

Qualité Microbiologique des Eaux pluviales : Pathogènes & Matière Organique

F. Lucas, A. Goffin, S. Würtzer, M. Naloufi, C. Theriault
M. Saad, M. Goulet, G. Varrault, L. Moulin

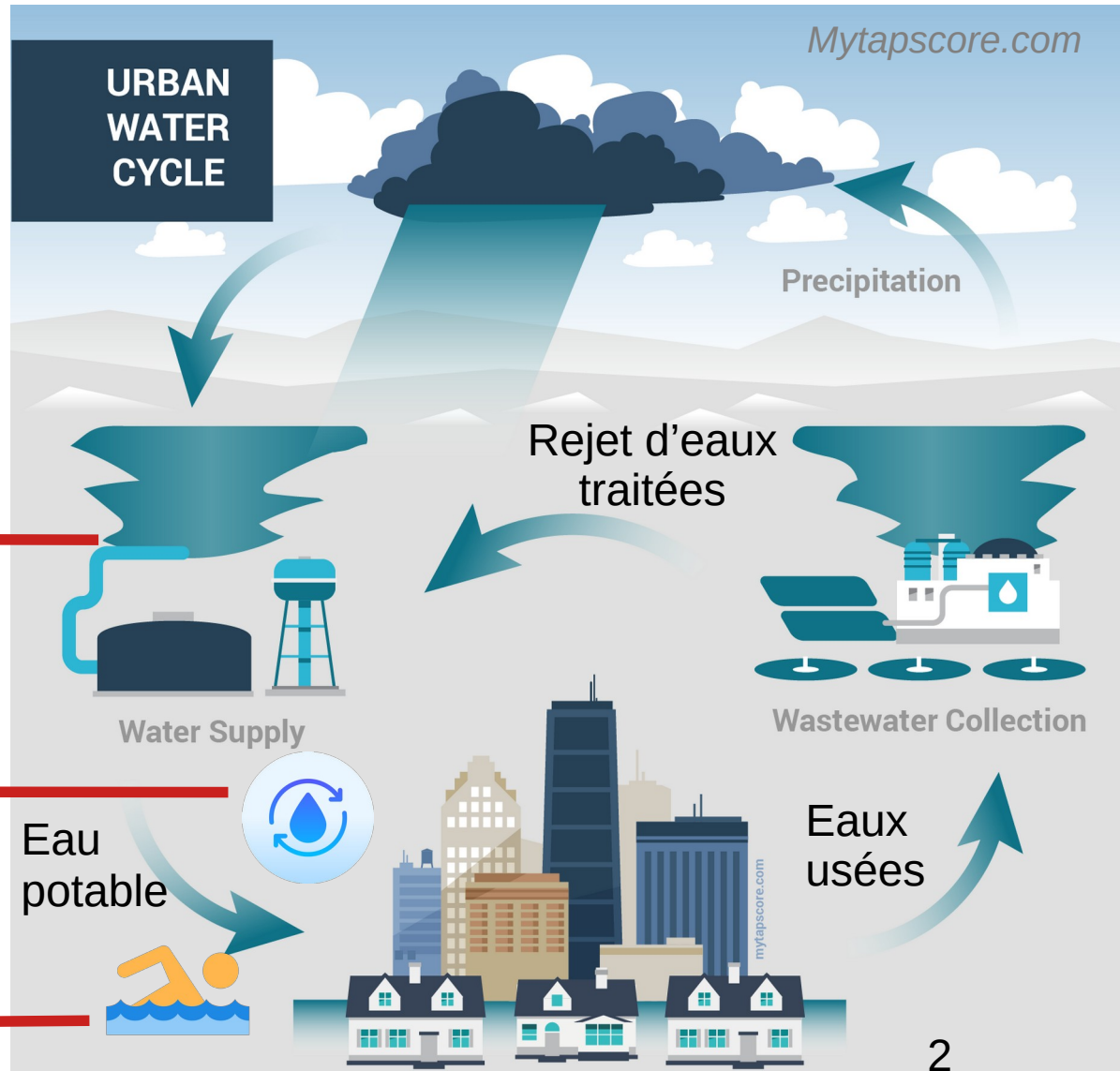
Enjeux : Qualité microbiologique des eaux

