

4^{èmes} Rencontres académie-industrie du CNC
Les usines du vivant : Génération et Transformation
de matériaux et de principes actifs.



Micro-organismes : des usines à nanominéraux

A.Cario, S.Marre, M.Tréguer-Delapierre

Institut de Chimie de la Matière Condensée de Bordeaux

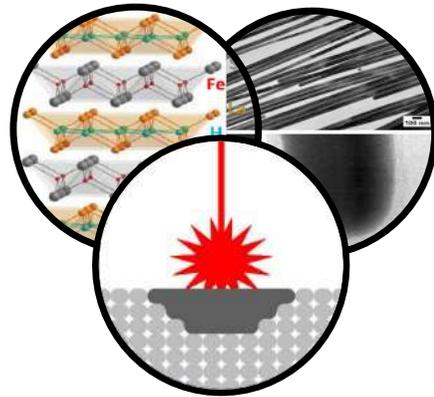
université
de BORDEAUX



ICMCB



Sciences des matériaux
Chimie du solide



7 groupes de recherche / 12 services collectifs

1. Chimie & electrocéramiques
2. Energie: matériaux & batterie
3. Chimie & photonique
4. Composés intermétalliques
5. **Chimie des nanomatériaux**
6. Molécules & matériaux photo-commutables
7. **Fluides supercritiques**

université
de BORDEAUX

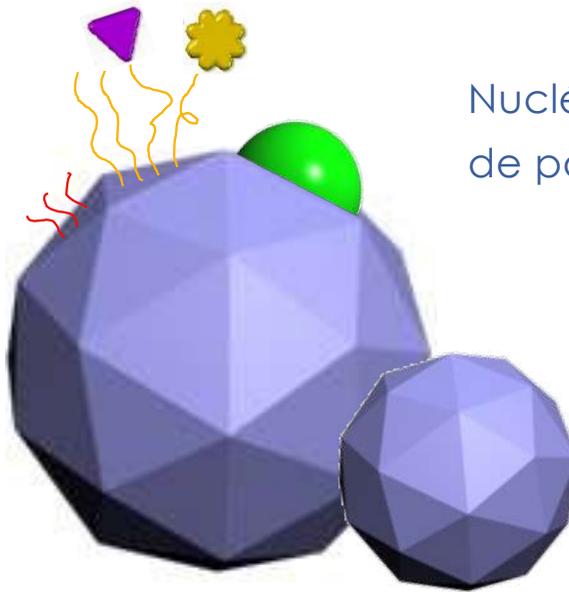


BORDEAUX
INP

Activités de recherche de l'équipe 'Chimie des nanomatériaux'

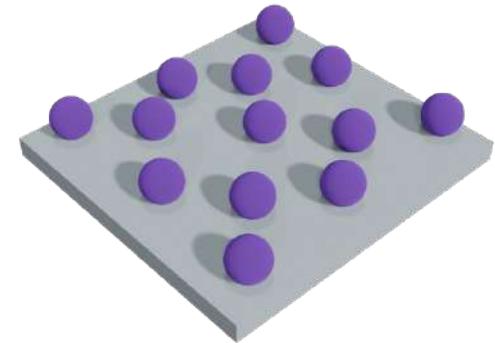
Fonctionnalisation
moléculaire en film
continu ou en
patches

Sélectivité des plans
cristallographiques /
contrôle de la forme

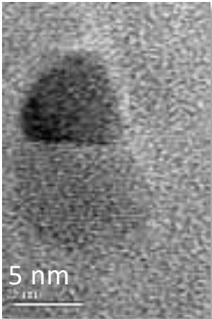
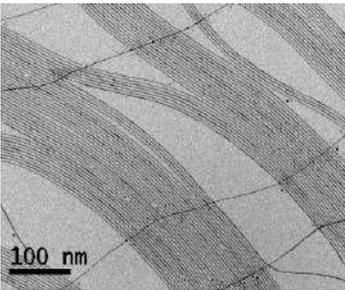
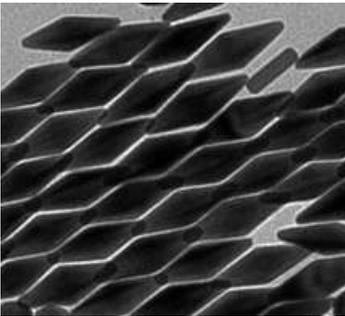
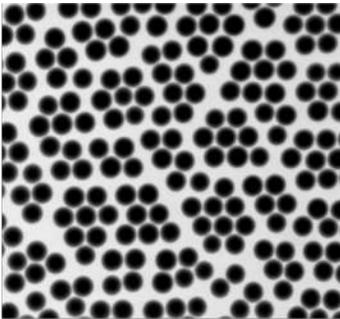


Nucléation et croissance
de particules (in)organiques

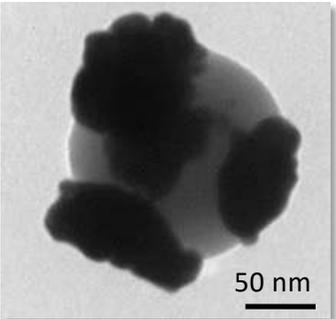
Assemblage par interactions contrôlées
en clusters discrets ou réseaux étendus



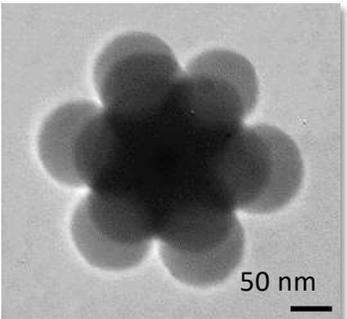
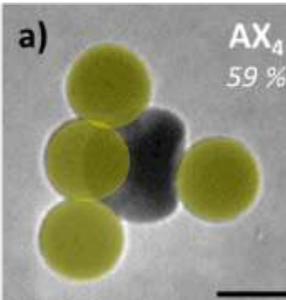
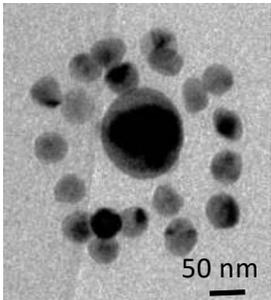
Quelques exemples



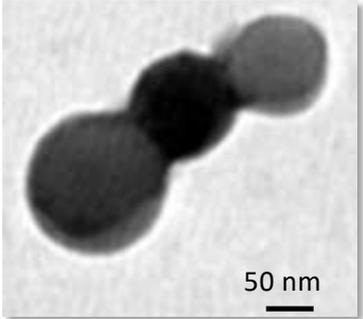
Ag/CdS



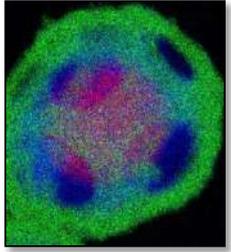
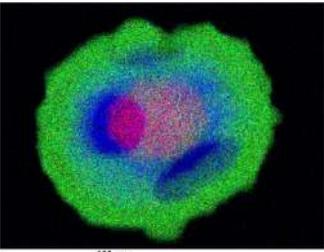
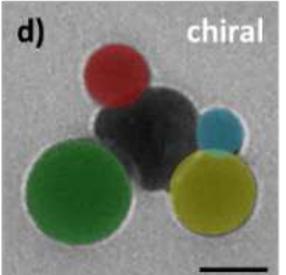
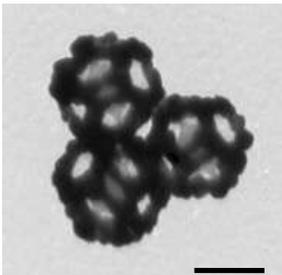
Au/SiO₂



