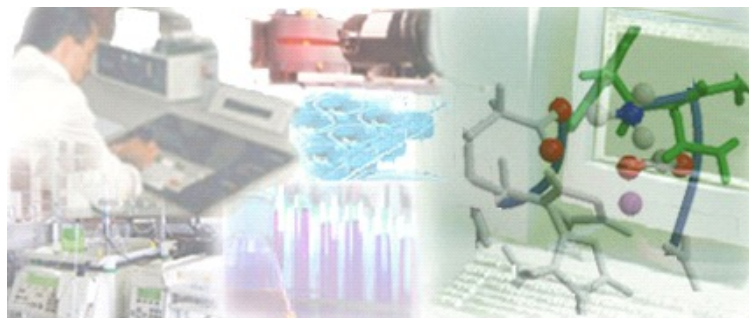




COLLÈGE
DE FRANCE
—1530—

L'écocatalyse, une révolution verte et durable en chimie



AVENIR COMMUN
DURABLE
ÉNERGIE / ENVIRONNEMENT / SOCIÉTÉ

Cours du 19 mai 2026

Pr. Claude Grison

A la recherche de solutions face à l'effondrement de la biodiversité

Les priorités scientifiques de l'unité de ChimEco



2 des 5 facteurs majeurs responsables
du déclin de la biodiversité



2. Changement climatique



Photo by CIFOR/ Axel Fassio



Photo by UNEP/Olle Nordell



4. Pollution



4.1. Sols
4.2. Eau

5. Espèces exotiques envahissantes (EEE)



5.1. Plantes
5.2. Insectes



Etudier des solutions fondées sur la nature (NbS) :
écologie scientifique



Ecocatalyse



Rendre ces solutions économiquement viables :
chimie durable

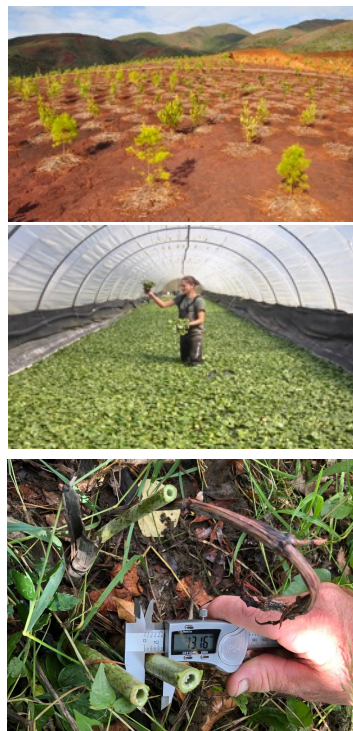
Comment ?

Une chimie bio-inspirée de la capacité adaptative des plantes au stress abiotique

Environnement



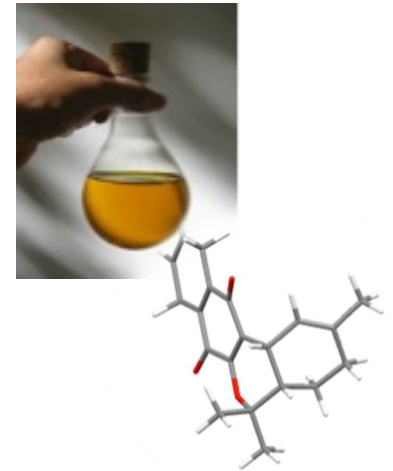
Ecologie



Ecocatalyse®



Chimie verte et durable



Préparation des écocatalyseurs : procédé sobre et flexible



poudre de
racine, de feuilles

**1. Traitement
thermique sous air**



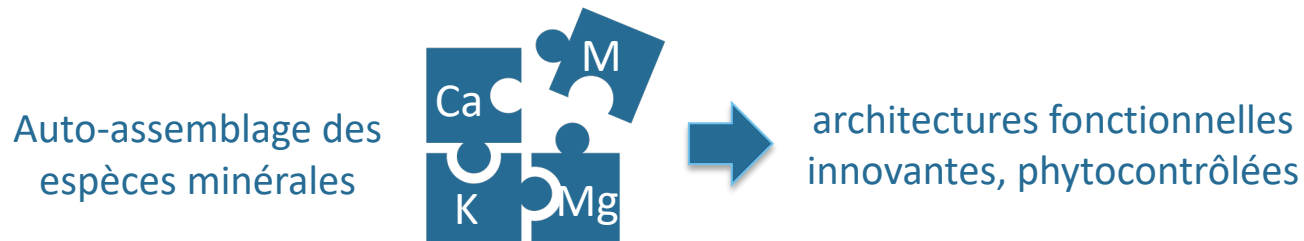
**Ecocatalyseur
Eco-M¹**

**2. Activation
(acide, basique, support)**

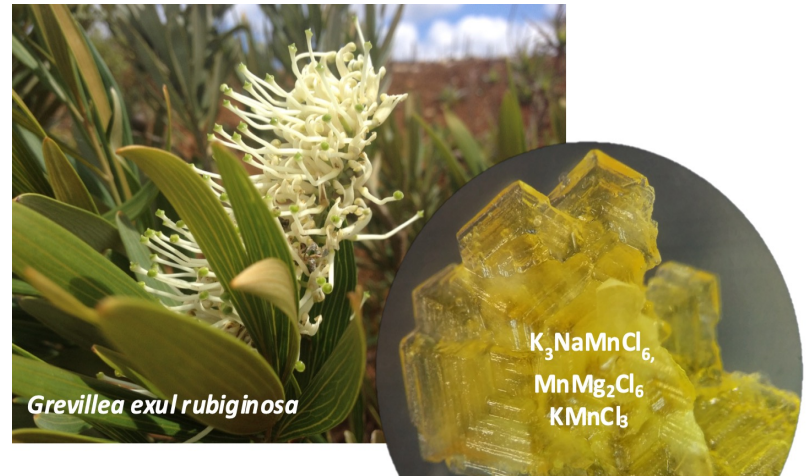


**Ecocatalyseur
Eco-M²**

Préparation des écocatalyseurs : procédé sobre et flexible



- Contrôle thermodynamique
- Empreinte végétale



Composition et microstructure des écomatériaux

composition

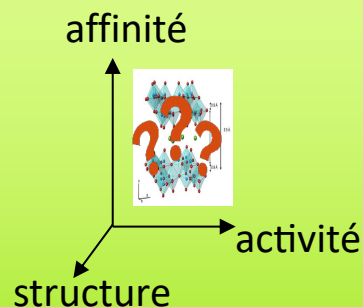
MP-AES
ICP-MS
SAA-FG
SFX

structure

XRDP, IR, XPS,
TEM, SEM,
BET, EXAFS



calculs/prédiction



synthèse organique

- Potentiel synthétique et performances
- Cibles industrielles

**Marché
industriel de la
chimie durable**

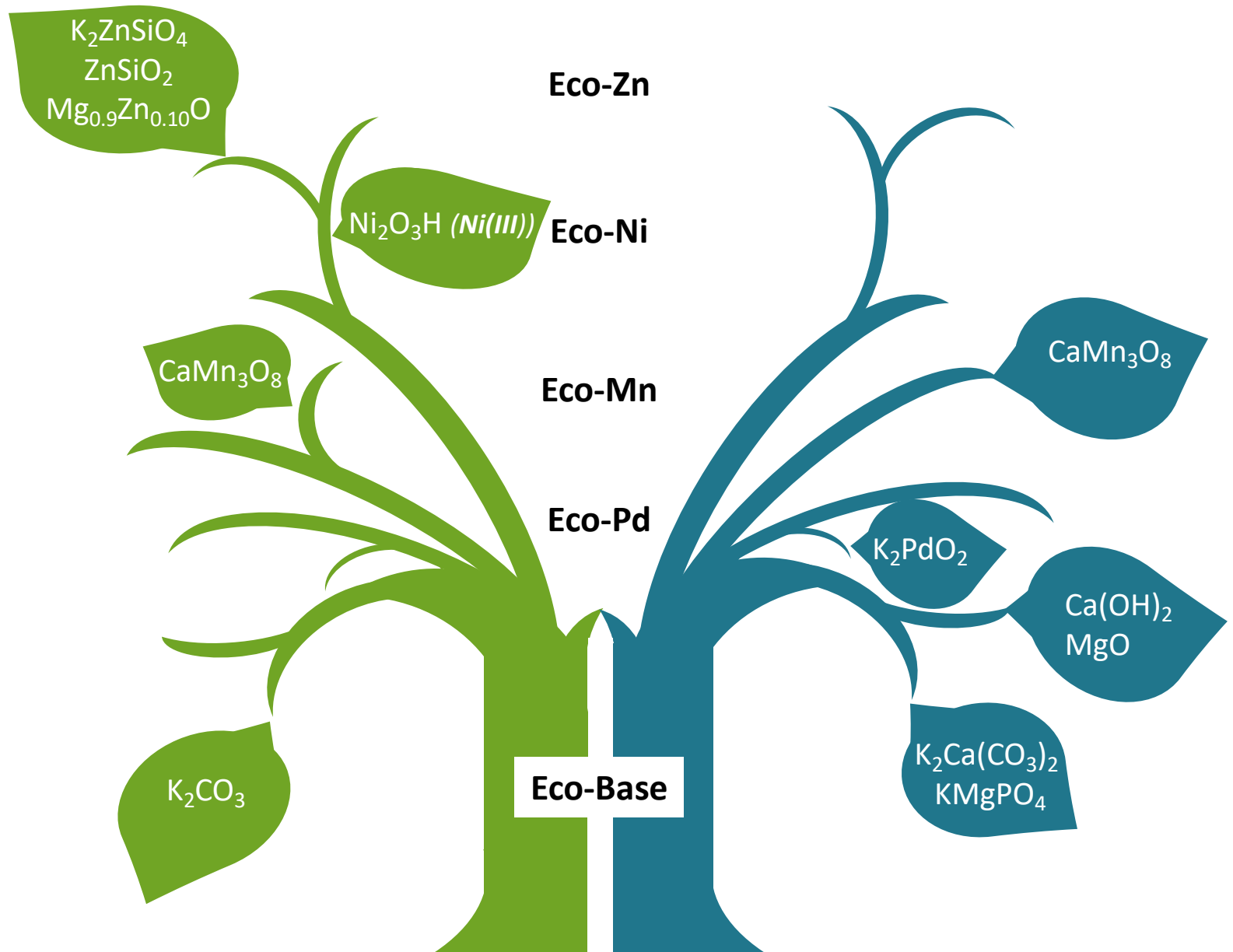
Ecocatalyse : Structure des écocatalyseurs Eco₁-M

Plantes terrestres

phytoextraction

Plantes aquatiques et des zones humides

rhizofiltration / biosorption / gestion des EVEC



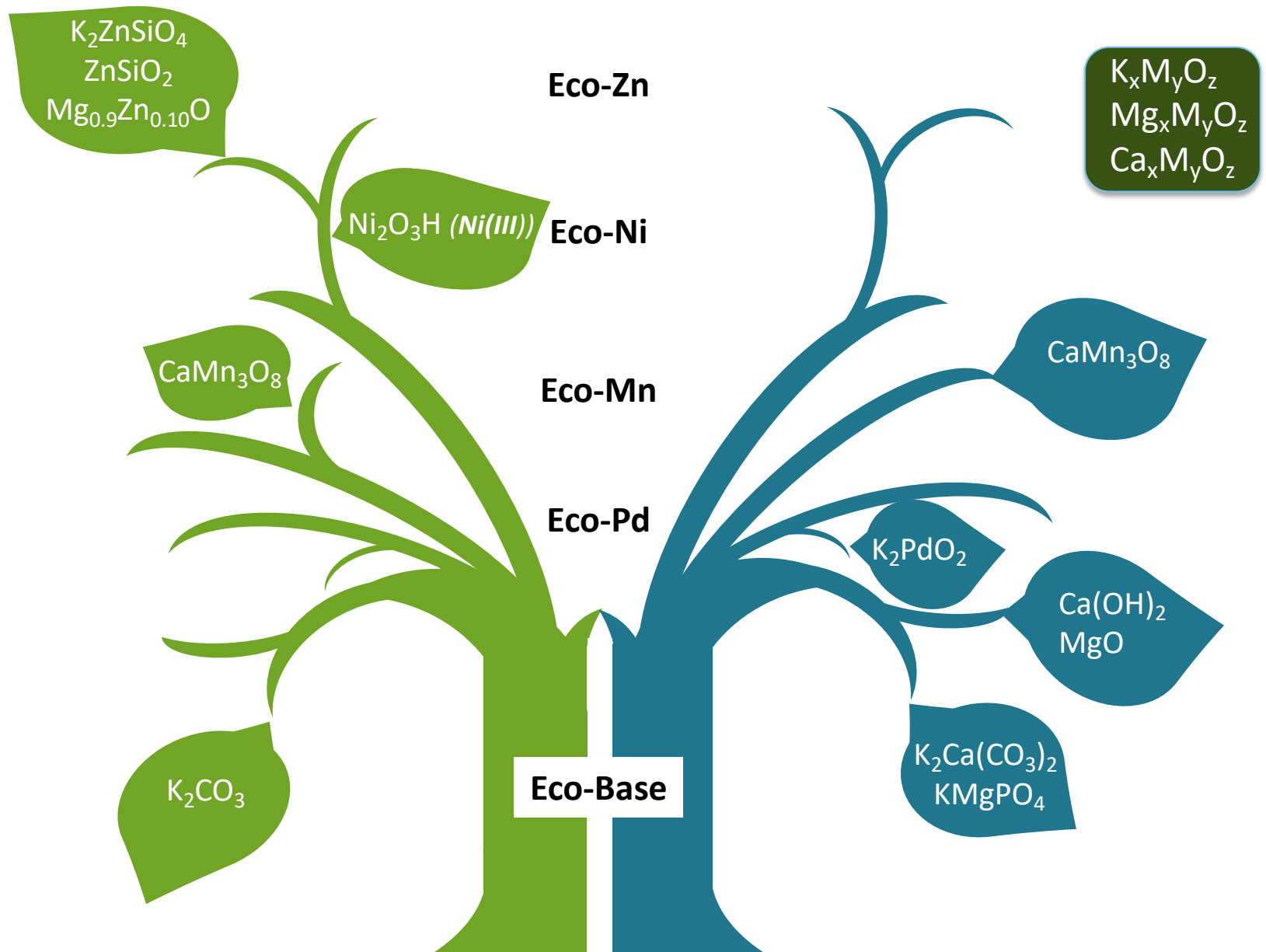
Ecocatalyse : Structure des écocatalyseurs Eco₁-M

