

**PROCÉDÉS HYDROMÉTALLURGIQUES
POUR LA RÉCUPÉRATION ET
LE RECYCLAGE DES MÉTAUX
NANCY LE 8 JUILLET 2014**

LA CHIMIE SÉPARATIVE AU SERVICE DU RECYCLAGE

- **Marcoule – Hydrométallurgie**
- **Chimie Séparative et Recyclage**

Daniel Meyer

Marcoule et l'Hydrométallurgie



DRCP: Département de Radiochimie et Procédés
DTCD: Département de Traitement et de Conditionnement des Déchets
DTEC: Département des technologies du Cycle

Traitement du Combustible Irradié
Assainissement et Démantèlement

Site de Marcoule



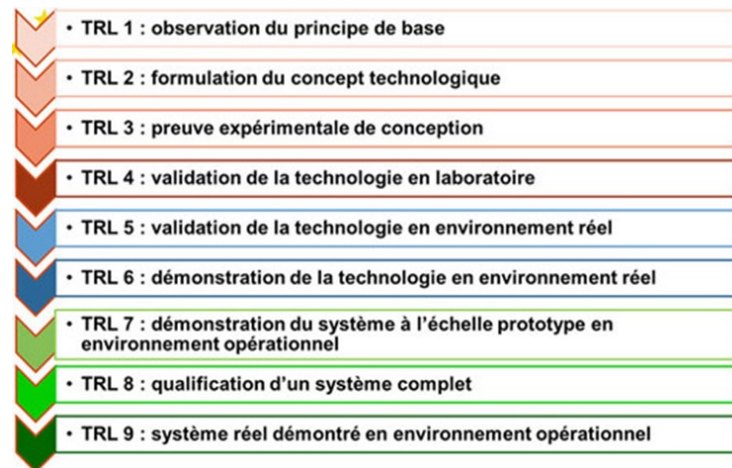
UMR 5257
2009



ICG: Institut Charles Gerhardt
IEM: Institut Européen des Membranes
IBMM: Institut des Biomolécules Max Mousseron

ICSM

Ensemble Marcoule
Echelle de
TRL assez large



La recherche sur le cycle du combustible



Depuis le minéral jusqu'au combustible

Moderniser les procédés chimiques utilisés et réduire leur impact environnemental.



Après le passage en réacteur : le retraitement

Opérer un tri sélectif très fin pour recycler les éléments valorisables et réduire les déchets. A l'avenir, brûler certains déchets dans des réacteurs nucléaires de 4ème génération.

Déchets : la crédibilité du stockage souterrain

Marcoule garantit la tenue des verres nucléaires sur des centaines de milliers d'années. Une compétence unique.



Marcoule renforce sa recherche fondamentale

La création de l'ICSM, en 2009, avec la région LR, a permis de réunir des chercheurs de 14 nationalités et renforce encore l'ambition de Marcoule.

MARCOULE, Des projets pour l'avenir



Un Institut Européen d'Hydrométallurgie

- Plate forme Hydrométallurgique
Bas débit (1^{er} temps)
Haut débit (futur)
- Support pour le recyclage
- Appliquée



Un Pôle de valorisation des sites industriels

- Permettre à l'industrie locale d'accéder à des marchés de de démantèlement au-delà de Marcoule
- Améliorer, par la recherche, la « chimie verte » la dépollution des sites industriels, etc.



Un nouveau parc d'activités



Le nucléaire de 4eme génération

- mieux utiliser l'uranium qu'aujourd'hui
- brûler certains déchets radioactifs
- ASTRID : un projet de démonstrateur technologique



Hydrométallurgie dans le Recyclage du Combustible Nucléaire

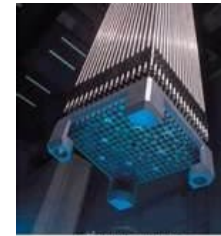
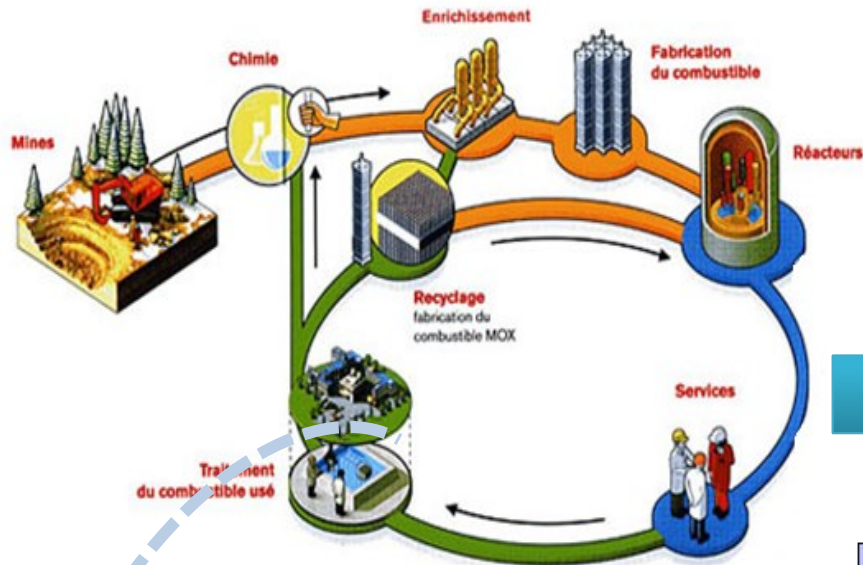
AMONT



Dissolution

Séparation L/L, S/L

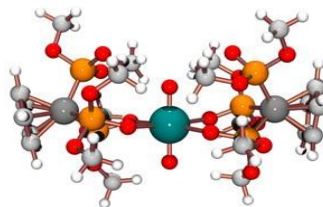
Conversion



EXPLOITATION



DECHETS



AVAL

[illegible]

ACTINIDES
 ACTIVATION PRODUCTS

FISSION PRODUCTS
 FISSION AND ACTIVATION PRODUCTS



Développer une chimie et une physico-chimie au service des **procédés**
et des **matériaux du nucléaire du futur et au-delà**

Nucléaire

Au-delà

Ouvrir les choix pour le nucléaire
de quatrième génération dans le domaine
du recyclage du Combustible Nucléaire



Matériaux avancées
Pour l'énergie
Pour l'extraction des métaux (metallo-assemblage)
Pour la Séparation (Solide fonctionnalisé)



Chimie Séparative
Cycle de vie des matériaux



Séparation des Métaux en solution
Mine, Recyclage des Métaux Stratégiques,
Décontamination Site...
Liquide-liquide, solide-liquide, autre...



Etablir des modèles prédictifs pour la chimie du cycle du combustible nucléaire
Faire émerger de nouvelles technologies en chimie séparative
Valorisation des développements fondamentaux vers le non-nucléaire
Prédire le cycle de vie des matériaux d'usage sous stress
Développer de nouveaux paradigmes dans le domaine des composés et matériaux

