

**Monitoring the risk of *Legionella* infection
using graphical independence network
updated from temporal measurements and
applied to agricultural irrigation with reclaimed
wastewater.**

Gaspar Massiot

AgroParisTech Nancy, EcoSilva, UMR Silva

Isabelle Albert

Inrae AgroParisTech Paris-Saclay, SOLsTIS, UMR 518 Mia-Paris

Dominique Courault

Inrae, DREAM, UMR 1114 EMMAH

Séminaire annuel 2021 du réseau Reuse

- Projet : SmartFertiReuse (Smart Ferti-irrigation et RÉUtilisation des eaux USÉes traitées) coordonné par VEOLIA Recherche et Innovation.
- Objectif du projet : Concevoir un service de ferti-irrigation.
- Partenaires Académiques :



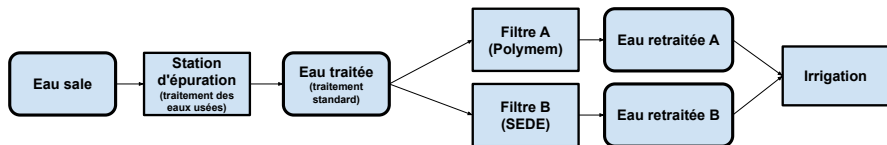
- Partenaires Industriels :



Expérimentations

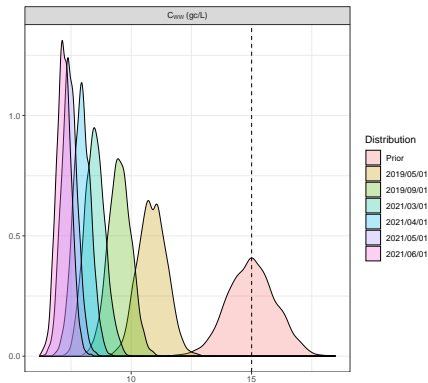
- Parcelles expérimentales dans la région de Tarbes.



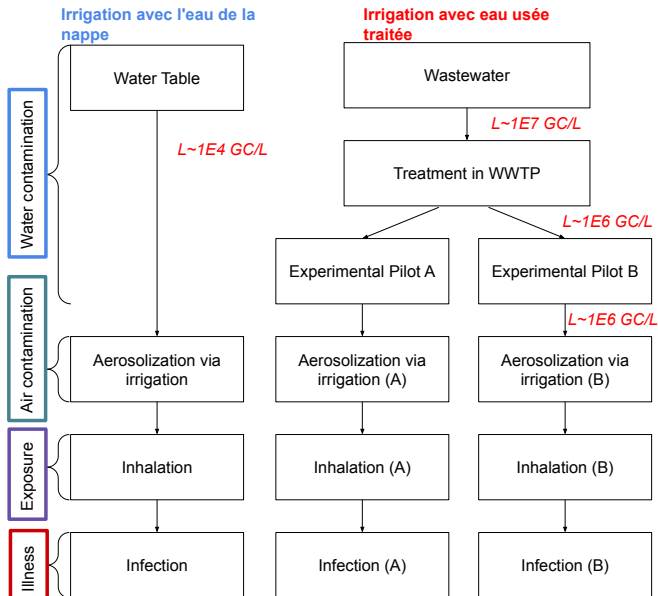


- Suivi des risques sanitaires liés aux pathogènes émis lors de l'irrigation et propagés :
 - ▷ par aspersion et dispersion dans l'air ;
 - ▷ par transfert de la surface irriguée jusque dans la nappe.
- Etude de deux filtres pilotes :
 - ▷ A = Ultra-filtration
 - ▷ B = UV

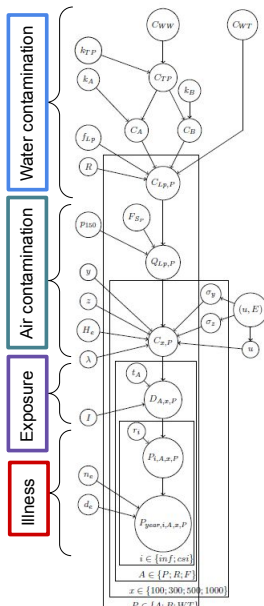
- Approche Bayésienne par MCMC (Markov Chain/Monte Carlo)
 - ▶ Permet d'exprimer ce que l'on sait sur les inconnues à partir des données (ce qui est connu)
 - ▶ Algorithme séquentiel : chaque itération comporte une étape de mise à jour de la chaîne des paramètres
- Part d'une information *a priori* pour en déduire la loi *a posteriori* par les données
- Réduit l'incertitude sur les inconnues.



