

Développements dans la simulation de la qualité sanitaire de l'eau à l'aide du modèle ProSe

J.M. Mouchel¹, P. Dupain^{1,2}, S. Housni², V. Jauzein², V. Rocher²

¹. UMR METIS, Sorbonne-Université, CNRS, EPHE, Paris

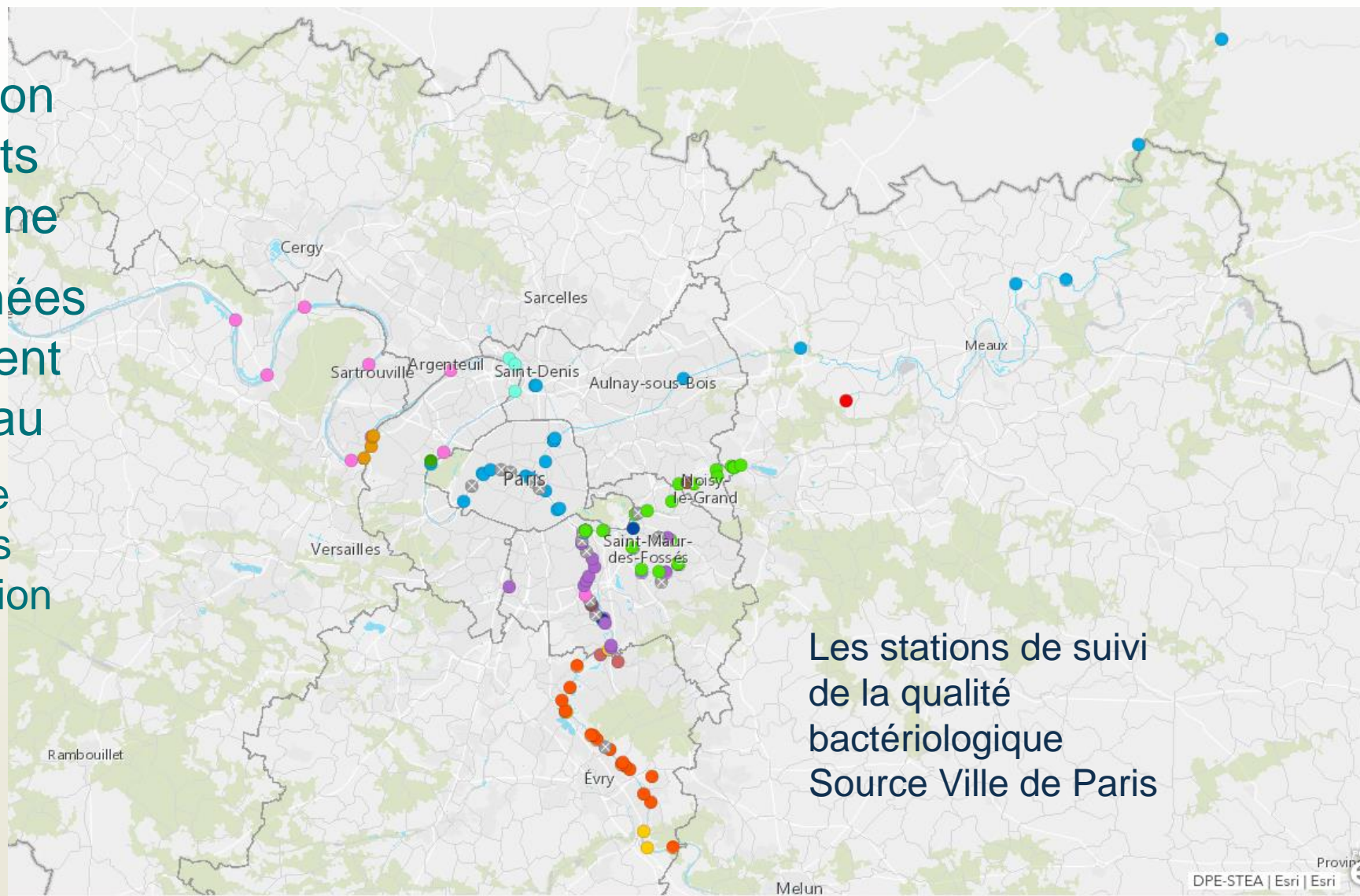
². DIE, SIAAP, Colombes



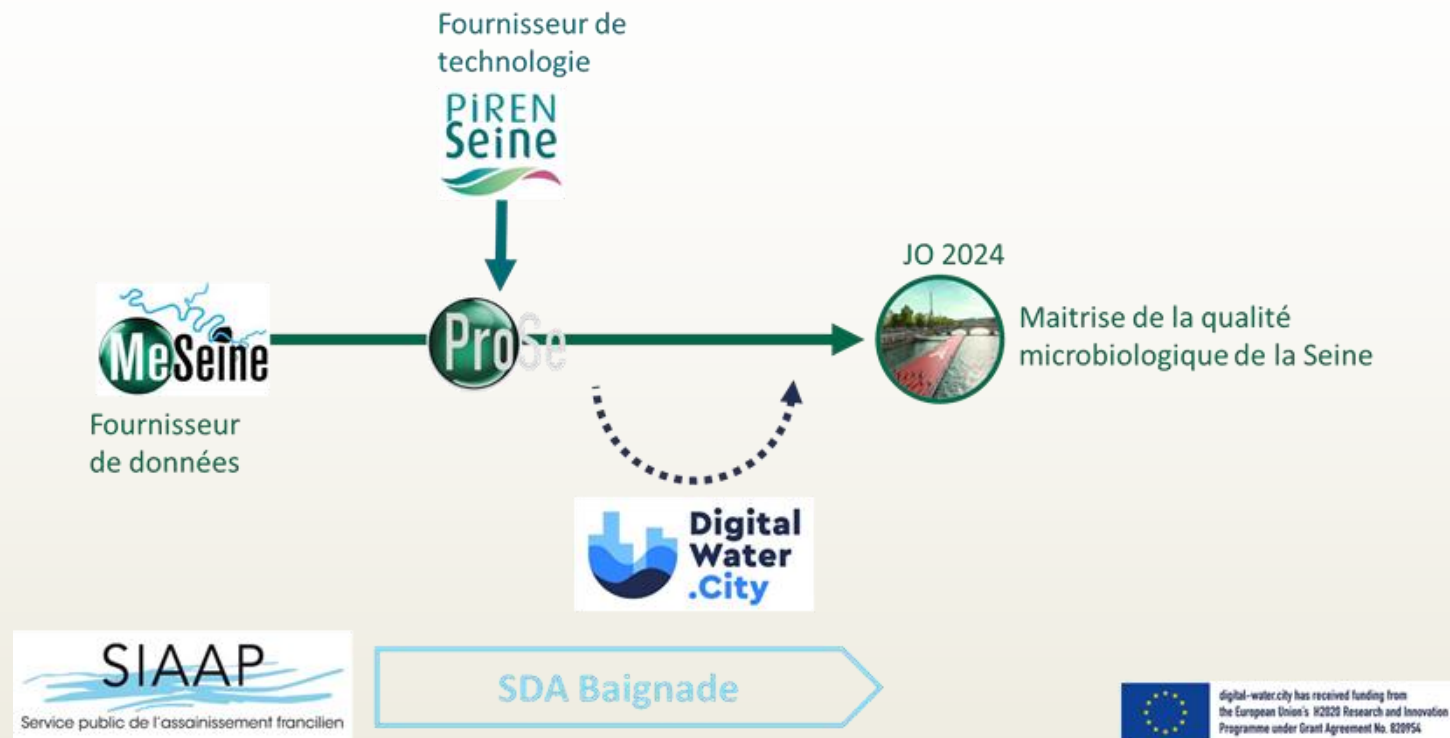
digital-water.city has received funding from
the European Union's H2020 Research and Innovation
Programme under Grant Agreement No. 820954