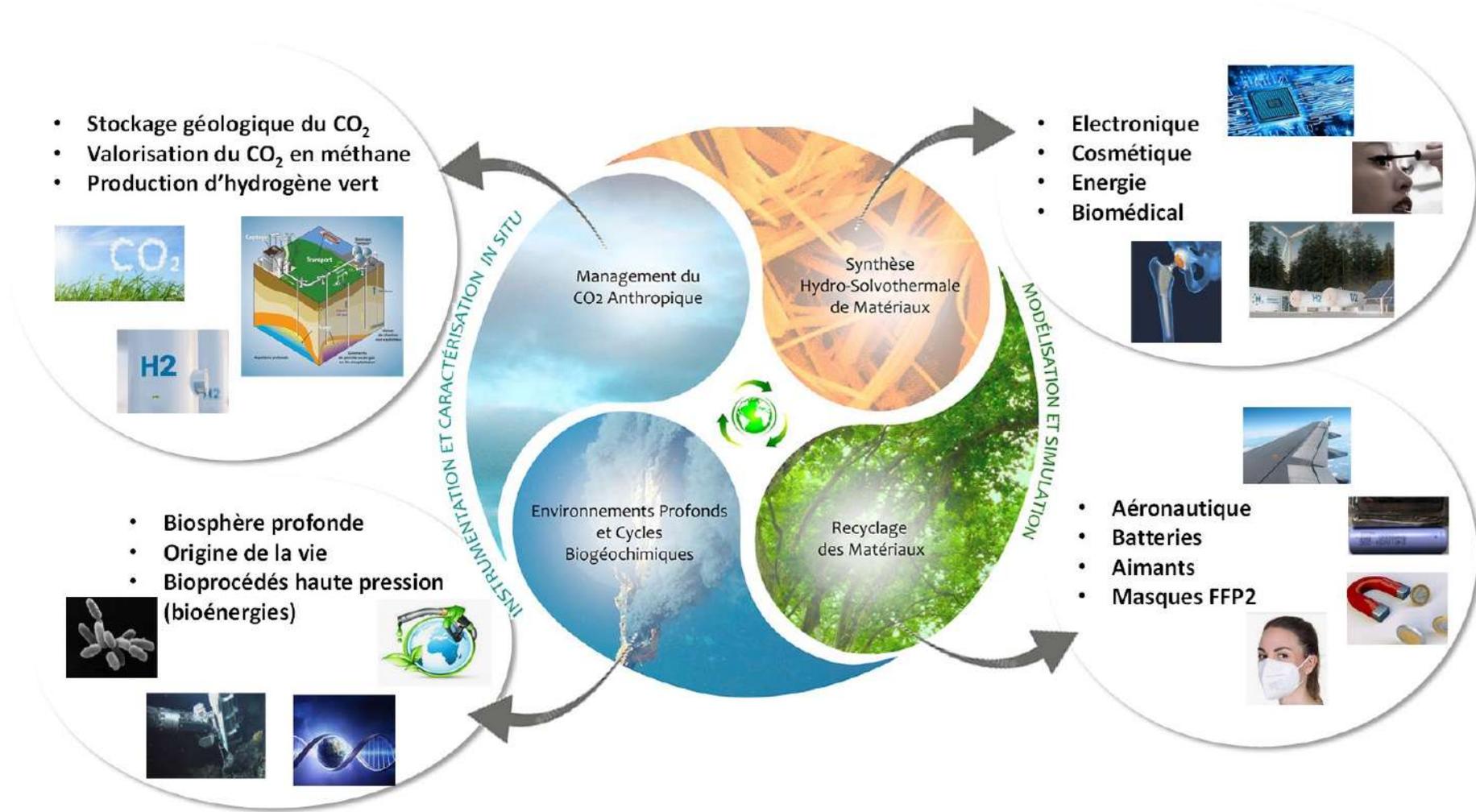
SiO₂/PS



PMMA/SiO₂/PS

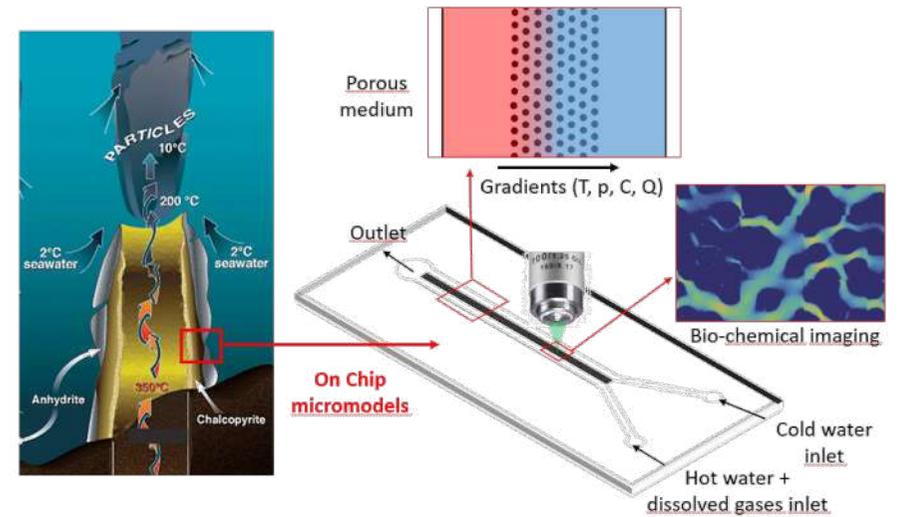
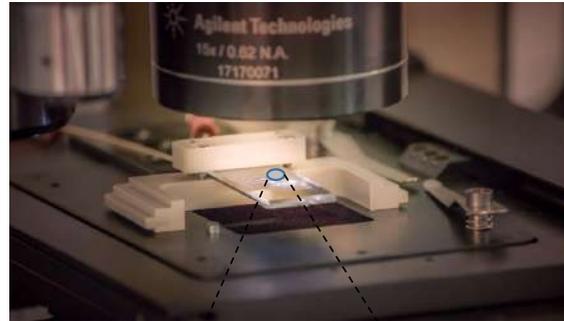
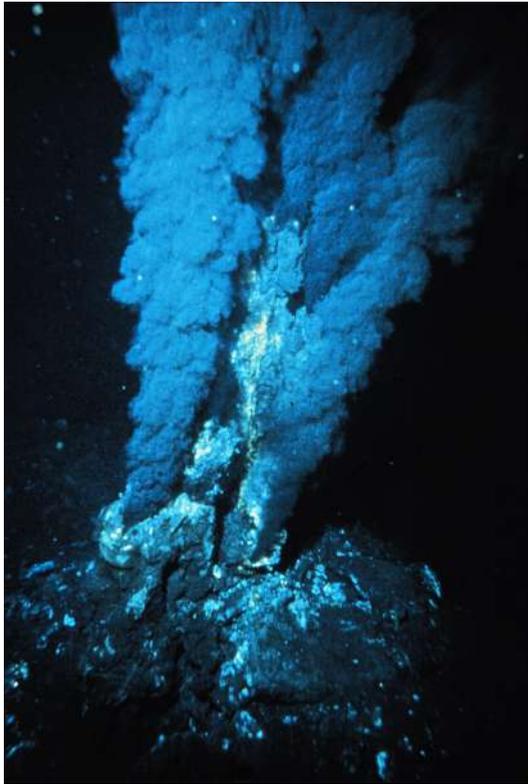


Activités de recherche de l'équipe 'Fluides supercritiques'



Etudes des mécanismes thermo-hydro-bio-chimiques dans les milieux fluides réactifs sous P et en T

Etude *in situ* en conditions extrêmes



Les systèmes extrémophiles permettent-ils de développer des **bioprocédés innovants** ?

Peut-on bénéficier des apports de la **thermodynamique HP/HT** dans les bioprocédés ?

