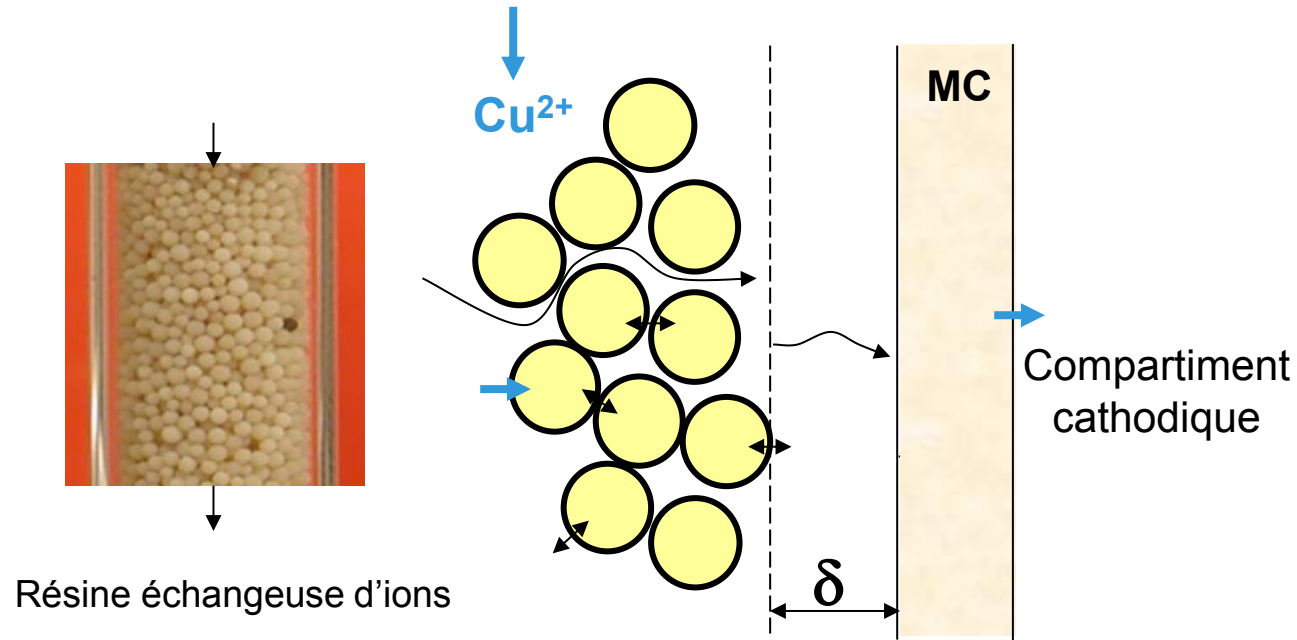


Opérations unitaires pour l'hydrométallurgie : génie de la séparation

- ↳ Etude cinétique : identifier les étapes limitantes de transfert pour quantifier les flux maximaux



Pilote EDI



Questionnements sur :

Les profils de concentration près de la membrane
La nature du contact membrane – résine

- ↳ 3 thèses soutenues au LRGP (I. Monzie, A. Mahmoud, F. Schab)



Procédés électrochimiques pour l'hydrométallurgie

- Récupération d'Ag à partir de solutions de thiosulfate d'argent (8 g/L)
 - ↳ Réduction électrochimique directe (Storck et al.)

Contraintes :

Productivité, sélectivité, qualité du dépôt

Limites :

Electrodes planes : > 200 – 500 ppm

Electrodes 3D (grilles, lits fixes ...) : > 10 ppm

Questionnement sur :

