

Métamodélisation pour la calibration d'un modèle de splash

S. Leguédois
Laboratoire Sols et Environnement
Inra, EA

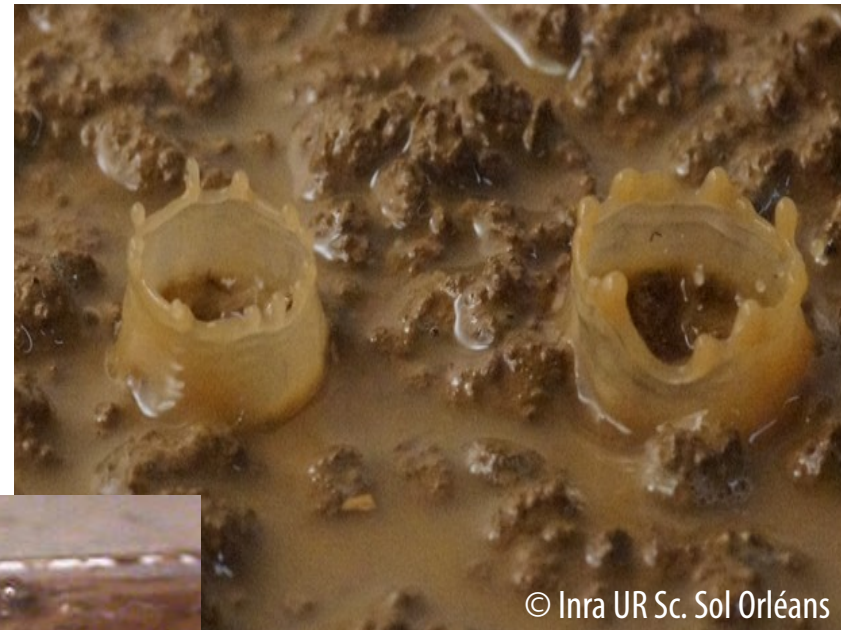
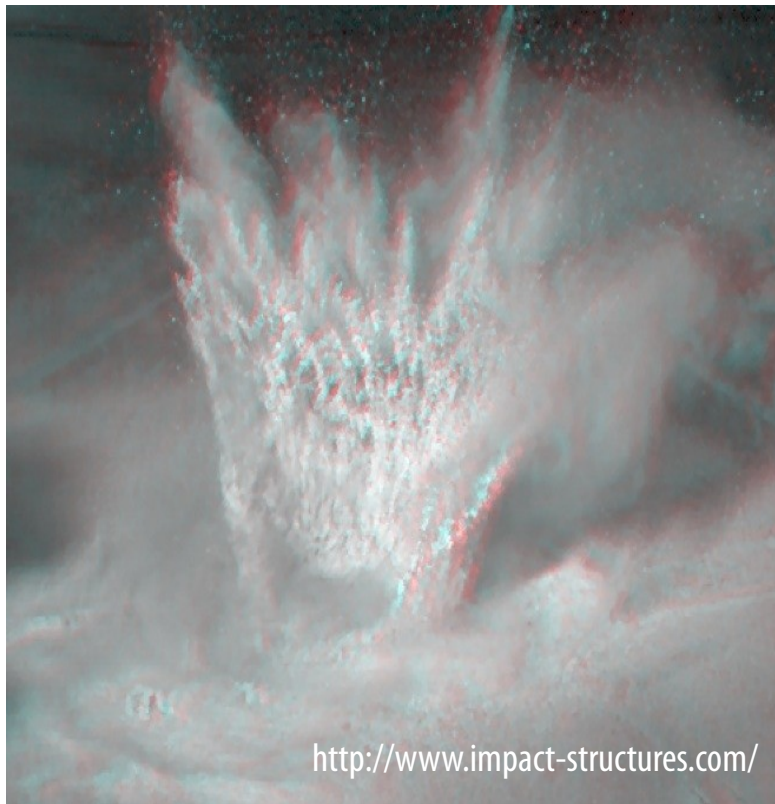
Avec les contributions de S. Cordier, F. Darboux, C. Legout, Y. Le Bissonnais, C. Lucas, É. Michel, O. Planchon

Plan de la présentation

- Présentation du phénomène de splash
- Problématique et objectif du travail : une mesure non biaisée
- Métamodélisation
 - Méthode
 - Premiers résultats
- Questions et conclusion

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



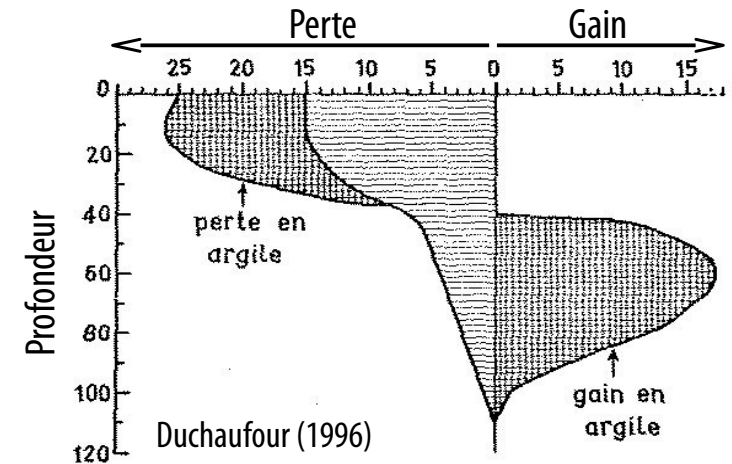
Le splash : un processus clef en science du sol

- Le splash génère :
 - Transport et exportation des fragments de terre
 - érosion hydrique des sols (parcelle, bassin versant)
 - Réarrangement des fragments de terre
 - diminution de l'infiltration par fermeture de la surface (croûtes de battance)



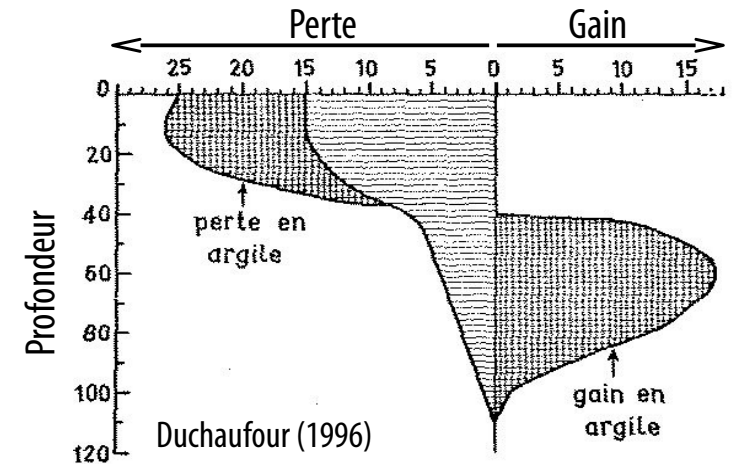
Le splash : un processus clef en science du sol

