

Calibration bayésienne d'un modèle de splash

S. Leguédais
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*

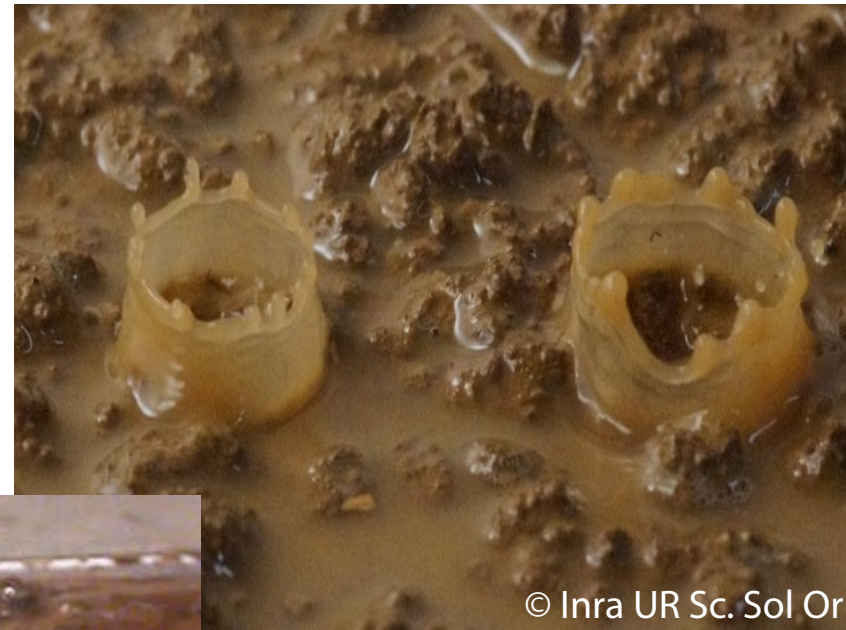
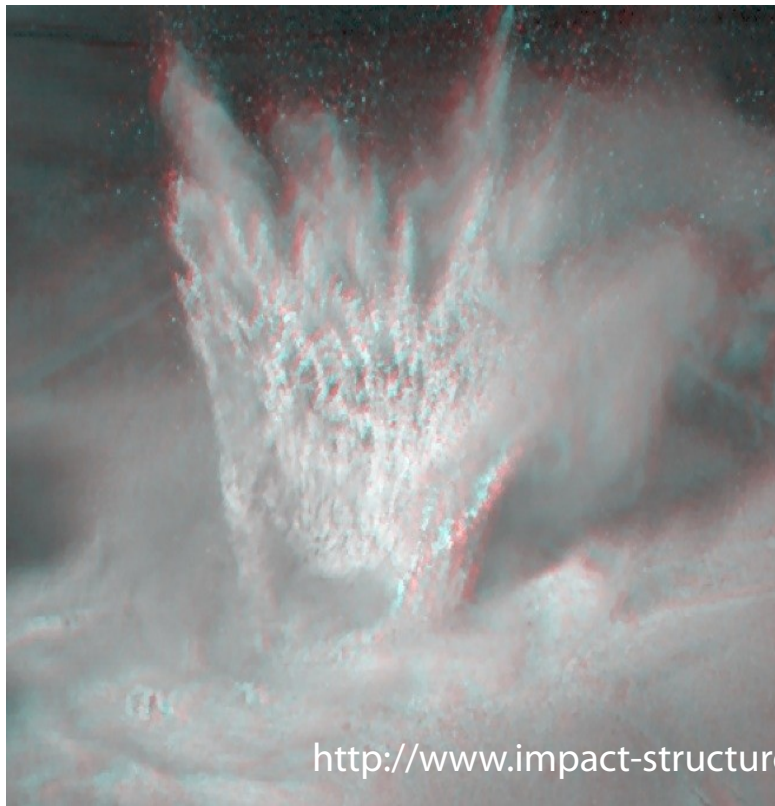
Plan de la présentation

- 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



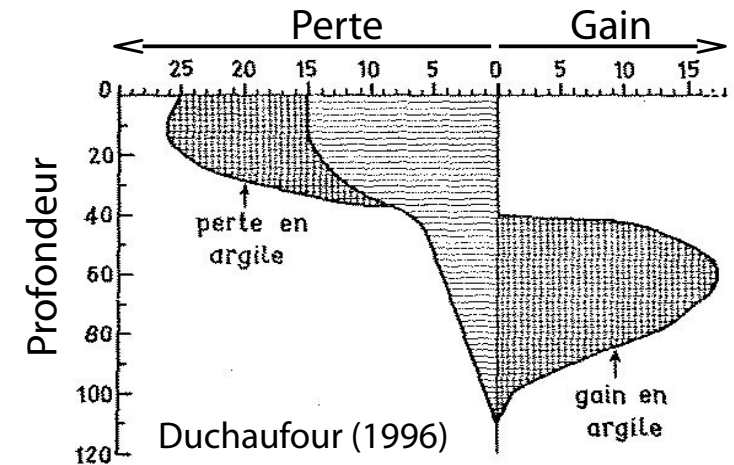
Le splash : un processus clef en science du sol

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



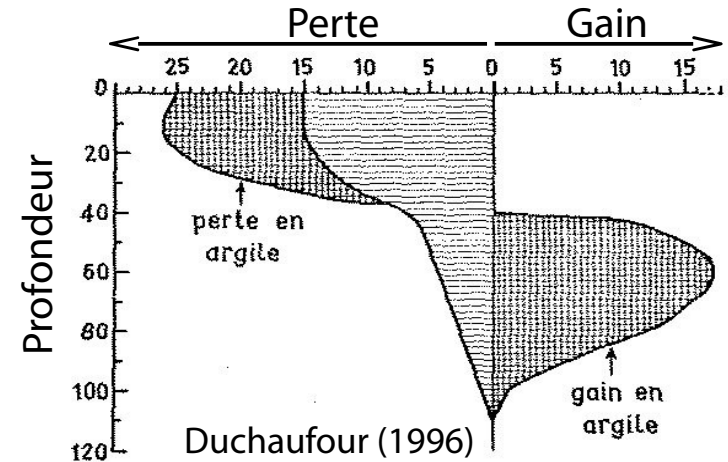
Le splash : un processus clef en science du sol

- 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



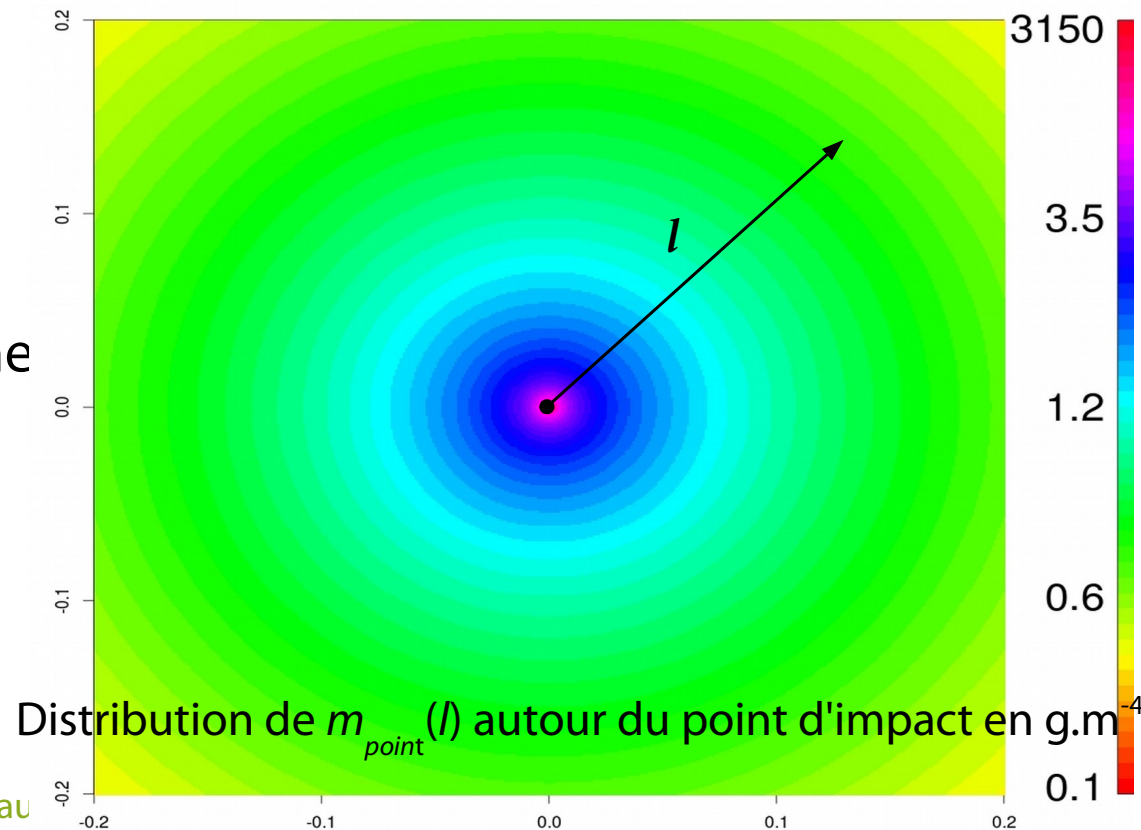
Le processus de mobilisation et de transfert de fragments de terre par splash