Bioproduction de nanoparticules

Plante, feuille,
racine, tige

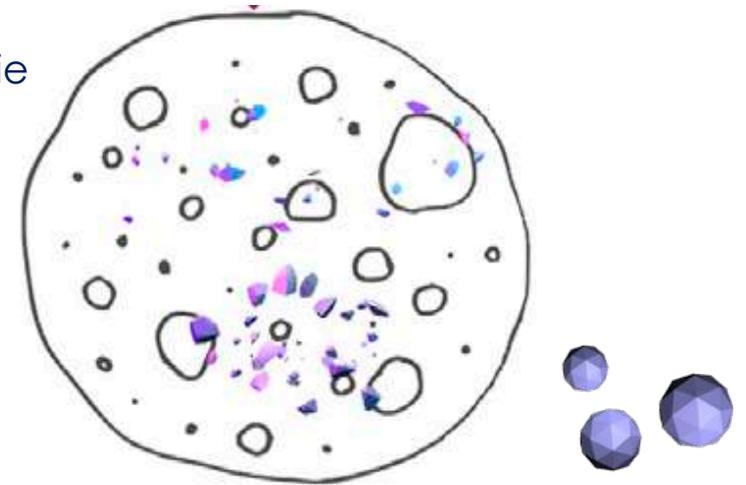


Algue
Levure marine

Champignon

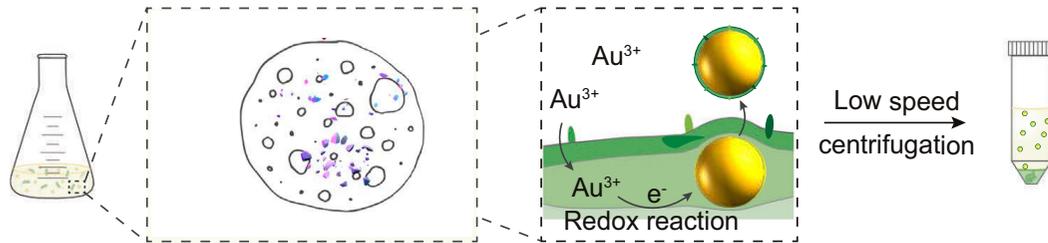


Bactérie



Production intra- ou extra-cellulaire

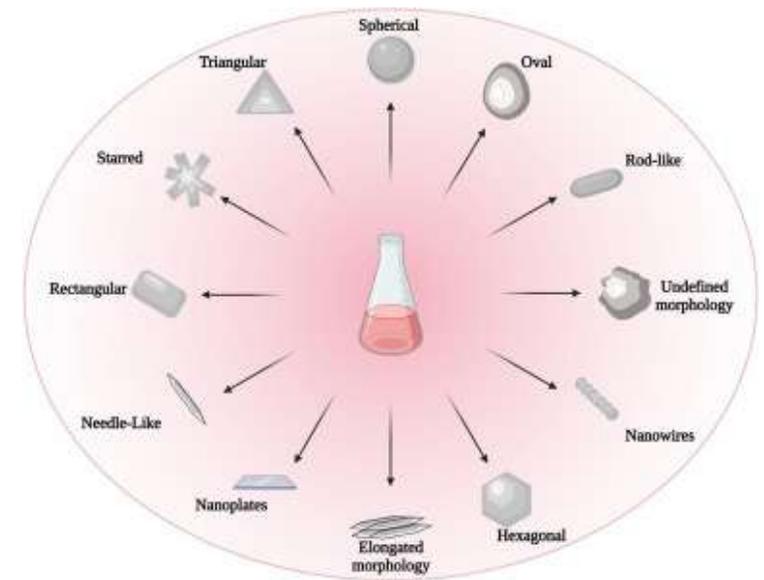
Défis pour les chimistes



Synthèse bio-contrôlée de nanoparticules

Contrôle impératif de l'état de surface

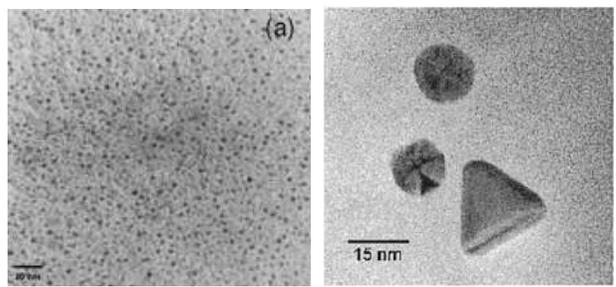
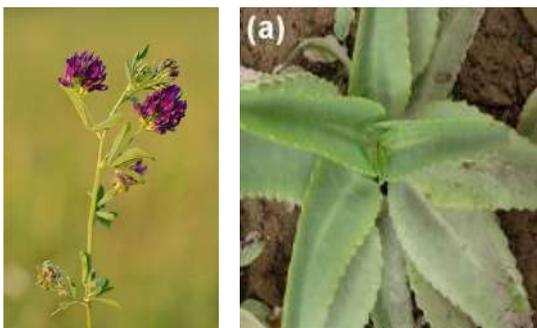
Compréhension du mécanisme de bioproduction



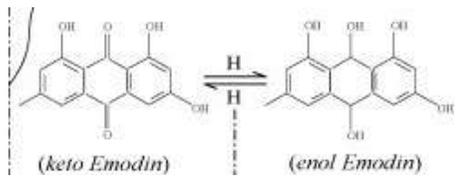
Plantes, racines, tiges



Aloe vera, feuille de thé, hibiscus, citron, romarin...



Acide organique, quinone, Alcaloïde, steroïde, flavonoïde, tanin...



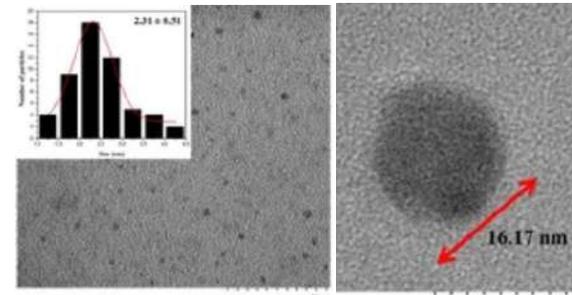
Bactérie, champignons



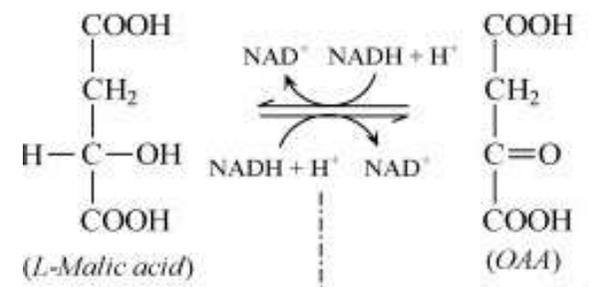
E.Coli, Acide lactique, staphylocoque aureus...



150 mg NPs/jour



Enzymes
NADPH, glycerol kinase, Oxydase cholestérol

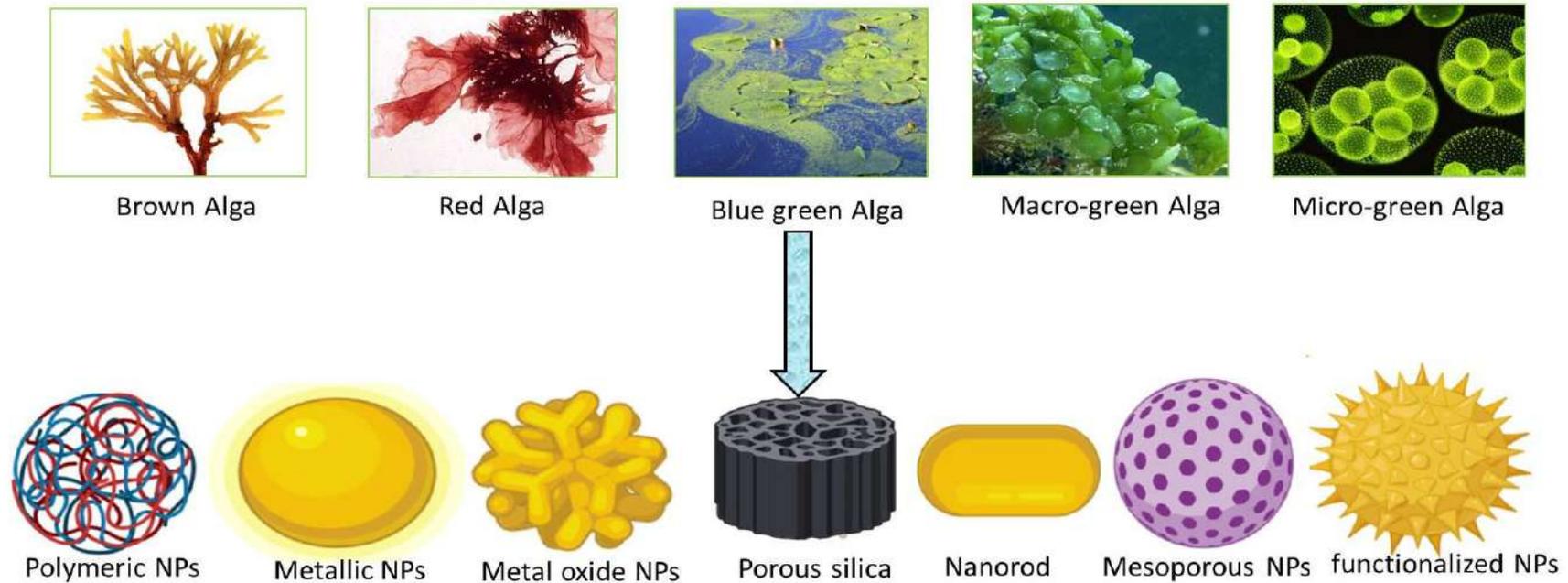


Algues

Source de matière première bio-renouvelable

Capacité exceptionnelle à accumuler les ions métalliques

Riche en métabolites secondaires (polysaccharides, protéines, peptides, pigments...)



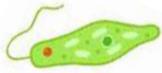
Compréhension du mécanisme de formation de NPs ?