- 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)



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

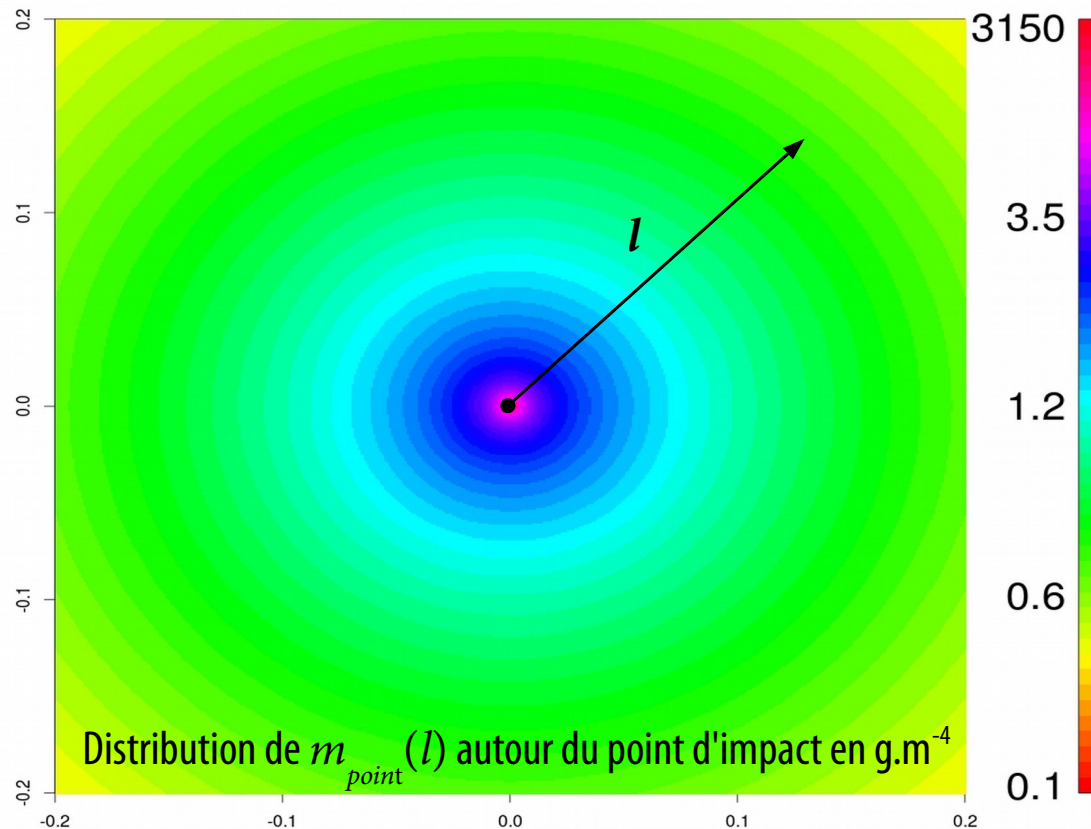
- Dépôt radial autour du point d'impact : loi exponentielle décroissante

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

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

Van Dijk *et al.* (2002)

- 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

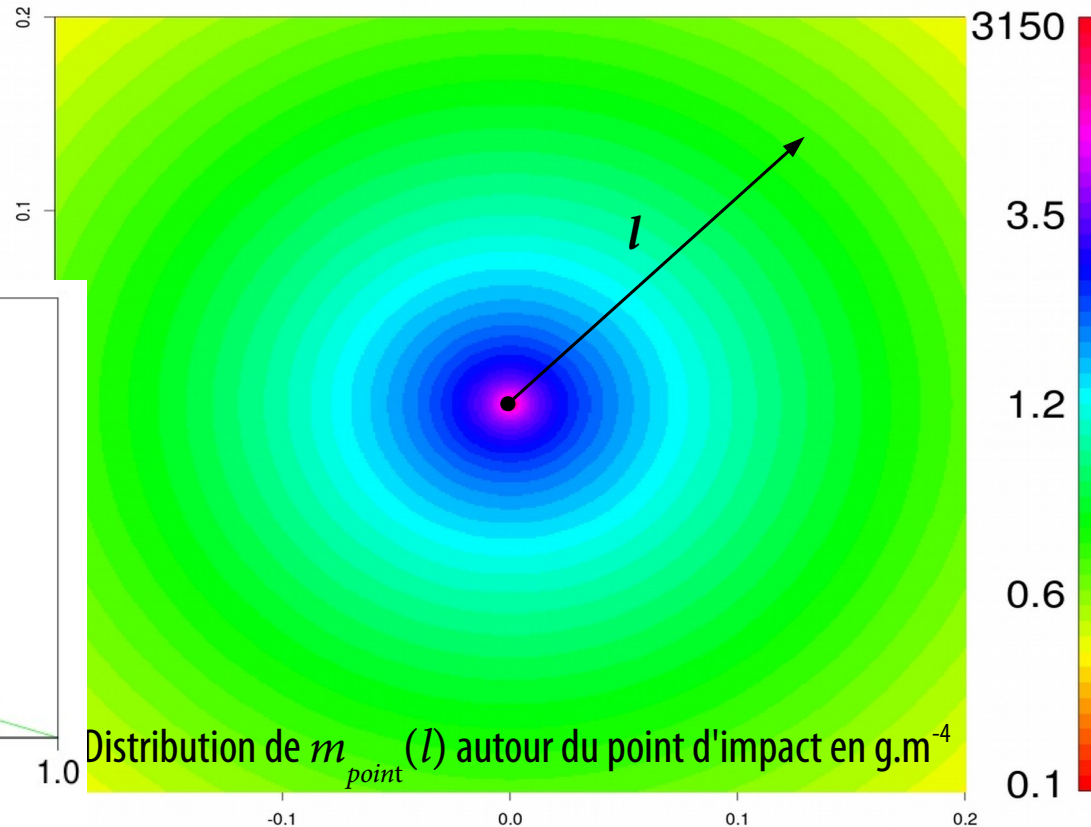
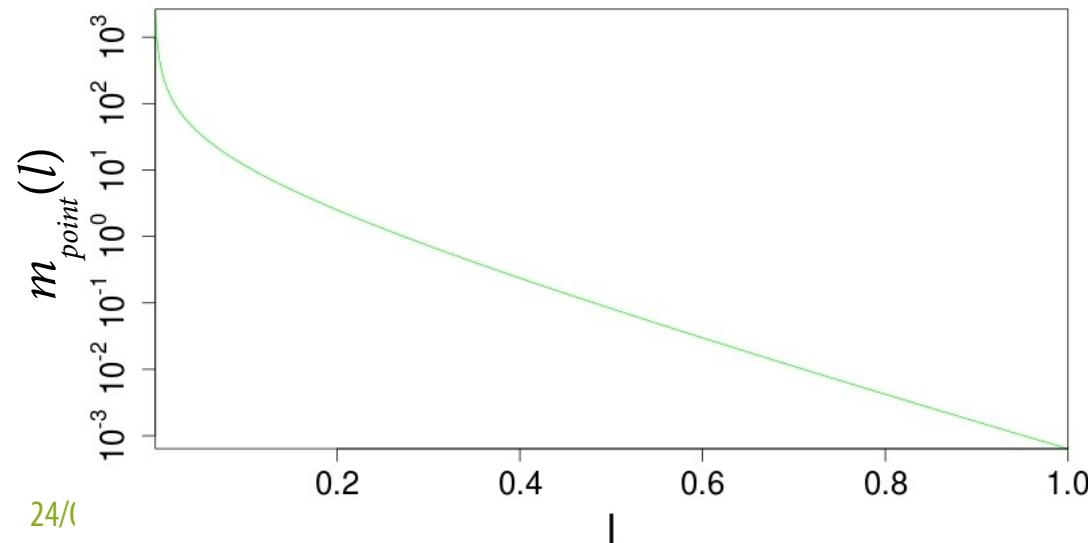
- $m_{point}(l)$: densité de la masse de matière splashée et déposée à une distance radiale l du point d'impact (en g.m^{-4})