impact la qualité de la ressource en eau

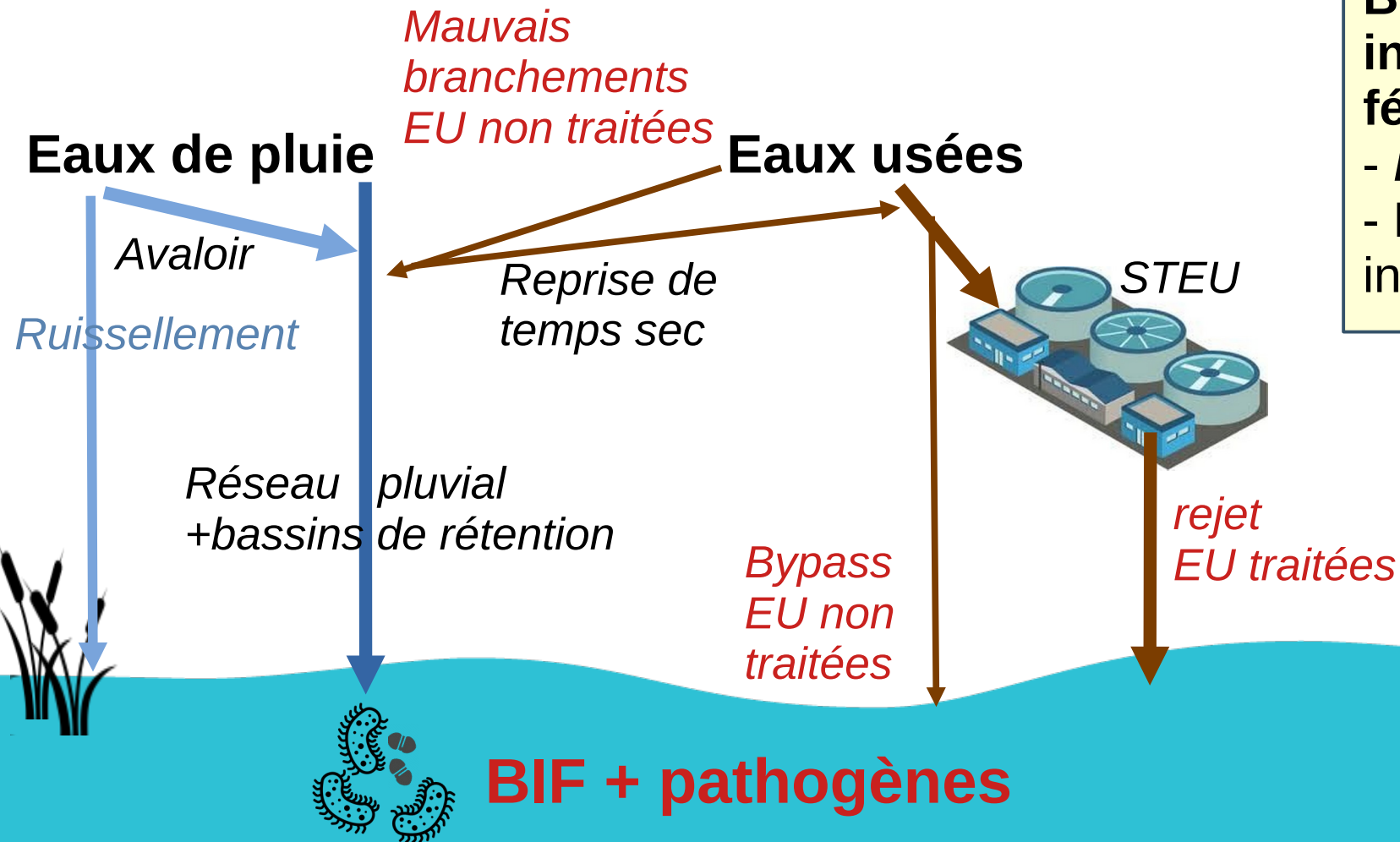
réutilisation des eaux pluviales

impact la qualité des eaux de baignades

Risque: santé publique
Changement climatique



Réseaux d'assainissement séparatifs



Rejets urbains de temps de pluie (RUTP)....

Eaux pluviales

Eaux usées

Eaux pluviales

Réseau
pluvial

Réseau
unitaire,
Réseau
mixte

bypass

Mauvais
branchements

Ruissellement
de surface

BIF
x3 à
100

(Passerat et al., 2011,
McLellan et al., 2015
Characklis et al. 2015)

BIF
x3 à
100

BIF
÷ 1.5
à 3

(Madoux-Humery
et al., 2013;
Lucas et al., 2014)

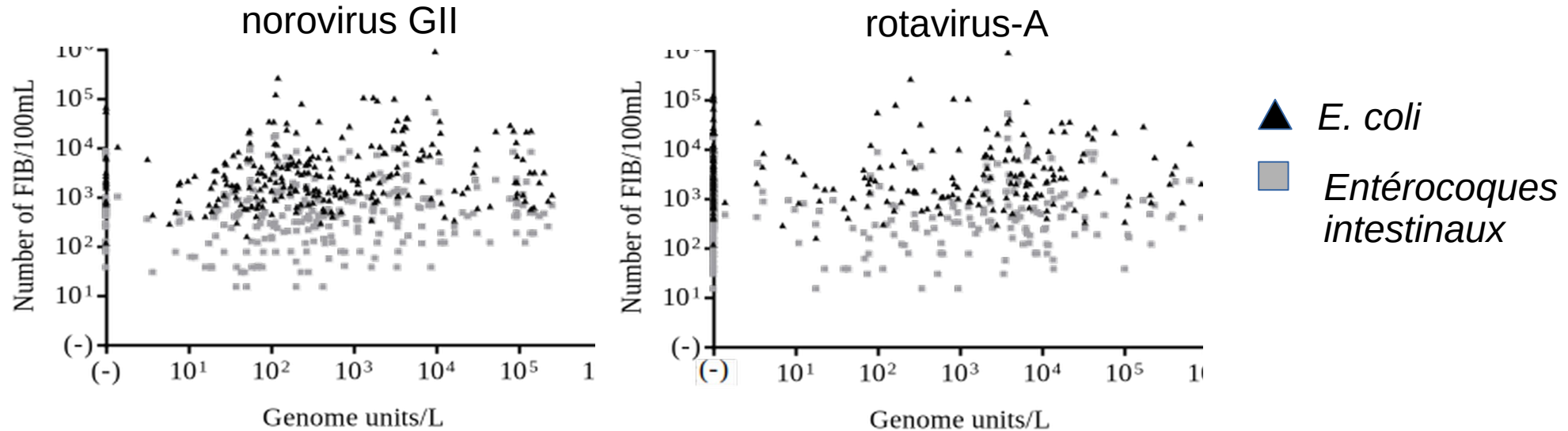
Risque sanitaire lié aux réseaux pluviaux?