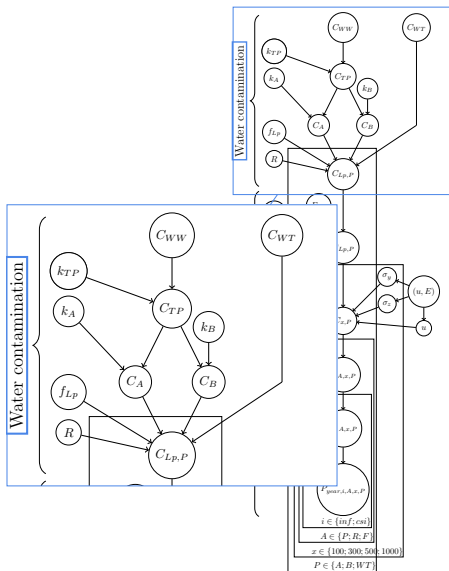
Construction du modèle



- **Water contamination :**
 - ▷ Modélisation du traitement de l'eau usée avant irrigation
- **Air contamination :**
 - ▷ Modélisation de la dispersion des pathogènes dans l'air
- **Exposure :**
 - ▷ Modélisation de l'exposition de différentes populations (agriculteurs, résidents, passants)
- **Illness :**
 - ▷ Modélisation de la probabilité d'infection par un modèle dose-réponse



Core model - Water Contamination



3 different pathways for the water used for the **irrigation of the fields**

- Irrigation directly from the **water table** with quality C_{WT} ;
- Irrigation from wastewater sequentially treated by standard WWTP treatments and **experimental pilot A** with quality C_A ;
- Irrigation from wastewater sequentially treated by standard WWTP treatments and **experimental pilot B** with quality C_B .

$$C_A = C_{TP}/10^{k_A}$$

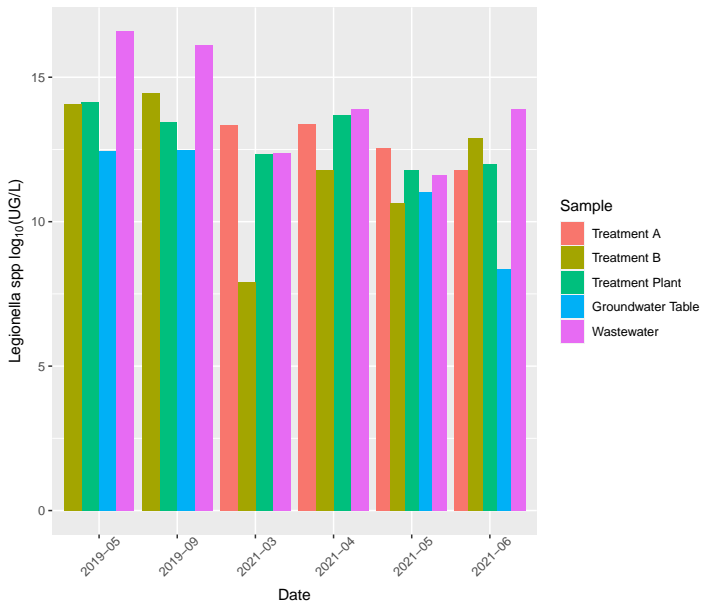
$$C_B = C_{TP}/10^{k_B}$$

$$\text{with } C_{TP} = C_{WW}/10^{k_{TP}}$$

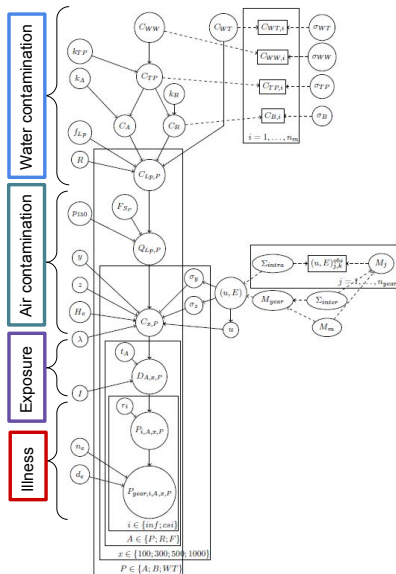
Priors on the [Water contamination](#) block of the [Core model](#)

