



Corrélations entre paramètres physiques
(conductivité & turbidité)
et 5 paramètres réglementaires de pollution
(MES, DCO, DBO5, NTK, P_{tot})
sur 6 déversoirs d'orage de Brest Metropole

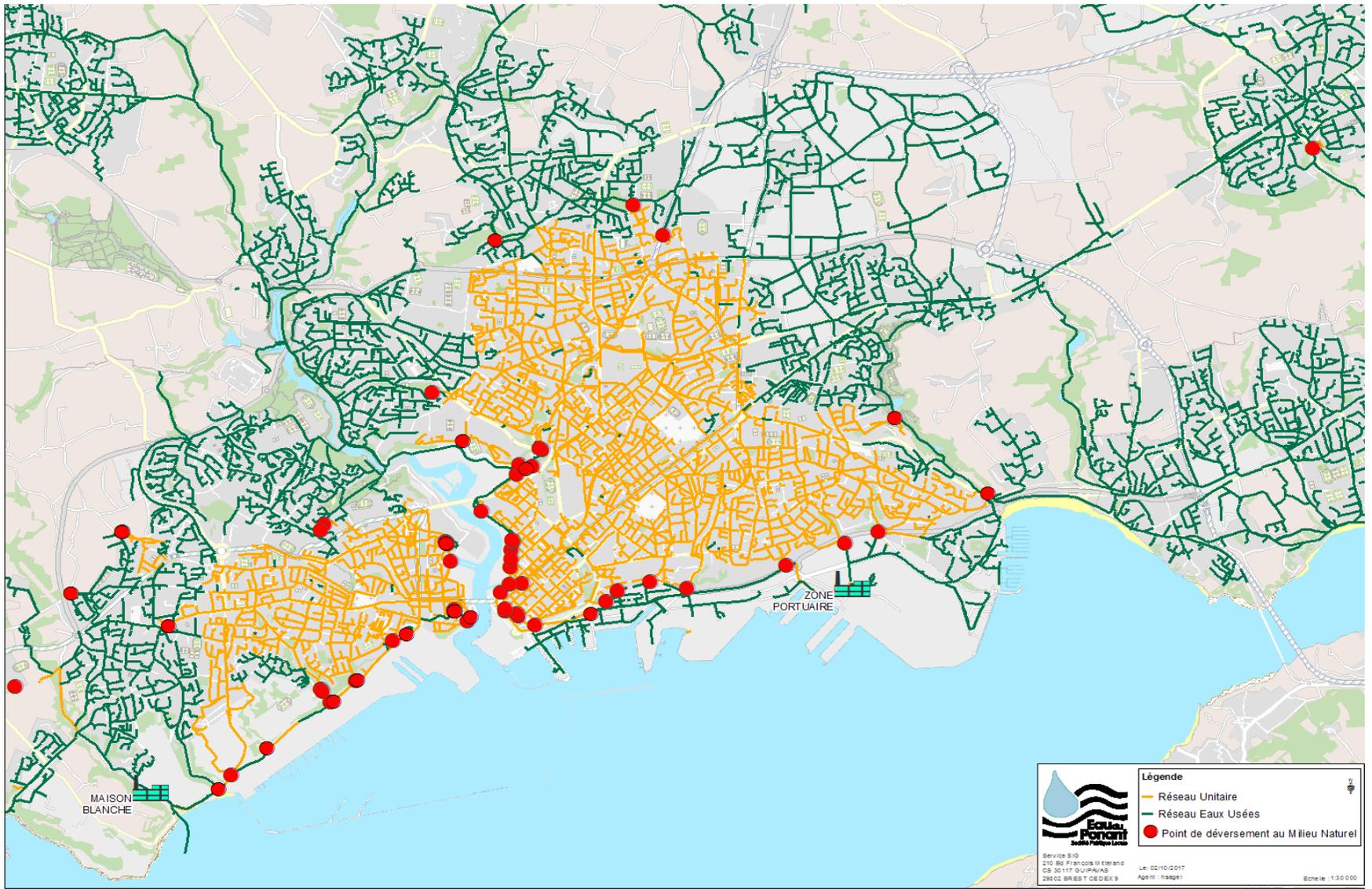
Thierry Patris - Claude Joannis



Introduction

Brest métropole :

- 250 000 habitants
- 880 km de réseau dont 260 km de réseau unitaire
- 93 postes de refoulement (PR)
- 3 stations d'épuration (STEU) dont 2 sur le système unitaire
- 43 déversoirs d'orages (DO) et 15 TP de PR sur le réseau unitaire
- ≈90% des rejets unitaires non traités se font en Rade de Brest



MAISON
BLANCHE

ZONE
PORTUAIRE


Eau de France
 Bretagne

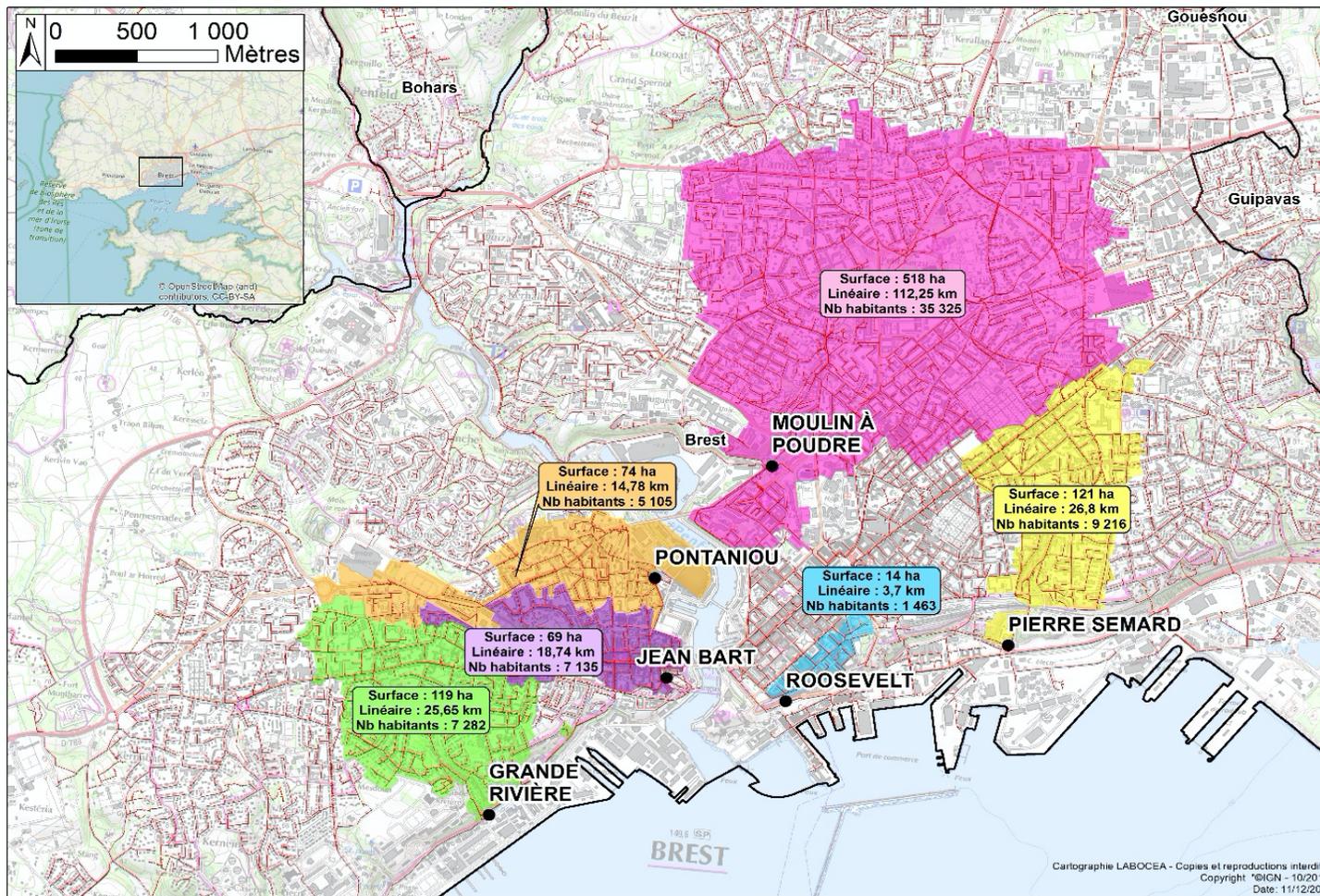
Légende
 — Réseau Unitaire
 — Réseau Eaux Usées
 ● Point de déversement au Milieu Naturel

