



PIREN
Seine

ZA Zones
Ateliers
LE SEIN PRODIGE SEINE

Colloque 2022 du PIREN-Seine – 6 & 7 octobre

Impact des biofilms microbiens sur le devenir des polluants en Seine

A. Gélabert, T. Berthe, G. Morin, Y. Colin, A. Huguet, E. Guigon, P. Le Pape, P. Labadie, C. Da Costa, V. Rollot, M. Rambeau, F. Baratelli, B. Janvier, F. Petit.

BIOFILMS

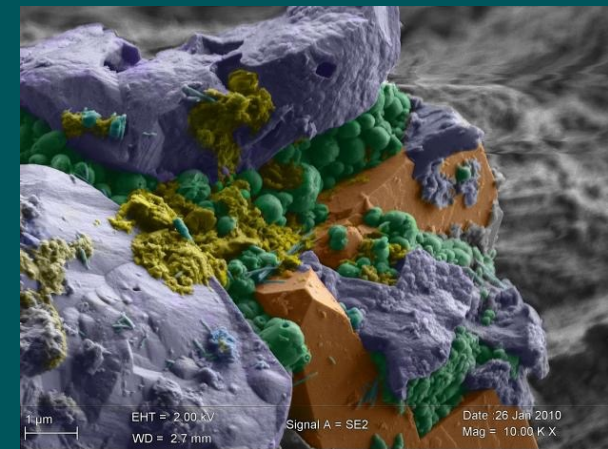
- **Organisation majoritaire microorganismes (~80%)** (Flemming et al., 2020)
- Colonisent surfaces : roches, solides immergés, dents
- Se développent dans TOUS les milieux



Cunningham et al., Biofilms: the hypertextbook



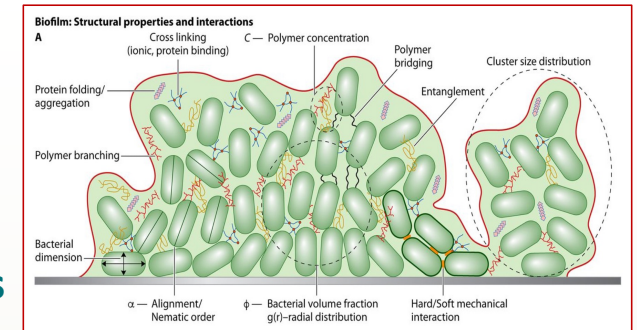
Journal of Bacteriology, Volume 189, Nov. 2015,



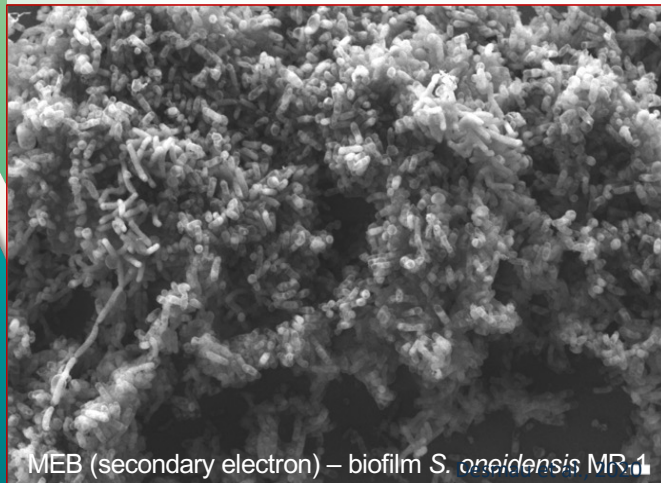
Menez et al., Nature Géosciences, 2012

BIOFILMS - STRUCTURE

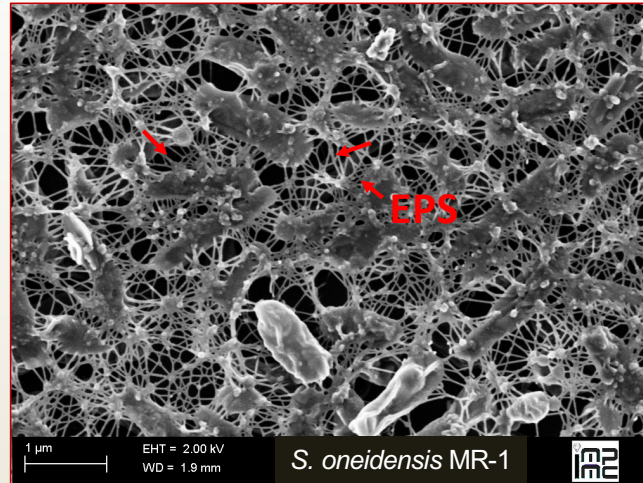
- Consortium de microorganismes encapsulés dans une matrice d'exopolymères (EPS, polysaccharides, protéines)
- Milieu poreux
- Structure complexe = gel, avec transport & perméabilité limités



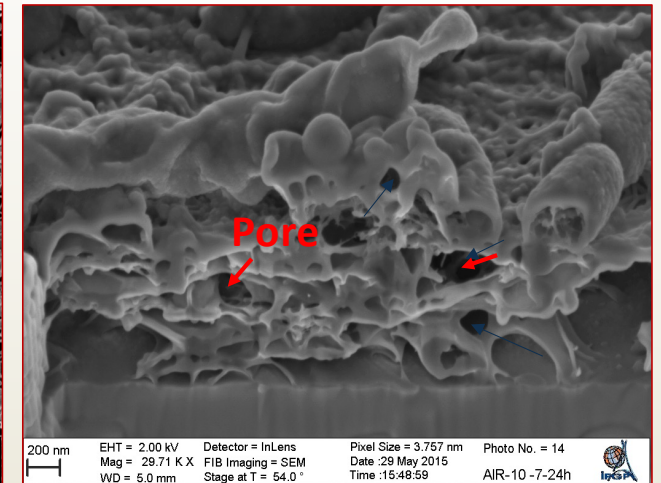
Porosité - rugosité



Matrice d'EPS



Coupe verticale - Porosité



BIOFILMS – REACTIVITE

► Piégeage

Rugosité – milieu poreux
Accumulation particules/colloïdes

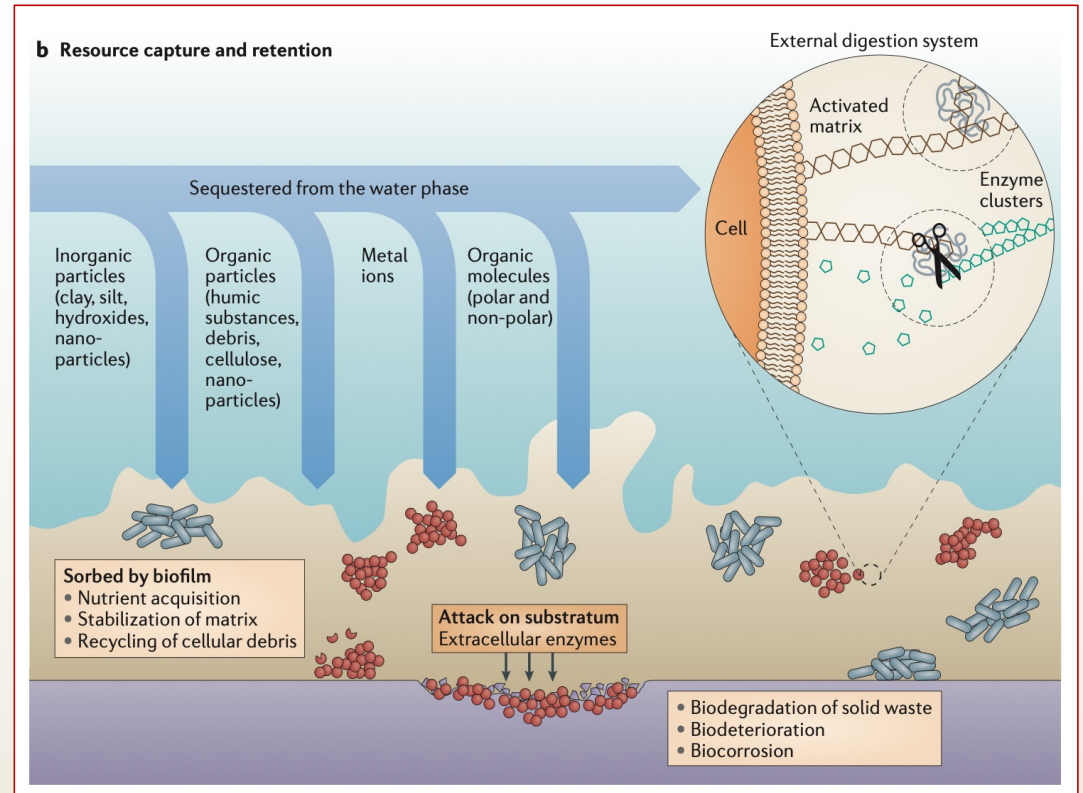
► Sorption

Surface contact solide/solution élevée
Densité de sites très élevée:

$R-COOH$ ($\approx 10^{-3}$ mol/g), $R-NH_2$ ($\approx 10^{-3}$ mol/g)
+ $R-SH$, $R-P-OH$, $R-Si-OH$

► Internalisation (cellules)

Prélèvement : éléments essentiels



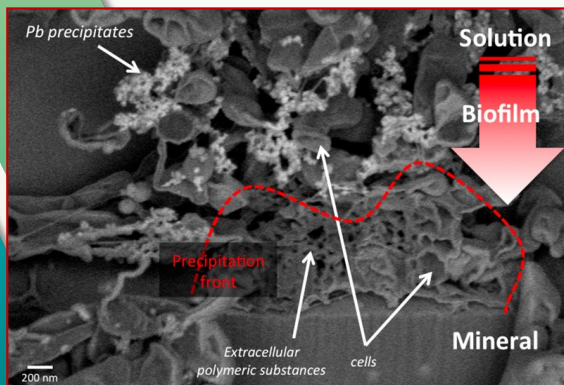
BIOFILMS – REACTIVITE

► Microenvironnements

Transport limité + activité métabolique = microenvironnements

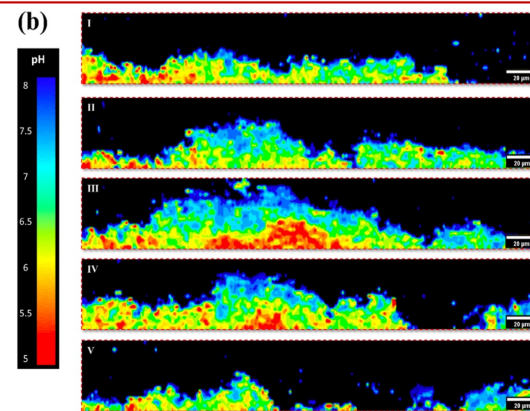
- Conditions physico-chimiques **locales** (nm - μm) particulières
- pH, oxydo-réduction, $[\text{HCO}_3^-]$, $[\text{H}_2\text{PO}_4^-]$, [enzymes]

BIOFILM = REACTEUR CHIMIQUE TRES ACTIF



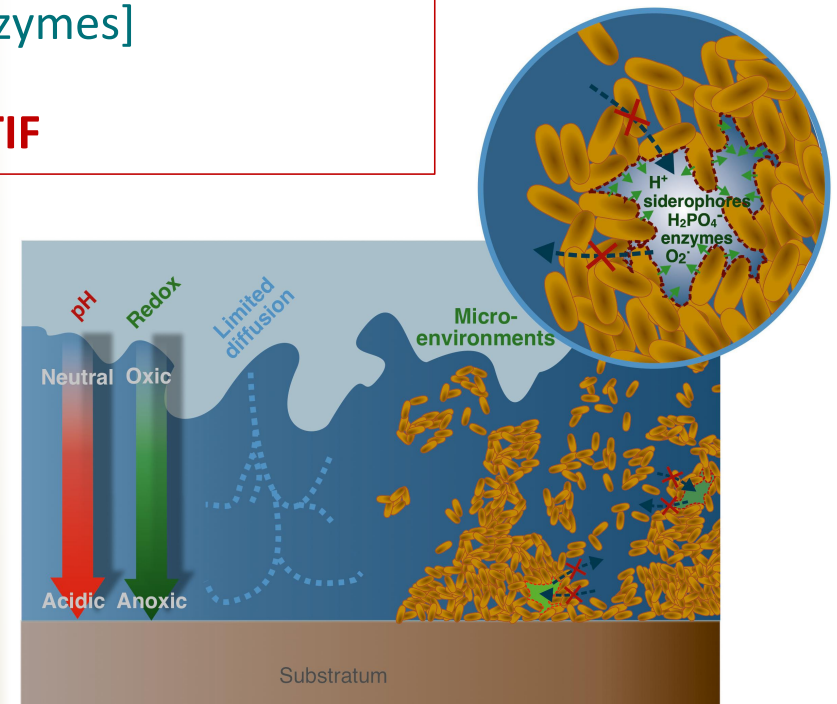
Haute concentration de phosphate extracellulaire

Couason et al., Chem. Geol., 2018



Evolution pH (8 à 5) sur 20 μm

Fulaz et al., ACS App. Mat. interfaces, 2019



DANS LA SEINE?

- Biofilm présents dans la Seine
 - Rôle démontré pour **productivité primaire** (Flipo et al., STOTEN, 2007)
 - Travaux préliminaires : capacités d'**accumulation de PFASs** (Munoz et al., ESPR, 2018)
 - Evolution de l'**antibiorésistance** pour l'Orge (Vivant et al., rapport PIREN 2021) et la Seine (Labadie et al., *The Seine River Basin*, 2021)
-
- ➔ Accumulation et voie d'entrée de contaminants dans les réseaux trophiques ?
 - ➔ Impact sur les populations microbiennes? Réponse (métabolisme)?
 - ➔ Réactivité = Changements spéciation? Immobilisation? Impact cycle des contaminants?



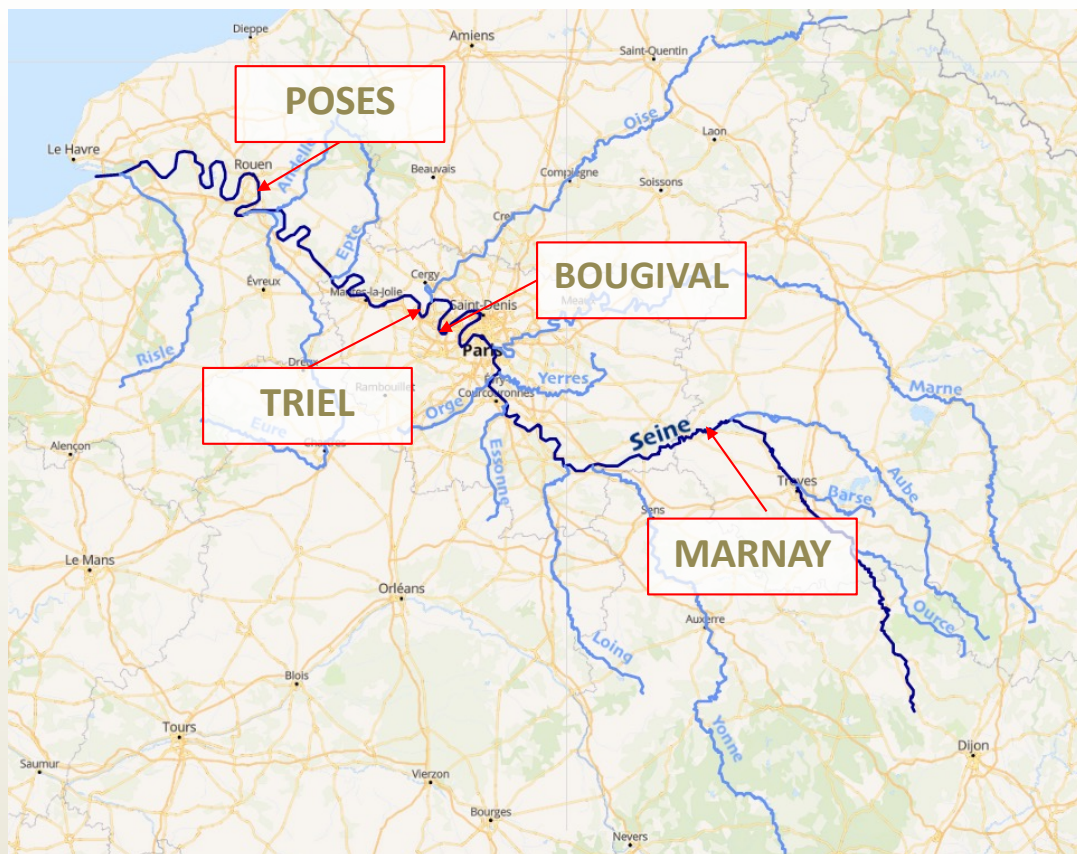
IMPACT DES BIOFILMS SUR LE CYCLE DES CONTAMINANTS EN SEINE?

