

Bactéries indicatrices de contaminations fécales (BIF) dans les rejets urbains de temps de pluie et en Seine.

Claire Thérial & Ludivine Lesage

UPMC : Jean-Marie Mouchel

LEESU : Françoise Lucas

SIAAP : Vincent Rocher UR3 et Alexandre Goncalves UR1

Université Libre de Bruxelles : Pierre Servais



Quelques ordres de grandeur de flux de BIF:

- par les 2 principaux RUTP (Clichy + La Briche) : 100
- par les STEP, traitement standard : 300
- par les STEP si UV/membranes : 0.3



RUTP =

Des apports de plus en plus significatifs en moyenne annuelle

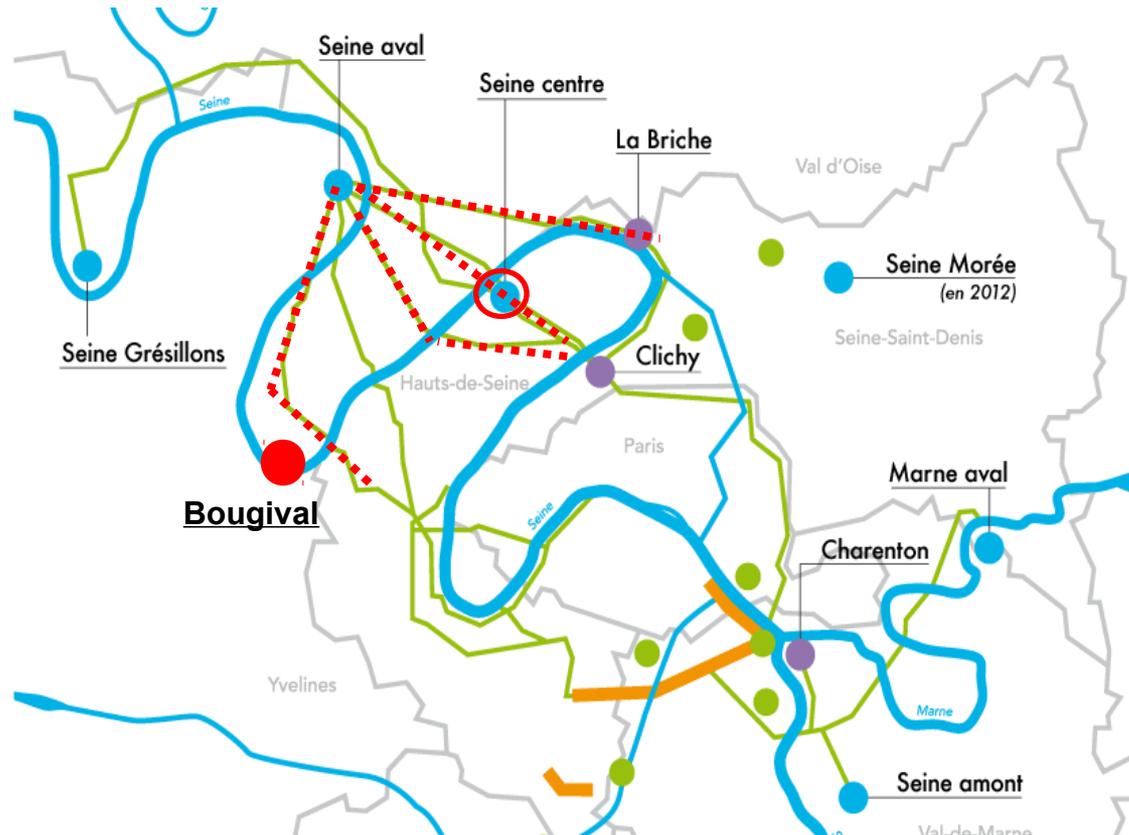
Des pointes de temps de pluie certainement significatives

➤ Objectifs

- Caractérisation des teneurs en BIF en temps sec et de temps de pluie dans le réseau
 - Peut-on les modéliser, avec quelles autres données comme support ?
 - Construire des entrées pour des simulations d'impact avec ProSe ?
- Observations en Seine
 - Mise en évidence de situations sévères en temps de pluie
 - Existence de mécanismes de perte/transfert de BIFs

Sites de prélèvement:

- Site de Colombes Seine Centre (SCE): Eau Résiduaire Urbaine
 - Similaire en qualité par temps de pluie aux rejets de Clichy
- Site de Bougival en Seine



Campagnes en 2010 et 2011

	Seine Centre	Bougival
Temps sec	<ul style="list-style-type: none"> - 8 campagnes entre 2010 et 2011 - Eau prétraitée - Éch. Moyen 1h - 12 éch. 2010, 6 en 2011 	<ul style="list-style-type: none"> - 6 campagnes entre 2010 et 2011 - Eau de Seine - Éch. Moyen 1h - 5 éch.
Temps de pluie	<ul style="list-style-type: none"> - 11 campagnes entre 2010 et 2011 - Eau prétraitée - Éch. Moyen 1h - 5 à 6 éch. Selon conductivité et O₂ 	<ul style="list-style-type: none"> - 11 campagnes entre 2010 et 2011 - Eau de Seine - Éch. Moyen 1h - 5 à 6 éch. Selon quantité d'oxygène dissous (ODES)

- **Analyses de base : de quoi est constituée l'eau**
 - NH_4^+ , conductivité
 - Apports d'eaux de ruissellement, eaux usées vs exhaure...
 - MES, turbidité
 - Présence de particules, érosion par temps de pluie
- **Analyses microbiologiques : les BIF**
 - Dénombrement normalisé sur microplaques
 - **E. coli (EC)**
 - **Entérocoques intestinaux (EI)**
- **Bactéries libres : mieux apprécier la sédimentation**
 - protocole de Characklis (2005)
 - séparation par centrifugation (validé sur billes de silice et latex)

Campagnes 2010-2011

Données de Seine-Centre

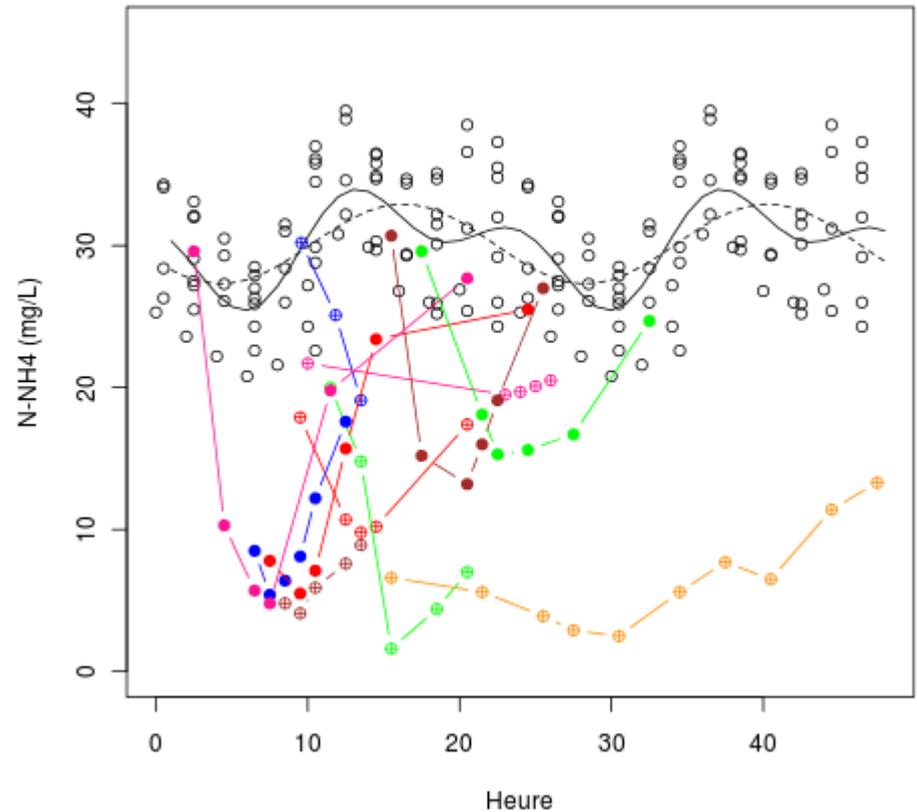
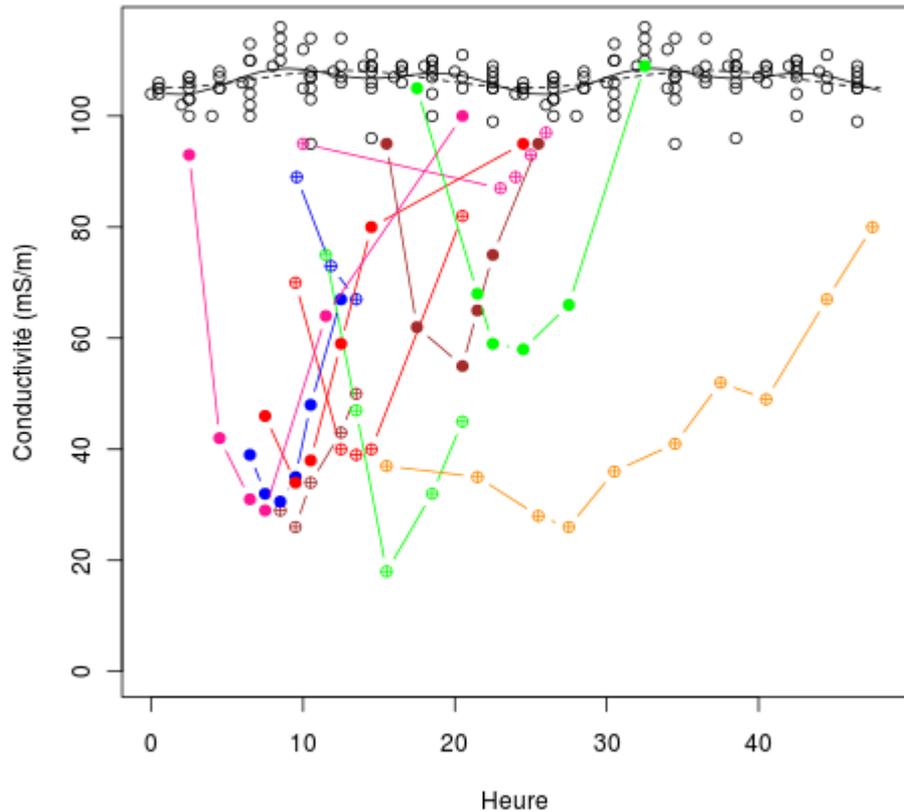
	10/6/2010
	3/7/2010
	12/7/2010
	14/7/2010
	11/8/2010
	15/8/2010
	26/8/2011
	4/9/2011
	11/9/2011
	17/8/2011
	5/11/2011



Données de Bougival

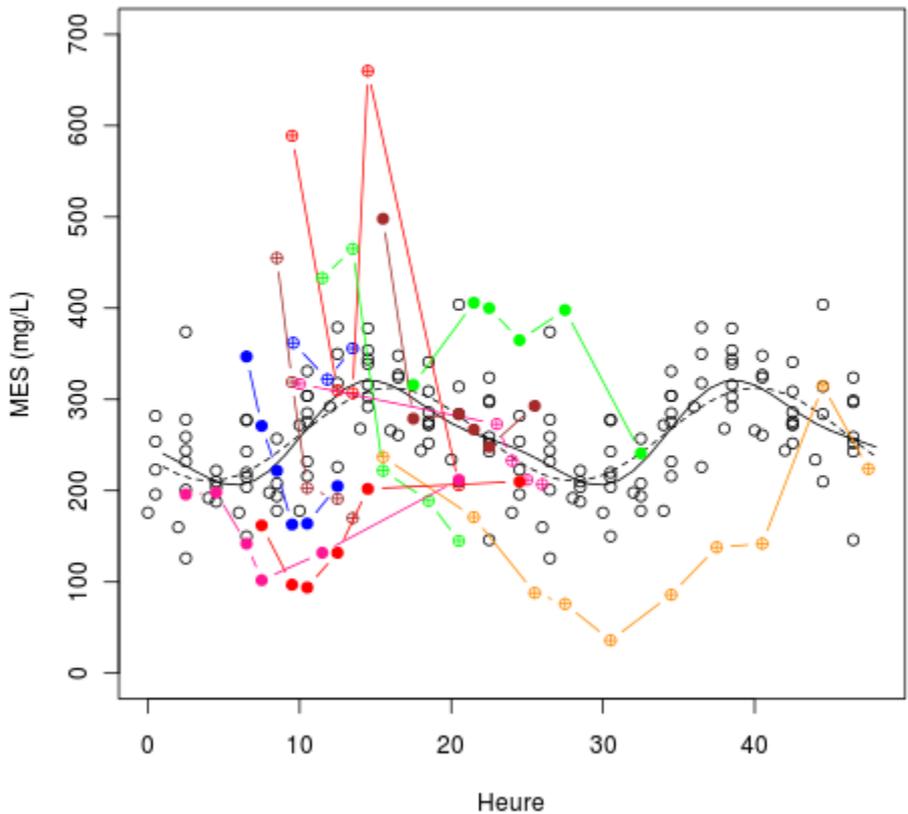
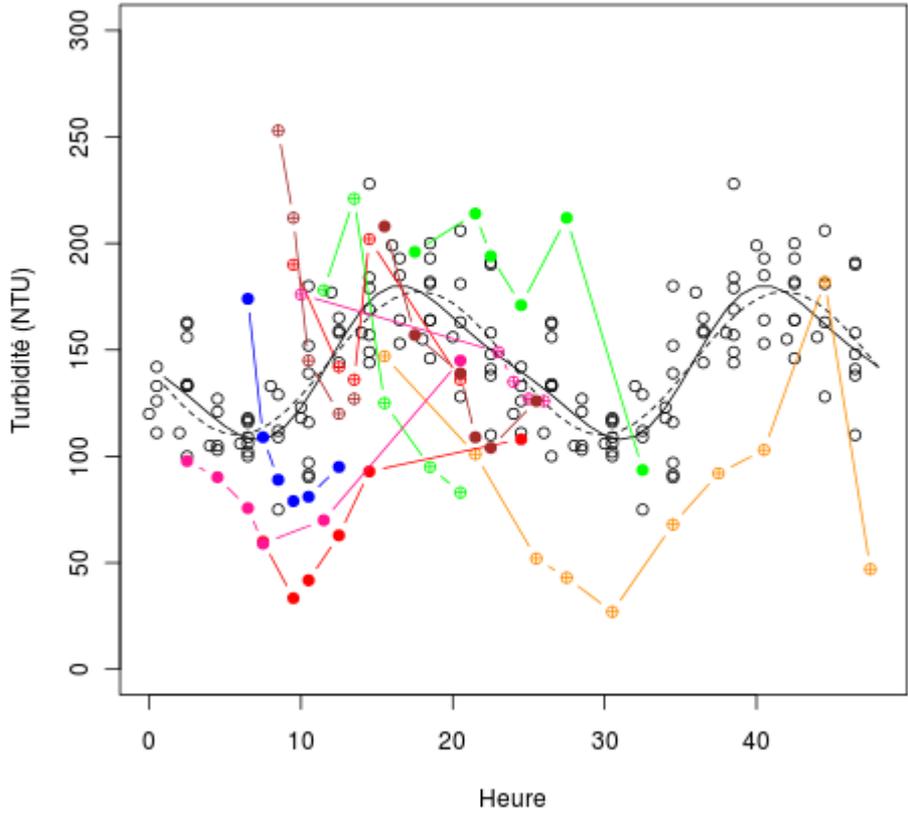
	15/7/2010
	16/8/2010
	24/8/2010
	8/9/2010
	15/9/2010
	24/9/2010
	27/8/2011
	5/9/2011
	12/9/2011
	18/9/2011
	6/11/2011