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

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

Van Dijk *et al.* (2002)

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



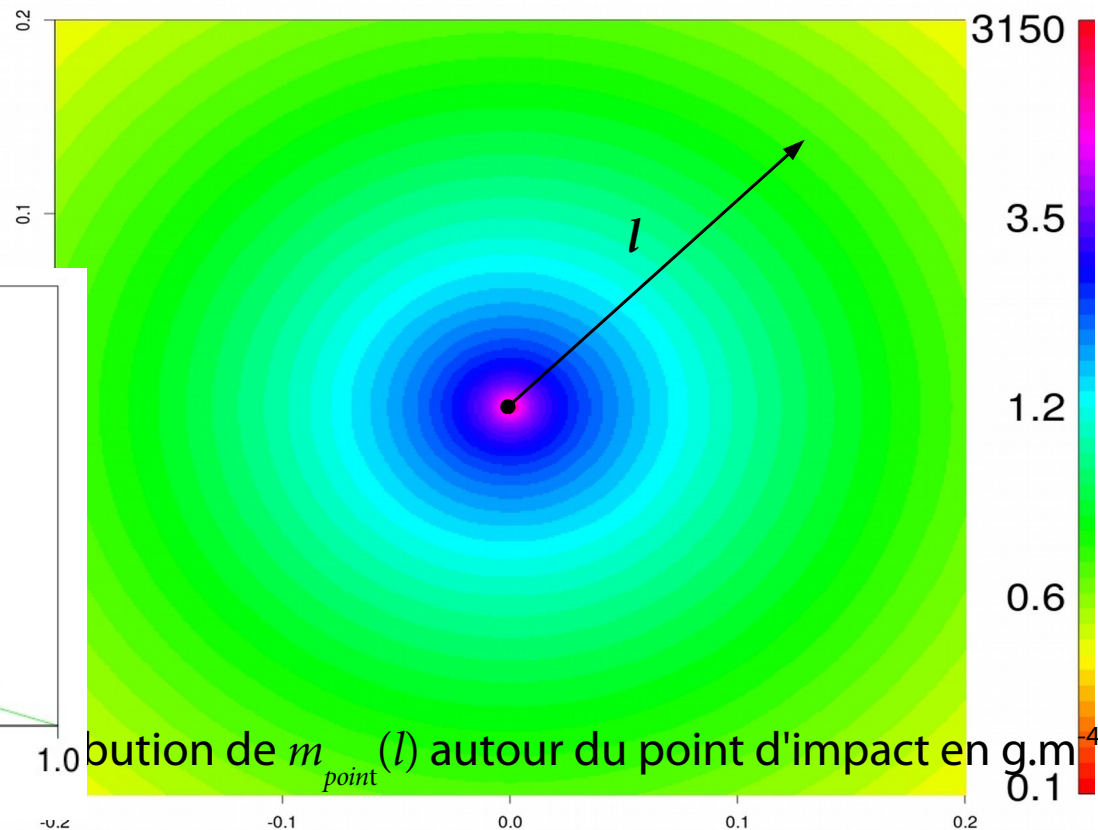
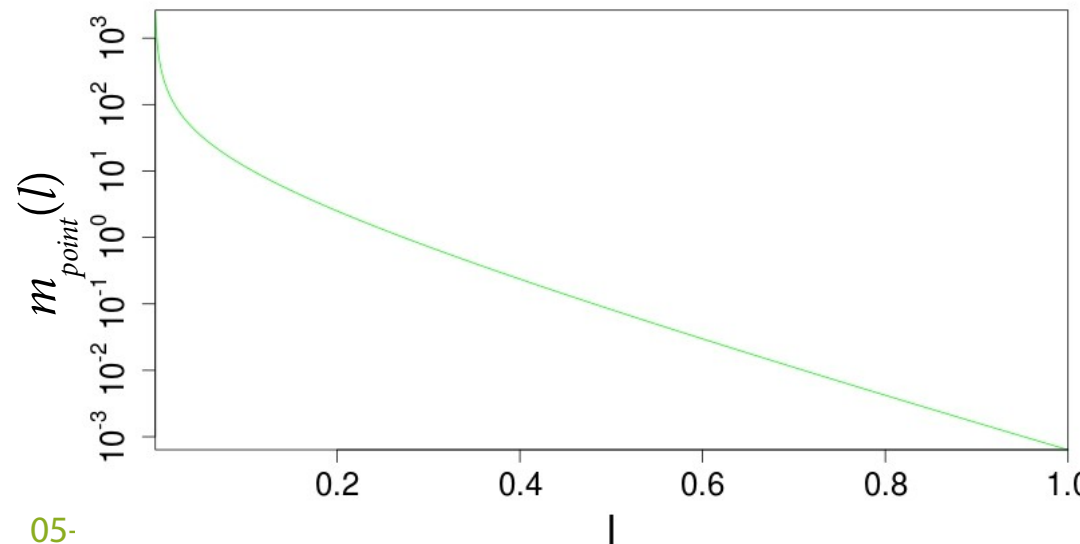
Le processus de mobilisation et de transfert de fragments de terre par splash

- 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})
- μ : taux de détachement par splash (en g.m^{-2})
- Λ : distance moyenne de

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

Van Dijk et al. (2002)



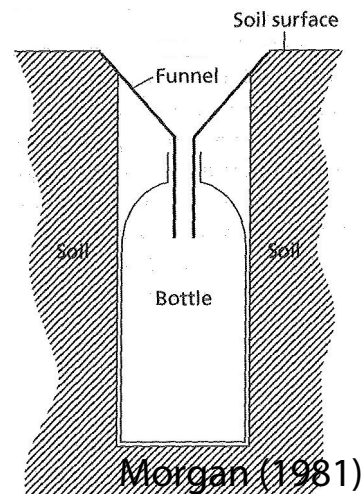
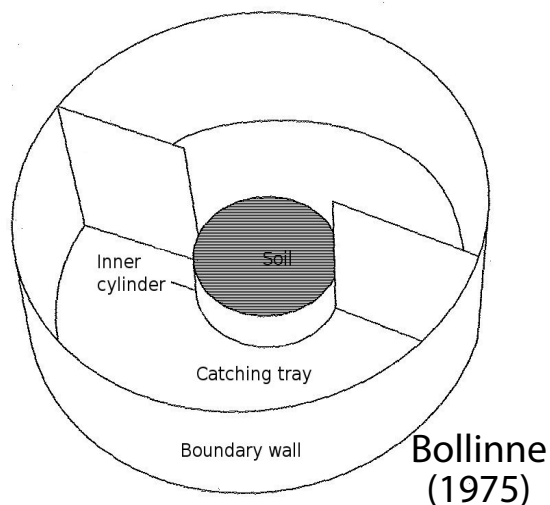
Plan de la présentation

- 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

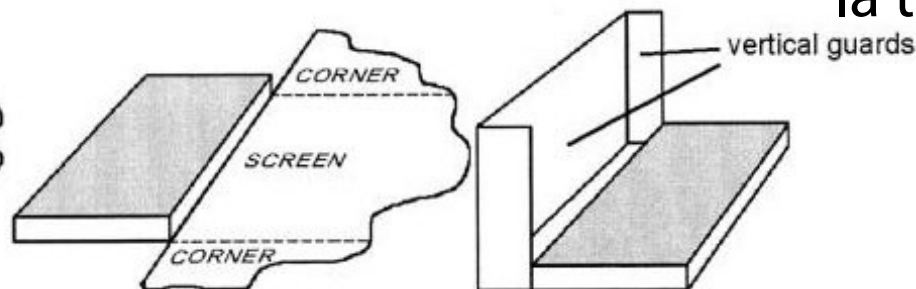
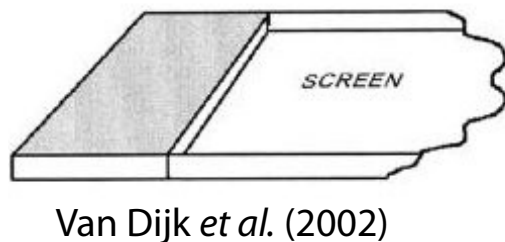
Une quantification approximative du taux de détachement μ