- Micropolluants organiques, antibiotiques, métaux
- Accumulation / changements de spéciation / zones réactives
- Dynamique des communautés microbiennes

10 μm

CAMPAGNES DE PRELEVEMENT

➔ 3 campagnes (6 mois / 1 an / 2 ans)



CAMPAGNES DE PRELEVEMENT



Dépôt
plaques



Echantillonnage
laboratoire



IPGP

IAZ

metis
UMR 7619

EPOC

M2C

METAUX

MINERALOGIE

ANTIBIOTIQUES

MICROPOLLUANTS

METAGENOMIQUE

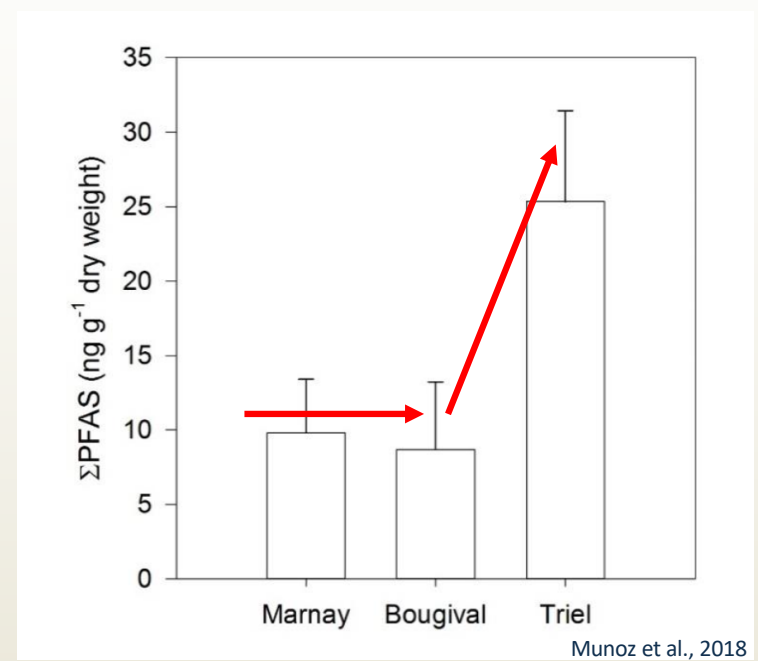
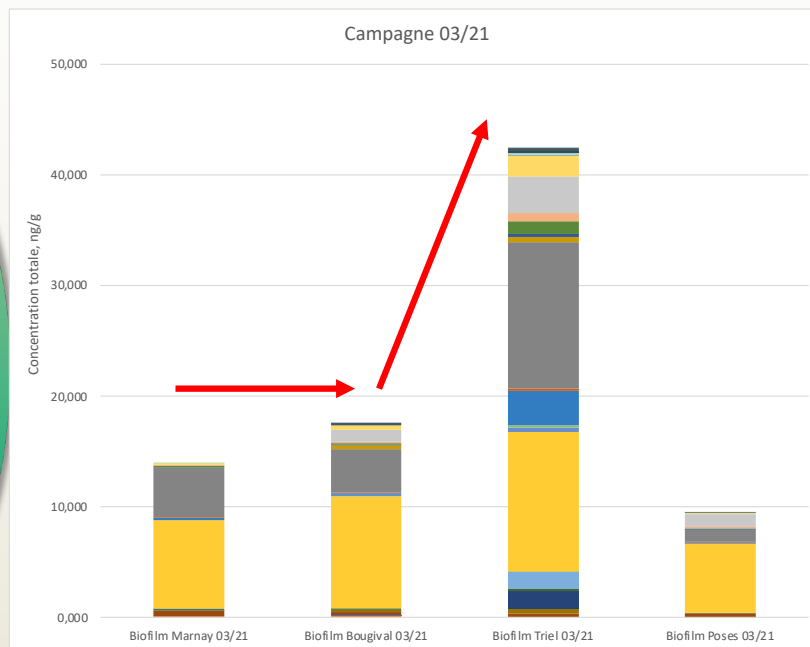


EPOC

ANTIBIOTIQUES MICROPOLLUANTS

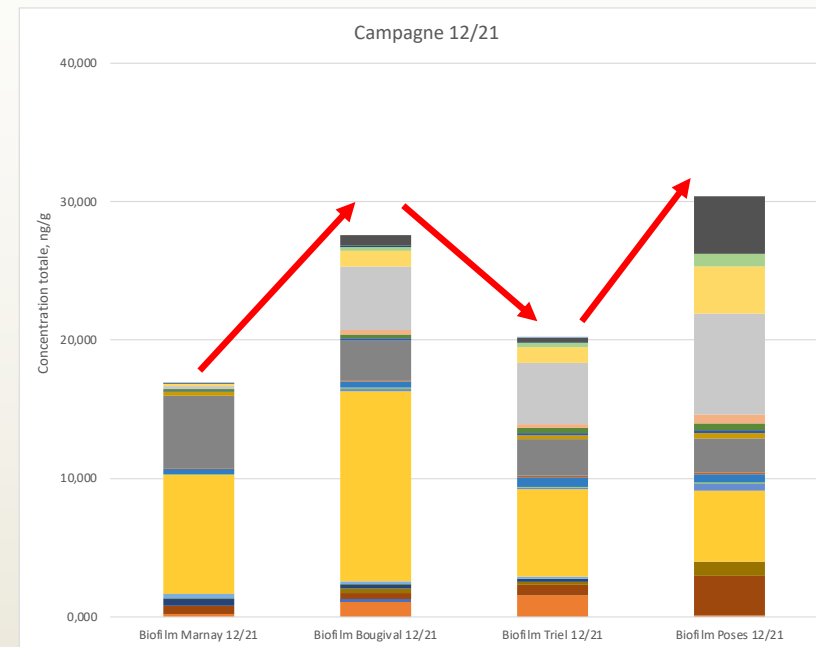
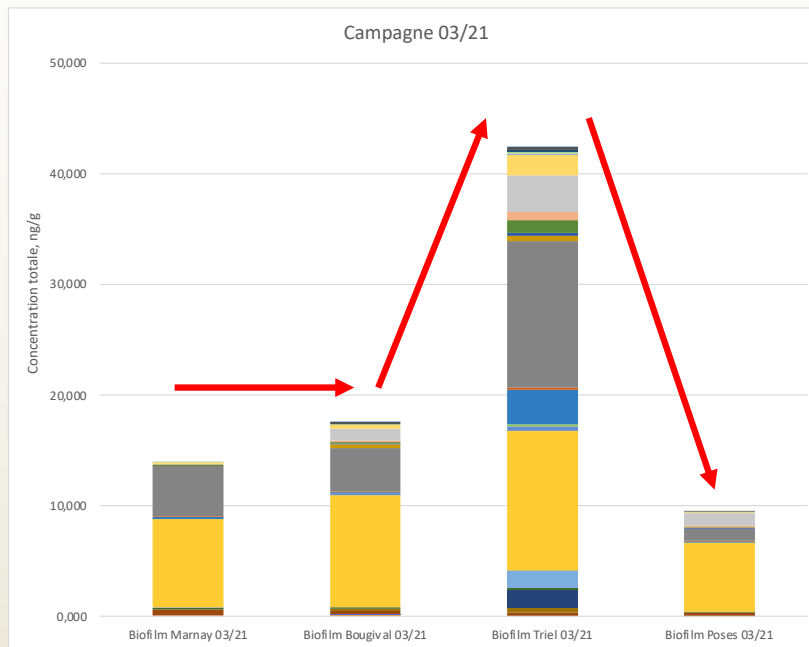
MICROPOLLUANTS ORGANIQUES (PFASs)

➔ Profil similaire à campagne 2013 : **Triel très élevé**



MICROPOLLUANTS ORGANIQUES (PFASs)

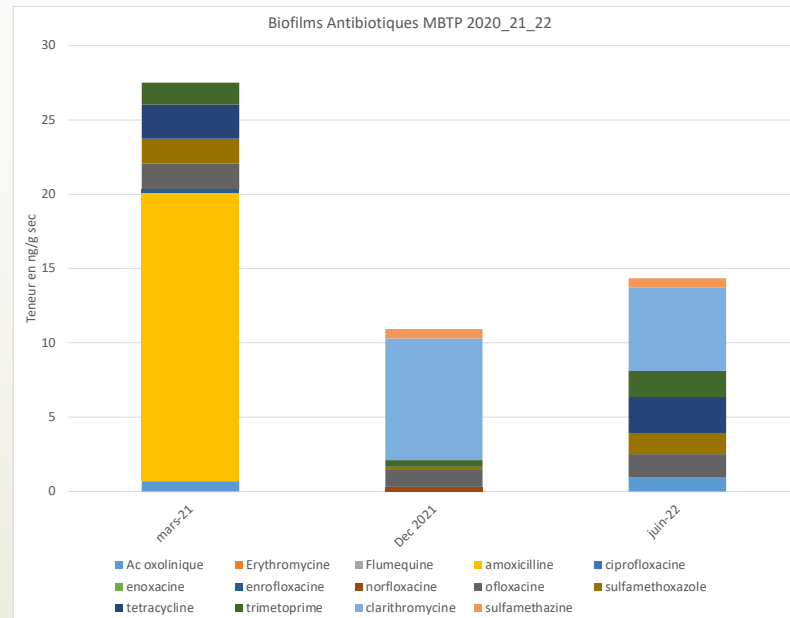
- Profil similaire à campagne 2013 : **Triel très élevé**
- Profil différent entre campagne de mars et décembre: **effet saisonnier?**