Eaux résiduaires, dilution par temps de pluie

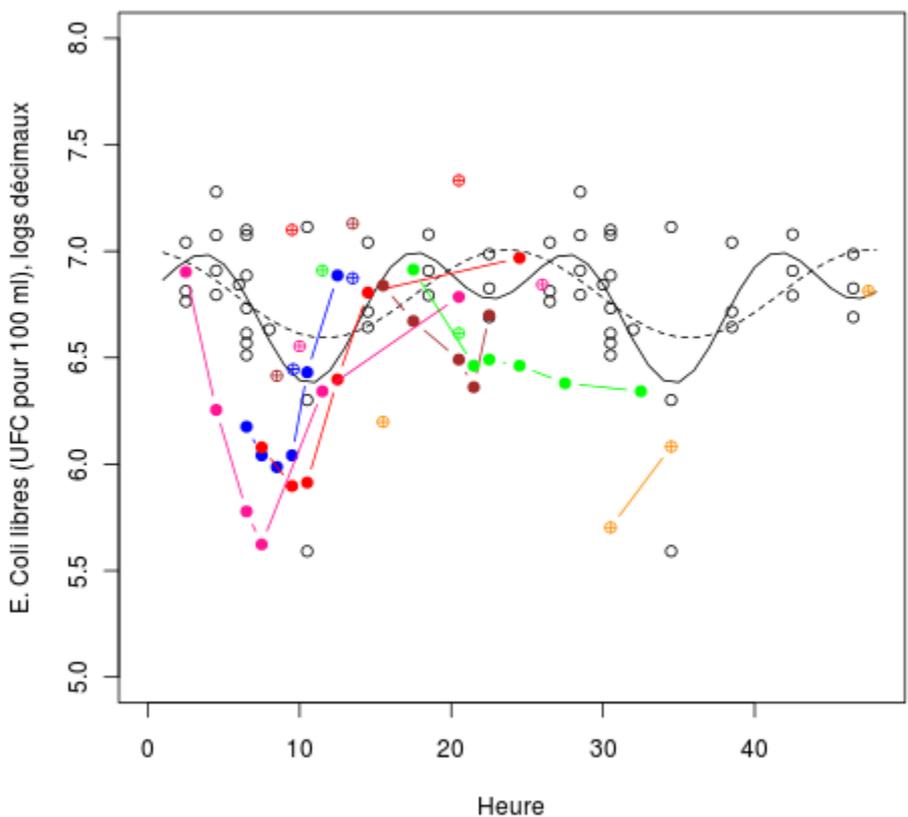
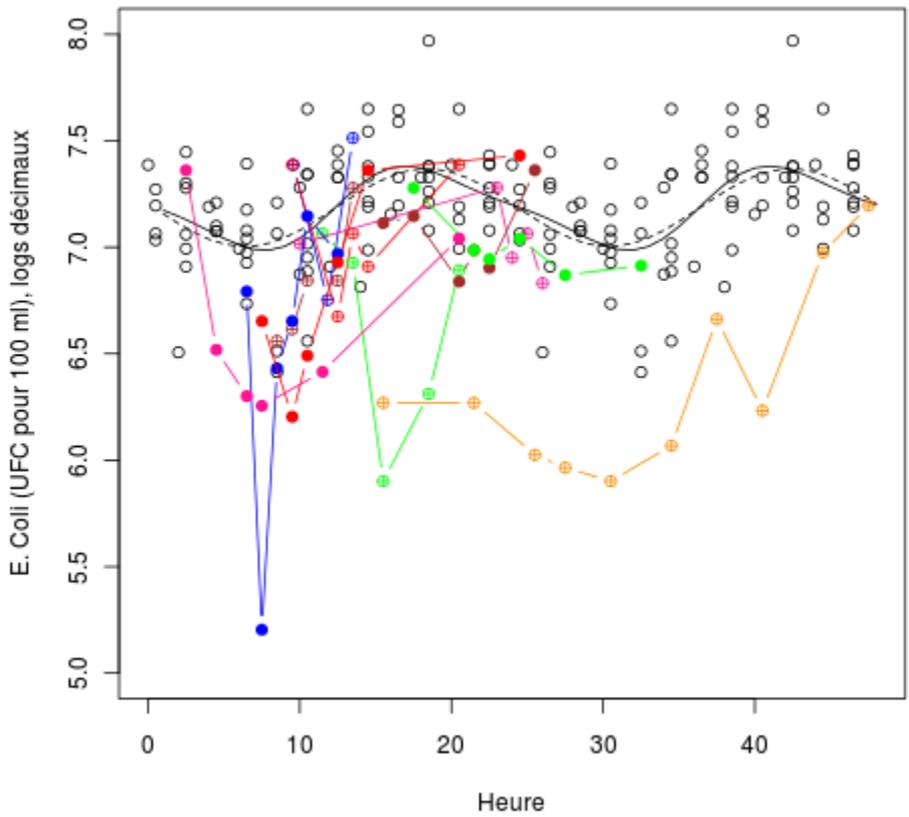


- En noir, le temps sec, avec des ajustements sinusoïdaux journaliers
- En couleur, les événements suivis

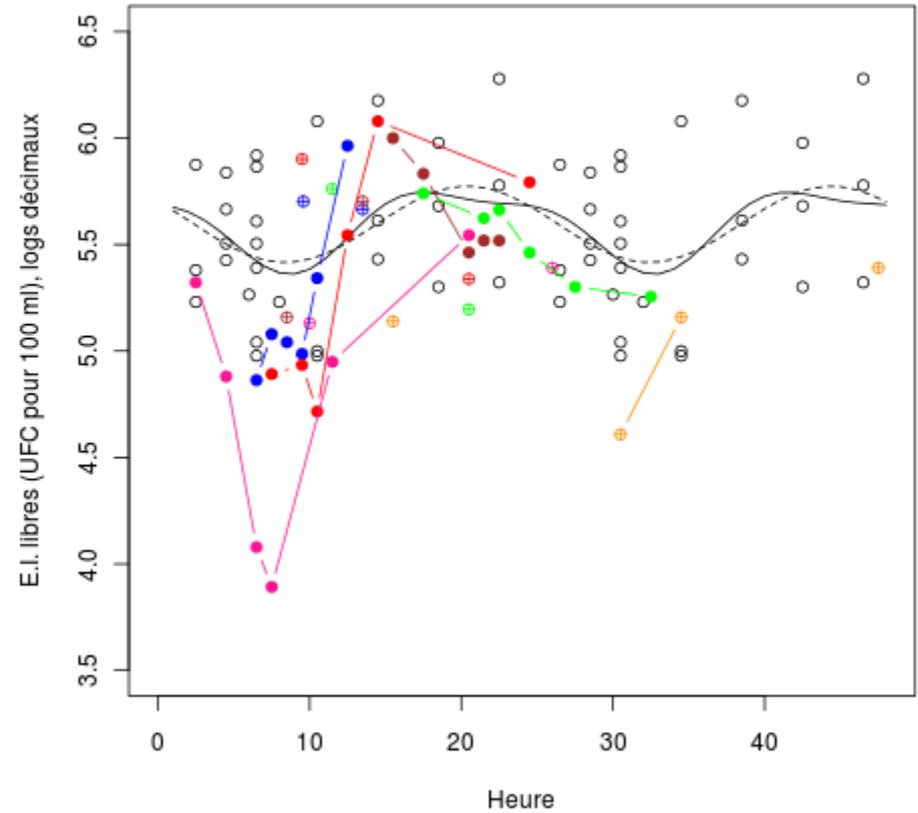
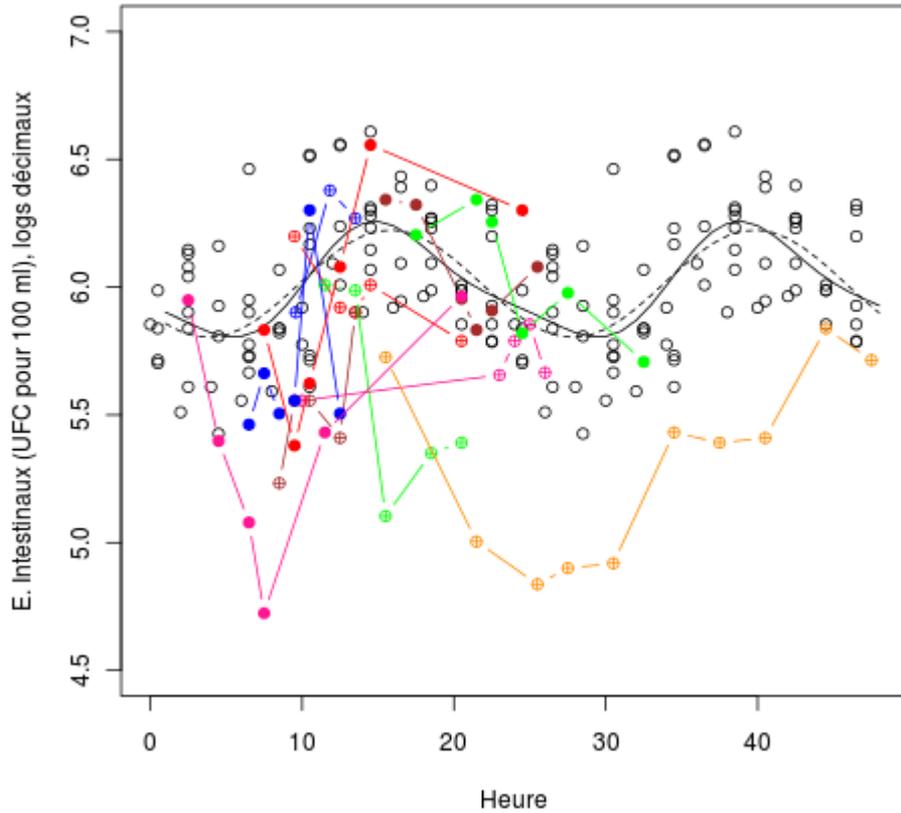
Les particules : des dilutions et des concentrations



BIF : une tendance à la dilution



Comportement similaire pour les E.I.



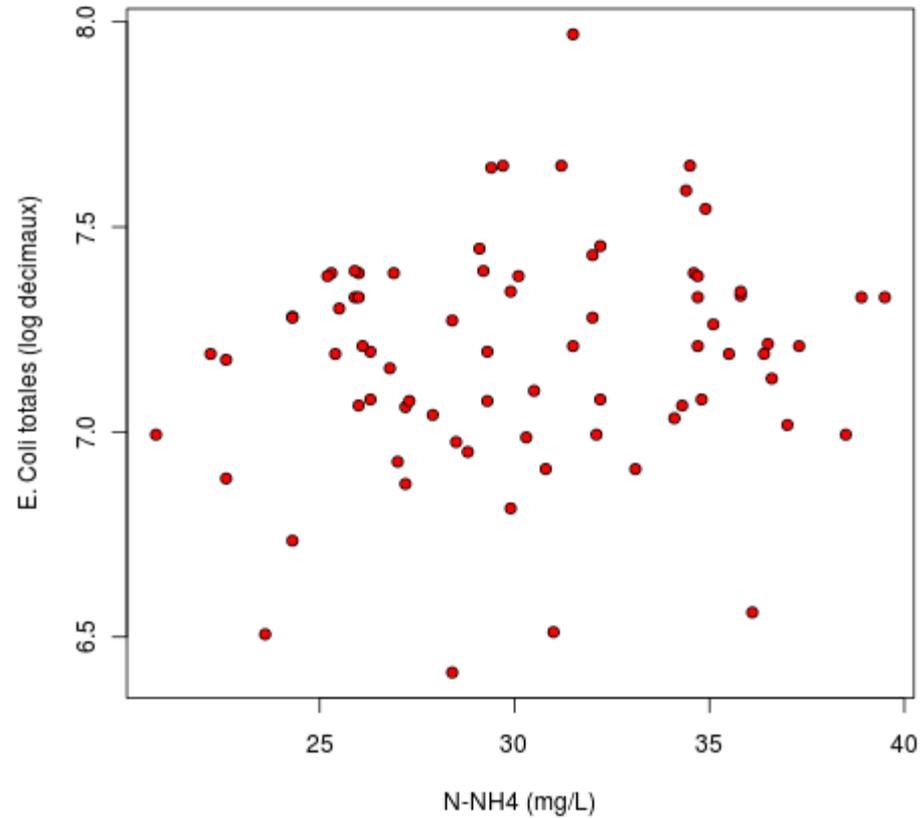
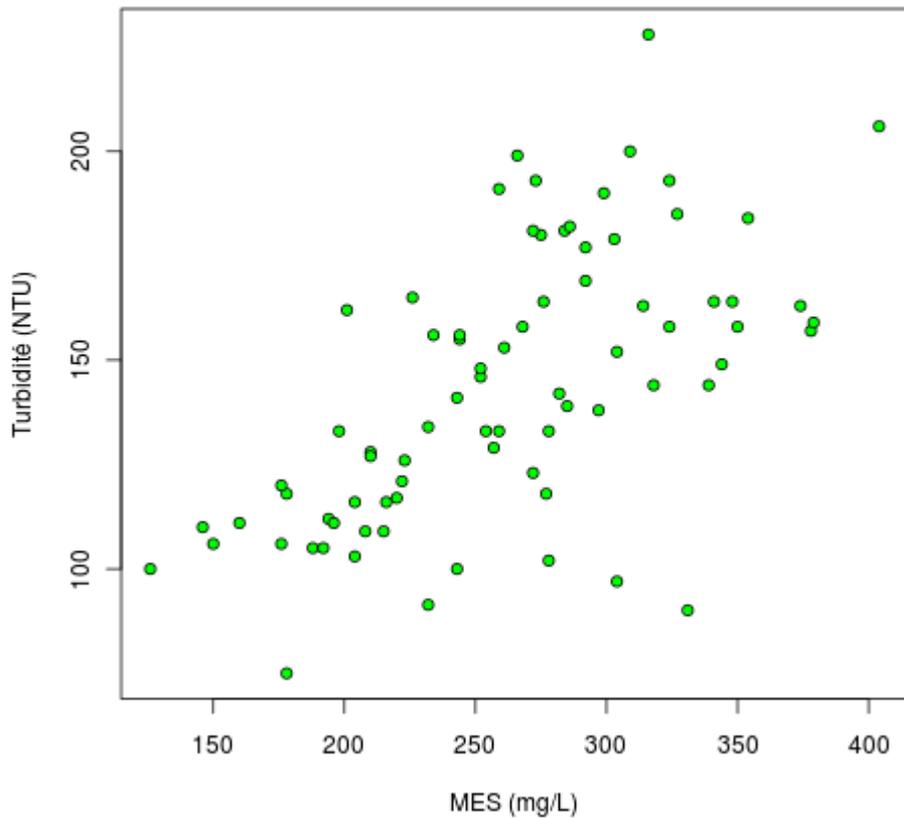
Variations journalières significatives ?