Comprendre la séparation

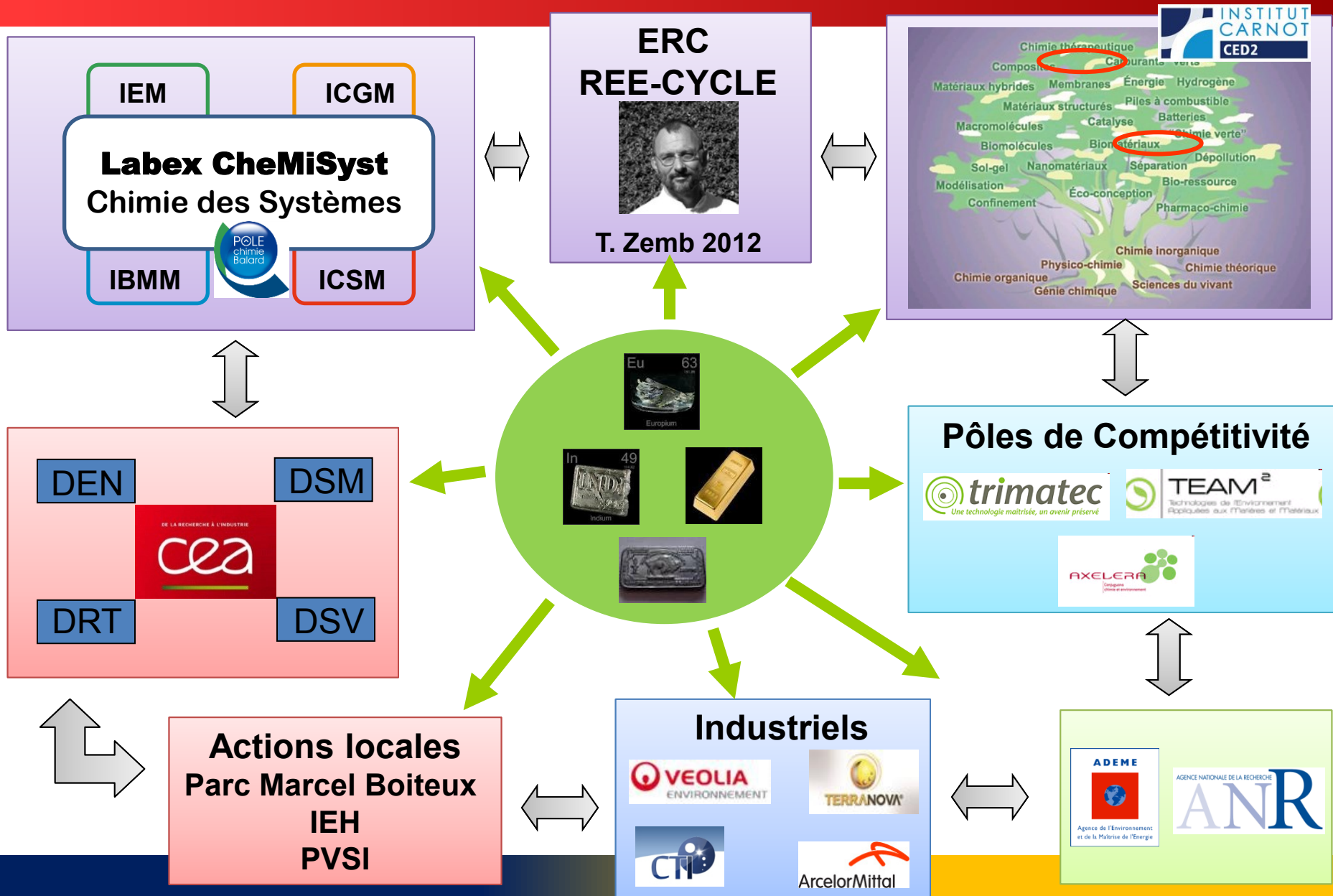
Optimiser la séparation

Chimie verte

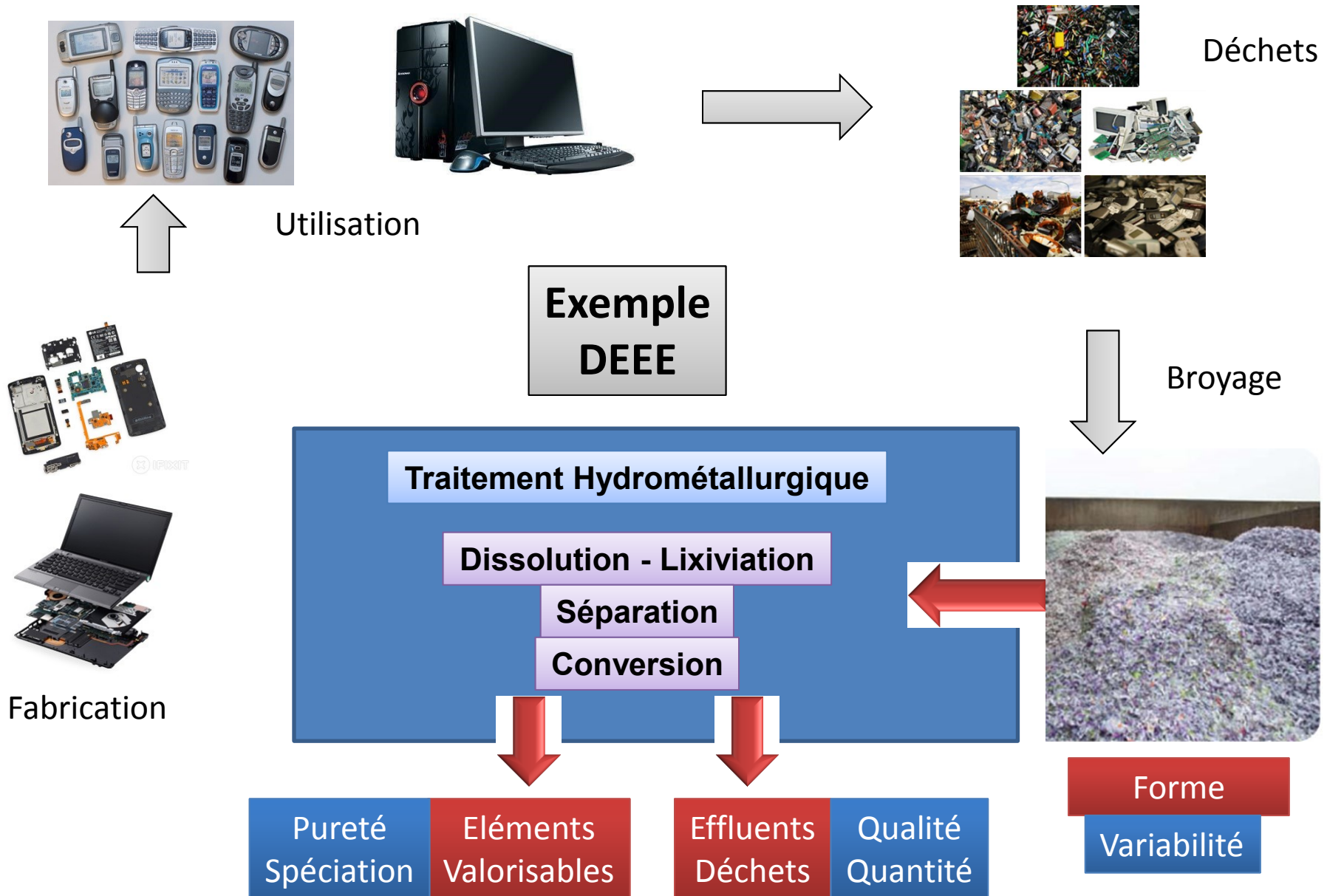
Cycle de vie des matériaux

Méthodes et théories

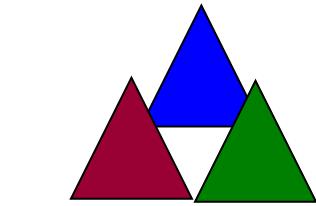
Domaines d'application - Métaux Stratégiques