Système modèle: *algae Euglena Gracilis*

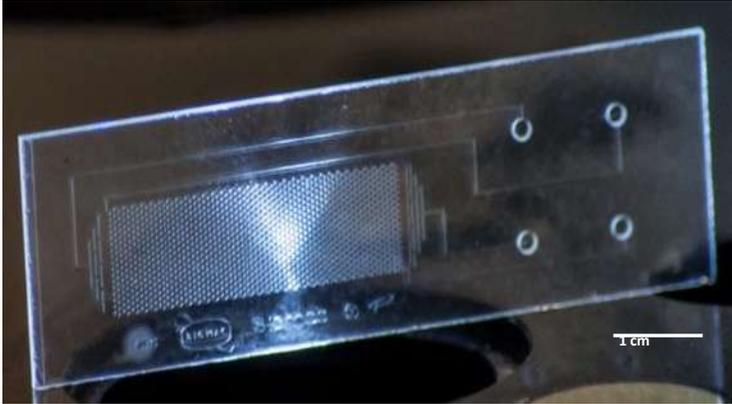


Cliché R.Brayner

T & P ambiante

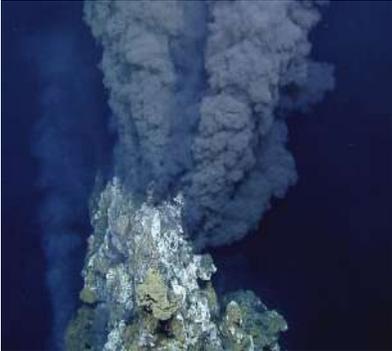


Etude de bioproduction
ex situ et in situ



Puce microfluidique
TEM en phase liquide

Système extrêmophile



T & P élevées

Puce microfluidique

Design idéal ?



Pyrex-Silicium

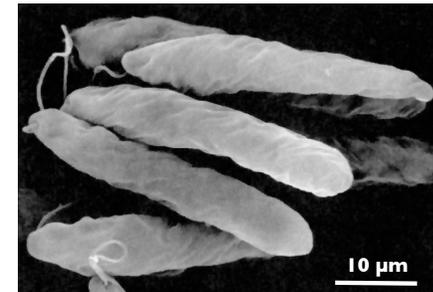
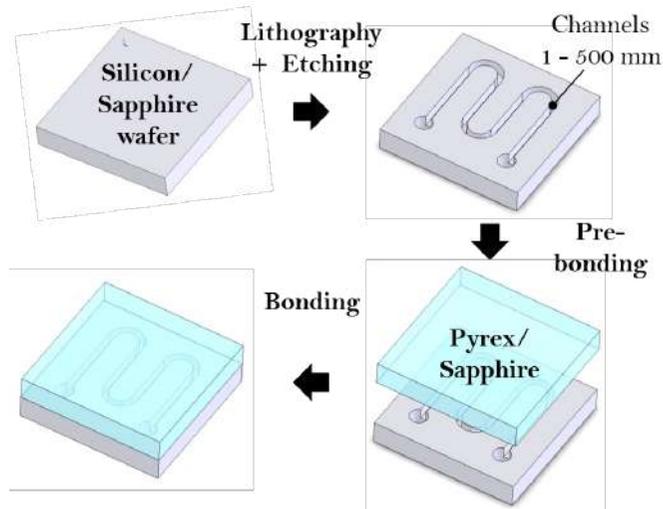
3 entrées (sel, algues et air) + 1 sortie

10 piscines (accueil des algues)

Profondeur = 25 μm

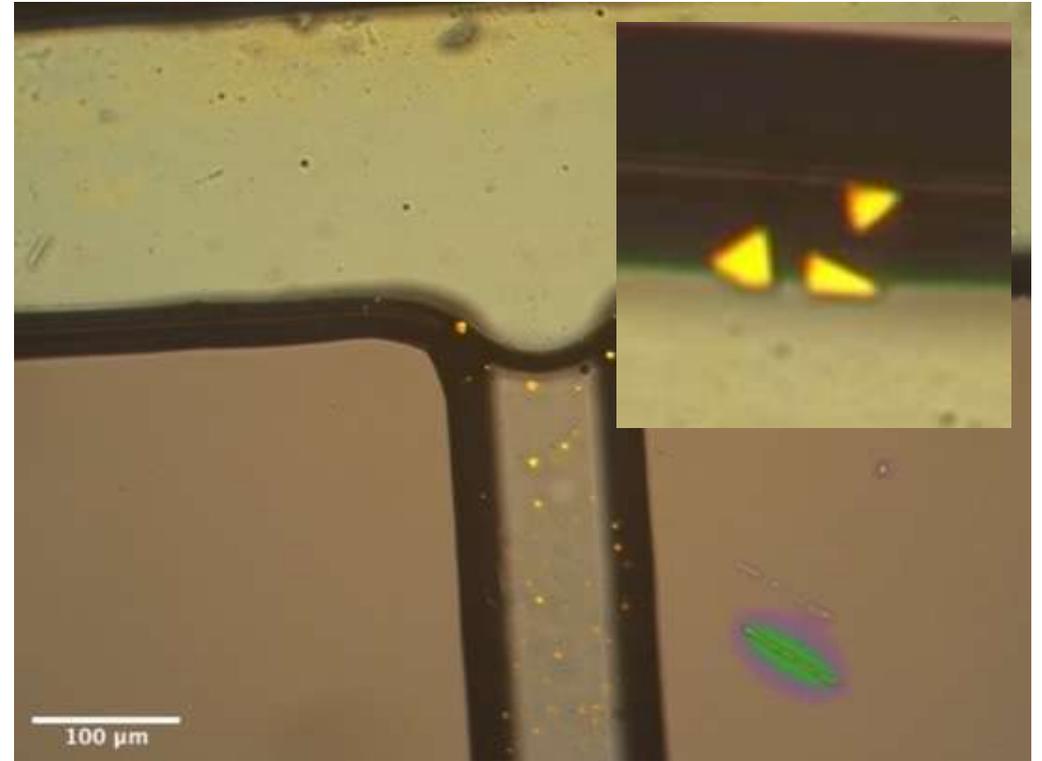
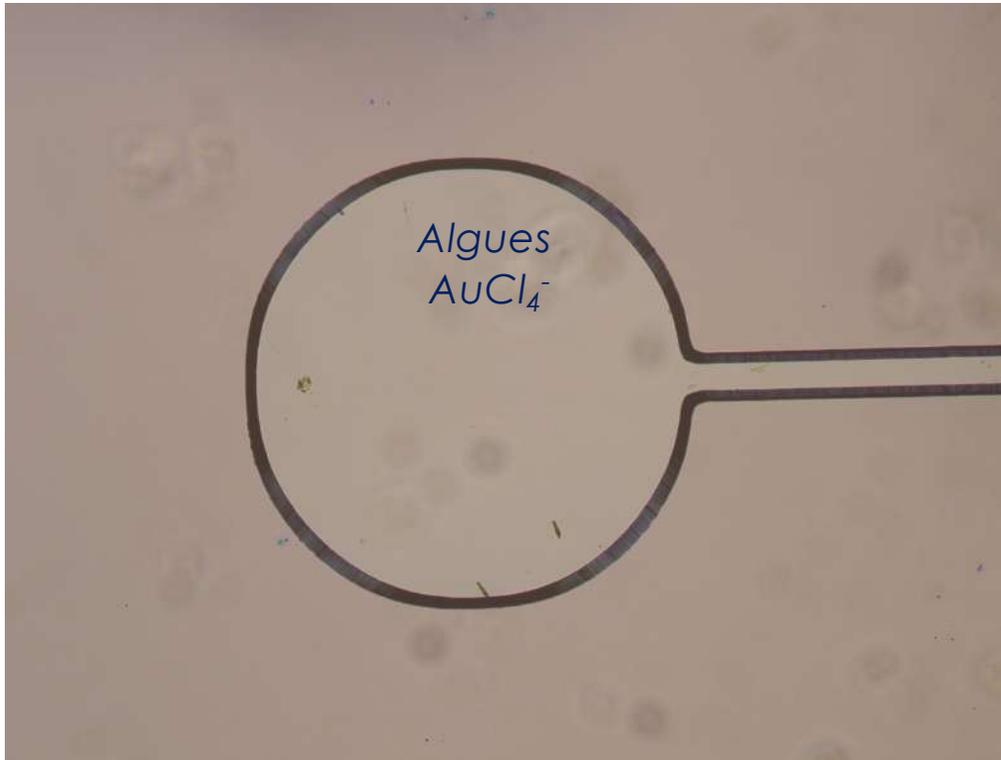
Analyse *in situ* par microscope optique

Fabrication multi-étapes



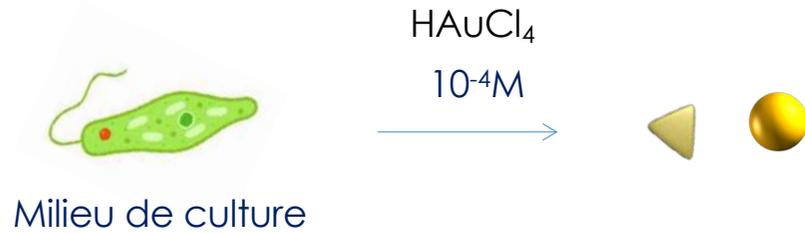
Euglena Gracilis

Analyse *in situ* par microscopie optique



Nanoparticules Au_n sphériques et triangulaires éjectés dans le milieu de culture