	ANOVA			cosinus		un cosinus et sa 1 ^{ère} harmonique	
	n	heure optimale	signif	variance	signif	variance	signif
Cond	77	1:00 ou 2:00	4%	8%	n.s.	14%	n.s.
N-NH ₄	78	1:00 à 4:00	<u>< 0.01%</u>	19%	n.s.	30%,	9.6%
MES	78	toutes heures	<u>< 0.01%</u>	36%	3.6%	39%,	3.4%
Turbidité	78	toutes heures	<u>< 0.01%</u>	54%	0.06%	57 %	0.05%
EC. tot (log)	76	5:00	0.06 %	22%	n.s.	24%	n.s.
EC.libres (log)	28	1:00 ou 2:00	6.8%	15%	n.s.	31%	n.s.
E.I. tot (log)	77	3:00 à 5:00	<u>< 0.01%</u>	30%	8.0%	31%	8.4%
E.I. libres (log)	28	-	n.s.	11%	n.s.	13%	n.s.

Corrélations entre paramètres

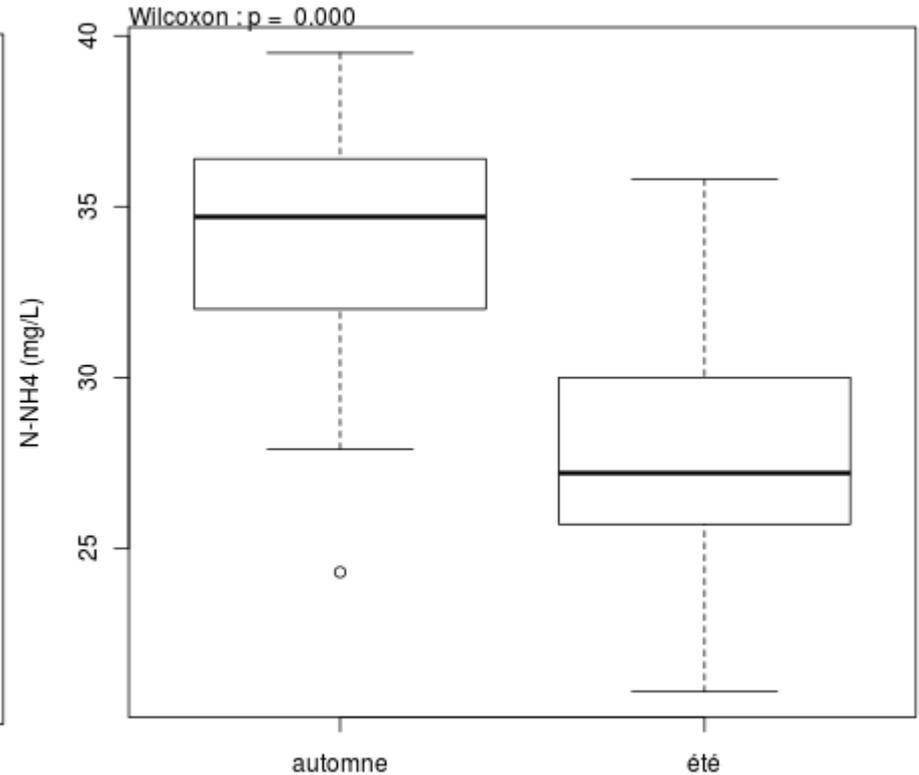
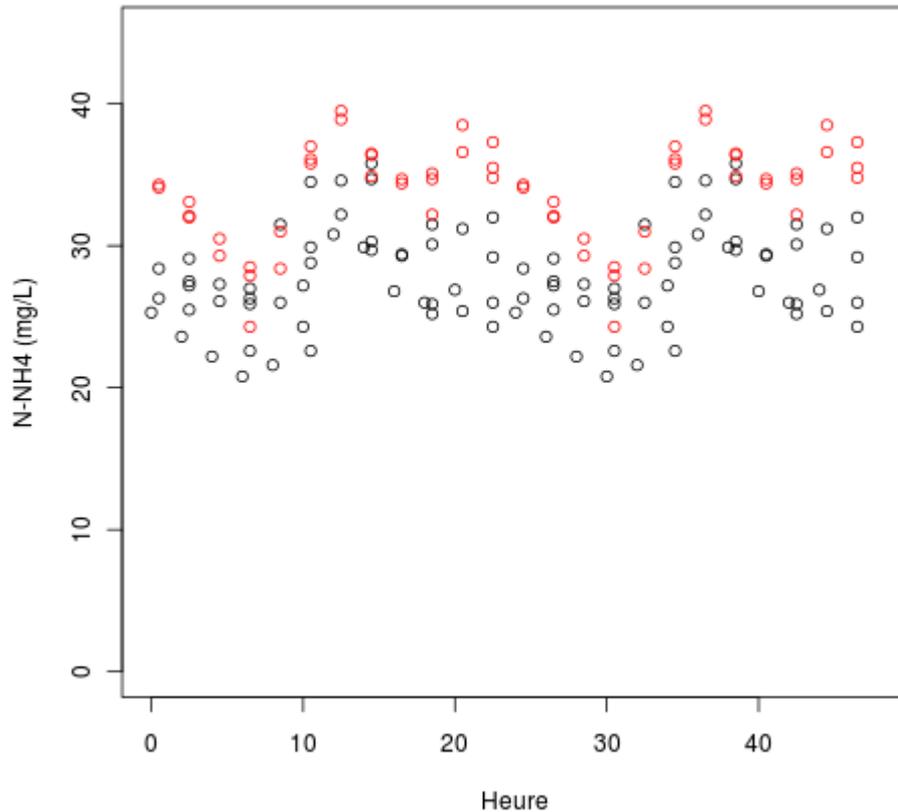
	MES	Turb	Cond	N-NH ₄	E.C. tot	E.C. lib	E.I. tot	E.I. Lib
MES	--	0.62***	0.08-	0.56***	0.25*	0.19-	0.52***	0.36*
Turb	<0.01%	--	0.09-	0.48***	0.34**	0.12-	0.34**	0.33*
Cond	45%	41%	--	0.07-	-0.08-	-0.07-	-0.12-	-0.27-
N-NH ₄	<0.01%	<0.01%	54%	--	0.15-	0.18-	0.54***	0.63***
E.C. tot	2.6%	0.3%	49%	21%	--	0.16-	0.45***	0.28-
E.C. lib	33%	56%	72%	36%	44%	--	-0.03-	0.49**
E.I. tot	<0.01%	0.3%	28%	<0.01%	<0.01 %	87%	--	0.29-
E.I. lib	6.2%	8.9%	16%	0.03%	15%	0.8%	15%	--

« Bonnes » et mauvaises corrélations



« Visualiser les corrélations »

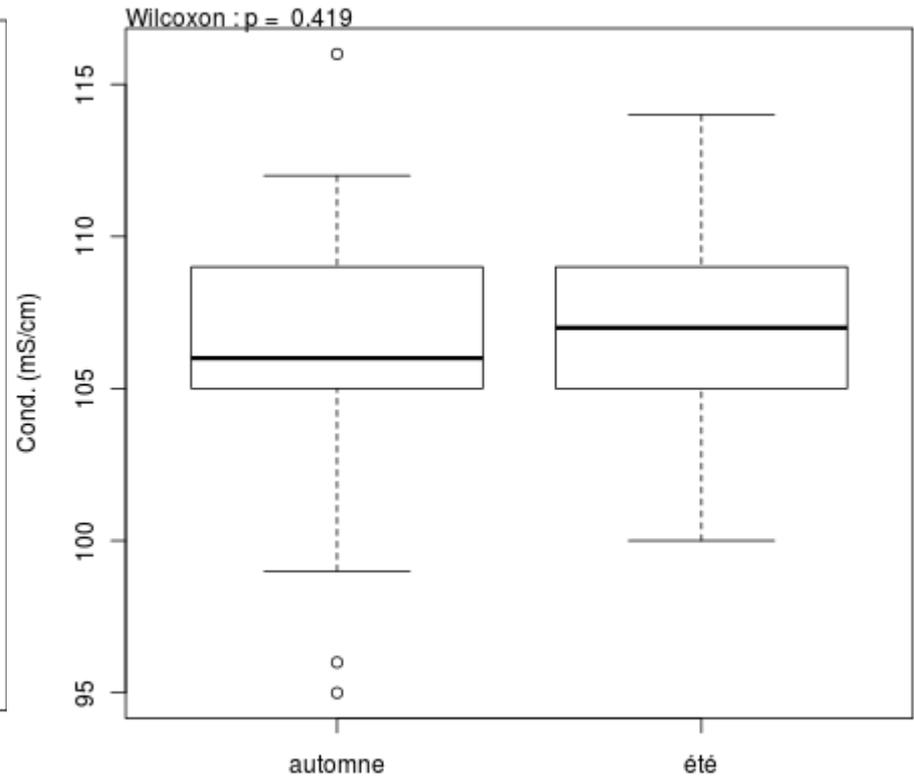
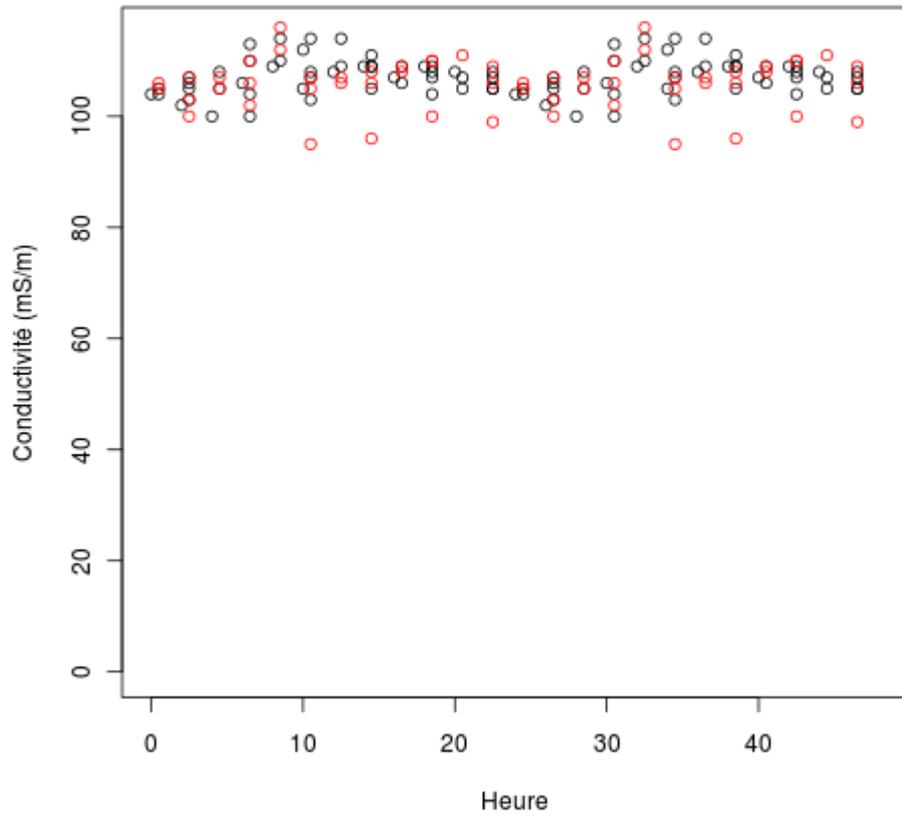
La forte variabilité de l'ammonium