Plantes terrestres

phytoextraction

Plantes aquatiques et des zones humides

rhizofiltration / biosorption / gestion des EVEC



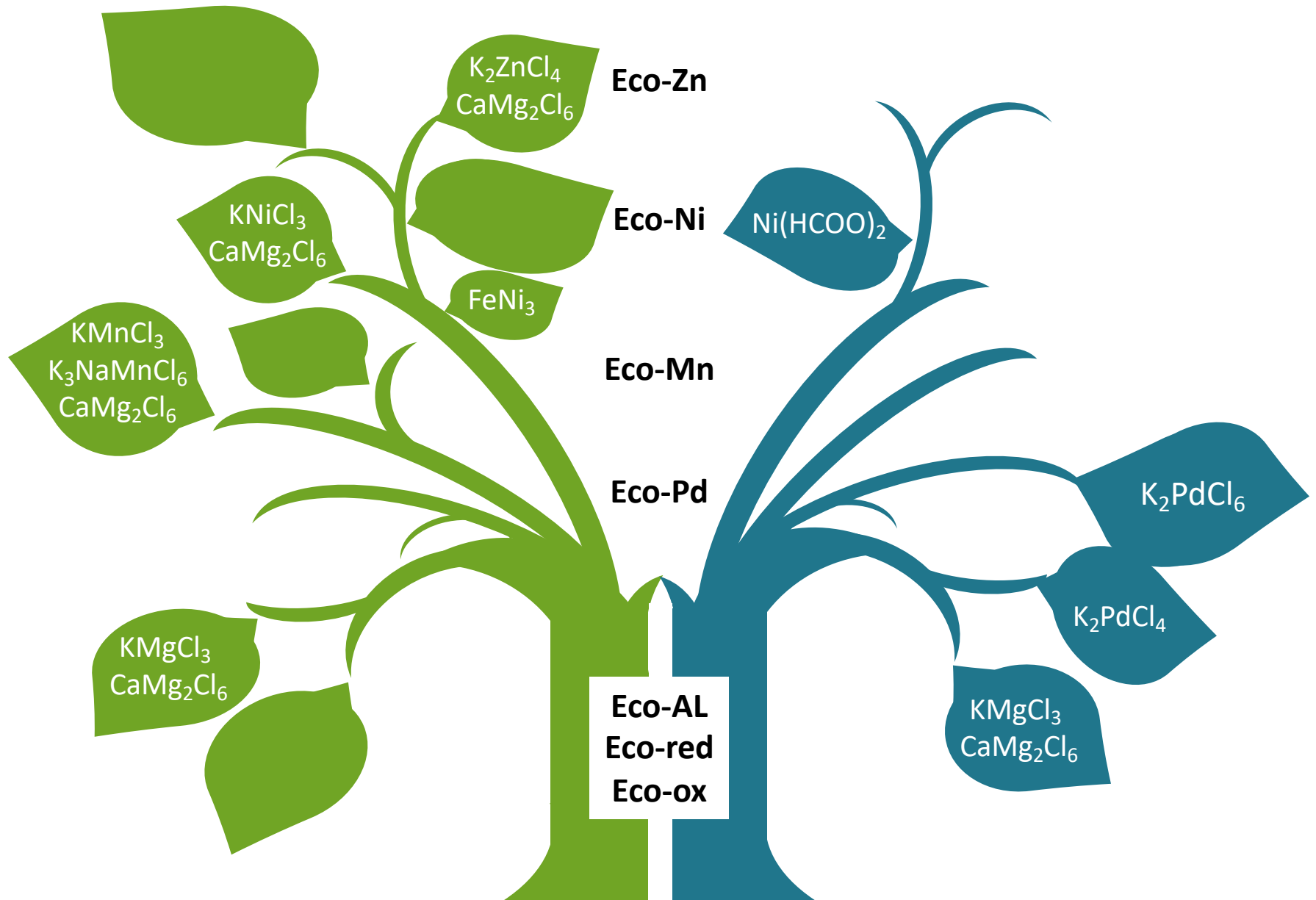
Ecocatalyse : Structure des écocatalyseurs Eco₂-M

Plantes terrestres

phytoextraction

Plantes aquatiques et des zones humides

rhizofiltration / biosorption / gestion des EVEC



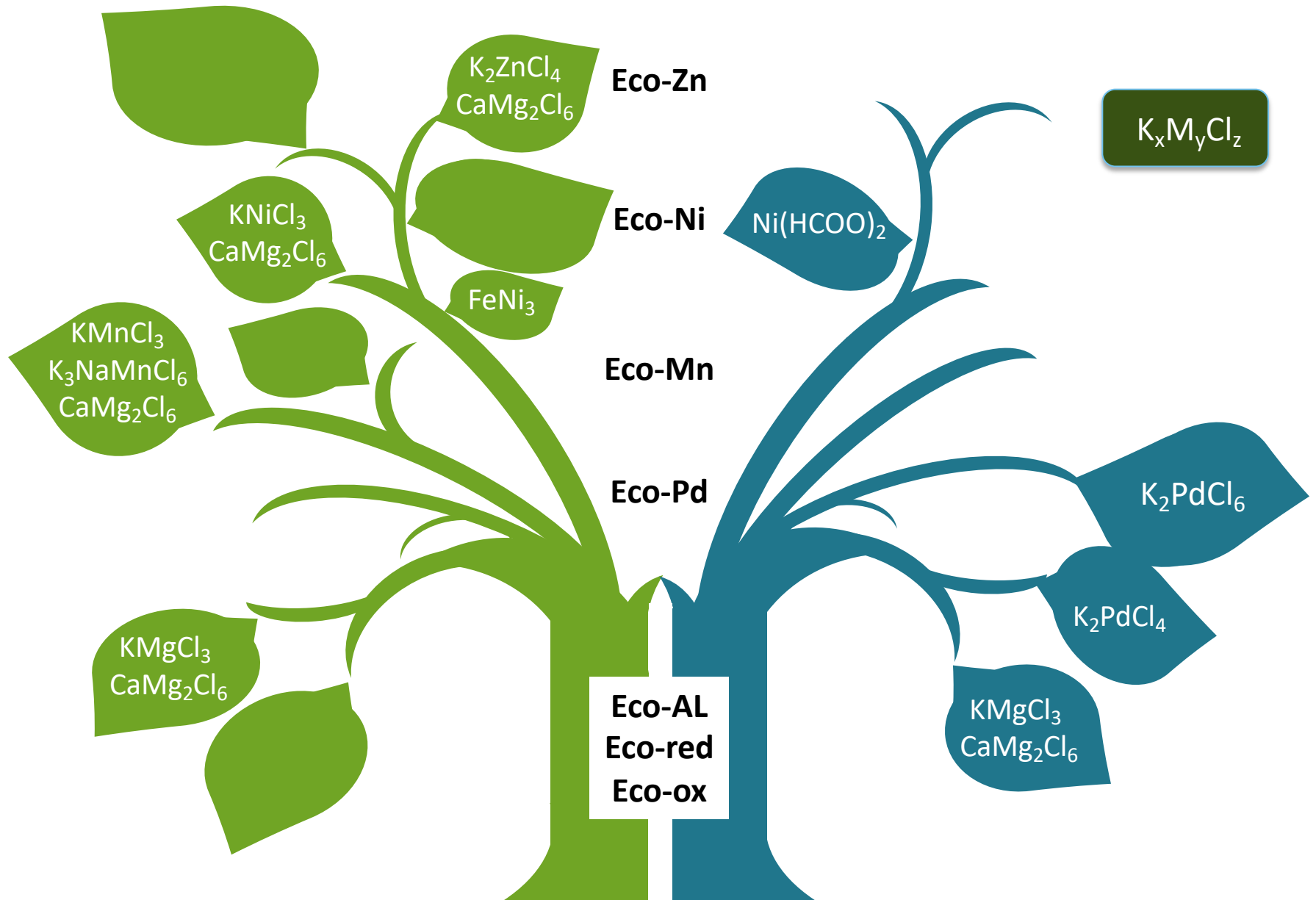
Ecocatalyse : Structure des écocatalyseurs Eco₂-M

Plantes terrestres

phytoextraction

Plantes aquatiques et des zones humides

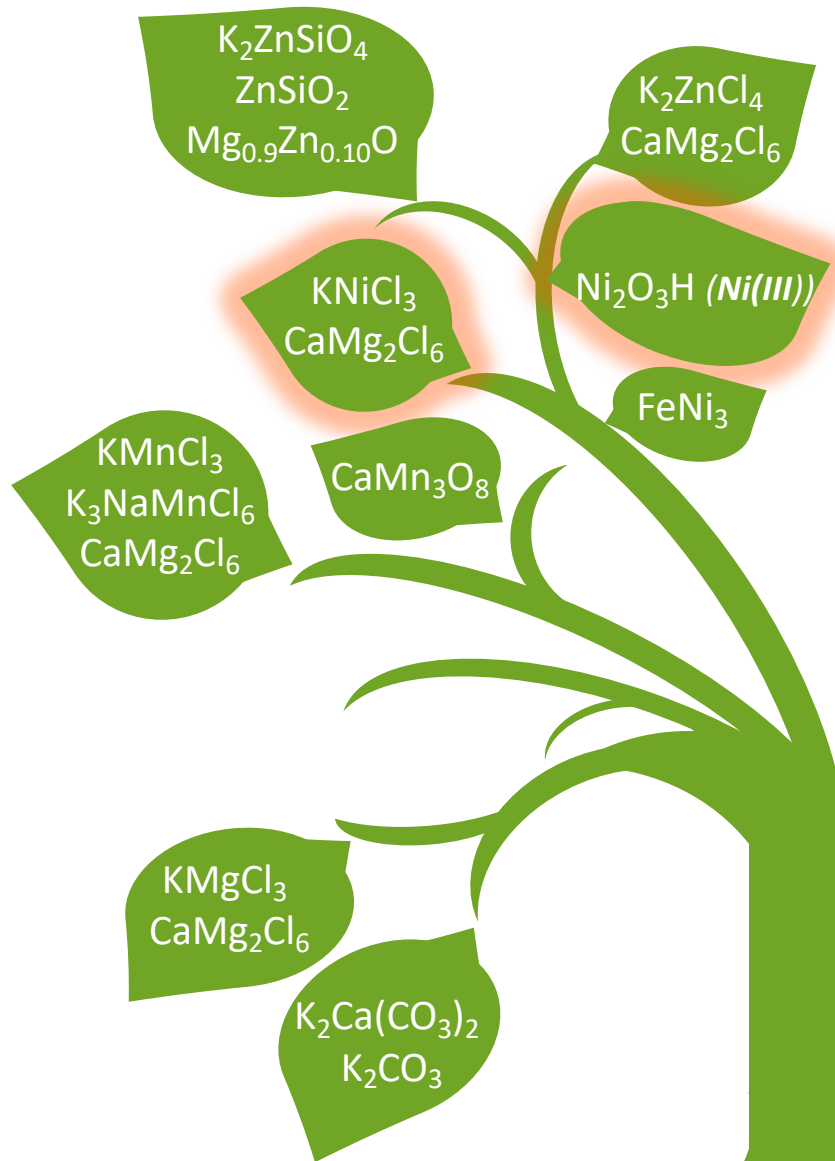
rhizofiltration / biosorption / gestion des EVEC



Ecocatalyse : Structure des écocatalyseurs

Plantes terrestres

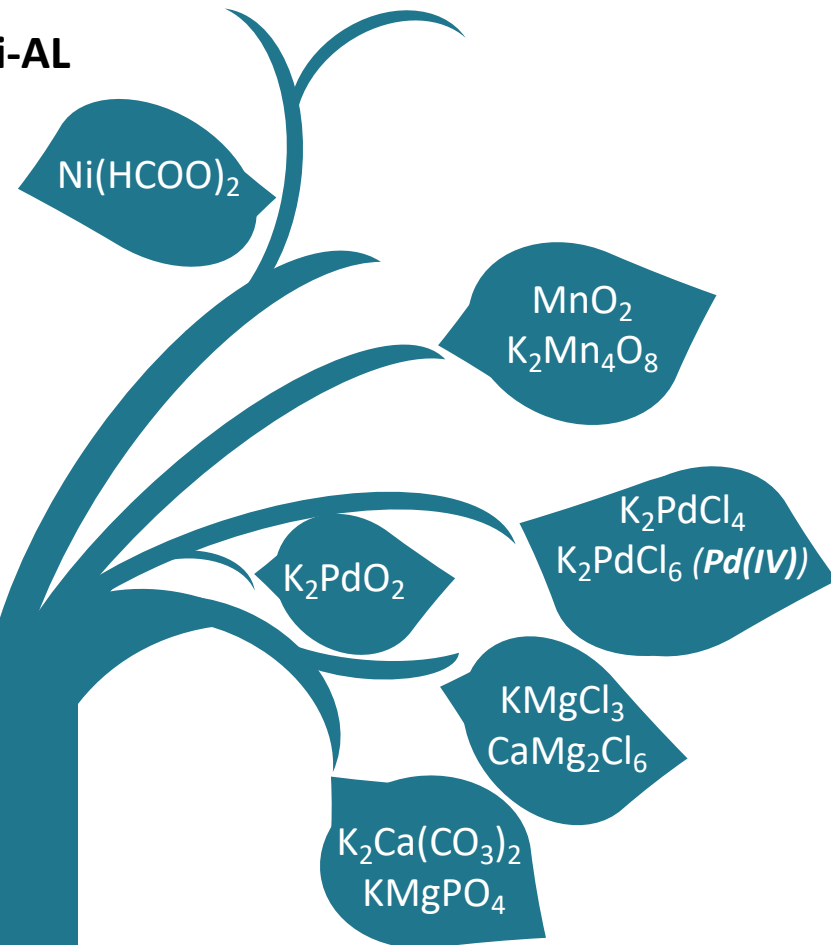
phytoextraction



Plantes aquatiques et des zones humides

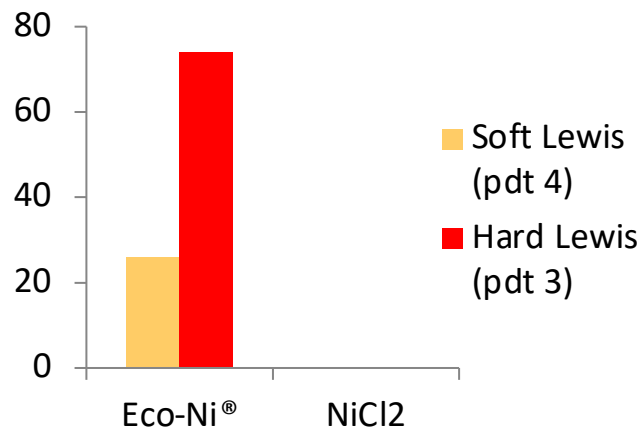
rhizofiltration / biosorption / gestion des EVEC

Eco-Ni-AL



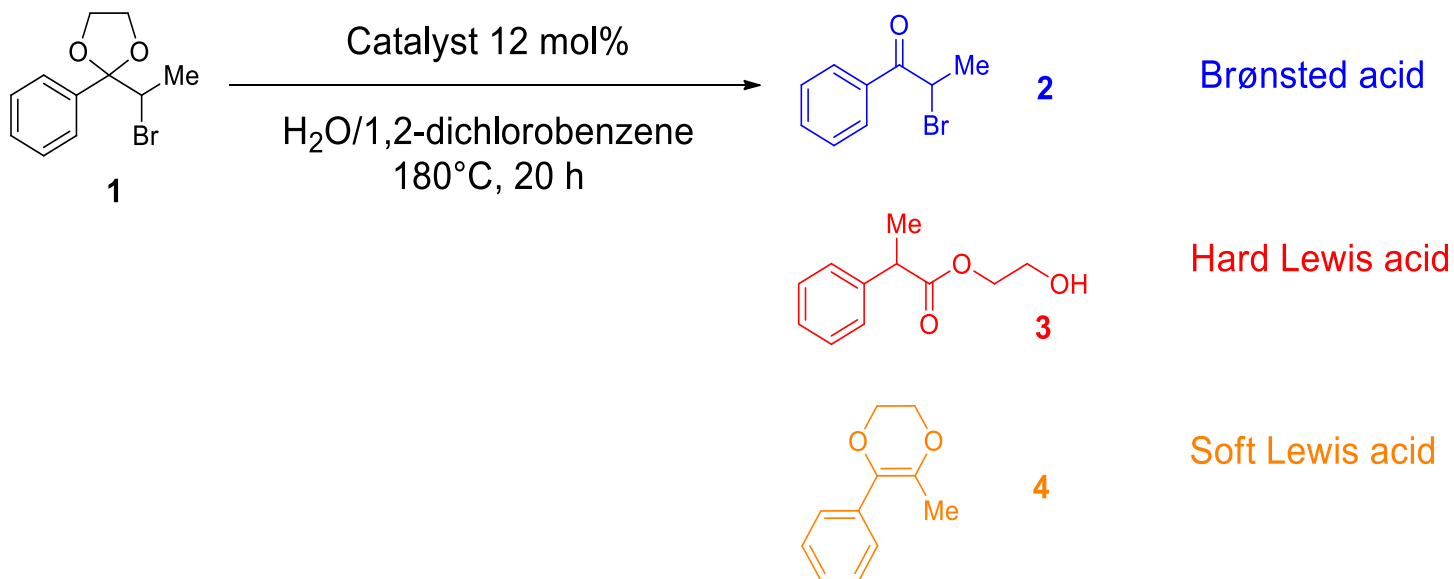
Ecocatalyse : Réactivité des acides de Lewis (AL)