- Pathogènes rarement quantifiés dans les RUTP

(Ahmed et al., 2018)

- Pas de relation claire entre pathogènes viraux et BIF dans les eaux de surface (ex. Seine)

(Mouchel et al., 2020)



Existe t-il un proxy d'estimation des pathogènes ?

Y a t-il un lien entre pathogènes et matière organique?

- Adsorption virale (coxsackievirus) à la matière organique
-> stabilisation et protection *(Waldman et al., 2019)*
- Relation prédictive entre la matière organique fluorescente et *E. coli* identifiée *dans les eaux de surfaces* *(Raoult et al., 2025)*

Vers un suivi des pathogènes *in situ* et à haute fréquence via un nouveau proxy ?



- 1) Caractériser les populations de pathogènes circulant dans les réseaux pluviaux :
 - Nature contrastées
 - Temps sec vs temps de pluie

- 2) Explorer le lien entre pathogènes et matière organique fluorescente

Thèse M. Naloufi (2025)



n=4
moyen 24h



n= 4:
évènement
moyen

Ru de la Lande-
Rue de la plage
(Champigny/Marne)
1860 ha

Sucy-en-Brie
Amont du bassin
de rétention :
230 ha

Centre-Urbain
Ave Baron Louis
(Noisy-sur-Marne)
205 ha

Pluies : 2.4 à 32.8 mm sur 24h après 3 jrs de temps sec

Hyp. :

- Temps sec: eaux usées non traitées (mauvais branchements),
- Temps de pluie: remobilisation des dépôts et lessivage des surfaces

Comparaison avec une Station d'épuration : St Thibault-des-Vignes

- eaux usées non-traitées : entrée
- eaux usées traitées : sortie

Pathogènes et indicateurs fécaux

BIF

E. coli
Entérocoques
intestinaux

ISO 9308-3: 1998
ISO 7899-1: 1998
(NPP / 100 mL)

Indicateurs fécaux humains

HF183
CrAssphages
PMMoV
Phages à ARN F-spécifiques I et III (FRNAPH)

Pathogènes

Campylobacter jejuni
norovirus I et II
adénovirus F
rotavirus A
Entérovirus

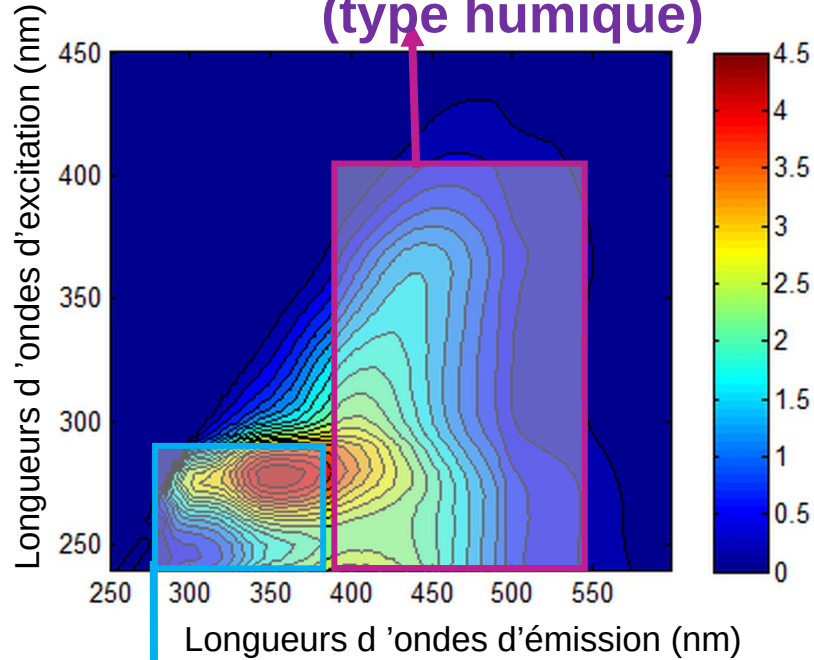
PCR quantitative (unité de génome/L) (Wurtzer et al., 2014)

Physico-chimie

Température (°C), pH, conductivité électrique ($\mu\text{S}/\text{cm}$), turbidité (NTU), pluviométrie à Le-Perreux/Marne (mm),

Spectrométrie de fluorescence

Composés généralement
hydrophobes et peu biodégradables
(type humique)



Composés généralement hydrophiles et
plus facilement biodégradables
(type protéine)