- Une forte mobilisation en faveur des projets de baignade en Seine
- Production de données nouvelles, notamment sur la qualité de l'eau
 - qui permettent entre autre de revisiter les modèles de simulation de la qualité



Améliorer ProSe-bactério



Une collaboration où chacun apporte son expérience et son expertise

Simulation de la bactérie dans Seneque et ProSe

- Identification du **broutage** comme principal facteur de disparition des bactéries fécales (Menon et al, 2003), du rôle de l'**attachement** des bactéries sur leur devenir (Garcia-Armisen et Servais, 2009), proposition d'un modèle et de ses paramètres.
- Evaluation des **sources** à l'échelle du bassin de la Seine + travaux sur la **reviviscence** (rejets traités aux UV) (Garcia-Armisen et Servais, 2007)
- Application à la Seine et à l'Escaut (Seneque) (Servais et al., 2007)
- Application au Schéma Directeur d'Assainissement de l'agglomération parisienne (ProSe)
 - $\frac{dEC_A}{dt} = -k_A \times EC_A - \frac{V_C}{h} \times EC_A$; $\frac{dEC_L}{dt} = -k_L \times EC_L$
 - $k_L = 0.045 \text{ h}^{-1}$ à 20°C ; $k_A = 0.025 \text{ h}^{-1}$ à 20°C ; $V_C = 0,07 \text{ m.h}^{-1}$
 - Les k sont fonctions de la température via une gaussienne centrée sur 20°C et d'écart-type 20° également

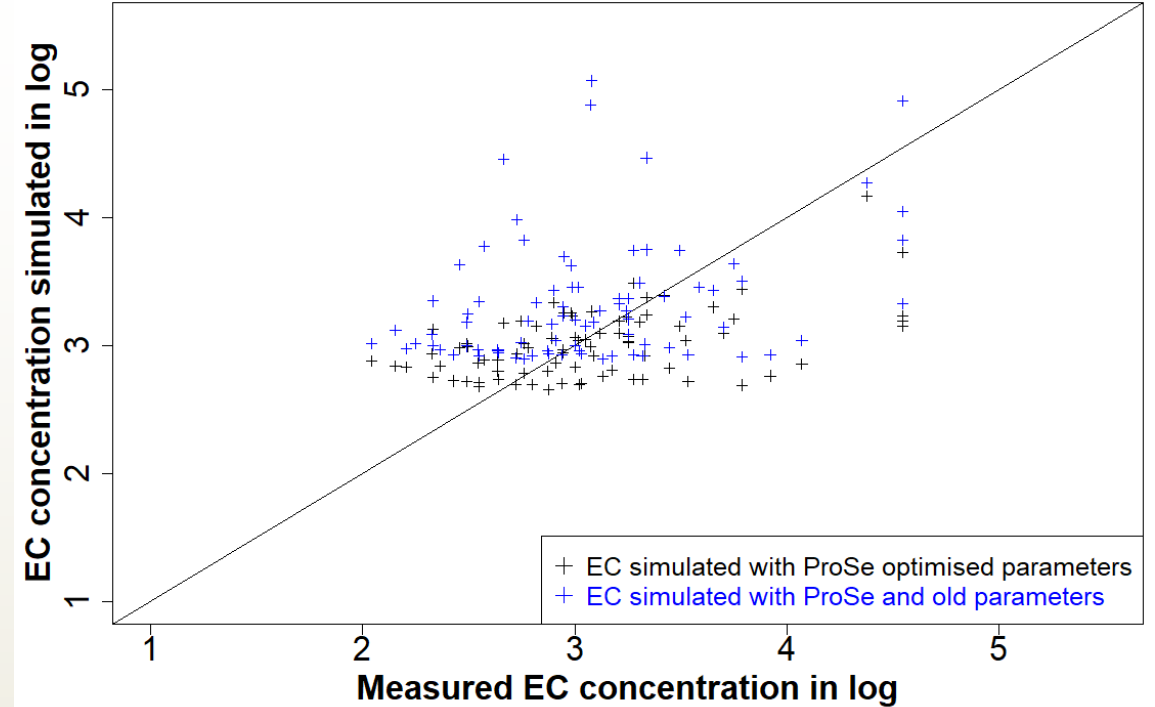
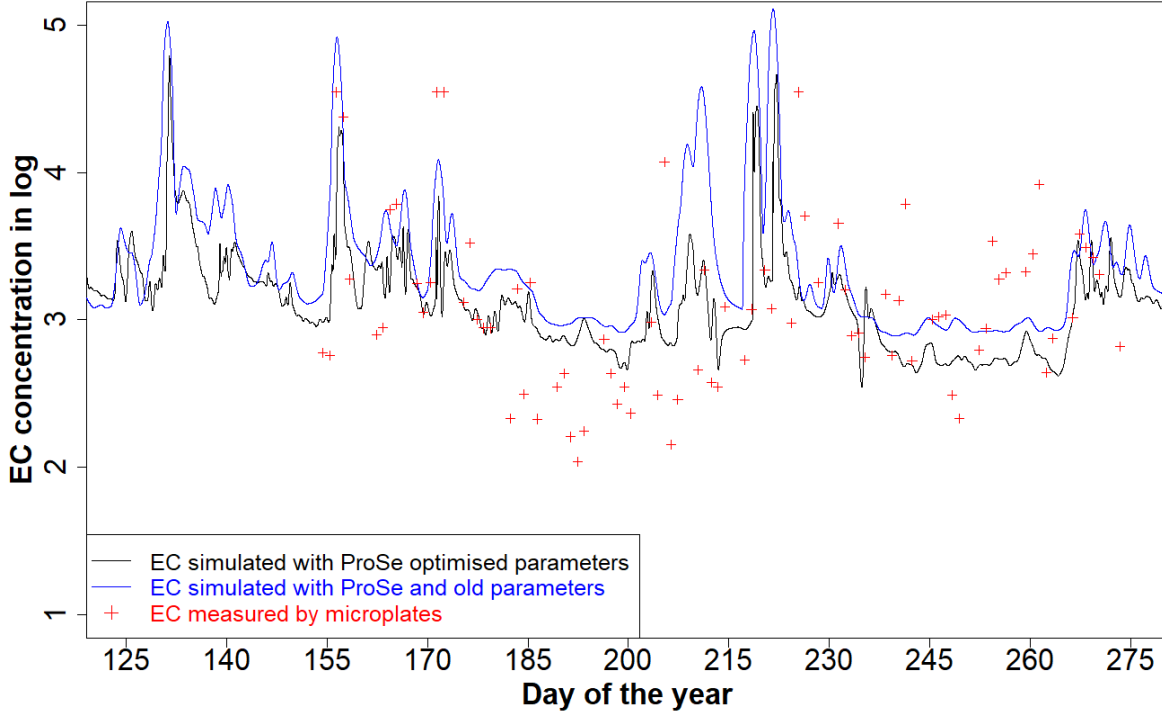
De quoi parlerons-nous ?