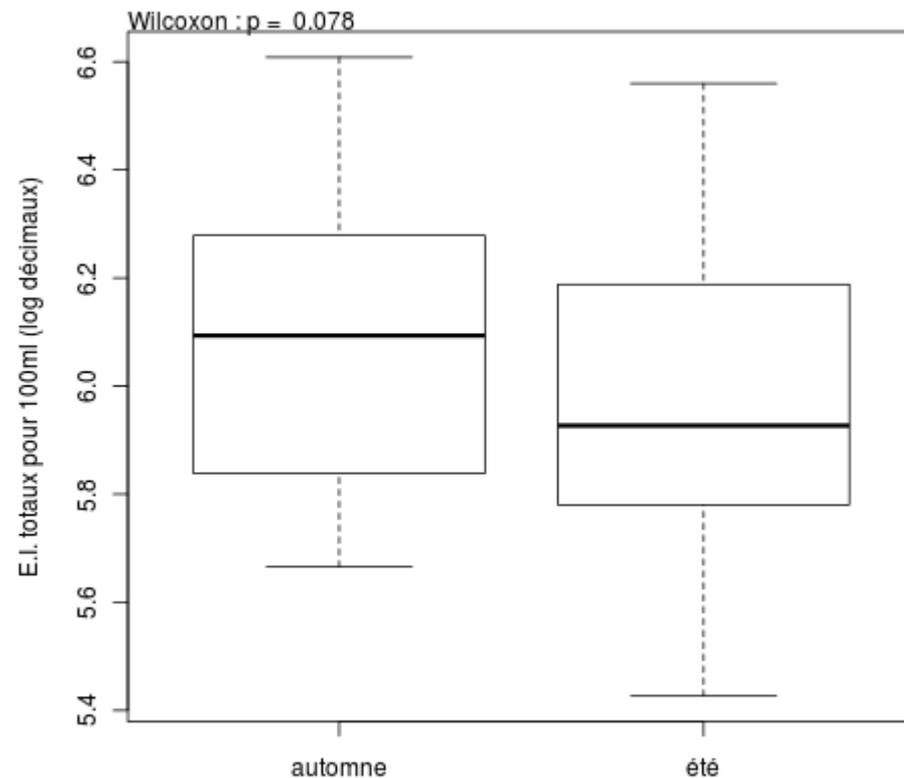
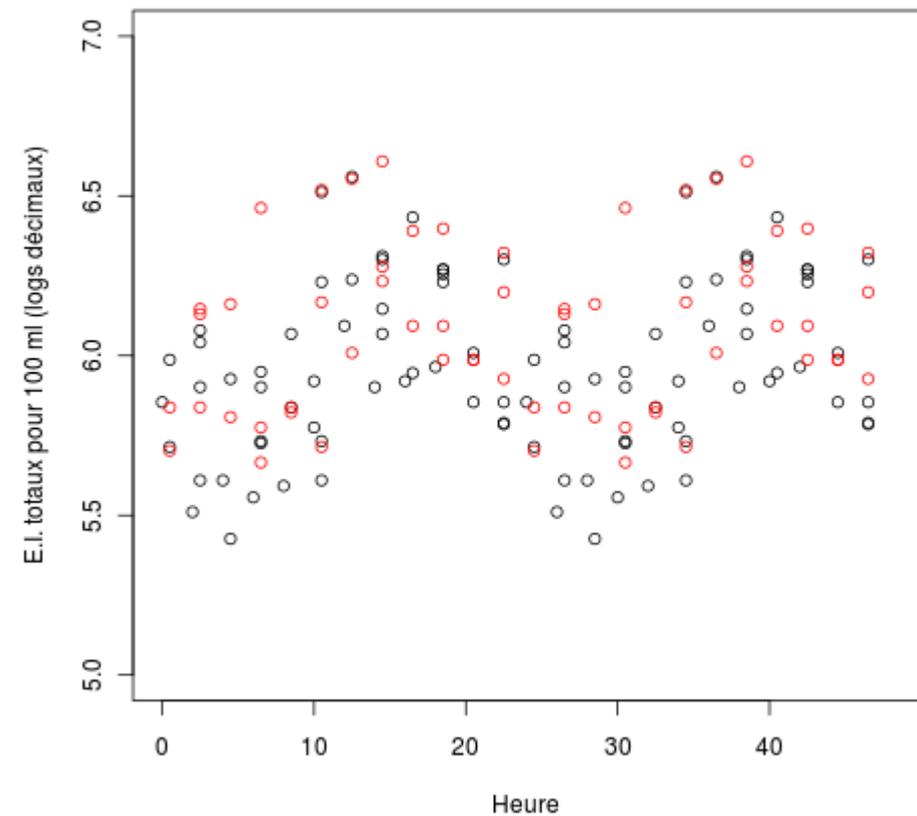
Elle est due à une variabilité saisonnière (**automne** versus été pour ce jeu de données)

La variabilité saisonnière masque la qualité des ajustements sinusoïdaux

Pas de saisonnalité pour la conductivité

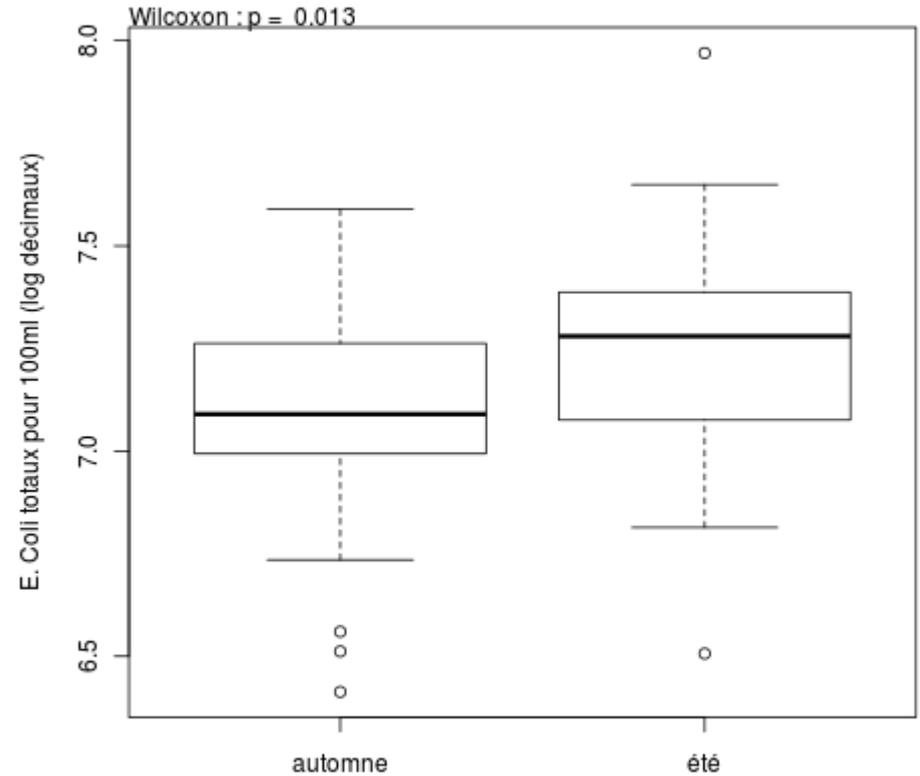
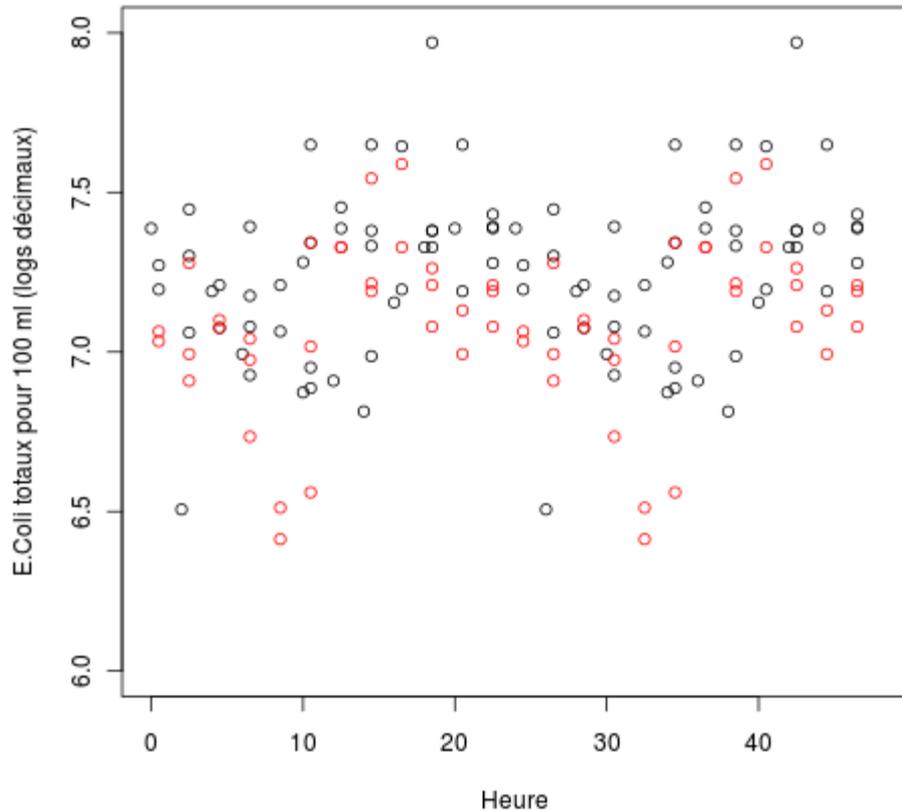


Faible saisonnalité pour EI

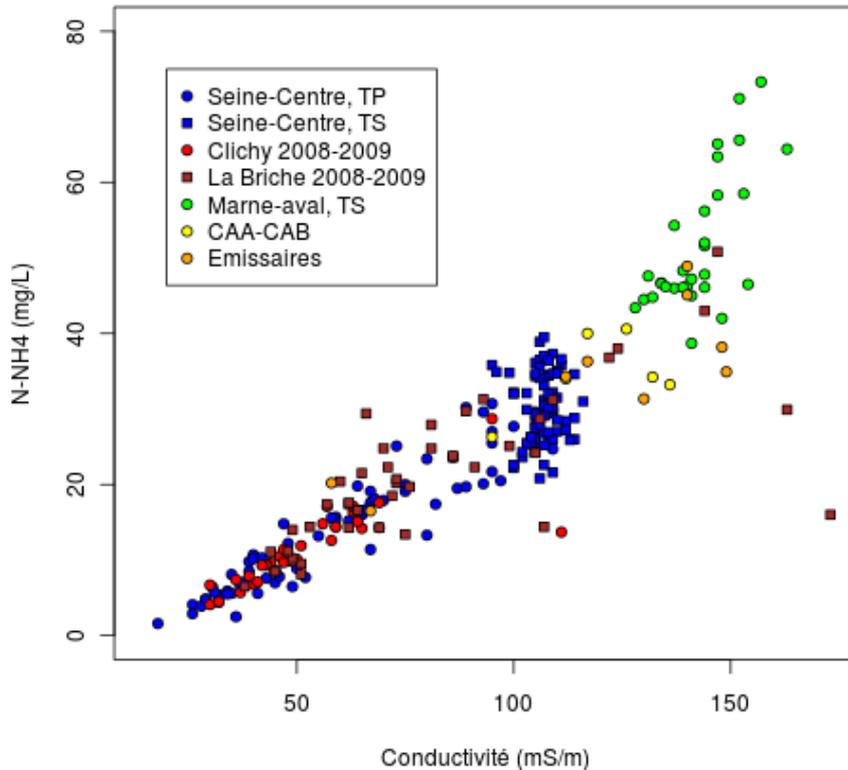


En cohérence avec l'ammonium, eaux vannes moins concentrées et moins de BIF en été

Saisonnalité opposée pour E. Coli



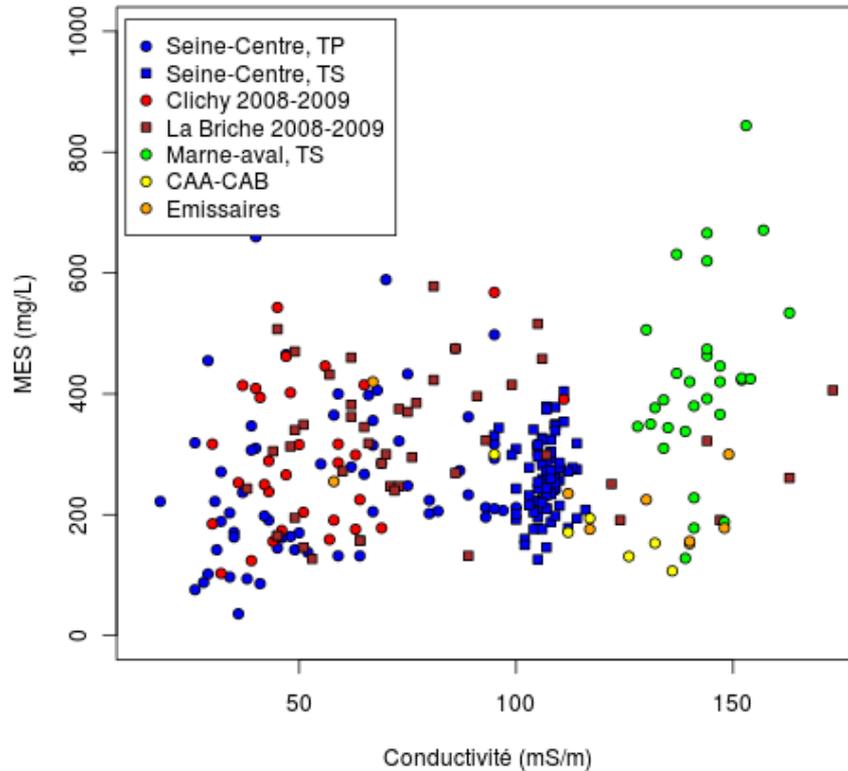
Des effets saisonniers mis en évidence statistiquement, mais qu'il est difficile de monter en généralité car il n'y a pas d'explication physique satisfaisante



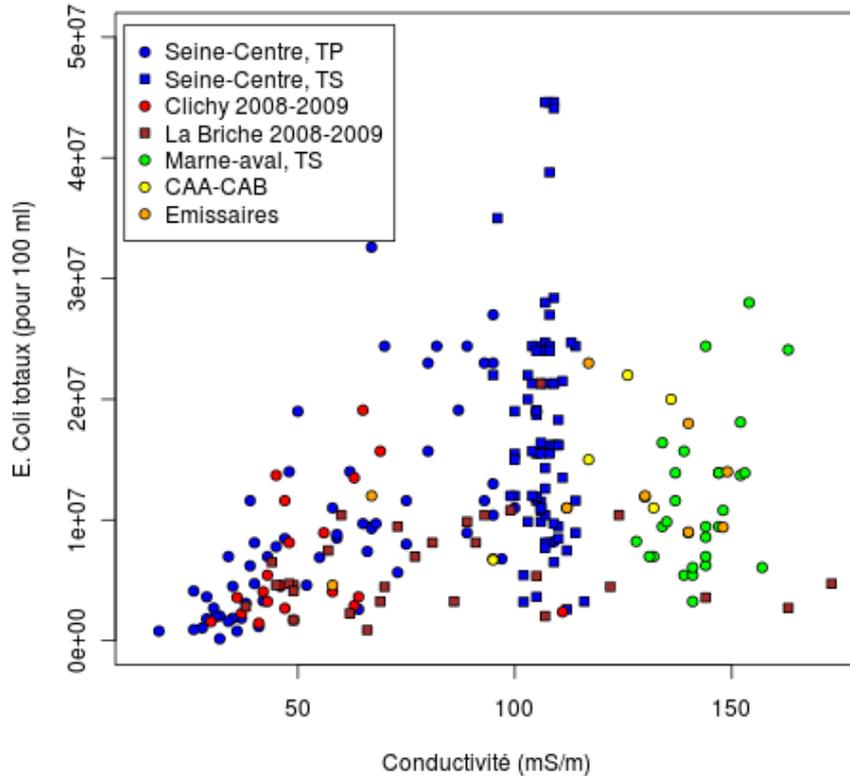
Données issues de :