- Dispositifs de mesure variés

- Coupelles (source ou piège)



- Plateaux

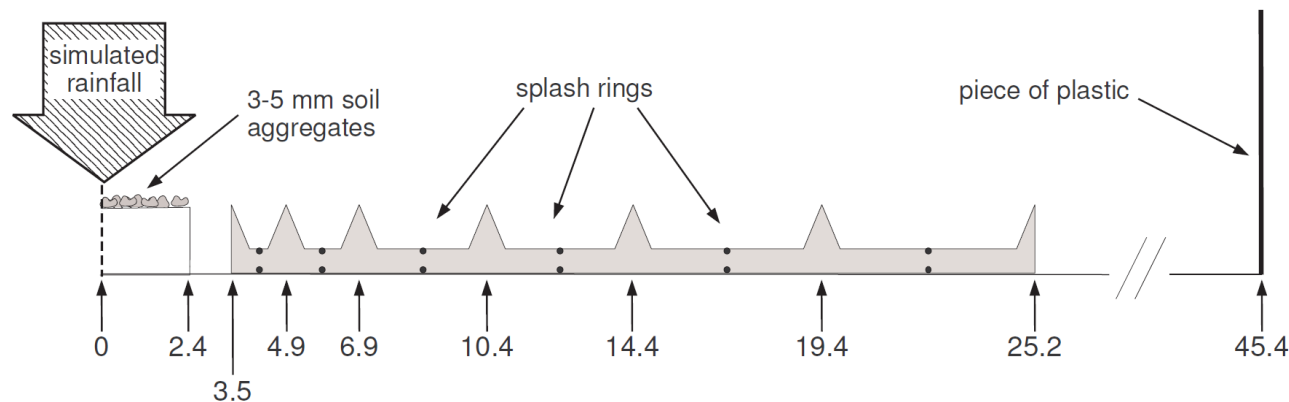


- Biais expérimental

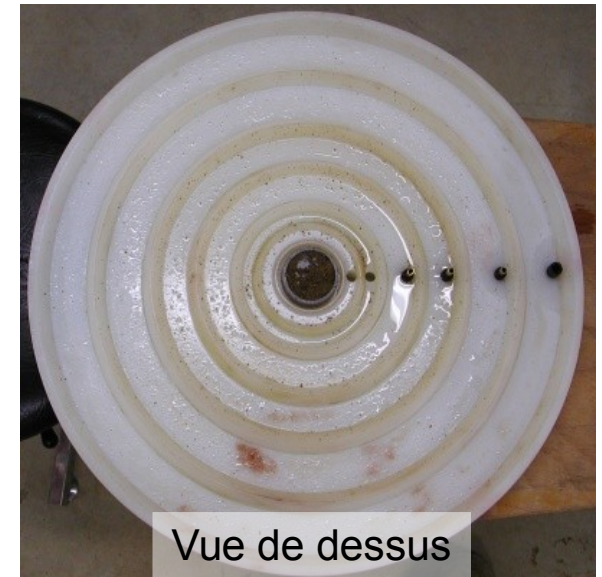
- interactions entre géométrie du dispositif et distribution spatiale des particules splashées
 - distances de transfert Δ
 - cm à dm $\approx$ dimensions dispositifs
 - variables en fonction de la taille des particules

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

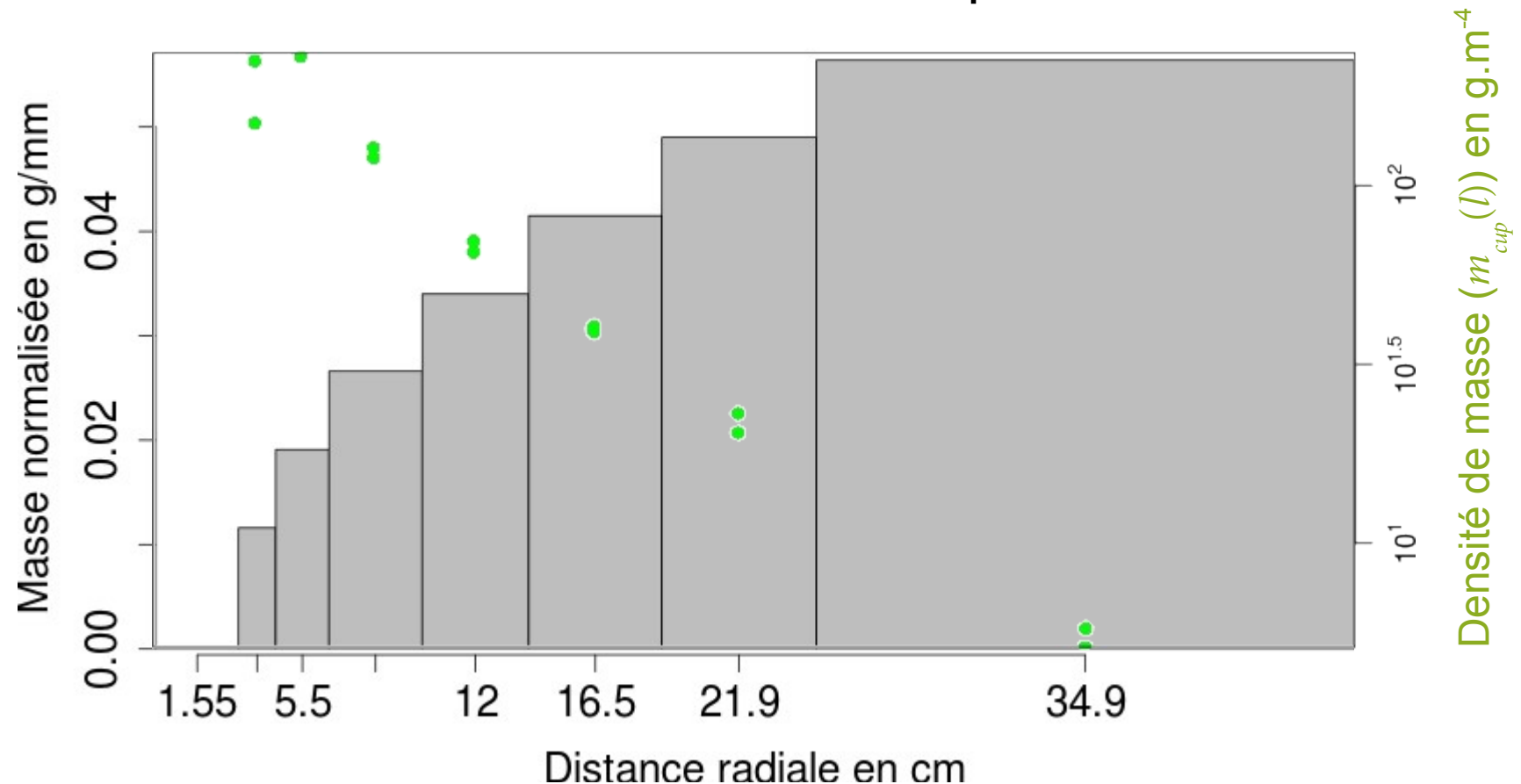
- Un modèle mathématique pour interpréter les données sans biais
 - Intégration spatiale de l'équation ponctuelle de van Dijk *et al.* (2002)
 - Solution approximée proposée en 2004 (Leguédais *et al.*, 2005)
 - Intégration numérique + calibration bayésienne