Service SIO
 210 Bd François Mitterand
 CS 20117 QUIMPAIS
 29102 BREST CEDEX 9

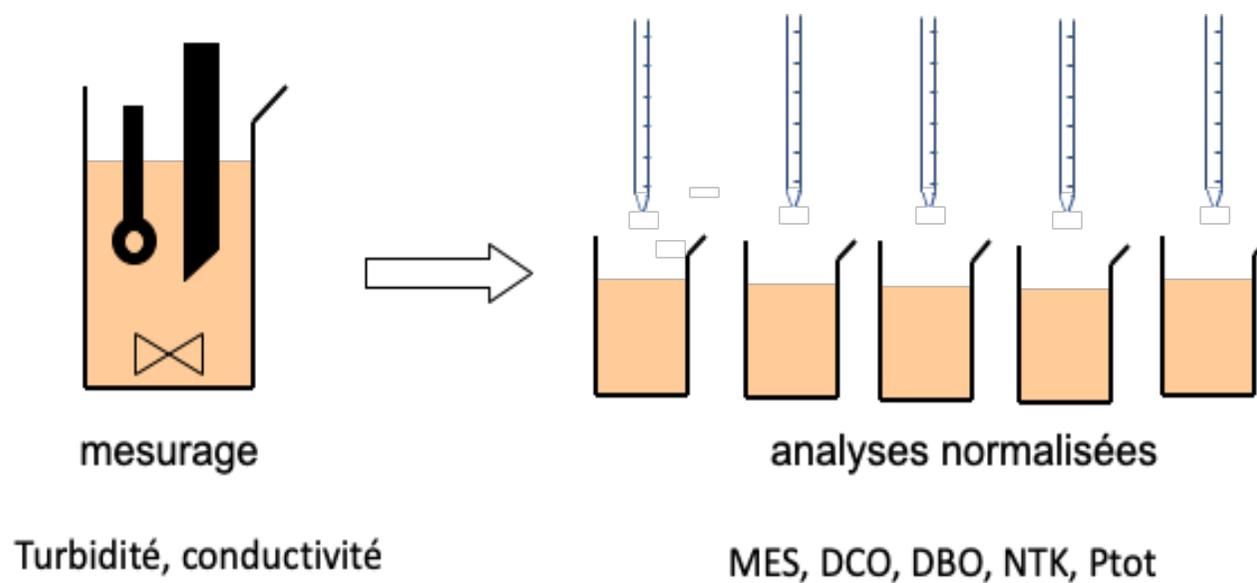
Le: 02/10/2017
 Agnt: nsagef

Echelle: 1:30 000

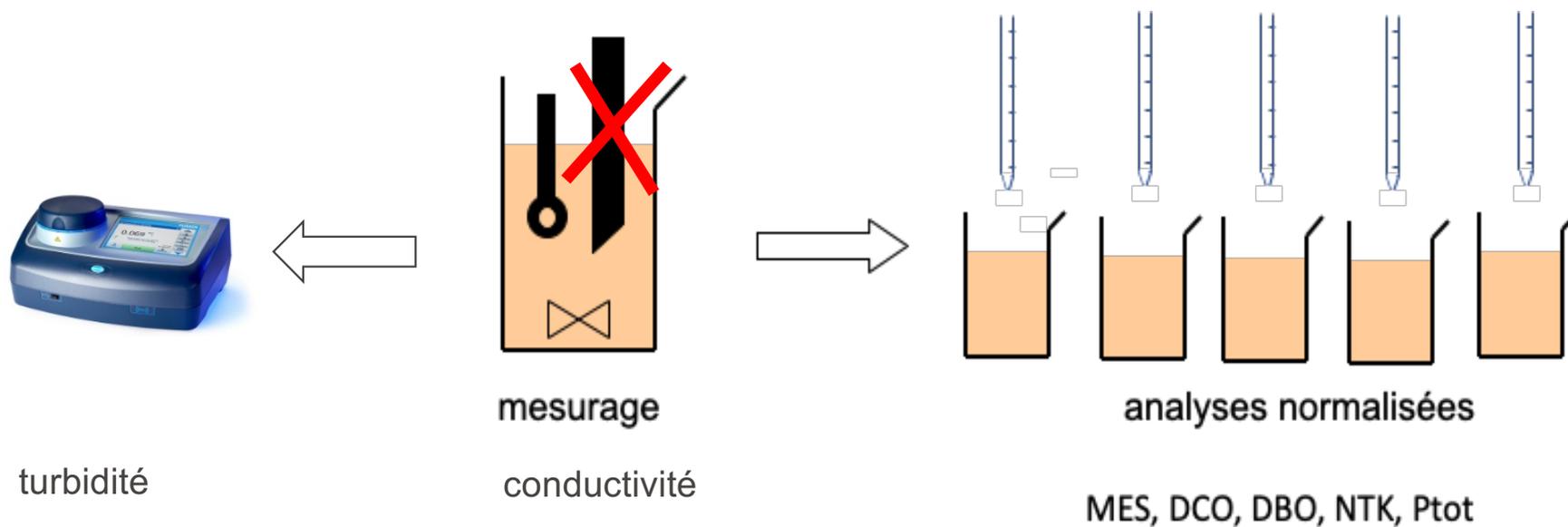
Etude de 6 bassins de collecte unitaire Effluents urbains à dominante domestique



Constitution d'une base de données



Constitution d'une base de données



Constitution d'une base de données

217 échantillons (140TP - 77TS)

- prélèvements ponctuels, à pas de temps fixe, à l'aide de préleveurs automatiques réfrigérés
- début de prélèvement déclenché manuellement
- 2 x 8 prélèvements TS
- 12 événements prélevés sur l'un ou l'autre des sites -> 2 à 4 événements pluvieux par point .
- max 12 prélèvements sélectionnés
- Paramètres analysés:
 - conductivité, turbidité
 - + MES, DCO, DBO₅, NTK, Pt
 - + NH₄⁺, PO₄³⁻, E. coli



Constitution d'une base de données

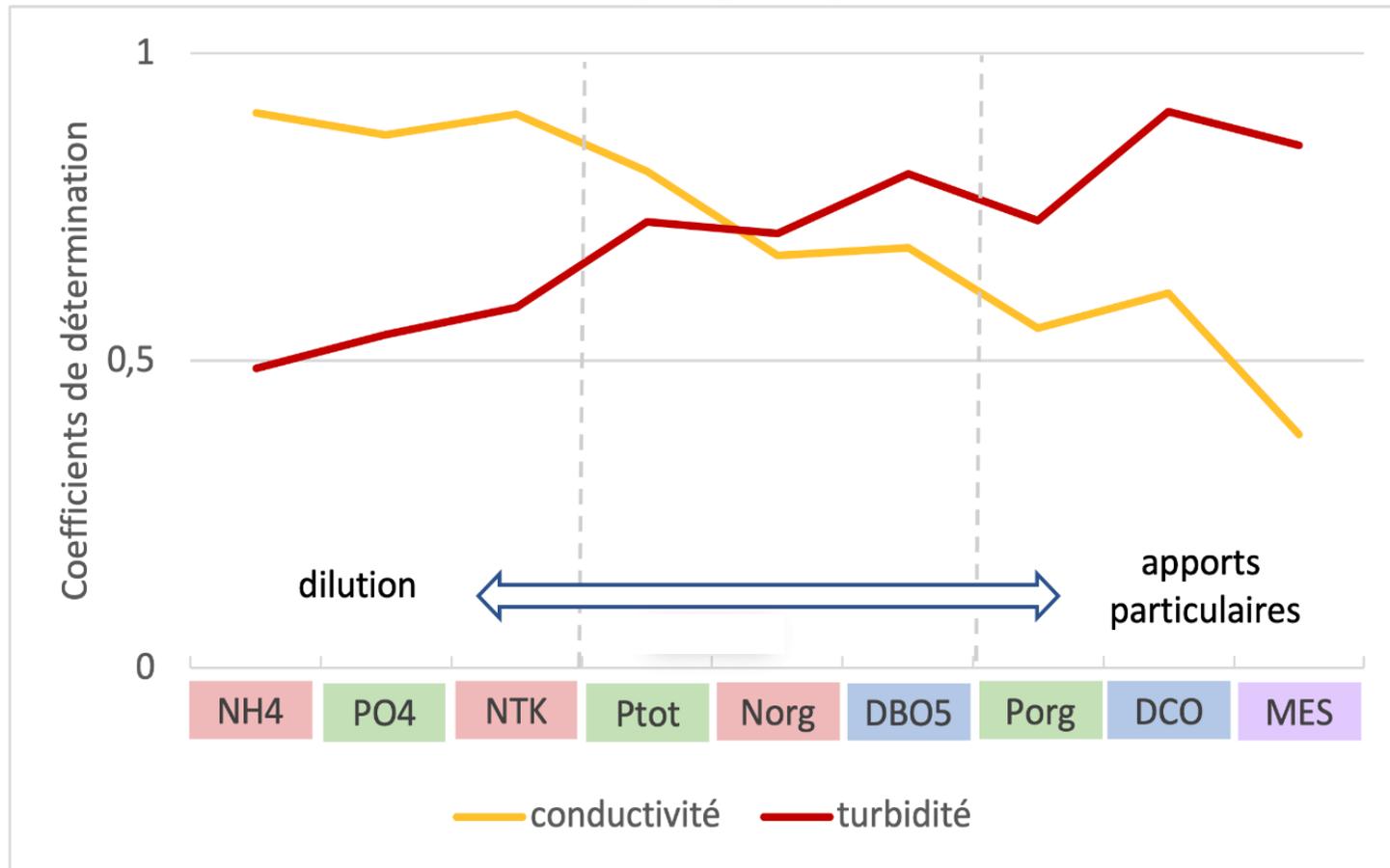
Autre exemple: autosurveillance de 6 DO + STEP

- 5 journées TS
- Objectif: 15 événements pluvieux (déversements) en 2 ans
- Prélèvements synchrones déclenchés par déversoir « maitre »
- Pas de temps fixe variable: 12 X 5 mn + 12 x 20 mn
- Sélection de 5 flacons par événement: min, max +3 intermédiaires