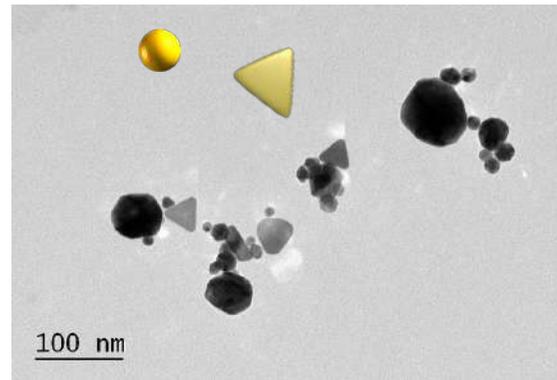
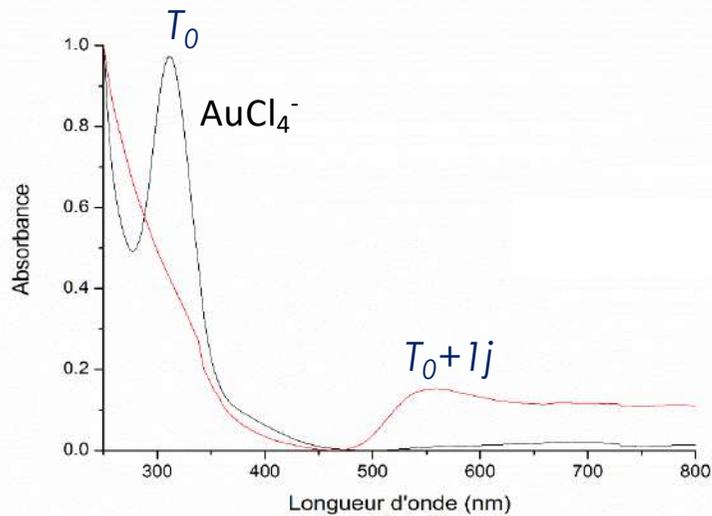
Analyse *ex situ* par microscopie électronique



Contrôle

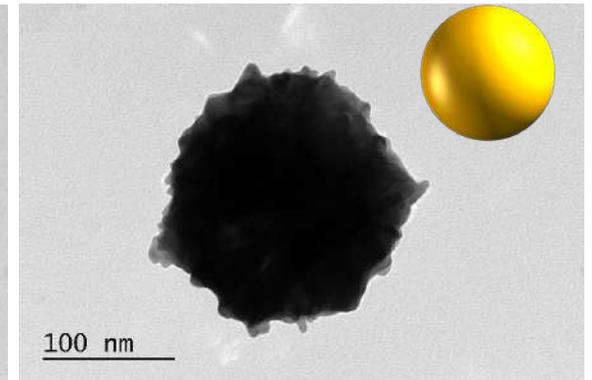
AuCl_4^- / milieu culture
algue

AuCl_4^- / milieu culture
algue



In vivo

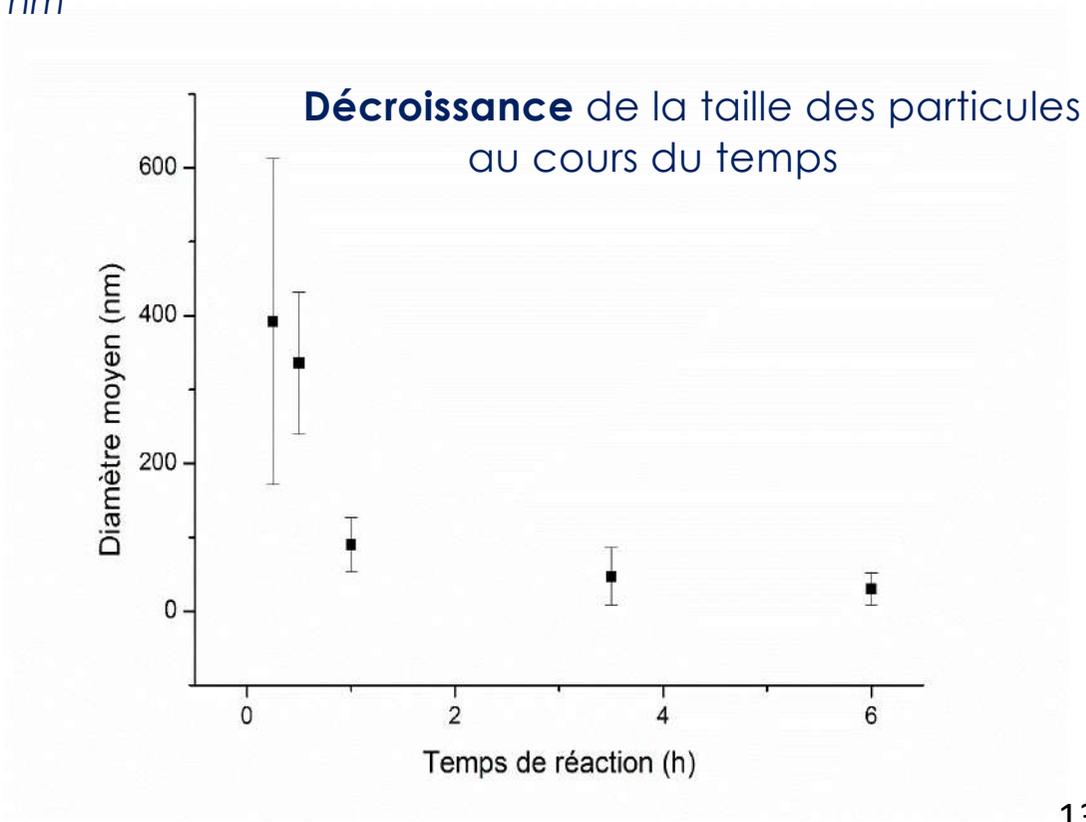
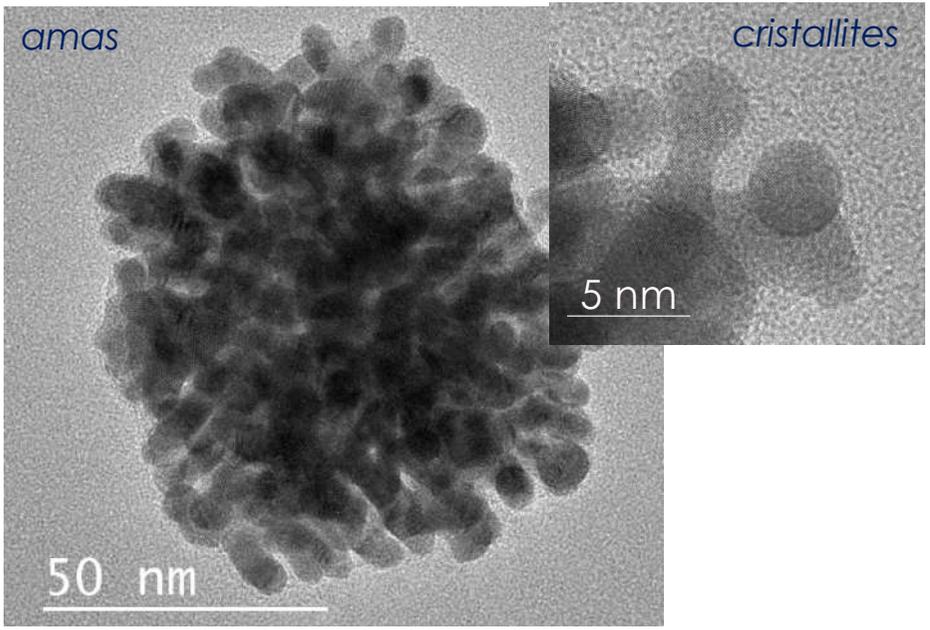
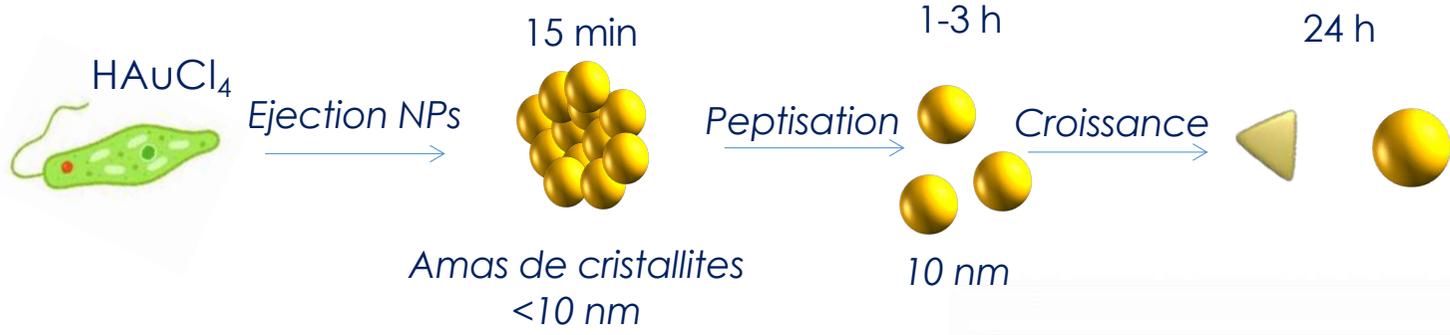
NPs triangulaires / sphères
10-80 nm
en quelques h