18

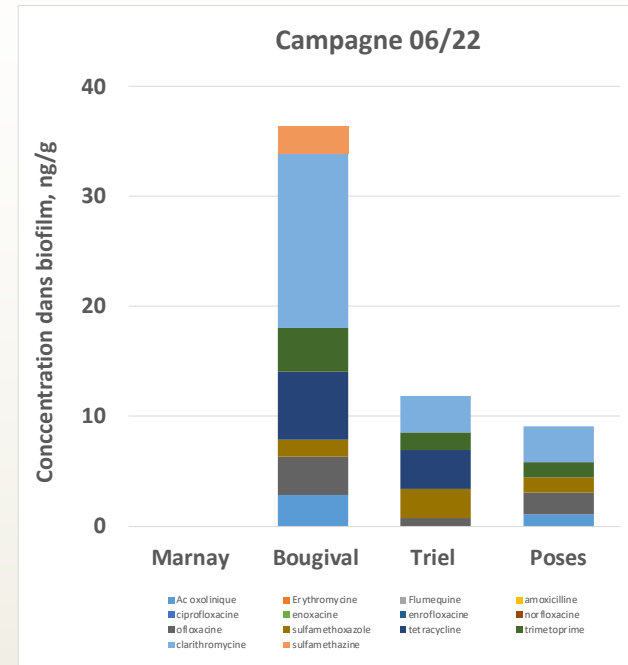
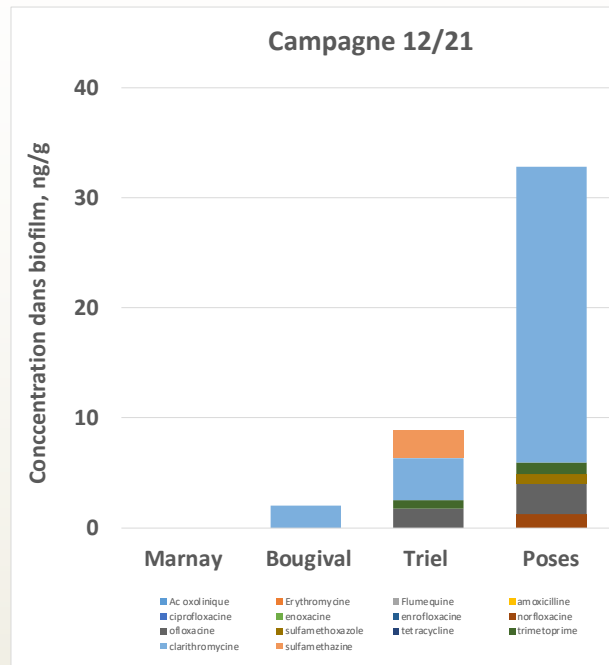
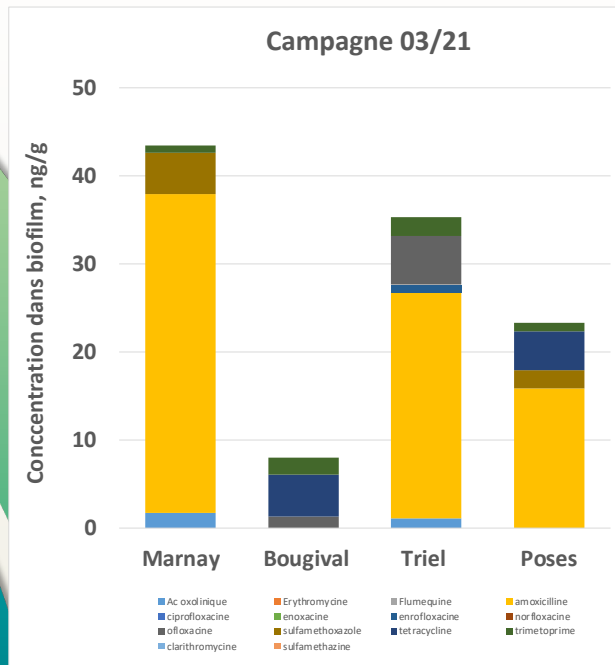
ANTIBIOTIQUES

- 14 molécules, 0 à 7 molécules quantifiées
- Teneurs faibles (max. 36 ng/g pour amoxicilline)
- Amoxicilline (Mars 2021) et clarithromycine (Dec 2021 & 2022)
- Coefficient de partage : de **15** (Amox) - **1400** (sulfamethoxazole). Grosse variabilité spatiale



ANTIBIOTIQUES

- Pas de tendance amont – aval
- Effet saisonnier?





IPGP

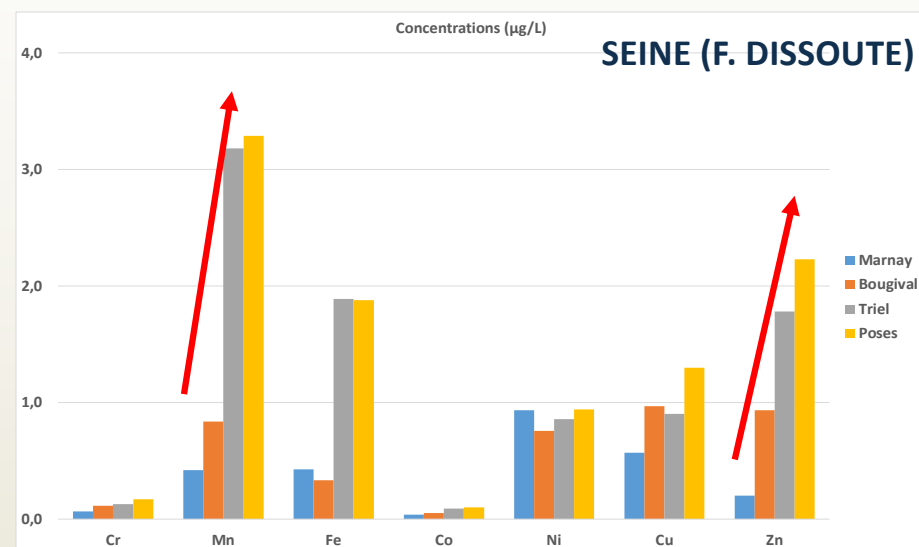
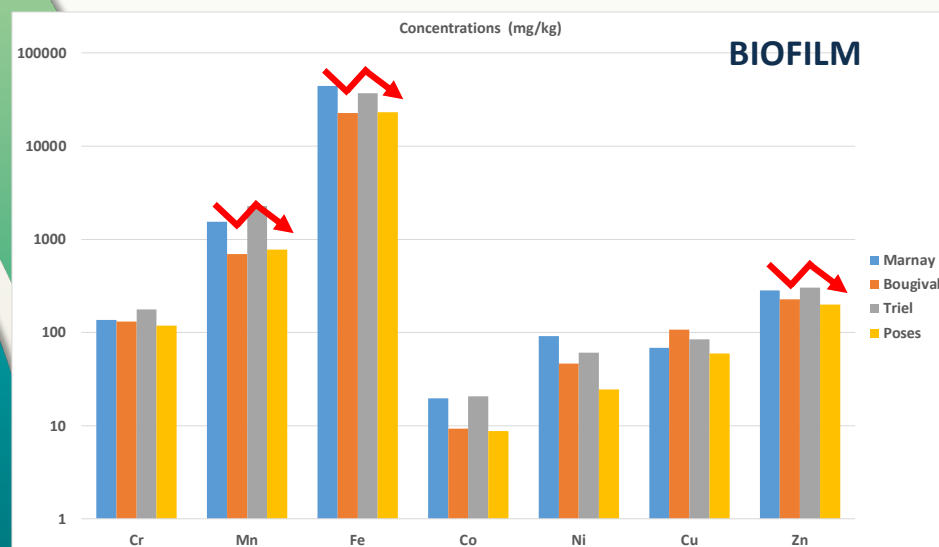