- Cette étude
- Suivis par événements Clichy et La Briche
- Autres données dans le réseau du SIAAP

Effet de dilution conjoint par temps de pluie évident entre 0 et 120 mS/m de conductivité à Clichy et La Briche
Des eaux sur-concentrées en NH_4 et charge ionique (Cond.) en d'autres parties du réseau

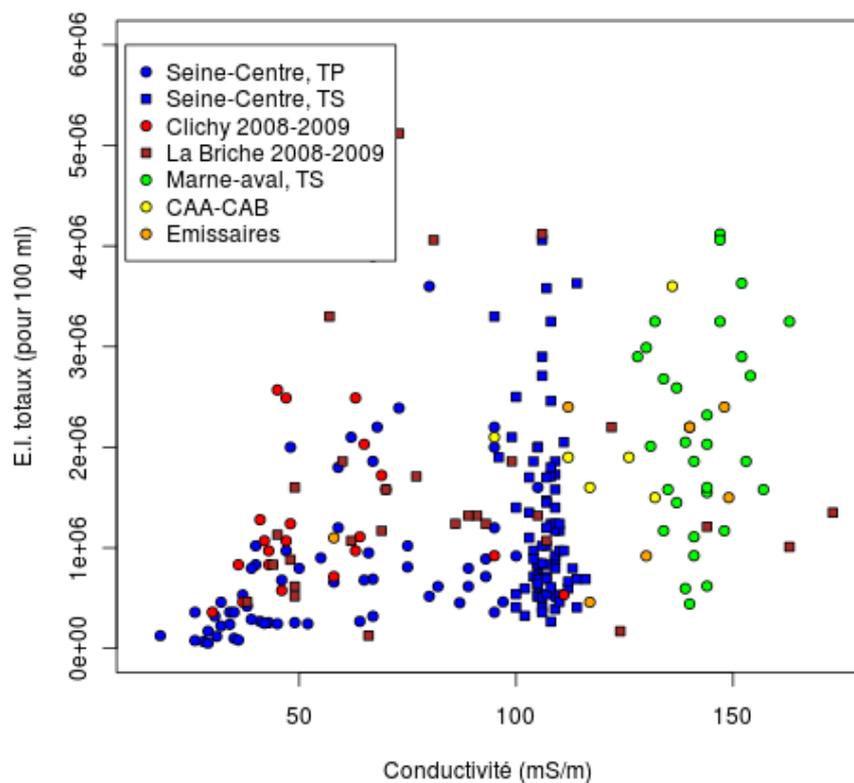


- Pas d'effet de dilution de temps de pluie pour toutes les séries collectées à Clichy et la Briche
- Des trajectoires spécifiques pour chaque événement



- Effet de dilution par temps de pluie visible pour les conductivités < 110 mS/m
- Mais la variabilité de temps produit un faisceau de dilution à la place d'une droite
- La signature des eaux de temps sec n'est pas uniforme (e.g. Marne-aval)

E.I. dans le réseau SIAAP



Des signatures encore un peu différentes pour les EI

Synthèse eaux de réseau

- Une variabilité certaine de temps sec
 - Journalière
 - Saisonnière
 - Spatiale (en différents points du réseau)
- Modélisable dans une certaine mesure
- Dilution en temps de pluie semble un phénomène dominant
 - NH_4 , BIF
 - Pas pour les MES, chaque événement ayant sa propre signature

Un modèle stochastique pour les BIF

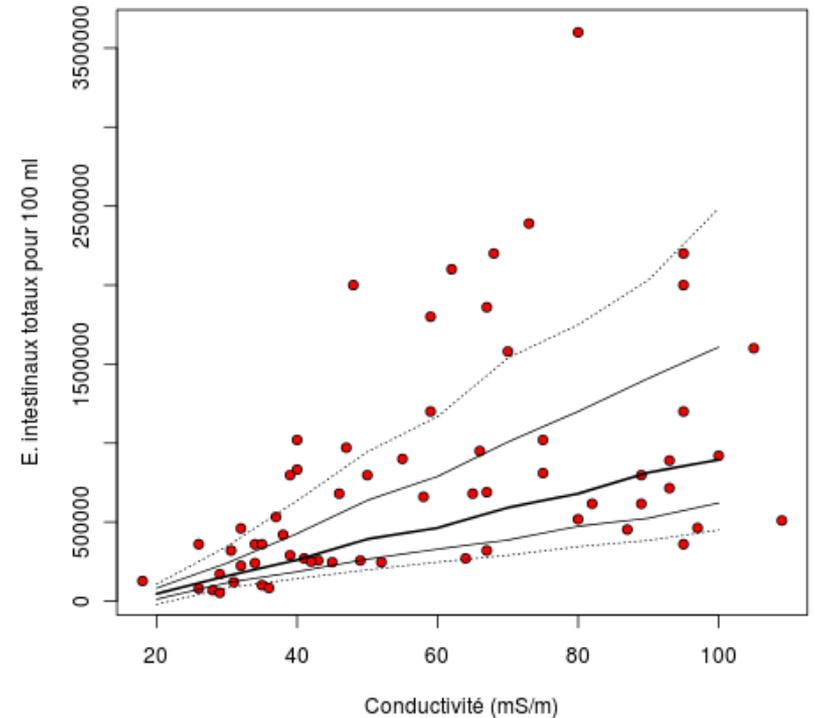
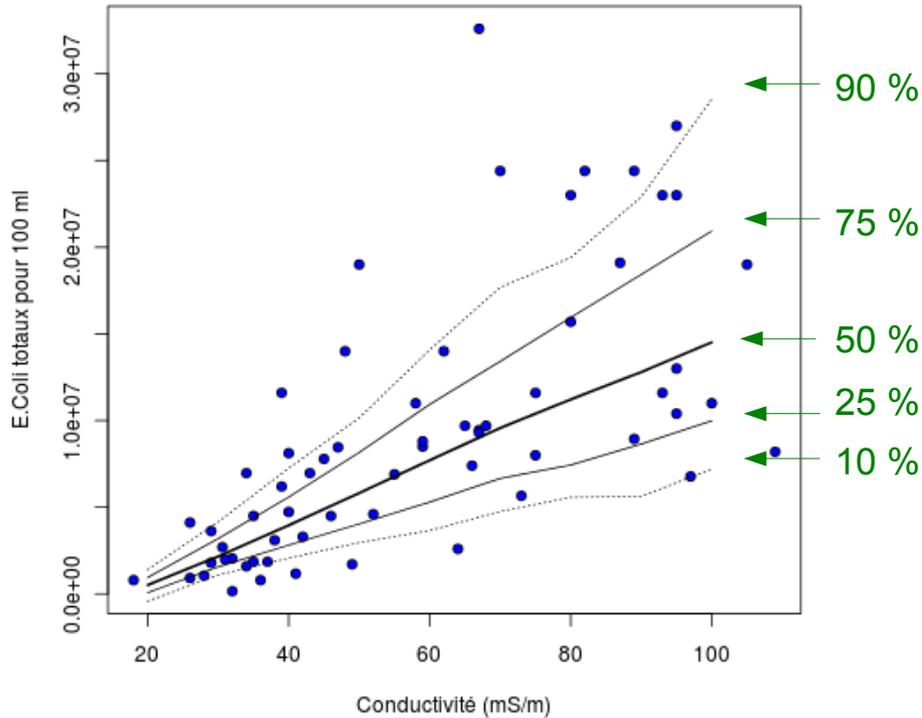
- Conductivité d'un échantillon : C_E
=> mesuré
- Conductivité des eaux usées : C_{EU}
=> variabilité mesurée (tirée au hasard dans les échantillons)
- Conductivité des eaux de ruissellement : C_R
=> variabilité estimée (uniforme entre 15 et 25 mS/m)

$$F_{ruiss} = (C_E - C_{EU}) / (C_R - C_{EU})$$

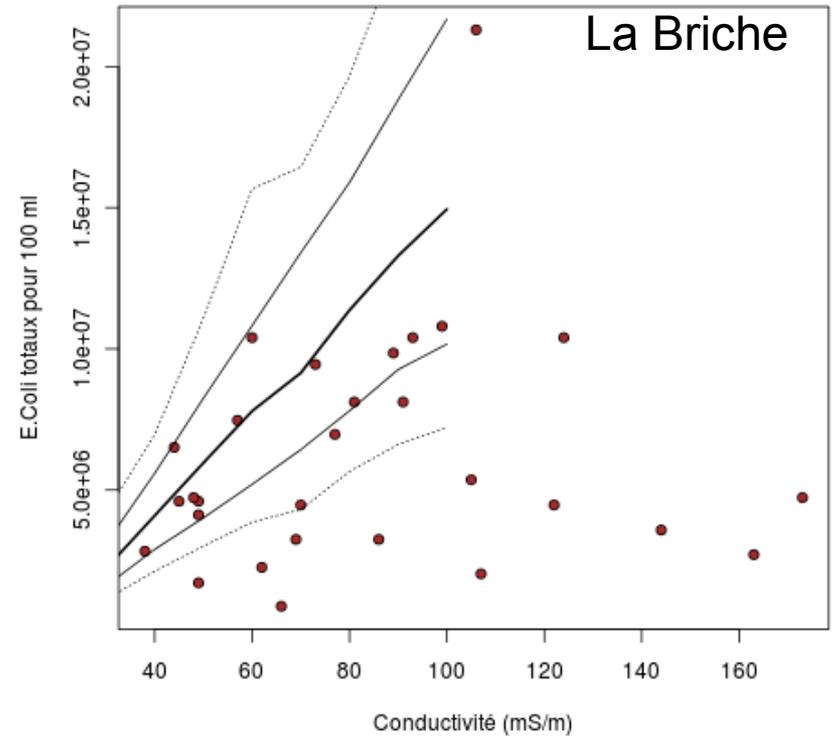
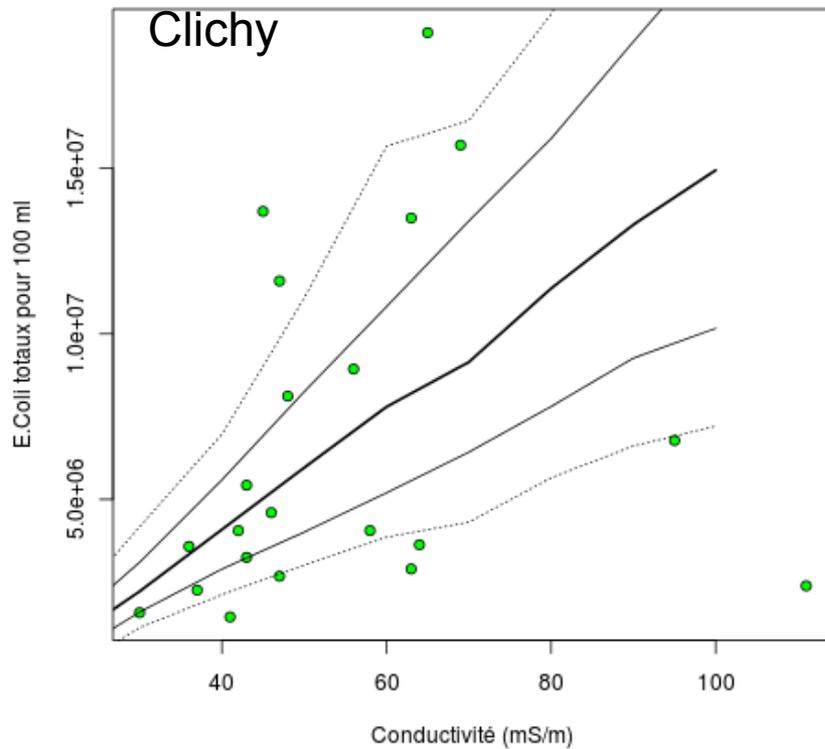
- E.Coli dans les eaux usées : EC_{EU}
=> variabilité mesurée (tirée au hasard dans les échantillon)
- E.Coli dans les eaux de ruissellement : EC_R
=> variabilité estimée (uniforme 0 à 10^6 pour 100 ml)