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

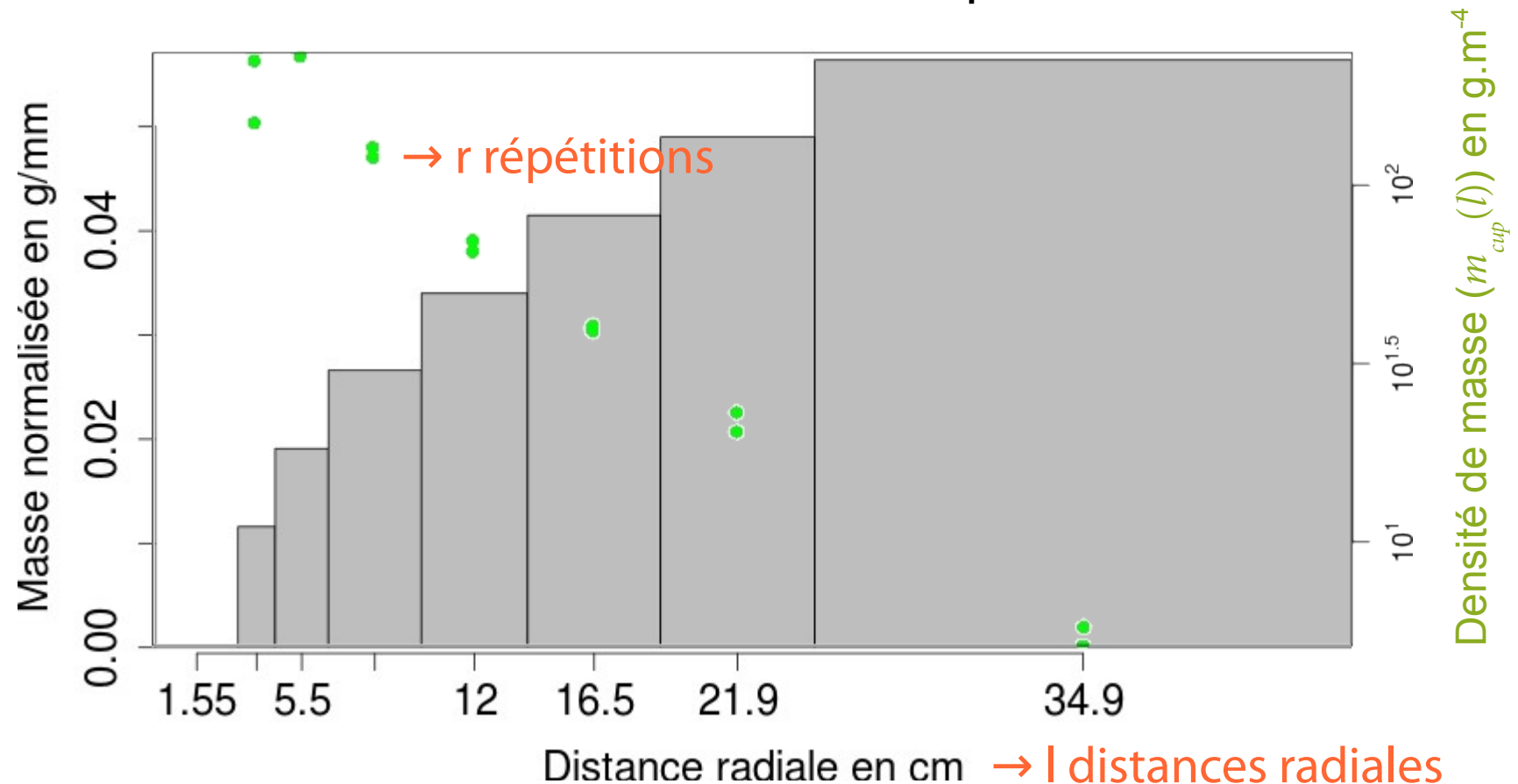
Descriptions des données utilisées pour la calibration

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



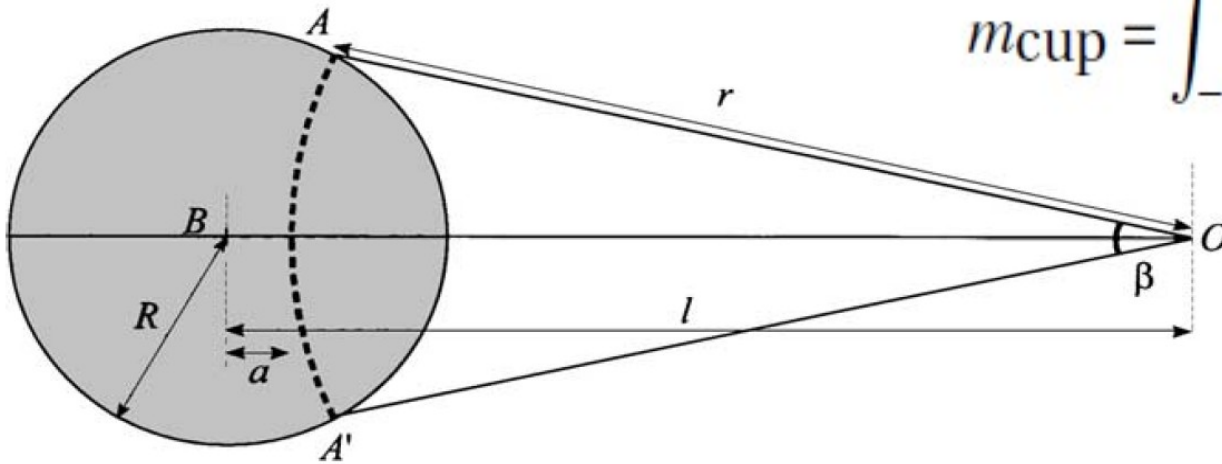
Descriptions des données utilisées pour la calibration

- 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 β



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

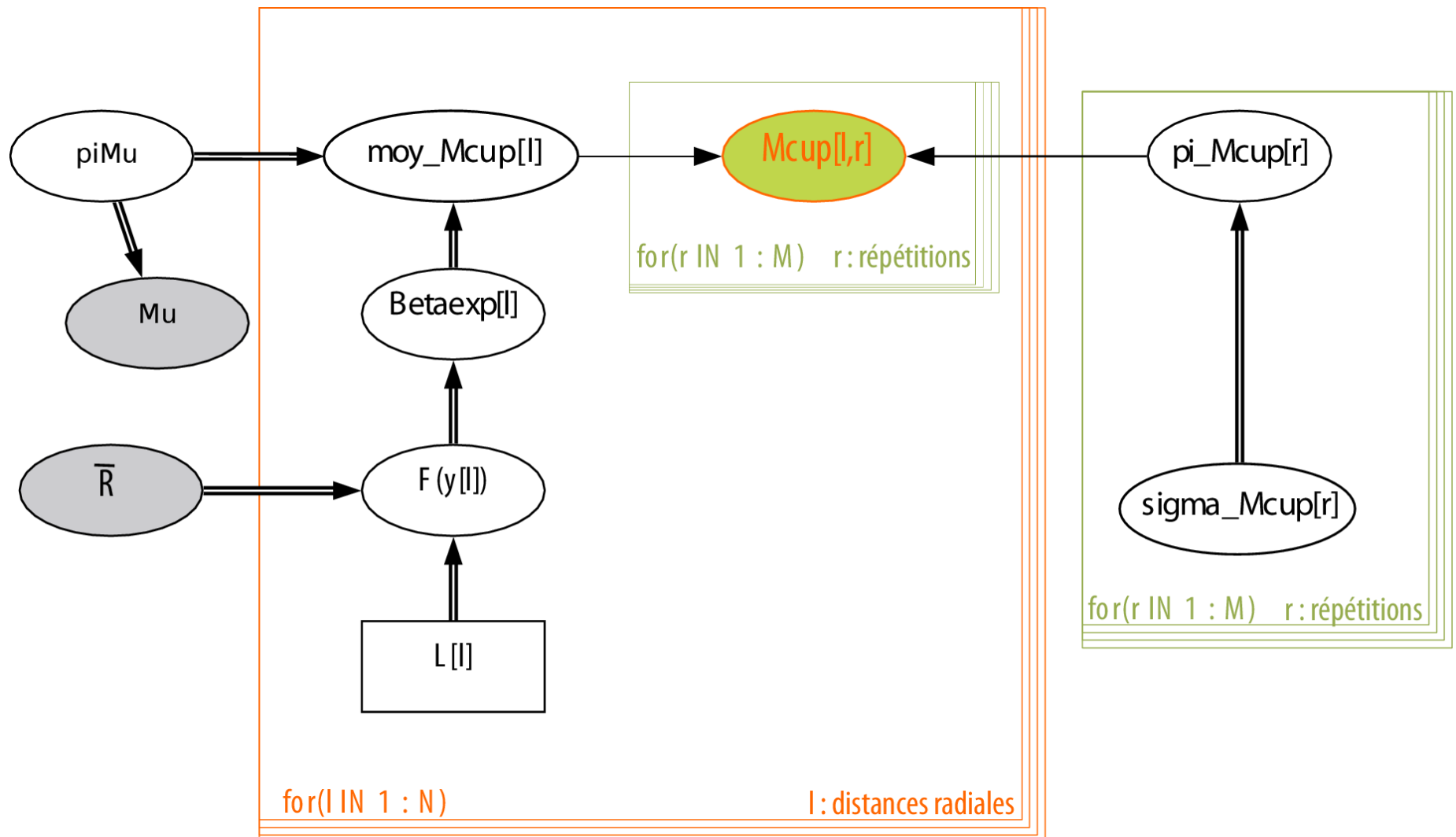
- Après adimensionnement des longueurs $\bar{R} = R/\Lambda$ $L = l/\Lambda$ $y = a/\Lambda$