Recyclage Généralité

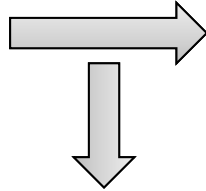


Dissolution



*Broyat:
Métaux,
Plastiques...*

**Dissolution
« Brute Force »**



Résidus

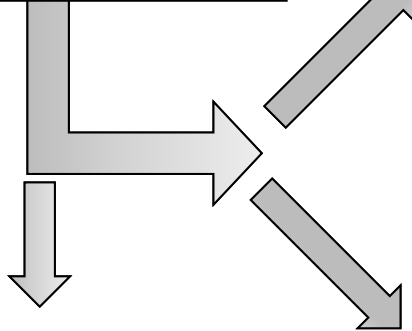


Elt Valo
Elt Autre

**En milieu
Acide ou
Basique**

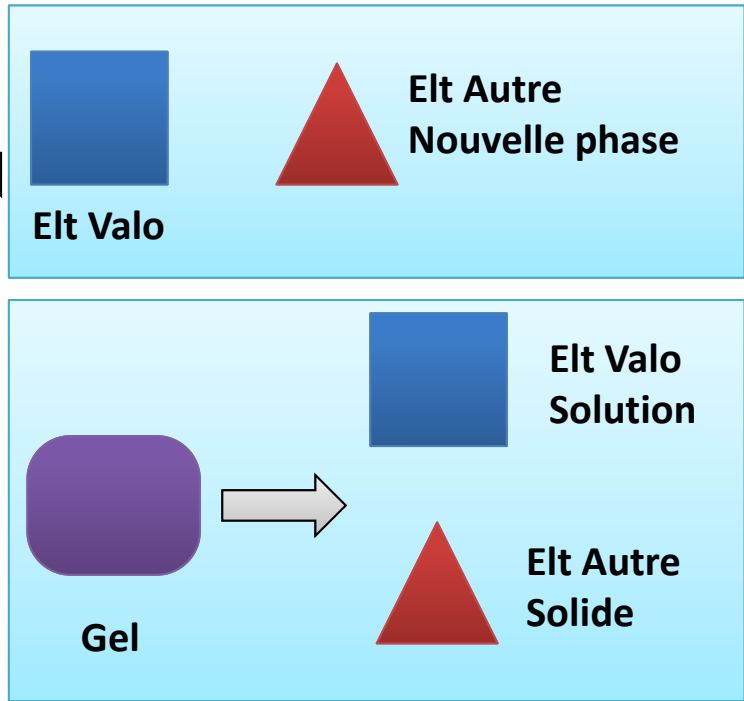
**Concentrations et
Rapport
Elt Valo / Elt Autre**

**Lixiviation Sélective
Phase néoformée**



Résidus

Solide



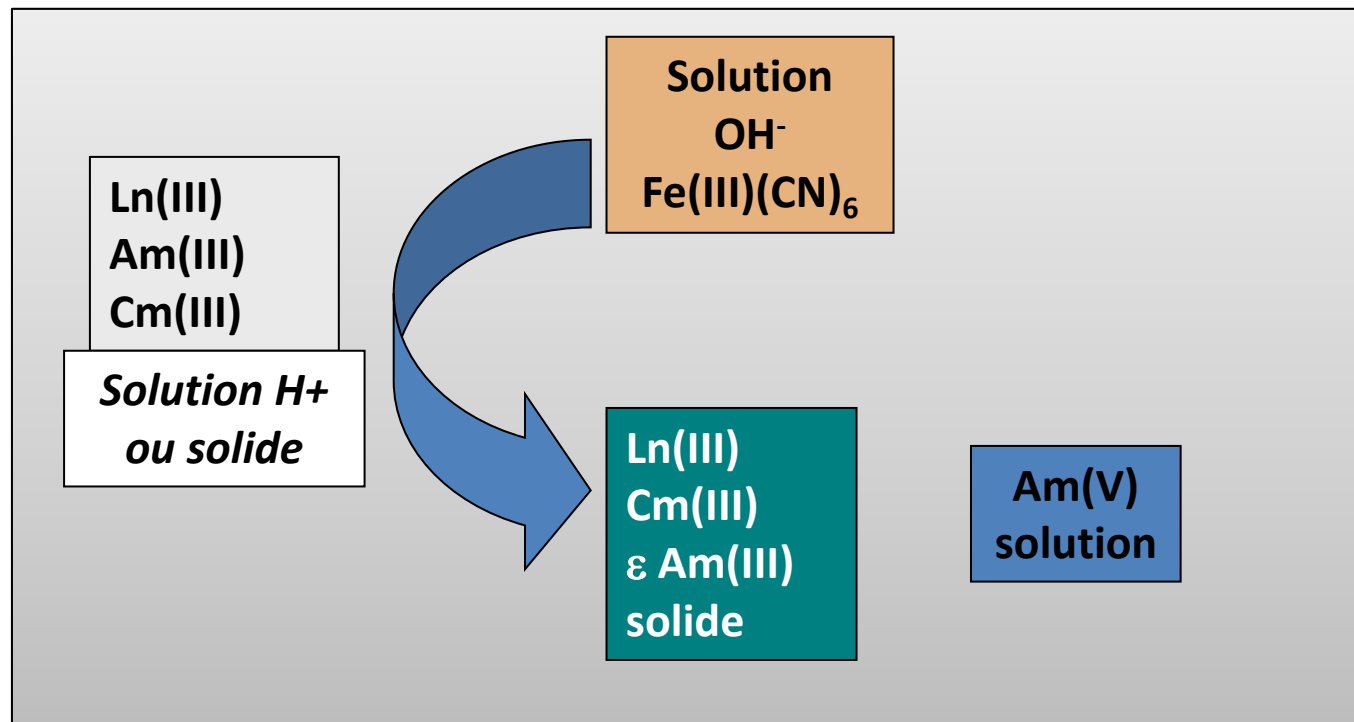
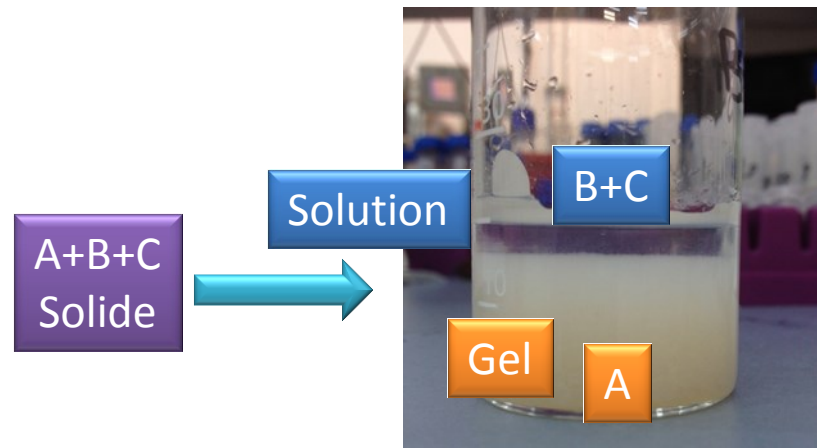
Pas que les Ks
Utiliser la réactivité chimique;
électrochimique

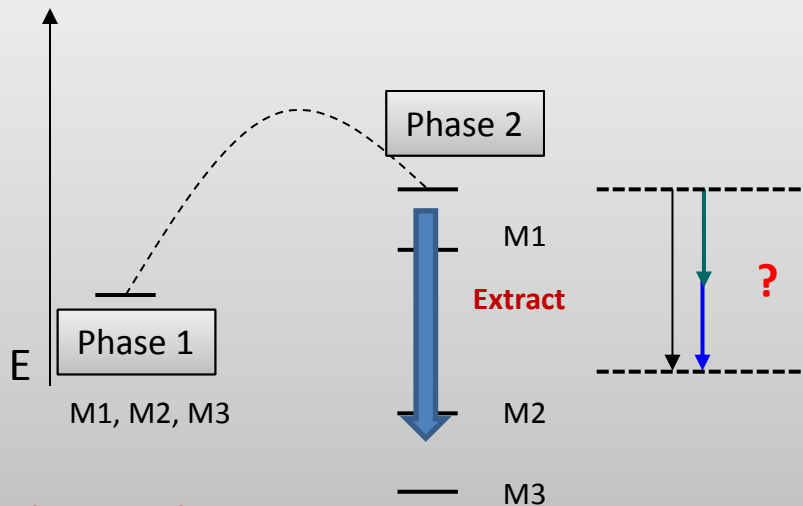
**Concentrations
Que les Elt Valo
Résidus**

