

# ➤ Essais de représentation cartographique de l'incertitude pour les utilisateurs de cartographies des sols par modélisation statistique

Thomas Loiseau<sup>1</sup>, Anne Richer-de-Forges<sup>1</sup>, Pierre Roudier<sup>2</sup>, Christophe Ducommun<sup>3</sup>, Songchao Chen<sup>1</sup>, Philippe Lagacherie<sup>4</sup>, Dominique Arrouays<sup>1</sup>

- 1) INRAE, InfoSol, 45075, Orléans, France.
- 2) Manaaki Whenua - Landcare Research, Palmerston North, Nouvelle-Zélande.
- 3) Institut Agro, Agrocampus-Ouest, Angers, France.
- 4) LISAH, University Montpellier, INRAE, IRD, Institut Agro, Montpellier 34060, France.

# Notion d'incertitude en cartographie



**INRAE**

Essais de représentation de l'incertitude  
9 avril 2021 / Webinaire IGCS 2021 / Thomas Loiseau

# Notion d'incertitude en cartographie

- Principe général de la cartographie des sols par modélisation statistique (CSMS, McBratney et al., 2003; Lagacherie et al., 2013).

$$S = f(S, C, O, R, P, A, N)$$

Propriété de sol

**Données environnementales d'entrée :**  
(Propriétés de sol connues, climat, influences biotiques, relief, lithologie, temps, la position géographique)

# Notion d'incertitude en cartographie

- Principe général de la cartographie des sols par modélisation statistique (CSMS, McBratney et al., 2003; Lagacherie et al., 2013).

$$S = f(S, C, O, R, P, A, N) + \varepsilon$$

Propriété de sol

Erreur du modèle

## Données environnementales d'entrée :

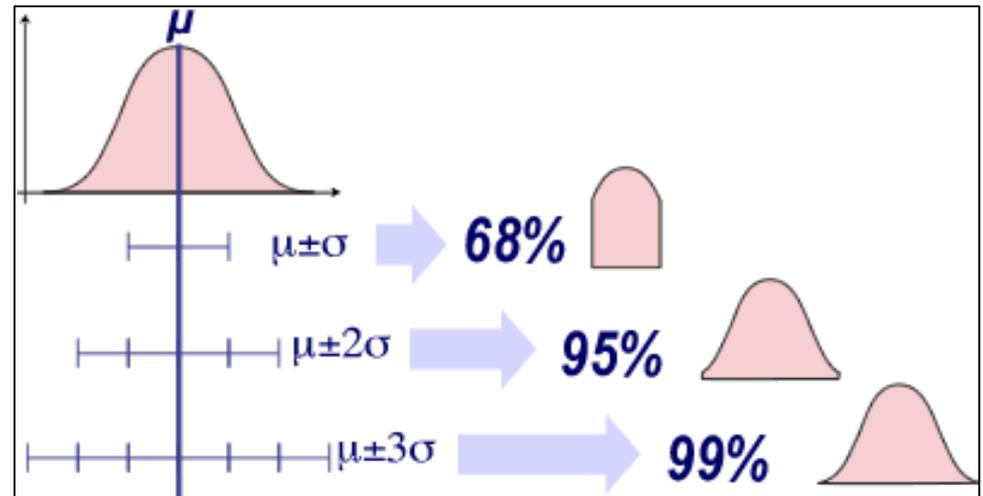
(Propriétés de sol connues, climat, influences biotiques, relief, lithologie, temps, la position géographique)

- Incertitude en cartographie numérique des sols : variabilité « non prédictible ».

# Notion d'incertitude en cartographie

Comment représenter / communiquer l'incertitude ?

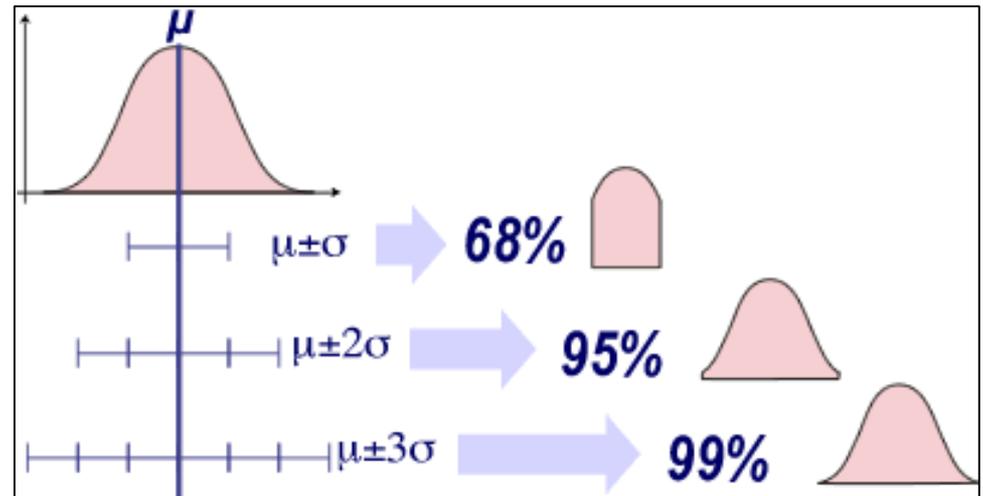
- En CSMS, généralement avec un intervalle de confiance (IC) à 90% à partir de  $n$  répétitions du modèle.