In vitro

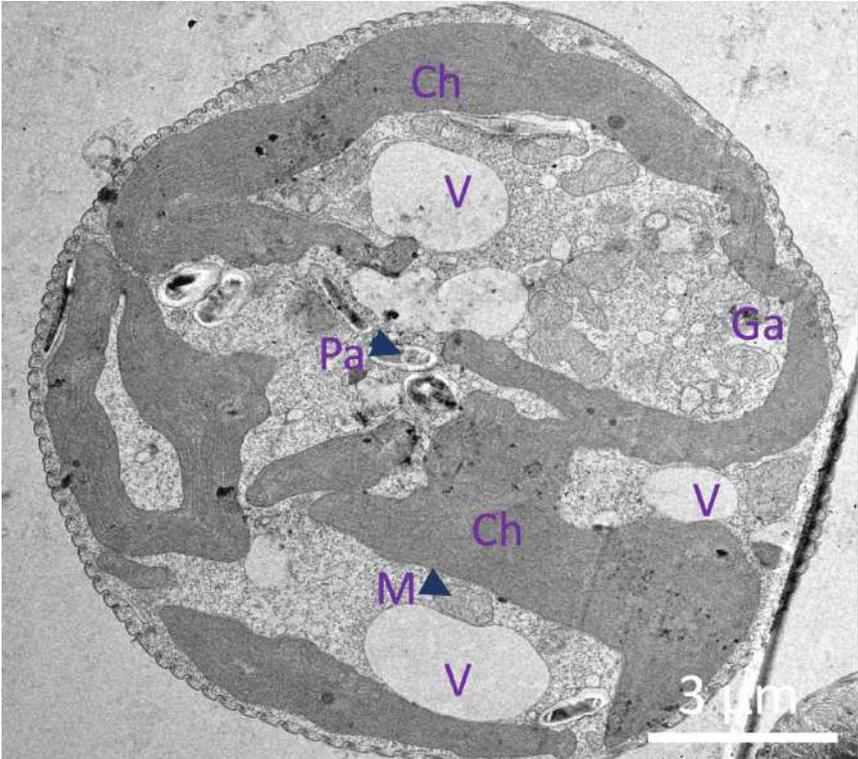
NPs sphéroïdales
200 nm
en plusieurs jours

Etude cinétique (*ex situ*)

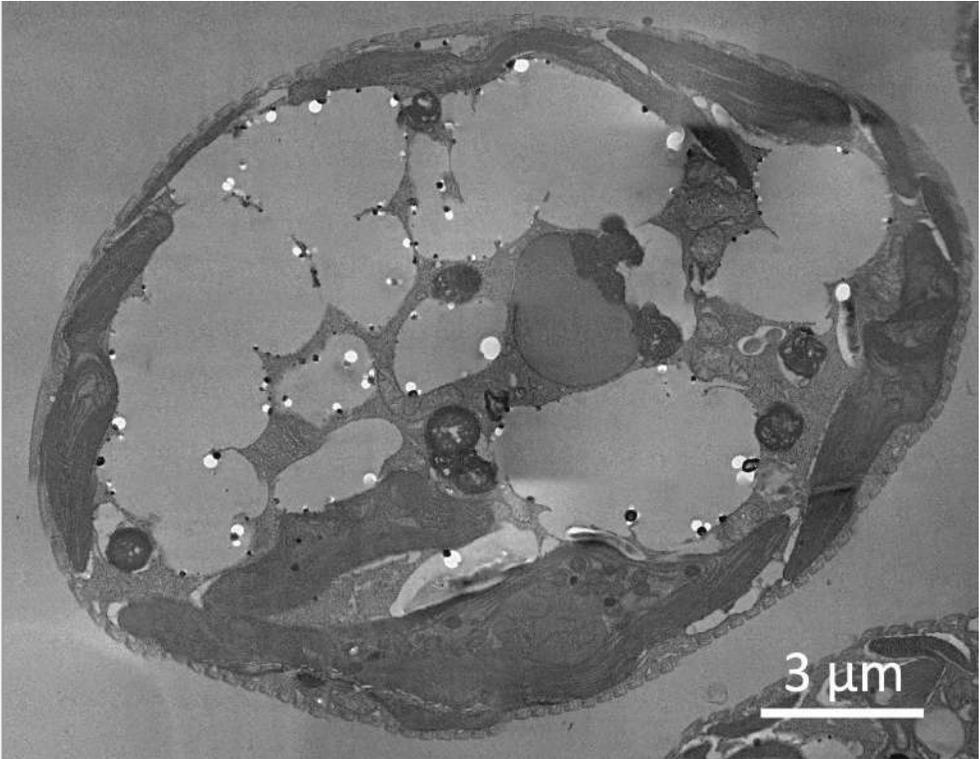


Coupe fine des algues

Sans $AuCl_4^-$



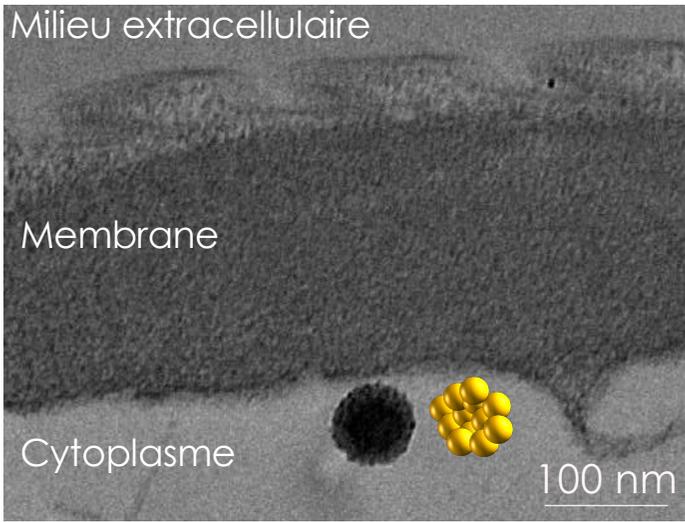
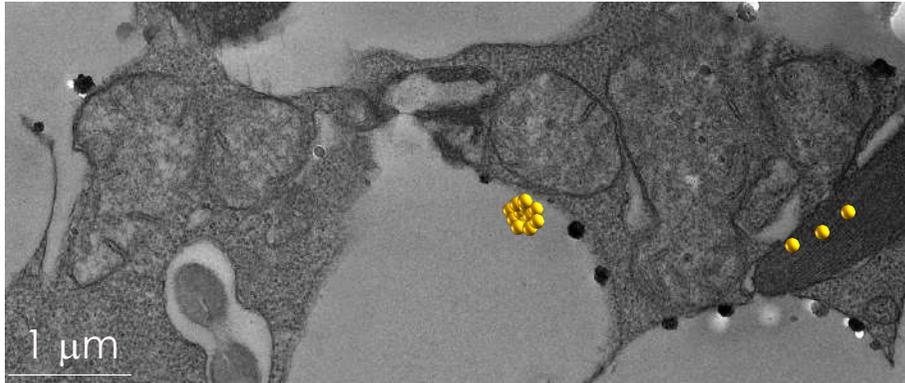
Avec $AuCl_4^-$ (qq sec)



V : vacuoles, N : nucleus, Ch : chloroplast, Pa : paramylon,
M : mitochondria, Ga : Golgi apparatus
Echantillon après fixation avec OsO_4 , $UO_2(CH_3COO)_2$, $Pb(NO_3)_2$
(coll. CBMN – Equipe O.Lambert)