Evaluation de l'activité des Eco-Ni-AL



Eco-Ni-AL

- $\text{CaMg}_2\text{Cl}_6(\text{H}_2\text{O})_{12}$
- KNiCl_3

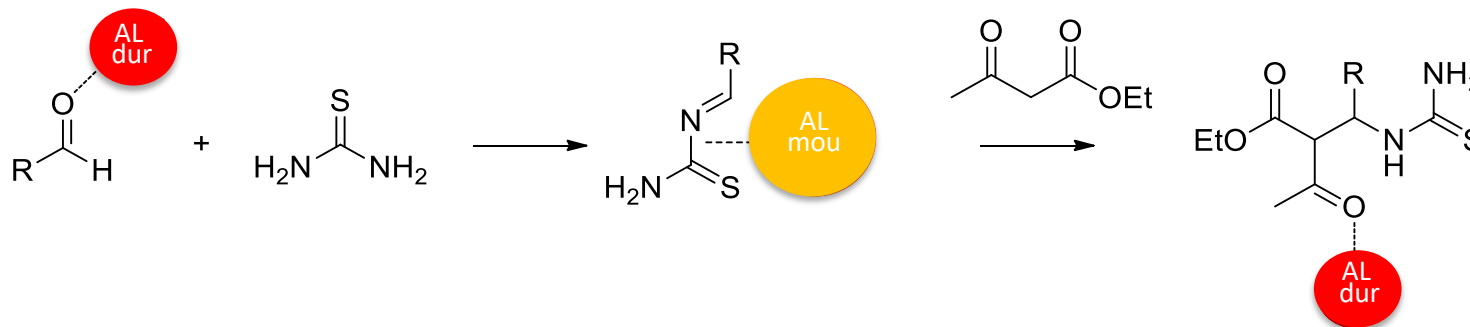


Ecocatalyse : Réactivité des acides de Lewis

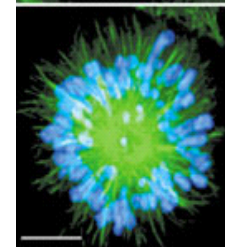
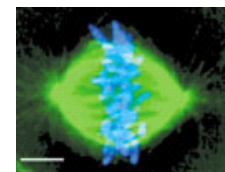
Eco-Ni-AL : Réactions multi-composantes / en cascade

Eco-Ni

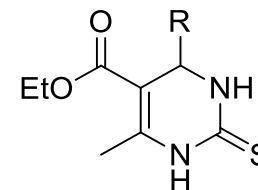
- CaMg₂Cl₆(H₂O)₁₂
- KNiCl₃



Monastrol
agent anti-mitotique



Monastrol :
Eco-Ni[®] : 72 %
NiCl₂ : 11 %

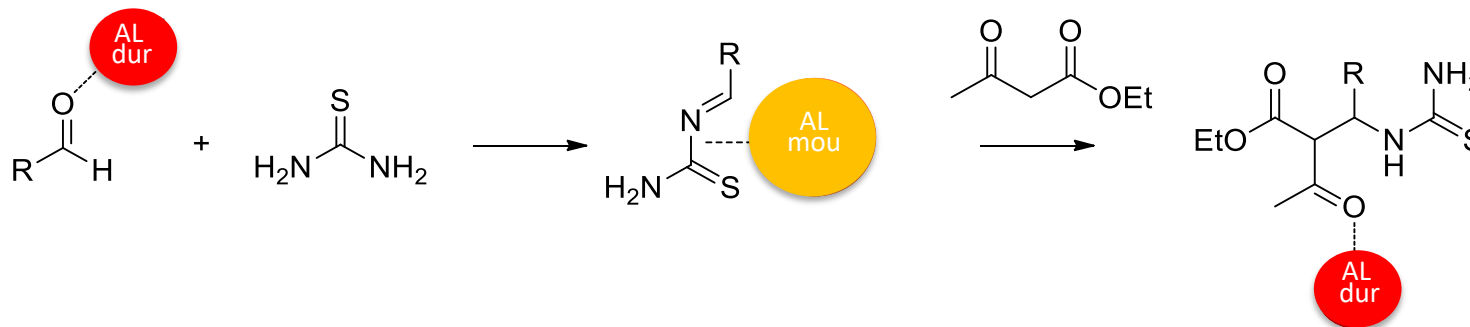


Ecocatalyse : Réactivité des acides de Lewis

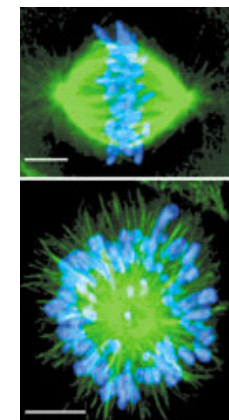
Eco-Ni-AL : Réactions multi-composantes / en cascade

Eco-Ni

- CaMg₂Cl₆(H₂O)₁₂
- KNiCl₃

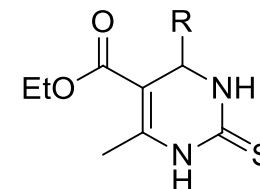


Monastrol
agent anti-mitotique

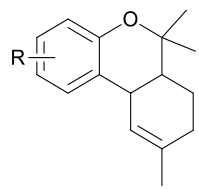


Monastrol :

Eco-Ni[®] : 72 %
NiCl₂ : 11 %

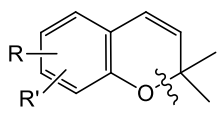


Synthèse de
Cannabinoïdes



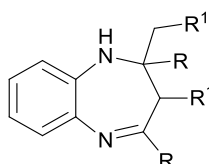
Rdts moyens: 93 %
(5 exemples)

Synthèse de
chromènes



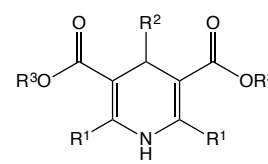
Rdts moyens: 83 %
(7 exemples)

Synthèse de
1-H-1,5-benzodiazepines

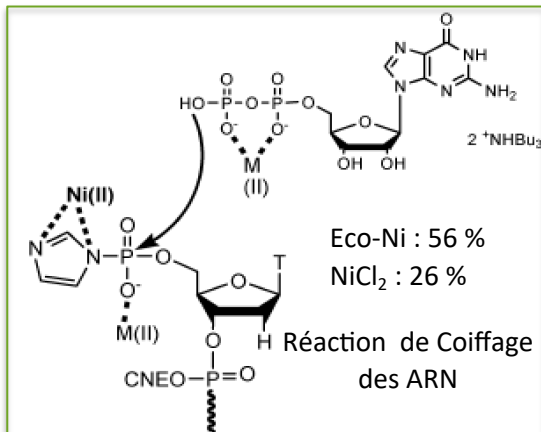


Rdts moyens: 97 %
(9 exemples)

Synthèse de
dihydropyrimidines



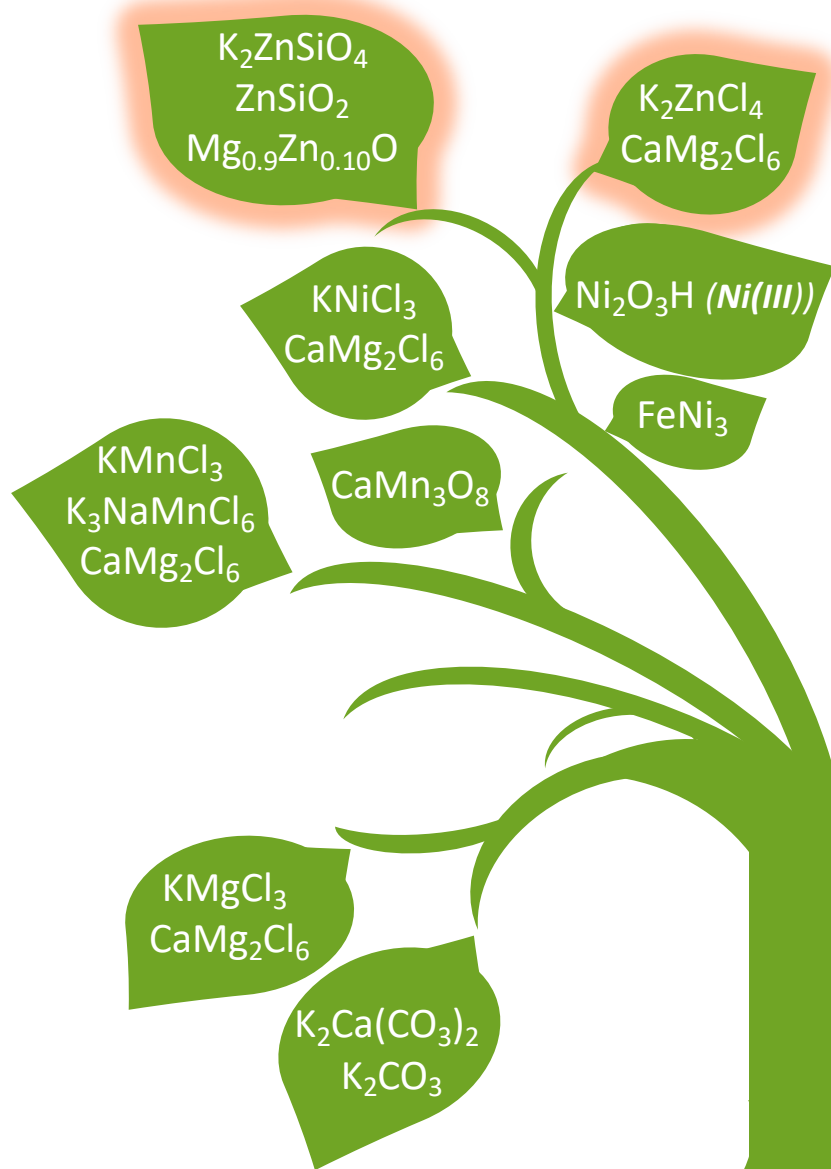
Rdts moyens: 91 %
(14 exemples)



Ecocatalyse : Structure des écocatalyseurs

Plantes terrestres

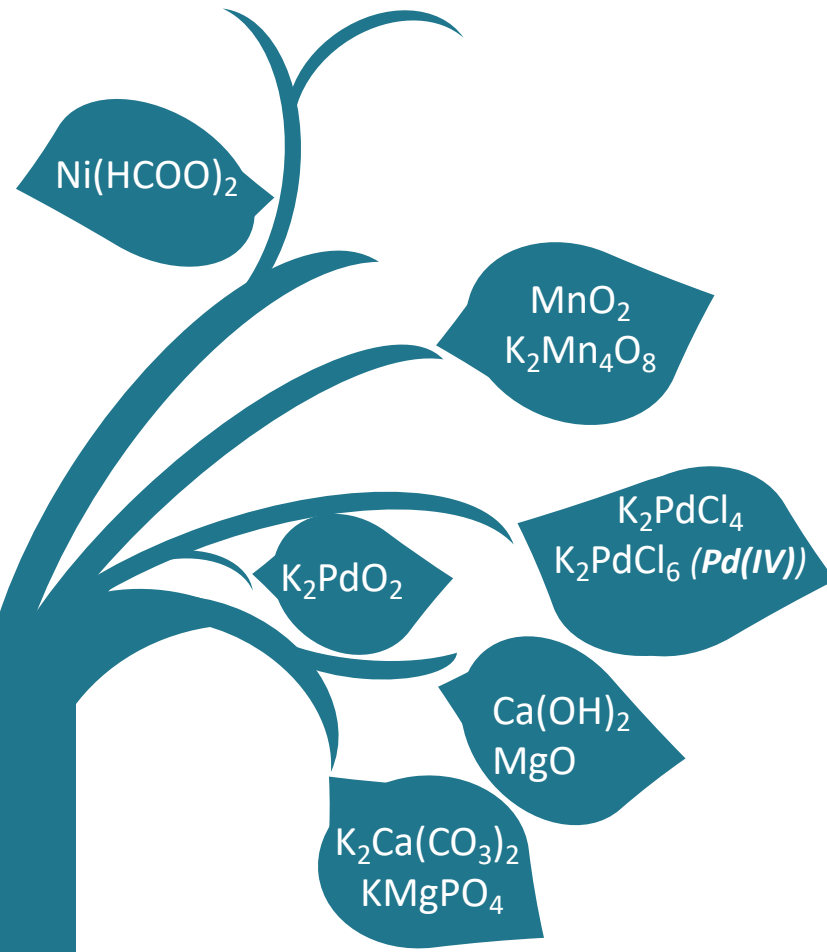
phytoextraction



Eco-Zn-AL

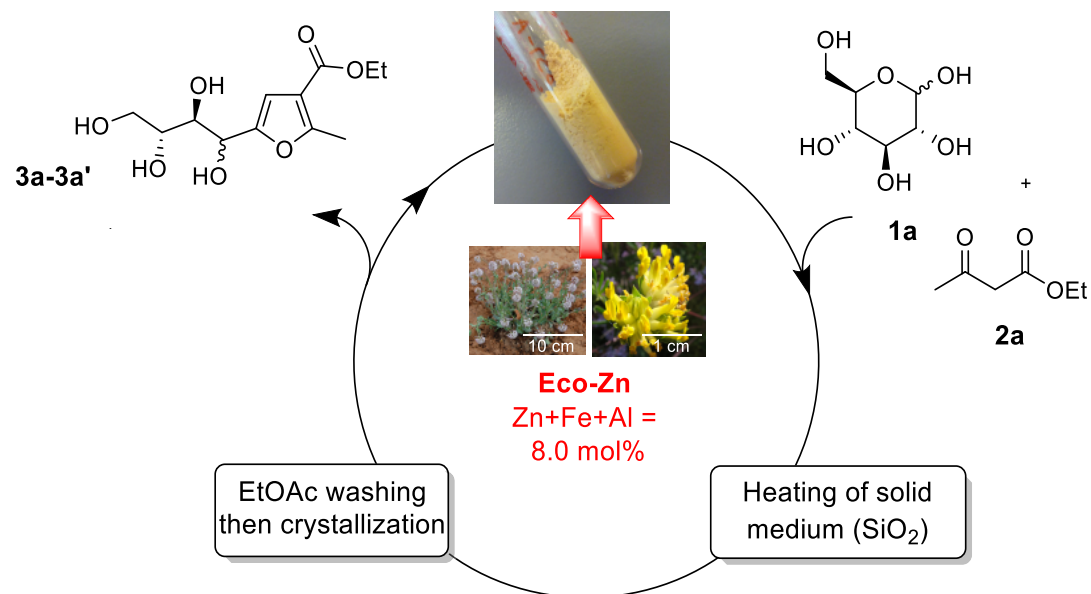
Plantes aquatiques et des zones humides

rhizofiltration / biosorption / gestion des EVEC



Eco-Zn-AL : valorisation de la cellulose et molécules plateformes

Réaction de Garcia-Gonzalez en milieu solide ou liquide:



ZnCl₂ : 30%
Eco-Zn-AL : 67%

- Produit secondaire : H₂O
- Solvant EtOH/H₂O
- Economie d'atome
- Eco-Zn recyclable