- Sensibilité des paramètres
- Vitesses de dégradation (inactivation)
- Effet de la lumière solaire

Sensibilité des paramètres

- Travaux sur les années 2016 à 2019
 - Reconstitution et validation des apports (amont, temps sec et temps de pluie)
 - Collecte des données
- Forte variabilité des observations (voir les écarts-type ci-dessous)
 - 0.2 (sur les logs) pour les mesures, à peine plus pour des suivis en de nombreux points au même moment (~1 heure) en temps sec dans deux stations
 - 0.13/0.06 pour les valeurs simulées au cours de deux périodes de temps sec (3 semaines)
 - 0.36/0.41 pour les valeurs mesurées sur ces mêmes périodes
 - 0.55 pour les erreurs de simulation de ProSe (Iena, 2019)
- Une difficulté pour simuler les (longues) périodes de temps sec
 - Temps de transit plus long
 - Décroissance exacerbée
 - A priori pas (trop) d'apports perturbateurs

Sensibilité des paramètres



- Certaines dynamiques sont encore **mal simulées**
- En temps sec, les faibles valeurs d'*E. coli* ne sont pas atteintes
 - L'ajout d'un taux de décroissance lié au **rayonnement solaire** est étudié comme une solution
- Certaines concentrations élevées sont sous-estimées
 - Une réévaluation des concentrations d'entrée en utilisant les **incertitudes de la corrélation** est possible

(Iena, 2019)