Description	Sym- bol	Unit	Value	Distri- bution
Water quality in water table	C_{WT}	gc/L	$\mu = 10,$ $\sigma = 1$	Lognor- mal
Wastewater quality before any treatment	C_{WW}	gc/L	$\mu = 15,$ $\sigma = 1$	Lognor- mal
Log removal value of the treatment in WWTP	k_{TP}	–	$\mu = 8,$ $\sigma = 0.1$	Normal
Log removal value of the treatment by experimental pilot <i>A</i>	k_A	–	$\mu = 4,$ $\sigma = 0.1$	Normal
Log removal value of the treatment by experimental pilot <i>B</i>	k_B	–	$\mu = 3,$ $\sigma = 0.1$	Normal

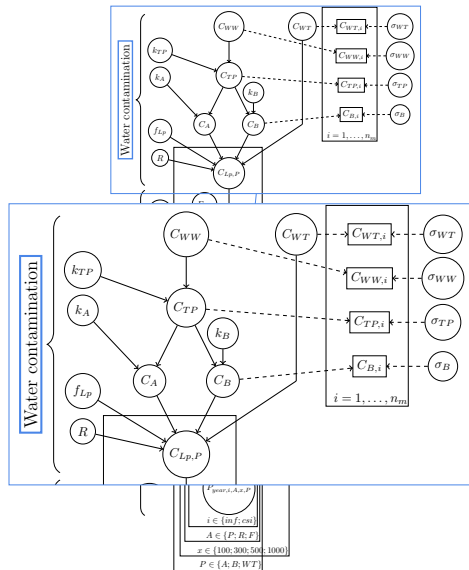
Données de concentration



- Réseau Bayésien
- Suivi "continu" des données
- Données microbiologiques de contamination de l'eau (six dates 21 Mai, 17 Septembre 2019, et une date par mois de Mars à Juin 2021)
- Données météorologiques locales (Météo France de Mai 2010 à Septembre 2017 et Inrae Avril 2018 à Juin 2020)
- Données épidémiologiques nationales



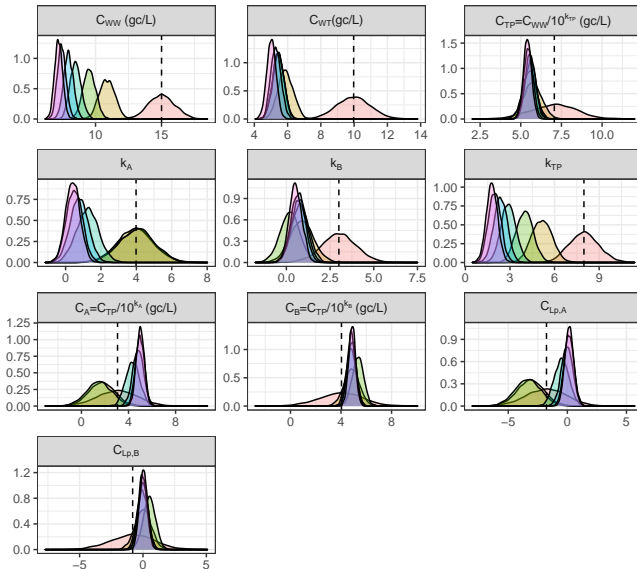
Augmented model



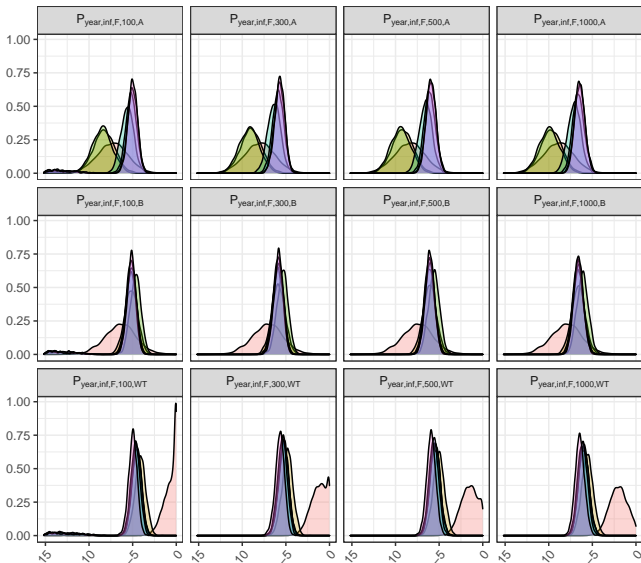
Priors on the **Water contamination** block of the **Augmented model**

Variable X	Distribution
$C_{WT,i}; C_{WW,i}; C_{TP,i}; C_{A,i}; C_{B,i}$ μ_P σ_P	$X \sim \log \mathcal{N}(\mu_P, \sigma_P)$ $X = \log(C_P)$ $1/X^2 \sim \text{Gamma}(10, 1)$