Reverse Sol-Gel



Séparation Gel et par précipitation RedOx

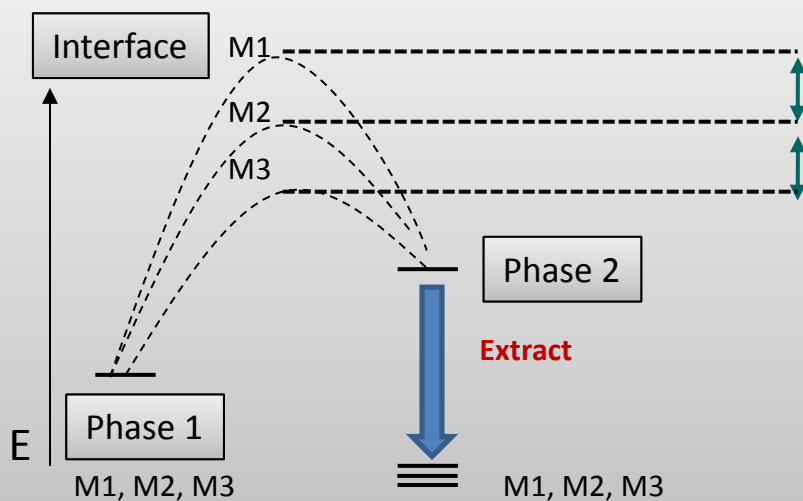




Tri Thermodynamique

- Complexation
- Liaison Ionique

- Interactions Faibles
Dipole-dipole
VdW
Liaisons H

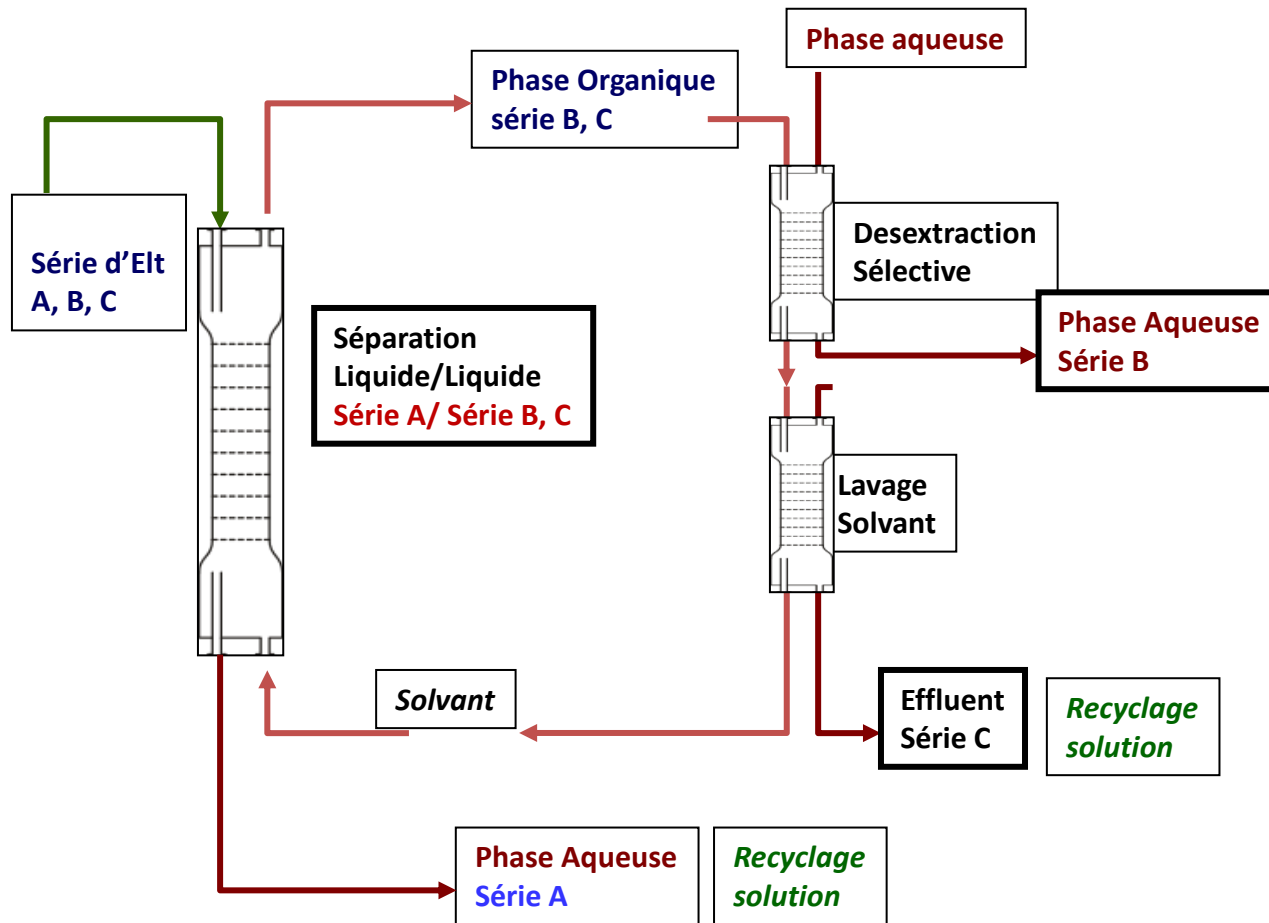


Tri Cinétique

- Etude à l'interface
- Mécanisme de Transfer
- Partie Chimique

- Transport de matière

Séparation L/L

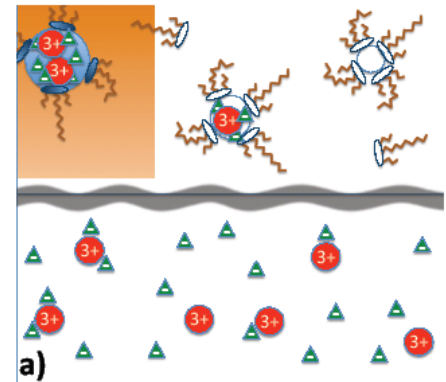


Systèmes Concentrés

Gestion des Flux

Effluents

Développement
d'Architecture
Moléculaire





- **Terres Rares**
 - **ANR Silexe**
 - **R&D propre (développement moléculaire)**
 - **Liquide ionique**

PGM système Au-Pd-TR

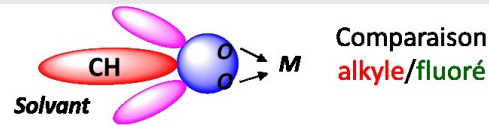
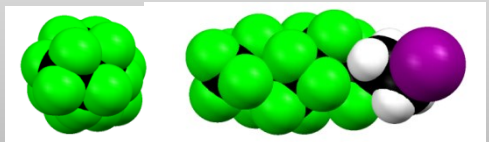
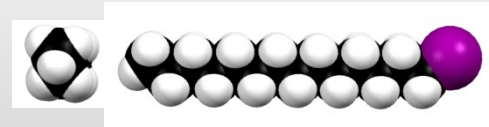
Carte électronique

Autres (Ta, In,)



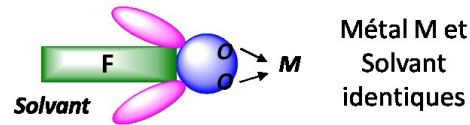
Séparation L/L - Exemple d'un Système Alternatif

