



**HAL**  
open science

## Calibration bayésienne d'un modèle de splash

Sophie Leguédois, Stéphane Cordier, Frédéric Darboux, Christophe Laplanche, Cédric Legout, Yves Le Bissonnais, Carine Lucas, Eric Michel, Olivier Planchon

► **To cite this version:**

Sophie Leguédois, Stéphane Cordier, Frédéric Darboux, Christophe Laplanche, Cédric Legout, et al.. Calibration bayésienne d'un modèle de splash. Rencontres MEXICO 2015. Méthodes pour l'EXploration Informatique des modèles COMplexes, Oct 2015, Clermont-Ferrand, France. 32 p. hal-02801415

**HAL Id: hal-02801415**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02801415>**

Submitted on 5 Jun 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



# Calibration bayésienne d'un modèle de splash

***S. Leguëdois***  
***Laboratoire Sols et Environnement***  
***Inra, EA***

*Avec les contributions de S. Cordier, F. Darboux, C. Laplacnhe, C. Legout, Y. Le Bissonnais, C. Lucas, É. Michel, O. Planchon*

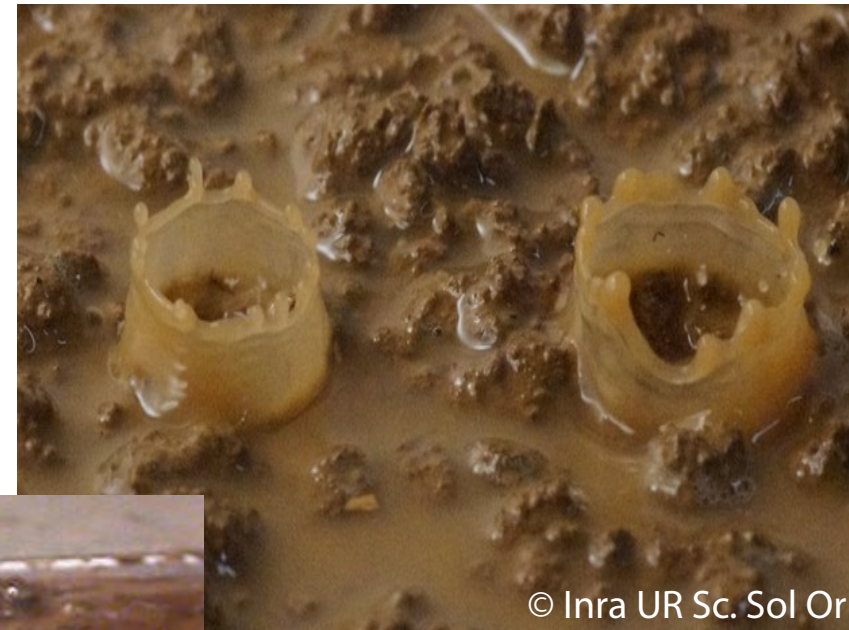
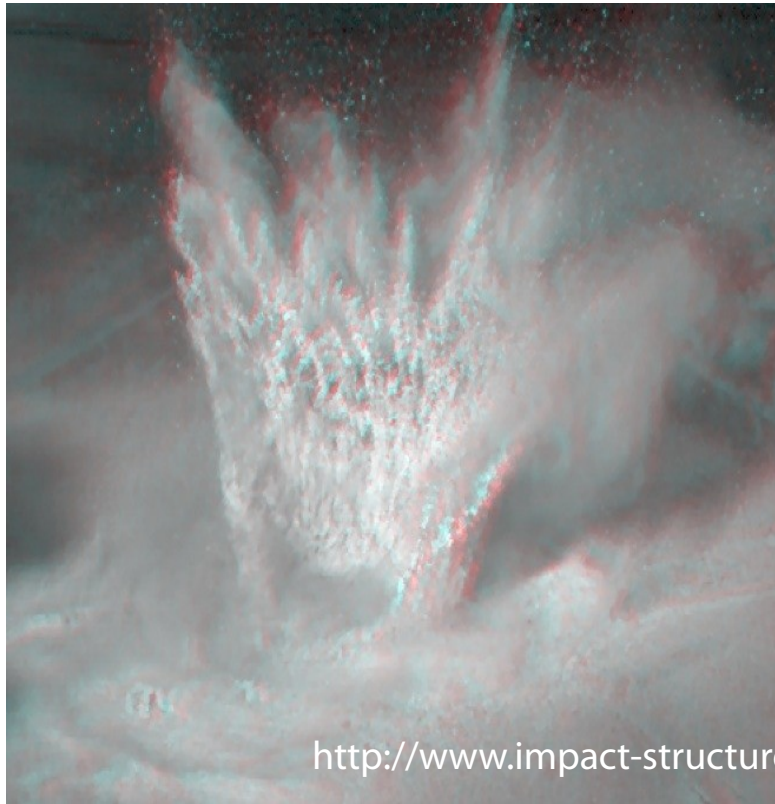
# Plan de la présentation

- Présentation du phénomène de splash
- Problématique et objectif du travail : une mesure non biaisée
- Démarche de travail
  - Données expérimentales
  - Intégration numérique
  - Calibration bayésienne
- Résultats
- Conclusion & perspectives

# Qu'est-ce que le splash ?

# Qu'est-ce que le splash ?

- Rejaillissement d'eau et de sol consécutif à l'impact d'une goutte de pluie à la surface du sol



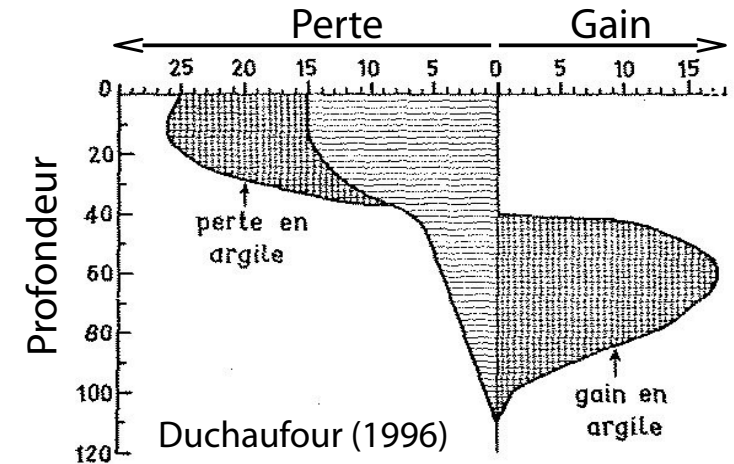
# Le splash : un processus clef en science du sol

- Le splash génère :
  - Transport et exportation des fragments de terre
    - érosion hydrique des sols (parcelle, bassin versant)



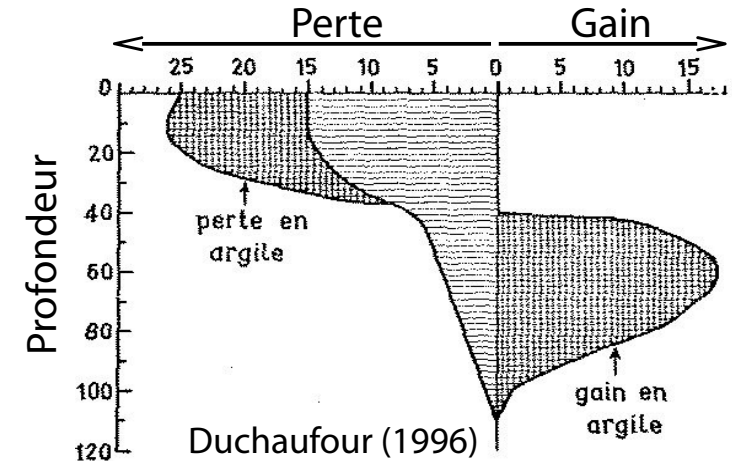
# Le splash : un processus clef en science du sol

- Le splash génère :
  - Transport et exportation des fragments de terre
    - érosion hydrique des sols (parcelle, bassin versant)
    - évolution des sols à long terme (diminution de l'épaisseur du sol, entraînement de particules fines/argiles au sein du profil)
    - transfert colloïdal (particules fines très réactives) de la surface vers la profondeur



# Le splash : un processus clef en science du sol

- Le splash génère :
  - Transport et exportation des fragments de terre
    - érosion hydrique des sols (parcelle, bassin versant)
    - évolution des sols à long terme (diminution de l'épaisseur du sol, entraînement de particules fines/argiles au sein du profil)
    - transfert colloïdal (particules fines très réactives) de la surface vers la profondeur
  - Réarrangement des fragments de terre
    - diminution de l'infiltration par fermeture de la surface (croûtes de battance)
- Conséquences environnementales
  - Coulées boueuses, pollution des eaux, perturbation du cycle de l'eau, dégradation des sols





# Le processus de mobilisation et de transfert de fragments de terre par splash

- Dépôt radial autour du point d'impact : loi exponentielle décroissante

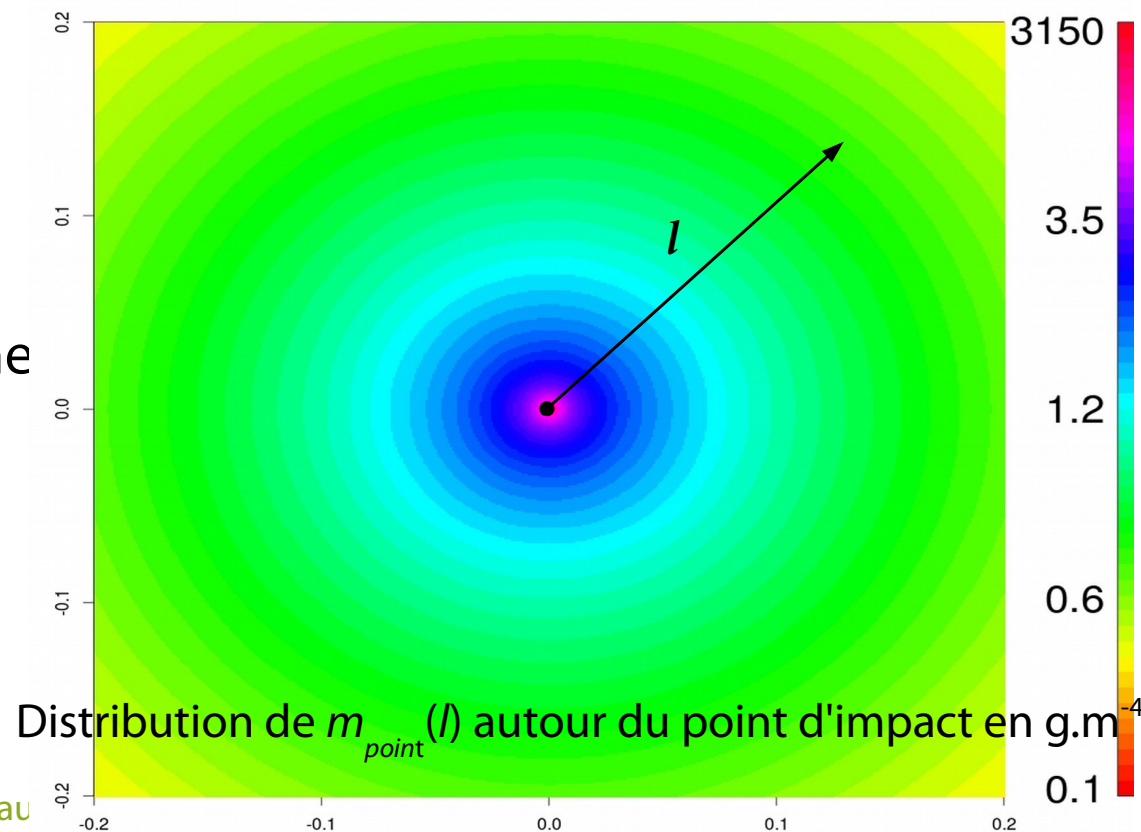
- $m_{point}(l)$  : densité de la masse de matière splashée et déposée à une distance radiale  $l$  du point d'impact (en  $\text{g.m}^{-4}$ )