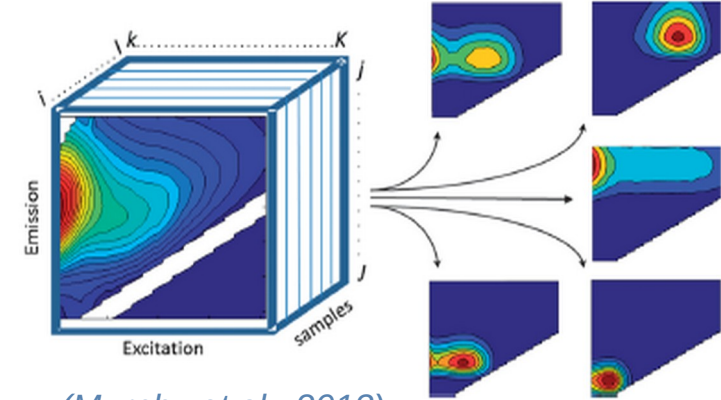
Spectrométrie de fluorescence



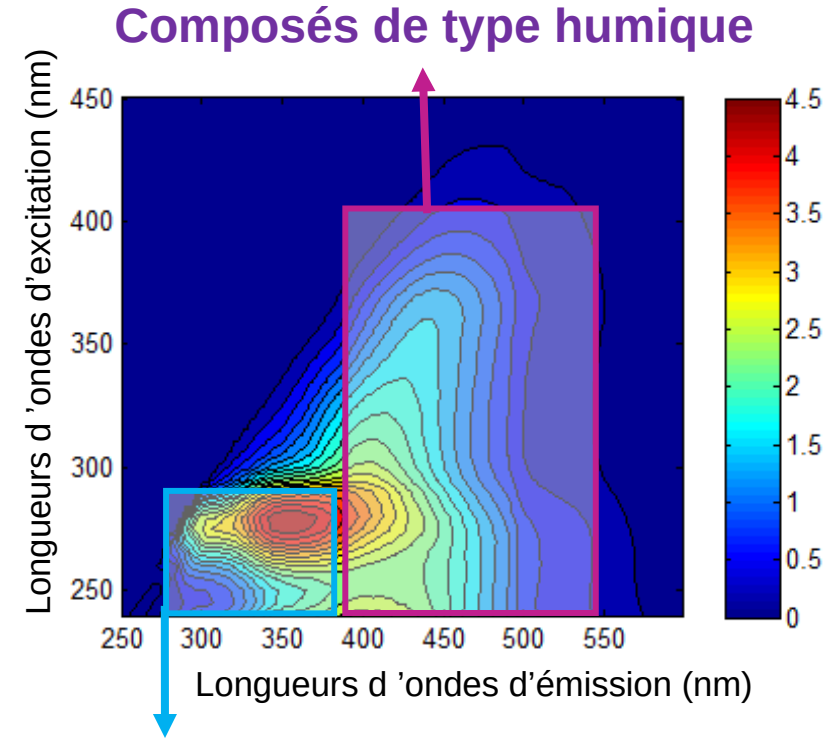
Filtration 0.7 GF/F + dilution
limitant les effets filtres
Analyses Jasco FP8300 (n=40)



Décomposition PARAFAC



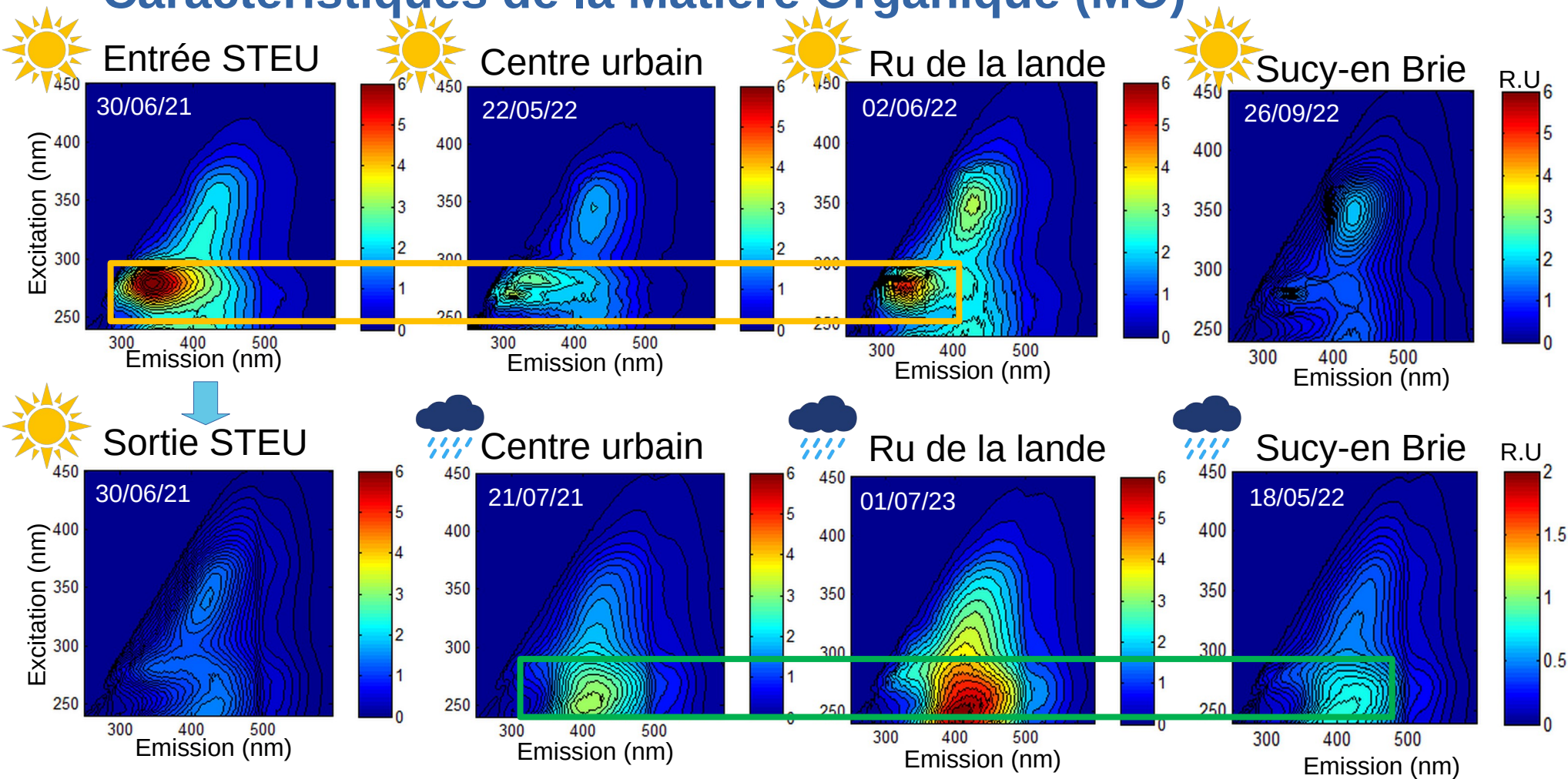
(Murphy et al., 2013)