La stratégie de pilotage du courant I

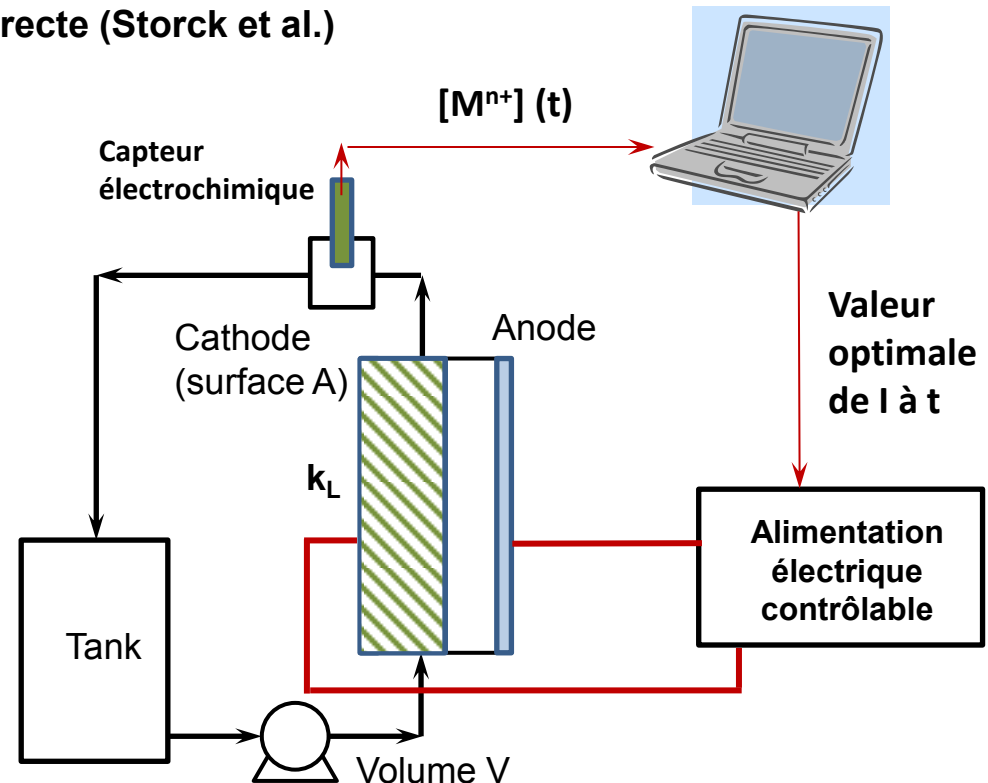
$$V \frac{d[M^{n+}]}{dt} \leq \frac{I_L}{nF} = k_L A [M^{n+}]$$

Résultats :

Production d'argent métal de bonne qualité jusqu'à 20 ppm Ag

Rendement en courant 100 ppm : > 95 %

20 ppm : > 85 %



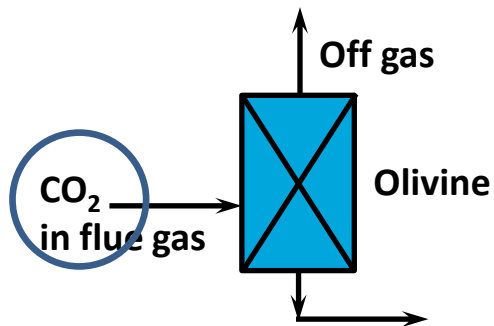


Procédés « électrochimiques » pour l'hydrométallurgie

- Programme LIS -Low Impact Steelmaking- Projet VALORCO : Valorisation & Réduction émission du CO₂ (2014-2017)



↳ Procédé sidérurgique pilote avec séquestration du CO₂ (1.9 tonnes CO₂/ tonne acier)



Complex suspension

↳ Complex suspension of carbonate salts

Element	mol/L	Flux (kg/s)
Fe	0.14	5.4
Mg	2.7	45.3
Ni	0.009	0.35
Cr	0.011	0.38

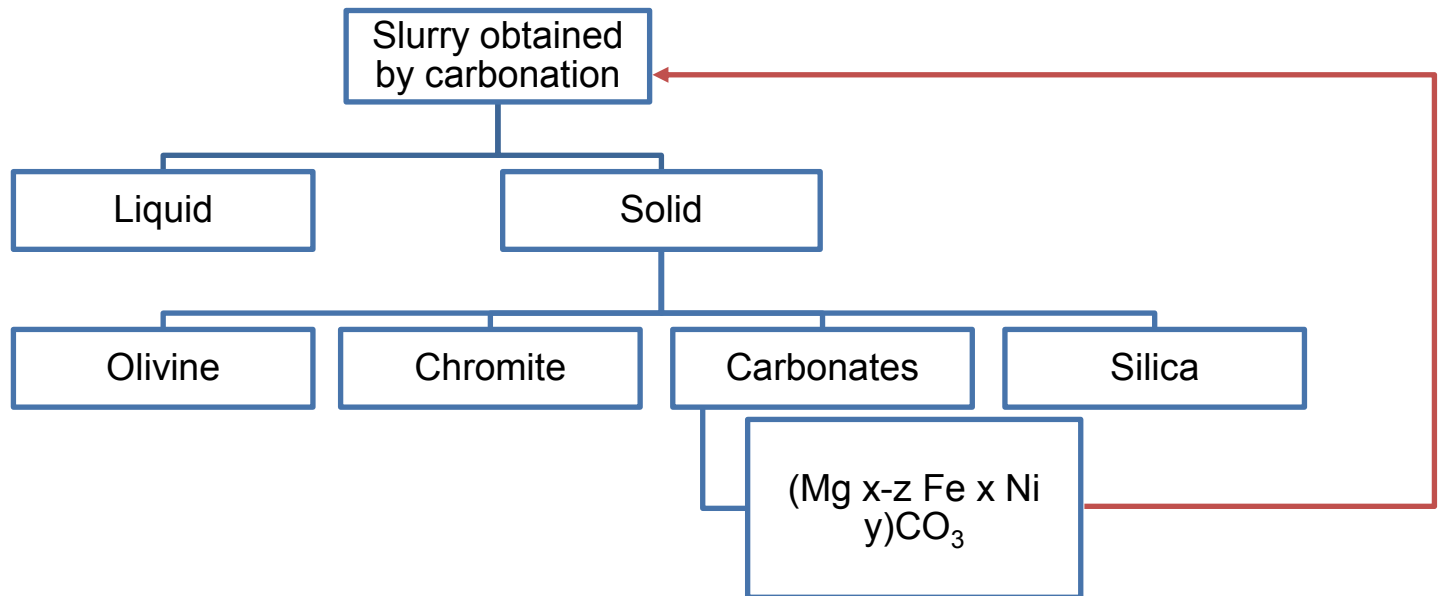
+ Si (SiO₂)