Analyse globale de la base de données Corrélations entre paramètres

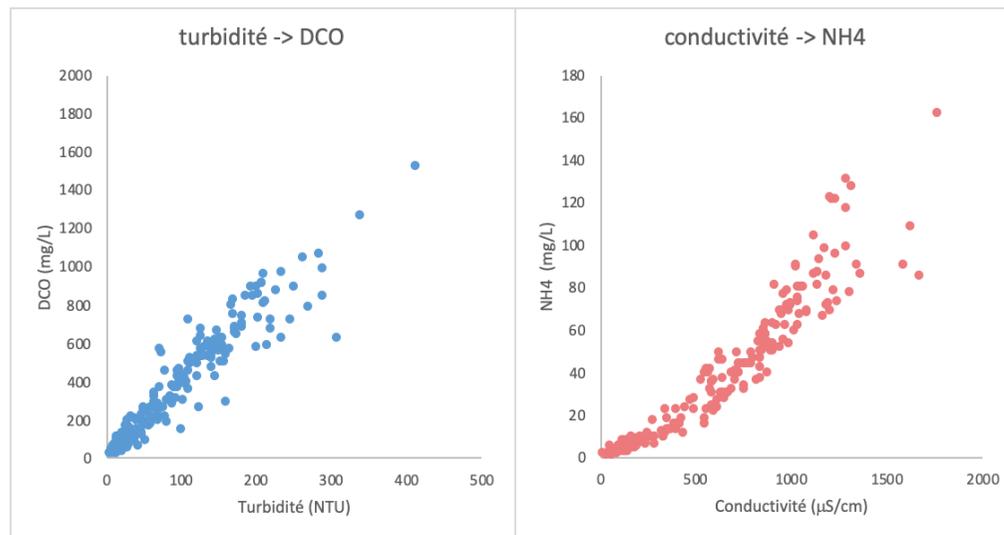
	MES	DCO	DBO5	NTK	Norg	NH4	PO4	Porg	Ptot	conductivité
MES	1,00									
DCO	0,84	1,00								
DBO5	0,71	0,90	1,00							
NTK	0,50	0,71	0,77	1,00						
Norg	0,74	0,87	0,83	0,83	1,00					
NH4	0,39	0,61	0,69	0,98	0,71	1,00				
PO4	0,46	0,66	0,73	0,97	0,78	0,96	1,00			
Porg	0,82	0,85	0,74	0,69	0,84	0,58	0,61	1,00		
Ptot	0,69	0,84	0,83	0,93	0,91	0,87	0,91	0,87	1,00	
conductivité	0,38	0,61	0,68	0,90	0,69	0,90	0,87	0,57	0,81	1,00
Turbidité	0,85	0,90	0,80	0,58	0,75	0,48	0,54	0,77	0,72	0,49

Corrélations entre paramètres de pollution et paramètres physiques

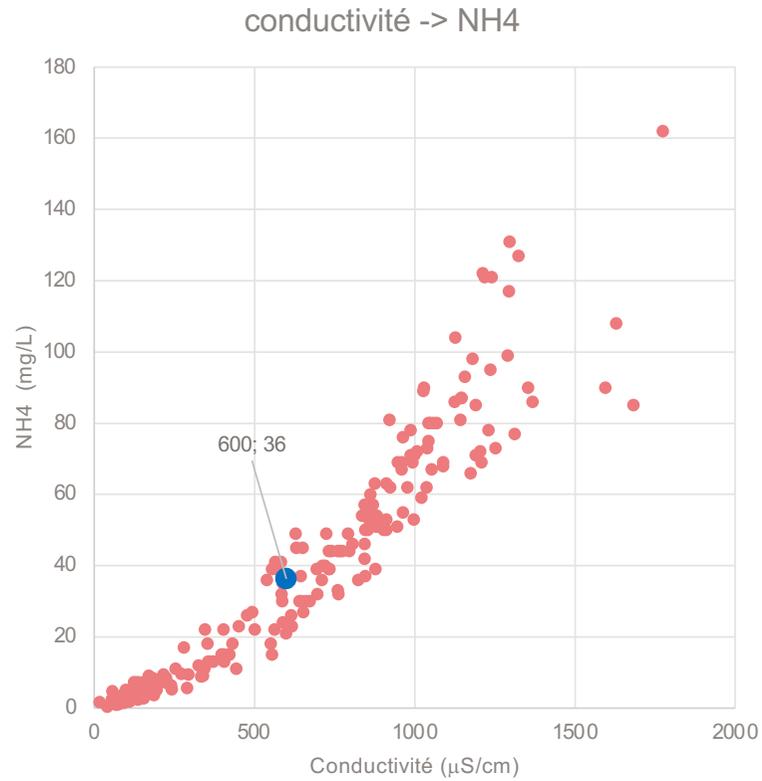


différentes fonctions de corrélation entre paramètres de pollution et paramètres physiques

- Monovariée (T ou C) vs. bivariées (T & C)
- Linéaires (fonctions affines) vs. Logarithmiques (fonctions puissances)



Régression linéaire vs. régression logarithmique

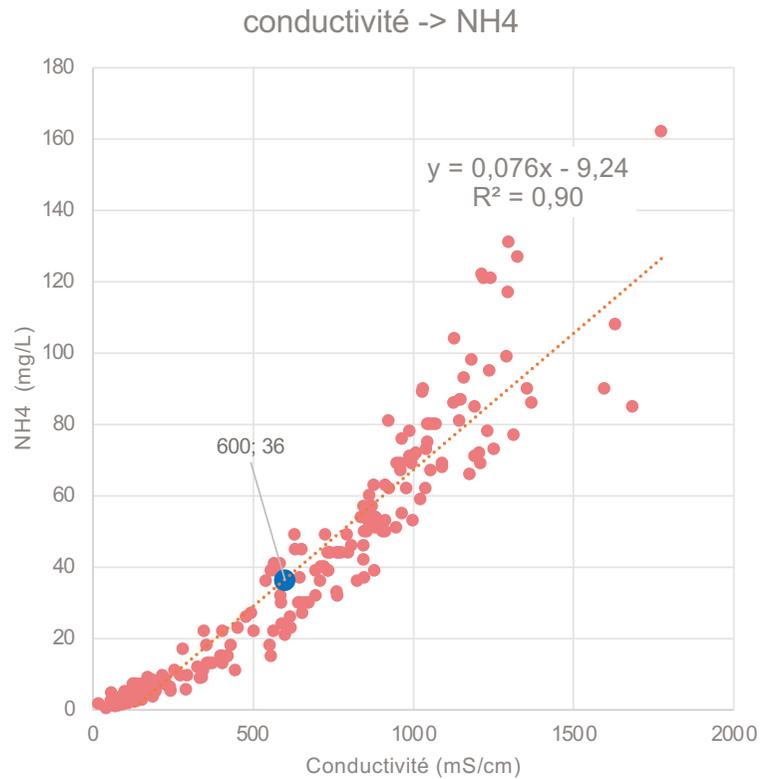


$$Y = aX + b$$

Claude Joannis - Thierry Patris



Régression linéaire vs. régression logarithmique

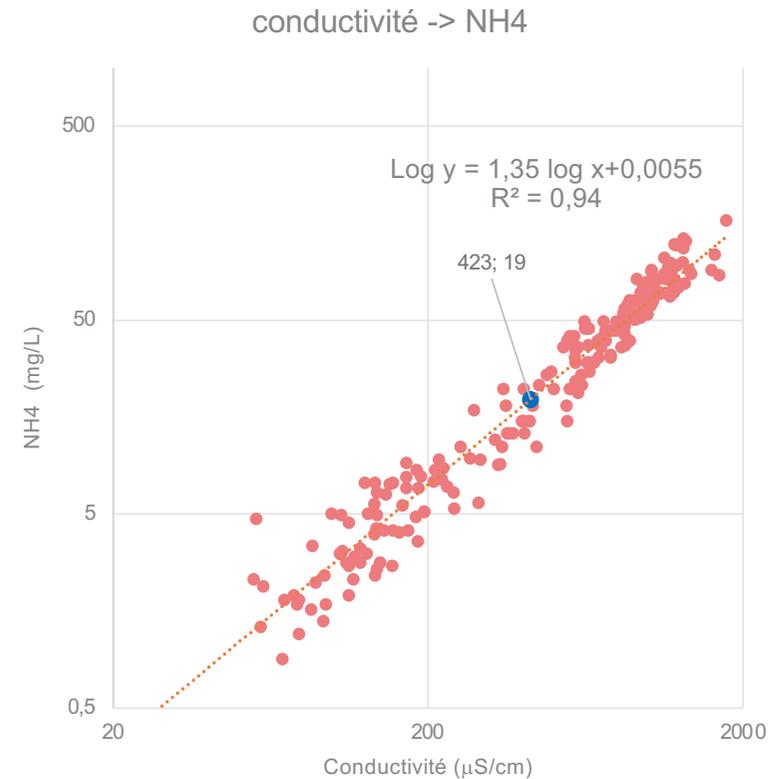
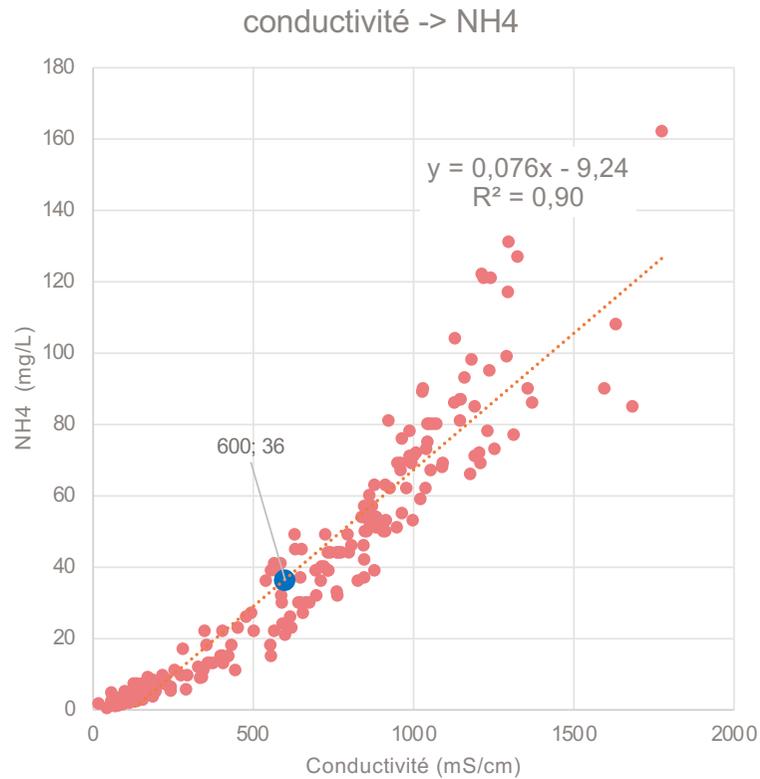