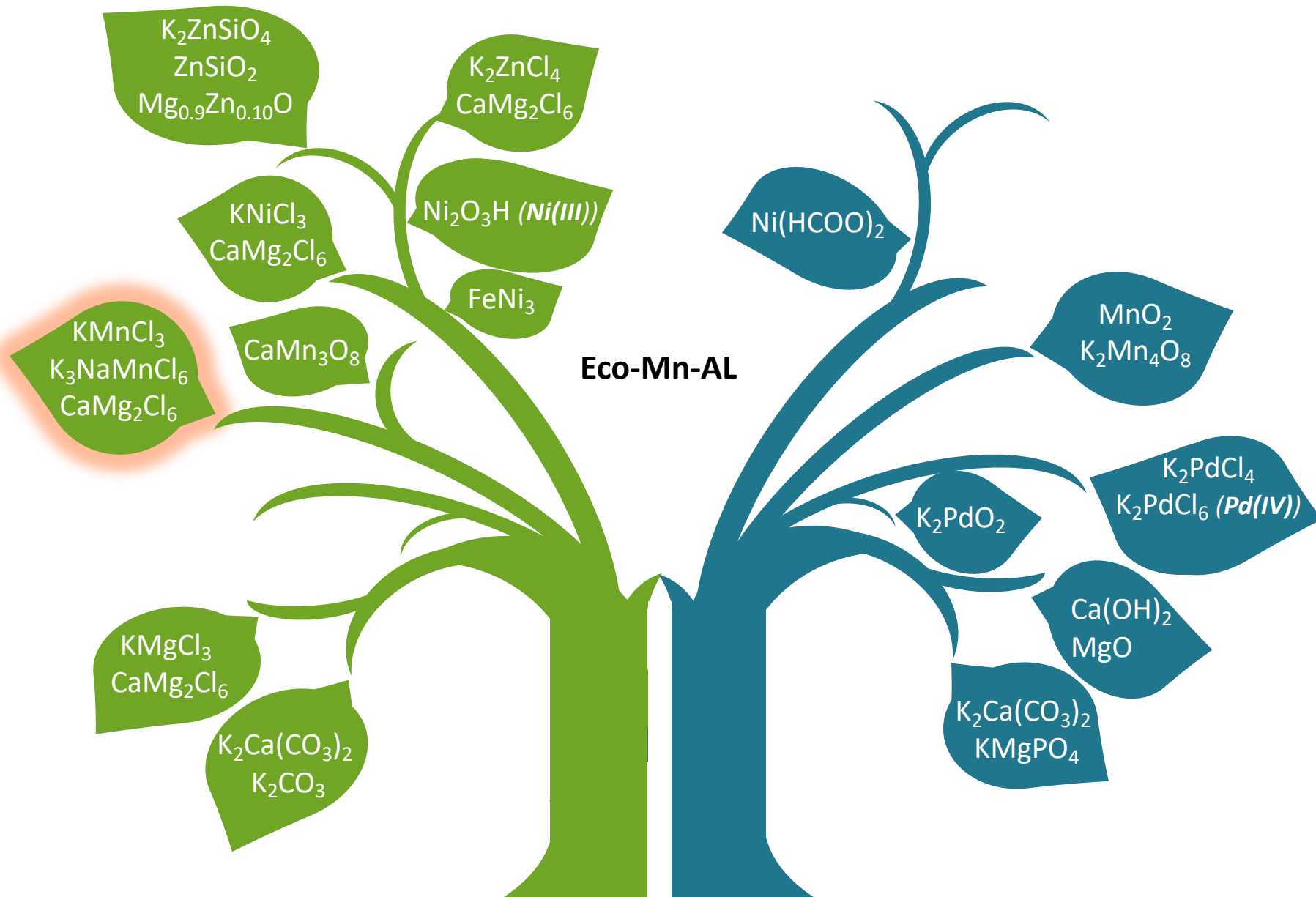
Ecocatalyse : Structure des écocatalyseurs

Plantes terrestres

phytoextraction

Plantes aquatiques et des zones humides

rhizofiltration / biosorption / gestion des EVEC

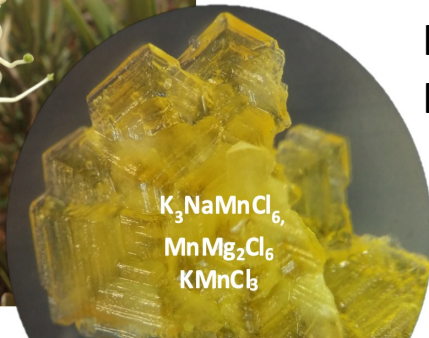


Ecocatalyse : Réactivité des acides de Lewis

Eco-Mn-AL : vers des réactions tandem



Grevillea exul rubiginosa



$K_3NaMnCl_6$,
 $MnMg_2Cl_6$,
 $KMnCl_3$

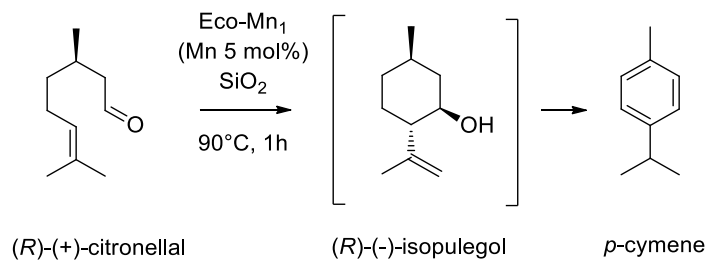
Caractérisation synchrotron

$K_3NaMnCl_6$

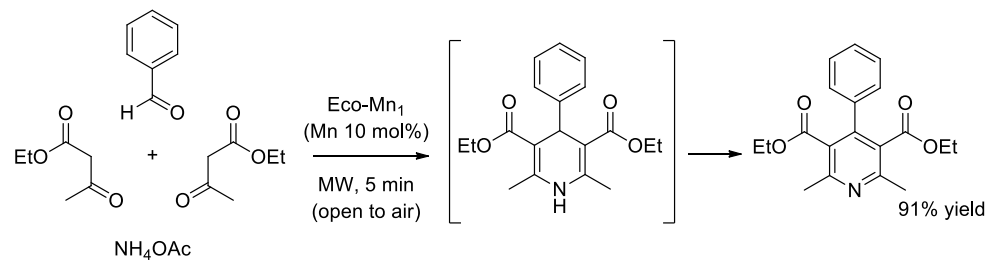
$KMnCl_3$



Carbonyl-ène réaction / oxydation



Réaction multicomposante /oxydation



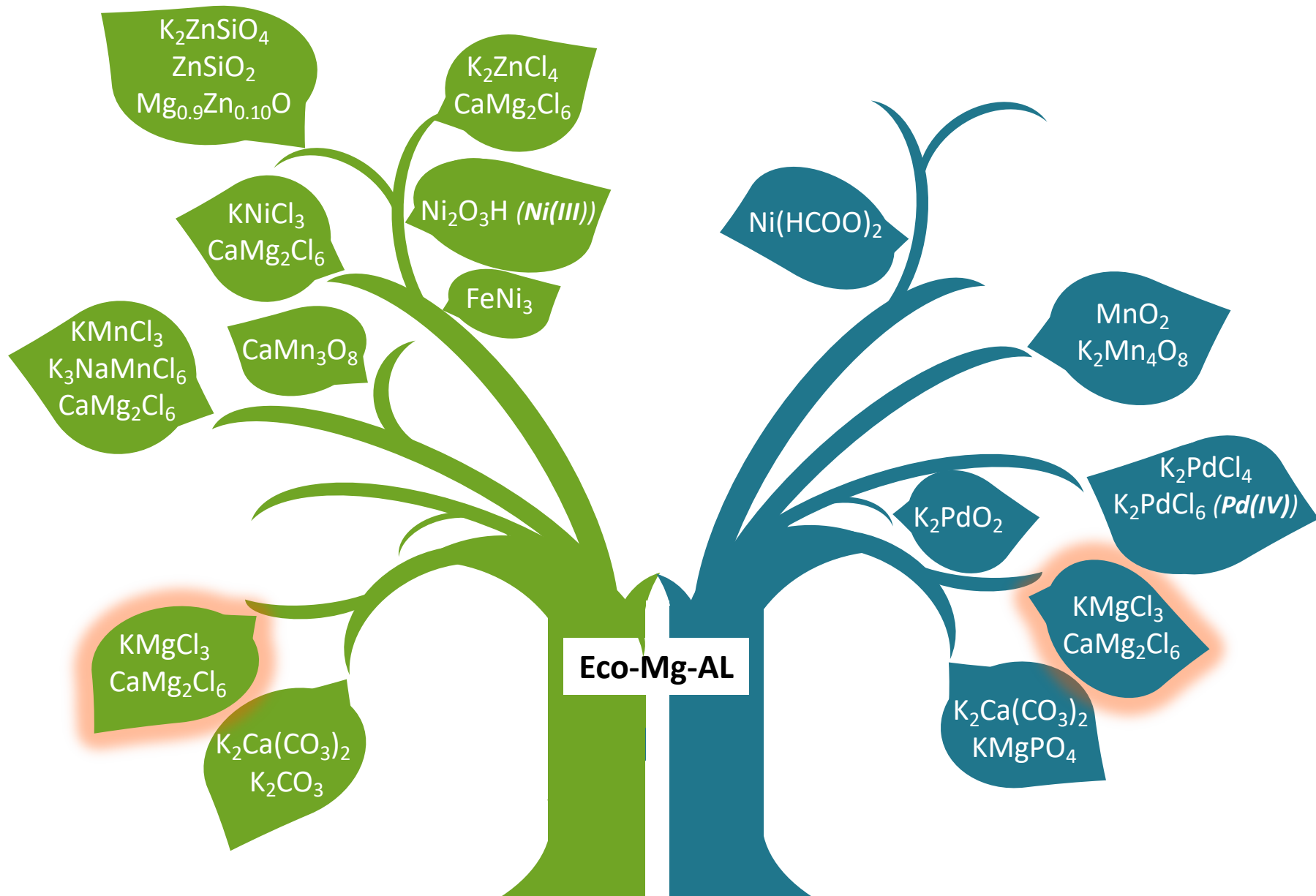
Ecocatalyse : Structure des écocatalyseurs

Plantes terrestres

phytoextraction

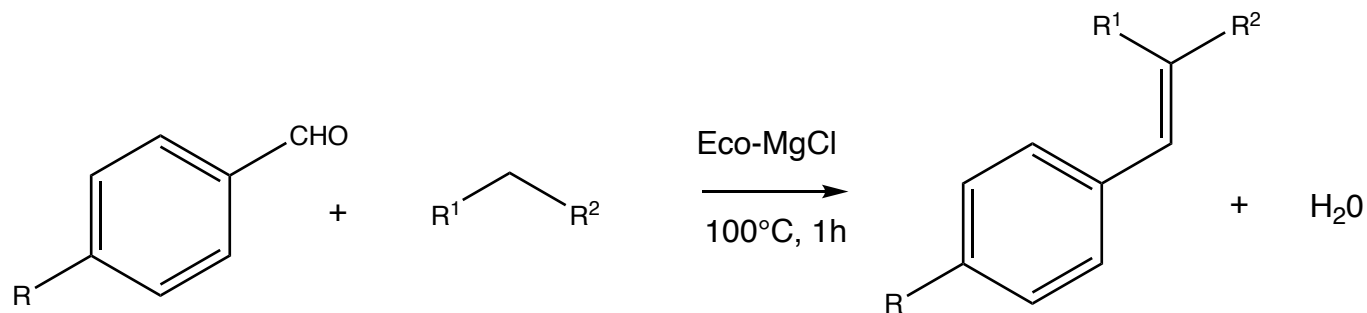
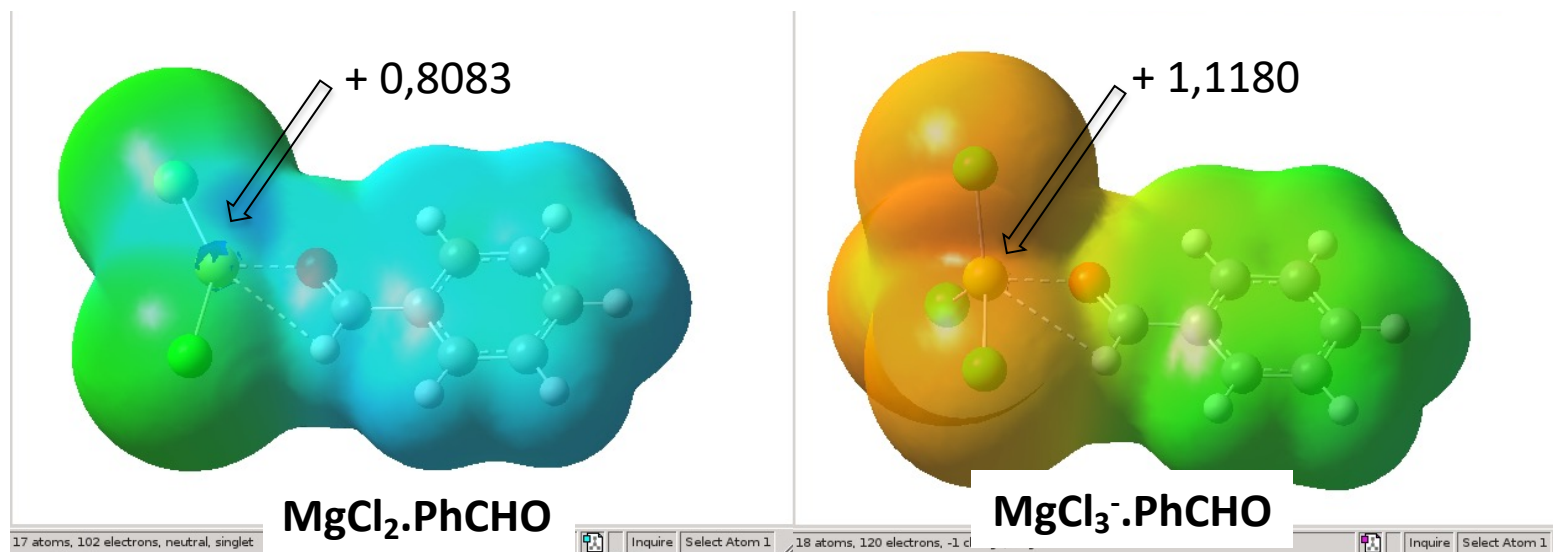
Plantes aquatiques et des zones humides

rhizofiltration / biosorption / gestion des EVEC



Eco-Mg-AL : réaction de Knoevenagel

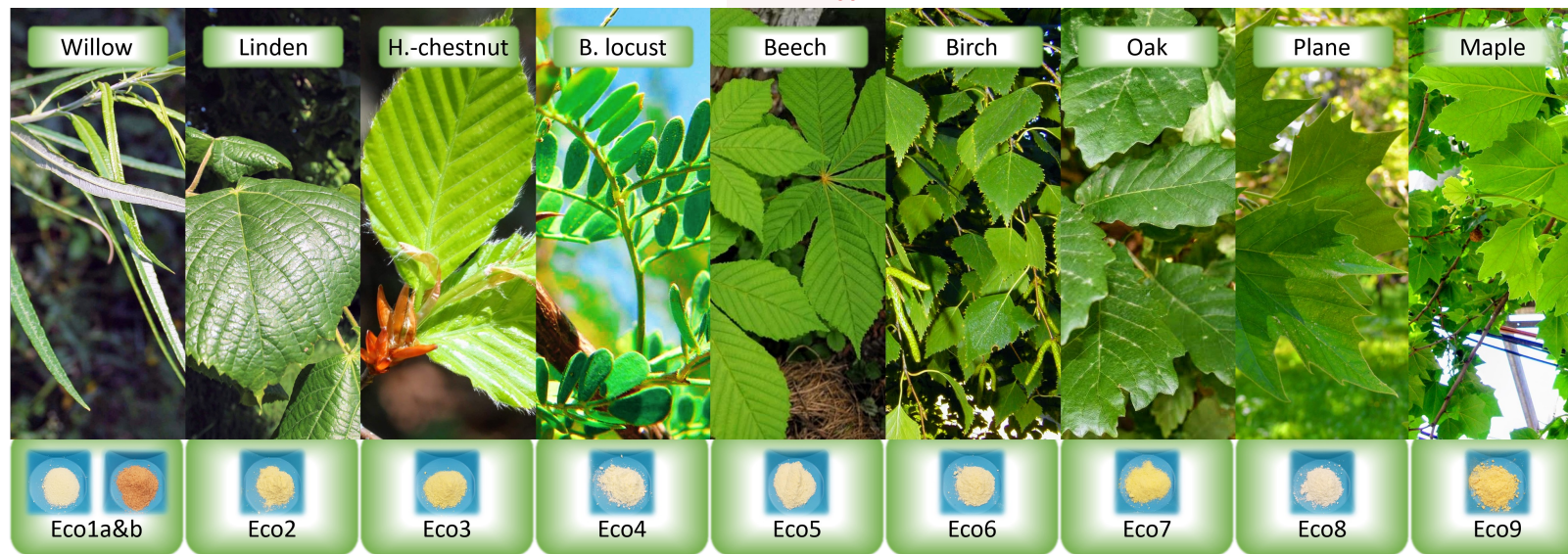
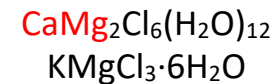
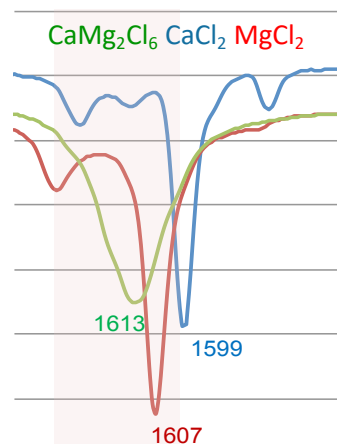
Analyses DFT comparatives : calcul des densités de charge de Mg