METAUX

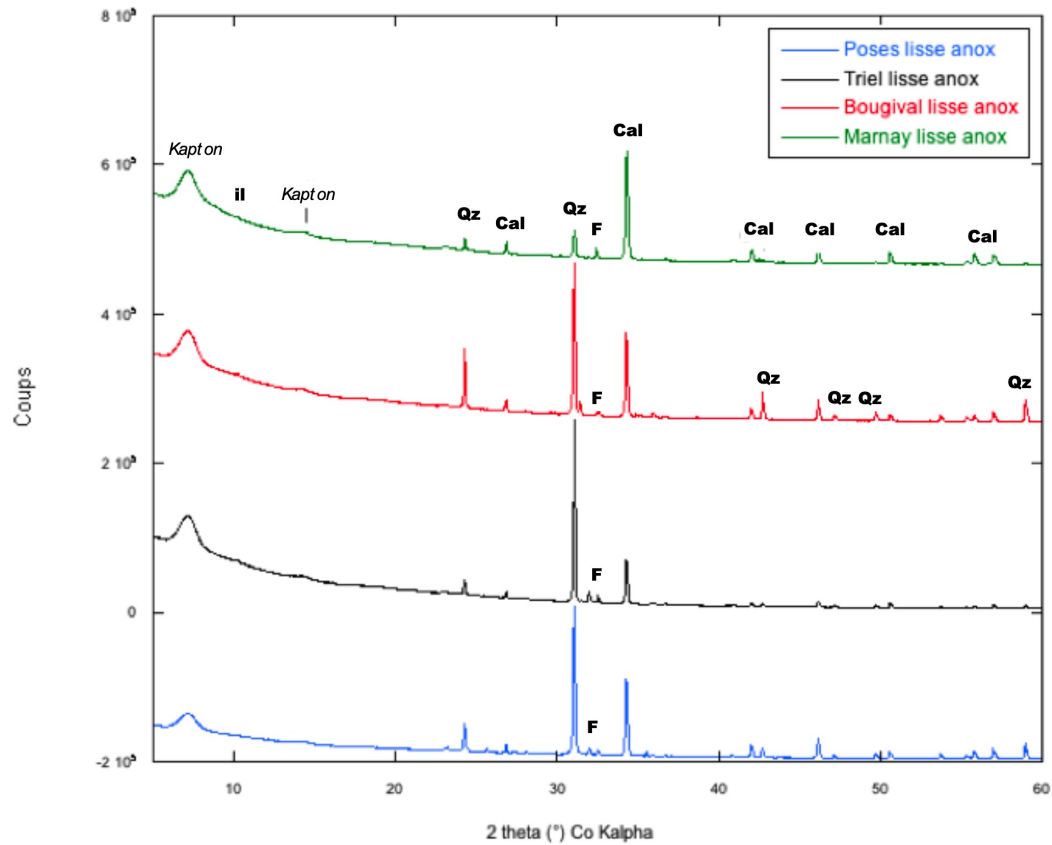
MINERALOGIE

METAUX : MARNAY - POSES

- Gradient Amont – Aval?
- Profil non retrouvé pour les métaux
- Anomalie à Triel?

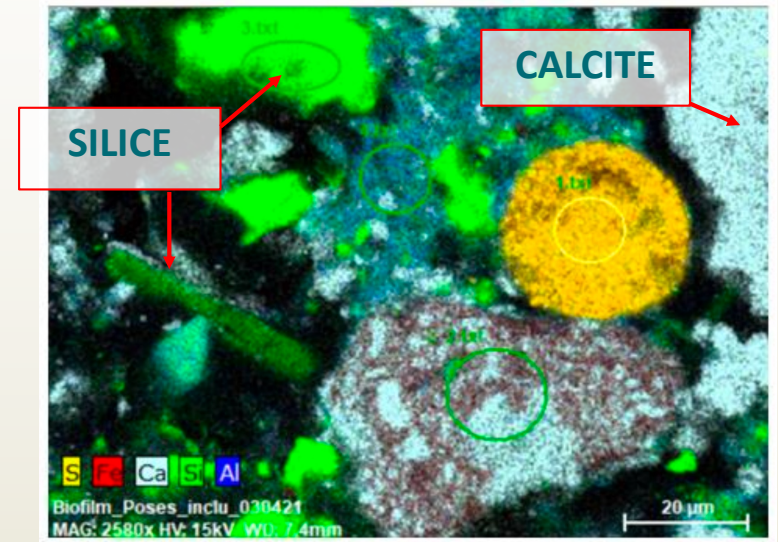


METAUX : ACCUMULATION?



Diffractogrammes de rayons X - Qz : quartz ; Cal : calcite ; F : feldspaths ; il : illite

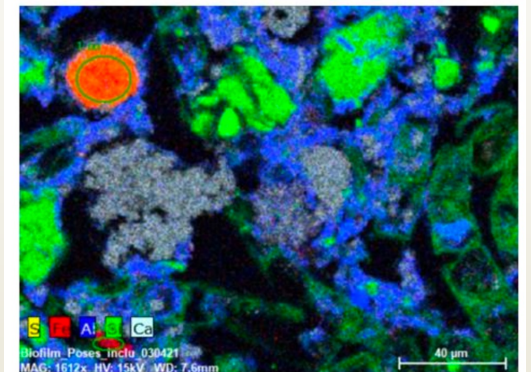
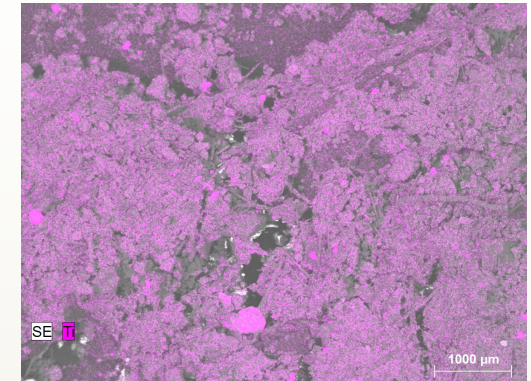
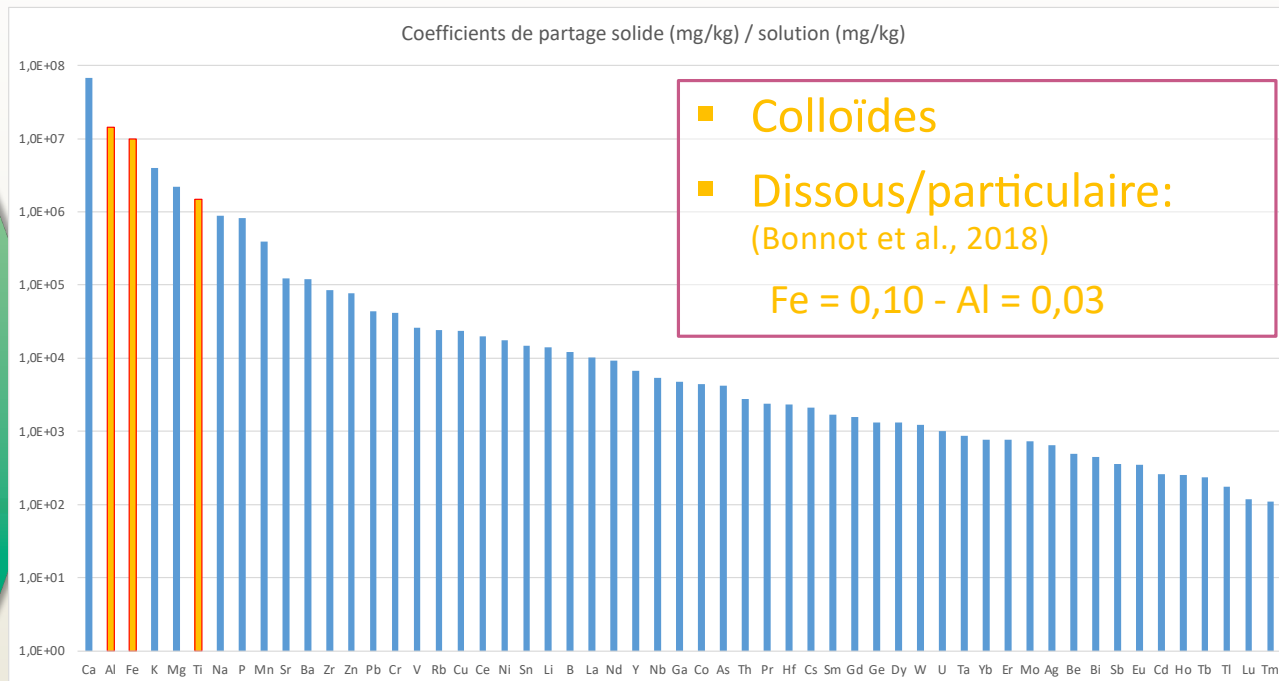
- Dominée par calcite (Marnay) et quartz
- Proche des MES (Priadi et al., 2012) → Dépôt/piégeage de MES



METAUX : ACCUMULATION?

$$\text{Coef. Partage} = \frac{[\text{Element}]_{\text{biofilm}} (\text{mg/kg})}{[\text{Element}]_{\text{eau}} (\text{mg/kg})}$$