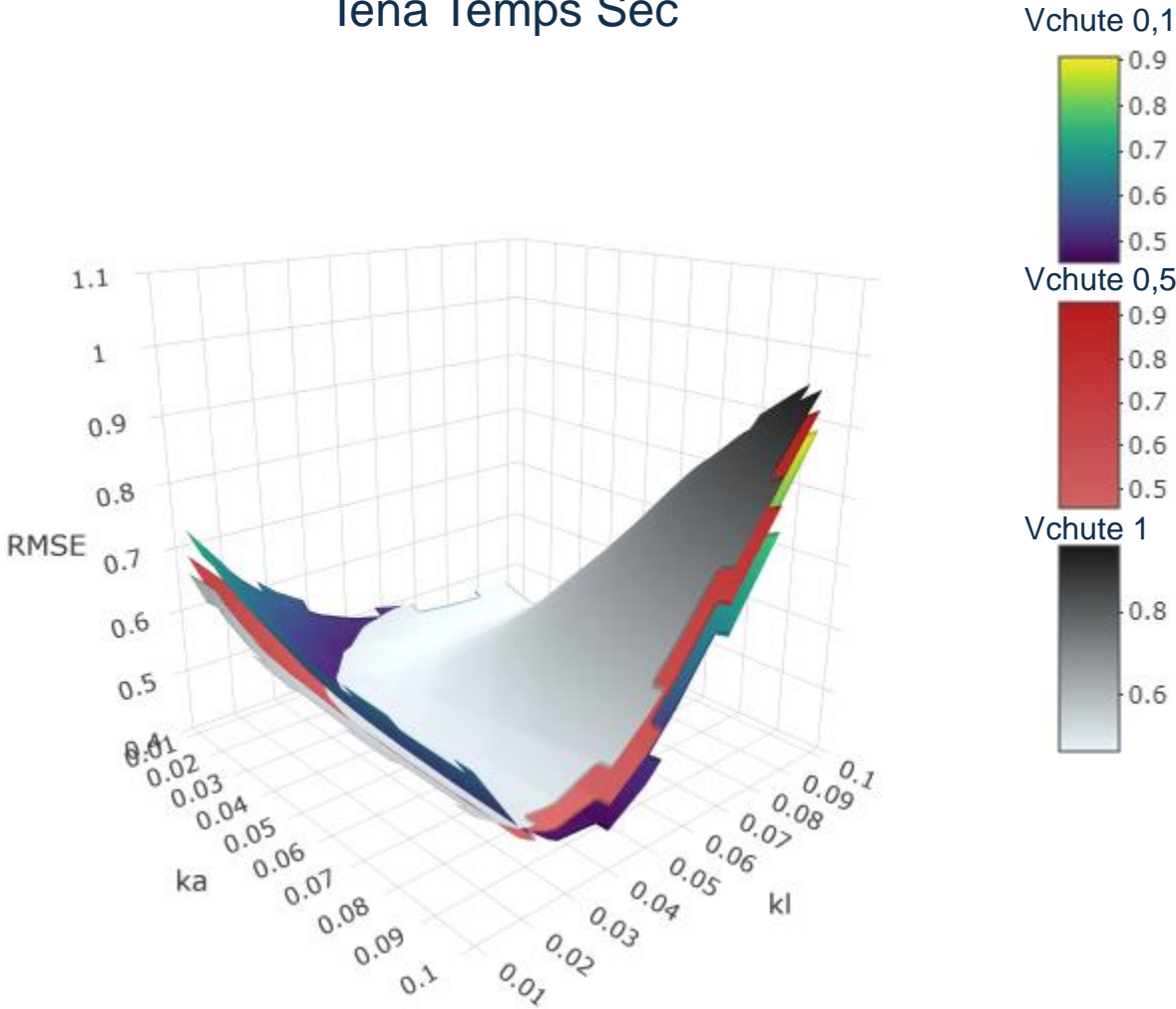
$$k_L = 0.05 /h$$

$$k_A = 0.03 /h$$

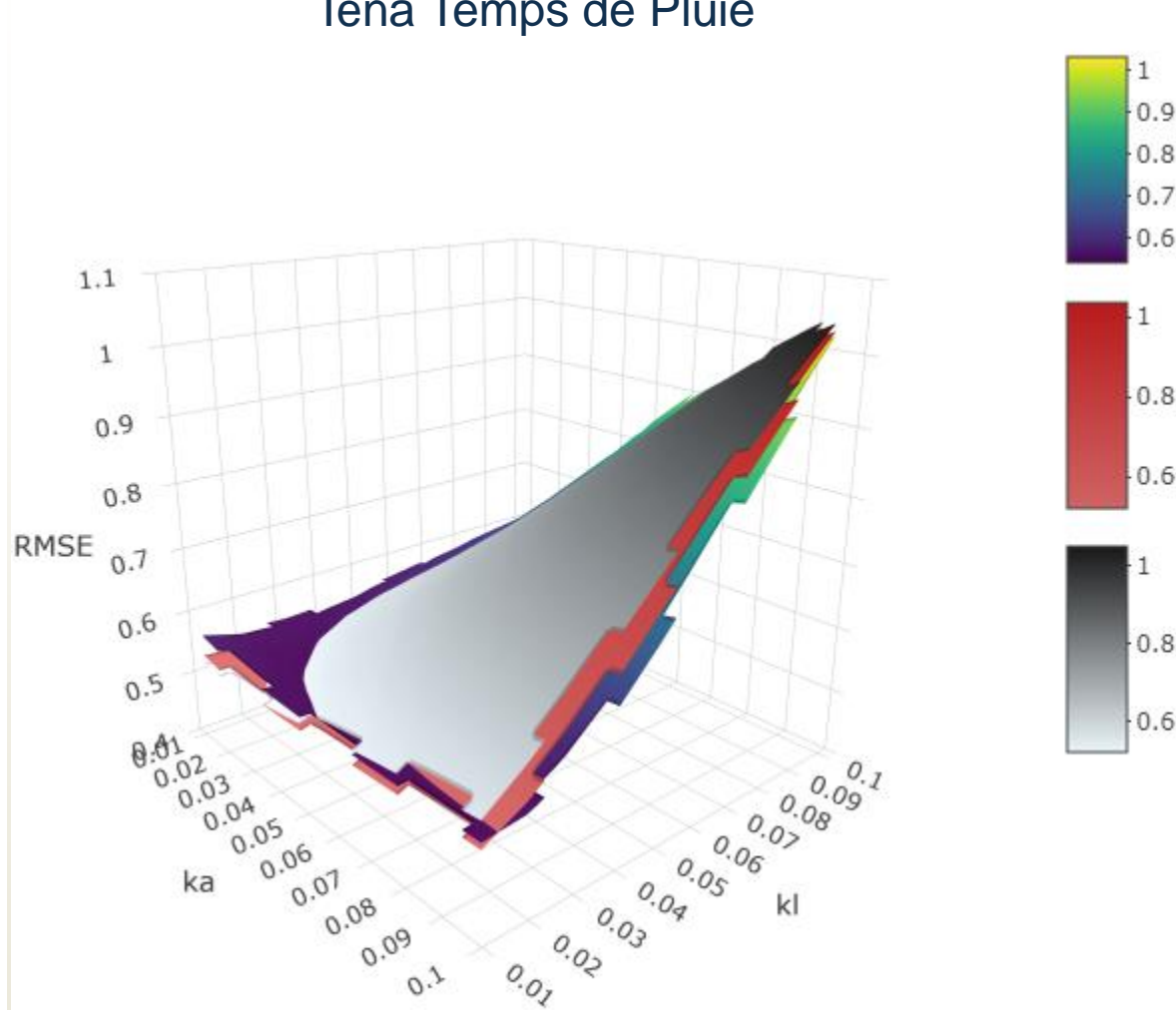
$$V_c = 0.1 \text{ m/s}$$

Sensibilité des paramètres

léna Temps Sec



léna Temps de Pluie



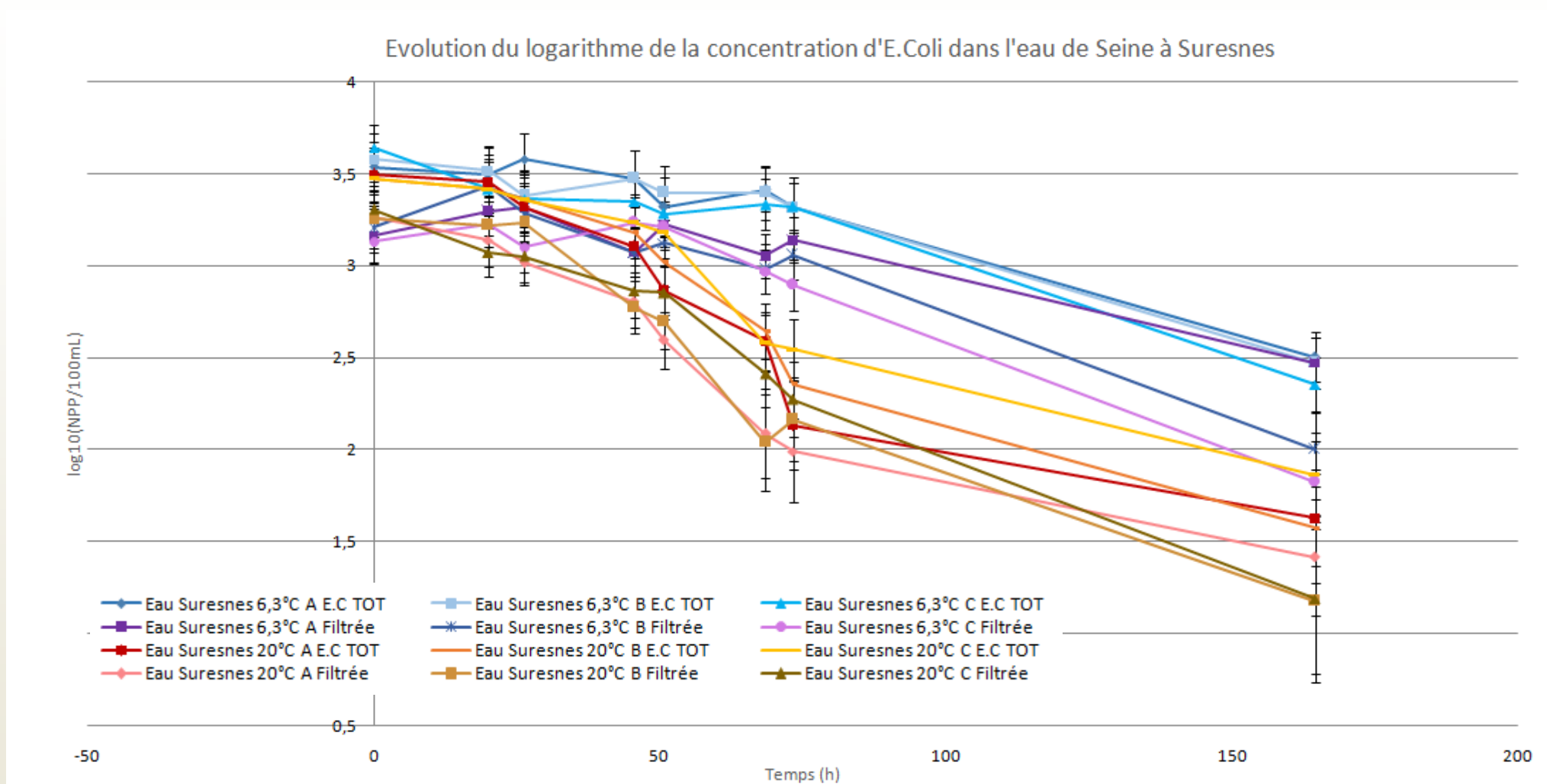
Sensibilité des paramètres

- ▶ Peu d'impact du paramètre vitesse de chute
 - ▶ L'effet de la sédimentation est limité par la resuspension.
 - ▶ Questionnement sur l'importance de simuler des bactéries attachées
- ▶ Indépendance des paramètres k_a et k_l à questionner
- ▶ Des paramètres qui semblent dépendre des situations
 - ▶ => des processus mal pris en compte

Vitesses de dégradation pour les attachées et les libres

- Incubations à l'obscurité à la température de l'échantillon et à 20° (hors été) ou à la température de l'échantillon ($\approx 20^{\circ}\text{C}$) et à 10°C
- Incubations sur une semaine avec une fréquence d'échantillonnage décroissante
- Mesures des bactéries totales et filtrées à 5 μm (dites libres) par méthode IDEXX (Q2000) après dilution d'un facteur 10 (plage de mesure de 10 à 25000 CFU/100 ml)
- Les résultats présentés ici ont été acquis à 20° (approx.)