$$EC = EC_R * F_R + (EC_{EU}) * (1 - F_R)$$

Simulation statistique des BIF



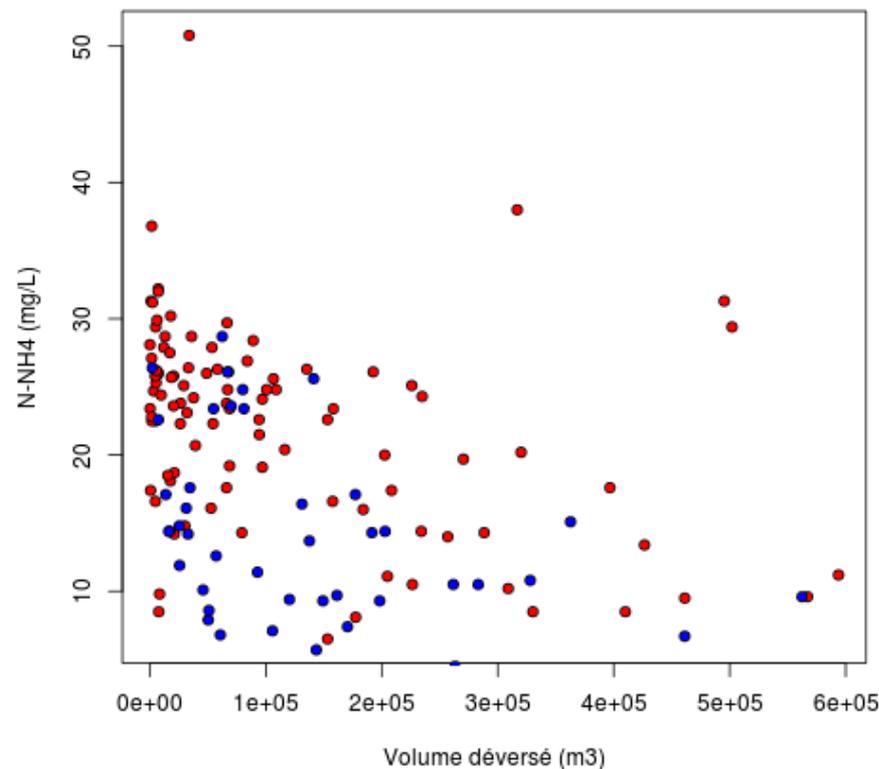
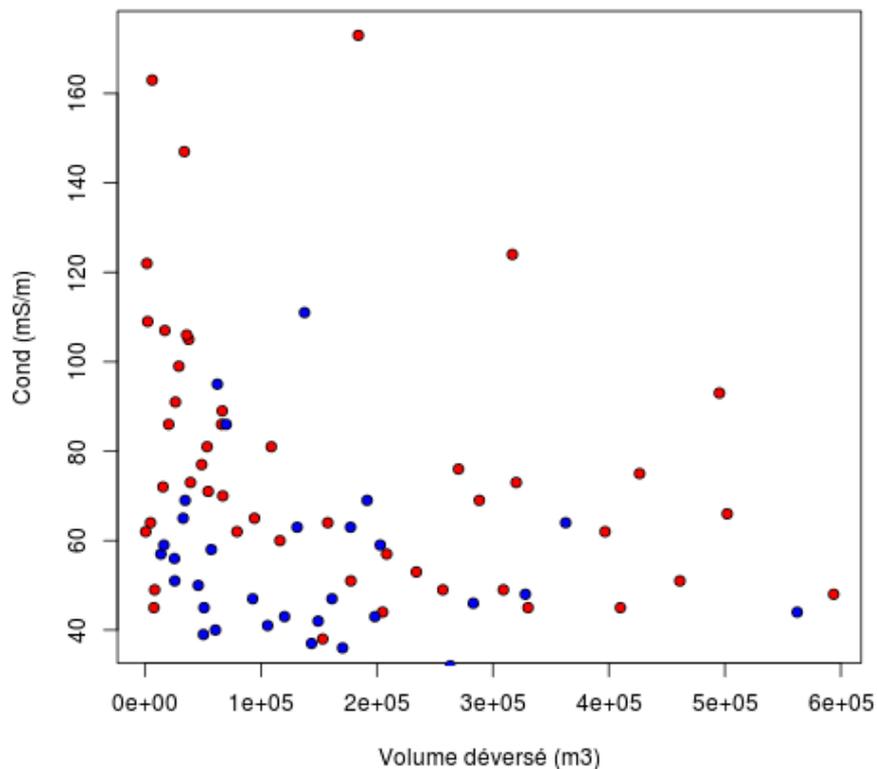
- Simuler les BIF à partir de la conductivité
- Modélisation stochastique donne des résultats proches de ce qui est observé
 - Quantiles modélisés (voir figure) : 10 %, 25 %, 50 %, 75 %, 90 %
- Trop de point au dessus de 90% (~ 2 x)
 - Autres sources de BIF possibles (liées aux excès de MES dans certains événements ?)



- Données moyenne par événement
- Acceptable pour Clichy
- Problème à La Briche, qualité des eaux de temps sec différente, hétérogénéité du réseau

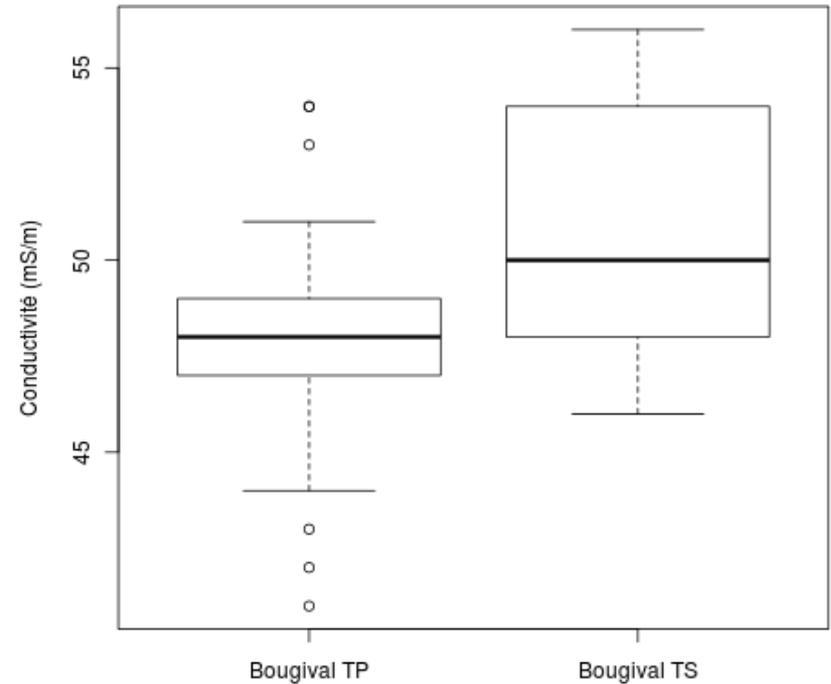
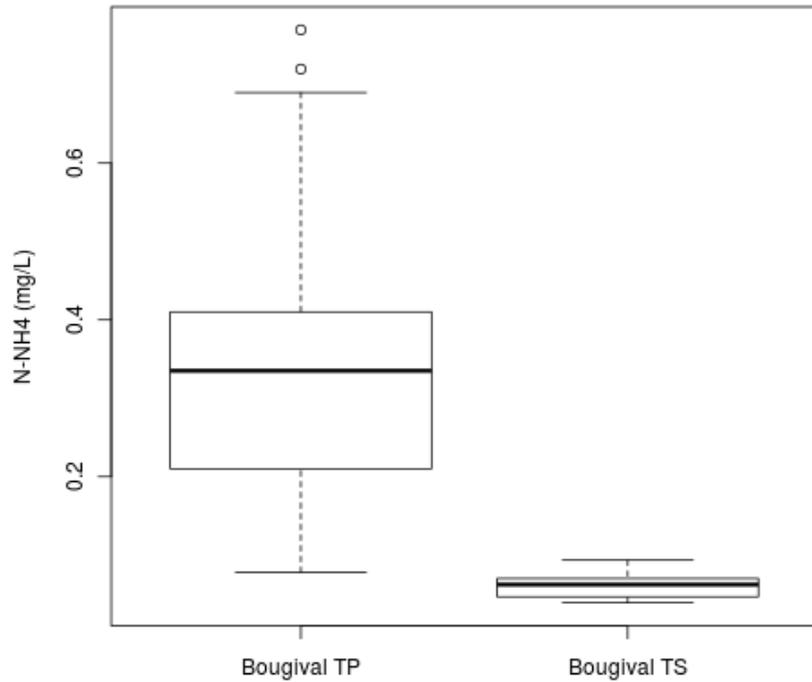
Estimer la conductivité ?

(La Briche en rouge, Clichy en bleu)



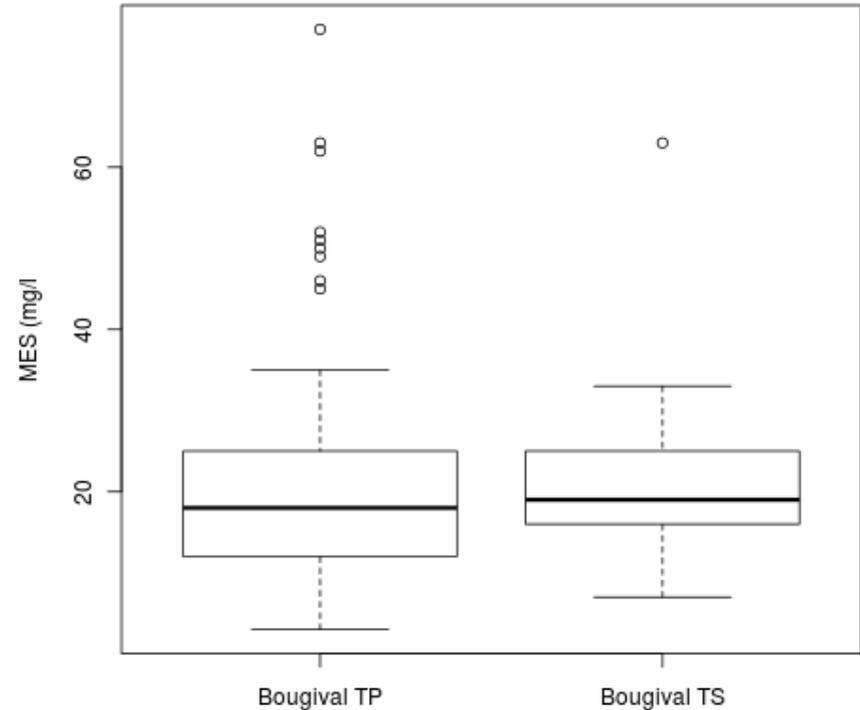
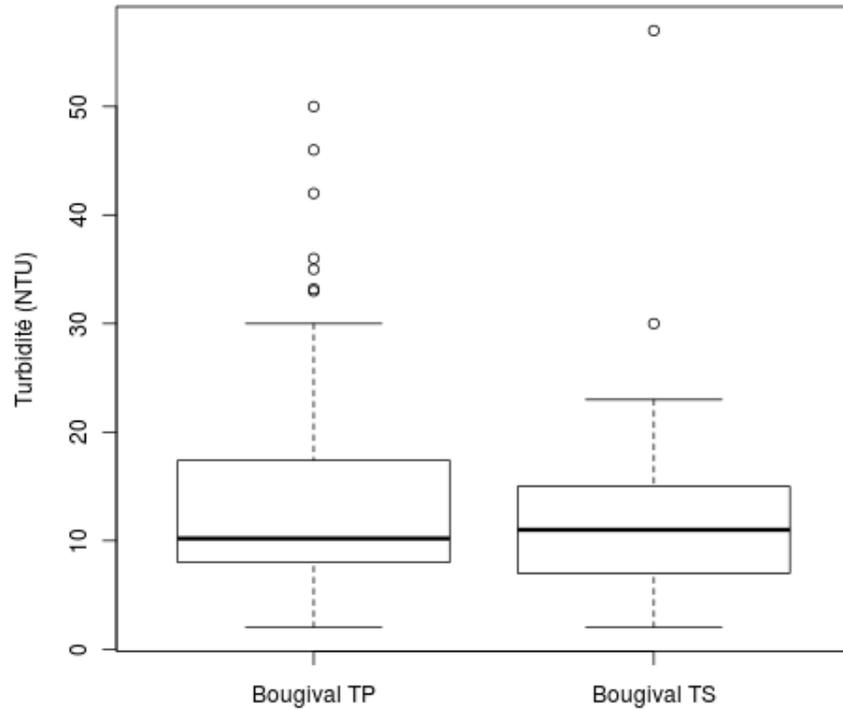
- A partir du volume rejeté => pas terrible !!!
- Autres pistes :
 - Modéliser dans le réseau
 - Mesurer directement la conductivité

A Bougival par temps de pluie

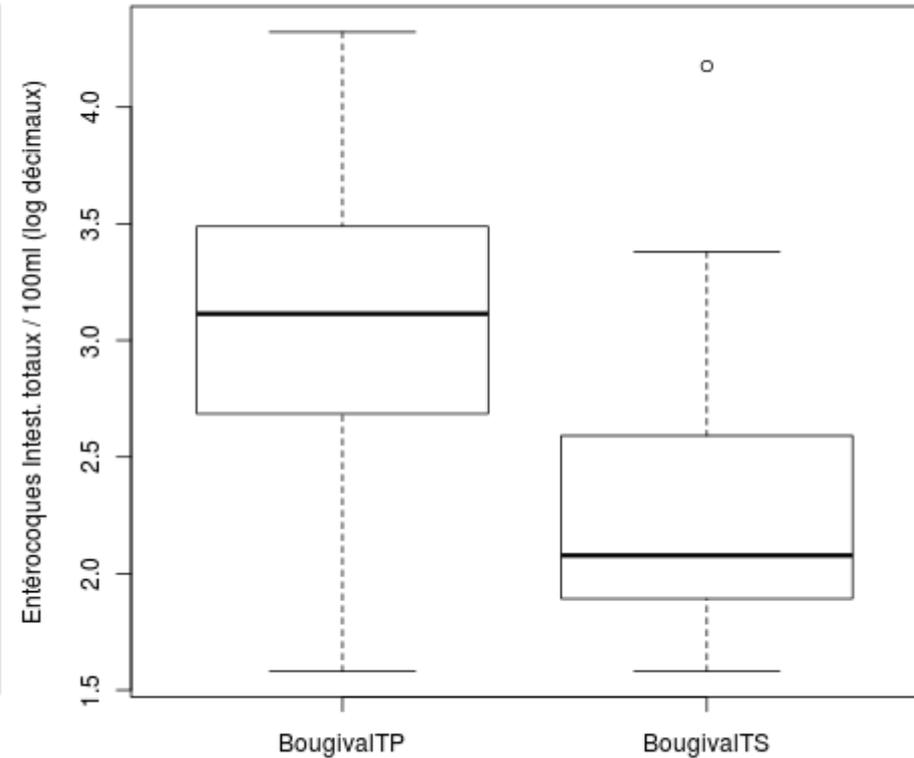
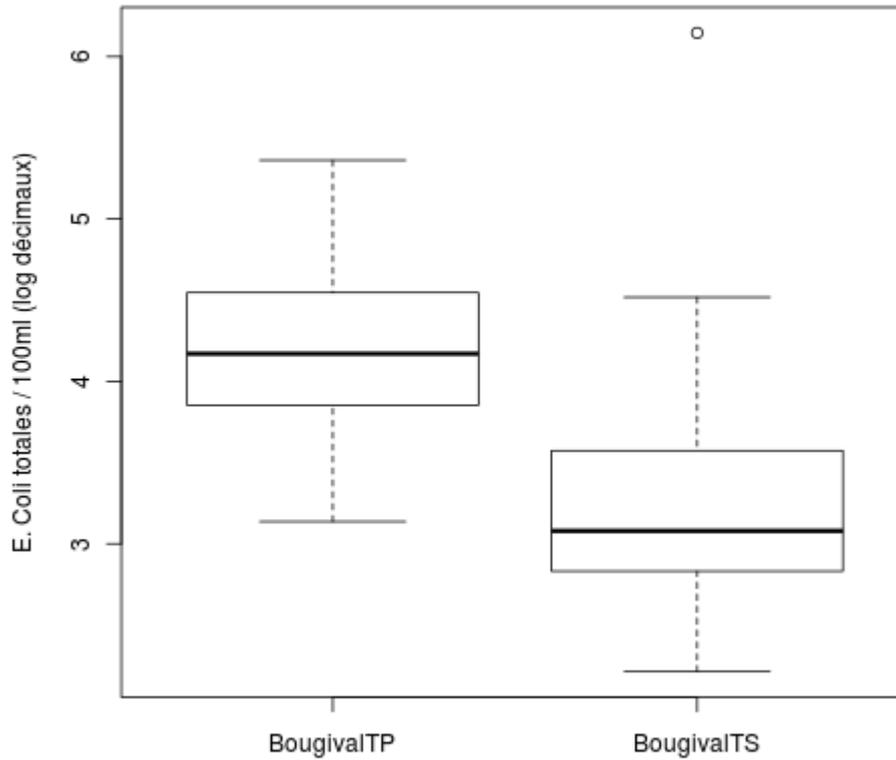