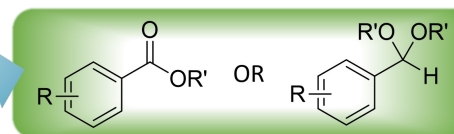
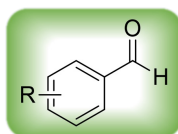
Ecocatalyse : Réactivité des acides de Lewis

Eco-CaMg

Eco-CaMg-AL :



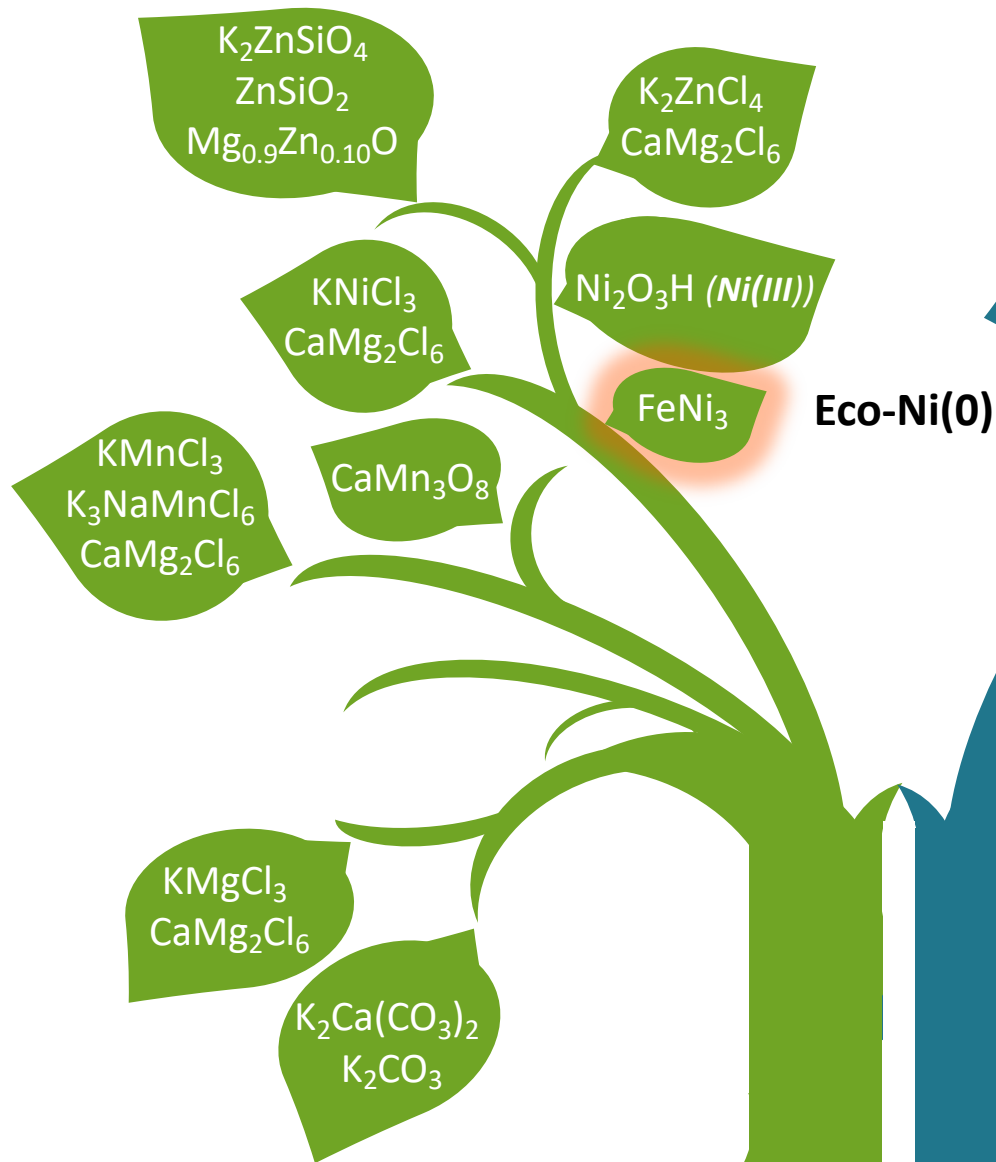
CATALYSIS



Ecocatalyse : Structure des écocatalyseurs

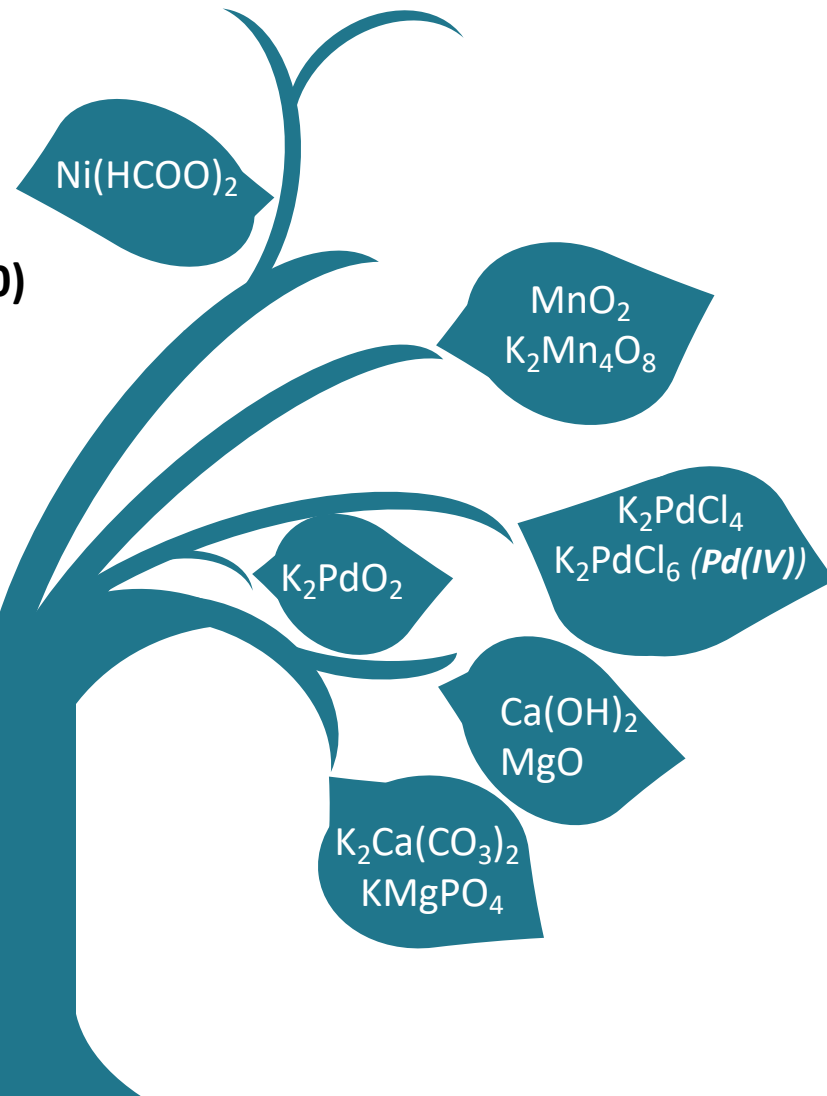
Plantes terrestres

phytoextraction



Plantes aquatiques et des zones humides

rhizofiltration / biosorption / gestion des EVEC

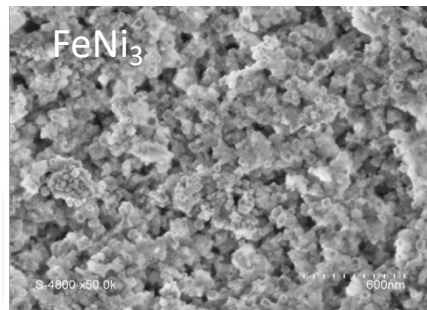


Ecocatalyse : Réactivité des réducteurs

Eco-Ni(0) :

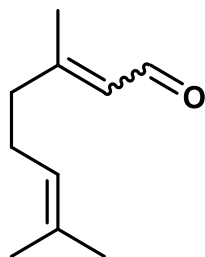
Une morphologie idéale

HRTEM / EDX

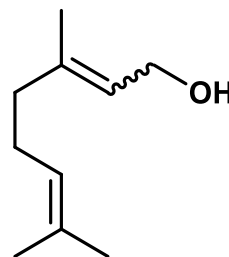
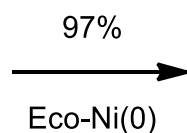


Nanoparticules Ni(0) : 20 nm
Aire spécifique : 109 m²/g
Volume poreux : 0,20,cm³/g
Diamètre des pores : 75 Å

Réductions régiosélectives : Du citral au géranol



cis/trans : 24/76



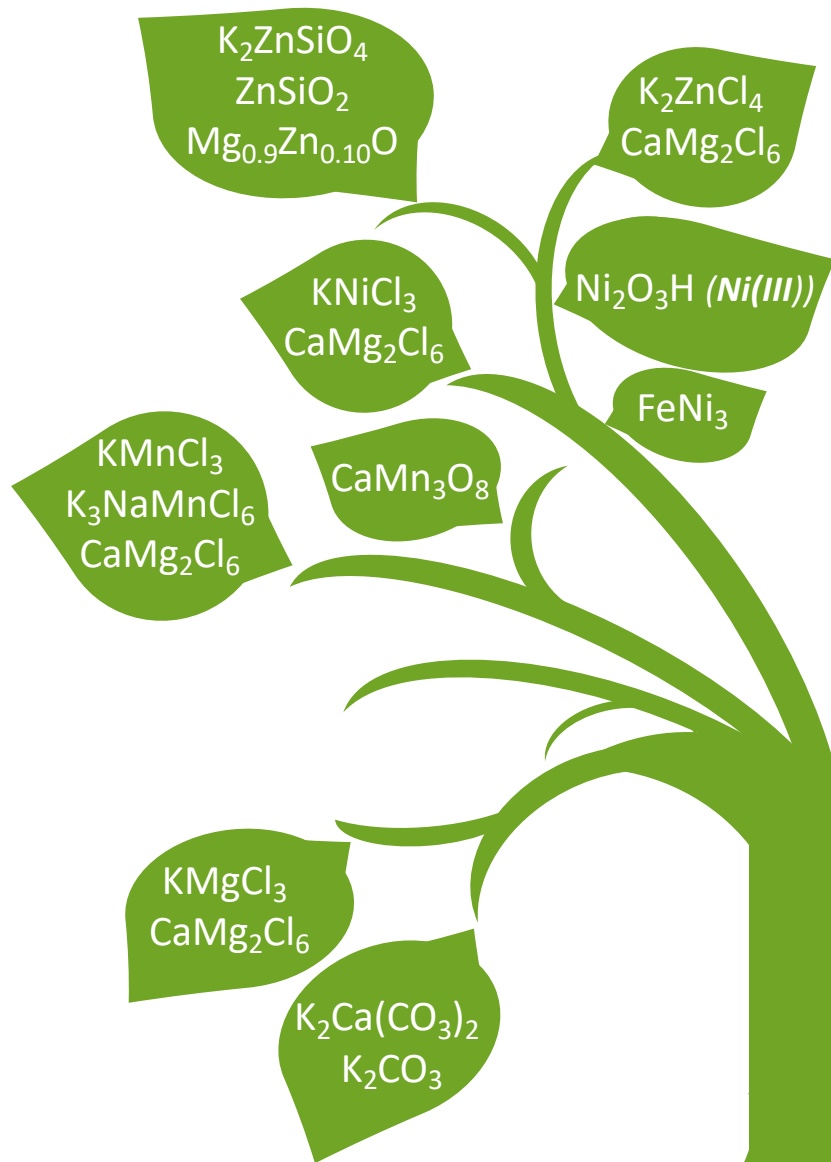
cis/trans : 24/76



Ecocatalyse : Structure des écocatalyseurs

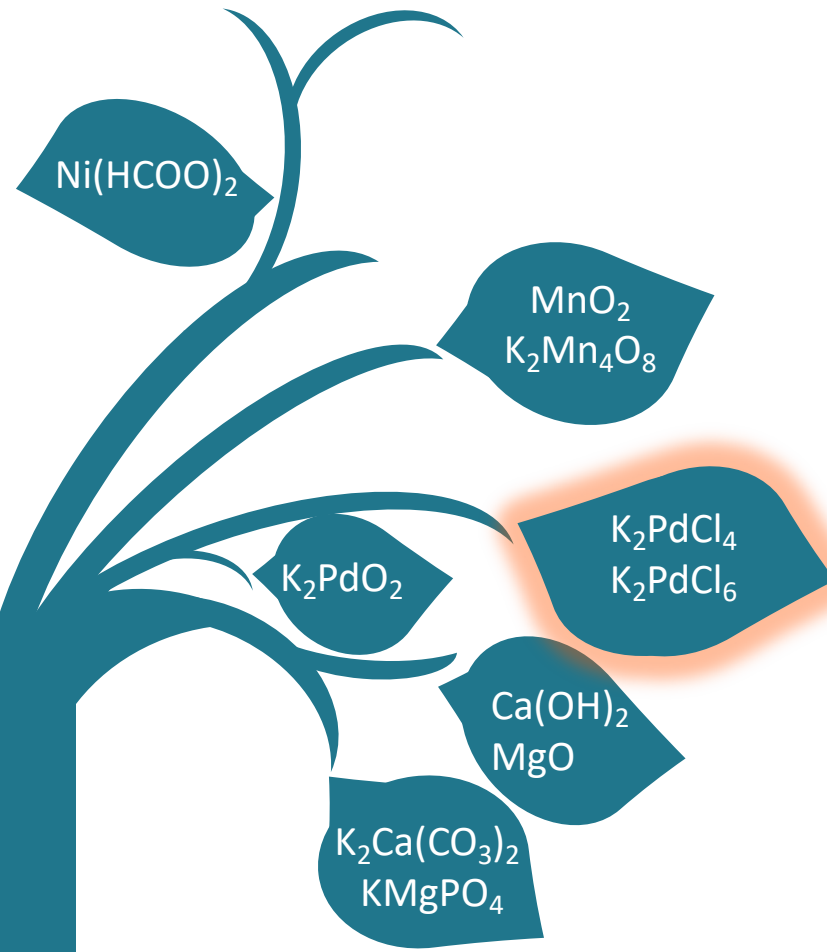
Plantes terrestres

phytoextraction



Plantes aquatiques et des zones humides

rhizofiltration / biosorption / gestion des EVEC



Réductions écocatalysées



sustainable conditions

- no ligands
- green solvents
- ecofriendly / no base
- low catalyst loading
- recyclable catalyst