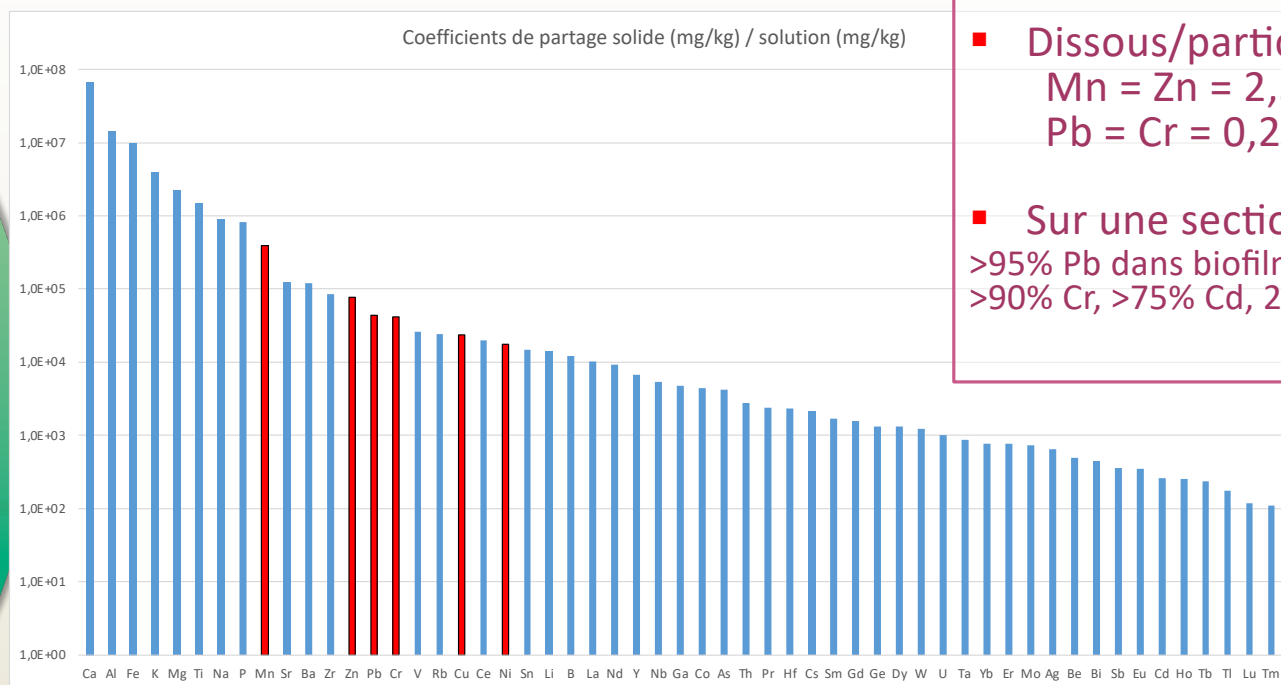
- ➔ Accumulation varie selon l'élément et sa spéciation
- ➔ Accumulation très forte (Al ≈ Fe : 10⁷)



METAUX : ACCUMULATION?

$$\text{Coef. Partage} = \frac{[\text{Element}]_{\text{biofilm}} (\text{mg/kg})}{[\text{Element}]_{\text{eau}} (\text{mg/kg})}$$

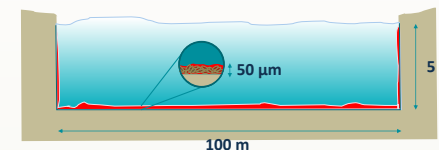
➔ Accumulation très forte
(Mn: $4 \cdot 10^5$; Zn : $8 \cdot 10^4$; Pb: $4 \cdot 10^4$; As: $4 \cdot 10^3$)



- Métaux de transition
- Pas de différence entre essentiels et toxiques

- Dissous/particulaire (Bonnot et al., 2018):
Mn = Zn = 2,3
Pb = Cr = 0,2

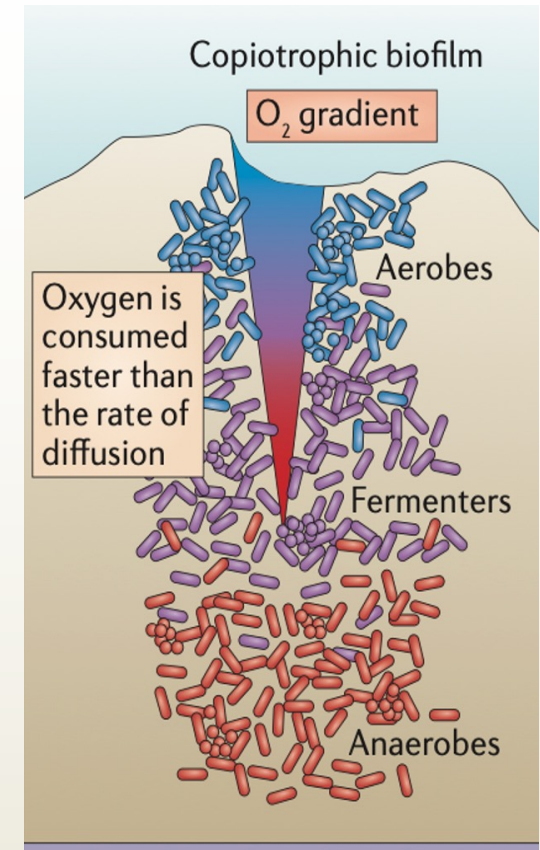
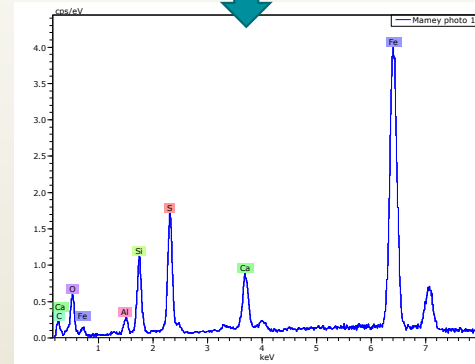
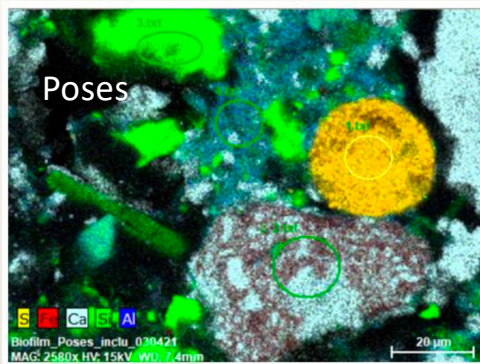
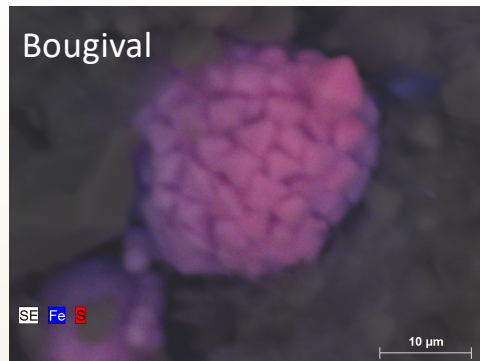
- Sur une section :
>95% Pb dans biofilms
>90% Cr, >75% Cd, 25% As



- ➔ Sources?
- ➔ Cycle des métaux?
- ➔ Réseau trophique?

μENVIRONNEMENTS REDUCTEURS

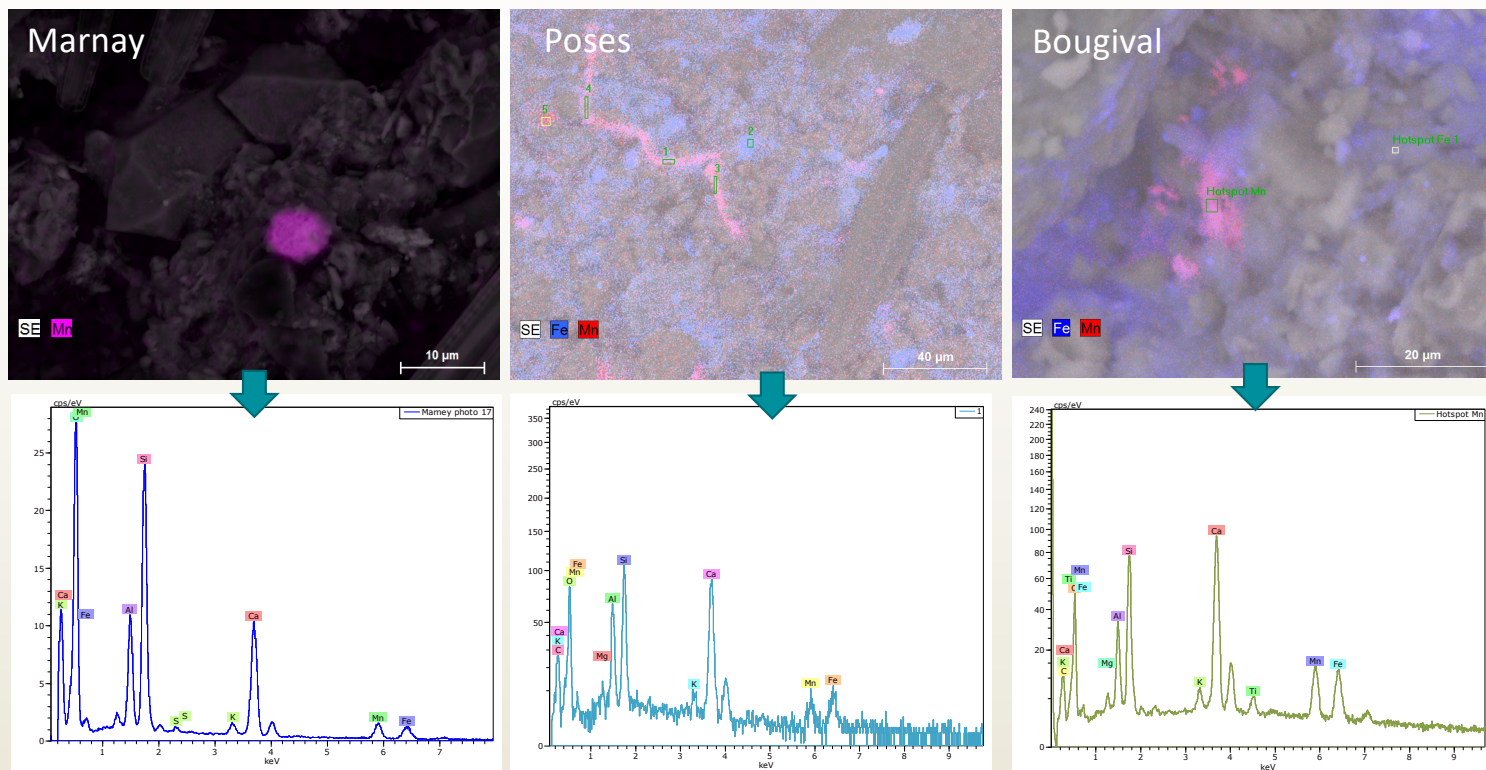
- Pyrite (framboïdale) observée sur les 4 sites
- Microenvironnements REDUCTEURS (bact. sulfato-réductrices?)
- Modification de spéciation
- Impacts sur cycle et biodisponibilité!