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

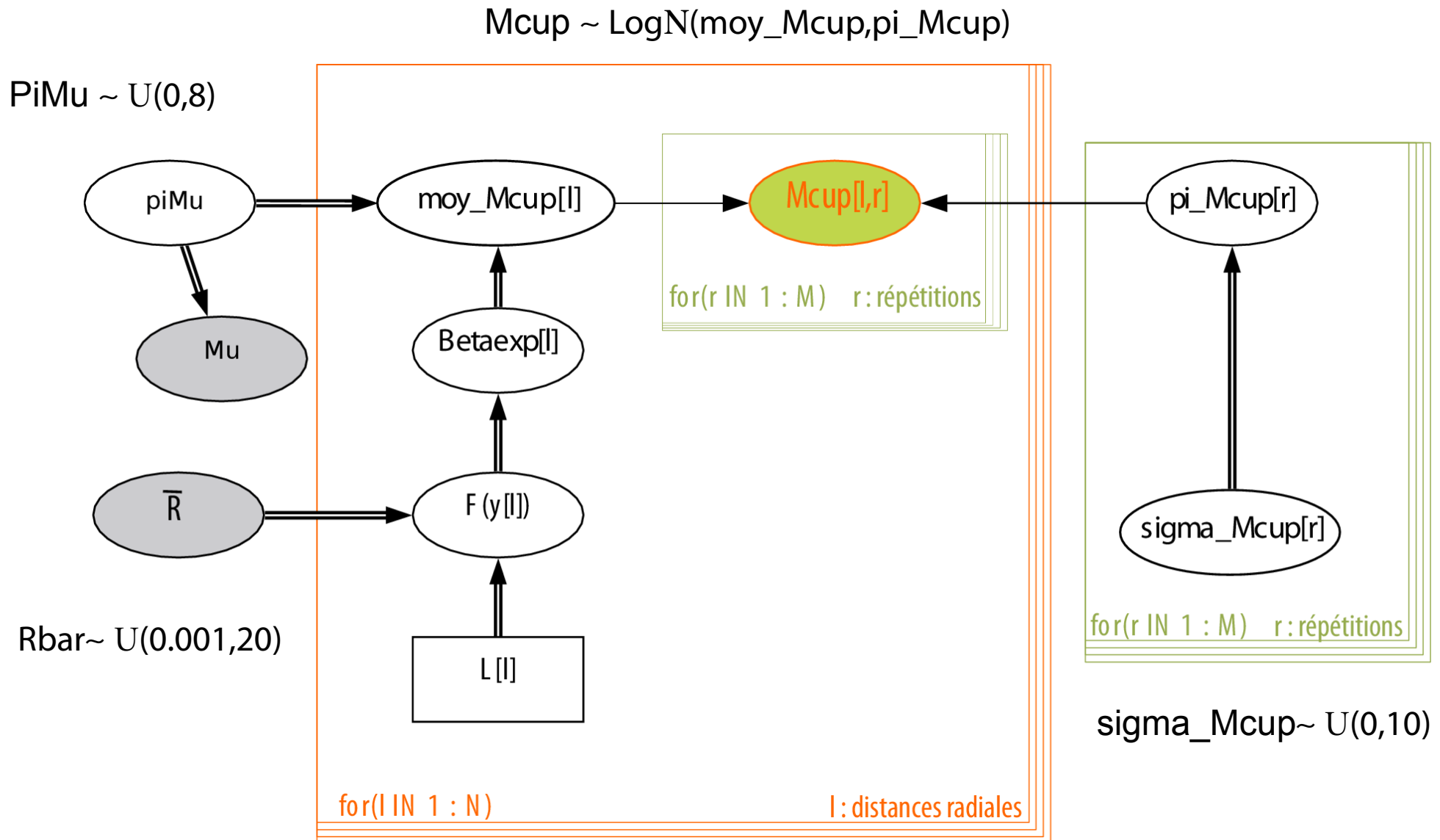
$\underbrace{\frac{\mu}{\pi}}_{\text{piMu}}$