good yields & selectivity

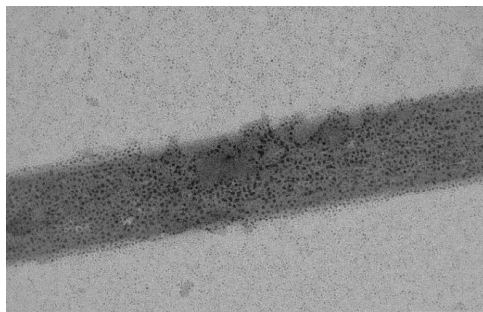
Ecocatalyse : Réactivité des Eco-Pd

Des réactions de couplages avec de très faibles charges catalytiques

Une morphologie idéale

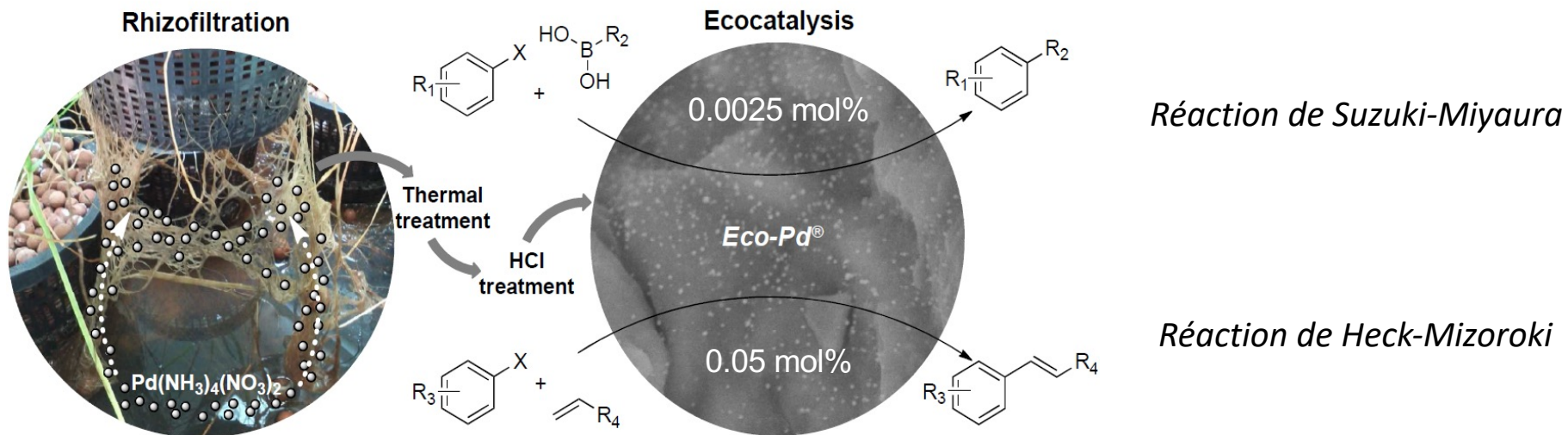
HRTEM / EDX

Nanoparticules Pd(II) : 2-4 nm

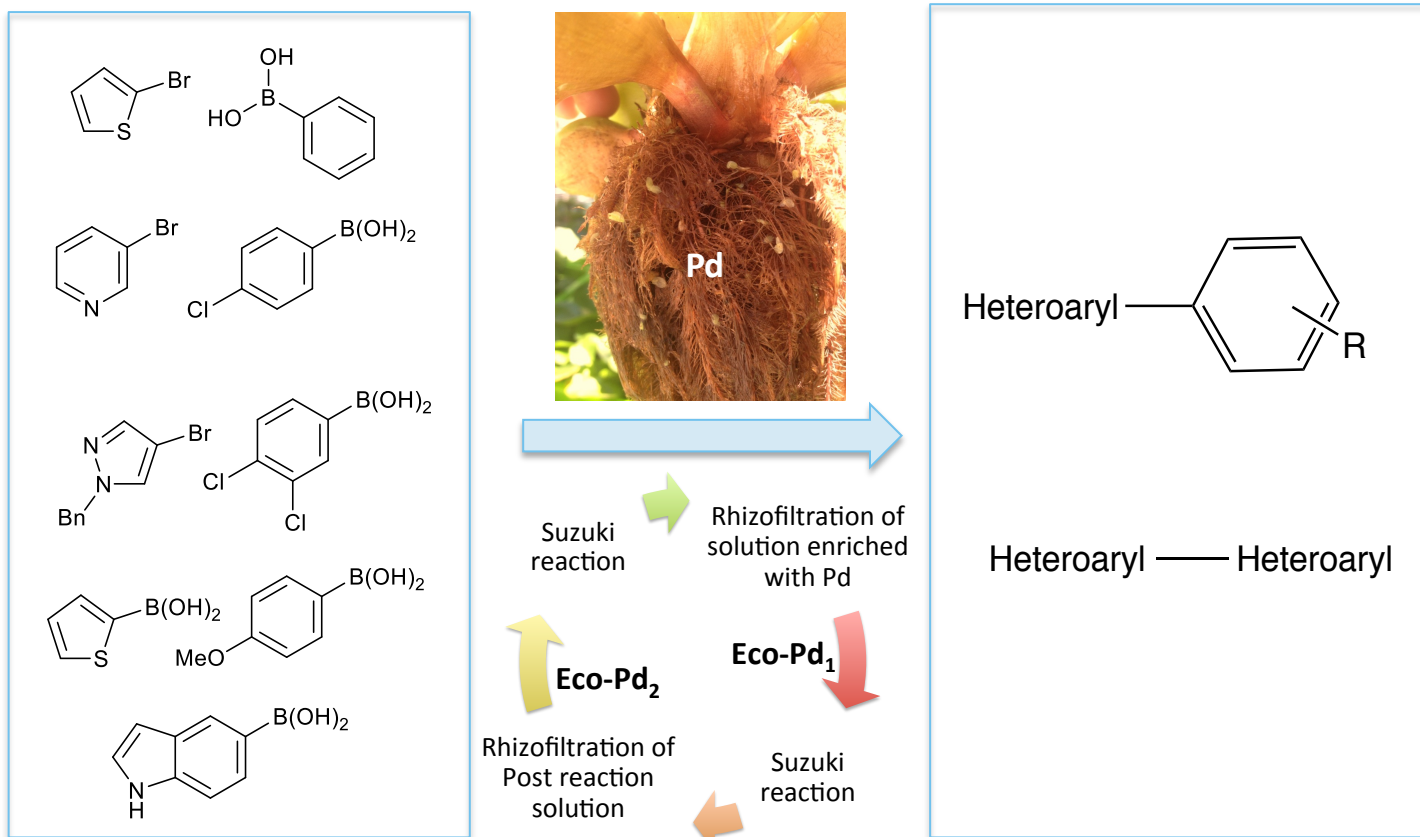


Eco-Pd : composition minérale					
Na	Mg	K	Ca	Fe	Pd
5.35	0.74	3.80	8.35	2.03	20.36

Couplage C-C avec une quantité catalytique très faible



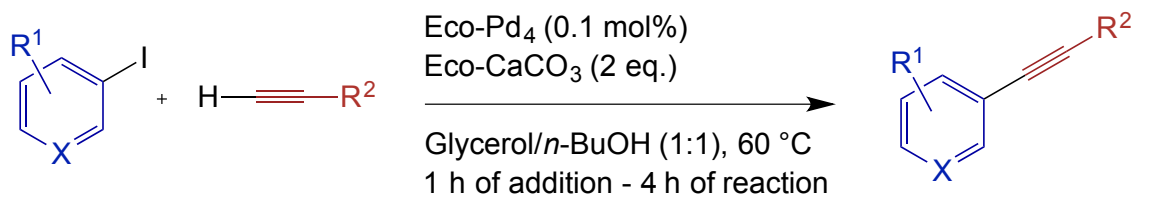
Eco-Pd : un couplage efficace en série hétérocyclique dans l'eau



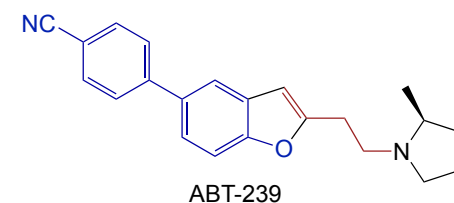
Pd < 0.1 mol%

Pas de ligand, pas d'additif

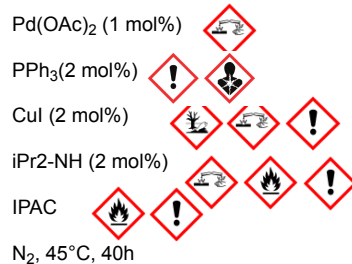
Eco-Pd : Des réactions de Sonogashira très vertes



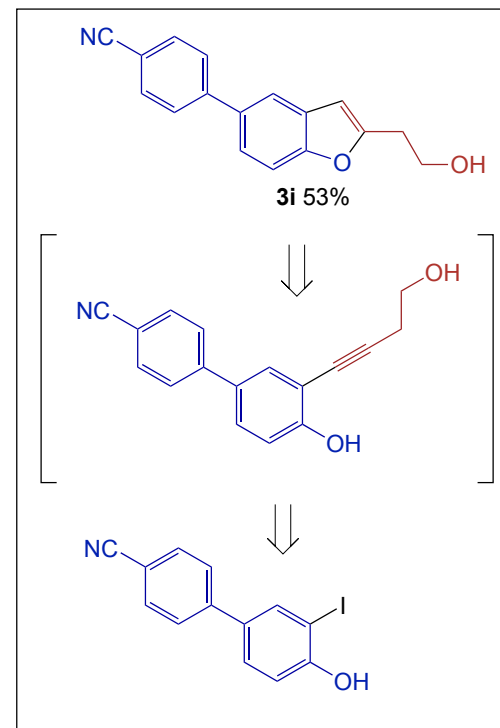
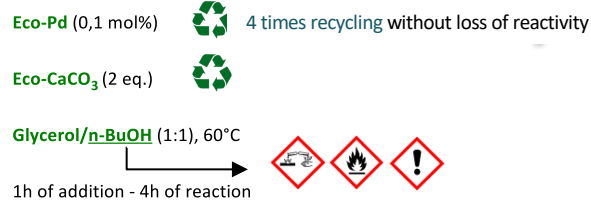
Application à la synthèse directe de l'ABT-239



Procédé Abbott



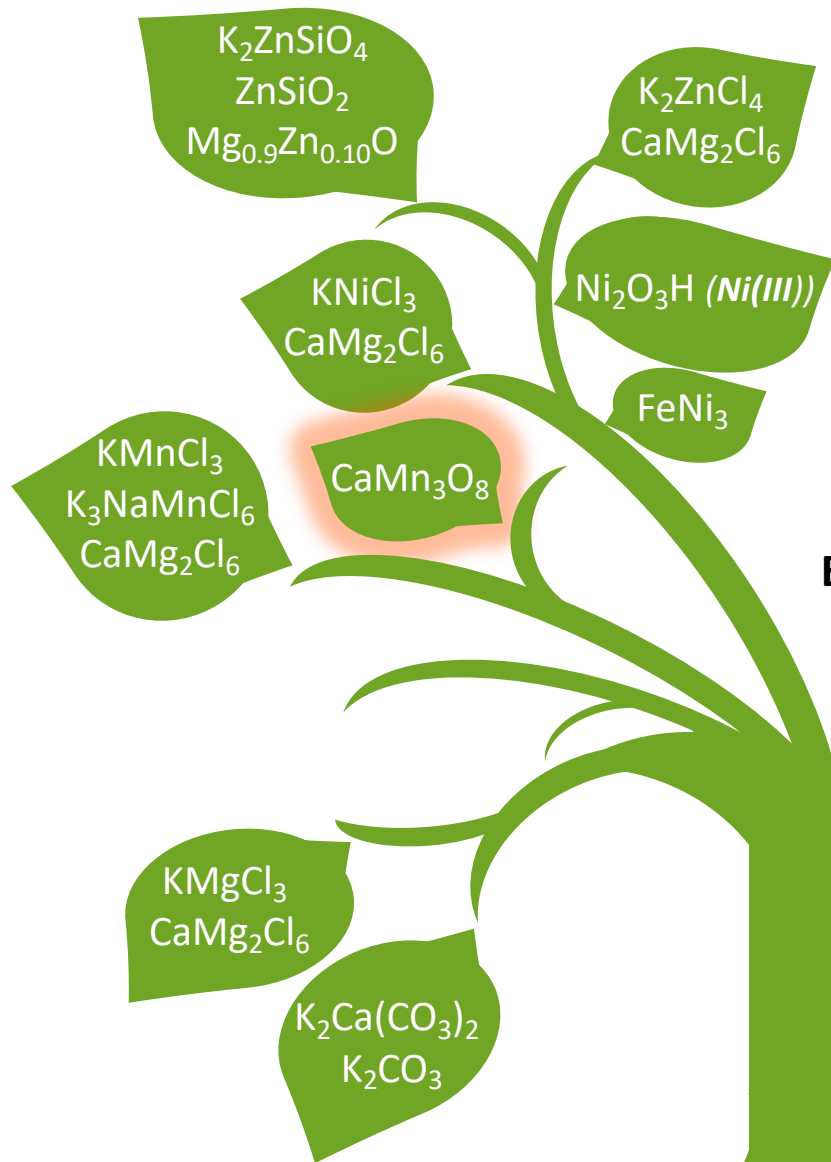
Procédé Ecocatalyse



Ecocatalyse : Structure des écocatalyseurs

Plantes terrestres

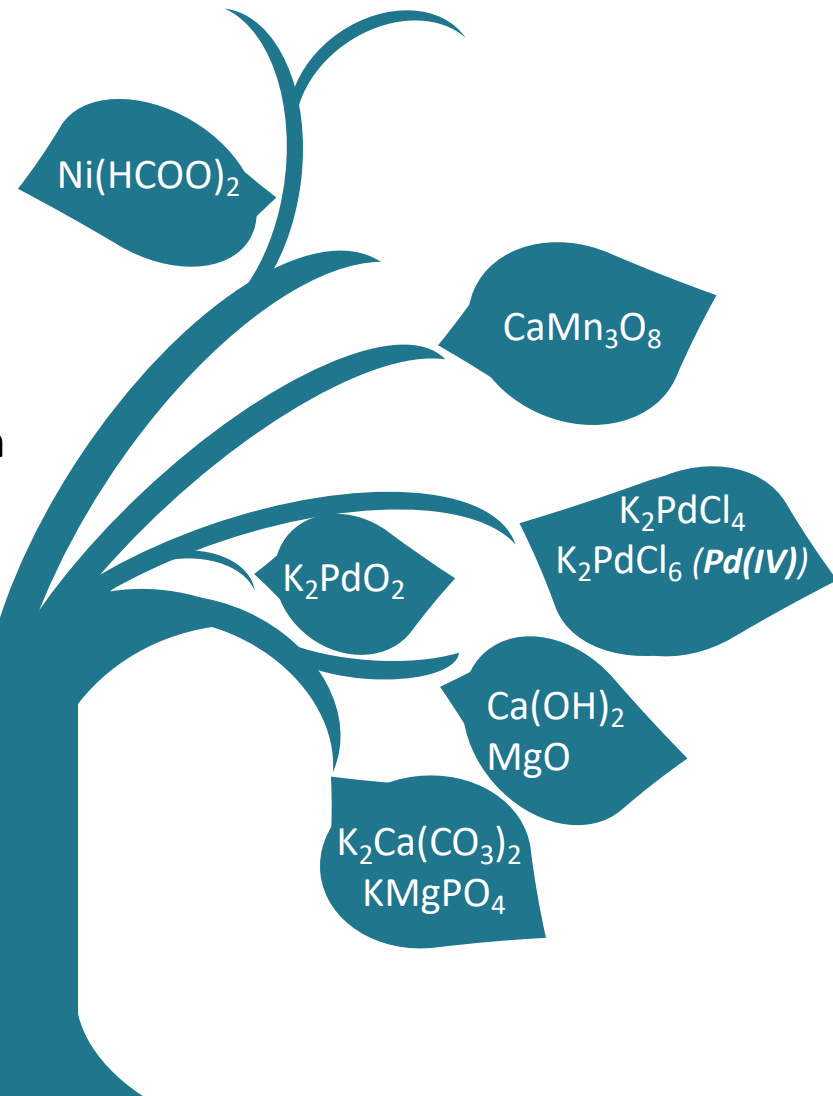
phytoextraction



Plantes aquatiques et des zones humides

rhizofiltration / biosorption / gestion des EVEC

Eco-Mn



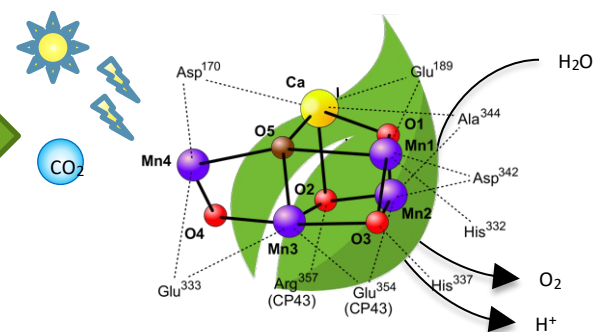
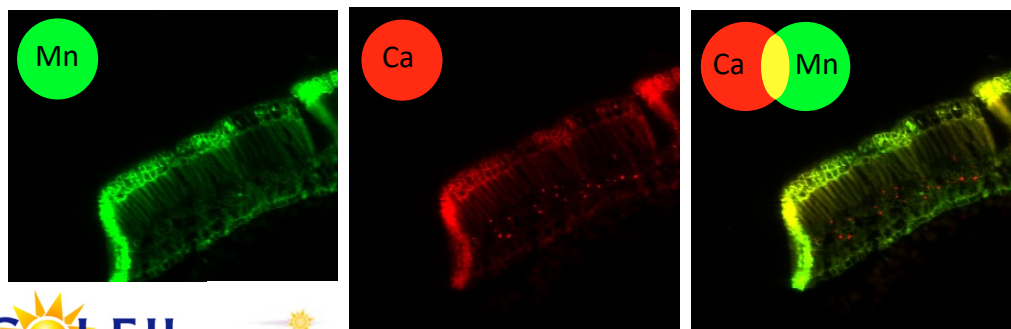
Ecocatalyse : Réactivité des oxydants