- Ammonium plus important (très significatif)
- Conductivité légèrement plus faible
 - Une certaine dilution, mais la variabilité des conductivité de temps sec bruite le résultat

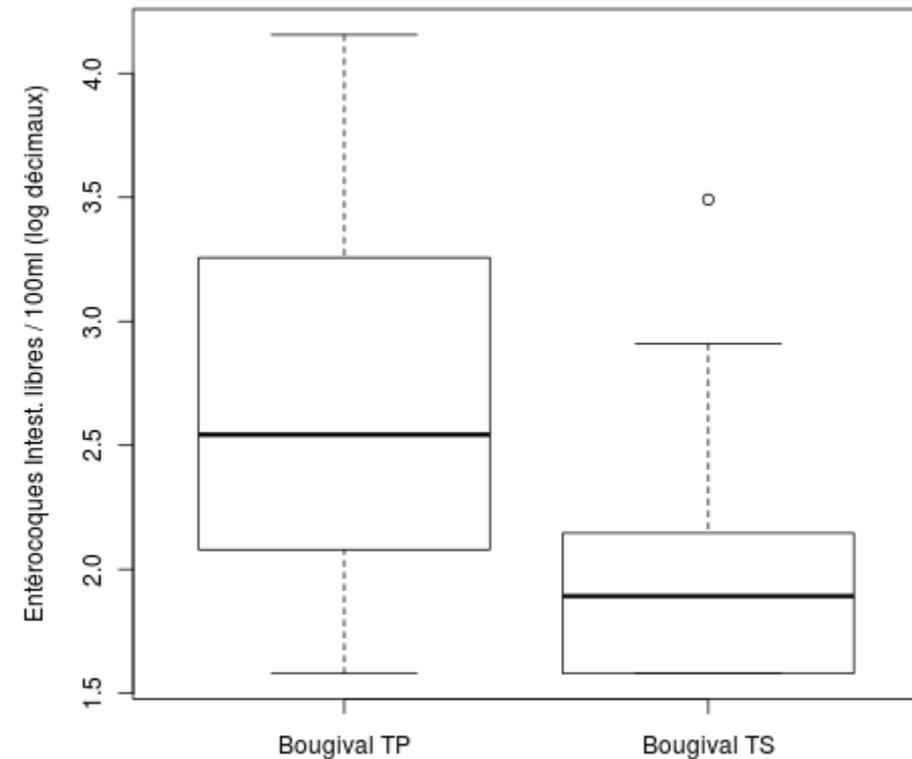
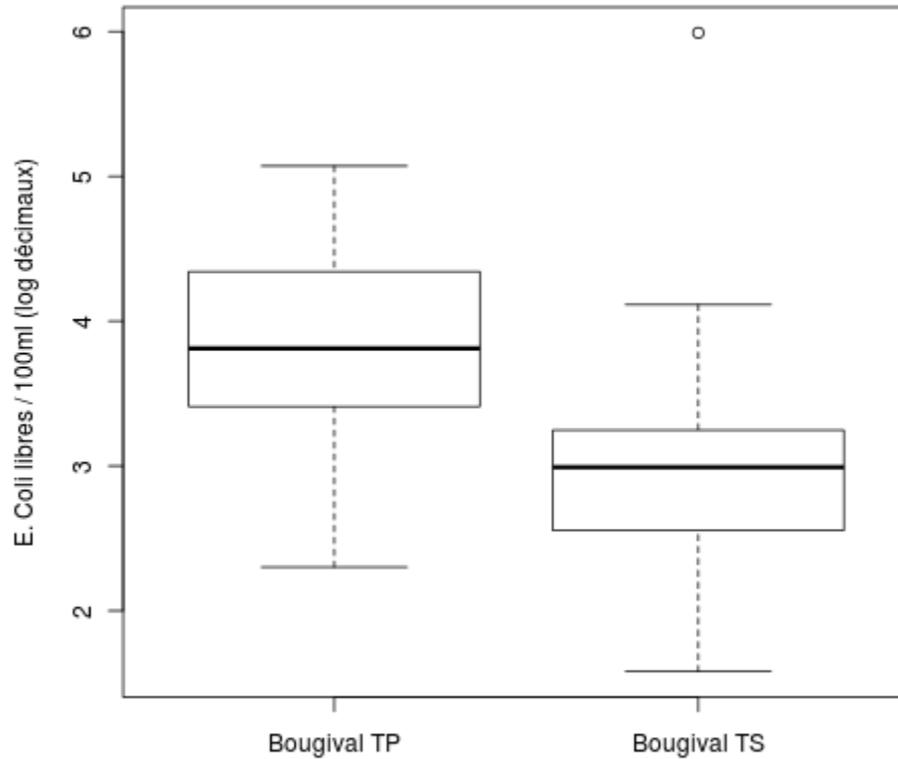
Les particules à Bougival



- Une recrudescence des valeurs extrêmes en temps de pluie
- Mais pas de différence en valeur médiane
 - Donc seulement un risque plus élevé d'avoir des valeurs fortes en temps de pluie

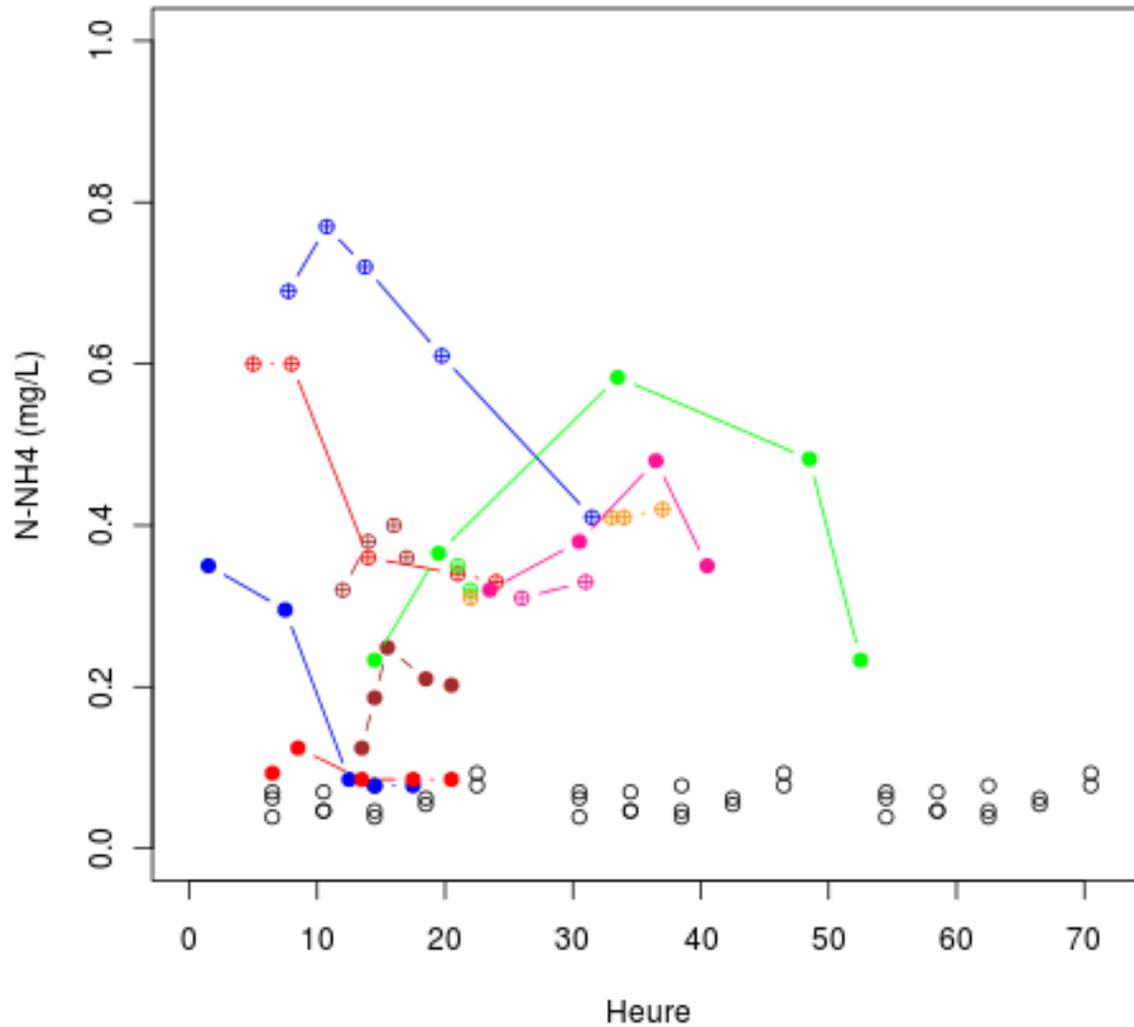


- un log d'écart (10 x plus) en temps de pluie qu'en temps sec.
- pour tous les quantiles

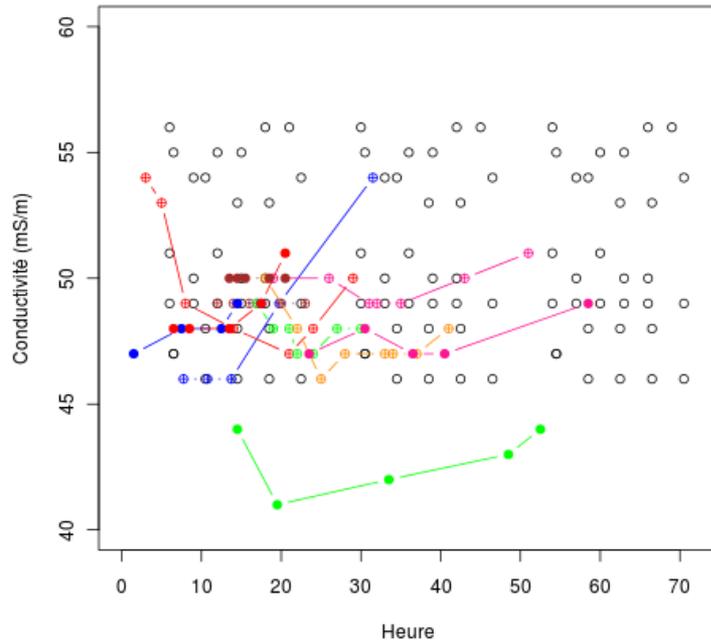


- Même chose pour les quantités de BIF libres, plus fortes par temps de pluie

Suivis par événement



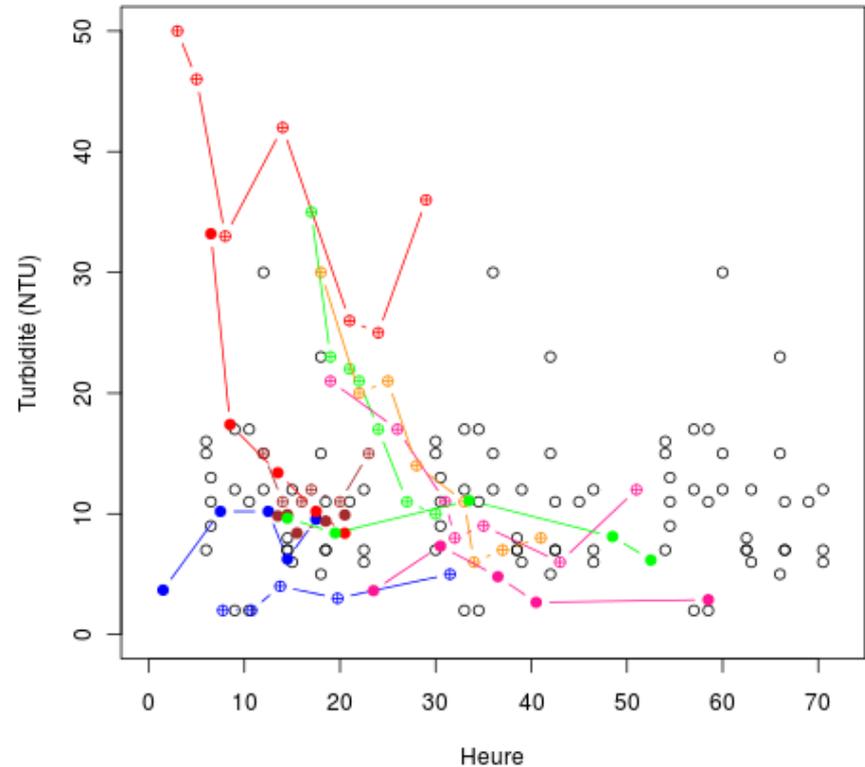
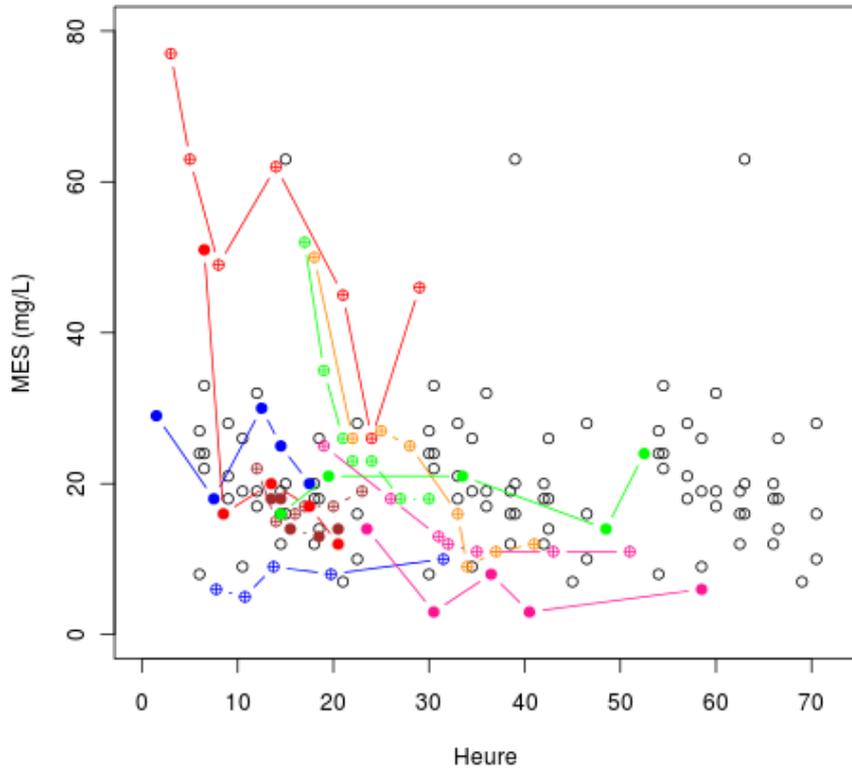
Suivi par événement