Composés de type protéine

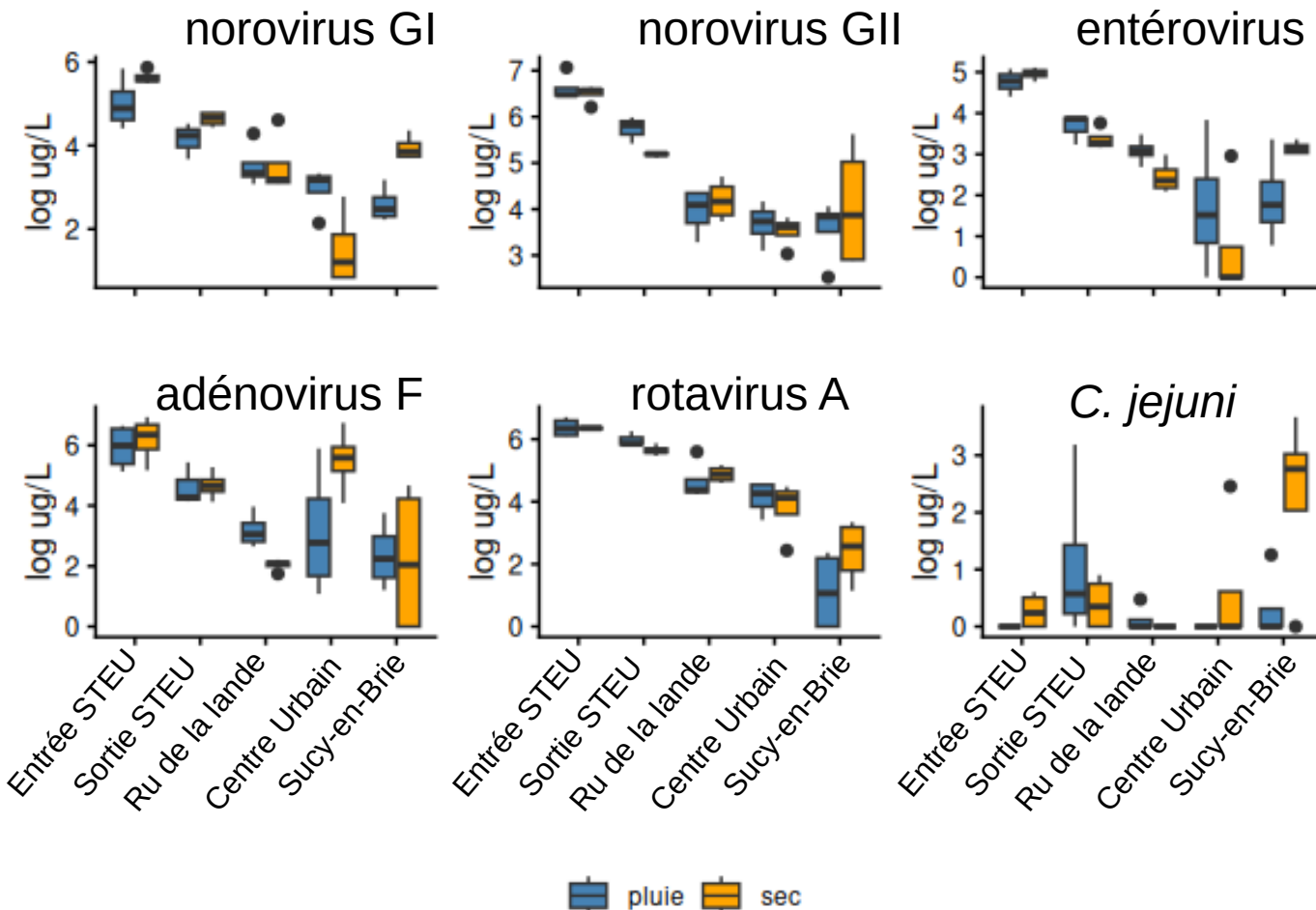
- Localisation de fluorophores
- Intensité de fluorescence modélisée (score)

Caractéristiques de la Matière Organique (MO)