Vitesses de dégradation pour les attachées et les libres

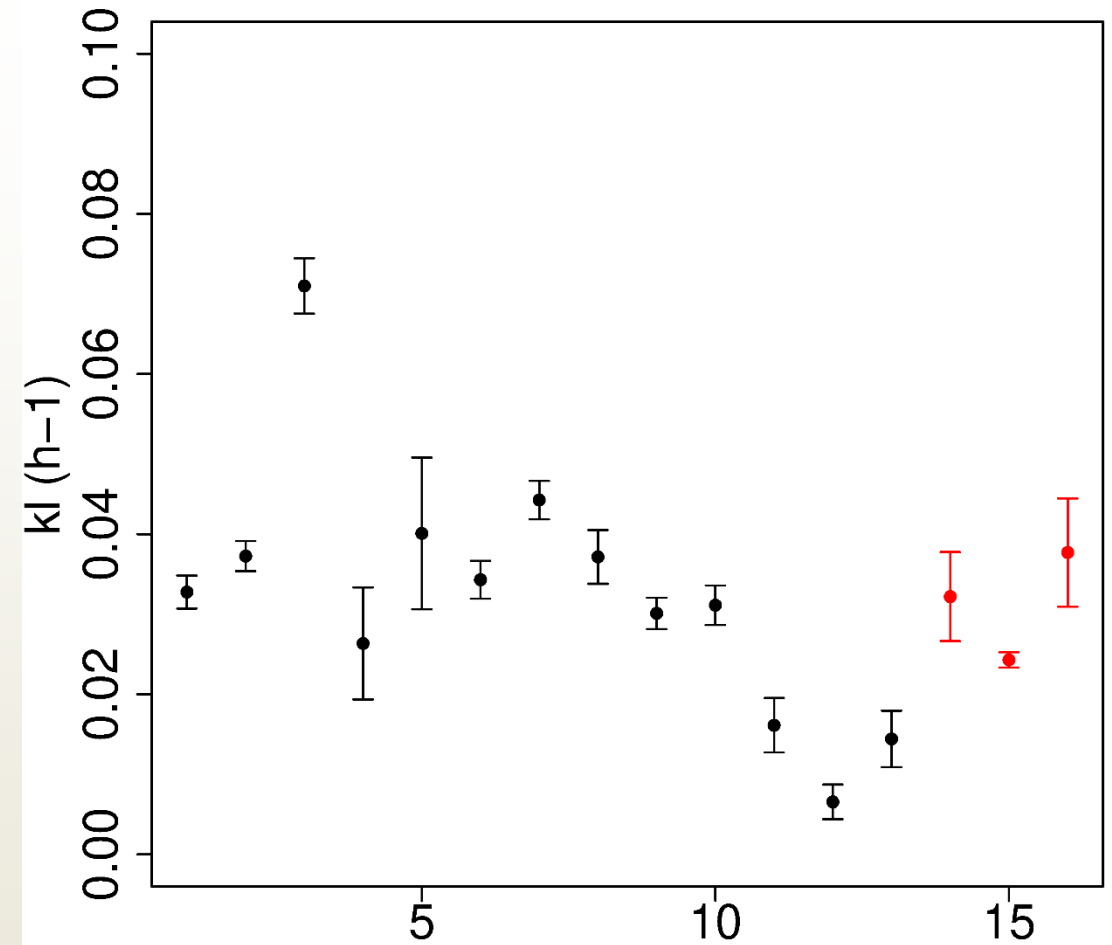
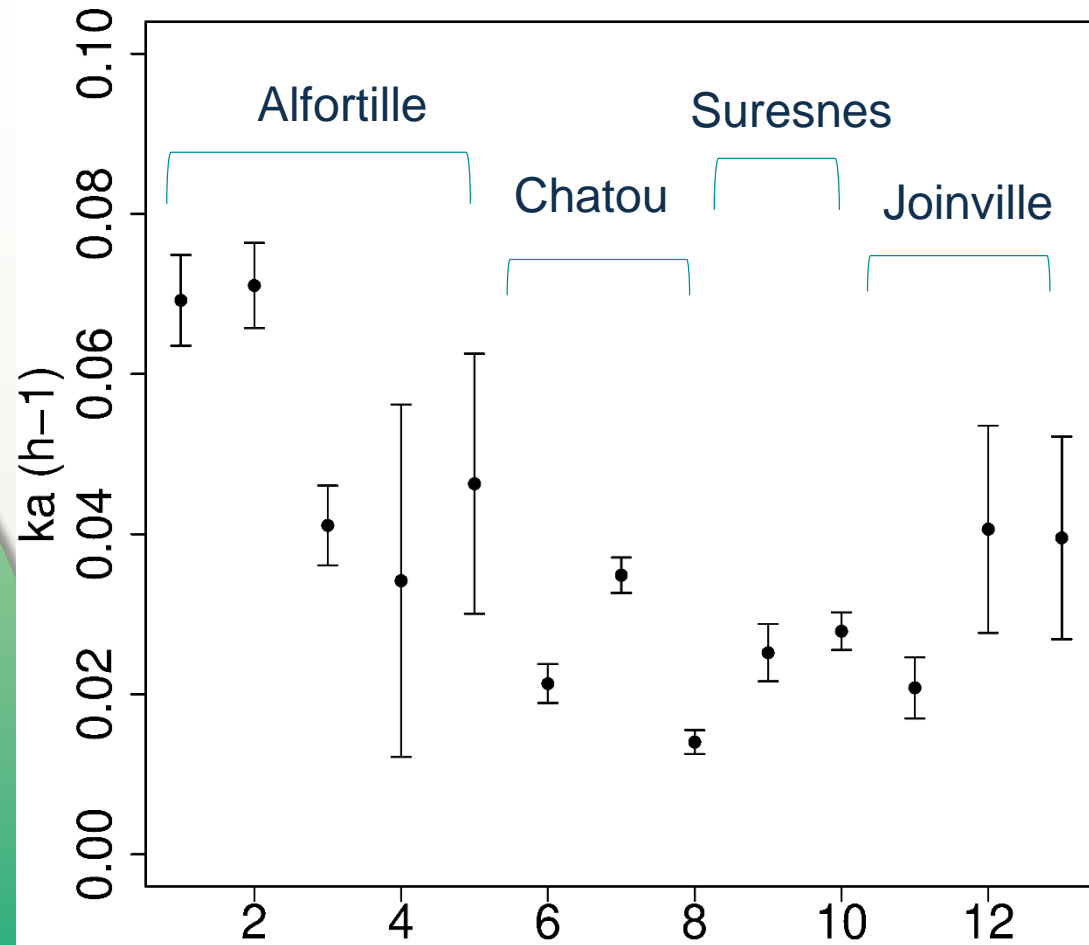