Eco-Mn : Des réactions d'oxydation bio-inspirés

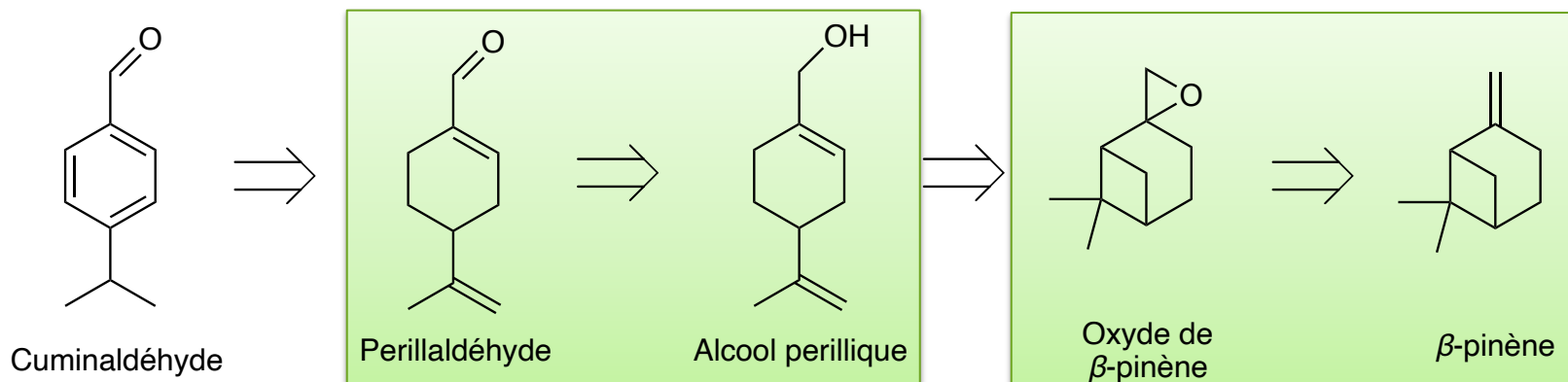
Une structure originale : Micro-Fluorescence X au **Synchrotron Soleil**

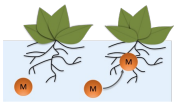
$\text{Ca}_2\text{Mn}_3\text{O}_8$ dans les Eco-CaMnOx

Cofacteur CaMn_4O_5
dans le Photosystème II

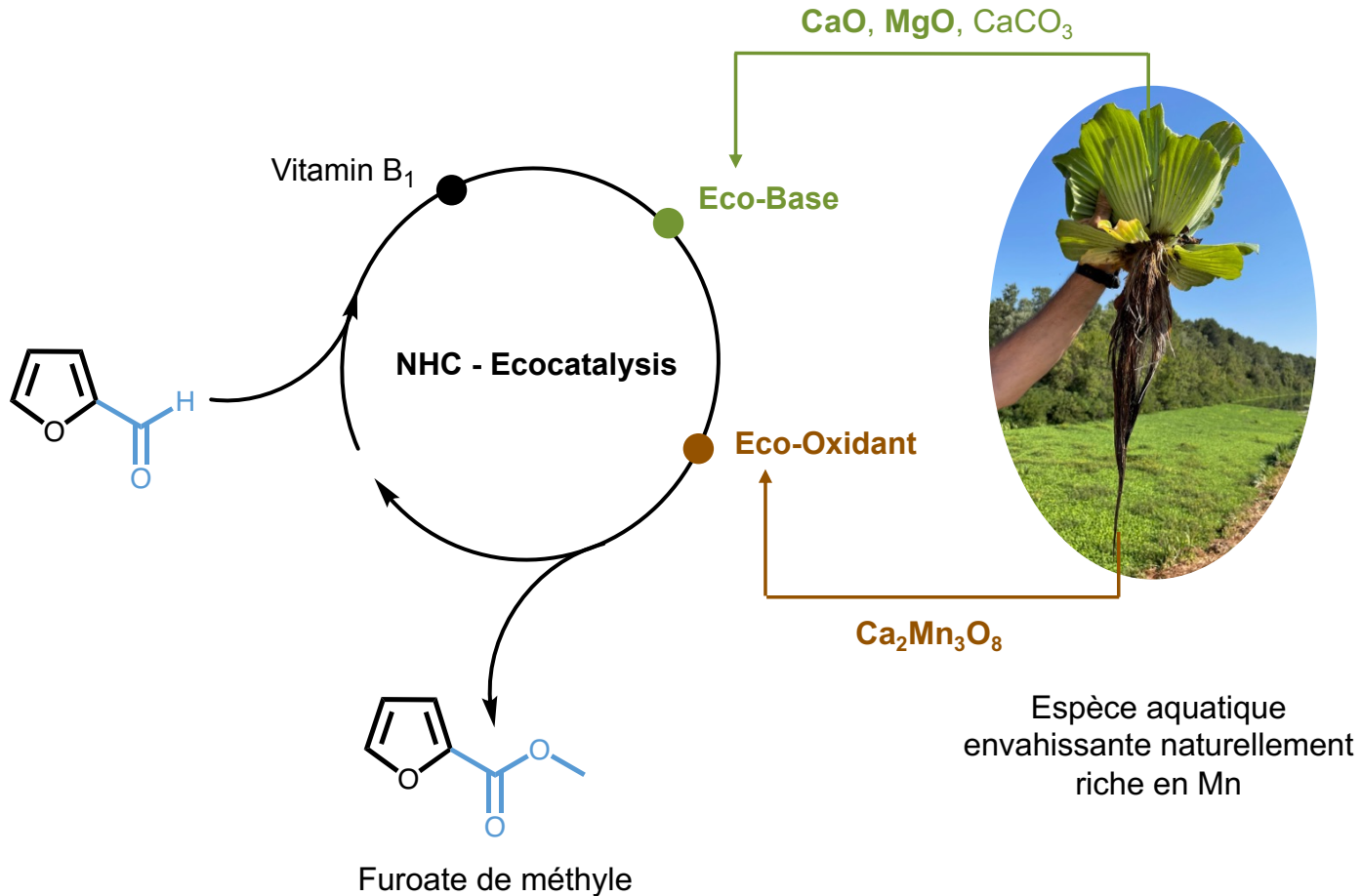


Application à la première synthèse bio-inspirée du cuminaldéhyde





Estérification oxydante écocatalysée

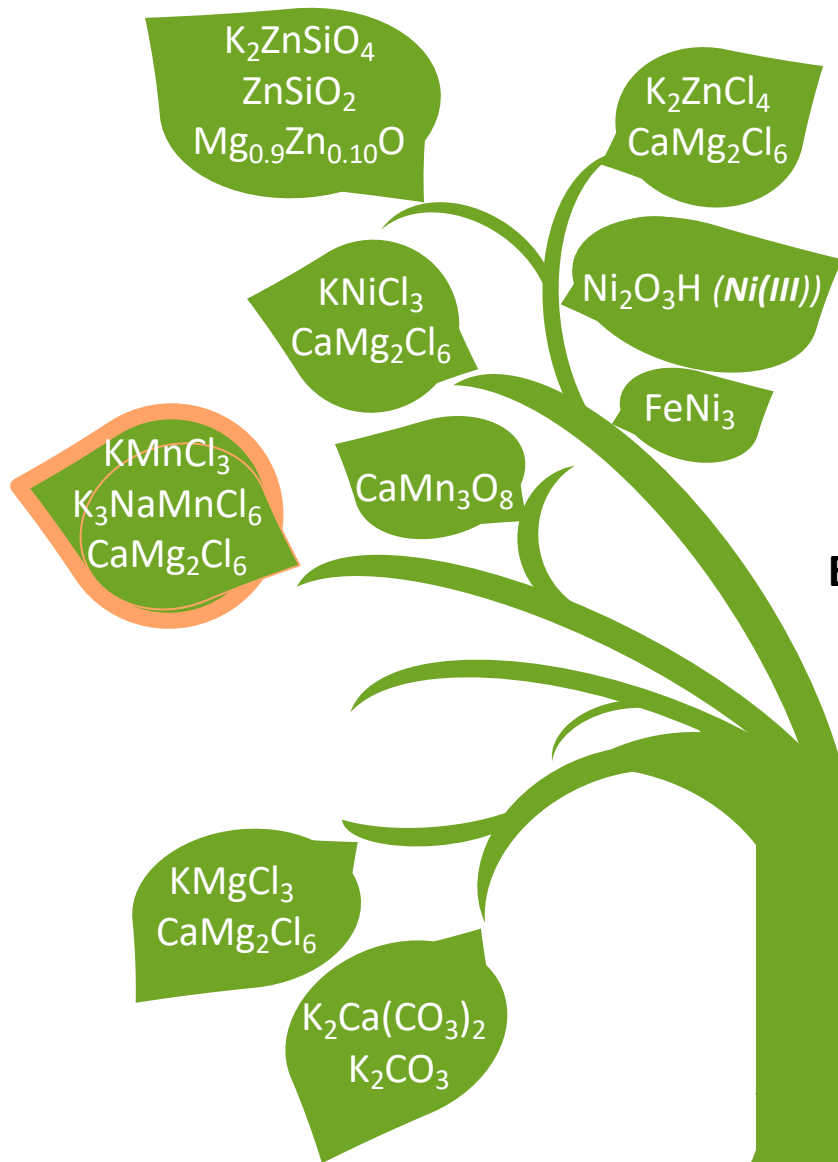


Le procédé biosourcé n'est pas plus onéreux que la voie traditionnelle pétrosourcée