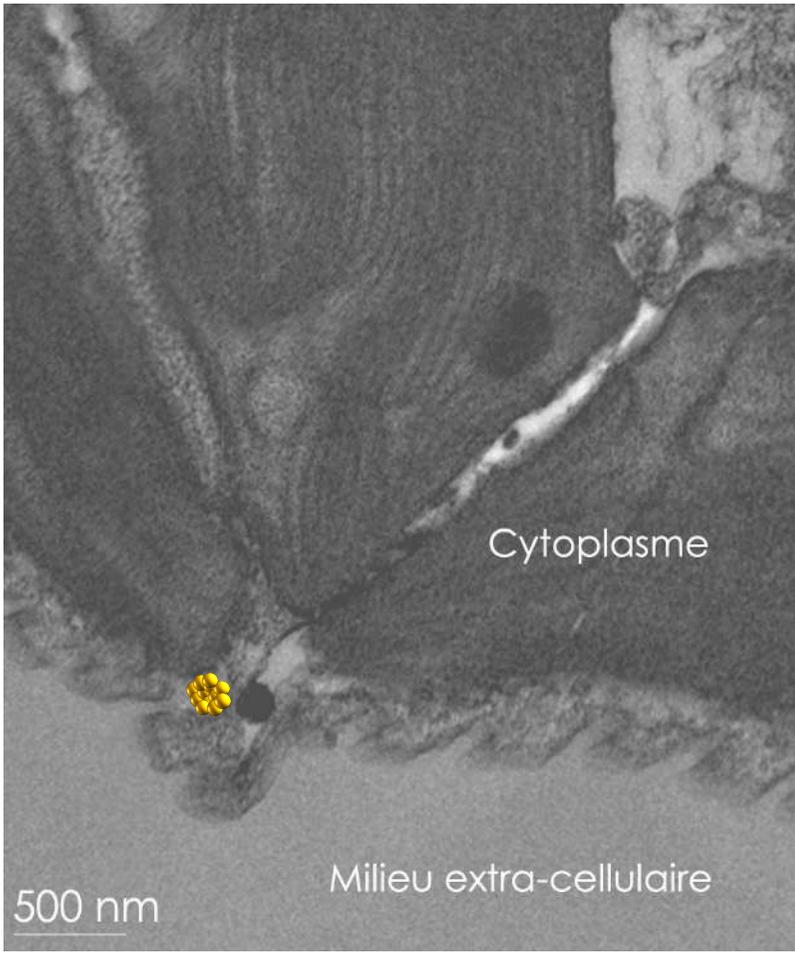
Modification de taille des vacuoles
Synthèse des NPs Au_n
à l'intérieur des cellules

Nanoparticules à l'intérieur de la cellule



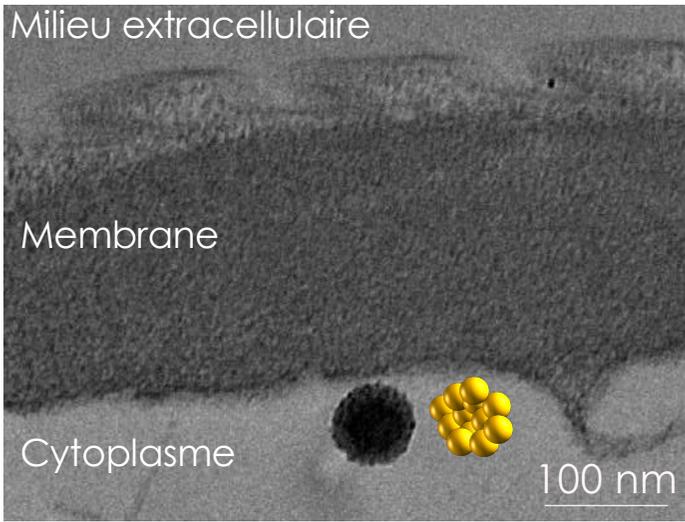
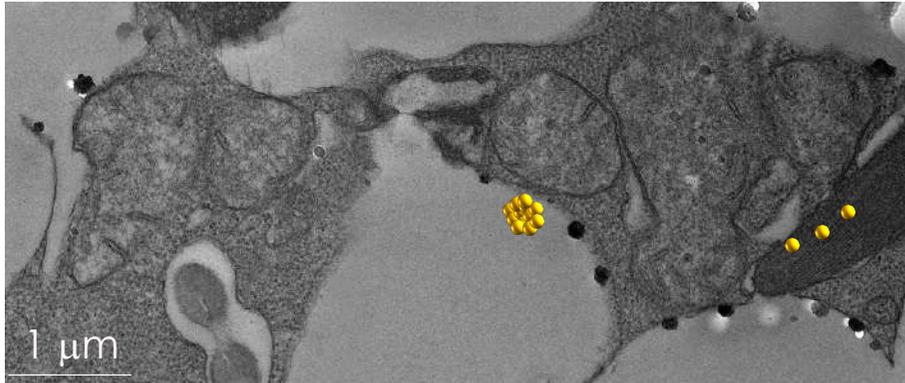
Production Intra-cellulaire

5 μm

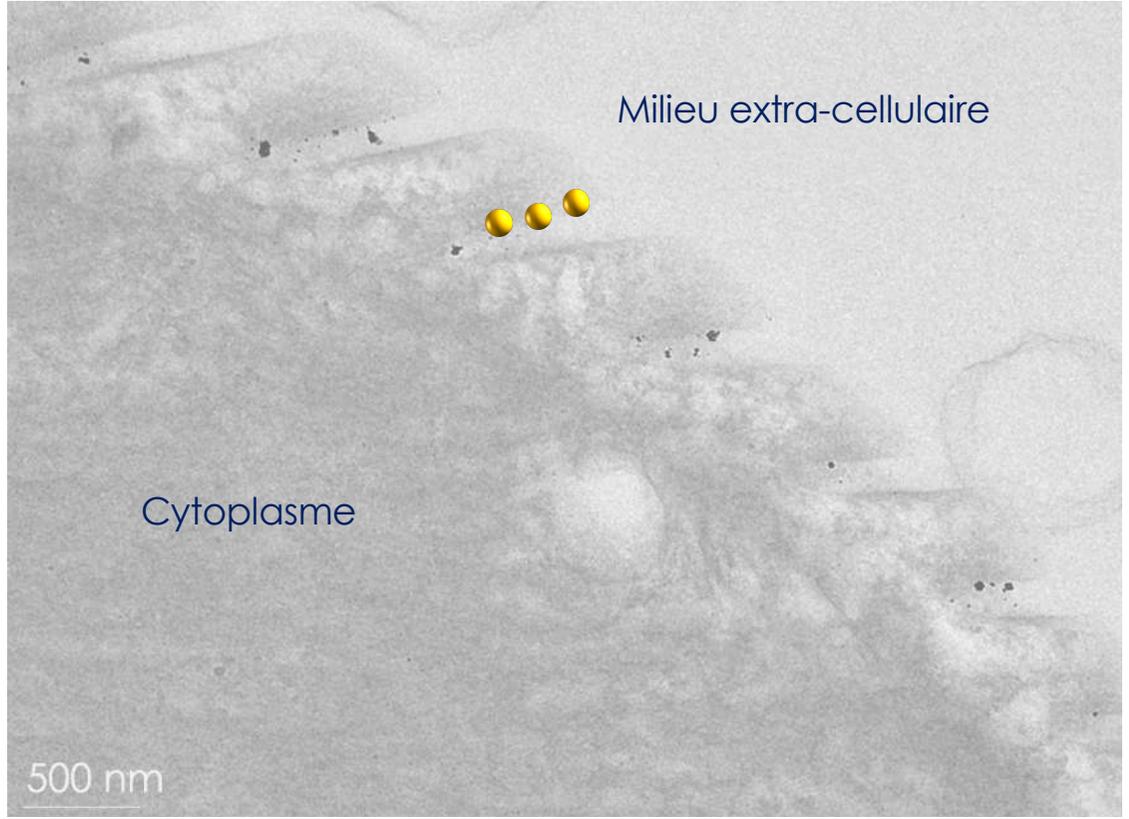


Ejection d'un amas

Nanoparticules à l'intérieur de la cellule



Production Intra-cellulaire



Production extra-cellulaire

Suivi dynamique *en temps réel* par TEM



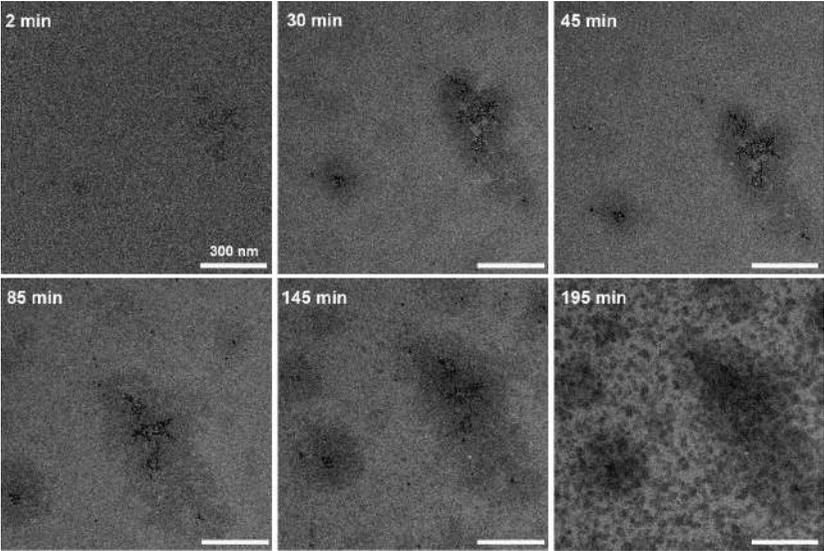
Le liquide est 'emprisonné' dans la cellule du porte-objet