(Flemming et al., 2020)

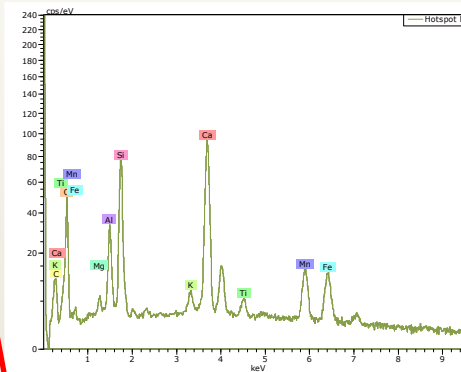
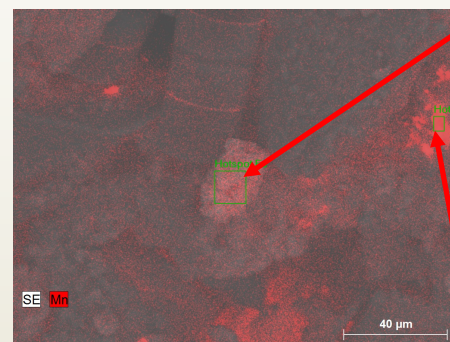
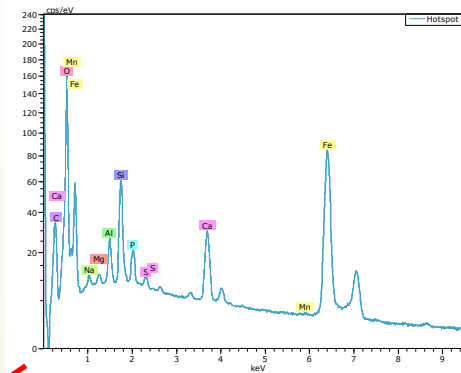
et ... μ ENVIRONNEMENTS OXYDANTS!

- Oxydes de Mn^{III} ou Mn^{IV}
- Microenvironnements TRES OXYDANTS
- Impacts sur cycle et biodisponibilité des métaux / dégradation molécules organiques!



et ... μ ENVIRONNEMENTS OXYDANTS!

- ➔ Oxydes de Mn^{III} ou Mn^{IV}
- ➔ Microenvironnements TRES OXYDANTS
- ➔ Passage oxydants à réducteurs **sur quelques μm**

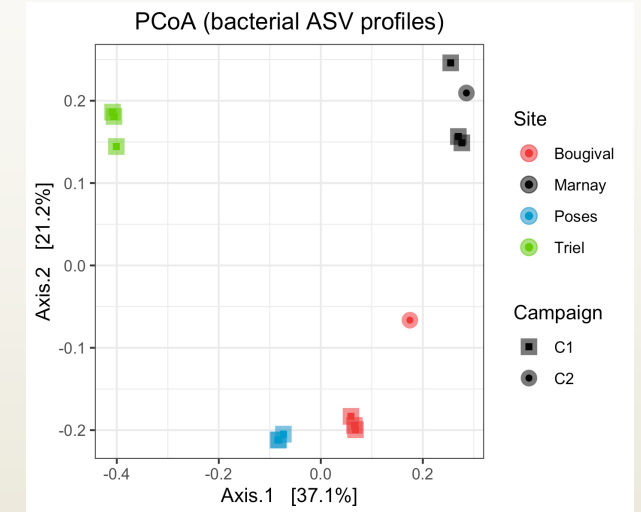
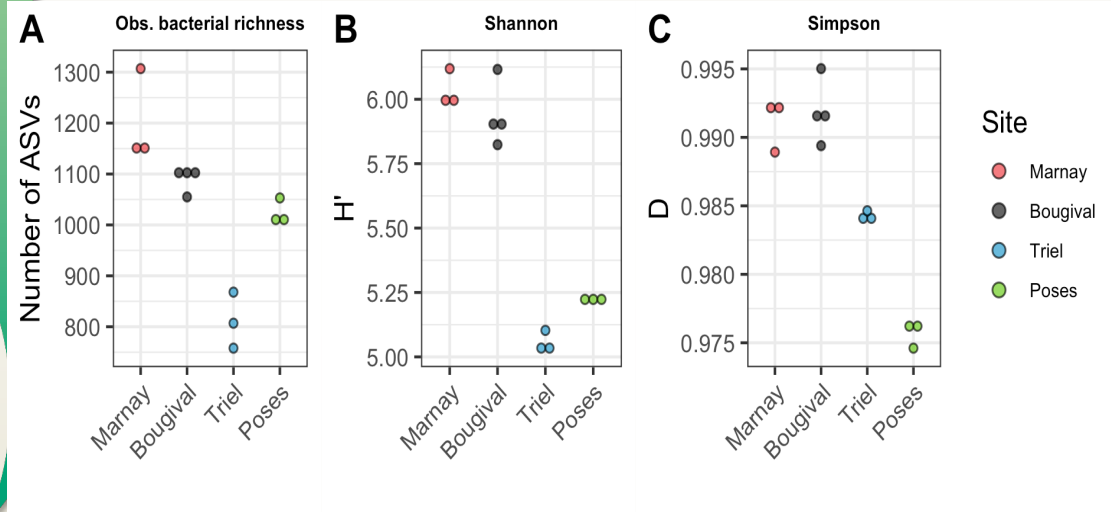
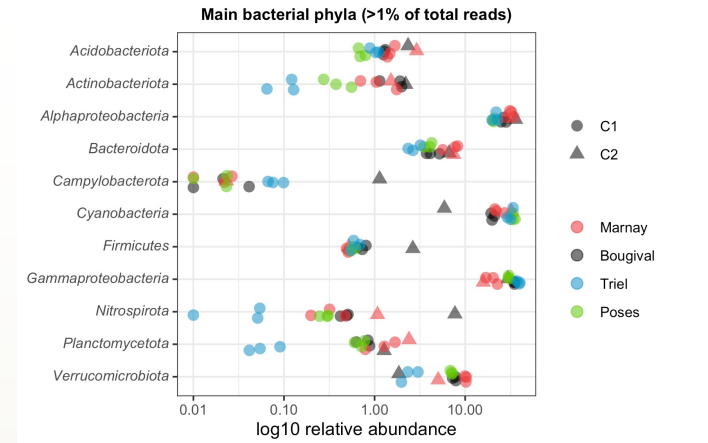




METAGENOMIQUE

DIVERSITE MICROBIENNE

- ➔ **Baisse de richesse spécifique et diversité spécifique à Triel / Lien avec contaminants?**
- ➔ **Poses = plus d'espèces « rares »**
- ➔ **Diversité conservée d'une campagne à l'autre**
- ➔ **Recherches sur le résistome (gènes codant pour une résistance antibiotiques ou métaux traces)**

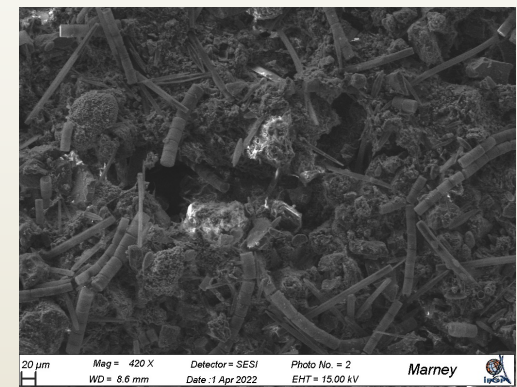
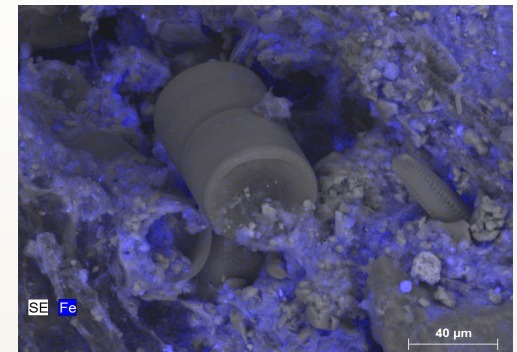
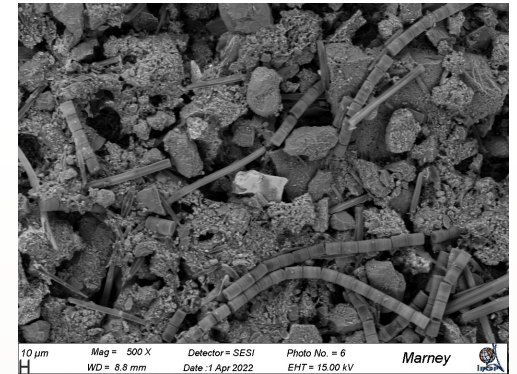