Différences de signature en fonction de l'origine + Temps sec/pluie

Distributions des pathogènes



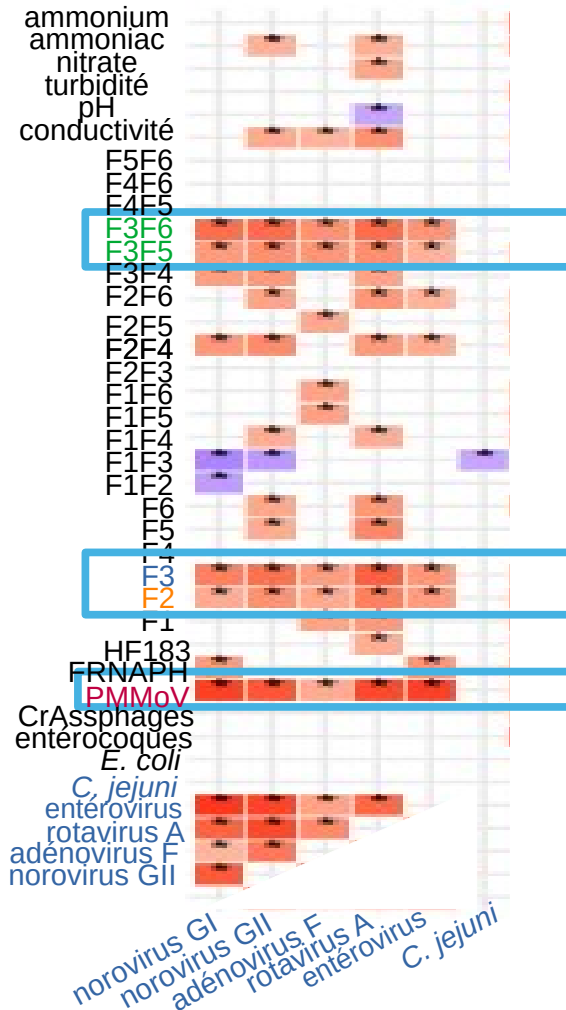
- **Virus:** Niveaux élevés hors période épidémique
0 à 7.1 log₁₀ u.g./L
En accord avec la littérature ([Ahmed et al. 2018](#))

- *C. jejuni* sporadique

- ≠ entre les réseaux:
présence d'eau usée

- effet du temps de pluie complexe

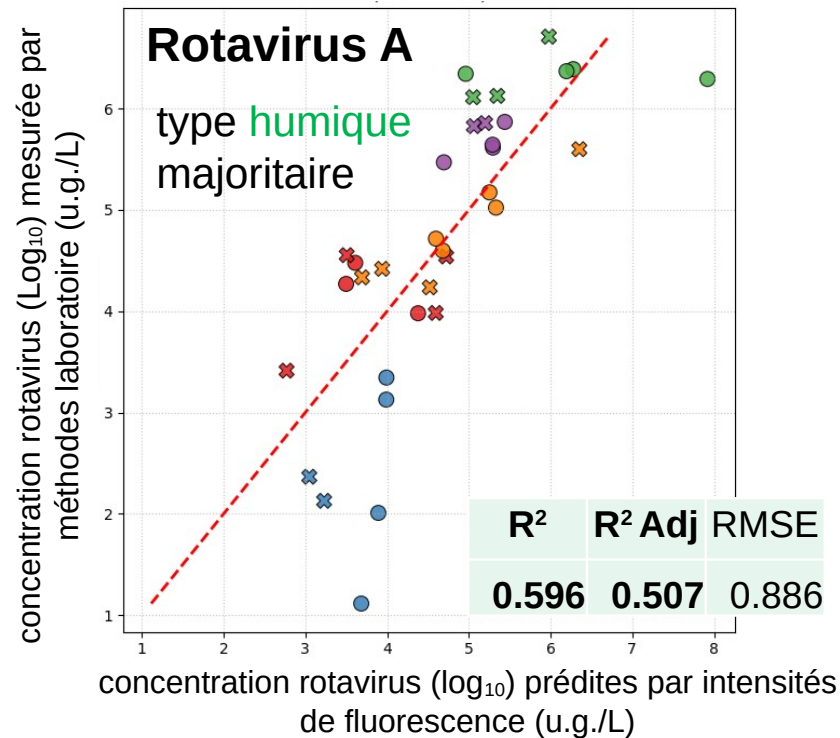
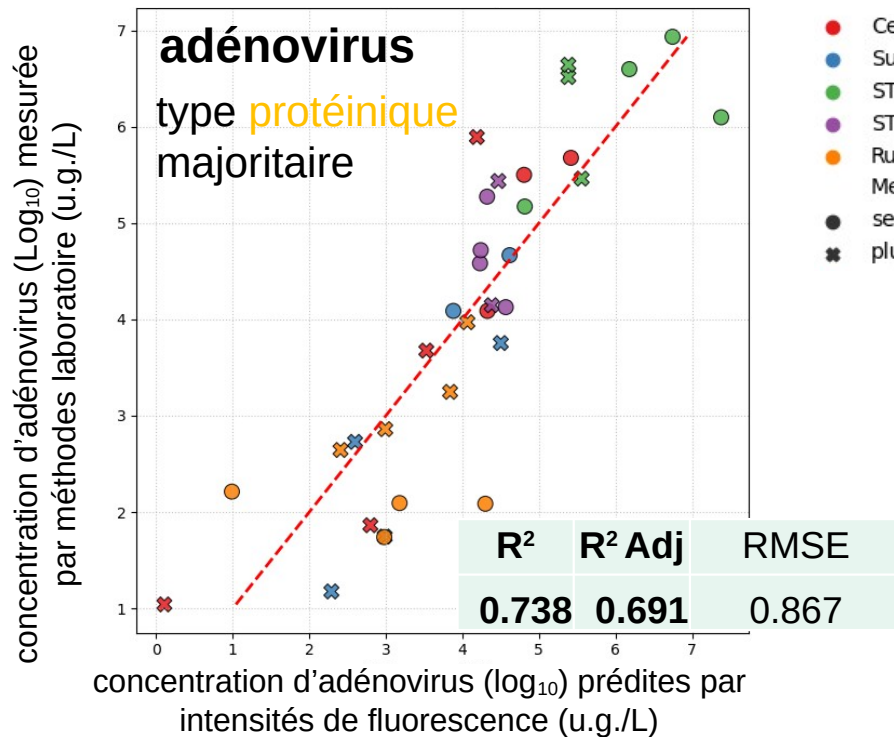
Corrélations simples avec la MO et la physico-chimie