$$Y = aX + b$$



Claude Joannis - Thierry Patris

Régression linéaire vs. régression logarithmique



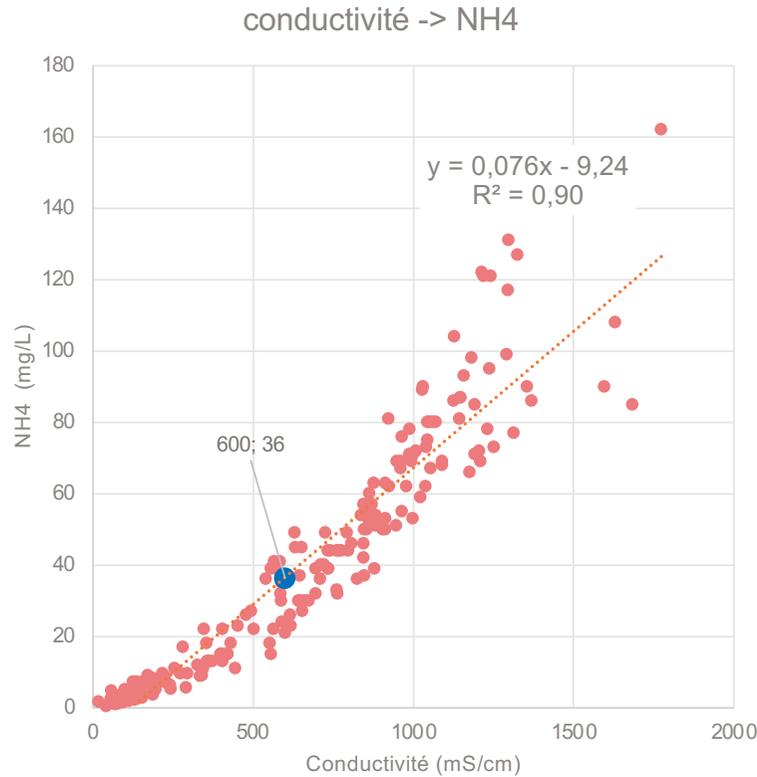
$$Y = aX + b$$

$$\text{log } Y = a \cdot \text{log } X + b$$

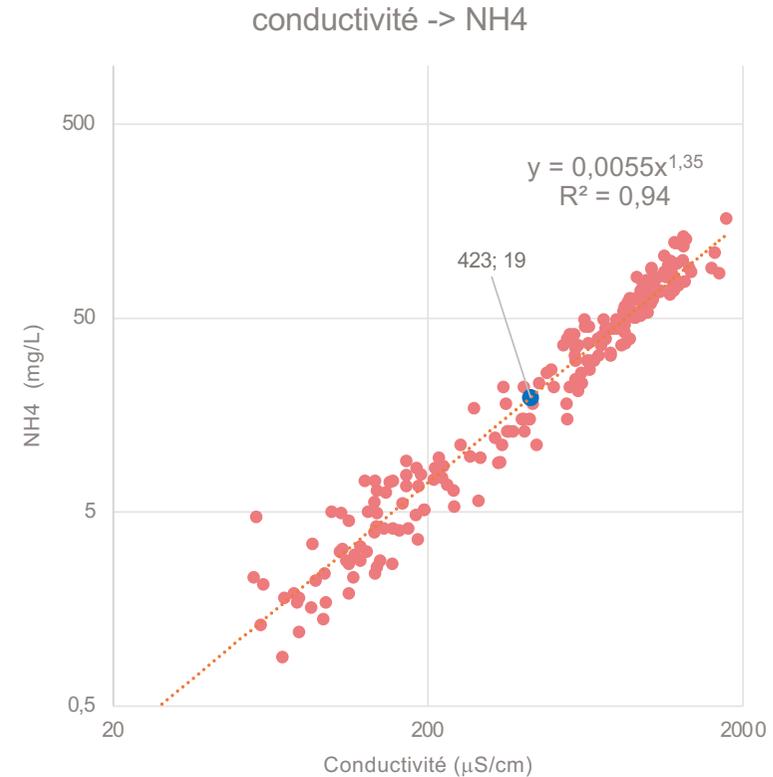


Claude Joannis - Thierry Patris

Régression linéaire vs. régression logarithmique



$$Y = aX + b$$



$$\log Y = a \cdot \log X + b \rightarrow Y = bX^a$$

Différentes corrélations Comment les comparer ?

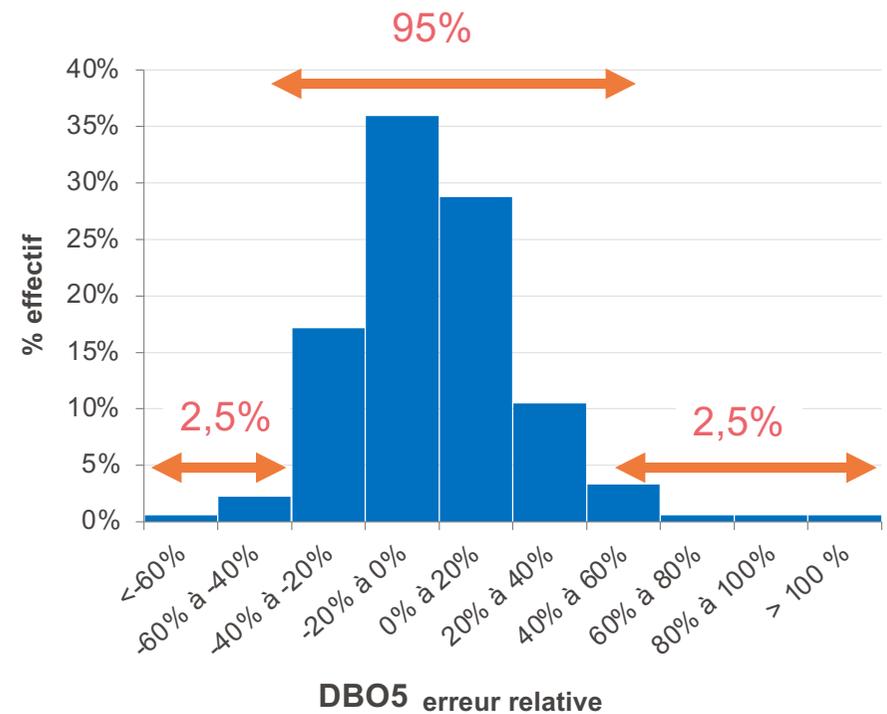
- r^2 (T,C-P): familier, mais pas comparable entre linéaire et logarithmique

Différentes corrélations Comment les comparer ?

- r^2 (T,C-P): familier, mais pas comparable entre linéaire et logarithmique
- RMSE (root mean square of errors : erreur moyenne), plus général, moins familier, \neq incertitude classique,

Différentes corrélations Comment les comparer ?

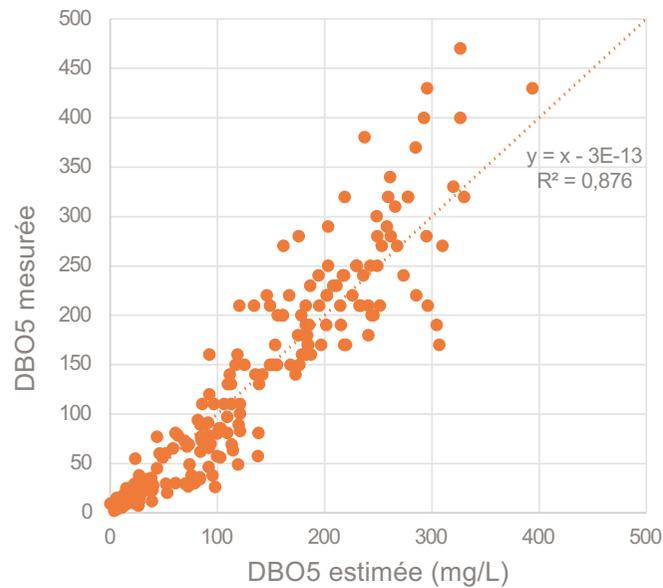
- r^2 (T,C-P): familier, mais pas comparable entre linéaire et logarithmique
- RMSE (root mean square of errors : erreur moyenne), plus général, moins familier, \neq incertitude classique
- IC95 (comptage direct):
 - familier
 - \sim incertitude
 - à adapter pour une gamme
 - nécessite un effectif important (>100)



Différentes corrélations Comment les comparer ?