- $\mu$  : taux de détachement par splash (en  $\text{g.m}^{-2}$ )

- $\Lambda$  : distance moyenne de transfert par splash (en m), c-à-d distance radiale moyenne pondérée par la masse déposée

$$m_{point}(l) = \frac{\mu}{\Lambda \pi l} \exp(-l/\Lambda)$$

Van Dijk *et al.* (2002)



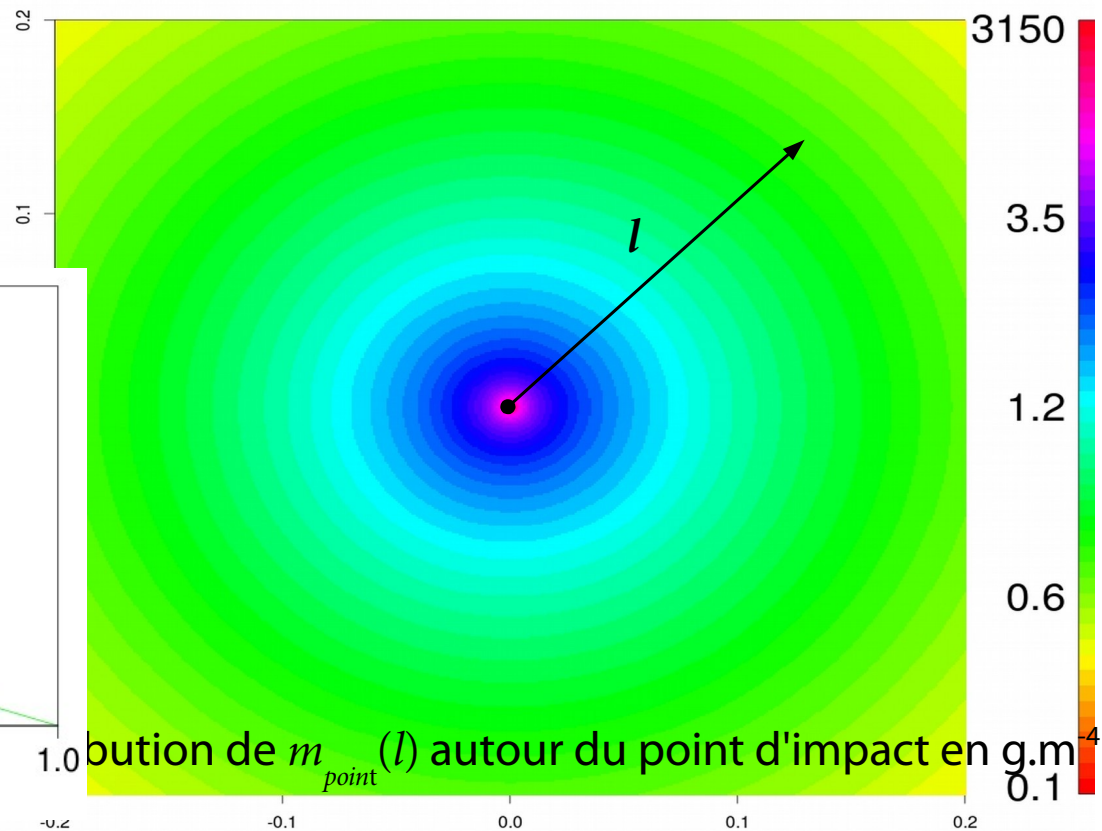
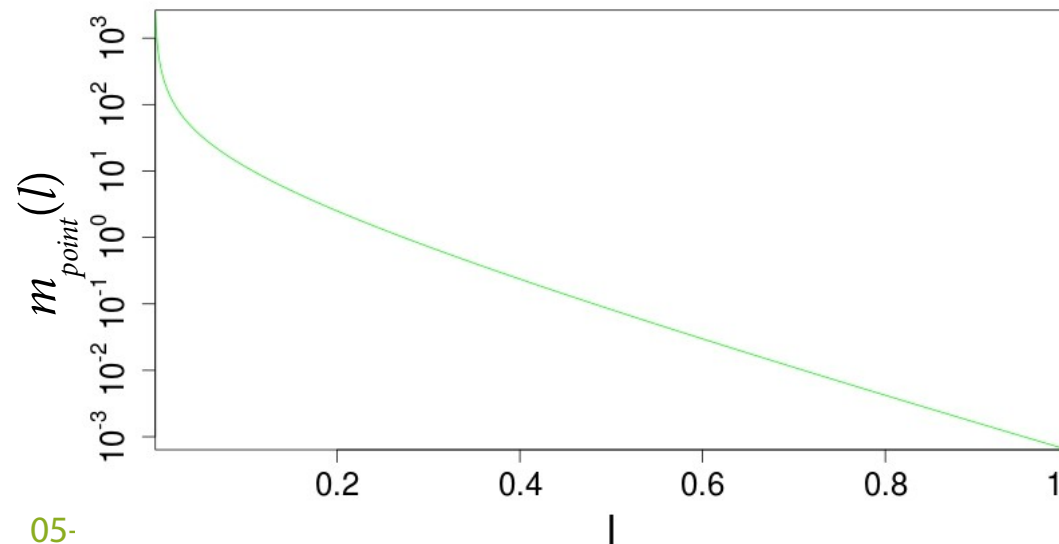
# Le processus de mobilisation et de transfert de fragments de terre par splash

- Dépôt radial autour du point d'impact : loi exponentielle décroissante

- $m_{point}(l)$  : densité de la masse de matière splashée et déposée à une distance radiale  $l$  du point d'impact (en  $g.m^{-4}$ )
- $\mu$  : taux de détachement par splash (en  $g.m^{-2}$ )
- $\Lambda$  : distance moyenne de

$$m_{point}(l) = \frac{\mu}{\Lambda \pi l} \exp(-l/\Lambda)$$

Van Dijk *et al.* (2002)



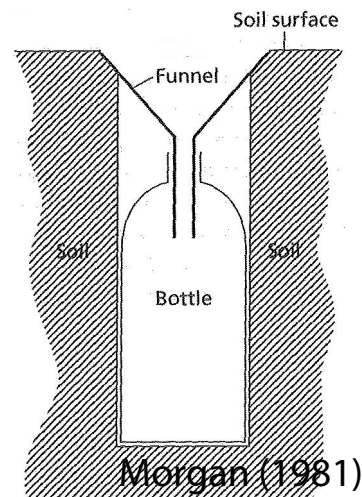
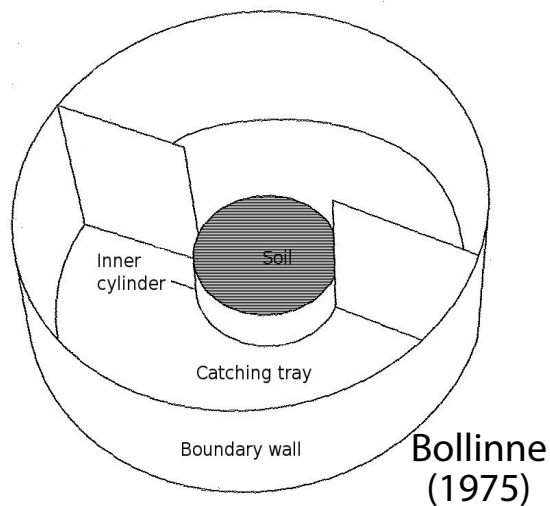
# Plan de la présentation

- Présentation du phénomène de splash
- Problématique et objectif du travail : une mesure non biaisée
- Démarche de travail
  - Données expérimentales
  - Intégration numérique
  - Calibration bayésienne
- Résultats
- Conclusion & perspectives

# Une quantification approximative du taux de détachement $\mu$

- Dispositifs de mesure variés

- Coupelles (source ou piège)



- Biais expérimental

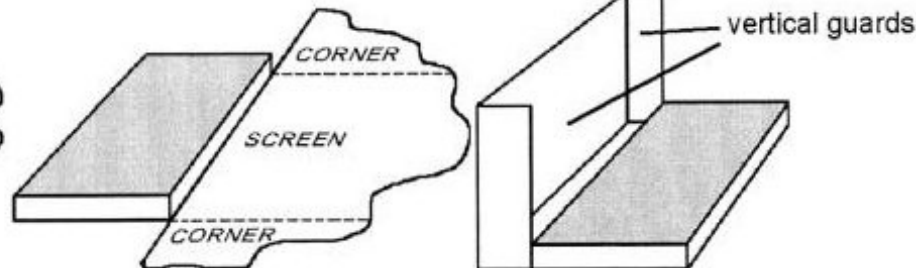
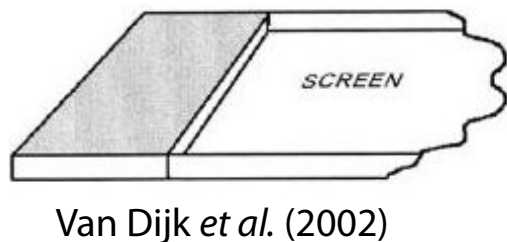
- interactions entre géométrie du dispositif et distribution spatiale des particules splashées