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

Van Dijk et al. (2002)

- 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



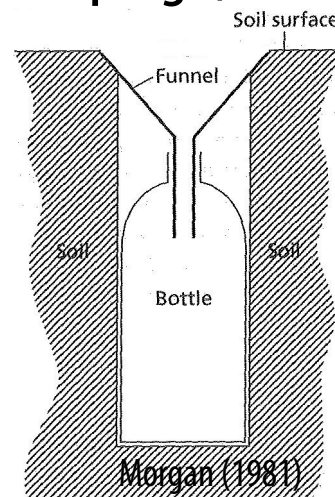
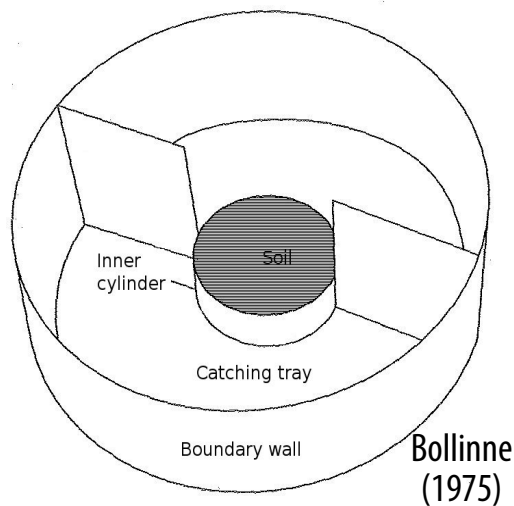
Plan de la présentation

- Présentation du phénomène de splash
- Problématique et objectif du travail : une mesure non biaisée
- Métamodélisation
 - Méthode
 - Premiers résultats
- Questions et conclusion

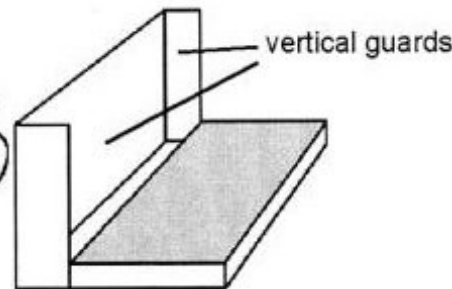
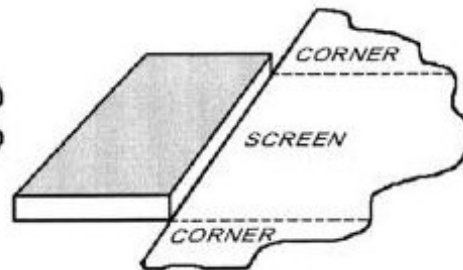
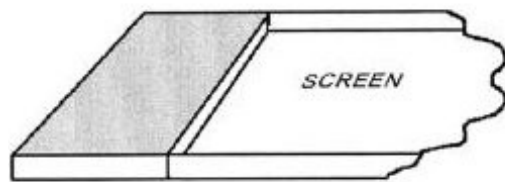
Une quantification approximative du taux de détachement μ

- Dispositifs de mesure variés

- Coupelles (source ou piège)