Systèmes Mixtes Hydrocarbonés - Fluorés

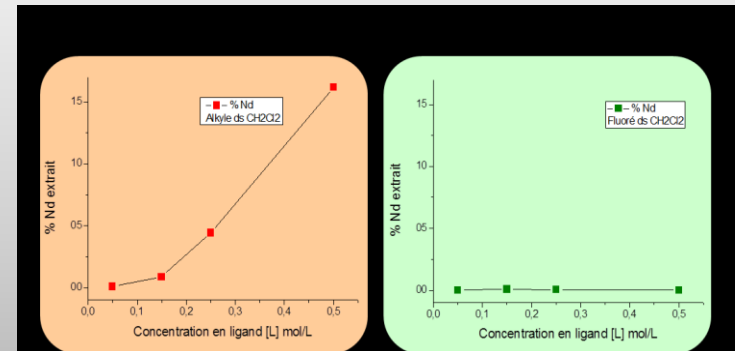


Comparaison
alkyle/fluoré

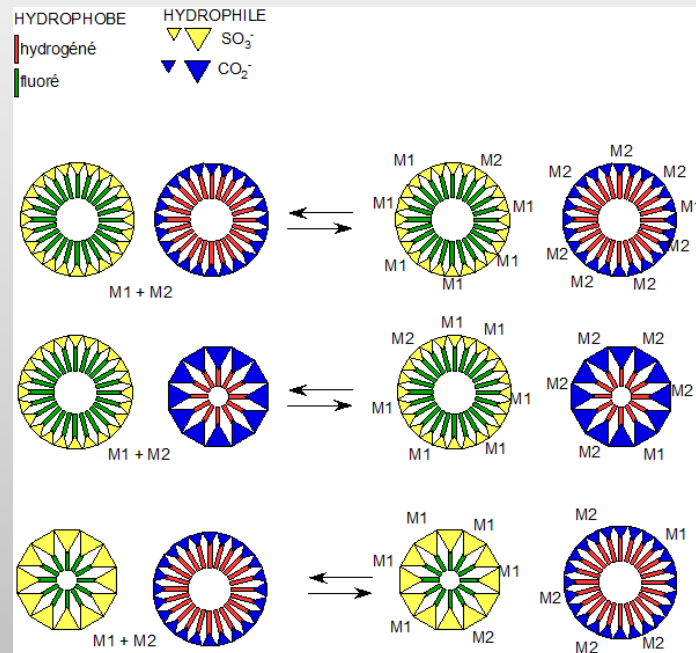
Evolution de ce système modèle



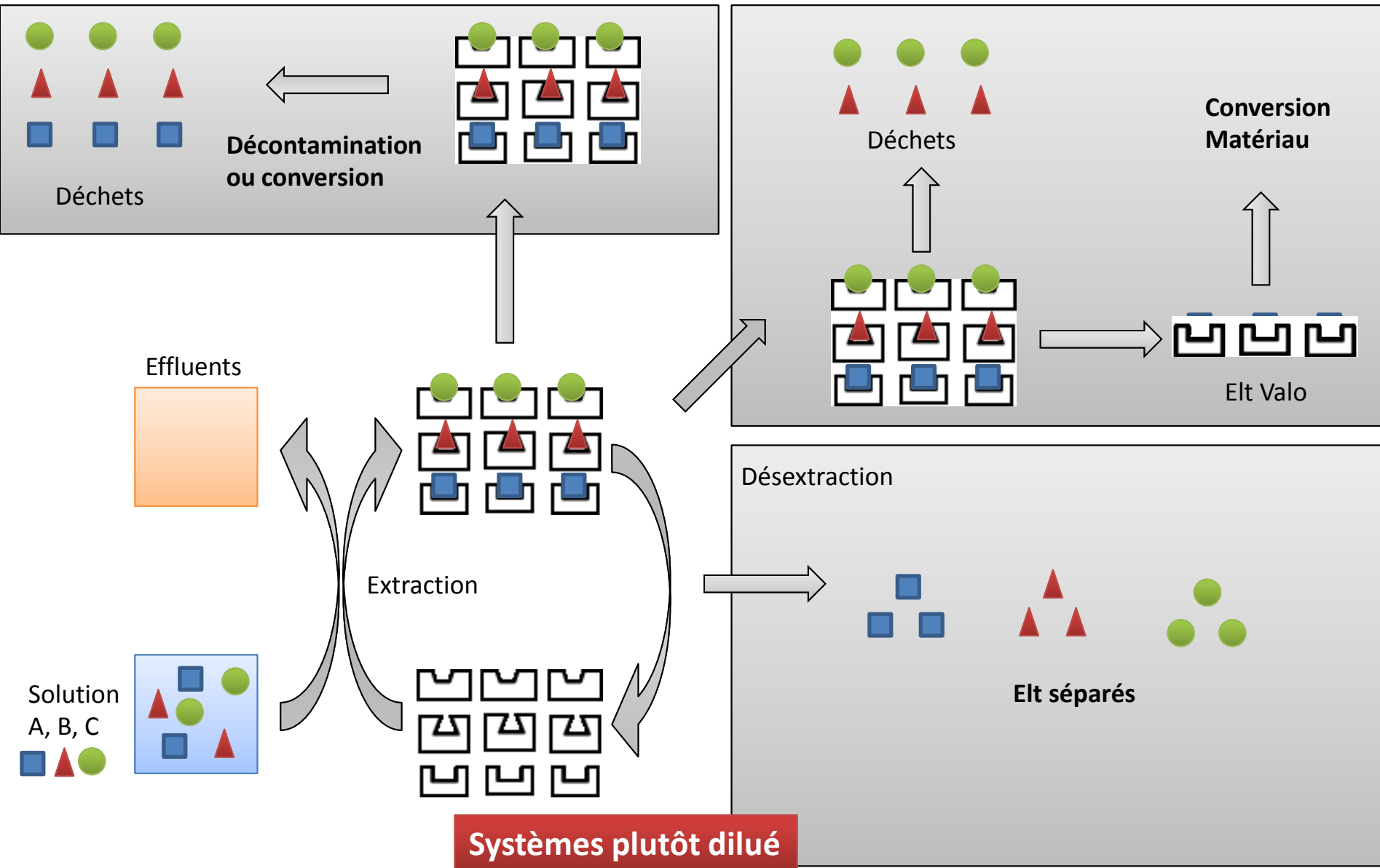
Métal M et
Solvant
identiques



Spéciation Supramoléculaire



Séparation Solide Liquide

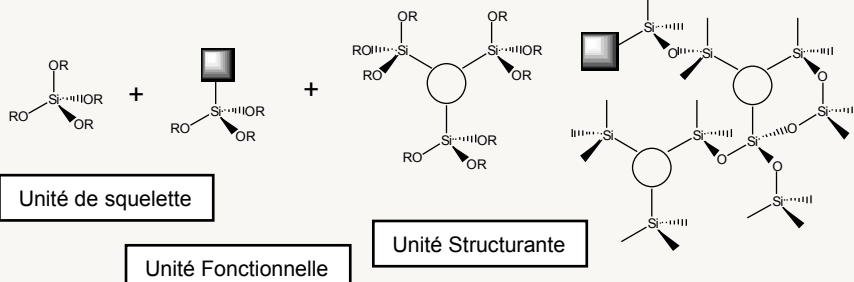




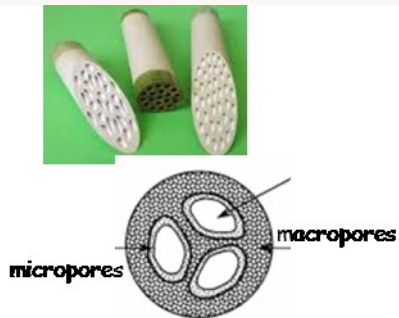
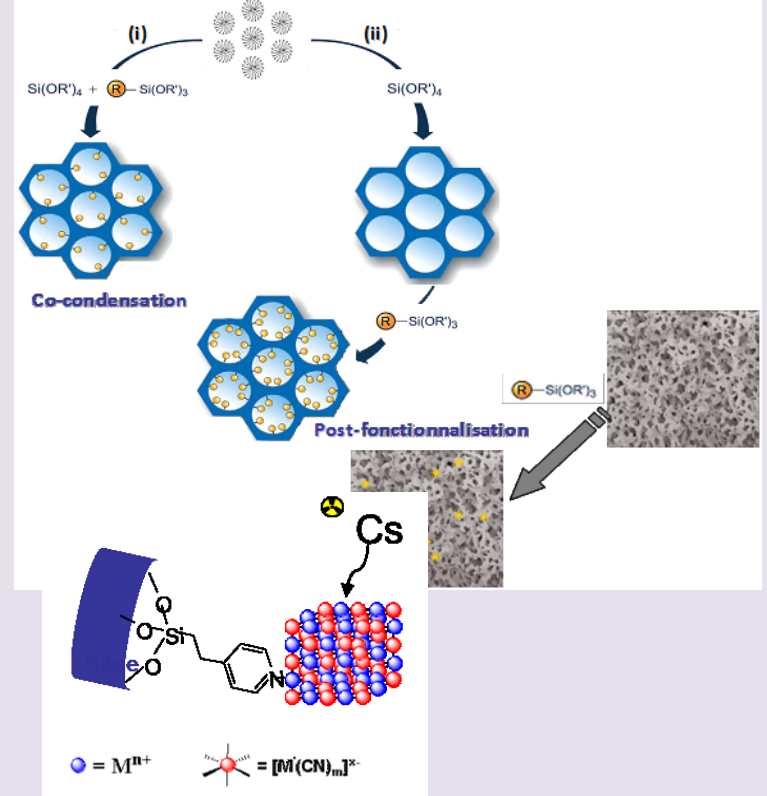
Séparation Solide Liquide - Exemple