- distances de transfert  $\Delta$

- cm à dm  $\approx$  dimensions dispositifs

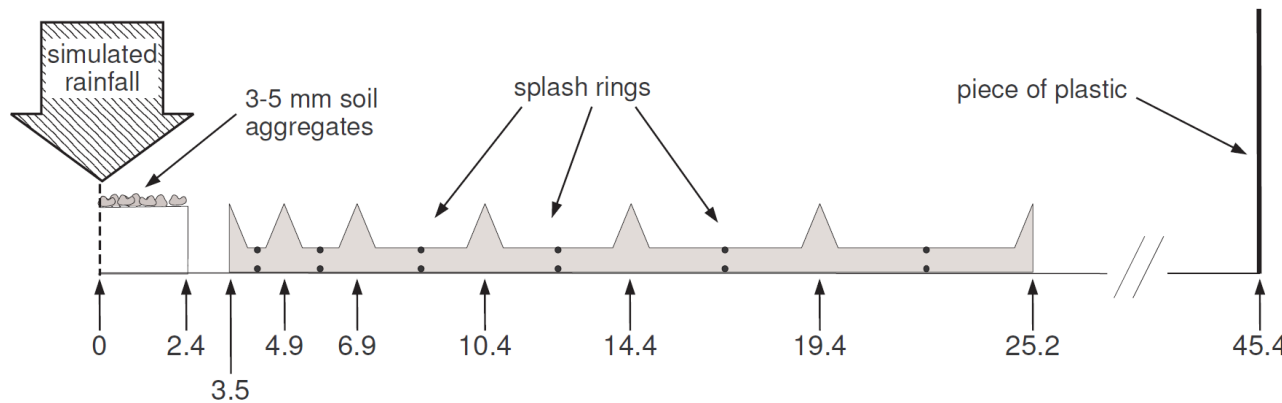
- variables en fonction de la taille des particules

- Plateaux

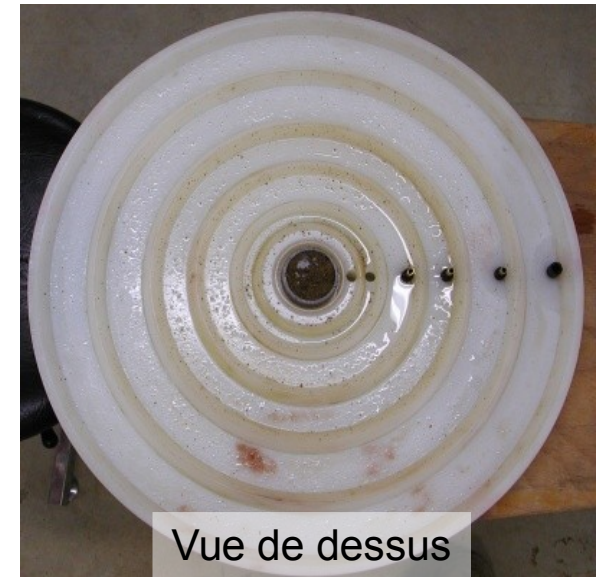


# Objectif du travail : un « environnement » de mesure non biaisé

- Un dispositif expérimental permettant de caractériser la distribution spatiale du splash



Vue en coupe



Vue de dessus

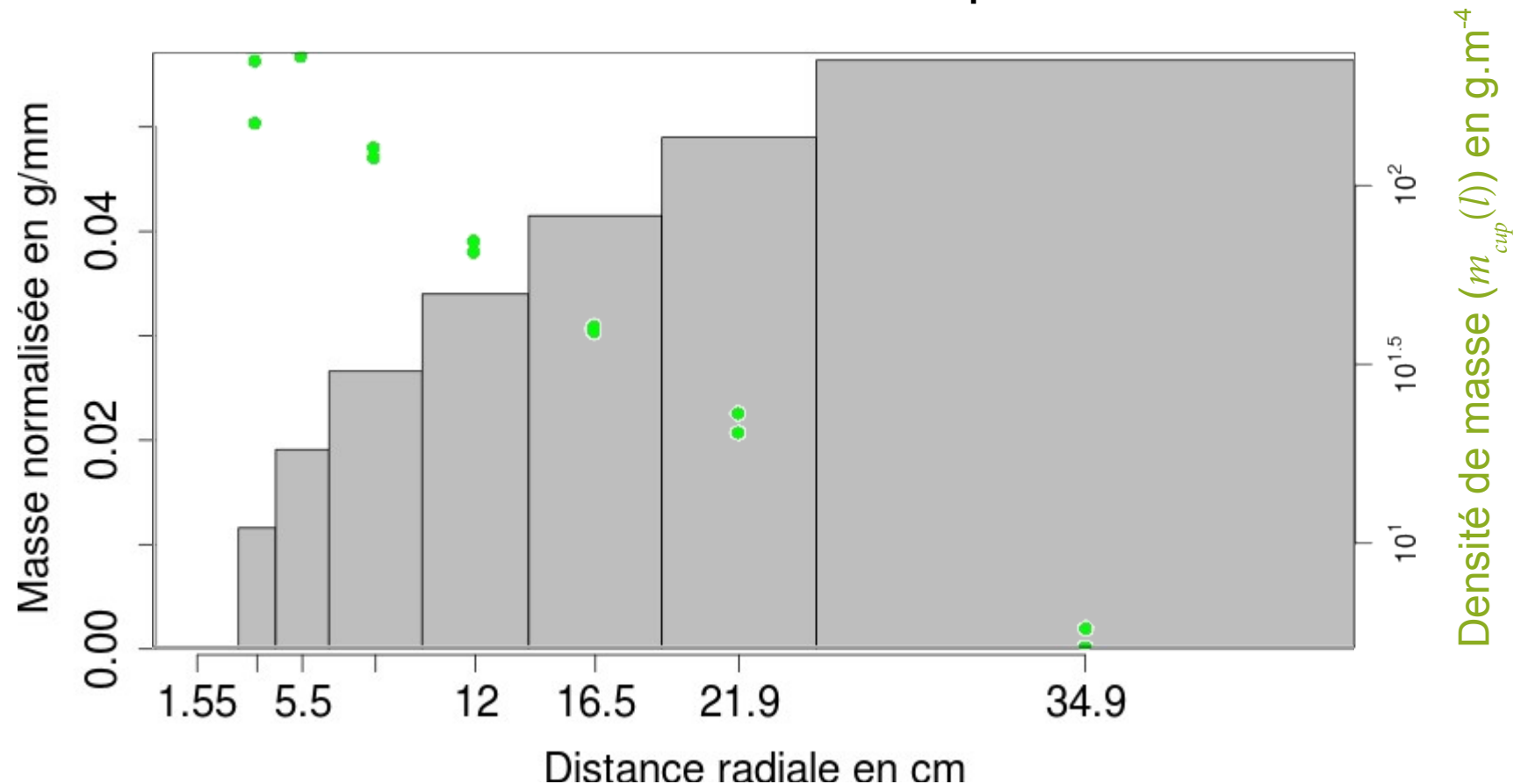
- Un modèle mathématique pour interpréter les données sans biais
  - Intégration spatiale de l'équation ponctuelle de van Dijk *et al.* (2002)
  - Solution approximée proposée en 2004 (Leguédouis *et al.*, 2005)
  - Intégration numérique + calibration bayésienne

# Plan de la présentation

- Présentation du phénomène de splash
- Problématique et objectif du travail : une mesure non biaisée
- Démarche de travail
  - Données expérimentales
  - Intégration numérique
  - Calibration bayésienne
- Résultats
- Conclusion & perspectives

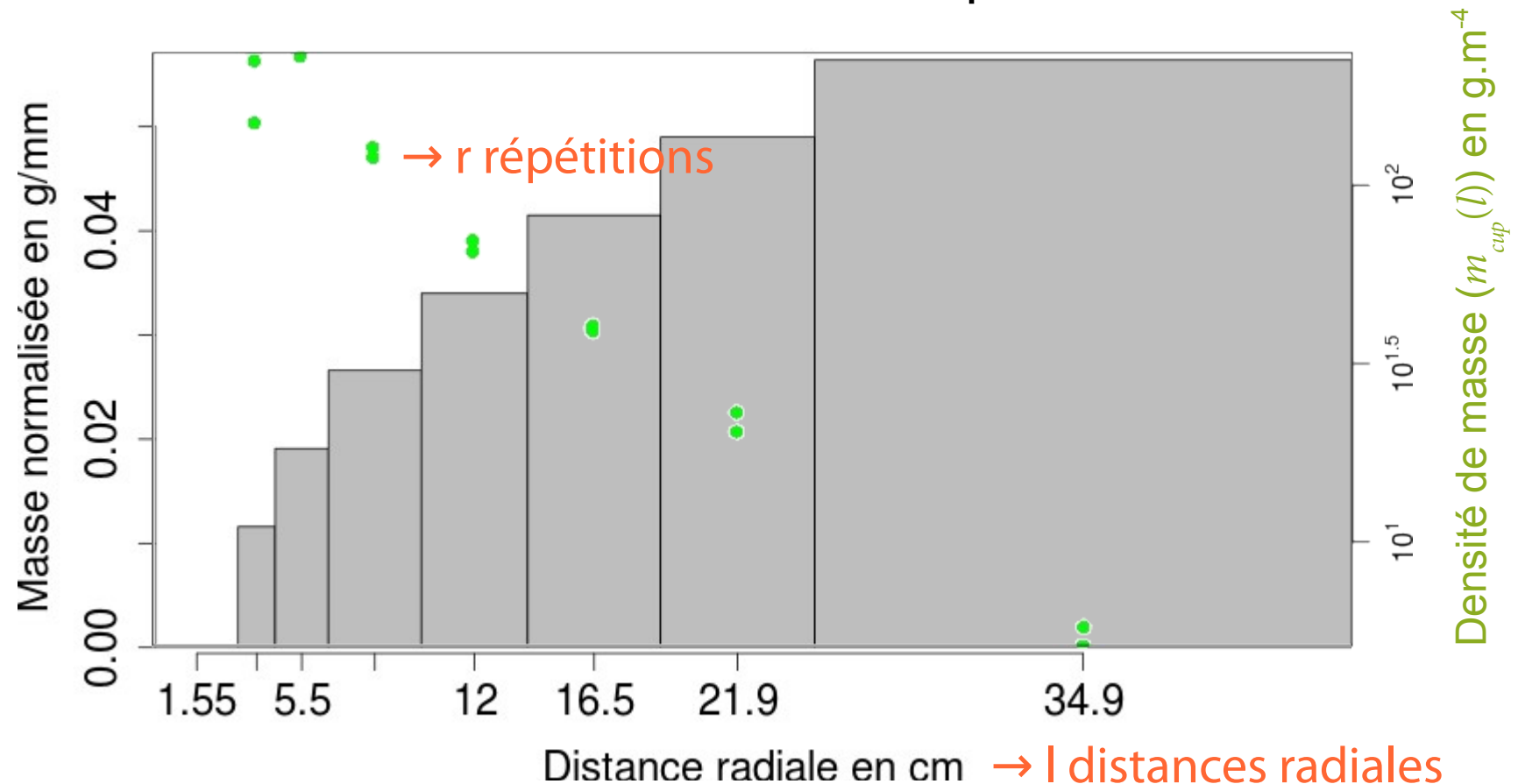
# Descriptions des données utilisées pour la calibration