- Plateaux

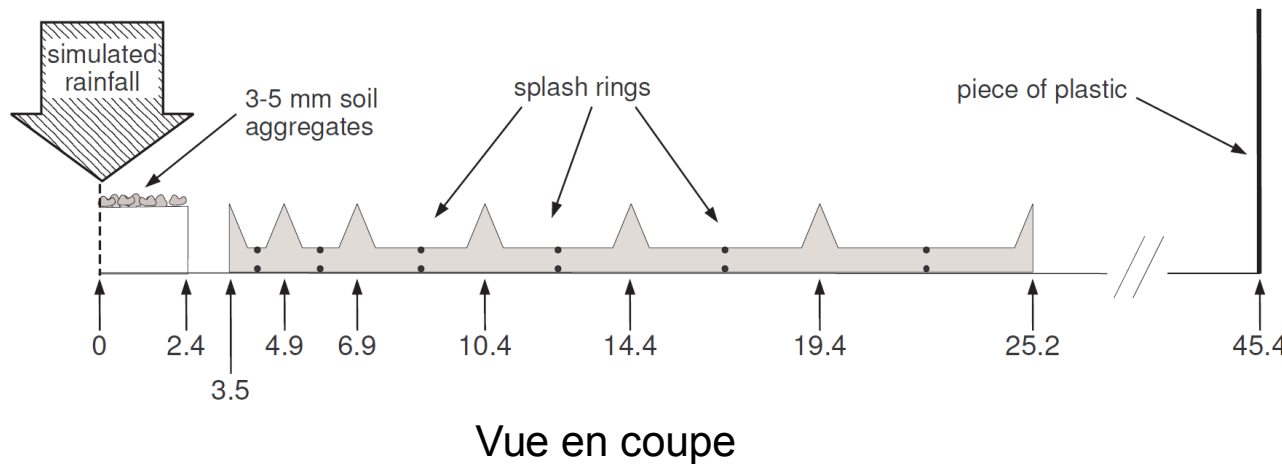


- Biais expérimental

- 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

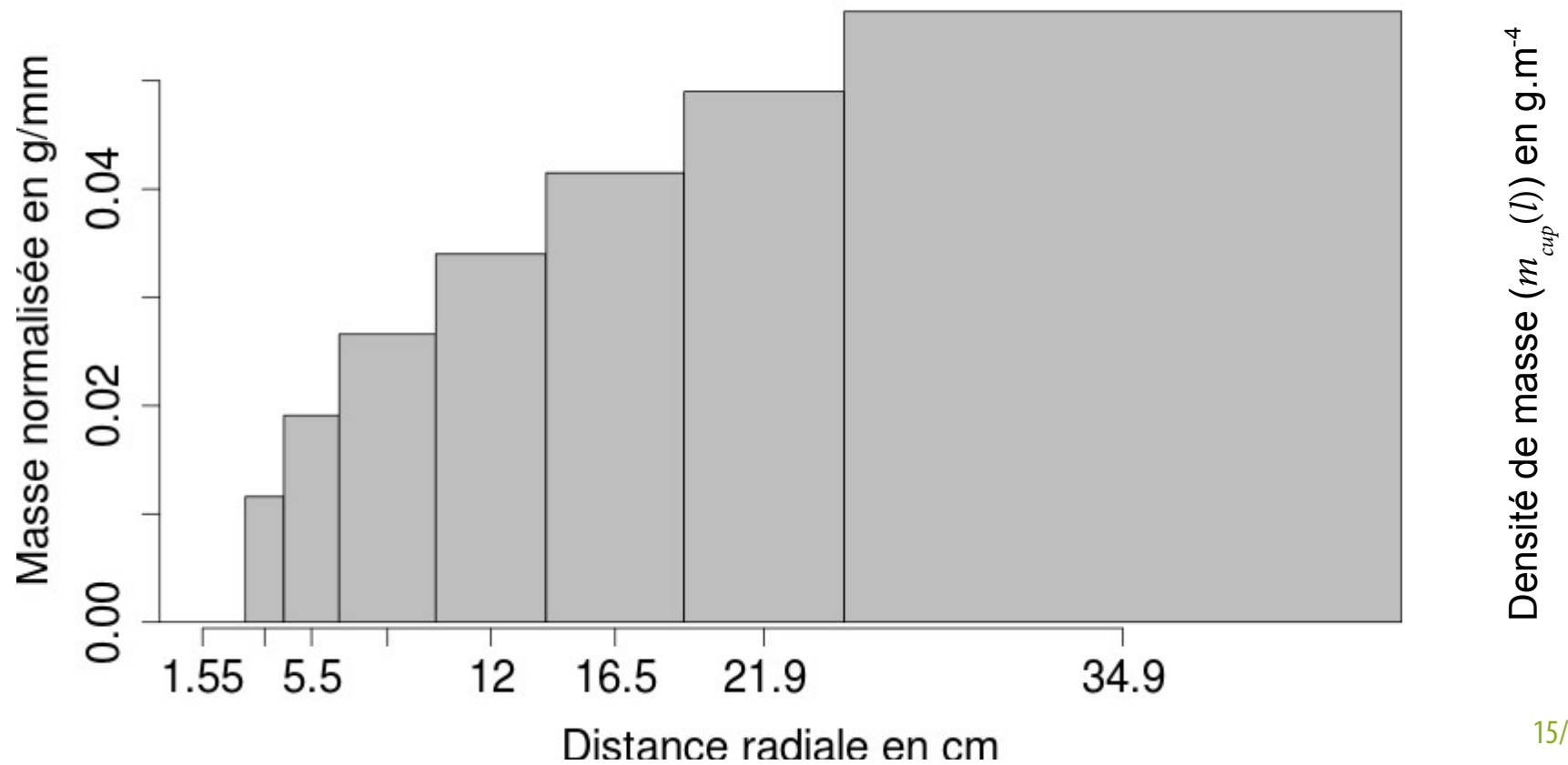


- Un modèle mathématique pour interpréter les données sans biais
 - Intégration spatiale de l'équation ponctuelle de van Dijk *et al.* (2002)
 - Solution approximée proposée en 2004 (Leguédos *et al.*, 2005)
 - Solution plus robuste reste à développer