$\underbrace{\exp \{ -\bar{R}(L-y) \}}_{\text{Betaexp}}$

Approche bayésienne pour la calibration du modèle intégré



Approche bayésienne pour la calibration du modèle intégré



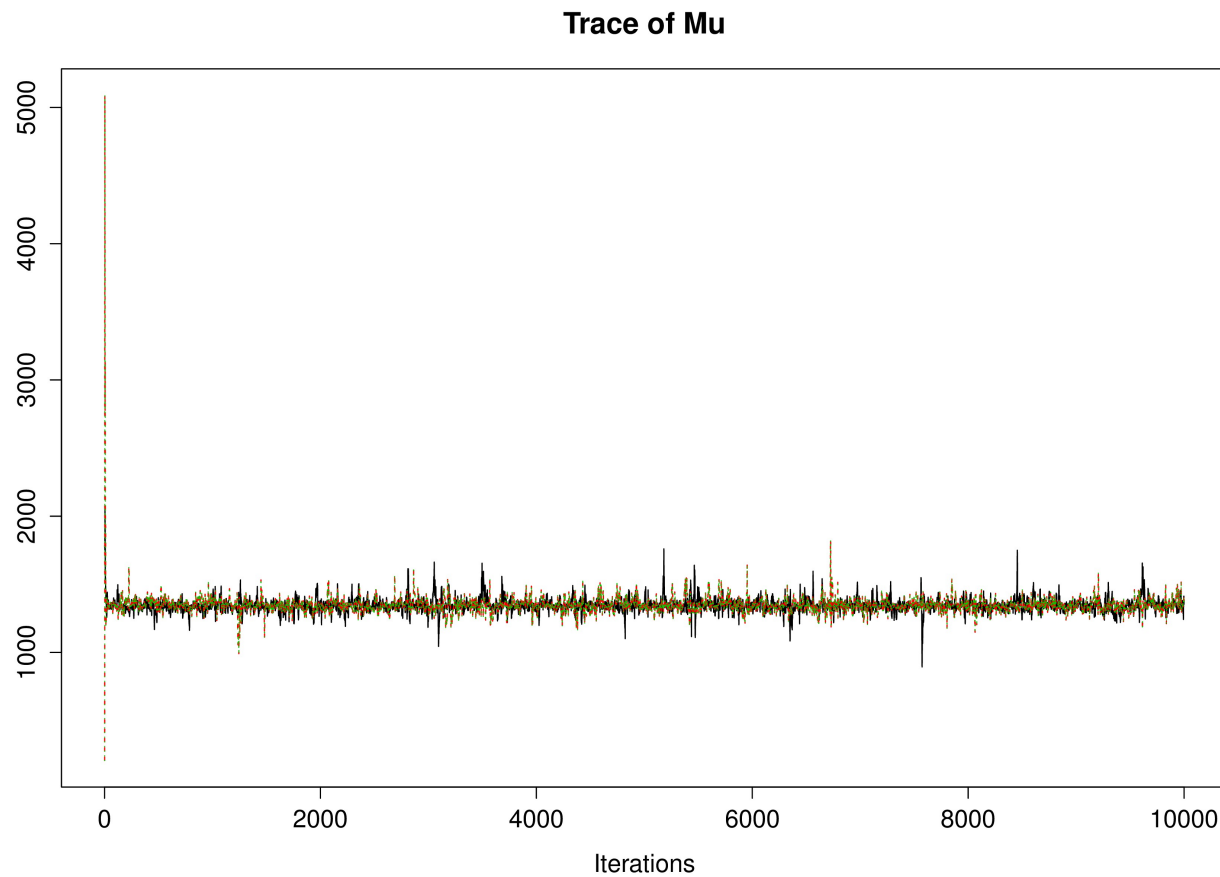
Réalisation technique

- 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

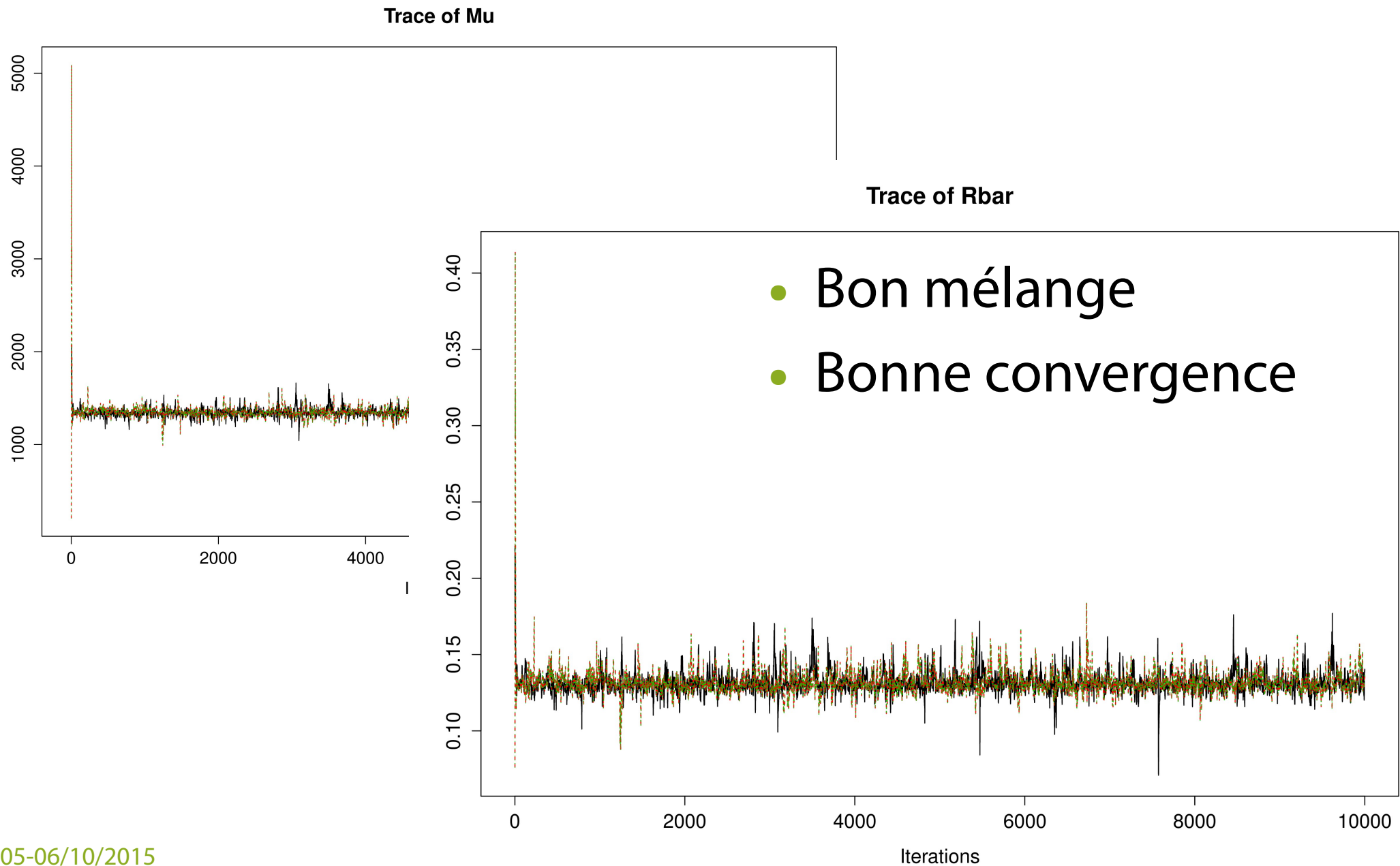
Plan de la présentation

- 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

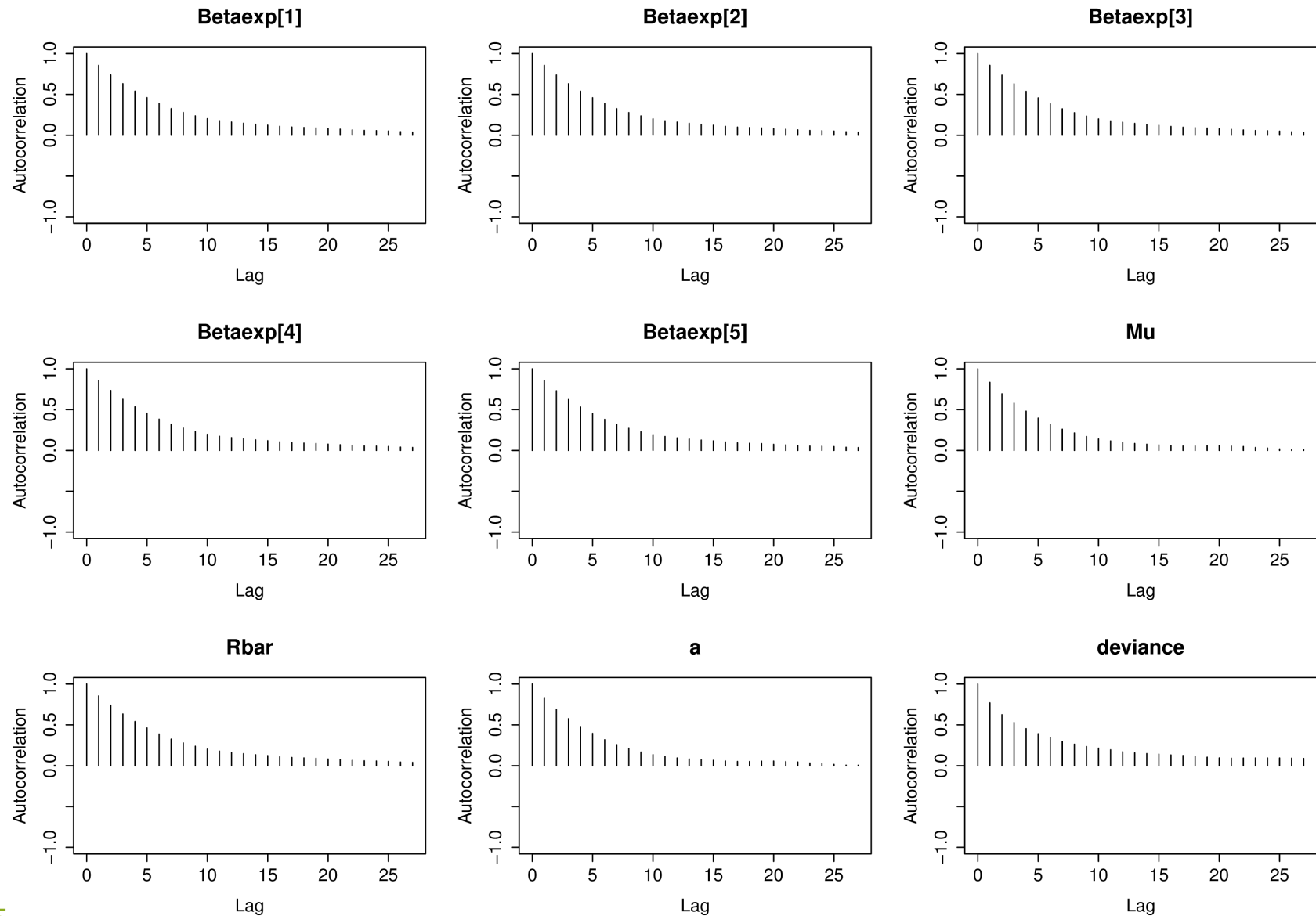