- Traitement préalable des données
  - Normalisation des masses par la pluie cumulée
  - Calcul de la densité de masse recueillie par anneau



# Descriptions des données utilisées pour la calibration

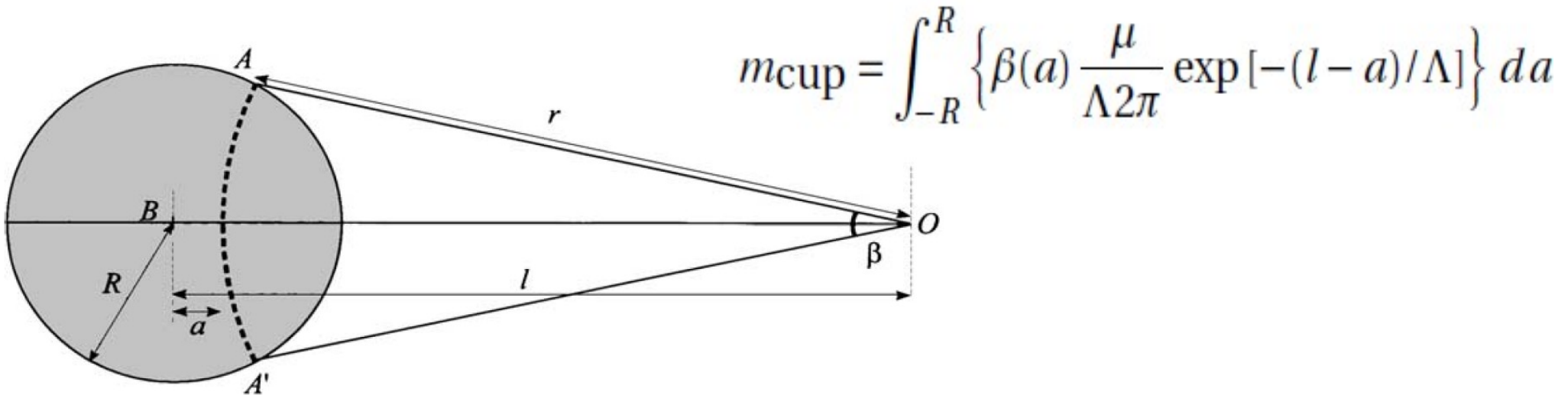
- Traitement préalable des données
  - f fractions granulométriques
  - s sols
- Normalisation des masses par la pluie cumulée
- Calcul de la densité de masse recueillie par anneau





# Intégration spatiale pour notre dispositif expérimental

- Intégration numérique par partie en découpant la source circulaire en arc  $AA'$  de rayon  $l-a$  de d'angle  $\beta$



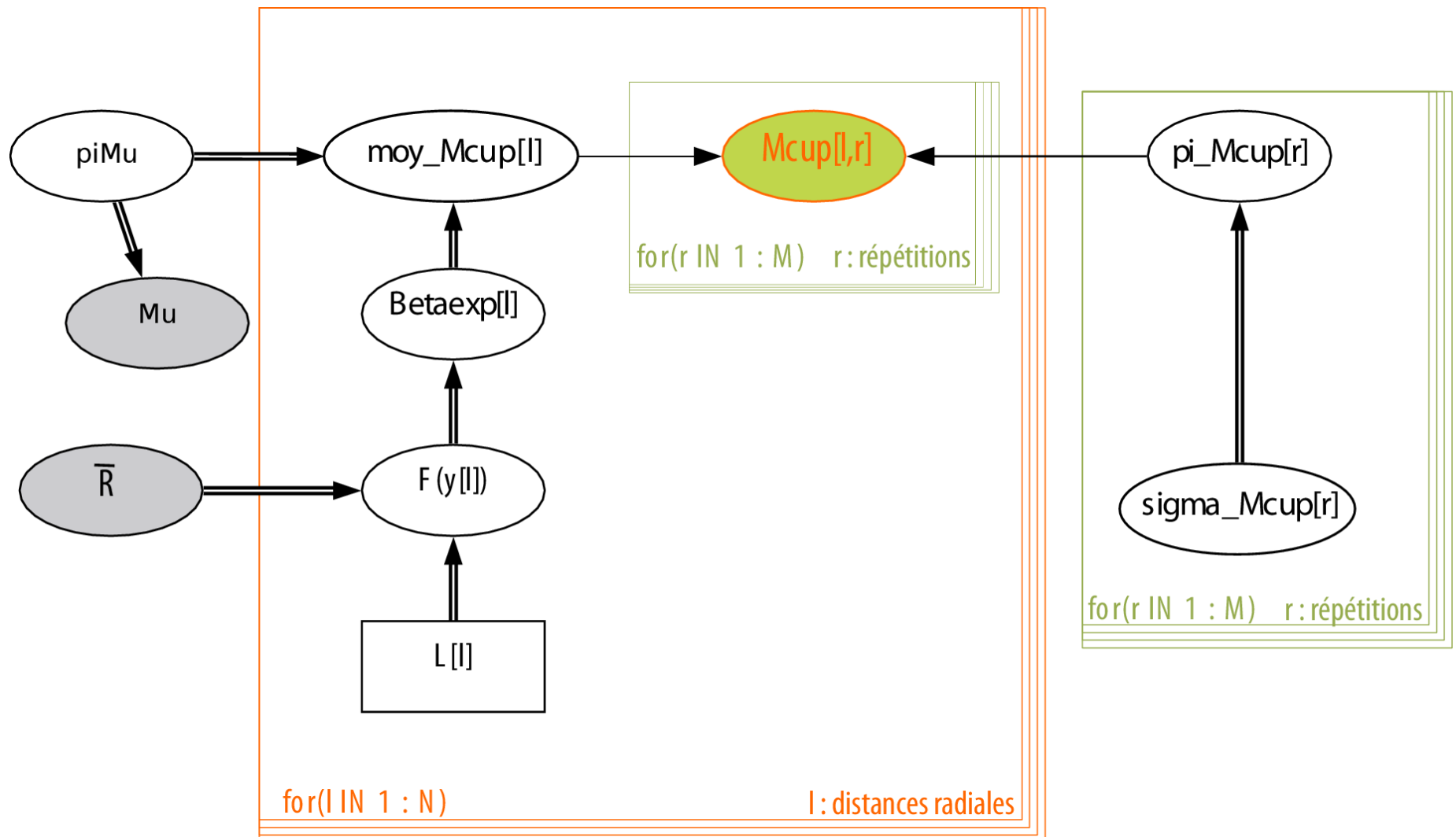
$$m_{\text{cup}} = \int_{-R}^R \left\{ \beta(a) \frac{\mu}{\Lambda 2\pi} \exp[-(l-a)/\Lambda] \right\} da$$

- Après adimensionnement des longueurs  $\bar{R} = R/\Lambda$   $L = l/R$   $y = a/R$

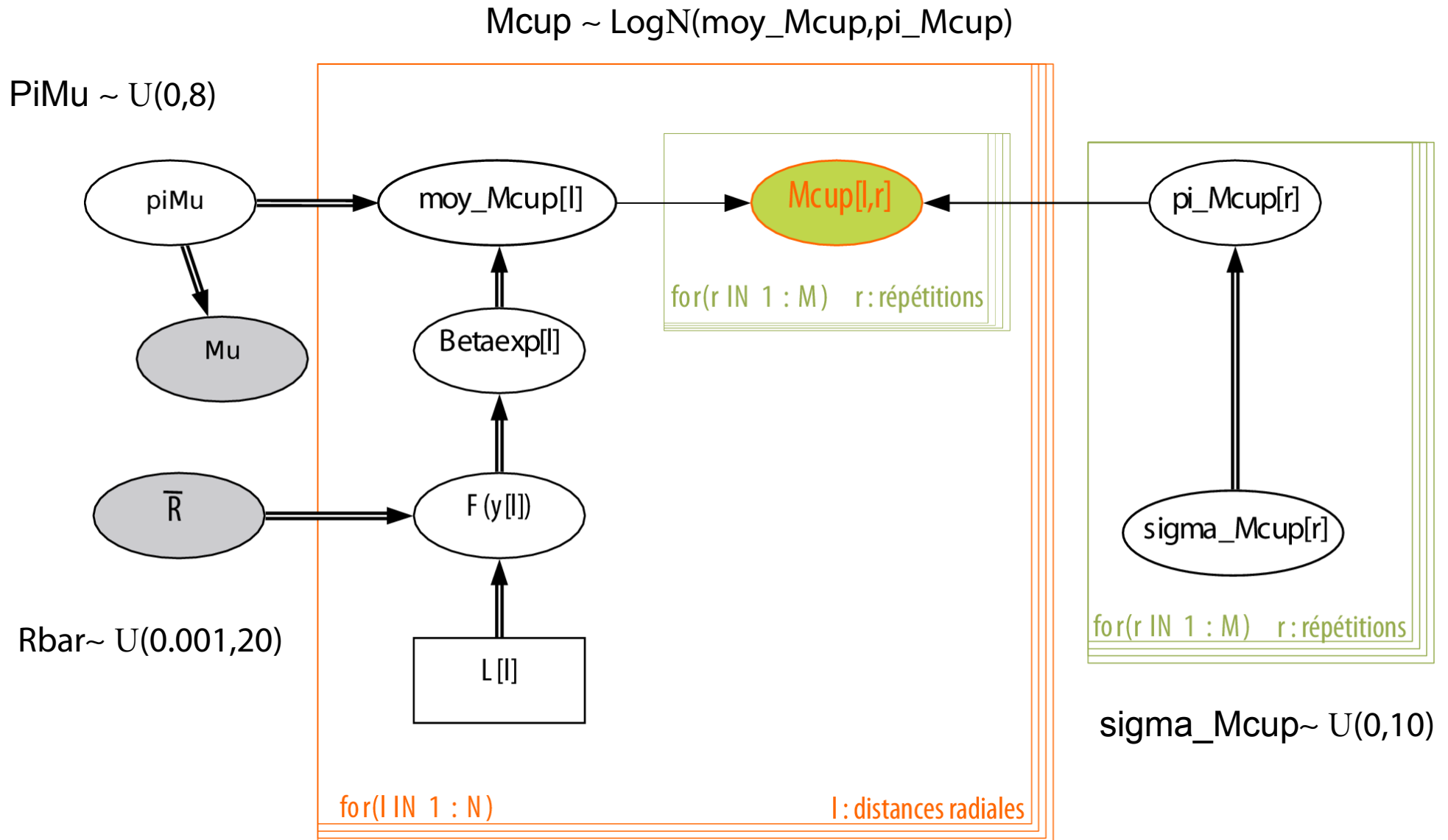
$$m_{\text{cup}} = \underbrace{\frac{\mu}{\pi}}_{\text{piMu}} \int_{-1}^1 \underbrace{\arccos \left\{ \frac{(L-y)^2 + L^2 - 1}{2(L-y)L} \right\}}_{F(y)} \exp\{-\bar{R}(L-y)\} dy$$