Démarche d'interprétation des données

1. Traitement des données

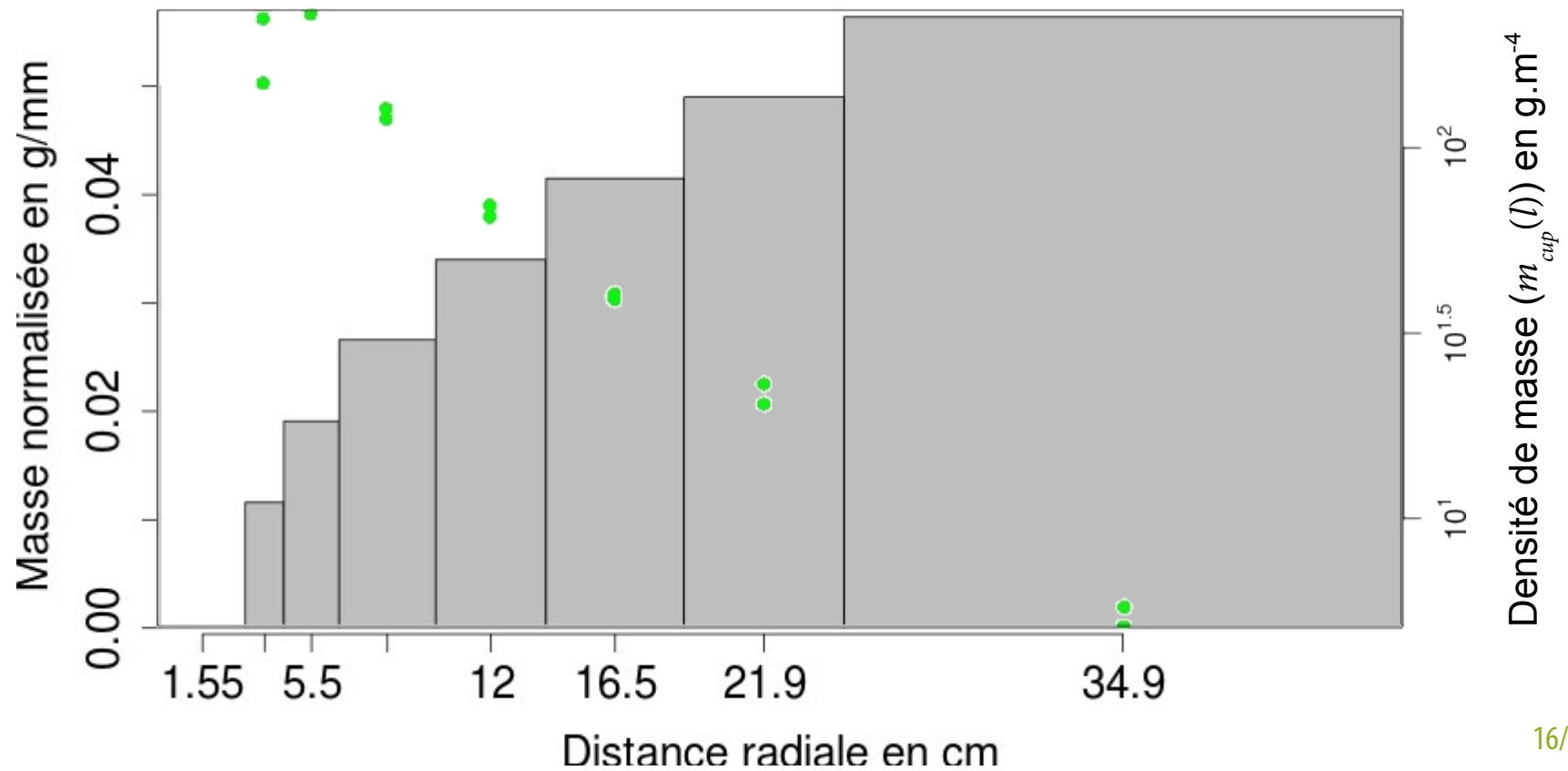
- Normalisation des masses par la pluie cumulée