Gel de Silice Hybride Implanté Polysiloxane

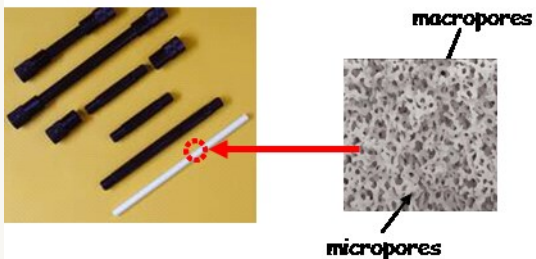
Vecteurs moléculaires



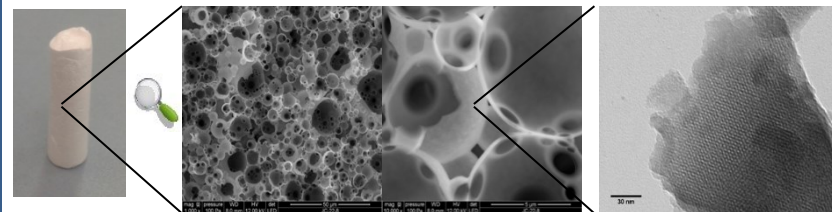
Système Mésoporeux



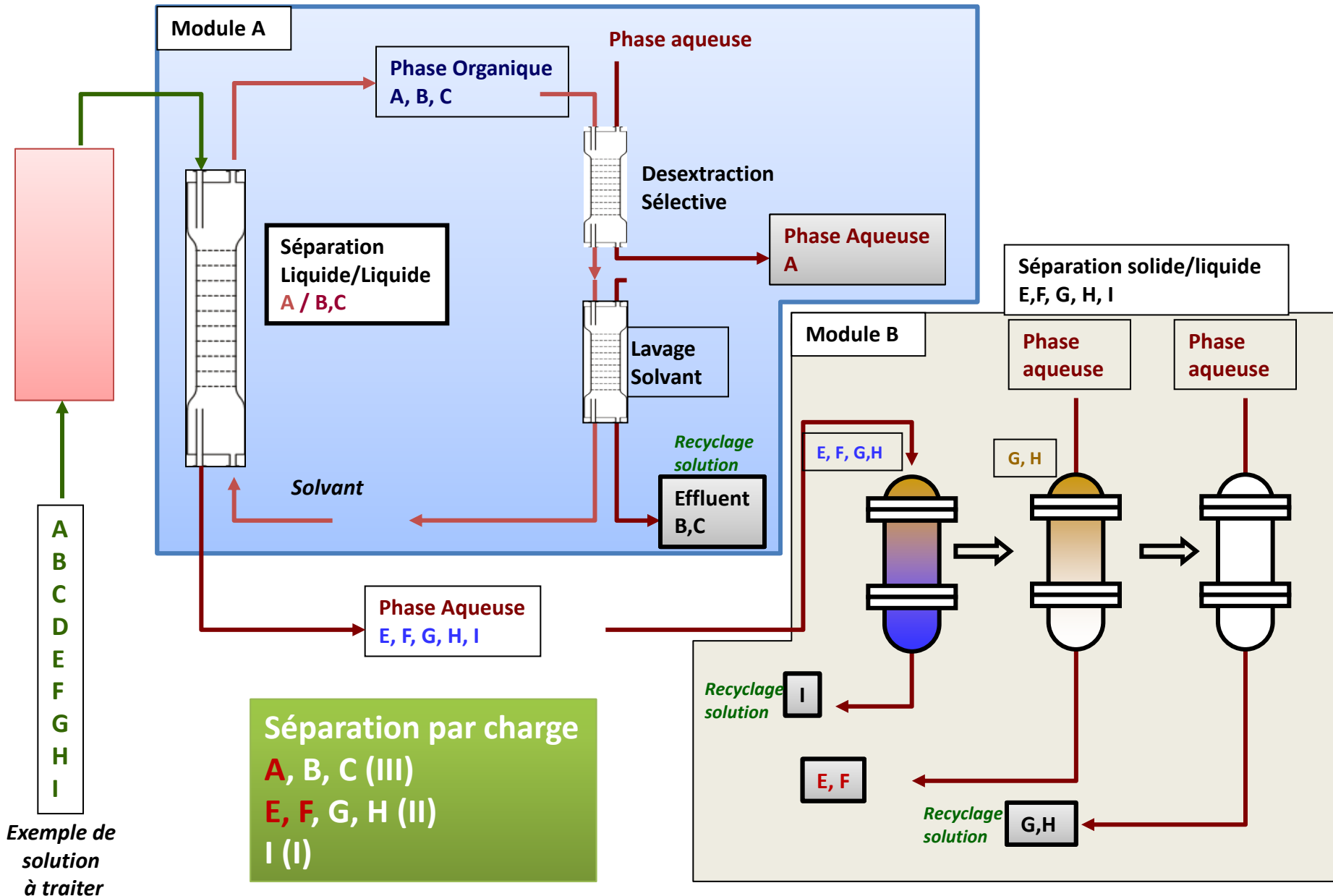
Procédé continu
Mise en forme des
matériaux



Multiéchelle Macro-meso

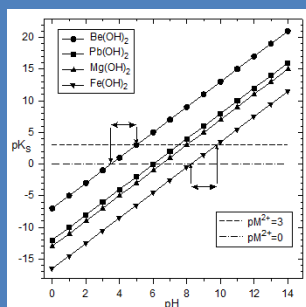
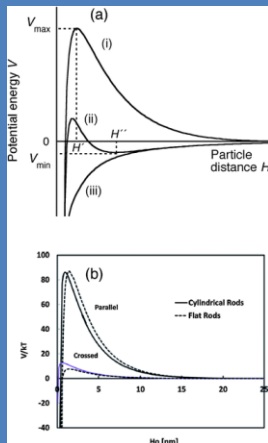
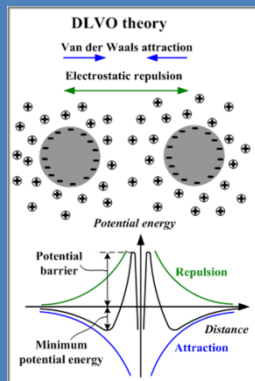