Betaexp

# Approche bayésienne pour la calibration du modèle intégré



# Approche bayésienne pour la calibration du modèle intégré



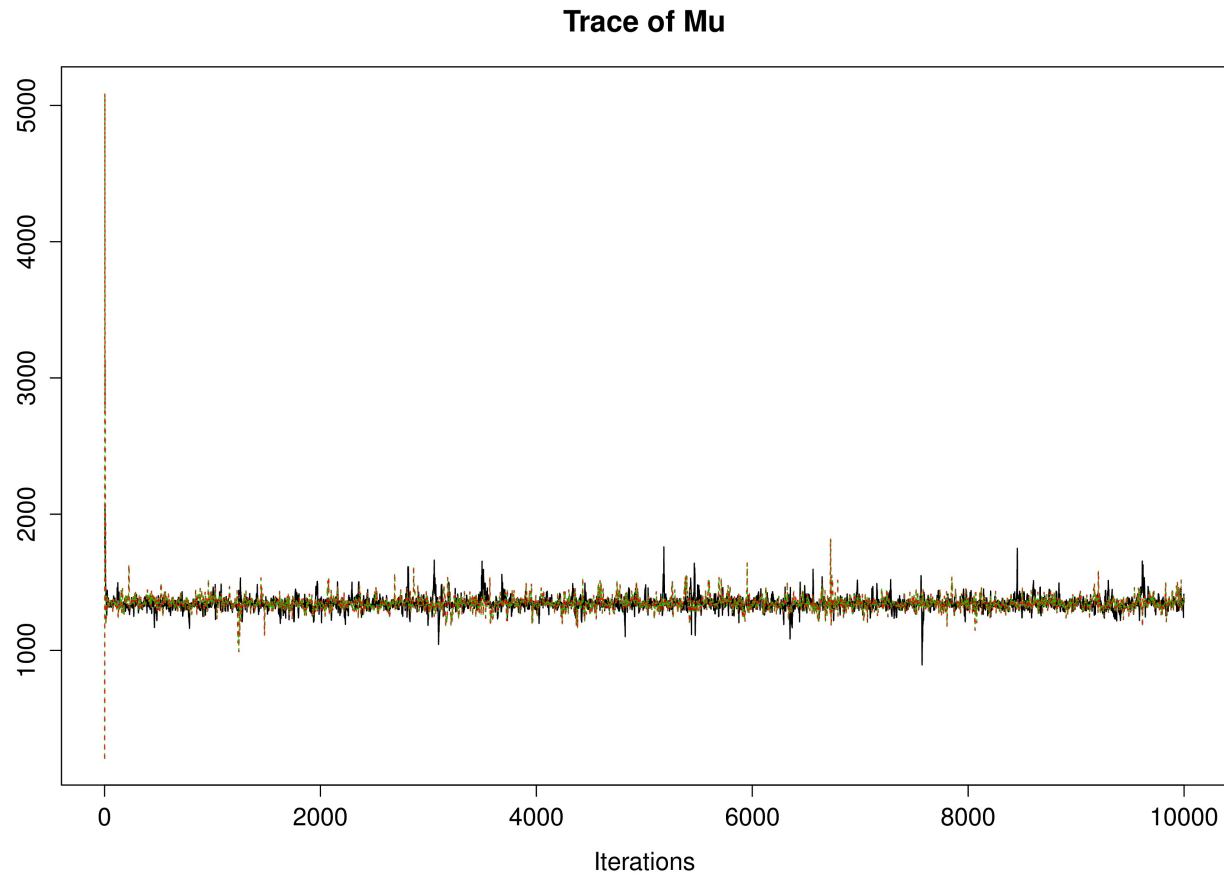
# Réalisation technique

- OpenBUGS
  - Monte Carlo Markov Chain
  - Mise au point du modèle et tests
- R2OpenBUGS
  - Calibration en série
- Test réalisé pour :
  - 1 sol
  - 1 fraction
  - 5 distances radiales
  - 2 répétitions

# Plan de la présentation

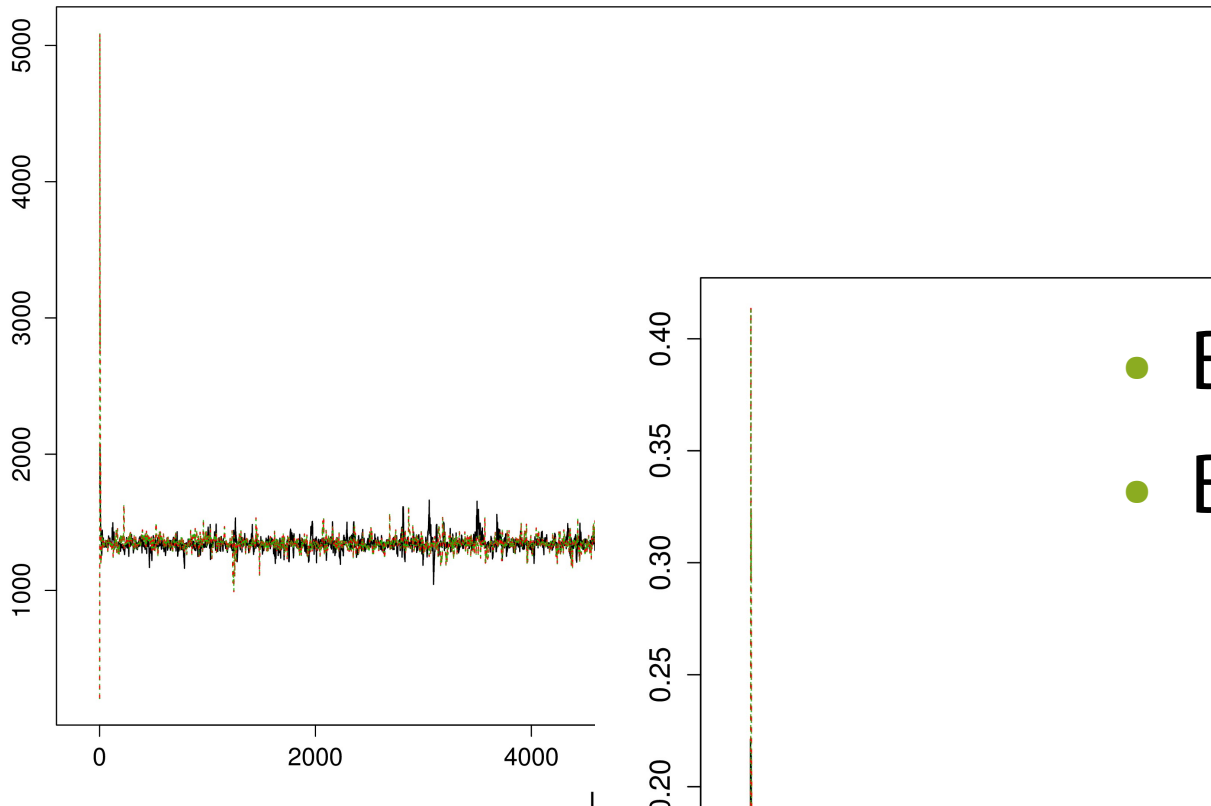
- Présentation du phénomène de splash
- Problématique et objectif du travail : une mesure non biaisée
- Démarche de travail
  - Données expérimentales
  - Intégration numérique
  - Calibration bayésienne
- Résultats
- Conclusion & perspectives