Démarche d'interprétation des données

1. Traitement des données

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



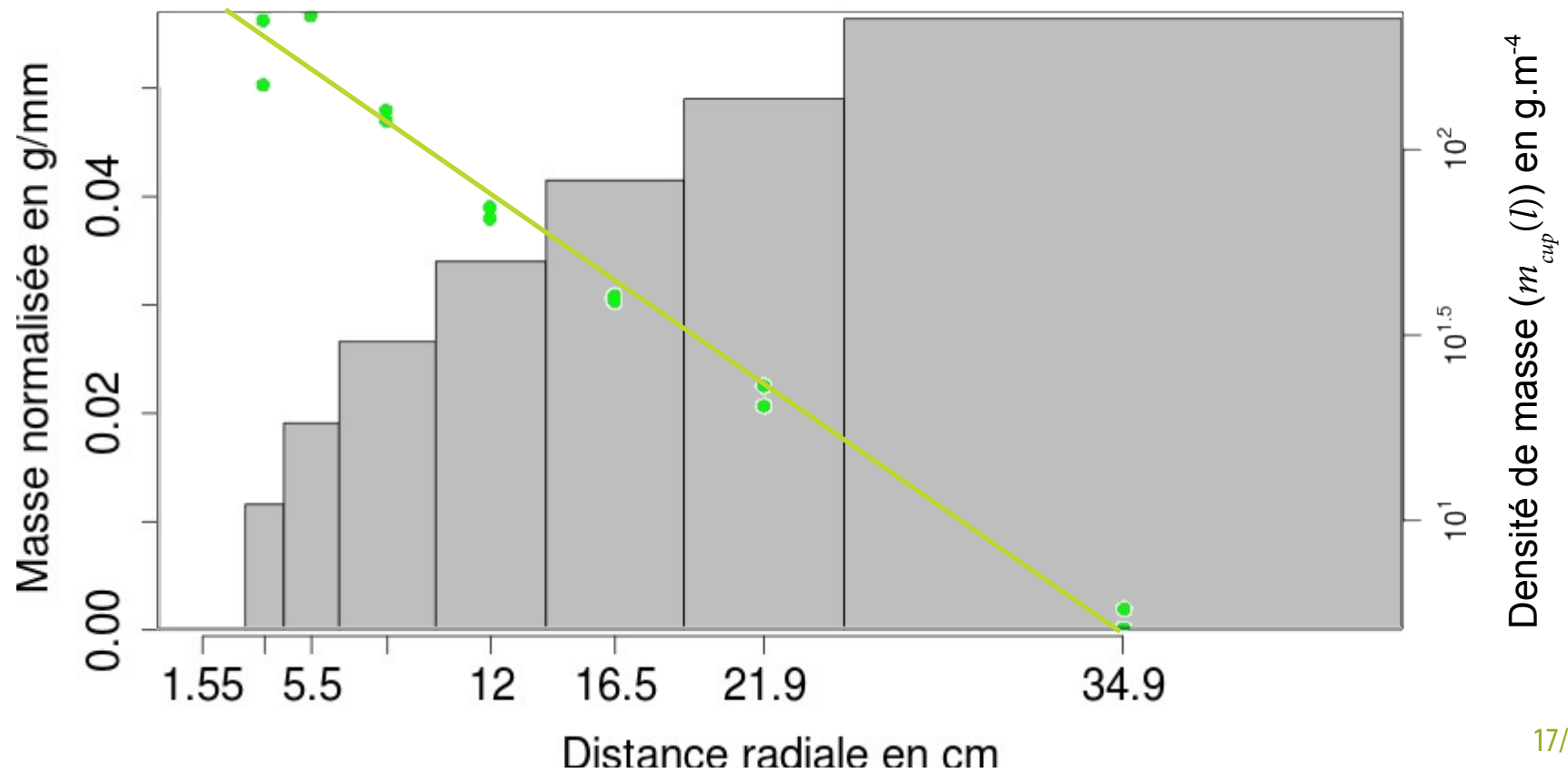
Démarche d'interprétation des données

1. Traitement des données

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

2. Calibration par ajustement

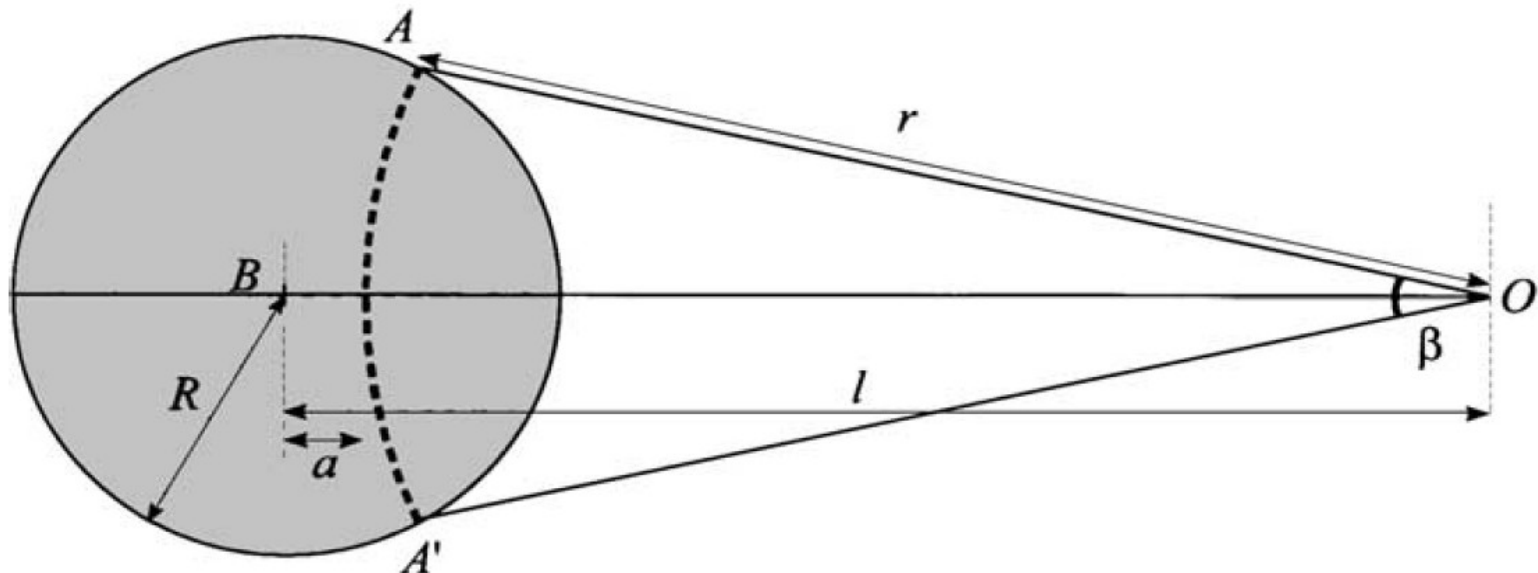
- Pour forme générale connue du modèle intégré
- Obtention des valeurs de μ et Λ



Intégration spatiale du modèle ponctuel pour notre dispositif expérimental

- Source circulaire de rayon R
- Pas de solution analytique pour cette intégrale
 - → méconnaissance de la forme générale du modèle
- Intégration numérique par partie en découpant la source circulaire en arc AA' de rayon $l-a$ de d'angle β

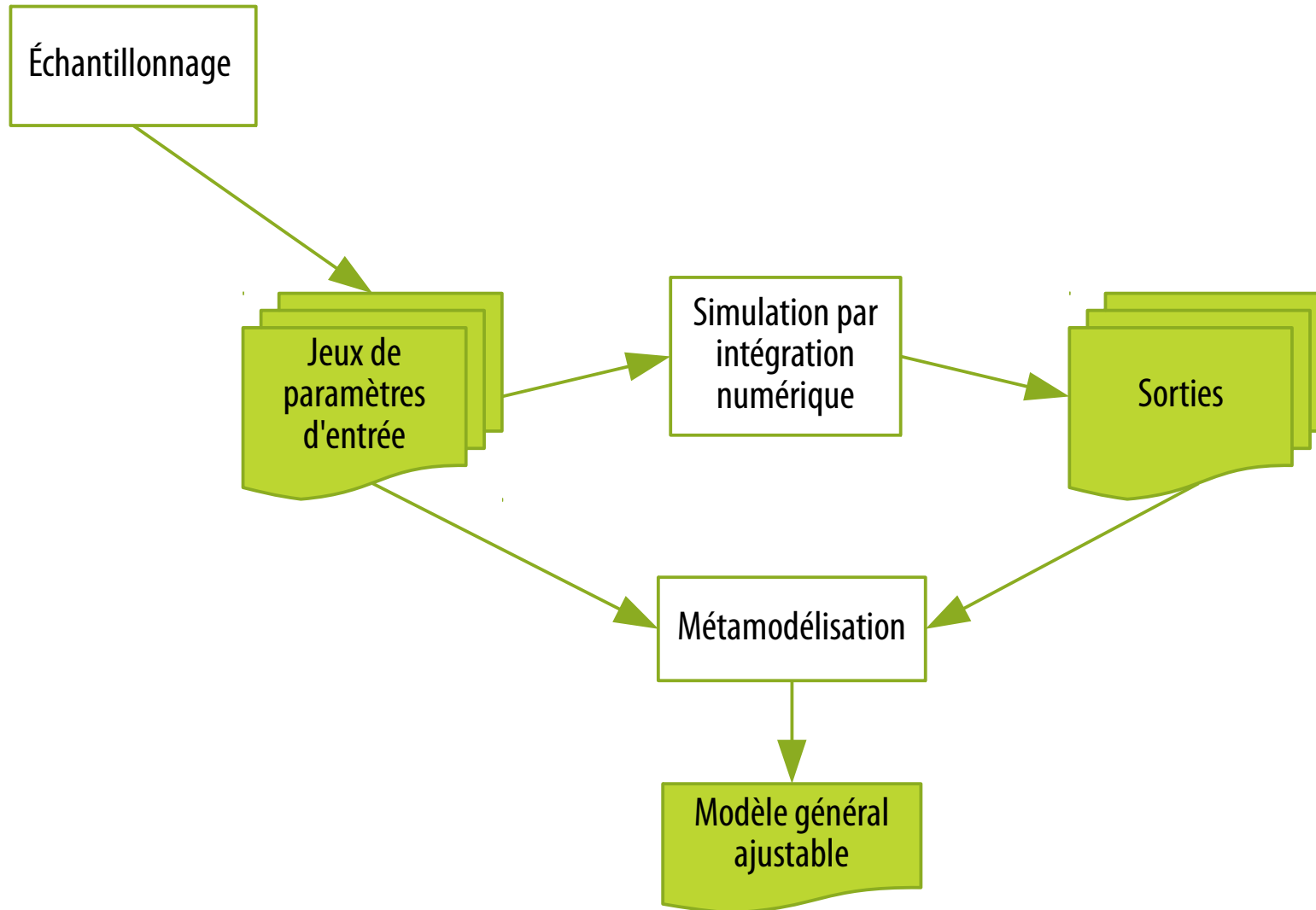
$$m_{\text{cup}} = \int_{-R}^R \left\{ \beta(a) \frac{\mu}{\Lambda 2\pi} \exp[-(l-a)/\Lambda] \right\} da$$