CONCLUSION

- **Accumulation** importante (antibiotiques, PFASs, métaux) / source?
- **Pas de tendance** Amont – Aval / Forte accumulation à Triel
- Mise en évidence de conditions **oxydantes** (fortes) et **réductrices** locales
 - ➔ Changement de **spéciation** (métaux) / molécules organiques?
 - ➔ **Cycle polluants** / **biodisponibilité** / **réseaux trophiques**

PERSPECTIVES

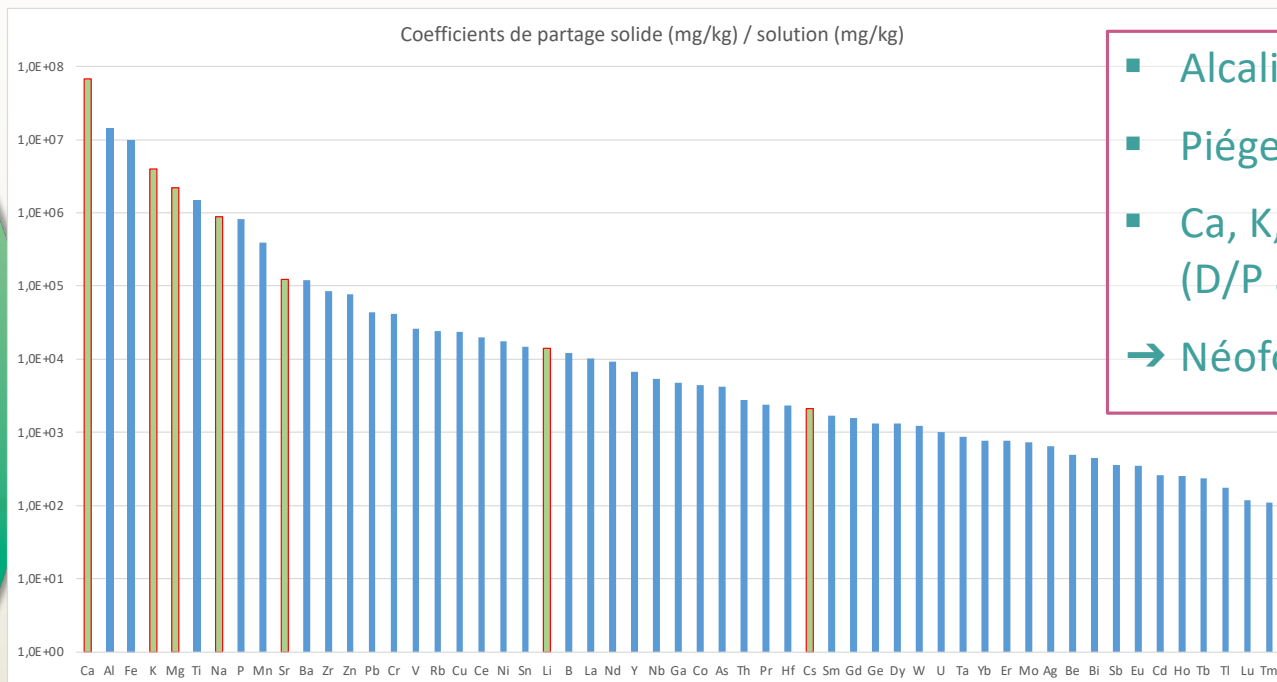
- ➔ Analyse des trois campagnes
- ➔ Recherche de gènes de résistance
- ➔ Dégradation molécules organiques (PFASs / AB) – résidus?
- ➔ Mécanismes d'oxydation et de réduction (XAS)



METAUX : ACCUMULATION?

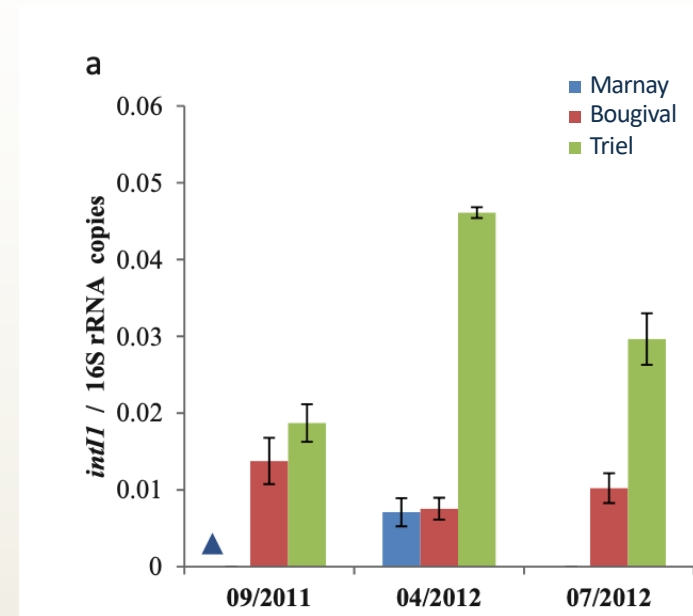
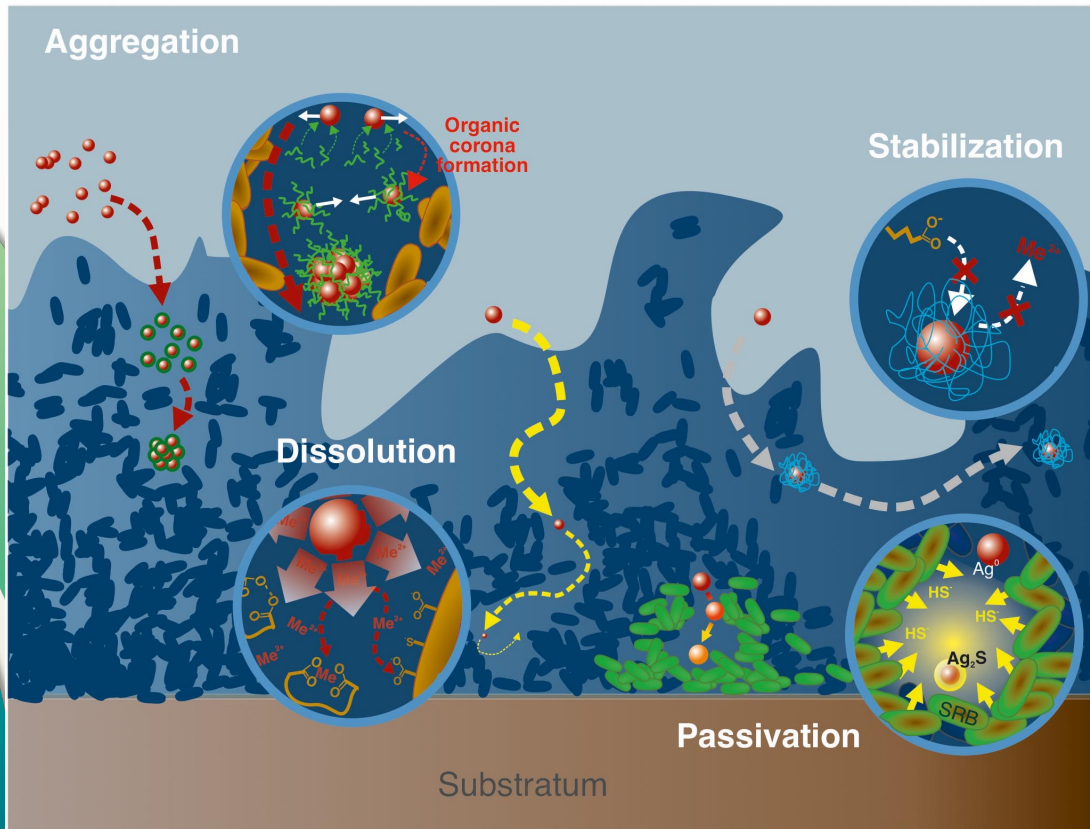
$$\text{Coef. Partage} = \frac{[\text{Element}]_{\text{biofilm}} (\text{mg/kg})}{[\text{Element}]_{\text{eau}} (\text{mg/kg})}$$

- Accumulation très forte (Ca: $7 \cdot 10^7$)
- Varie selon l'élément et sa spéciation



- Alcalins & Alcalino-terreux
- Piégeage MES
- Ca, K, Mg principalement dissous (D/P autour de 100) (Bonnot et al., 2018)
- ➔ Néof ormation avec respiration?

BIOFILMS –REACTIVITE



Variation de l'abondance relative d'intégrons cliniques dans l'ADN total (Labadie et al., The Seine River Basin, 2019)