Exemple d'intégration





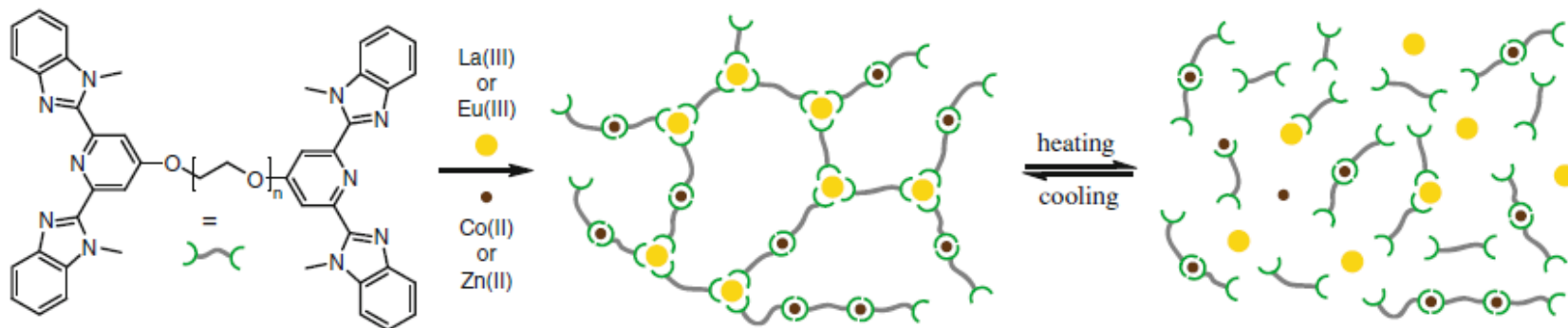
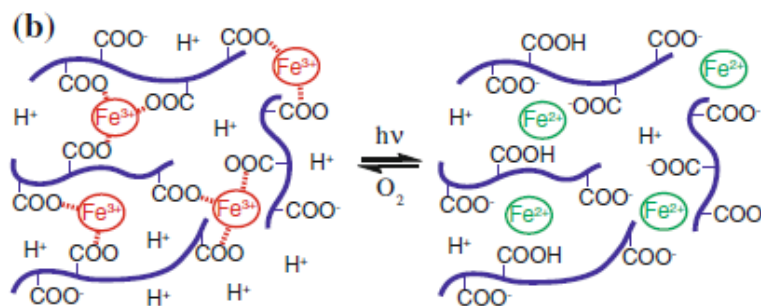
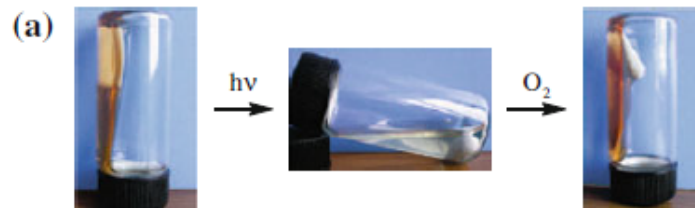
Précipitation par Réactivité Chimique



$$Ks = [B^{m+}]^n \times [A^{n-}]^m$$

Floculation

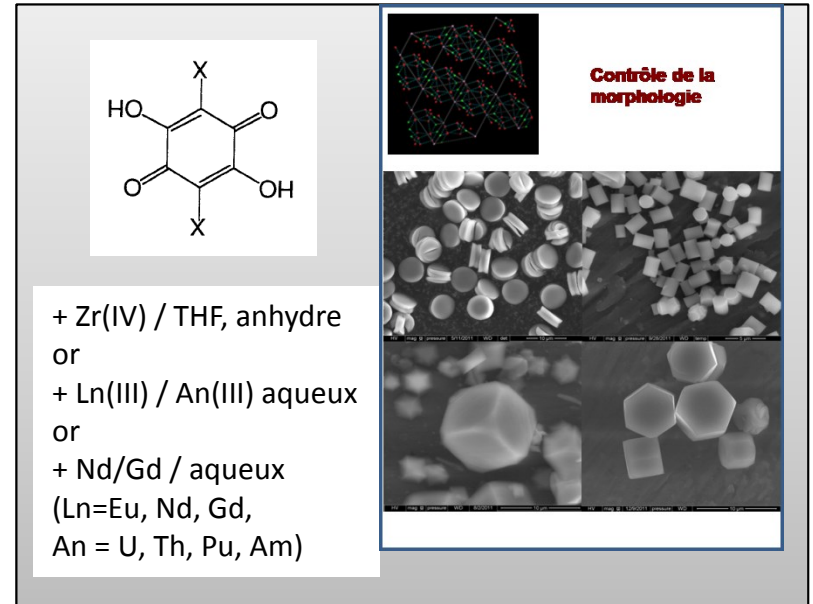
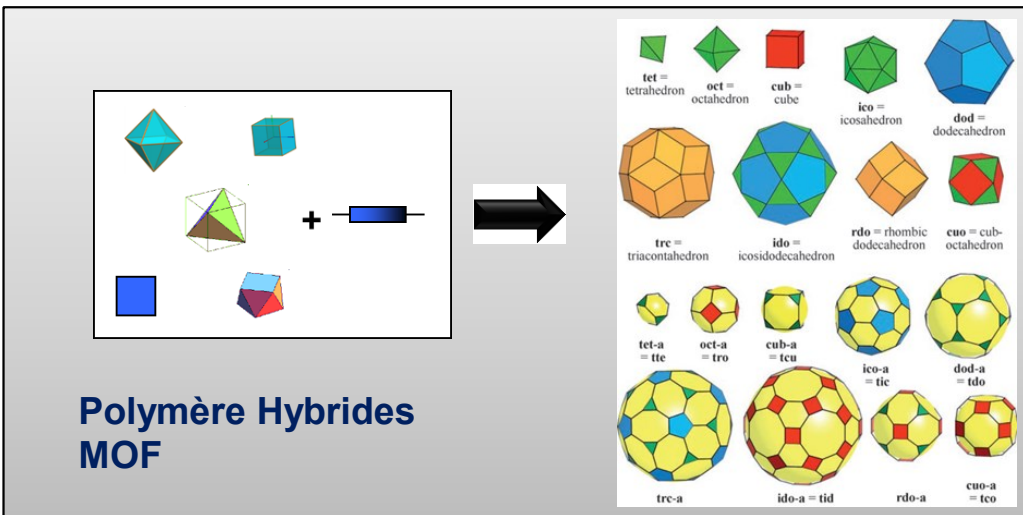
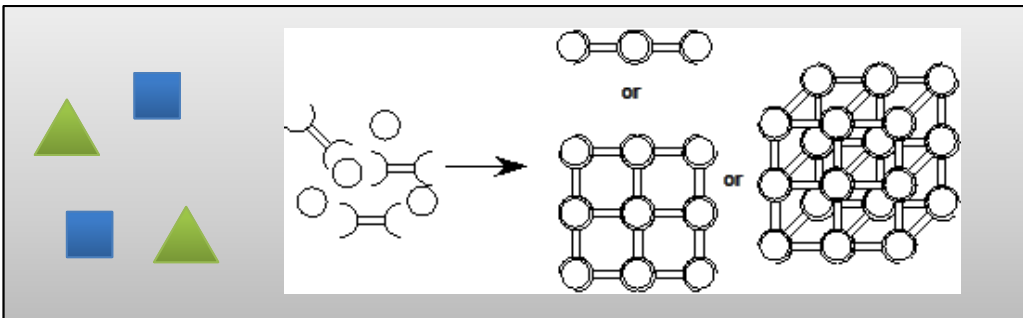
Solubilité



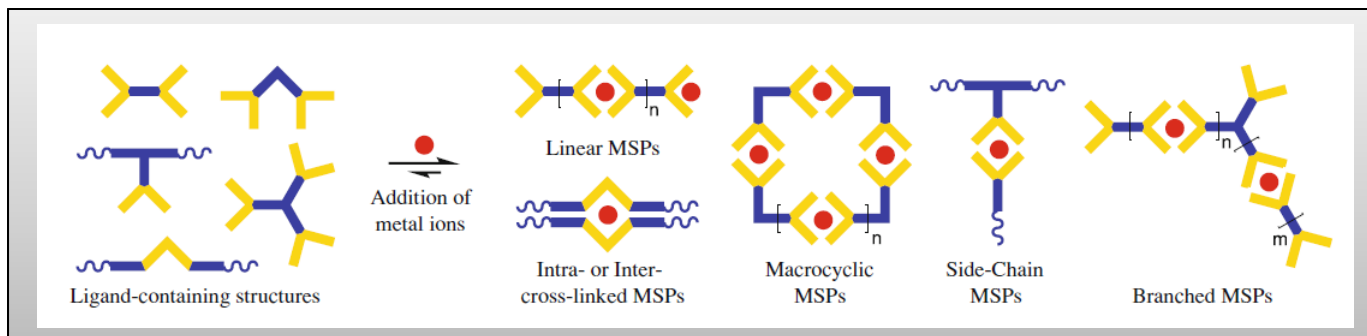


Précipitation par métallo-assemblage spécifique

Tri sur la géométrie de coordination -> 3D Stable



Matériaux à forte valeur ajouté





Autres effets spécifique pour la séparation

Précipitation de Micelles

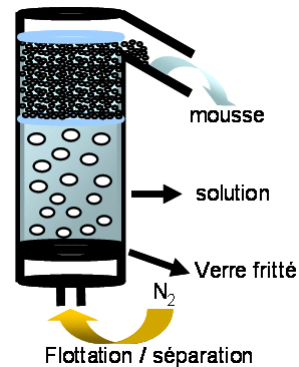
● ions
● métalliques
● en milieu
acide

1. refroidir

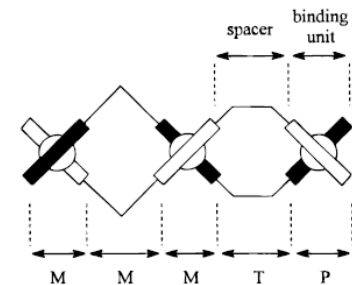
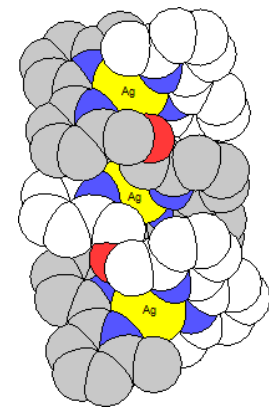
2. séparer