*Rho de Spearman, $p < 0.05$
correction Benjamini-Hochberg*

- aucune corrélation des virus entériques avec les BIF
 - corrélation des virus entériques avec les PMMoV
 - corrélation des virus avec les intensités F2, F3, et les ratios de composantes F3F5 et F3F6
- => Des proxy potentiels?**

Modèles RLM : proxy potentiels selon le genre viral



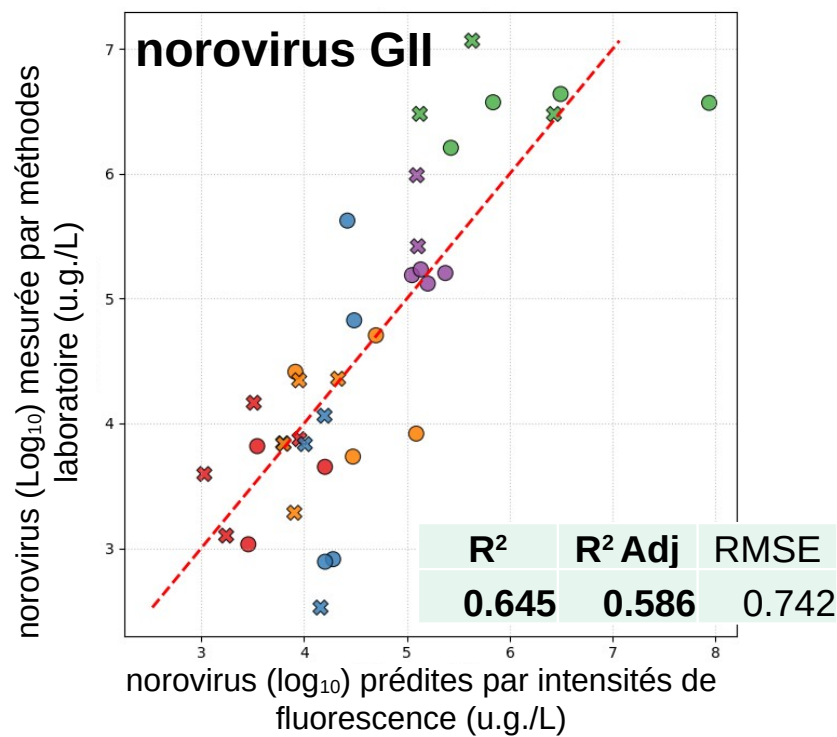
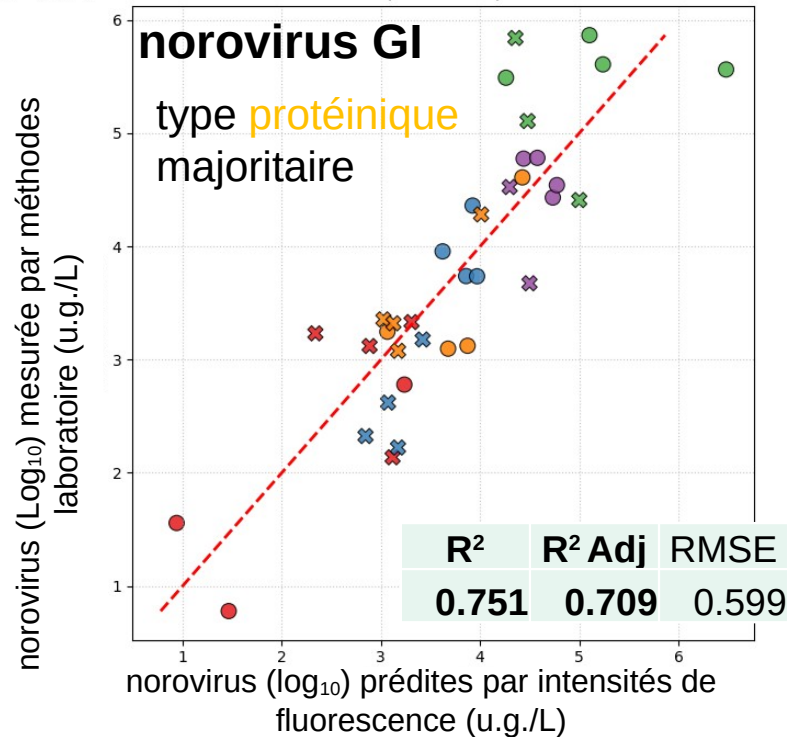
**4 ratios de composantes de type
protéiniques/humiques**