Un problème de référence de temps sec,
mais par temps de pluie, des évolutions notables peuvent être décelées

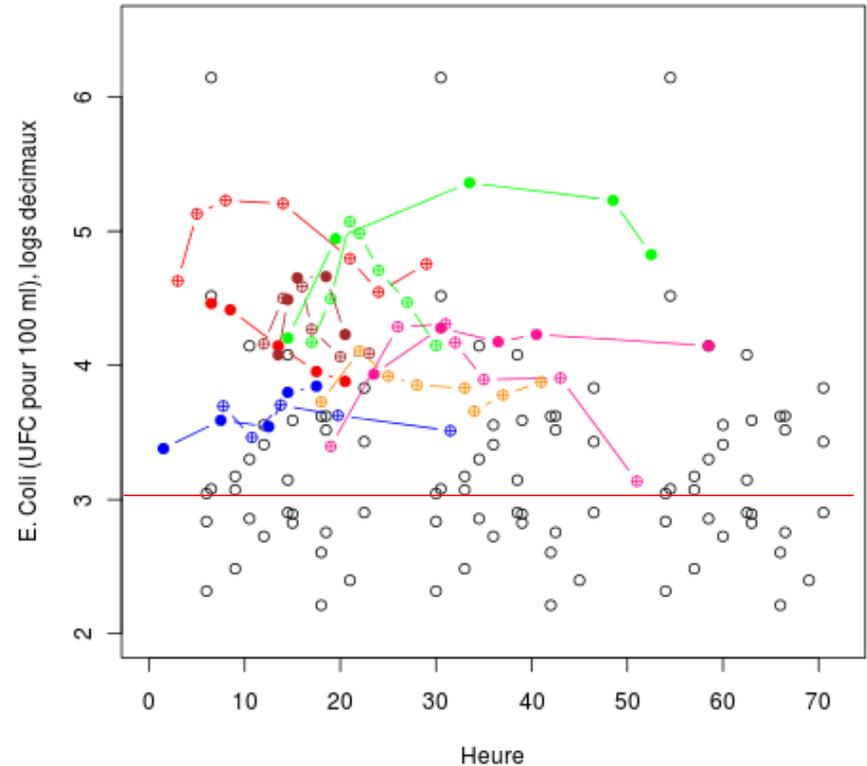
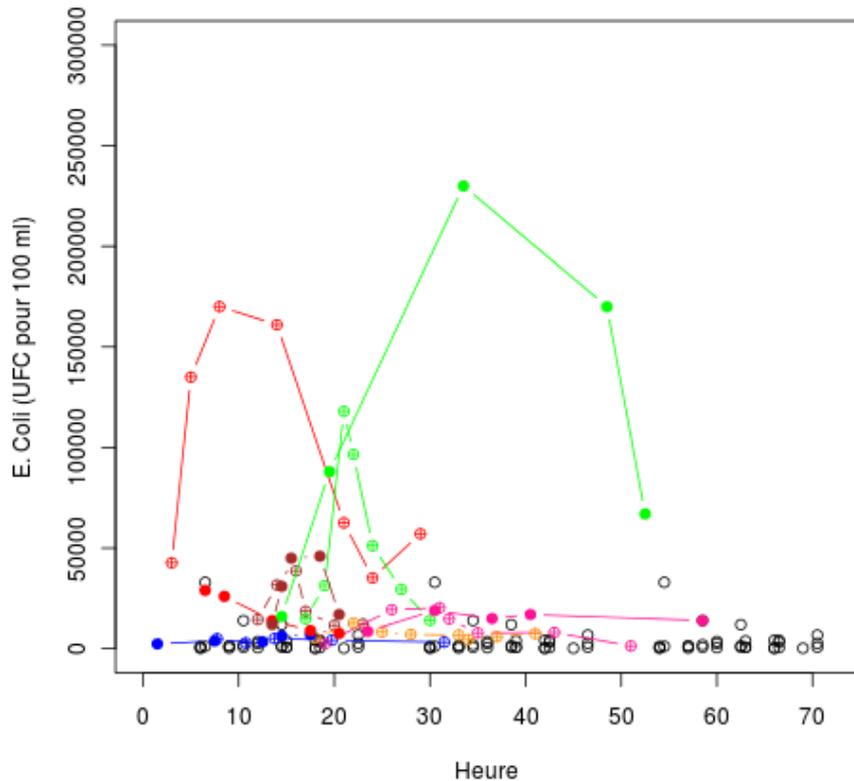
La conductivité est donnée utilisable si le temps sec est mieux caractérisé
avant chaque événement

Suivi par événement



MES et turbidité sont fortes pour certains événements seulement.
On ne sait pas expliquer aujourd'hui la cause de ces différences entre événements

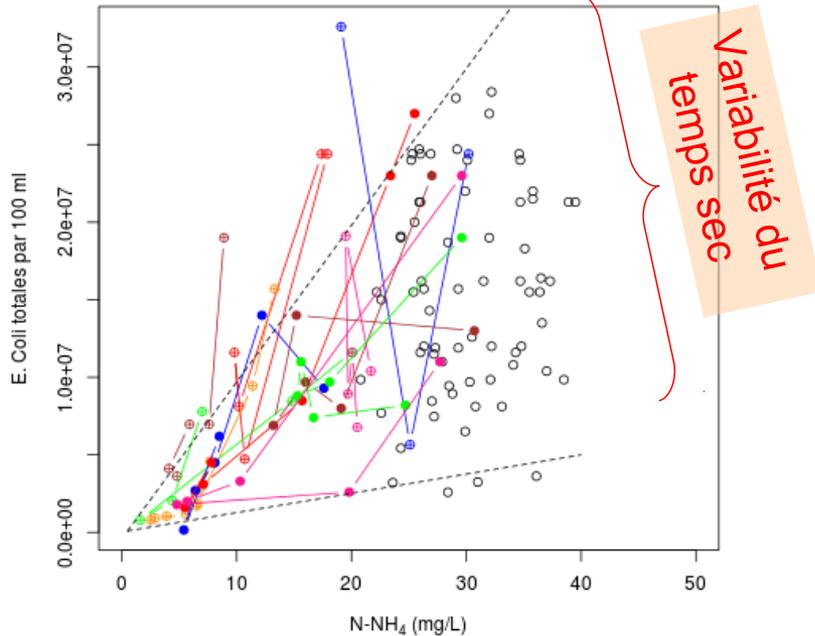
E. Coli à Bougival



- Teneurs particulièrement élevées pour certains événements,
- qui sont aussi ceux pour lesquels les MES sont élevées
- Pour tous les événements : dépassement des normes de baignades (90 % < 1000)
 - Aussi dépassées en temps sec mais moins fortement

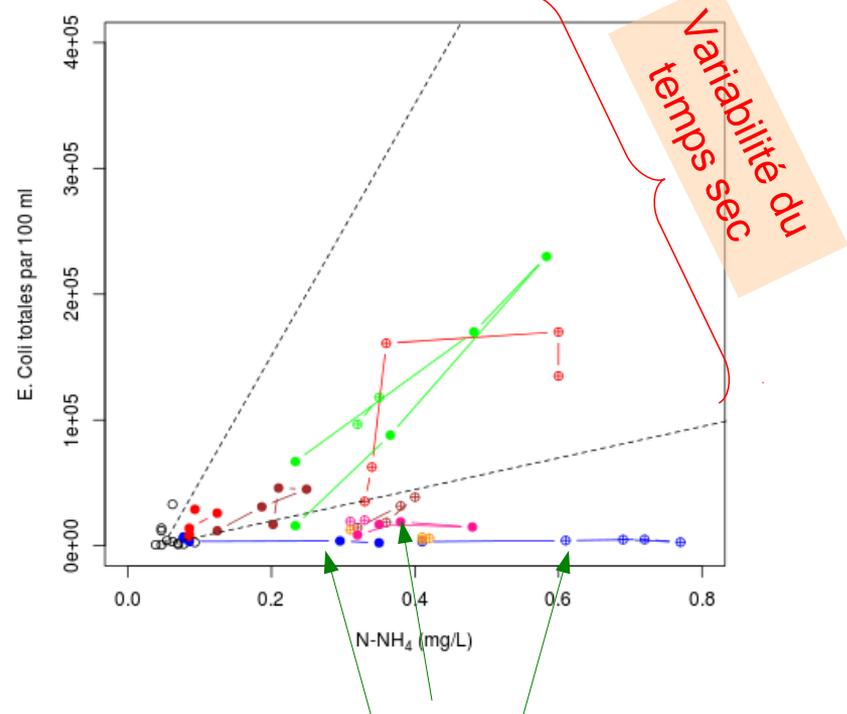
Bougival : E. Coli vs NH₄

Eau du réseau



- En noir le temps sec, en couleur les événements de temps de pluie
- Les faisceaux de mélange avec de l'eau de ruissellement (à gauche), de l'eau de Seine (à droite)

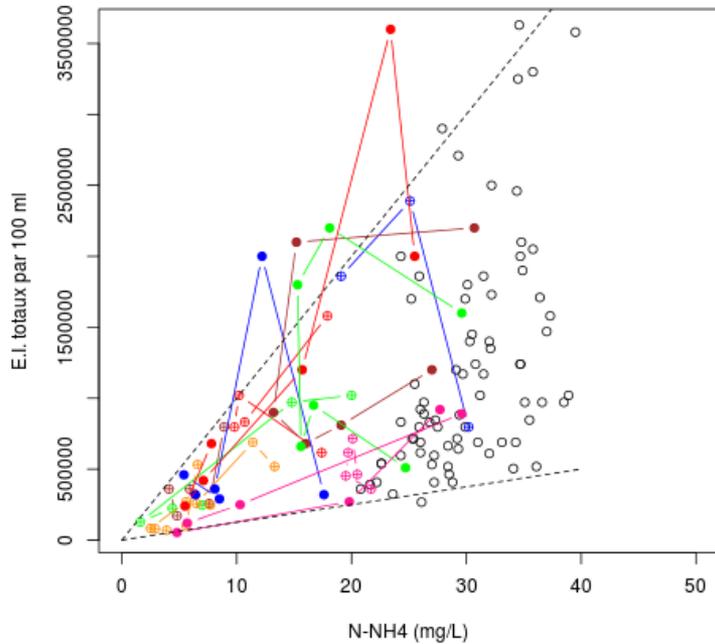
Bougival



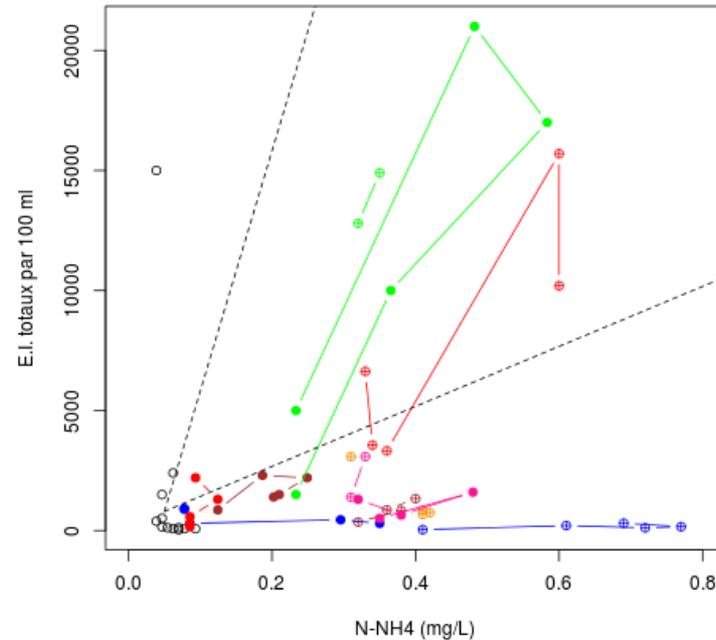
Des événements au cours desquels les teneurs en E. Coli sont beaucoup trop faibles (hors faisceau de mélange)

Ce sont aussi ceux pour lesquels les teneurs en MES sont faibles

Eau du réseau



Bougival



- Rôle complexe des MES :
 - Pauvreté/richesse dans le rejet
 - Décantation/resuspension en Seine
 - BIF portées ou non par les MES
- L'utilisation de Prose, avec simulation détaillée du transport des MES, donnera une nouvelle vision de cette question

- Les campagnes de TS et TP ont permis de générer (modèle stochastique) des données utilisables pour le programme ProSe
 - Un fort facteur limitant est la variabilité du temps sec
- Deux pistes : (i) l'installation de sonde de mesure en temps réel (conductivité) ou (ii) la simulation hydraulique en réseau pourraient permettre de suivre la qualité microbiologique des eaux rejetées en Seine en temps de pluie
 - et de nourrir ProSe
- L'hétérogénéité du réseau par temps sec reste une question à mieux analyser
- Simuler le comportement des MES en Seine en période de pluie est un élément essentiel pour comprendre le devenir des BIF