Juste un exemple de résultats

Vitesses de dégradation pour les attachées et les libres

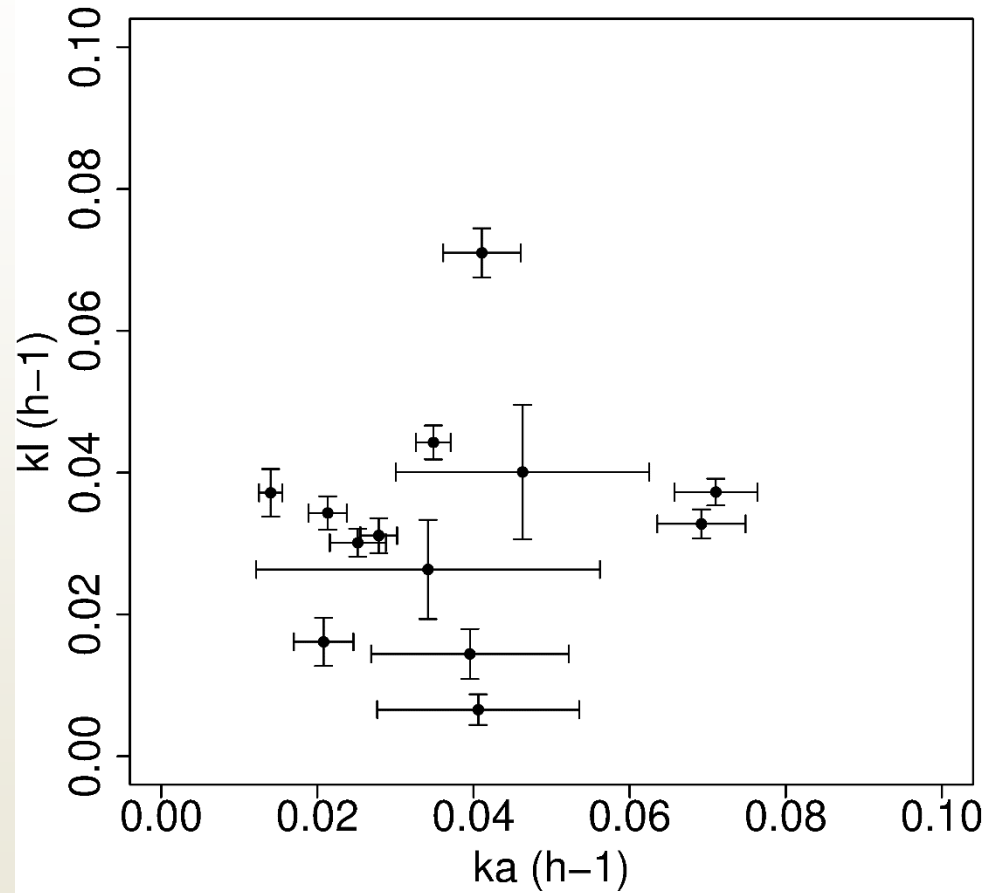
- On a des mesures de *E. coli* totales et des mesures de *E. coli* libres (filtrables à 5 μm)
- On veut estimer les constantes d'inactivation des bactéries attachées et libres
- Calculer les teneurs en bactéries attachées par différence entre totale et libres introduit de fortes incertitudes
- Il est préférable d'ajuster ensemble les deux coefficients k_a (attachées) et k_l (libres) sur les données de bactéries libres et de bactéries totales

Vitesses de dégradation pour les attachées et les libres



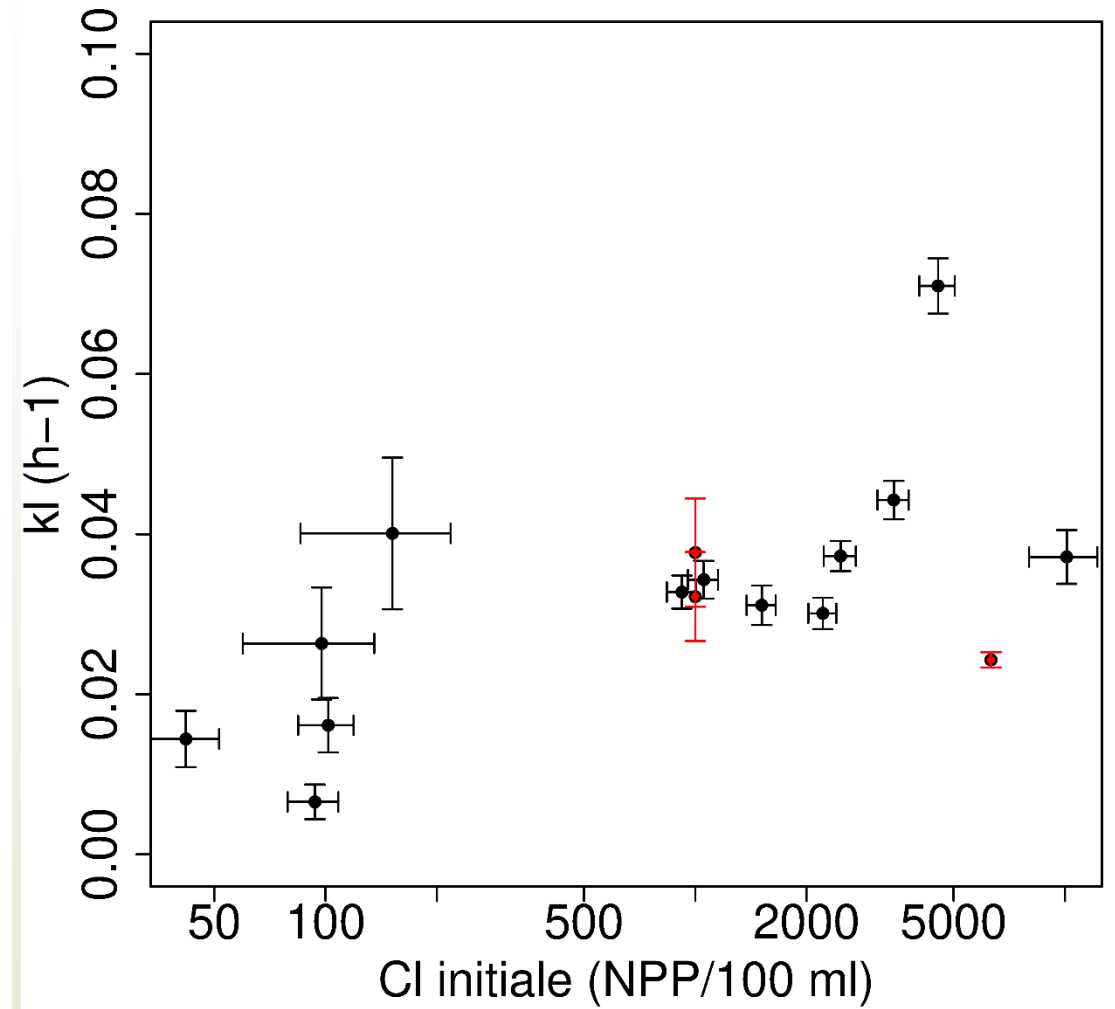
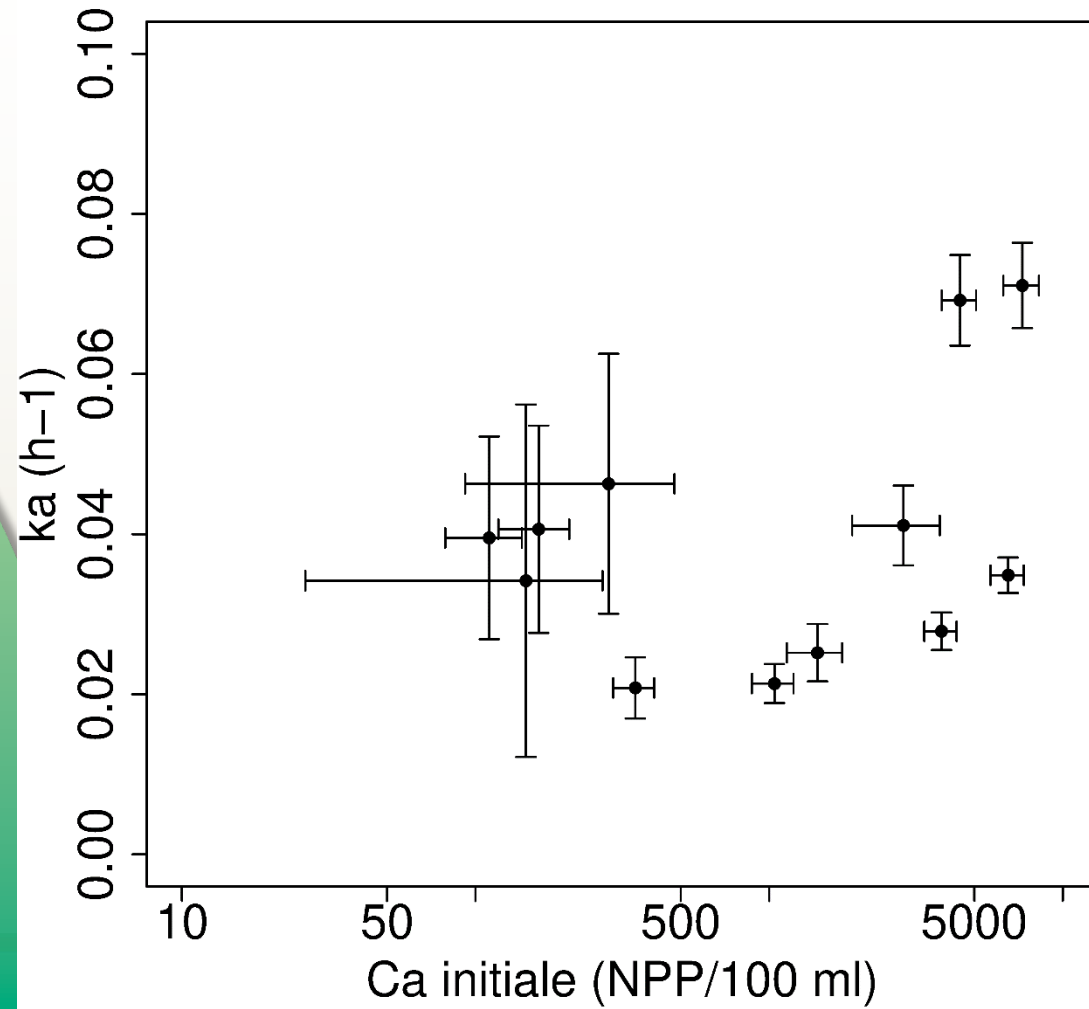
Essais réalisés à 20°C, échantillons collectés de mars à juillet 2021