Plan de la présentation

- Présentation du phénomène de splash
- Problématique et objectif du travail : une mesure non biaisée
- Métamodélisation
 - Méthode
 - Premiers résultats
- Questions et conclusion

Démarche de métamodélisation



Échantillonnage de l'espace des paramètres d'entrée

- Réécriture de l'intégrale

- Adimensionnement des longueurs

- Rayon de la source R exprimée en distance moyenne de transfert par splash Λ
 - Distance radiale l exprimée en fonction du rayon de la source R
 - Longueur a ($\leftrightarrow$ rayon de l'arc AA') exprimé en fonction du rayon de la source R

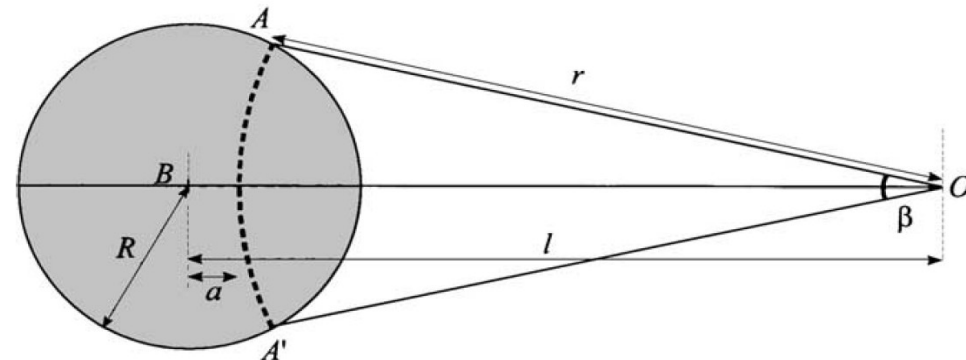
$$\bar{R} = R / \Lambda$$

$$L = l / R$$

$$y = a / R$$

- Cet adimensionnement facilite

- la définition des distributions des paramètres d'entrée
 - le calcul de l'intégrale



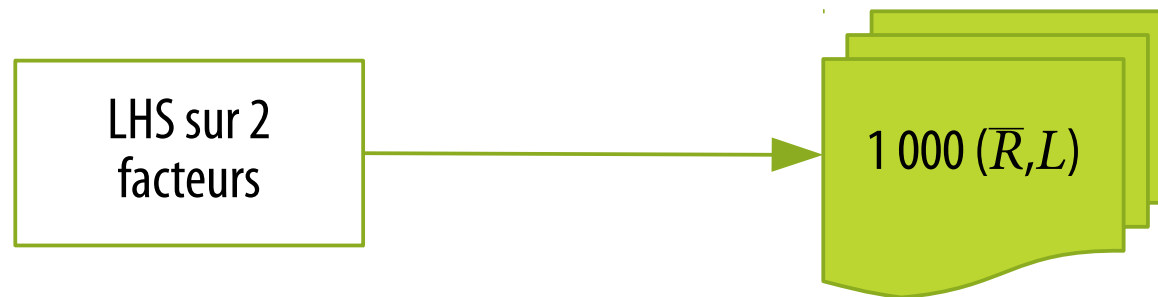
Échantillonnage de l'espace des paramètres d'entrée

- Identification et distribution des paramètres d'entrée
 - Paramètres de l'intégration
 - dy : le pas $\rightarrow dy=1/1000$
 - y : le domaine $\rightarrow y$ varie entre -1 et 1 (de $-R$ à R)
 - Paramètres d'entrée s.s.
 - μ : m_{cup} est proportionnel à μ $\rightarrow$ pas pris en compte dans l'analyse
 - L : distance radiale adimensionnée $\rightarrow L \sim U[1,20]$
 - Par construction $l > R$ et donc $L > 1$
 - Possibilité recueillir du matériel splashé à une distance radiale $l=20R$
 - $\bar{R}$: rayon de la source adimensionné $\rightarrow \bar{R} \sim U[0.12,10]$
 - $\bar{R} < 0.12$: source trop petite pour recueillir une masse suffisante (R trop petit par rapport à Λ)
 - $\bar{R} > 10$: masse splashée retombe sur la source (R trop grand par rapport à Λ)

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

Échantillonnage de l'espace des paramètres d'entrée

- Caractéristiques de l'échantillonnage
 - Hypercubes latins
 - Bonne couverture de l'espace des variables d'entrée
 - 1 000 tirages
 - Calcul intégrale rapide



- Calcul numérique de la partie variable de l'intégrale *Betaexp*
 - Intégration par partie