# Validité des résultats

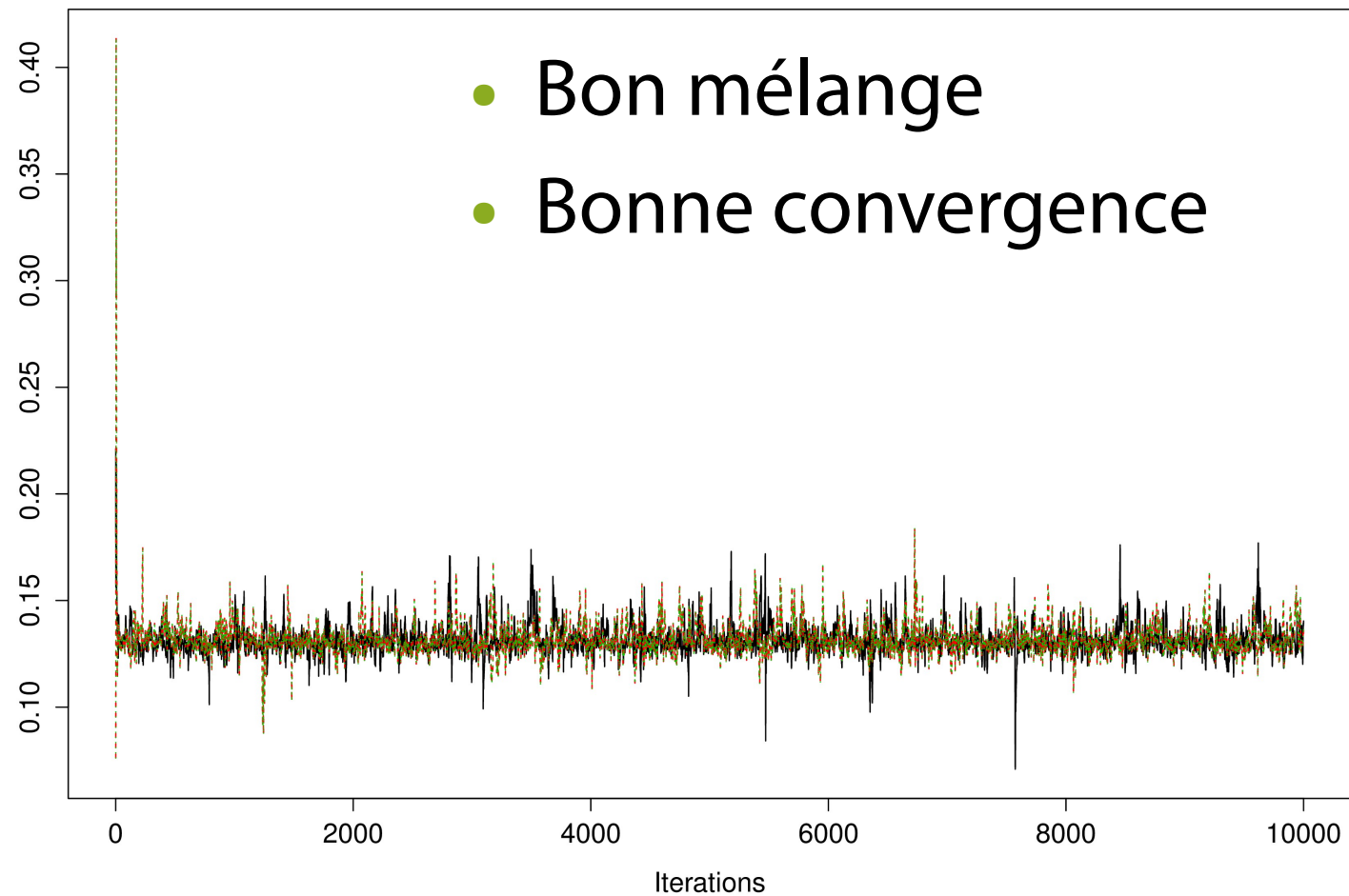


# Validité des résultats

Trace of Mu



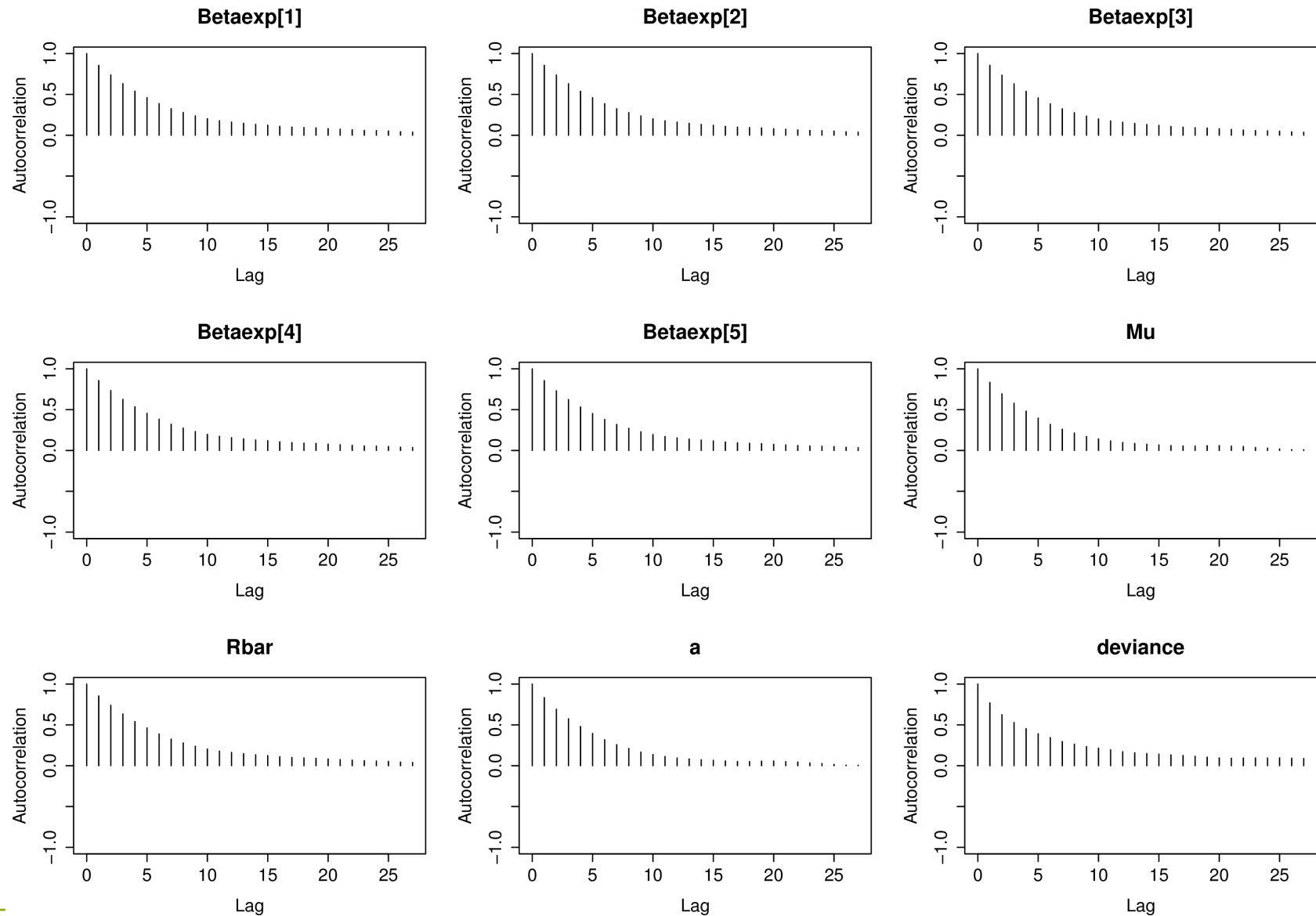
Trace of Rbar



- Bon mélange
- Bonne convergence

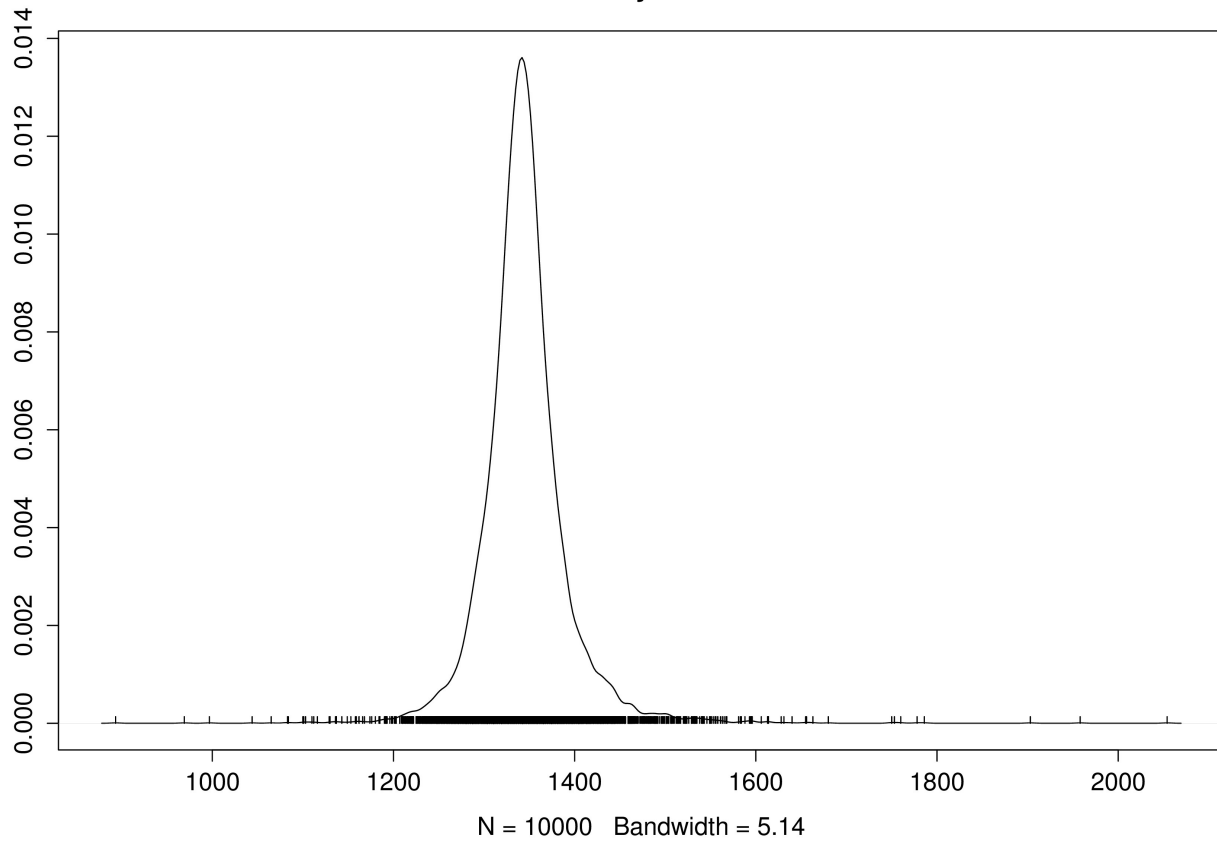
