

Inférence bayésienne adaptative pour la reconstruction de source en dispersion atmosphérique

Harizo Rajaona

Directeurs de thèse: Yves Delignon, François Septier

Lille

21 novembre 2016

- ① Contexte et problématique
- ② Une méthodologie adaptative pour l'inférence bayésienne
- ③ Application au cas expérimental FFT07
- ④ Application avec modèle rétrograde aux cas simulés Beaune et Opéra
- ⑤ Conclusions et perspectives

- 1 Contexte et problématique
- 2 Une méthodologie adaptative pour l'inférence bayésienne
- 3 Application au cas expérimental FFT07
- 4 Application avec modèle rétrograde aux cas simulés Beaune et Opéra
- 5 Conclusions et perspectives

Les rejets **NRBC**¹ dans l'atmosphère peuvent être d'origine :

- accidentelle (fuite ou explosion sur un site industriel),
- malveillante (actes terroristes)



Fukushima (2011)



Igualada (2015)



Los Angeles (2015)

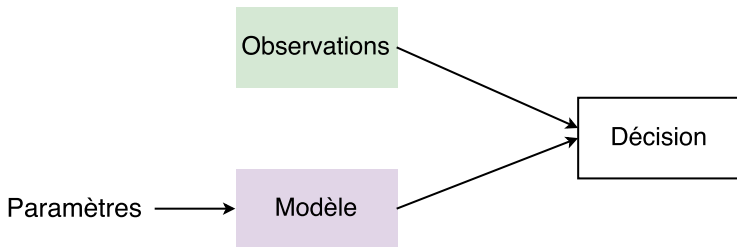
Durant de tels événements, les priorités sont alors :

- la mise en sécurité des populations,
- l'action des premiers secours pour atténuer/neutraliser le risque.

1. Nucléaires, Radiologiques, Biologiques, Chimiques

Outils pour détecter et évaluer le risque :

- données d'observation (capteurs mesurant la concentration de polluant)
- outils de modélisation des phénomènes atmosphériques



Dispersion atmosphérique

Modèle de dispersion

Outil de calcul numérique permettant de simuler la propagation dans l'atmosphère d'un rejet de polluant.

Typologie des modèles selon :

- l'échelle (locale, régionale, synoptique),
- le degré de simplification des équations de la mécanique des fluides

Paramètres d'entrée :

- données météorologiques : vent (direction + vitesse), température, humidité, nébulosité, flux de rayonnement...
- terme source : position, quantités émises, durée, substance émise...

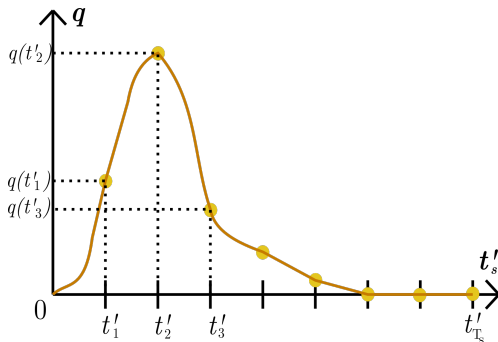
Terme source : définitions

Ici, on formule l'hypothèse d'une source :

- localisée (représentée par un point géographique $\mathbf{x}_s \in \mathbb{R}^2$),
- unique (un seul point d'émission),
- non-instantanée (émission sur $T_s > 1$ intervalles de temps).

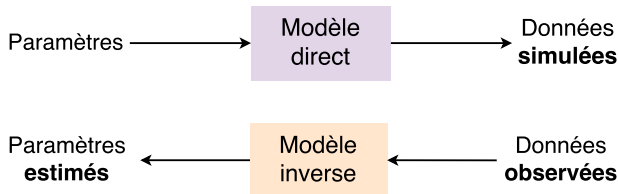
Profil d'émission : vecteur $\mathbf{q} \in \mathbb{R}^{T_s}$:

$$\mathbf{q} = (q(t'_1), q(t'_2), \dots, q(t'_{T_s}))$$



Terme source : estimation

Reconstruire les paramètres d'un terme source à partir des observations est un problème inverse.



Plusieurs approches de résolution possibles :

- rétro-transport,
- résolution d'un système linéaire,
- algorithmes évolutionnaires,
- méthodes bayésiennes et simulation stochastique.

Problématique de recherche

On se concentre sur les méthodes bayésiennes :

- formalisme rigoureux pour estimation et quantification de l'incertitude,
- exploitation d'un nombre limité de mesures (régularisation),
- temps de calcul potentiellement élevés,
- estimation disjointe de la position et du profil d'émission.

Problématique :

- ▶ Développer une méthode bayésienne pour estimer la localisation **et** le profil d'émission d'une source.
- ▶ Coupler cette méthode avec un modèle de dispersion atmosphérique dans une chaîne de calcul opérationnelle.

- 1 Contexte et problématique
- 2 Une méthodologie adaptative pour l'inférence bayésienne
- 3 Application au cas expérimental FFT07
- 4 Application avec modèle rétrograde aux cas simulés Beaune et Opéra
- 5 Conclusions et perspectives

Inférence bayésienne

Estimation probabiliste des paramètres θ d'un système ayant généré un ensemble d'observations η .

- θ : paramètres du terme source
- η : mesures de concentration observées

Règle de Bayes :

$$\pi(\theta) = p(\theta|\eta) = \frac{p(\theta)p(\eta|\theta)}{p(\eta)} \propto p(\theta)p(\eta|\theta)$$

- loi a posteriori $\pi(\theta)$: information sur θ après acquisition de η ,
- loi a priori $p(\theta)$: information préalable sur θ ,
- fonction de vraisemblance $p(\eta|\theta)$: probabilité d'observer η pour θ fixé.

Le choix bayésien

- **Problème** : $p(\boldsymbol{\eta}|\boldsymbol{\theta})$ trop coûteuse (ou impossible) à calculer
⇒ pas d'expression analytique pour $p(\boldsymbol{\theta}|\boldsymbol{\eta})$!
⇒ recours à des méthodes d'approximation numérique

Méthodes de Monte-Carlo

Permettent d'approximer l'espérance de toute fonction d'une variable aléatoire de loi π :

$$\mathbb{E}_{\pi}[\psi(\boldsymbol{\theta})] = \int \psi(\boldsymbol{\theta})\pi(\boldsymbol{\theta})d\boldsymbol{\theta} \simeq \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \psi(\boldsymbol{\theta}^{(i)}), \quad \boldsymbol{\theta}^{(i)} \sim \pi$$

- Estimateur bayésien MMSE : s'obtient en posant $\psi(\boldsymbol{\theta}) = \boldsymbol{\theta}$.

- 1 Contexte et problématique
- 2 Une méthodologie adaptative pour l'inférence bayésienne
- 3 Application au cas expérimental FFT07**
- 4 Application avec modèle rétrograde aux cas simulés Beaune et Opéra
- 5 Conclusions et perspectives

(vide)

- 1 Contexte et problématique
- 2 Une méthodologie adaptative pour l'inférence bayésienne
- 3 Application au cas expérimental FFT07
- 4 Application avec modèle rétrograde aux cas simulés Beaune et Opéra**
- 5 Conclusions et perspectives

(vide)

- ① Contexte et problématique
- ② Une méthodologie adaptative pour l'inférence bayésienne
- ③ Application au cas expérimental FFT07
- ④ Application avec modèle rétrograde aux cas simulés Beaune et Opéra
- ⑤ Conclusions et perspectives

(vide)