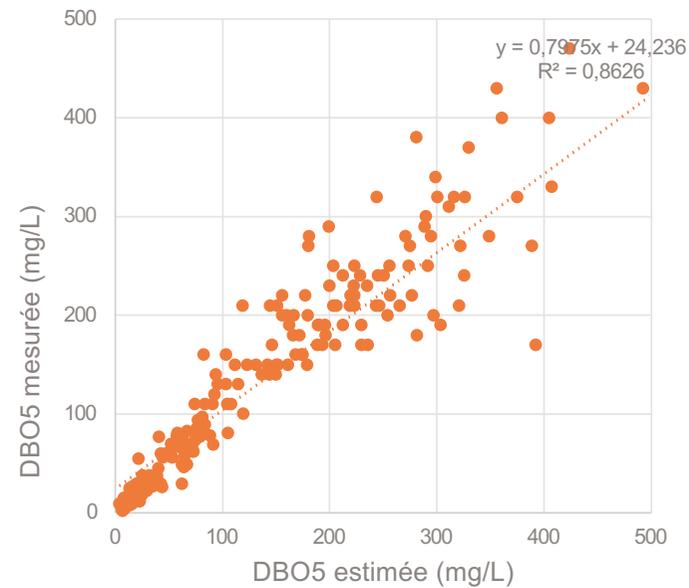
fonction affine

F. affine: $DBO = 0,13 * C + 0,61 * T - 9,1$



fonction puissance

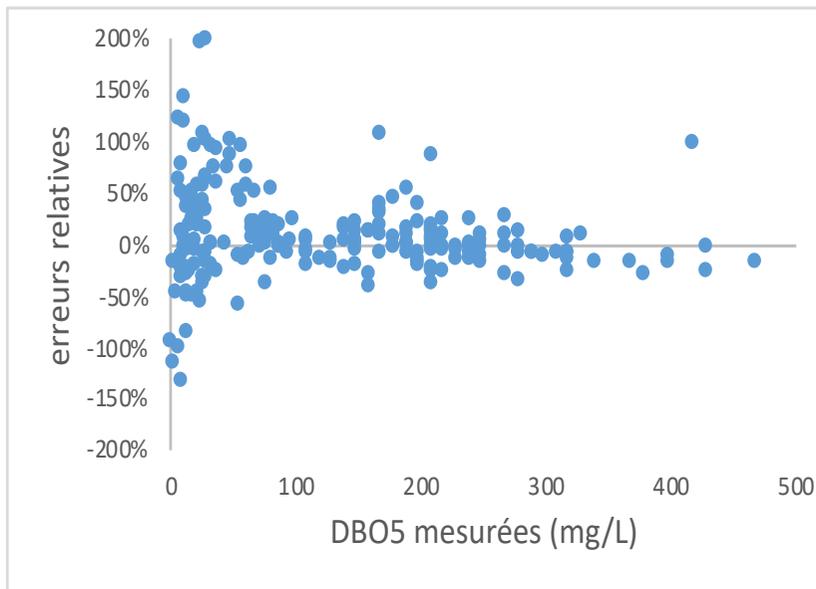
F. puissance: $DBO = 0,16 * T^{0,75} * C^{0,50}$



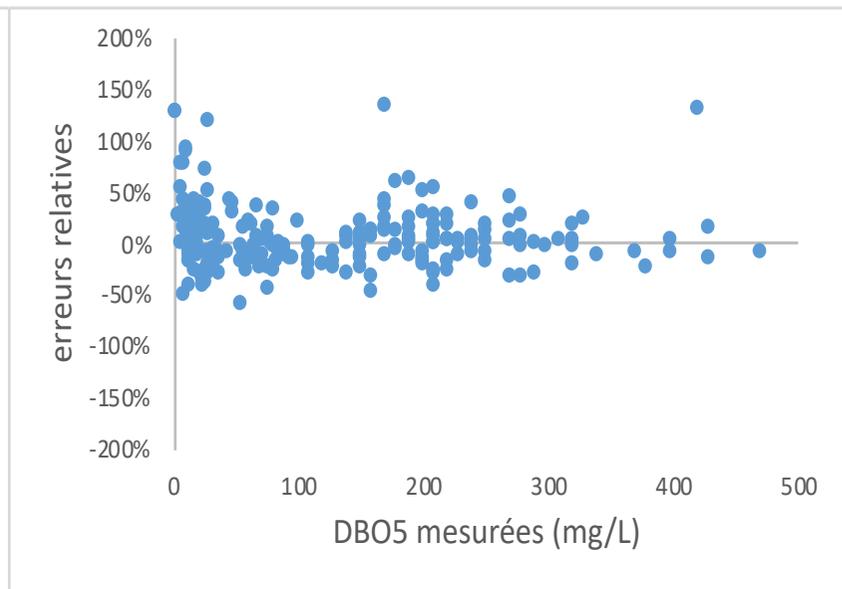
Différentes corrélations Comment les comparer ?

Erreur relative vs. valeur mesurée

fonction affine



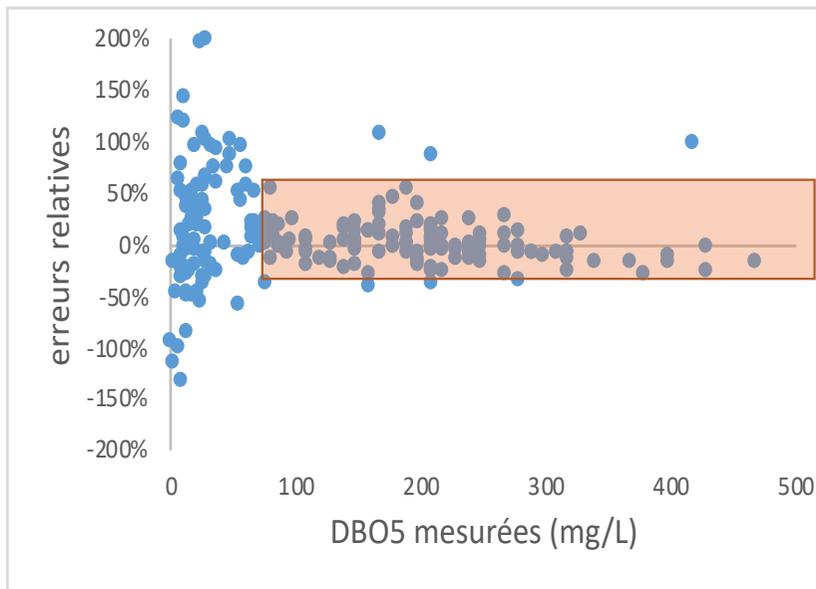
fonction puissance



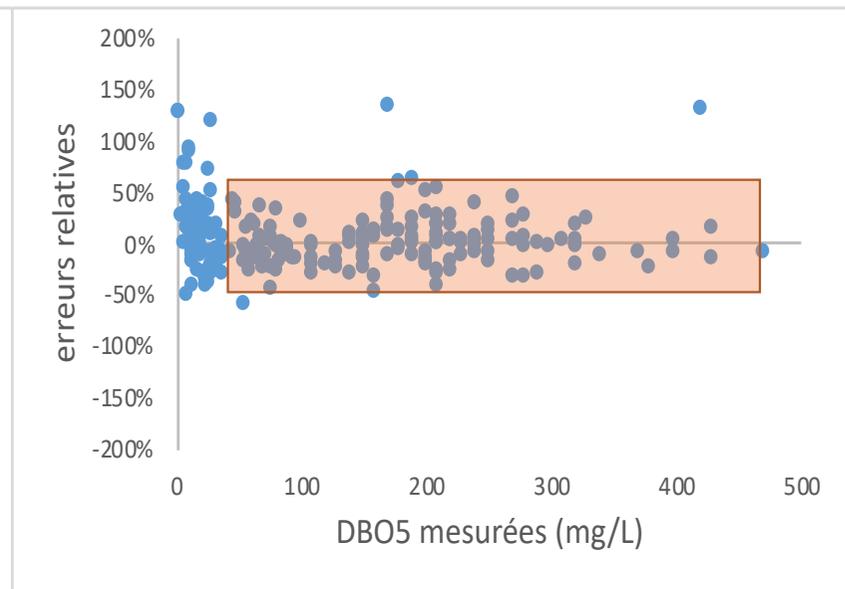
Différentes corrélations Comment les comparer ?