surageant;
[métal]: UV/Vis,
ICP-AES

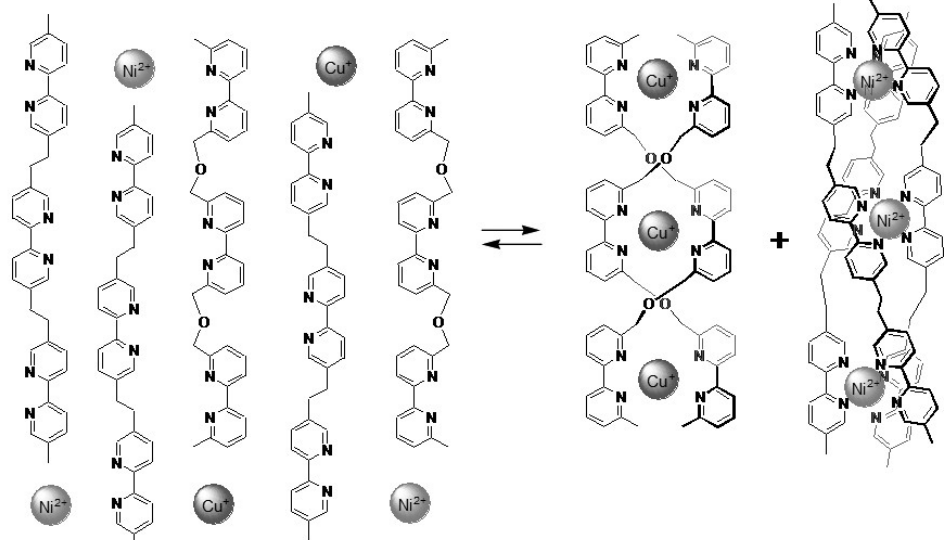
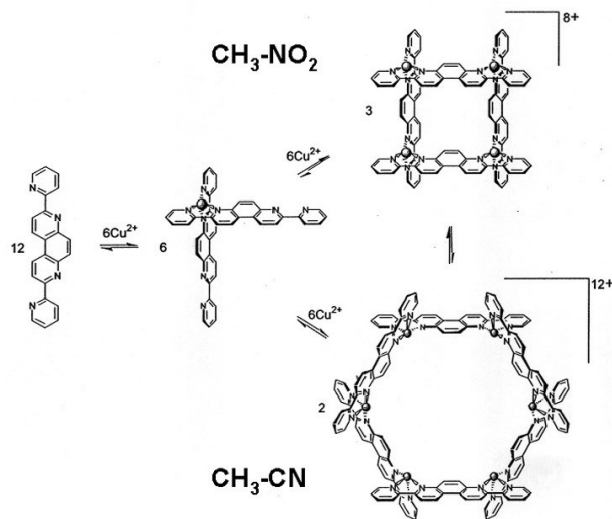
précipité avec
un type d'ion;
analyse SAXS,
ICP-AES



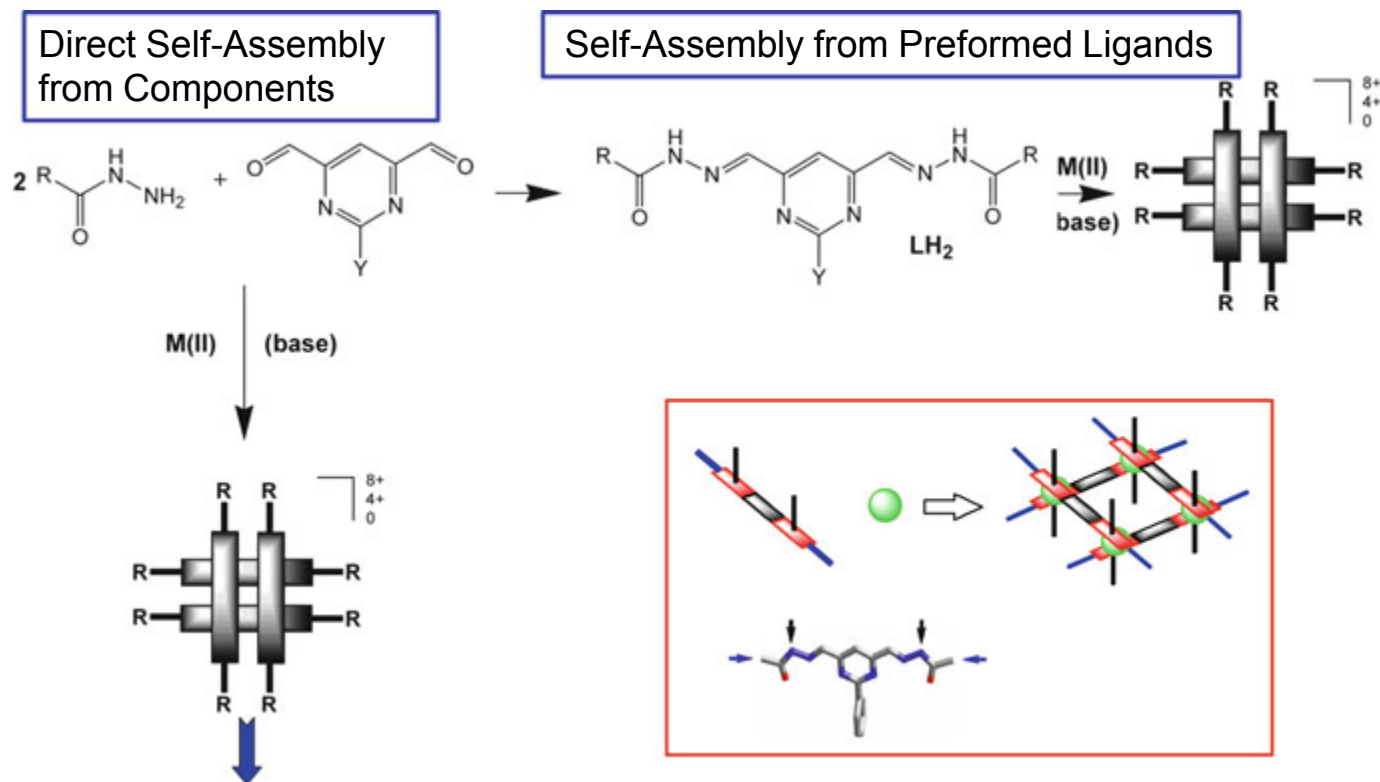
Mousse
flottation



Chimie Supramoléculaire



De la chimie Supramoléculaire à la chimie Combinatoire Dynamique



PAS DE SOLUTION MIRACLE en Chimie Séparative

Dépendance du modèle économique (valorisation M, législation)

Accès à la ressource

Variabilité en entrée d'un procédé (Dispersion des [M])

Evolution de la notion de métal critique

Concentration des solutions initiales et finales

Gestions des effluents et déchets

Devenir des Produits - >Pureté et spéciation des produits finis

⇒ **Développer des Procédé spécifique au Recyclage en rupture**

⇒ **Transposition de l'existant (Mine, Nucléaire...) n'est pratiquement pas envisageable => modification importante**



Merci de votre attention