# Validité des résultats

- Faible autocorrélation



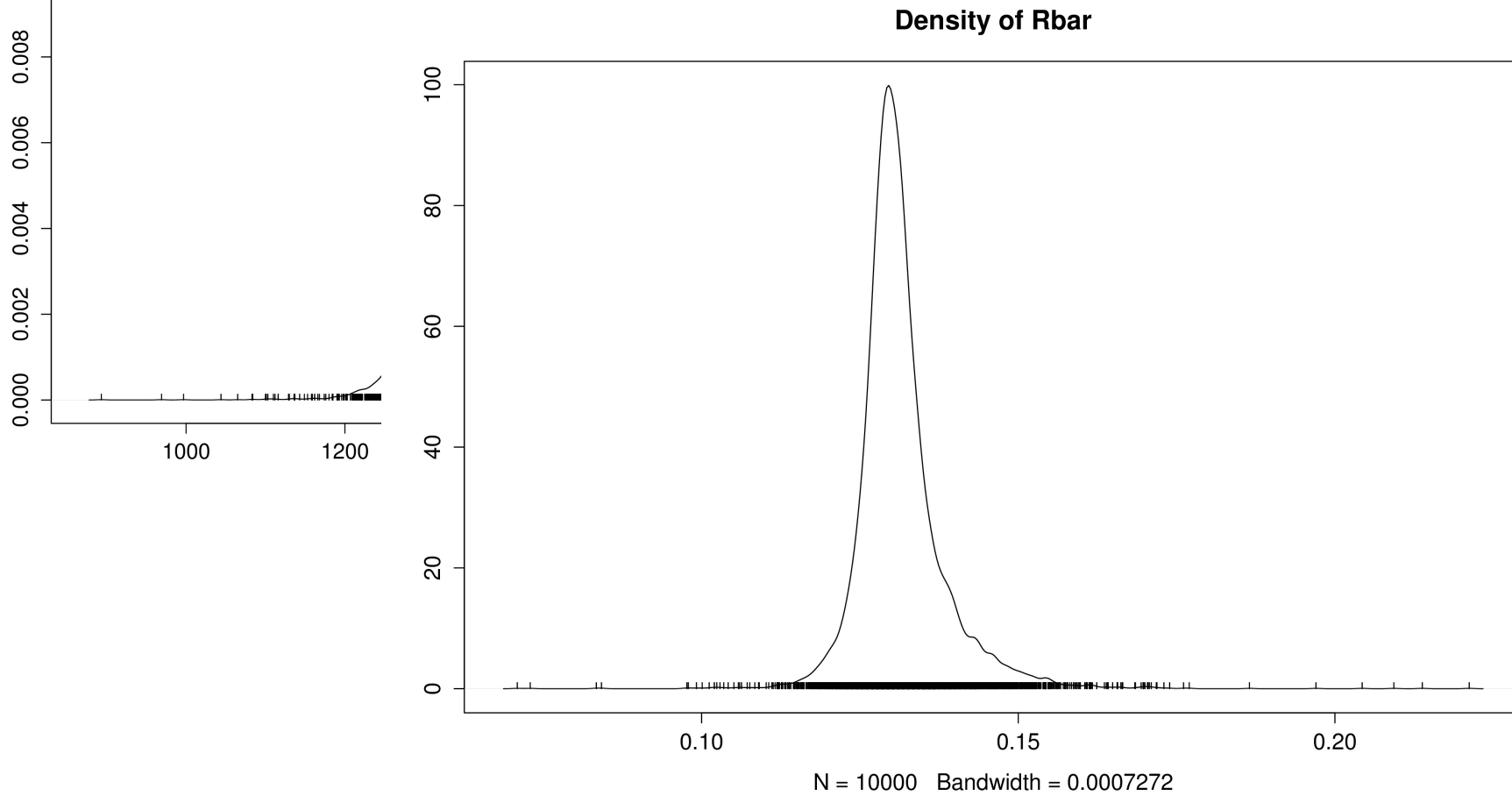
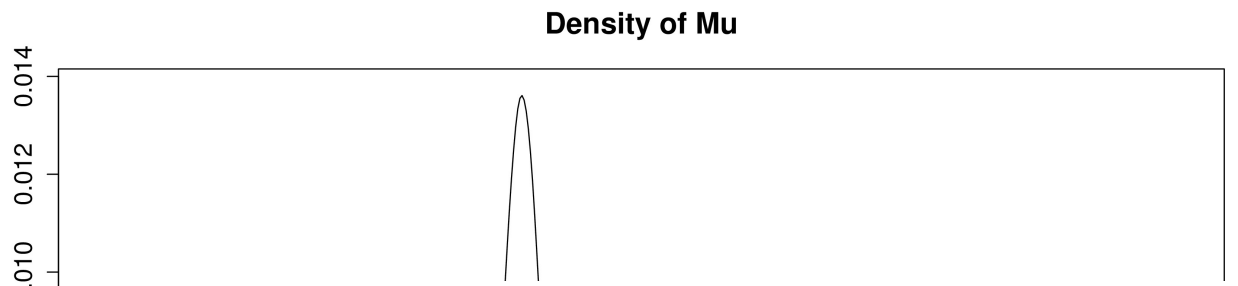


## Density of Mu

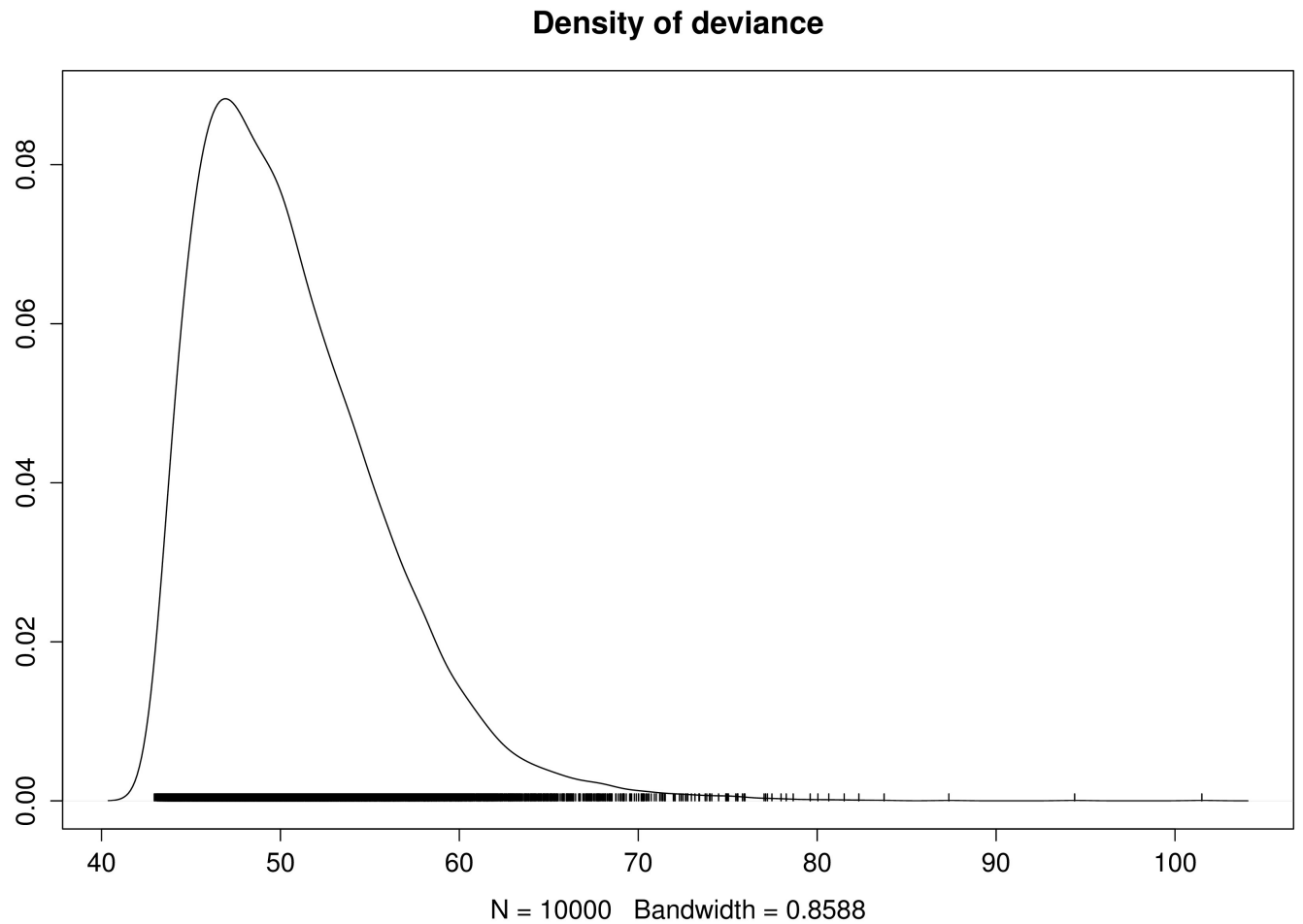
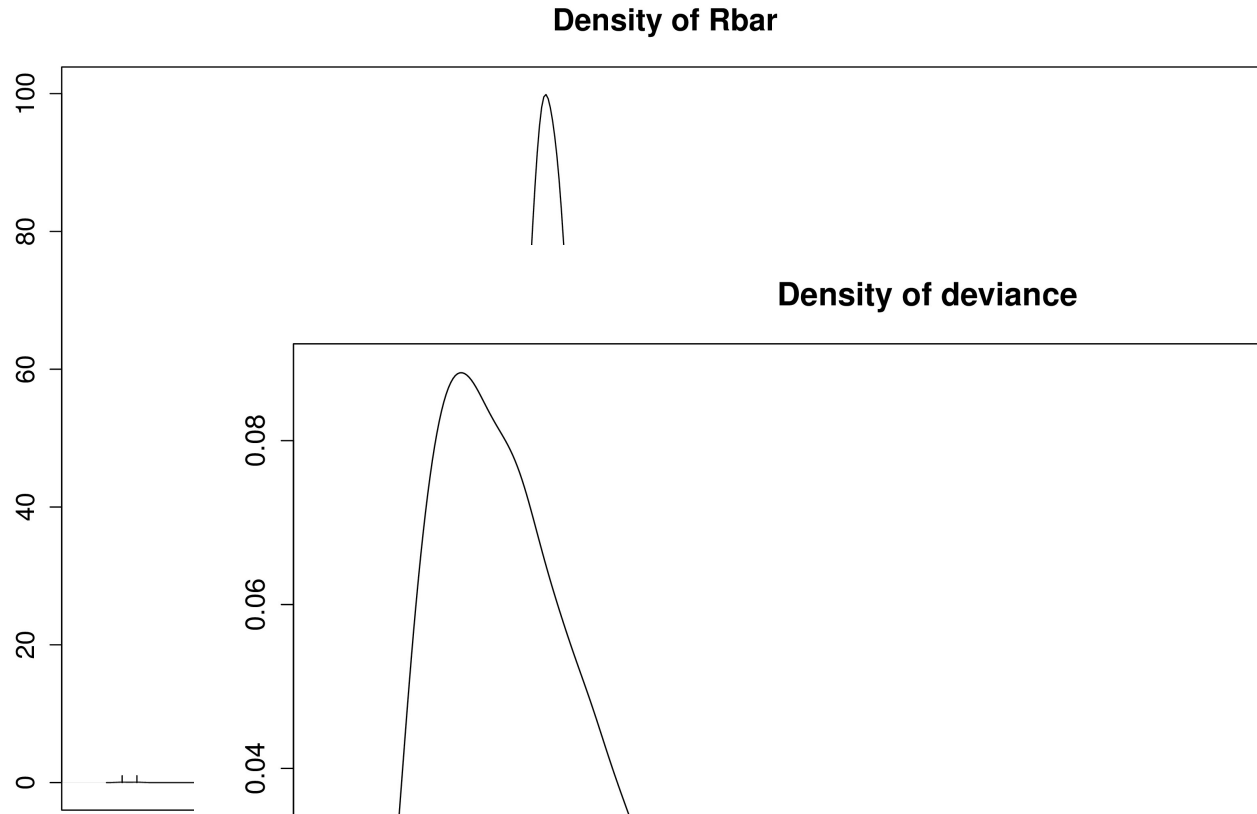
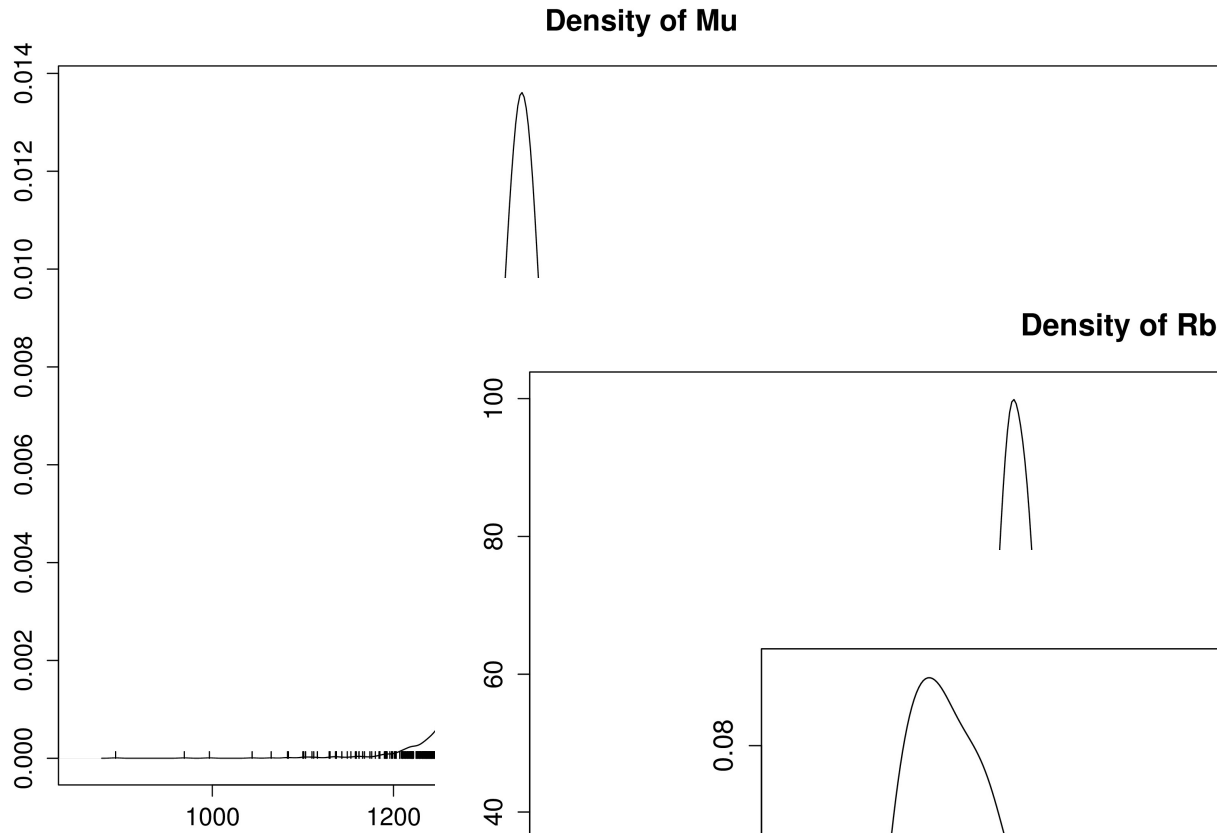