Erreur relative vs. valeur mesurée

fonction affine

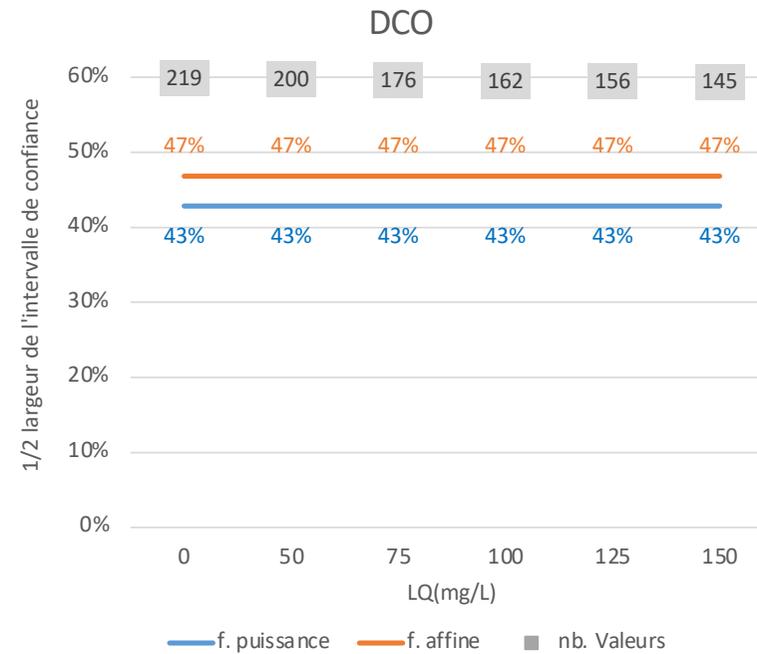
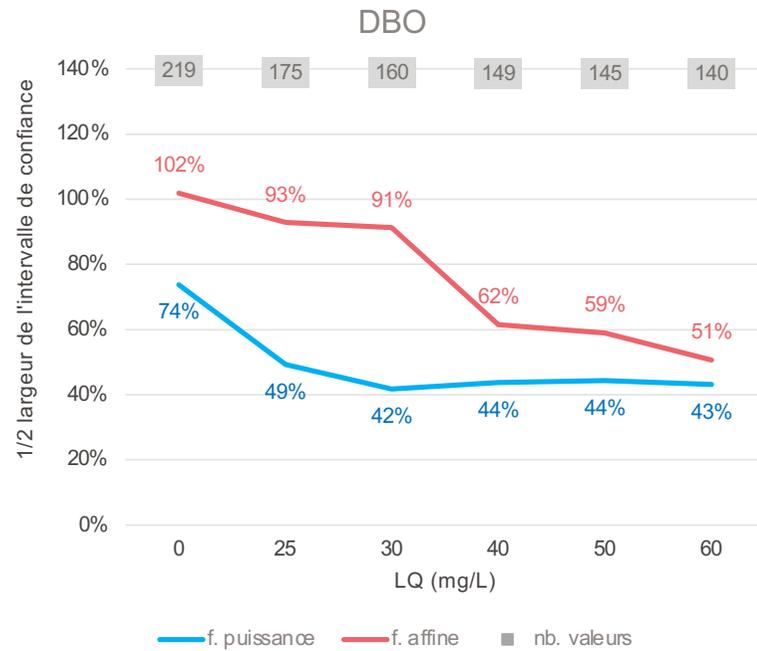


fonction puissance



Différentes corrélations Comment les comparer ?

Choix d'une limite de quantification

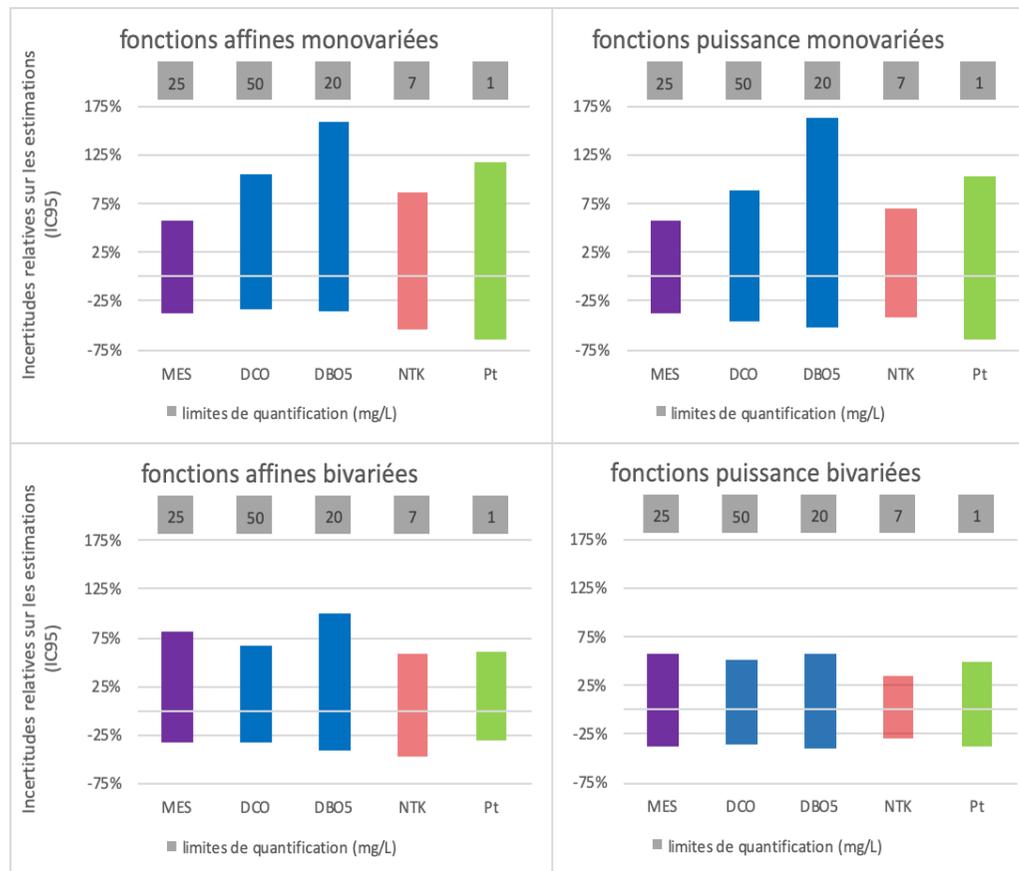


Différentes corrélations Comment les comparer ?

Choix d'une limite de quantification arbitraire

		nb.	LQ				
		valeurs	MES	DCO	DBO	NTK	Pt
dilution	∞	219	0	0	0	0	0
	10	174	25	75	30	8	1,5
	5	147	50	150	60	16	3

Intervalle de confiance IC95 des estimations selon le type de fonction d'ajustement utilisé



Seuils de quantification (dilution=10)

MES : 25 mg/L
 DCO : 50 mg/L
 DBO₅ : 20 mg/L
 NTK : 7 mg/L
 Pt : 1 mg/L

Fonctions d'ajustement retenues

Paramètre	Fonction d'estimation	½ IC95 (%)	LQ (mg/L)
MES	$MES = 1,97 * T^{0,97} * C^{-0,01}$	48	25
DCO	$DCO = 1,12 * T^{0,78} * C^{0,34}$	43	50
DBO5	$DBO5 = 0,16 * T^{0,77} * C^{0,49}$	49	20
NTK	$NTK = 0,024 * T^{0,28} * C^{0,95}$	32	7
Ptot	$Ptot = 0,008 * T^{0,46} * C^{0,67}$	43	1

Exemples d'incertitudes analytiques

paramètre	Technique analytique	Unité	Précision
MES	NF EN 872	mg/l	MES < 50 : ± 5 mg/L MES ≥ 50 : ± 10%
DBO5	NF EN 1899-1	mg O2/l	DBO < 15 : ± 3 mg/L DBO ≥ 15 : ± 20%
DCO	NF T 90-101	mg O2/l	DCO < 150 : ± 15 mg/L DCO ≥ 150 : ± 10%
NTK	NF EN 25663	mg N/l	NTK < 20 : ± 2 mgN/L NTK ≥ 20 : ± 10%
Ptot	NF EN ISO 6878	mg P/l	PT < 2 : ± 0,2 mgP/L PT ≥ 2 : ± 10%

Précision vs. représentativité

Incertitude sur une valeur isolée \geq incertitude sur une moyenne ou un cumul de valeur successives (\gg si les erreurs sont indépendantes)

Mais l'indépendance des erreurs est difficile à établir

Précision vs. représentativité

Incertitude sur une valeur isolée \geq incertitude sur une moyenne ou un cumul de valeur successives (\gg si les erreurs sont indépendantes)

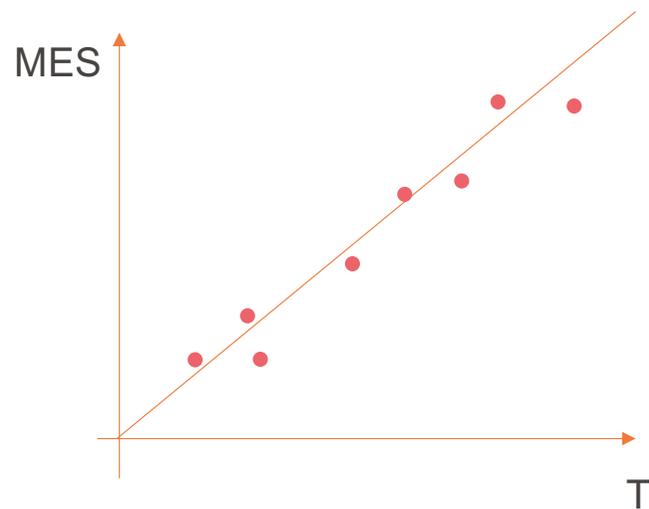
Mais l'indépendance des erreurs est difficile à établir

La représentativité obtenue par des mesures en continu (par exemple 100 événements /an) est bien meilleure que ce qu'on peut obtenir par des campagnes de prélèvement (autosurveillance 20% des déversements)

Evaluation du gain par simulations de Monte-Carlo (->Hypothèses)