Projet VALORCO : Valorisation & Réduction des émissions de CO₂ (2014-2017)

The issue to be solved: separation of the various particles and elements for profit

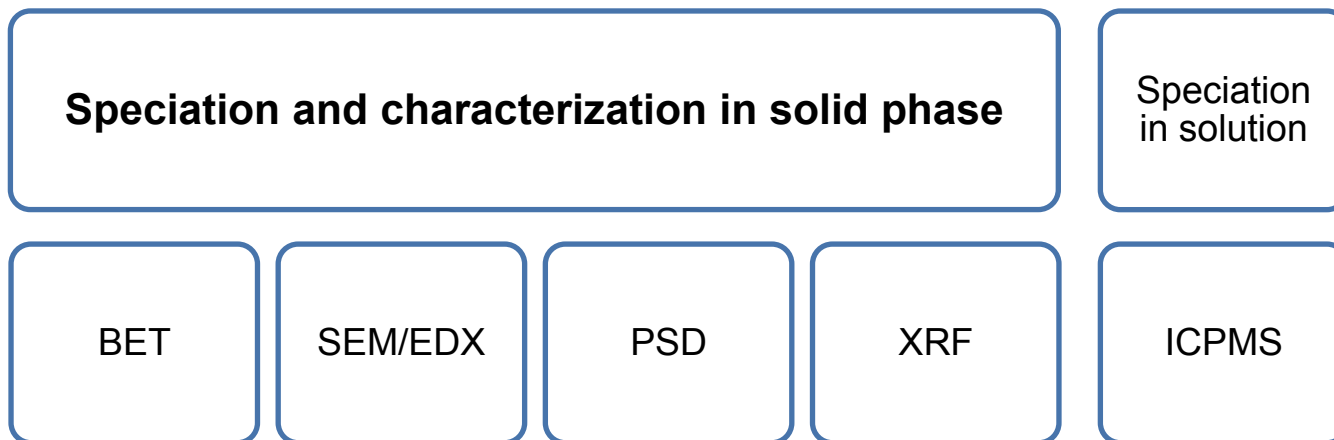
LRGP (PhD Laura Turri), ICSM, Univ. Leuven, ArcelorMittal I



Characterization of the slurry obtained by carbonation



Procedure for characterization of the slurry



Evaluate the amount of each element
Potential value, potential market

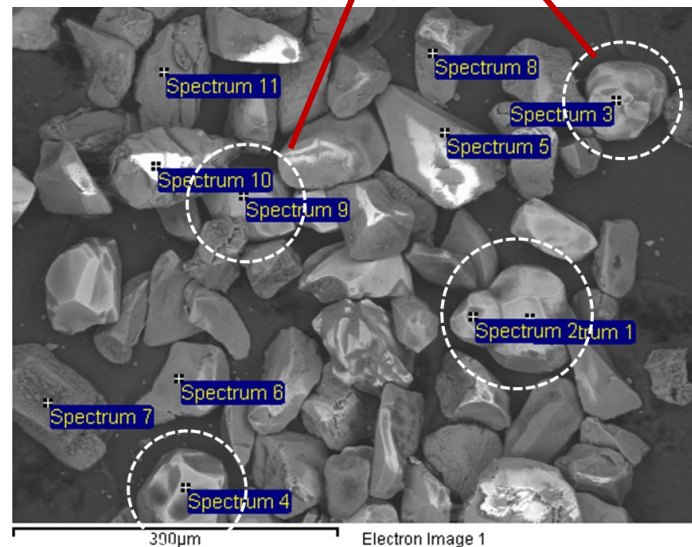
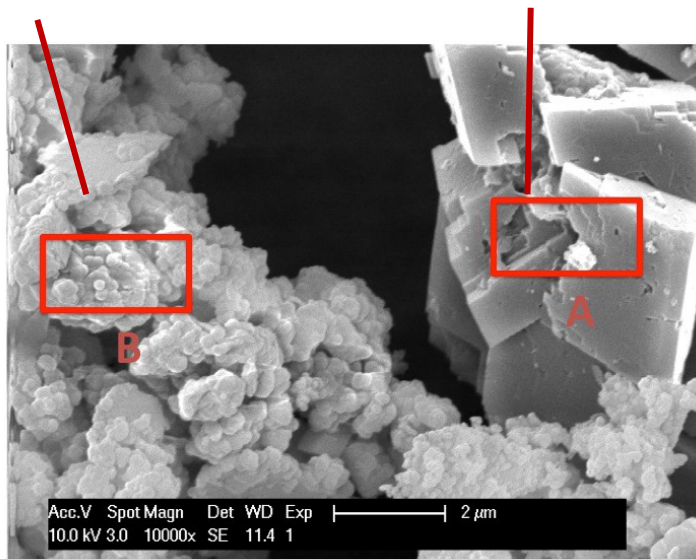