Vitesses de dégradation pour les attachées et les libres



- Pas de relation claire entre les deux paramètres
- Les erreurs d'estimation sont liées (et liées à une certaine inadéquation entre données et modèle)

Vitesses de dégradation pour les attachées et les libres



Tendance à l'augmentation des vitesses de dégradation en fonction de la concentration initiale dans l'échantillon

Vitesses de dégradation pour les attachées et les libres

- Finalement les valeurs des constantes d'inactivation apparaissent égales à :
- $0.032 \pm 0.016 \text{ h}^{-1}$ pour les bactéries libres
- $0.037 \pm 0.017 \text{ h}^{-1}$ pour les bactéries attachées
- Les bactéries attachées n'ont pas une vitesse d'inactivation inférieure aux libres
- Les constantes standard de 0.045 h^{-1} et 0.025 h^{-1} (à 25°C) pour les libres ne sont pas clairement réfutées par ces essais

Effet de la lumière solaire sur l'inactivation

- Expérimentation compliquées car l'apport d'un rayonnement solaire représentatif fait chauffer l'eau
- Option choisie : lumière solaire naturelle, dans une petite piscine pour tenter de tamponner le réchauffement
- Bacs d'essai en plastique de 20 à 50 litres, protégés par un film (PE, 10 μm), faible absorbance dans l'UV
- Température insuffisamment contrôlée

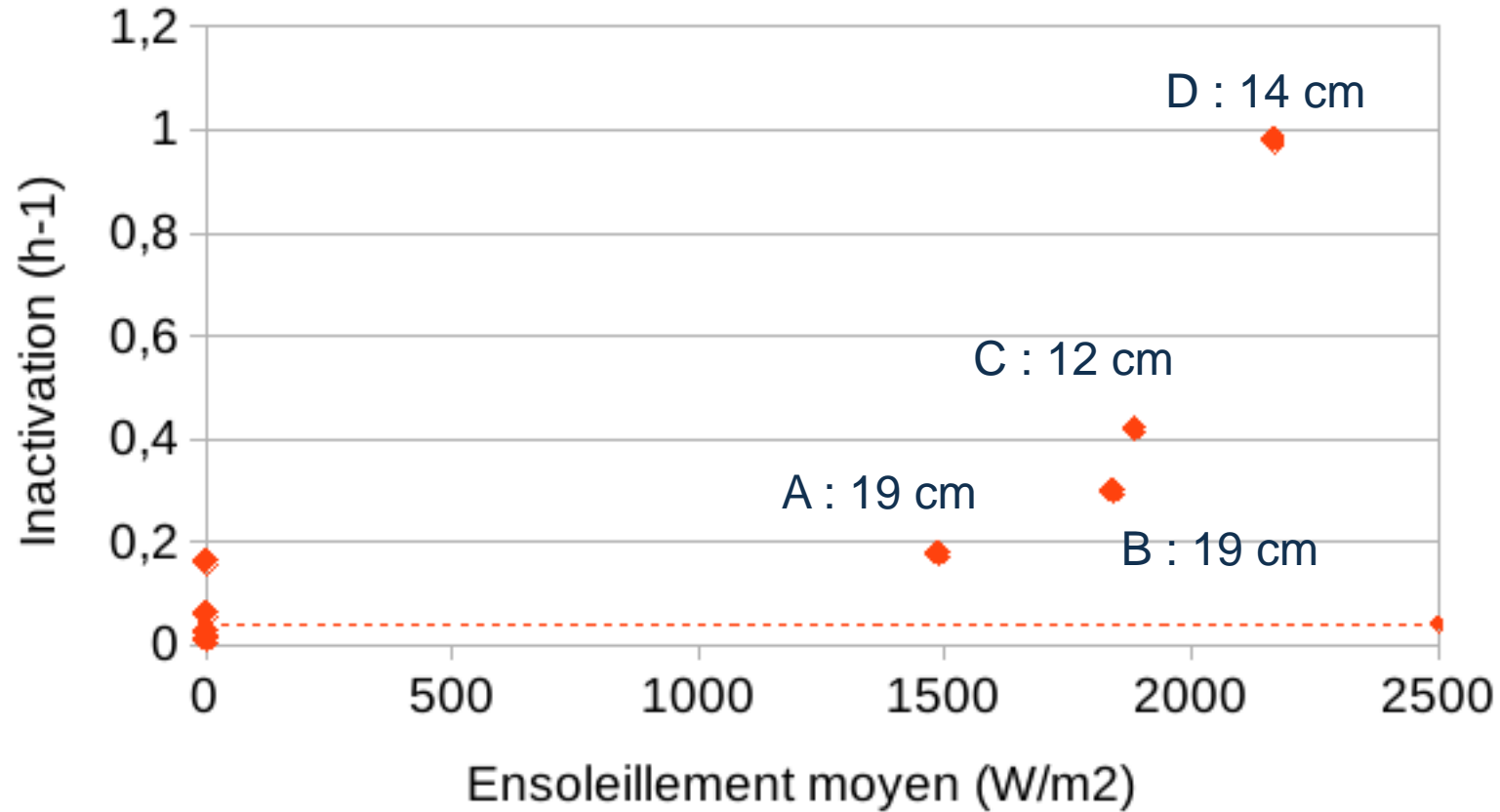
Effet de la lumière solaire sur l'inactivation