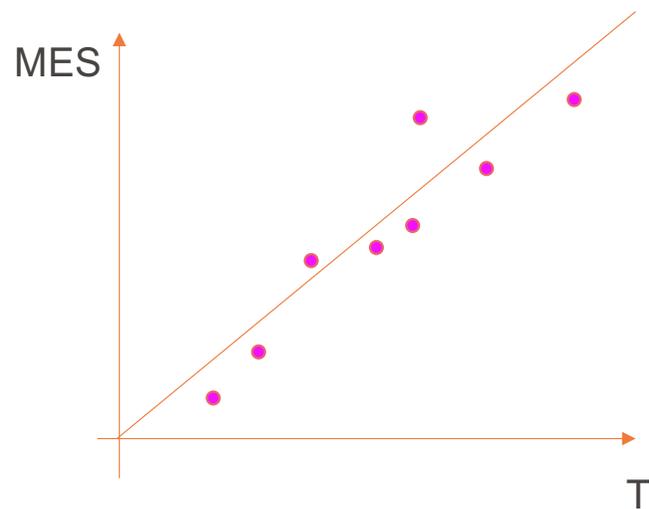
Hypothèses sur les erreurs

Erreurs aléatoires



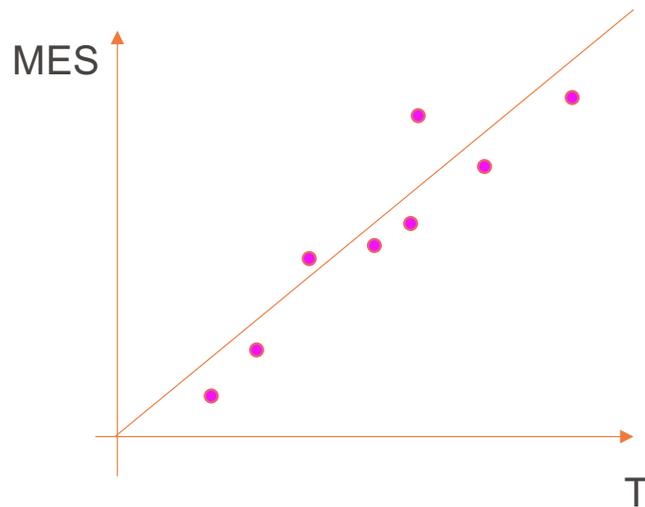
Hypothèses sur les erreurs

Erreurs aléatoires

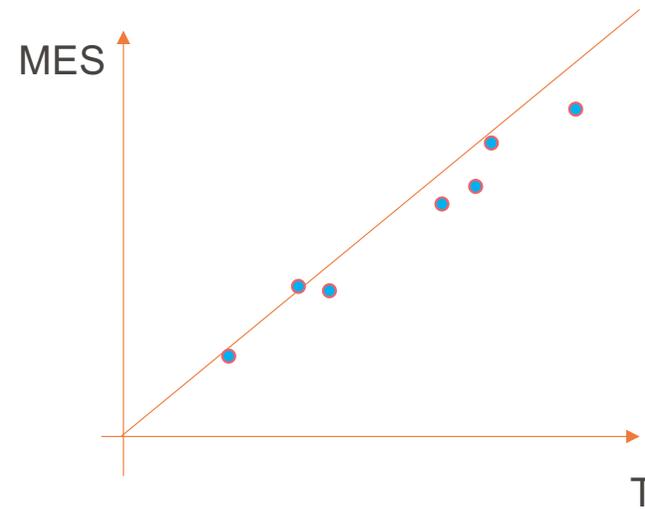


Hypothèses sur les erreurs

Erreurs aléatoires

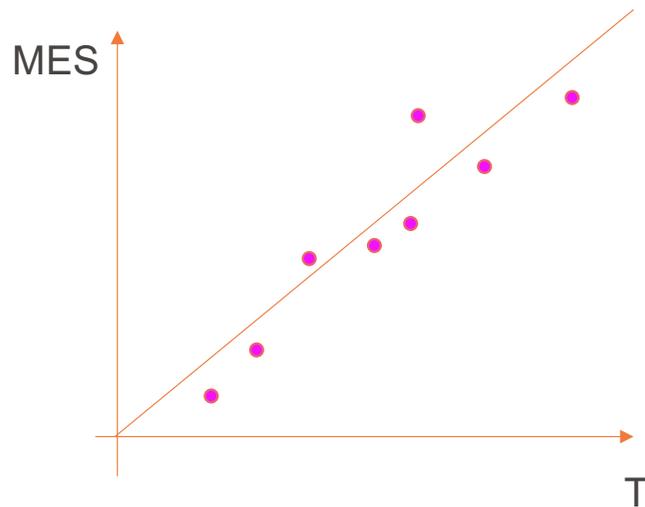


Erreurs aléatoires
+ systématiques par événement

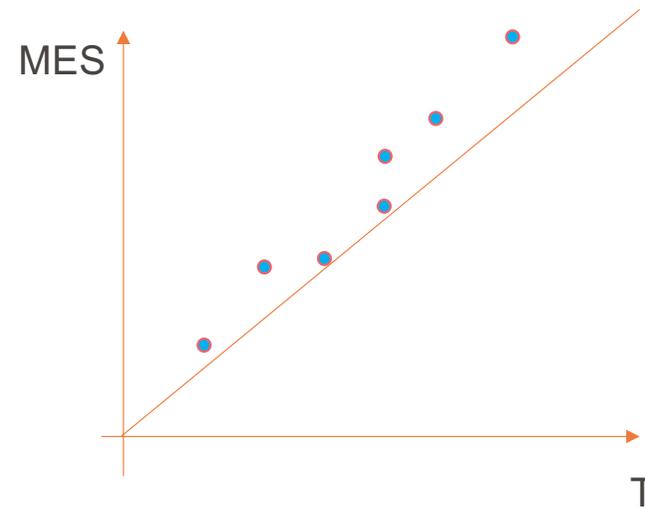


Hypothèses sur les erreurs

Erreurs aléatoires

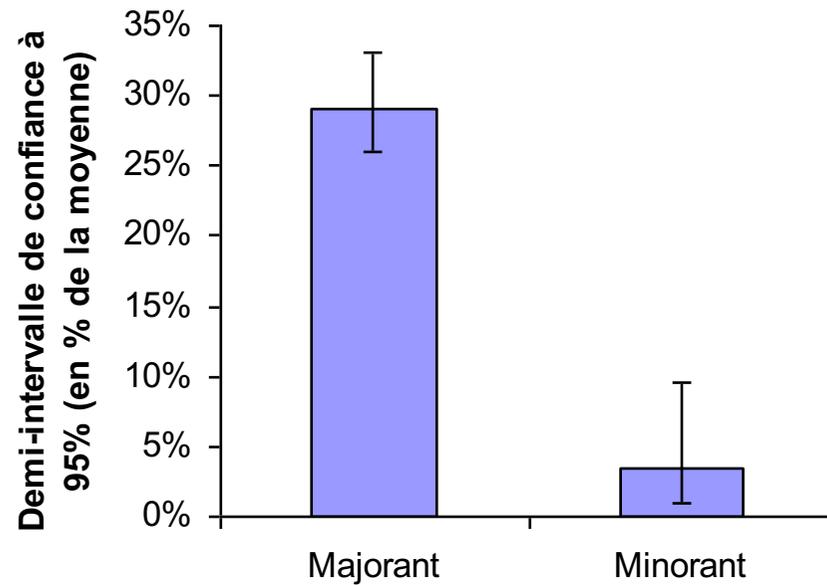


Erreurs aléatoires
+ systématiques par événement



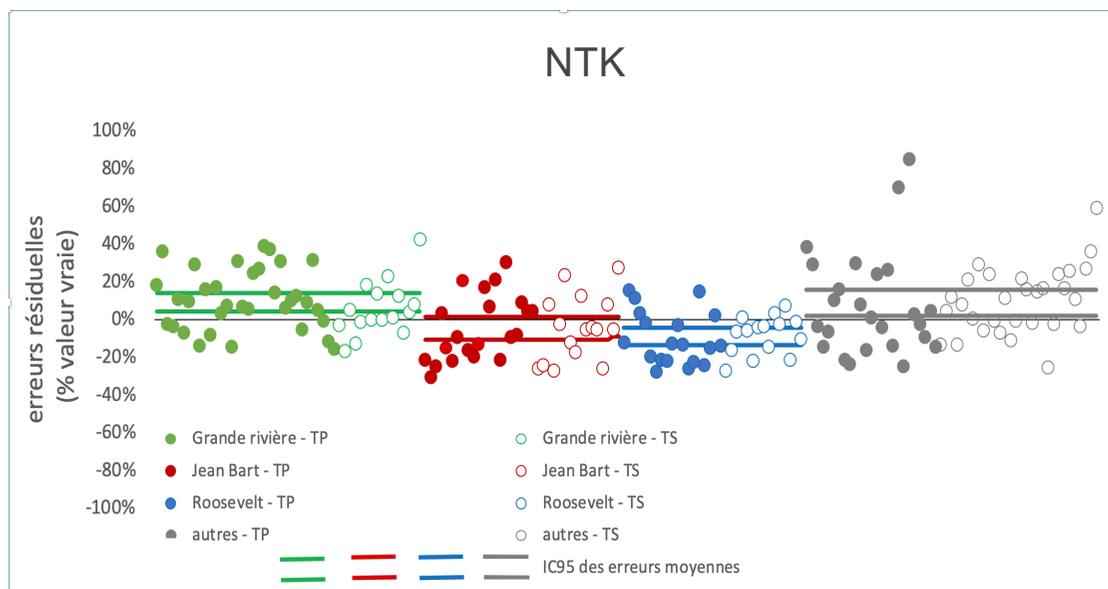
Précision vs. représentativité

Evaluation du gain par simulations de monte-Carlo (-> Hypothèses)



Ajustements globaux et ajustements par site

erreurs résiduelles moyennes pour chaque site obtenues en utilisant les relations globales: différences faibles mais significatives



	MES	DCO	DBO5	NTK	Ptot
G. Rivière	1%	5%	0	6%	6%
Jean Bart	-7%	-3%	-10%	-8%	-9%
Roosevelt	12%	3%	3%	-11%	-2%
Autres sites	0	-2%	3%	6%	3%