Validité des résultats

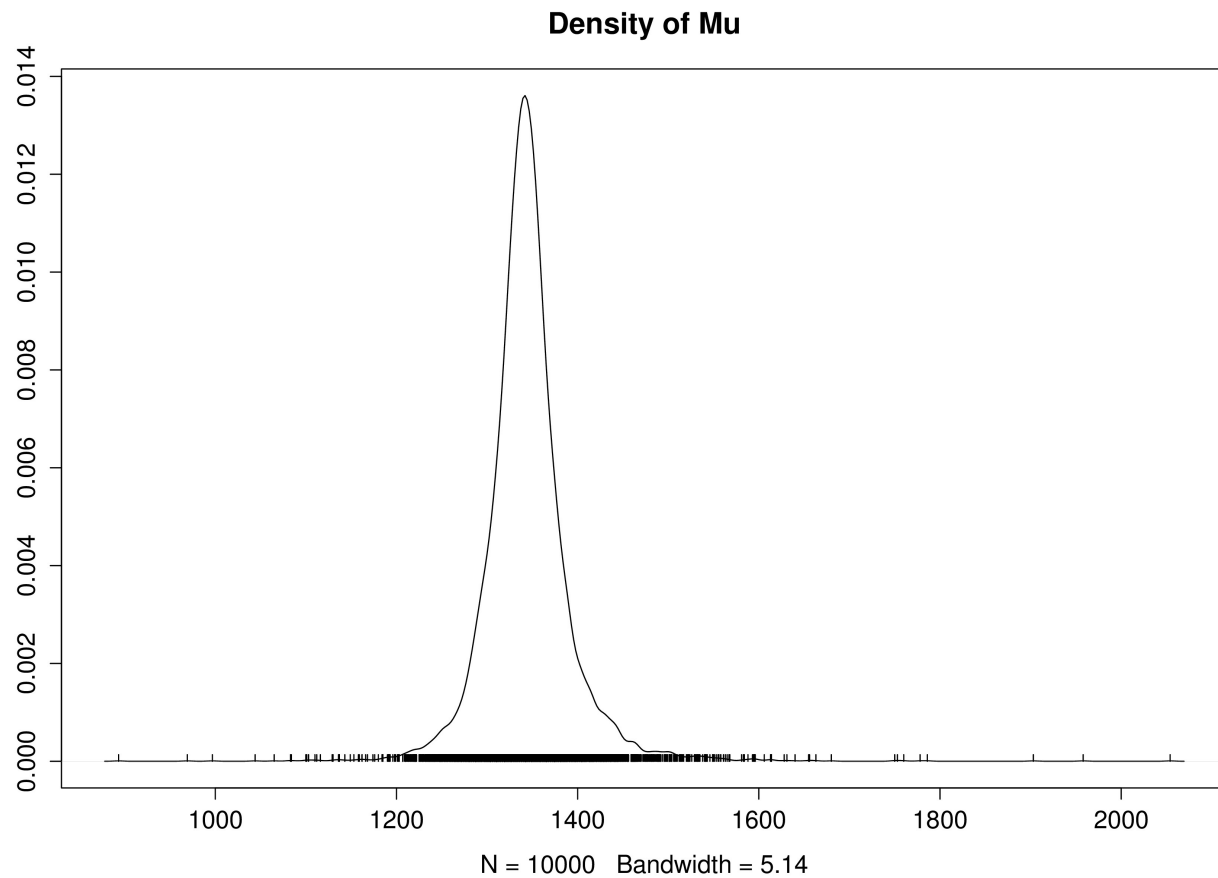


Validité des résultats

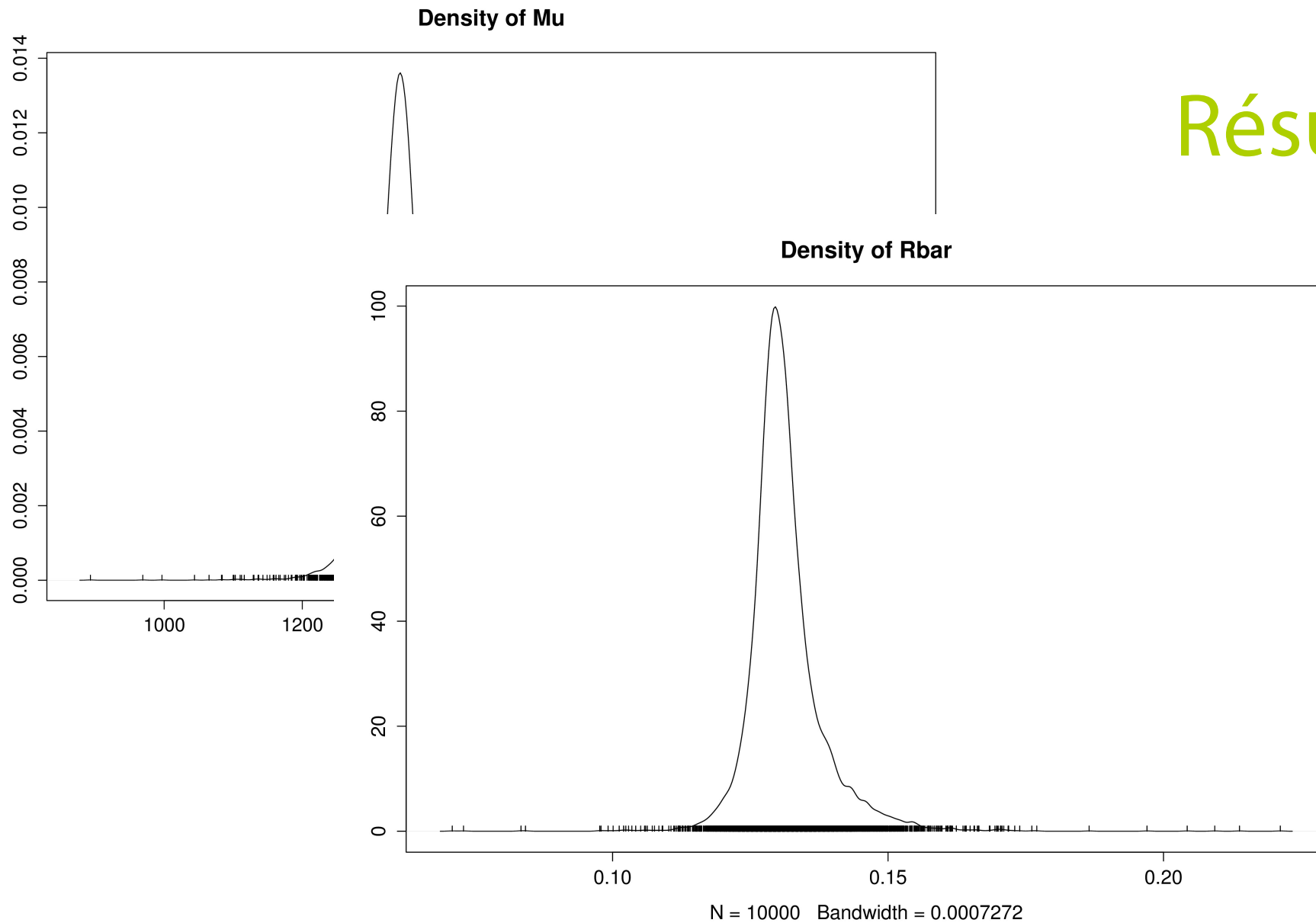
- Faible autocorrélation



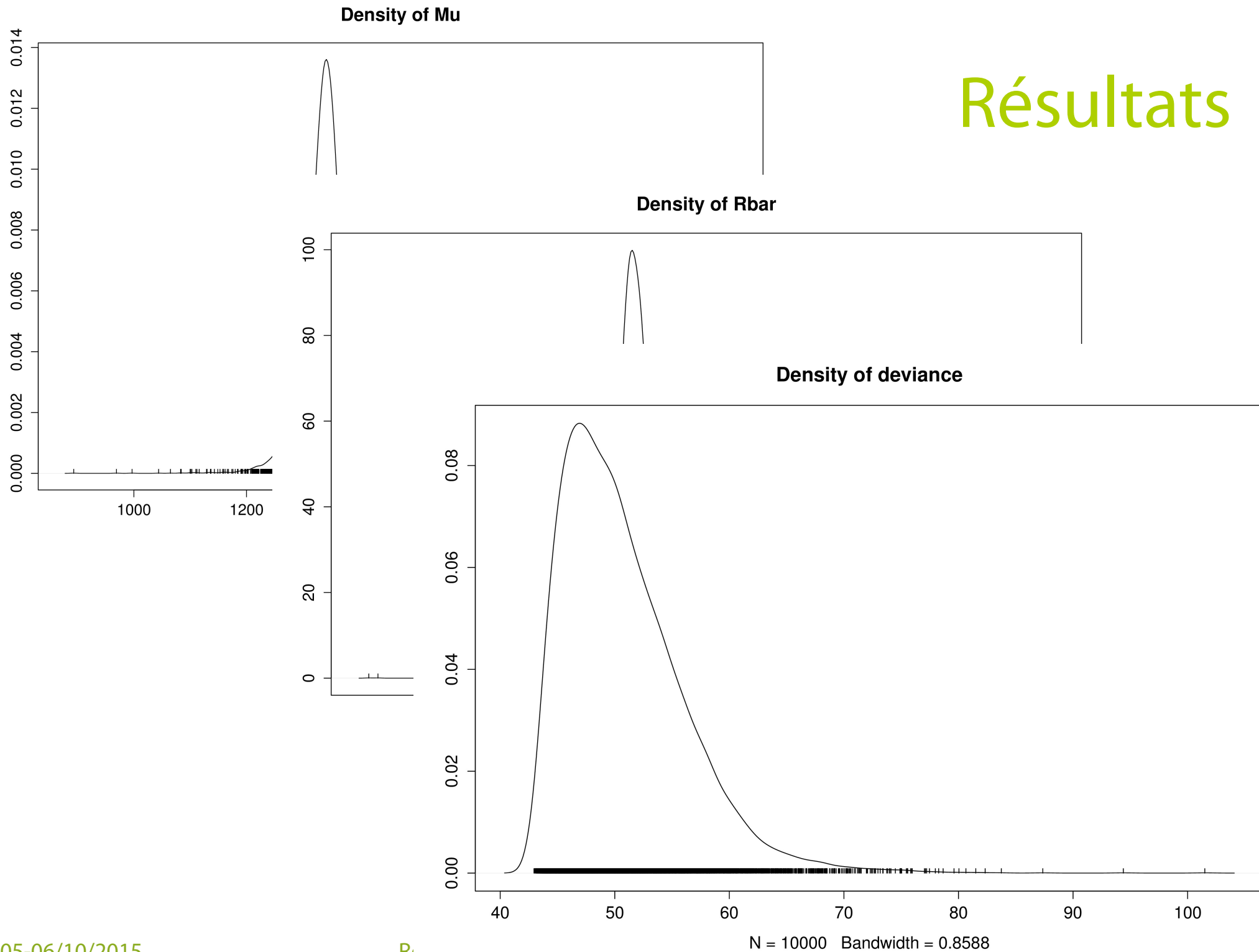
Résultats



Résultats



Résultats



Plan de la présentation

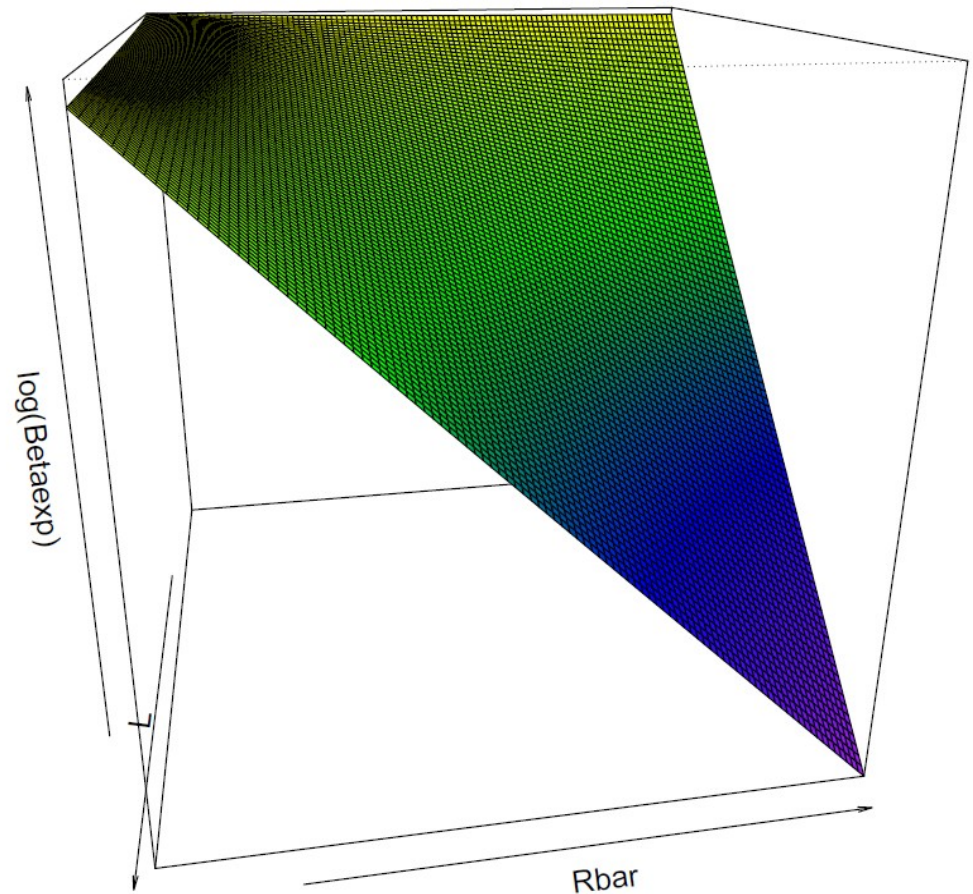
- Présentation du phénomène de splash
- Problématique et objectif du travail : une mesure non biaisée
- Démarche de travail