The issue to be solved: separation of the various particles and elements

Mg carbonate
valuable if high BET

Silica stuck on
unreacted olivine.
SiO₂ recovery?

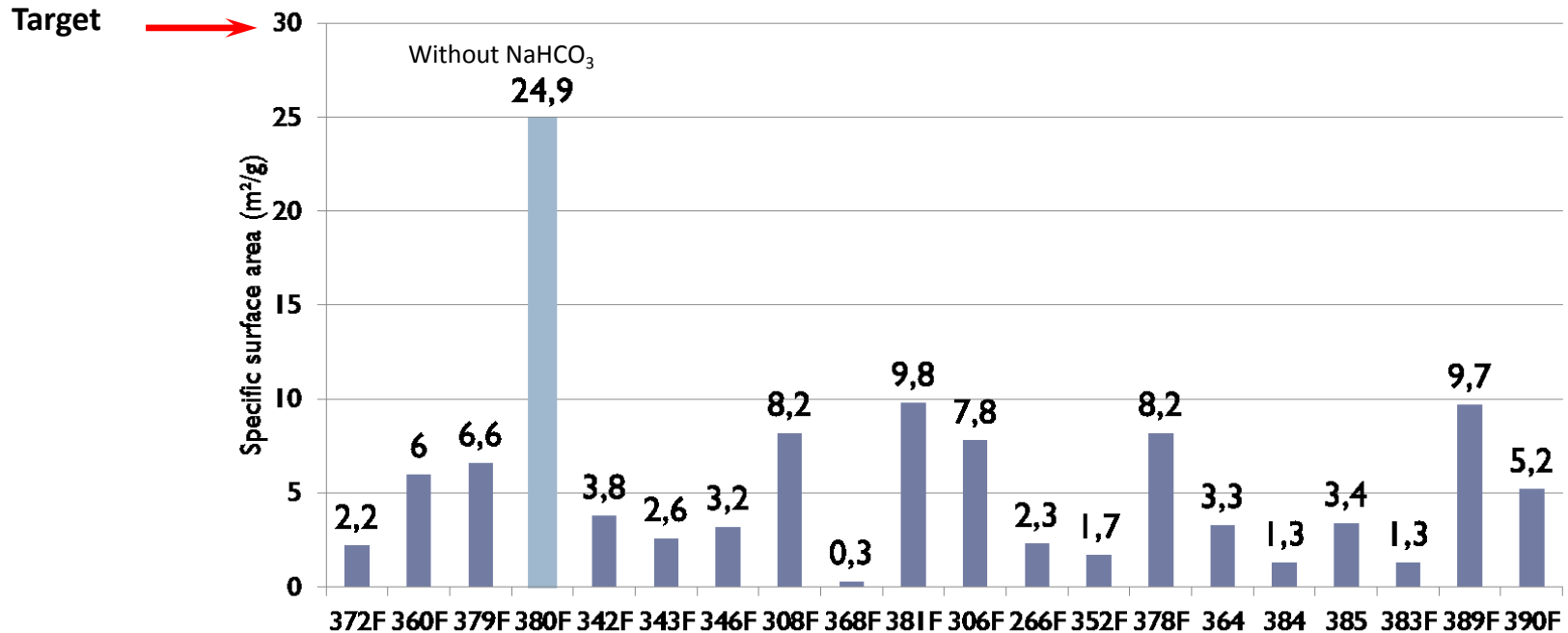
Particles having
a high Cr content:
Chromite?





■ Possible benefits of part of the solid for concrete: BET data

Solids after carbonation – samples produced by Innovation Concepts (BV)
Impact of NaHCO_3 amount in the carbonation



Procédés hydrométallurgiques pour la récupération et le recyclage des métaux



Merci de votre attention

Baptiste LAUBIE & François LAPICQUE

Maître de conférences

Directeur de recherche