P<5%

P<1%

Ajustements globaux et ajustements par site

erreurs résiduelles moyennes obtenues pour chaque site en utilisant les relations globales: différences faibles mais significatives

Des relations spécifiques aux sites permettent d'améliorer de 2 % à 8 % la précision des valeurs mesurées

	MES	DCO	DBO5	NTK	Ptot
½ IC95 relations globales	48	43	49	32	43
½ IC95 relations locales (Tous les sites)	46	38	46	28	35

Ajustements globaux et ajustements par contexte

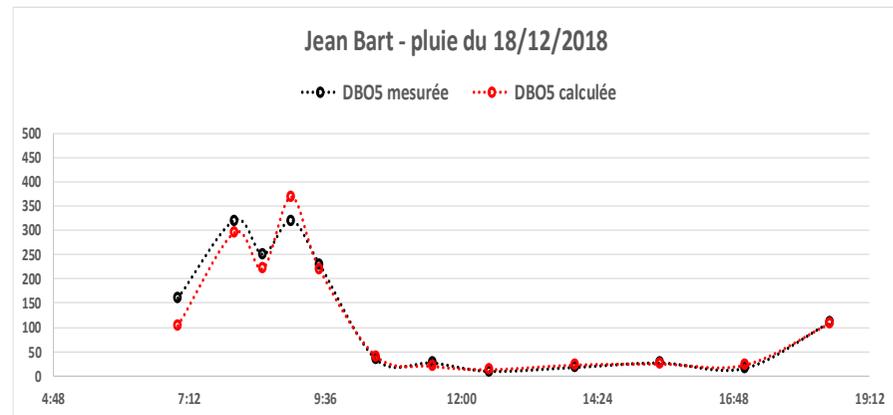
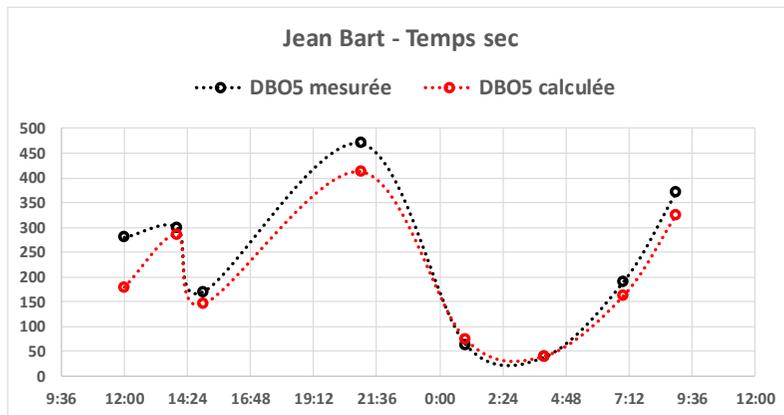
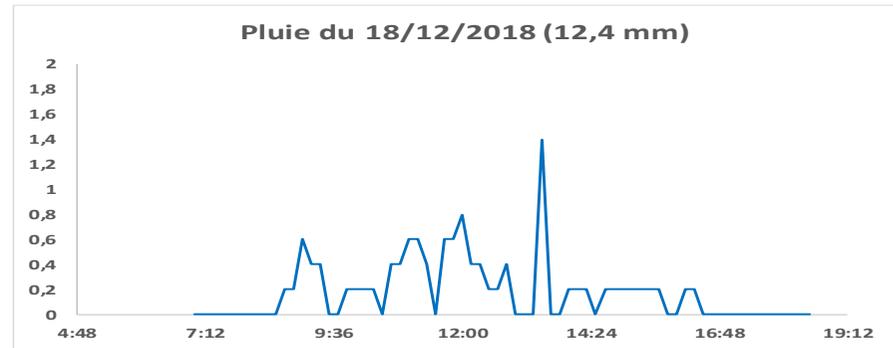
		MES	DCO	DBO5	NTK	Ptot
Tous sites confondus	temps sec	6	3	1	0	2
	pluie	-1	-1	-3	-1	-1
Grande Rivière	temps sec	4	-1	4	-3	-1
	pluie	1	2	0	2	3
Jean Bart	temps sec	5	0	4	4	3
	pluie	-5	-2	-6	-4	-2
Roosevelt	temps sec	3	4	-1	0	2
	pluie	0	-1	4	-8	-4
Autres sites	temps sec	7	4	-5	-2	-1
	pluie	0	-2	4	3	3

Différences non significatives au seuil de 5%

Exemple - déversoir d'orage Jean Bart

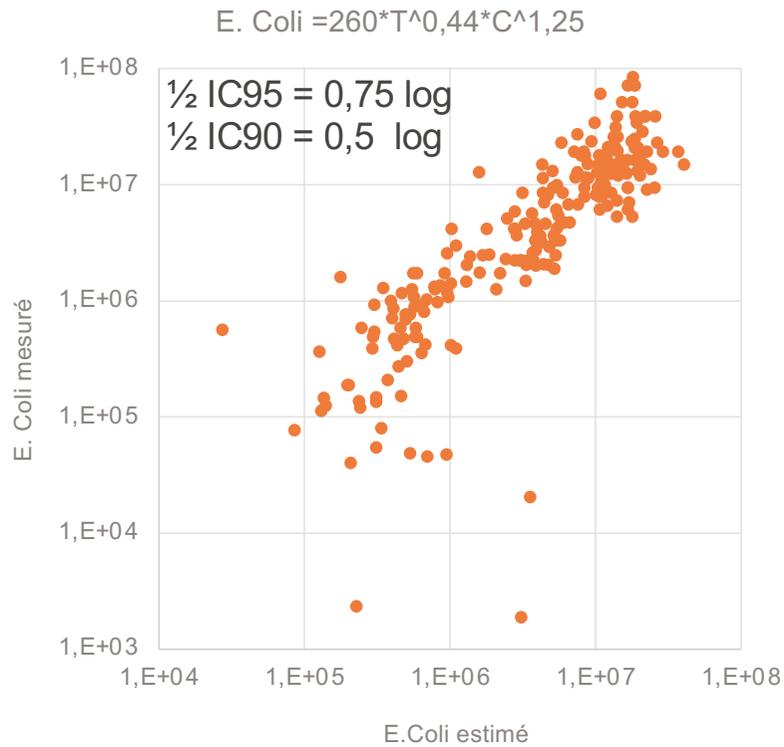
Utilisation de la relation globale calée sur l'ensemble des résultats (tous sites et contextes météorologiques confondus)

$$DBO_5 = 0,16 * \text{Turbidité}^{0,77} * \text{Conductivité}^{0,49}$$

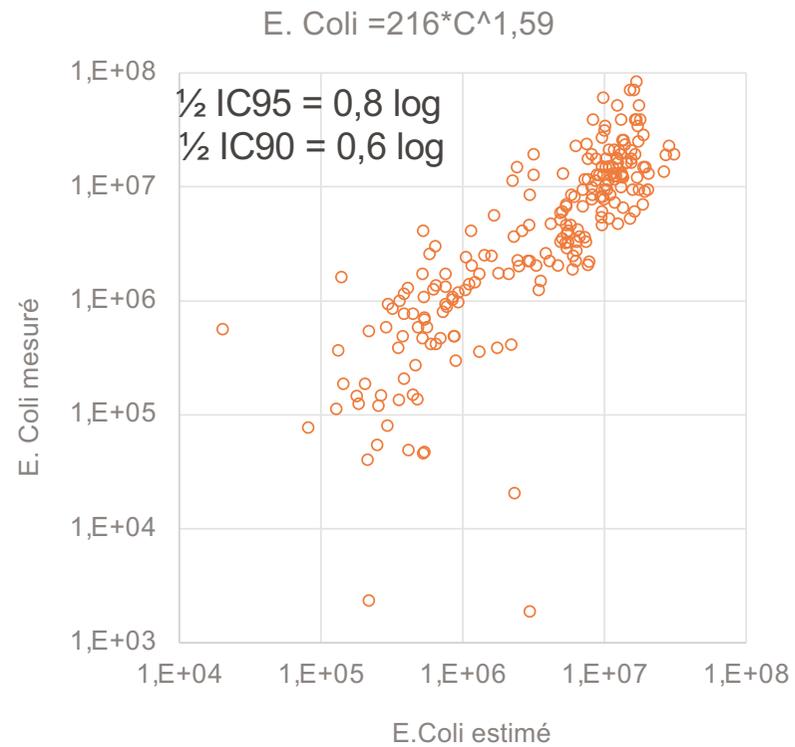


Bonus: bactériologie

Bivarié



Monovarié



Conclusions

1. Sur le réseau unitaire de Brest métropole, **les paramètres réglementaires de pollution peuvent être estimés** sur la base de fonctions puissance de mesures de conductivité et de turbidité.
2. La précision des estimations de valeurs isolées reste modeste: 30 à 50% selon les paramètres
3. Il n'est pas utile sur ce système d'établir des relations d'estimations spécifiques par site ou par contexte hydrologique
4. La bonne **représentativité** des mesures en continu et les probables compensations entre les erreurs sur des valeurs cumulées permettent d'envisager un **contrôle de conformité en flux**, et au-delà un **diagnostic permanent** et une modélisation du fonctionnement du réseau

Conclusions 2

5. L'expression des incertitudes sur des valeurs isolées et l'évaluation des incertitudes sur des valeurs cumulées restent délicates
6. Il serait nécessaire de valider les modèles de régression sur des données supplémentaires

Perspectives

1. Mettre en place des mesures en continu
2. Etablir une correspondance entre turbidité en ligne et turbidité labo

Merci pour votre attention



12/04/2021