Ecocatalyse : Structure des écocatalyseurs

Plantes terrestres

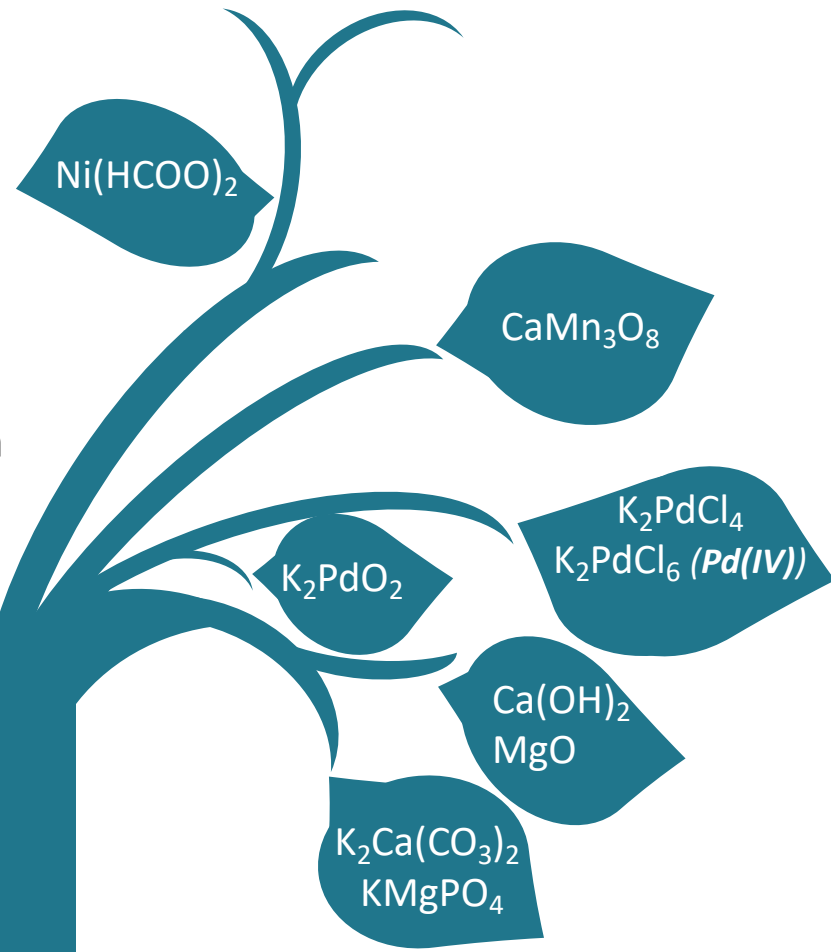
phytoextraction



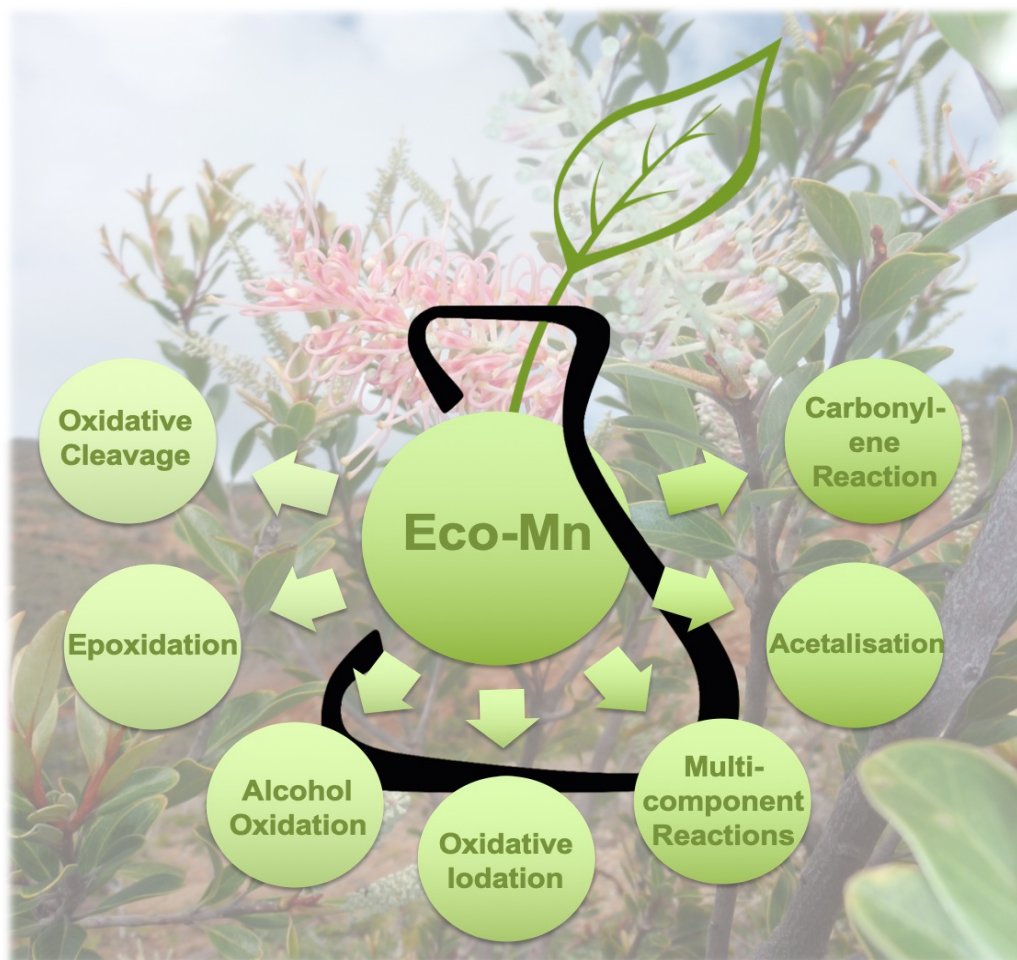
Plantes aquatiques et des zones humides

rhizofiltration / biosorption / gestion des EVEC

Eco-Mn



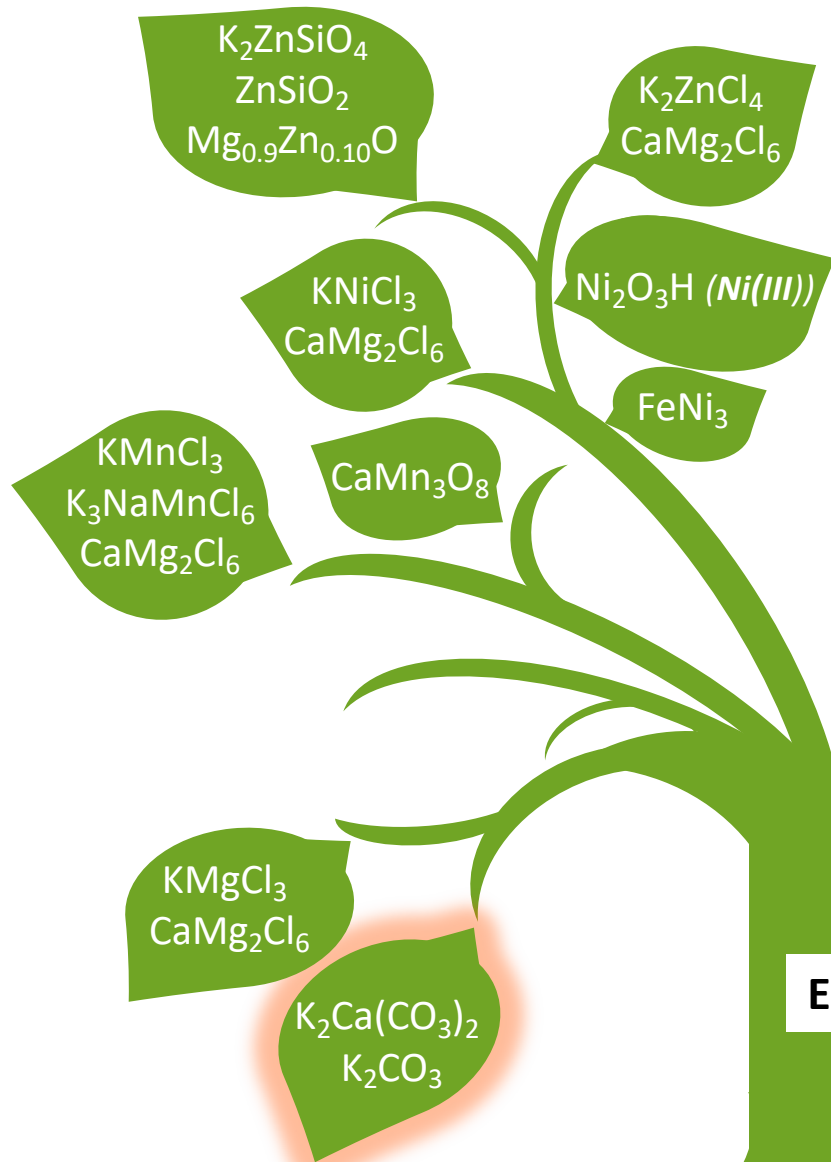
Eco2-Mn acides de Lewis aux propriétés redox



Ecocatalyse : Structure des écocatalyseurs

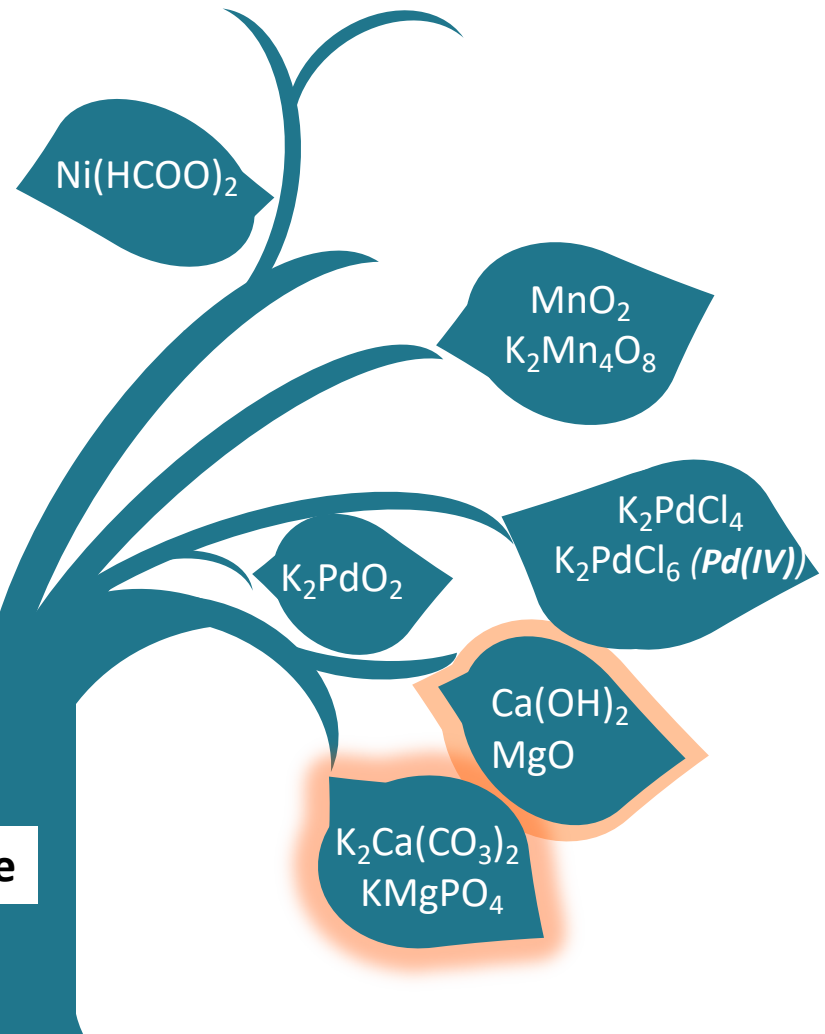
Plantes terrestres

phytoextraction



Plantes aquatiques et des zones humides

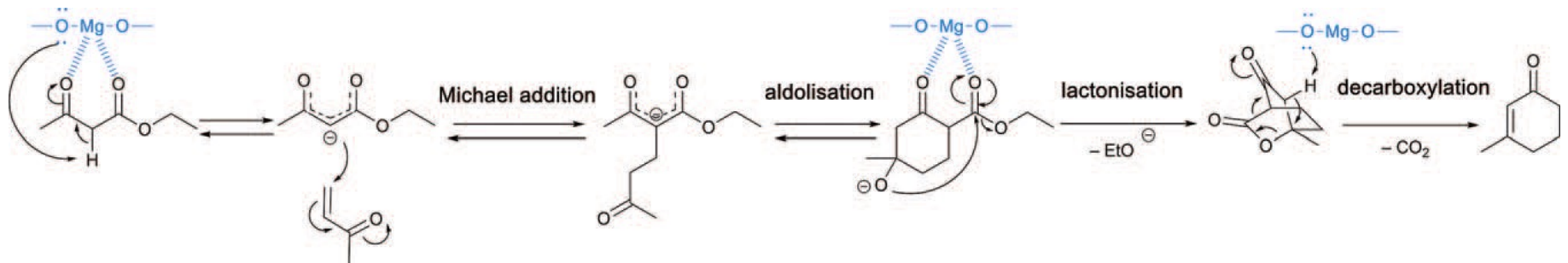
rhizofiltration / biosorption / gestion des EVEC



Eco-bases : des catalyseurs Janus



MP-AES, DRXP, XPS, RMN ^{25}Mg , BET, TEM, DFT

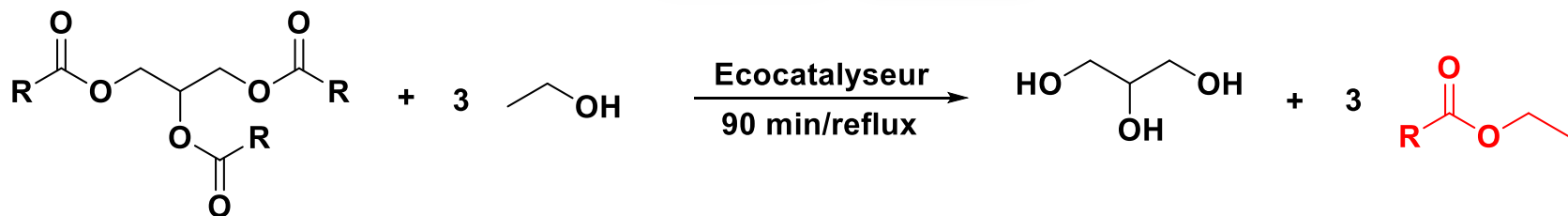
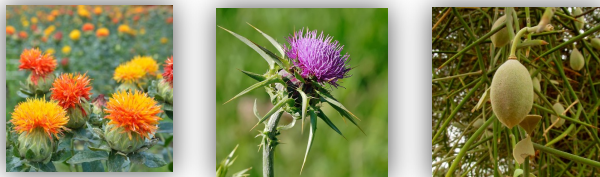


Calculs de 7 indicateurs environnementaux :

un excellent facteur E, une faible consommation d'énergie, un STY correct et des TON et TOF élevés

Synthèse durable d'émollients pour et par la nature

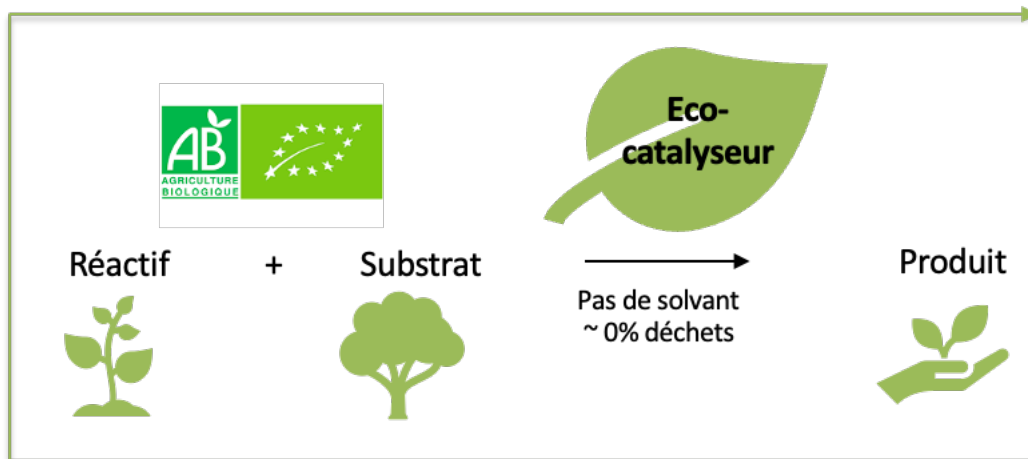
100% végétal (COSMOS, NATRUE)



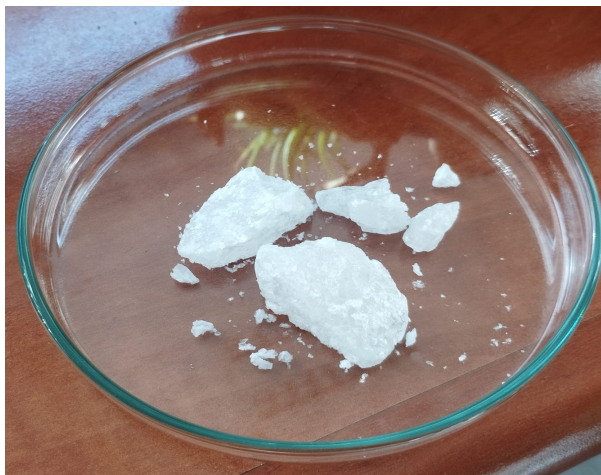
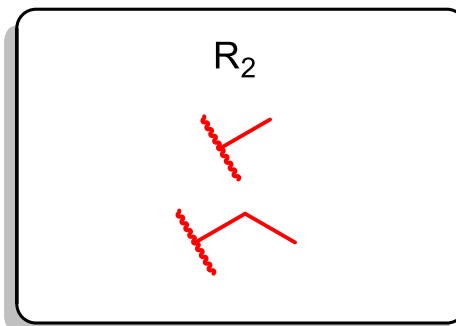
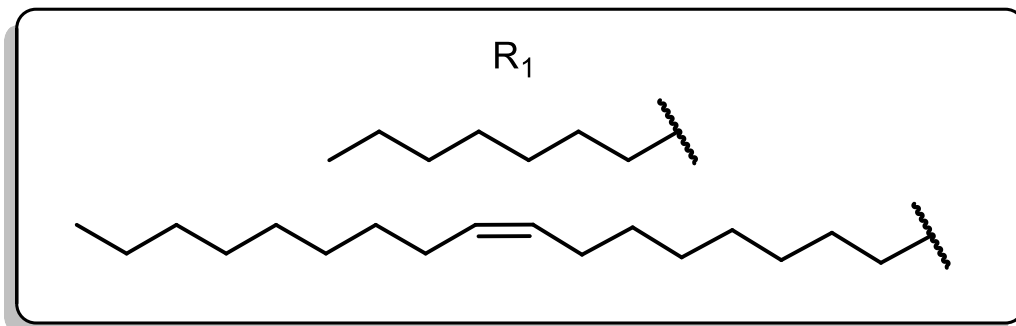
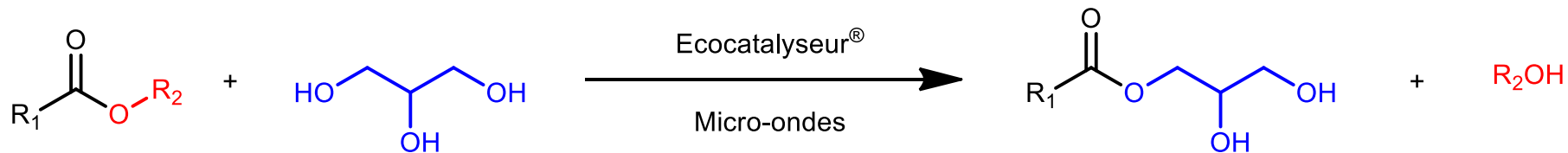
Chaîne linoléique / oléique

➤ Validation à l'échelle industrielle

Une chimie exigeante en matière de naturalité et de durabilité :



Synthèse durable d'émulsifiants pour et par la nature



$m_{\text{produit}} \approx 100 \text{ g}$
Pureté en monoglycérides de 95 %