≠

**5 ratios de type protéiniques/humiques
+ 2 composantes type **humique****

≠ Modèles par pathogène + Effet site : quelque soit la météo

Modèles RLM : proxy potentiel selon le génogroupe



4 ratios de type protéinique/humique
+ 1 composante **protéinique**

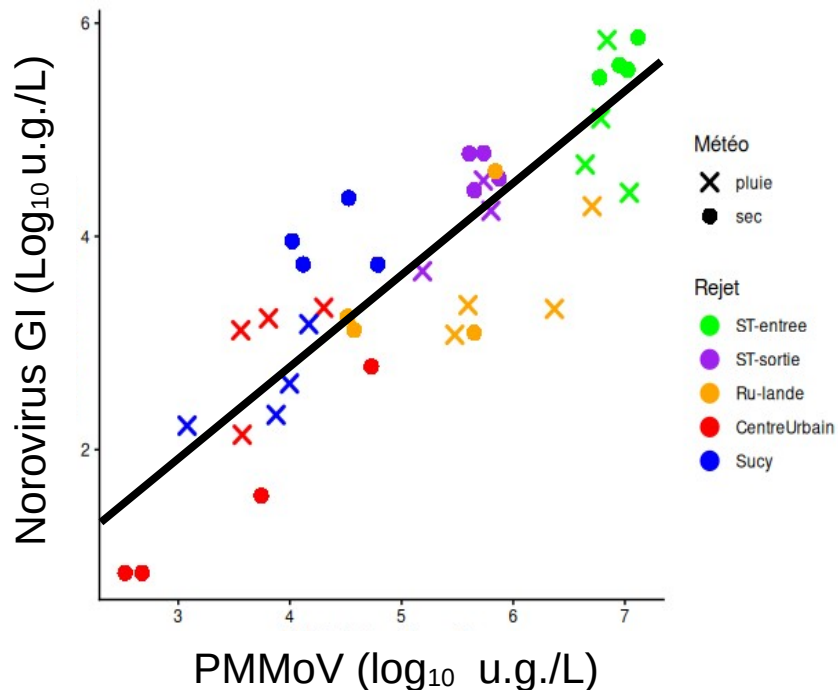
≠

4 ratios de type protéinique/humiques (maj
type **protéinique**) + 1 composante **humique**

≠ Modèles pour les 2 génogroupes.

FRNAPH : ≠ charge et hydrophobicité selon le génogroupe (Fauvel et al., 2017)

Indicateur fécal humain et virus entériques ?



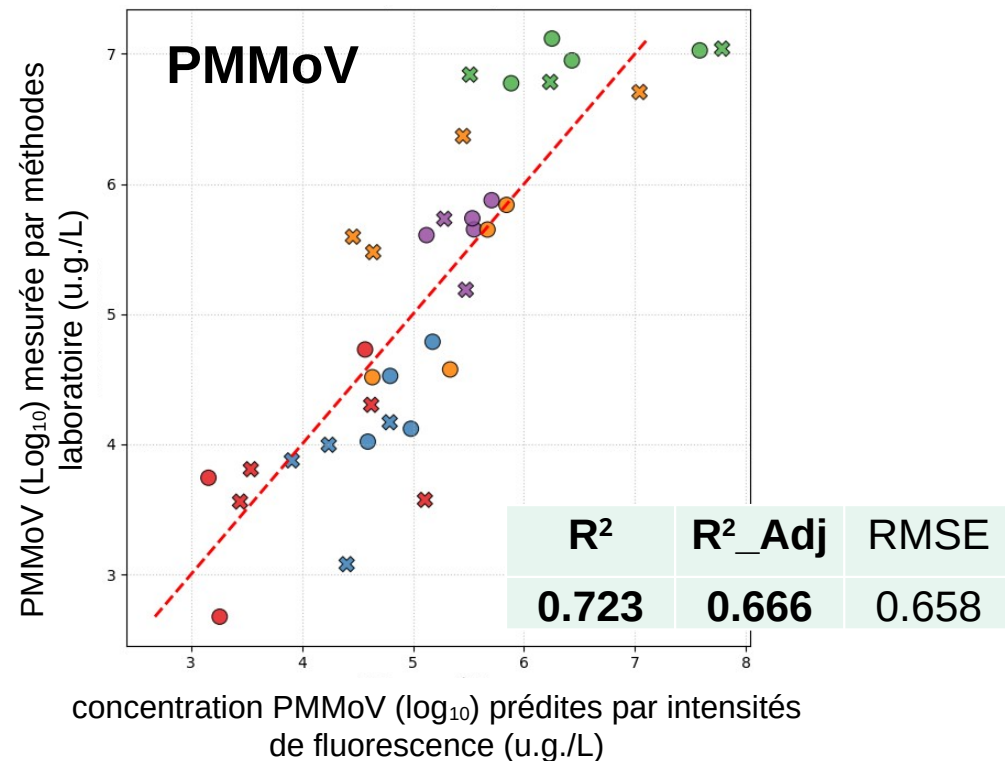
(modèle linéaire,
R² adj = 0.738, p<0.01)

- PMMoV : 3.1 à 7.0 log₁₀ /L
- Corrélation significative entre PMMoV et Les virus entériques

Exemple : norovirus GI

- Utilisé pour normaliser les concentrations virales dans les eaux usées ([Treagus et al., 2025](#))
- **Quelle est sa relation à la MO ?**

3 ratios de composantes de
type protéinique/humiques
(Maj type protéinique)
+ 1 composante **humique**
+ 1 composante **protéinique**



Conclusions

- Meilleure connaissances des apports de pathogènes
 - > récents ou remobilisation dans le réseau
- Développement de premiers proxy encourageants pour le suivi des pathogènes dans les réseaux séparatifs
 - -> Suivi haute fréquence possible
- Besoin de proxy adaptés à chaque pathogènes

Perspectives

- Flux de pathogènes dans les réseaux séparatifs
- Solidité des proxy : vérifier avec d'autres approches (Random forest, RDA, modèles mixtes à effet aleatoire...)
- Mise en évidence de l'effet temps de pluie en normalisant les données avec NH_4^+
- Consolidation : Campagnes 2026 au Centre Urbain et au Ru de la Lande (OPUR 6)

Remerciements

La DAQUAMA du Conseil
Départemental du Val de Marne

La DEA du Conseil Départemental
de la Seine-St-Denis

Stagiaires L3, M2