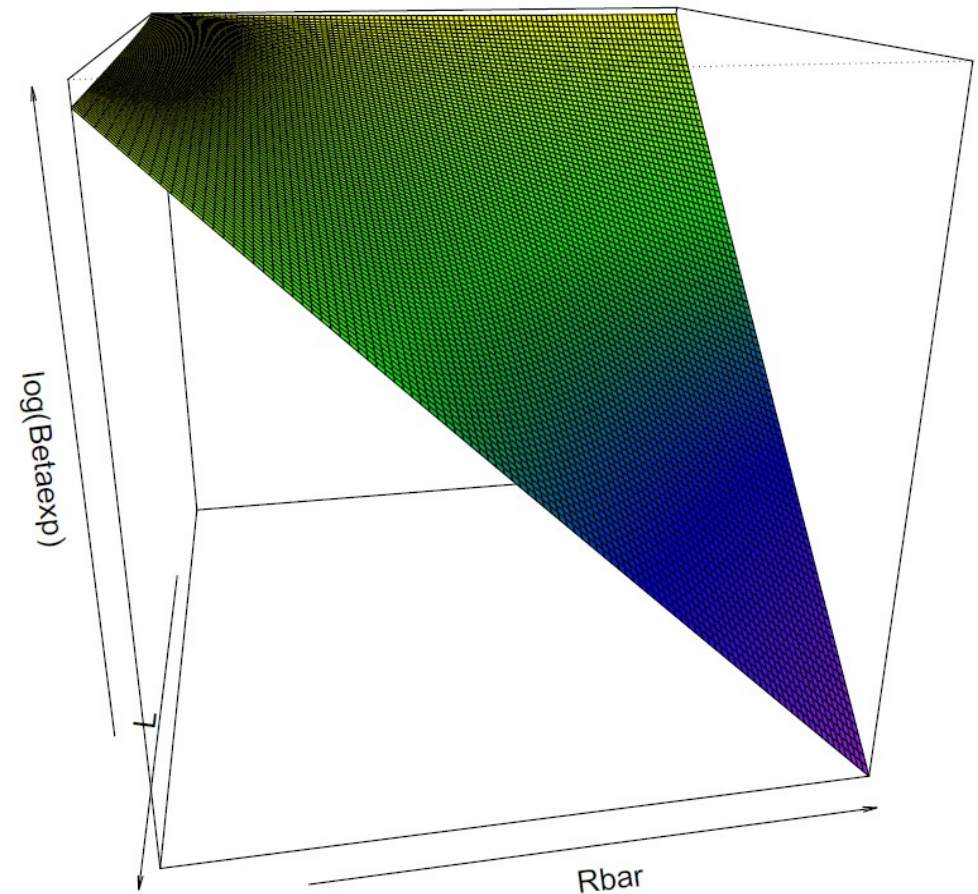
Betaexp

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



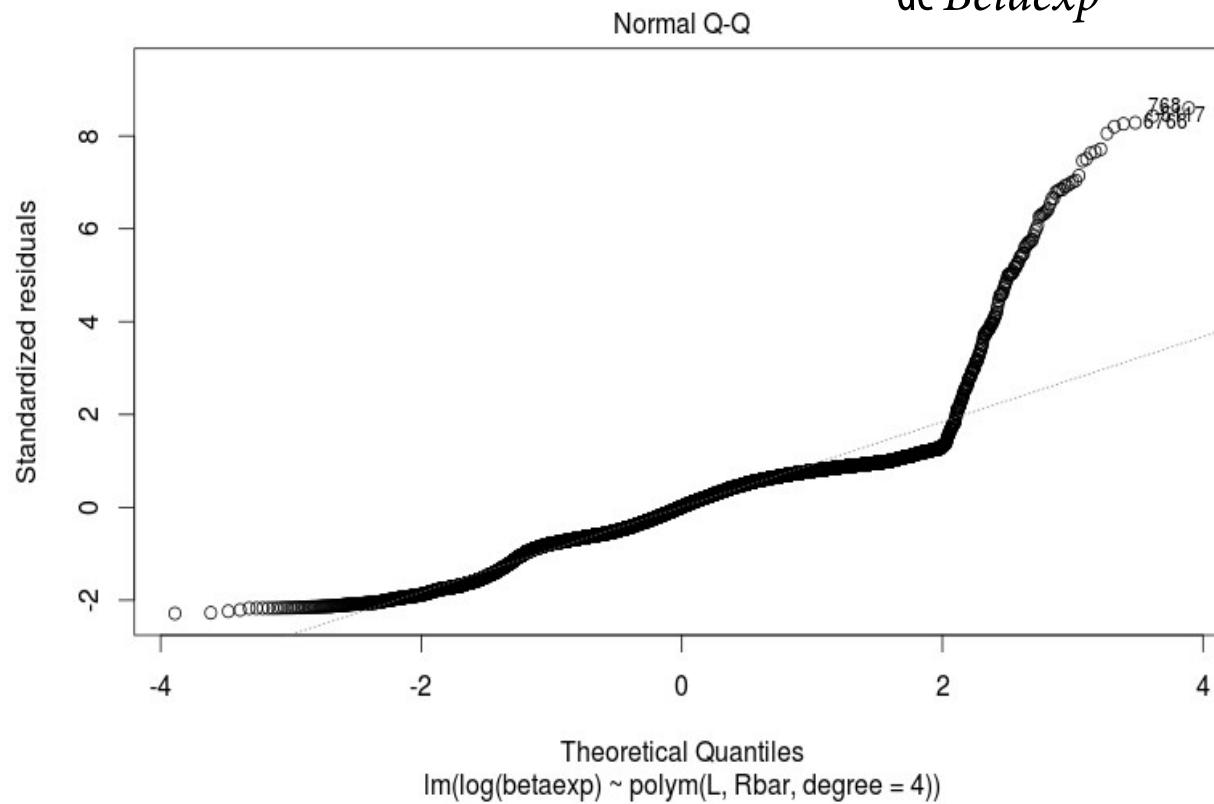
Métamodélisation

- 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



Métamodélisation : premiers essais en régression

- Formes testées :
 - Polynômes (polym) de degré 4 :
 - Régressions multiples avec interactions
 - Variables simples ou inversées ($1/L$ et $1/\bar{R}$)
- 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 $Beta_{exp}$



Questions sur la métamodélisation

- Lien entre L et $\bar{R}$ et effet sur la régression ?

$$L = l/R \qquad \bar{R} = R/\Lambda$$

- Stratégie pour finaliser
 - Se contenter d'un métamodèle bon dans certaines régions ?
 - Définir ces régions
 - Pour des L et $\bar{R}$ petits : métamodèle moins bon
 - D'un point vue expérimental, pas d'ajustement
 - pour des distances radiales trop proches de la source de la source
 - pour des distances de transfert par splash trop grandes au regard de la taille de la source
 - Seuil pour définir « bon » métamodèle ? Associer des erreurs ?
 - Chercher le métamodèle idéal ?

Conclusion

- De l'intérêt de la réécriture du modèle et de l'adimensionnement
 - Simplification de l'expression des distributions des paramètres d'entrée
 - Forme générale de la surface à décrire plus simple
 - Simplification du calcul de l'intégrale
- De la frustration de ne pas être capable de donner une équation pour une surface qui paraît pourtant si simple à modéliser