# Résultats

# Résultats



# Résultats



# Plan de la présentation

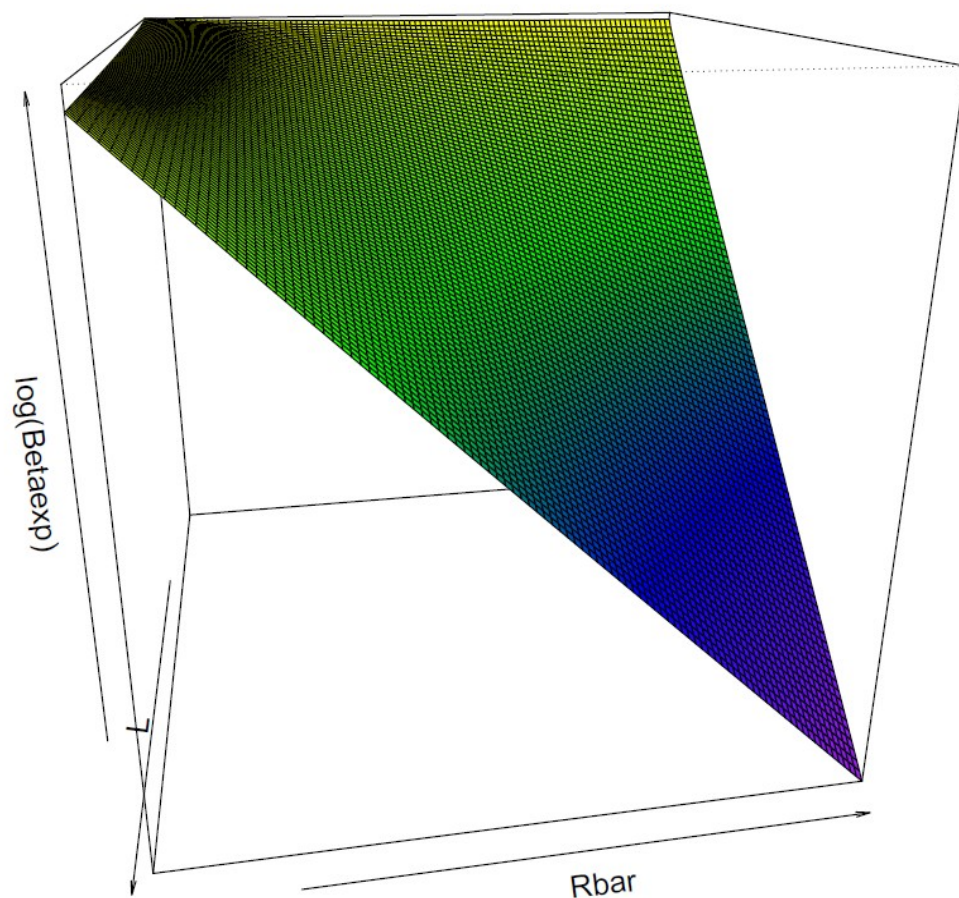
- Présentation du phénomène de splash
- Problématique et objectif du travail : une mesure non biaisée
- Démarche de travail
  - Données expérimentales
  - Intégration numérique
  - Calibration bayésienne
- Résultats
- Conclusion & perspectives

# Conclusion

- Après plusieurs recherches et essais, j'ai enfin trouvé une méthode pertinente pour calibrer le modèle
  - Solution approximée vs intégration numérique
  - Métamodélisation + ajustement statistiques vs calibration bayésienne

# Retour sur les essais de métamodélisation

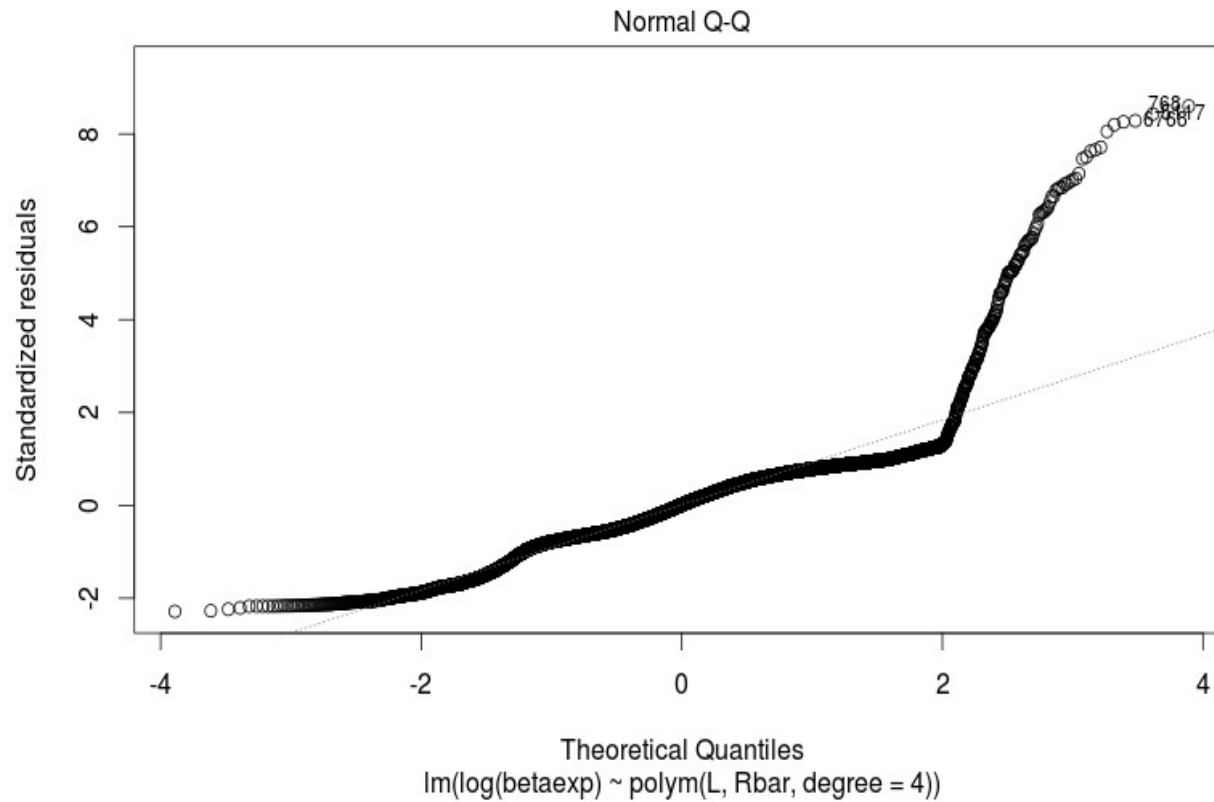
- Forme générale de la surface à modéliser
  - Belle surface qui semble facile à représenter
  - Transformation logarithmique de  $Beta_{exp}$
- Pour un dispositif expérimental générique
  - Pour un dispositif expérimental donné
    - $R$  connu et fixé
    - Plusieurs  $l$  connus et fixés



# Retour sur les essais de métamodélisation

- Formes testées pour les régressions :
  - Polynômes (`polym`) de degré 4 :
  - Régressions multiples avec interactions
  - Variables simples ou inversées ( $1/L$  et  $1/R$ )

- Résultats pour les deux types de modèles :
  - Forte variance expliquée :  $R^2 > 0.99$
  - Mais structuration des résidus
    - → erreurs importantes pour les fortes valeurs de  $Betaexp$



# Conclusion

- Après plusieurs recherches et essais, j'ai enfin trouvé une méthode pertinente pour calibrer le modèle
  - Solution approximée vs intégration numérique
  - Métamodélisation + ajustement statistiques vs calibration bayésienne
- De l'importance des formations et des échanges avec les mathématiciens appliqués
  - EC Mexico et Biobayes
  - Présentation aux rencontres Mexico 2014
  - Conseils et encadrement d'un collègue versé dans la modélisation bayésienne



# Perspectives

- Ajouter les niveaux fractions et sols à la représentation bayésienne
- Tester et comparer les différentes formes de modèles
  - forme de l'erreur sur la masse recueillie
    - constante ?
    - fonction de  $r, l, s, f$  ?
  - calcul de la masse globale comme somme des fractions granulométriques ?
- Mise à disposition du code pour que les expérimentateurs puissent calibrer les paramètres  $\Lambda$  et  $\mu$  à partir de données expérimentales
  - Comment procéder ?