 - Données expérimentales
 - Intégration numérique
 - Calibration bayésienne
- Résultats
- Conclusion & perspectives

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

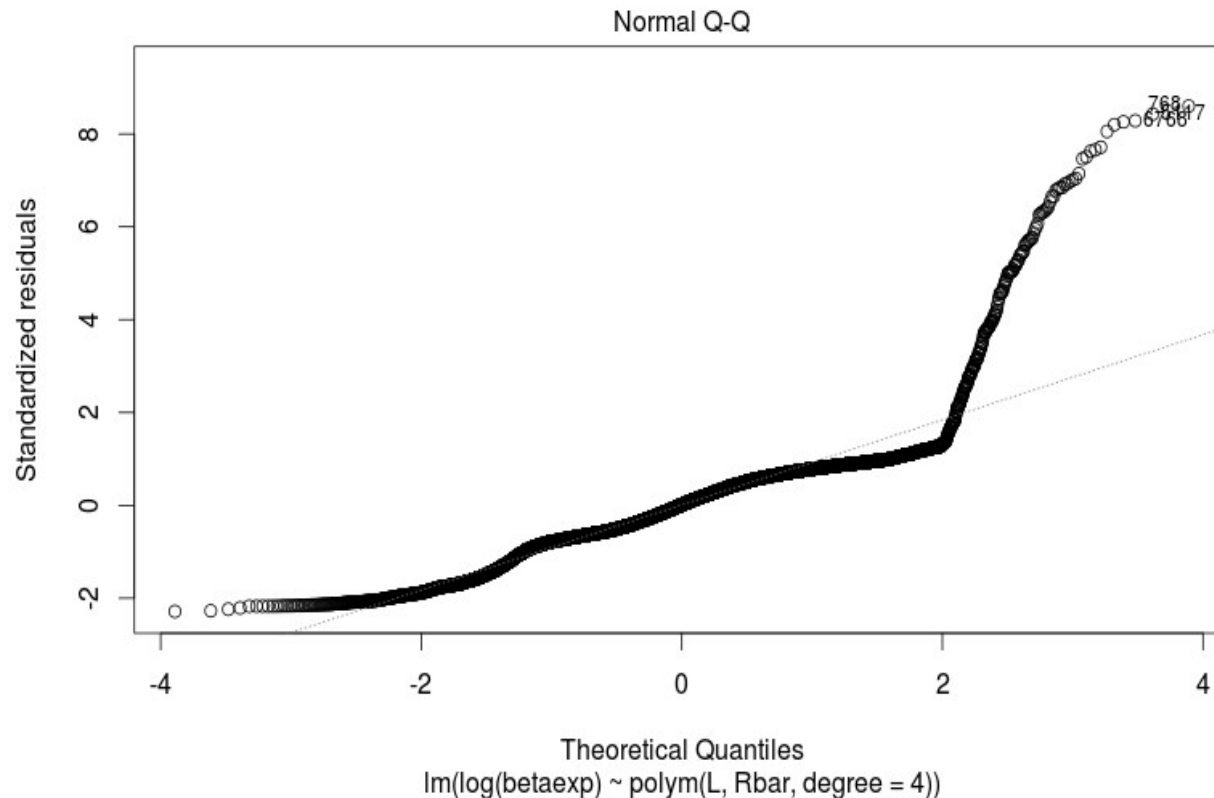
Retour sur les essais de métamodélisation

- 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 $Beta_{exp}$



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 Λ et μ à partir de données expérimentales
 - Comment procéder ?