Effet de la lumière solaire sur l'inactivation

Dates de l'essai	échantillons	k (h ⁻¹) pour <u>E. coli</u>	k (h ⁻¹) pour Coliforme	Température moyenne(°C)	Rayonnement moyen reçu (W/m ²)	Hauteur d'eau dans le bac (cm)	Durée d'essai (min)
2/08/2022	Au soleil (moyenne de 3 bacs)	0,42	0,19	25,47	1885,78	12	345
	à l'obscurité	0.06	0	24.47	0		
9/08/2022	Au soleil (moyenne de 3 bacs)	0,98	0,37	27,37	2166,93	14	330
	à l'obscurité	0.162	0.012	26.15	0		
22/08/2022	Au soleil (moyenne de 3 bacs)	0,178	0,092	22.09	1487,25	19	300
	à l'obscurité	0.012	0.018	20.12	0		
24/08/2022	Au soleil (moyenne de 3 bacs)	0,30	0,02	23,85	1841,25	19	300
	à l'obscurité	0.024	0	22.57	0		

Effet de la lumière solaire sur l'inactivation



Impact intégré sur la Seine :

On compare $k \cdot h$ sur la tranche supérieure et sur toute la colonne d'eau => inactivation par unité de surface

Colonne d'eau : $0.04 * 4 = 0.16$

A : $0.18 * 0.19 = 0.035$ (+22%)

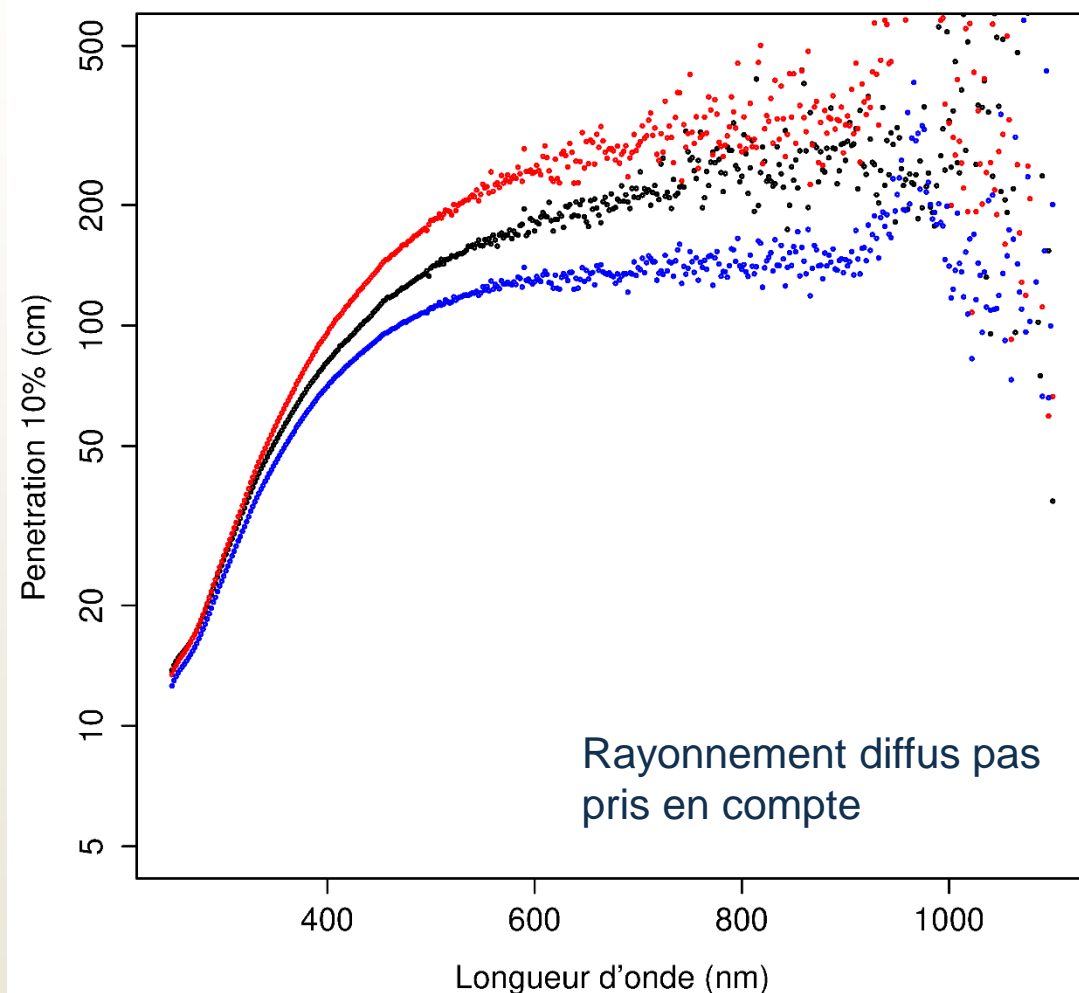
B : $0.30 * 0.19 = 0.057$ (+36%)

C : $0.42 * 0.12 = 0.050$ (+31%)

D : $0.98 * 0.14 = 0.14$ (+88%)

Effet de la lumière solaire sur l'inactivation

- Potentiellement un impact important sur l'inactivation au cours des « belles » journées
- Effet de la profondeur à mieux évaluer (effet des différents type de rayonnement)
- Et effet de la durée du jour (intensité et spectre variable)
- Essais en mésocosme *in situ* en Seine, plus profond, mieux régulé en température, souhaitables



Conclusions

- Des propositions pour introduire des évolutions dans ProSe, et qu'il faudra tester rapidement
 - Suppression de la différenciation entre attachées et libres
 - Ajout d'un effet de la lumière solaire sur l'inactivation des bactéries fécales
- Poursuite de la confrontation du modèle aux données pour 2020 et 2021
 - Collecte des données en cours (très avancée)
- Mise à jour de l'analyse de scénarios d'aménagement
- Travail focalisé sur le temps réel
 - Utilisation des données temps réel pour ré-orienter les simulations (travail rétrospectif en cours)