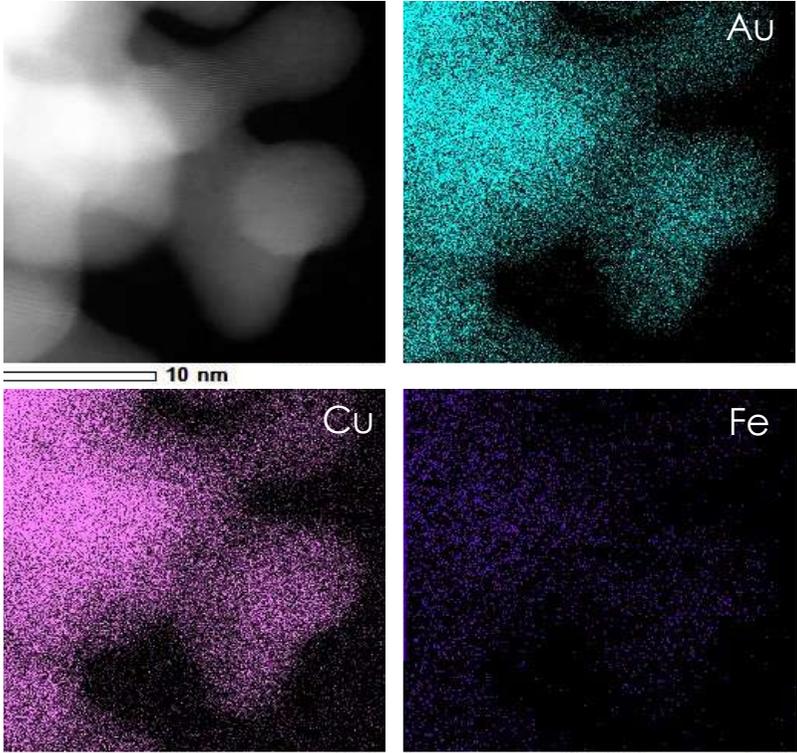
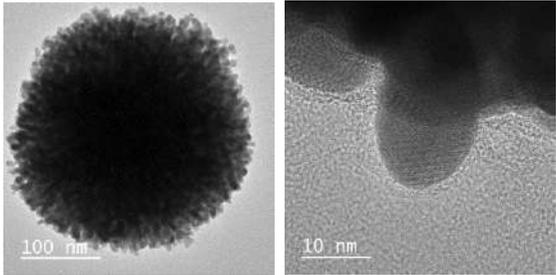
*Schéma de la tête du porte-objet -analyses in situ-
(coll. IPCMS – Equipe O.Ersen)*

Liquide = Algues + milieu de culture + AuCl_4^-

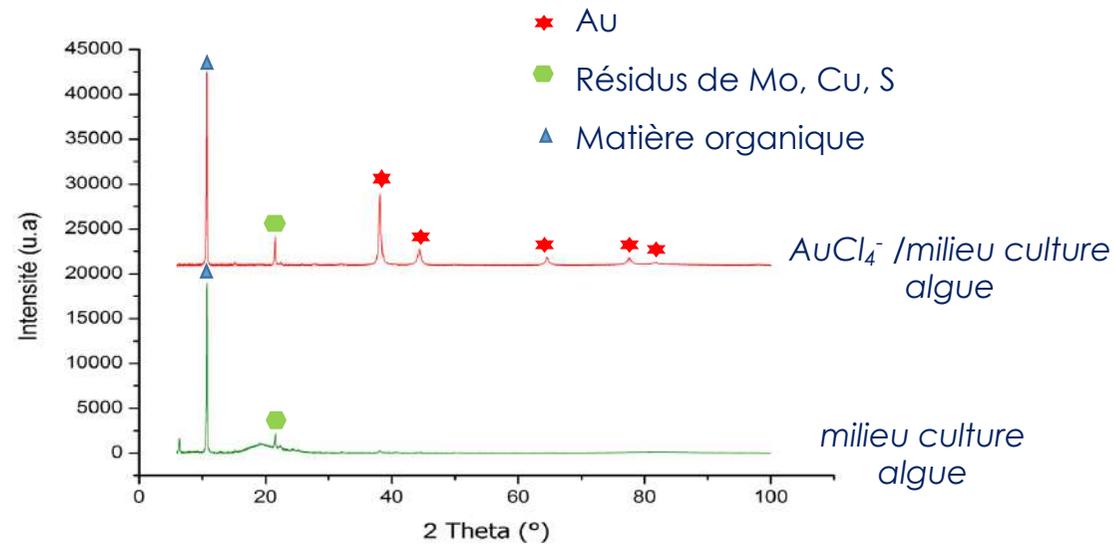
TEM en phase liquide



Analyse en accord avec les observations *ex situ*



Composition des nanoparticules



Nanoparticules composites
riches en Au_n
traces de Cu, Fe...

Mécanisme de bioproduction des NPs d'or

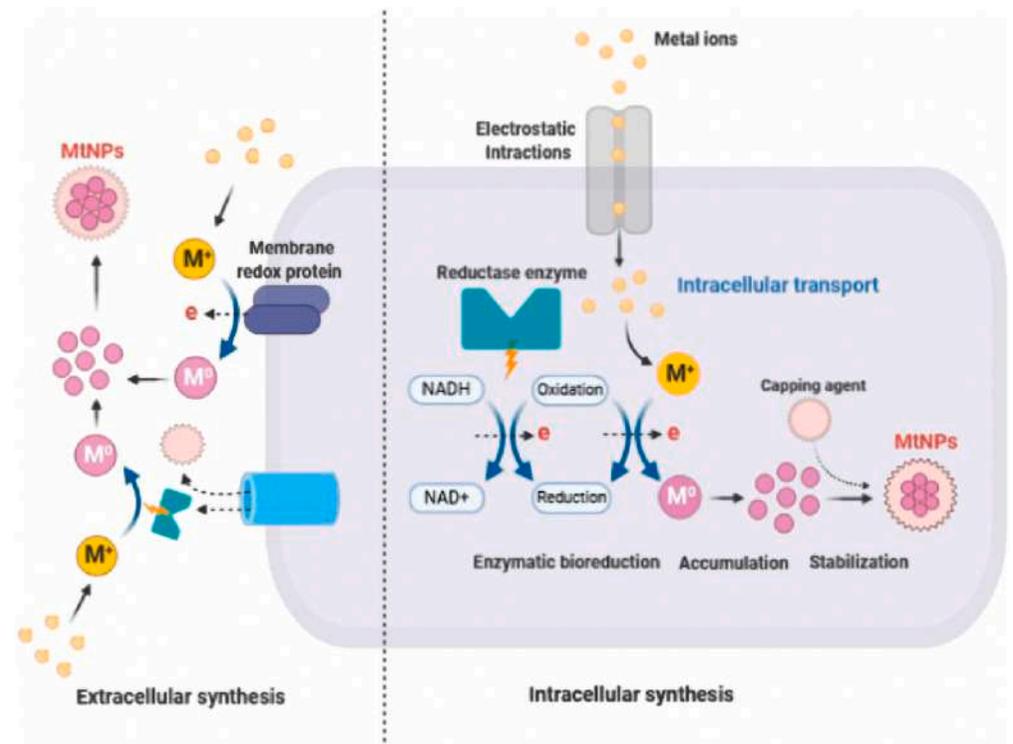
Processus rapide de nanoparticules mono-/multi-métalliques

Production intra- ou extracellulaire

Récupération dans le milieu de culture

Réactivité du milieu de culture réduite

Réutilisation possible des micro-algues comme bioréacteurs recyclables



Conclusion

Encore aux balbutiements

Beaucoup de verrous identifiés restent à lever

Beaucoup de verrous restent à identifier

Problématique au cœur des nanosciences et de la chimie 'verte'

Remerciements

C.Sanchez

CNRS Chimie

Nos étudiants et nos collaborateurs :

Equipe O.Lambert (CBMN)

Equipe O.Ersen (IPCMS)