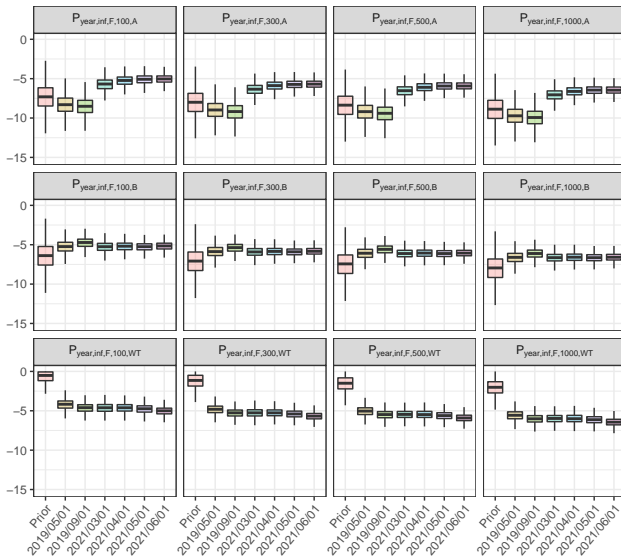
- MCMC simulations



- Modèle dose réponse exponentiel : $Prob = 1 - \exp(-r * dose)$



- Modèle dose réponse exponentiel : $Prob = 1 - \exp(-r * dose)$



- Seuil maximal acceptable (US EPA) : probabilité d'infection annuelle de 10^{-4} .

	$P_{year,inf,F,100,A}$	$P_{year,inf,F,100,B}$	$P_{year,inf,F,100,WT}$
Prior	-7.31 [-8.47;-6.16]	-6.38 [-7.58;-5.22]	-0.51 [-1.17;-0.06]
2019/05/01	-8.3 [-9.14;-7.47]	-5.24 [-5.79;-4.69]	-4.17 [-4.66;-3.75]
2019/09/01	-8.51 [-9.3;-7.75]	-4.72 [-5.21;-4.29]	-4.6 [-5.05;-4.23]
2021/03/01	-5.68 [-6.27;-5.17]	-5.25 [-5.71;-4.82]	-4.61 [-5.06;-4.21]
2021/04/01	-5.23 [-5.7;-4.79]	-5.19 [-5.63;-4.8]	-4.61 [-5.03;-4.22]
2021/05/01	-5.08 [-5.52;-4.65]	-5.25 [-5.65;-4.88]	-4.74 [-5.17;-4.37]
2021/06/01	-5.04 [-5.43;-4.65]	-5.16 [-5.54;-4.81]	-5 [-5.39;-4.67]

- Cible conservative : 10^{-6} DALY*

	$DALY_{F,1000,A}$	$DALY_{F,1000,B}$	$DALY_{F,1000,WT}$
Prior	-7.32 [-8.48;-6.17]	-6.4 [-7.6;-5.24]	-0.53 [-1.19;0.08]
2019/05/01	-8.32 [-9.15;-7.48]	-5.25 [-5.81;-4.7]	-4.18 [-4.67;-3.77]
2019/09/01	-8.52 [-9.31;-7.76]	-4.73 [-5.22;-4.31]	-4.62 [-5.06;-4.24]
2021/03/01	-5.69 [-6.28;-5.19]	-5.26 [-5.72;-4.84]	-4.63 [-5.07;-4.22]
2021/04/01	-5.24 [-5.72;-4.8]	-5.2 [-5.64;-4.81]	-4.63 [-5.05;-4.23]
2021/05/01	-5.09 [-5.53;-4.67]	-5.26 [-5.66;-4.9]	-4.75 [-5.18;-4.38]
2021/06/01	-5.05 [-5.44;-4.67]	-5.17 [-5.55;-4.82]	-5.02 [-5.4;-4.68]

*DALY=0.97P, van Lier et al., 2016

Core model

- Permet d'échanger avec les experts du domaine pour la construction des priors,
- Pas d'inversion possible des relations de dépendance entre les variable et les paramètres (définition en amon).

Augmented model

- Propagation de l'incertitude des données vers les paramètres du modèle,
- Suivi continu des données.

Perspectives

- Inclusion de données **épidémiologiques** dans le modèle,
- Application du modèle sur d'autres pathogènes (Stage Inès Perez sur **SbASR**),
- Modélisation conjuguée de la dispersion des pathogènes dans l'air et du transfert des pathogènes dans la nappe via le **sol**,
- Adaptation du modèle aux problématiques **multi-pathogènes** (micro-polluants, etc.).