# Notion d'incertitude en cartographie

Comment représenter / communiquer l'incertitude ?

- En CSMS, généralement avec un intervalle de confiance (IC) à 90% à partir de  $n$  répétitions du modèle.
- Complété avec des indicateurs de performance (Erreur moyenne,  $R^2$ , RMSE...).

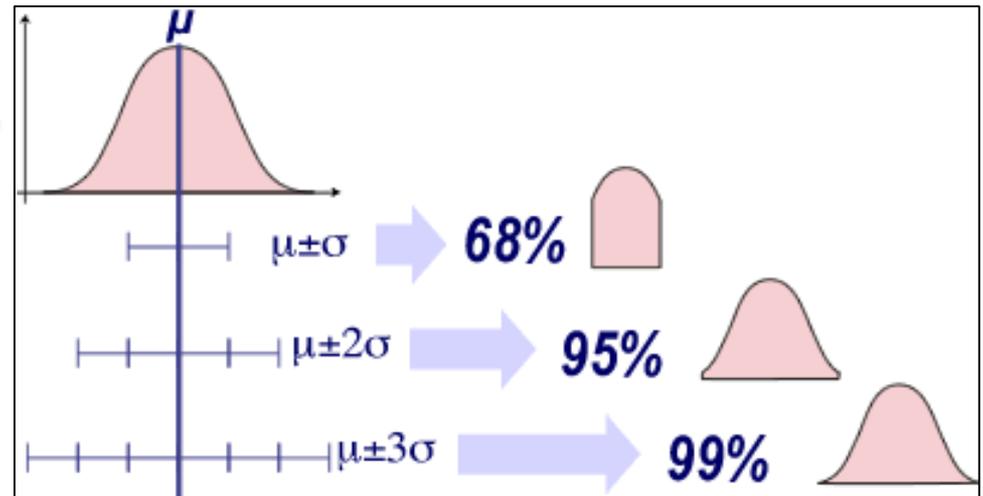


# Notion d'incertitude en cartographie

Comment représenter / communiquer l'incertitude ?

- En CSMS, généralement avec un intervalle de confiance (IC) à 90% à partir de  $n$  répétitions du modèle.
- Complété avec des indicateurs de performance (Erreur moyenne,  $R^2$ , RMSE...).

La rendre plus visuelle et compréhensible



# Notion d'incertitude en cartographie

## Avantage de la CSMS:

- Possibilité de hiérarchiser et de quantifier les facteurs de contrôle de la distribution des propriétés/classes de sol.
- Possibilité de produire des ***cartes d'estimations des incertitudes associées aux prédictions.***

# Notion d'incertitude en cartographie

## Avantage de la CSMS:

- Possibilité de hiérarchiser et de quantifier les facteurs de contrôle de la distribution des propriétés/classes de sol.
- Possibilité de produire des ***cartes d'estimations des incertitudes associées aux prédictions.***

## Cartographie de l'incertitude :

- 1) Renseigner l'utilisateur sur la fiabilité des données prédites.
- 2) Permettre la prise en compte de ces incertitudes au sein des modèles utilisant des données de sol en entrée.
- 3) Visualiser les zones les plus imprécises qui justifieraient l'acquisition de données complémentaires.

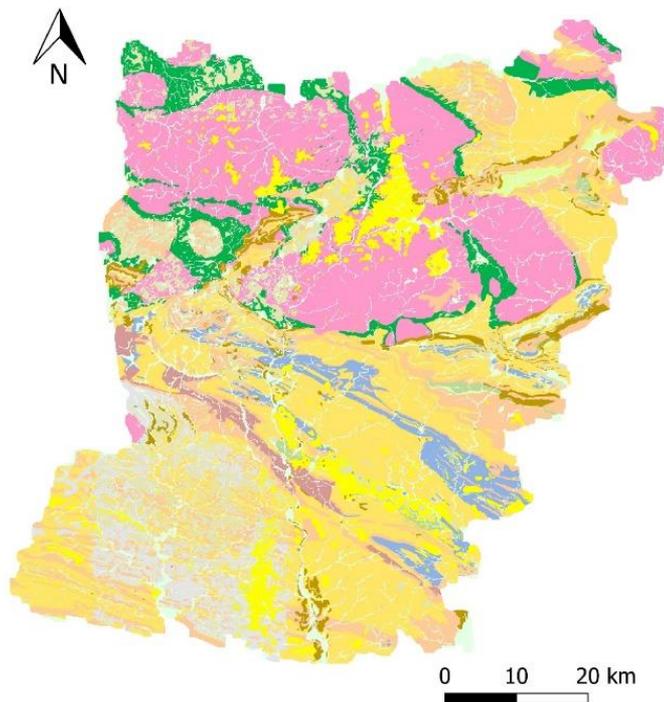
# Terrain d'étude



# Terrain d'étude

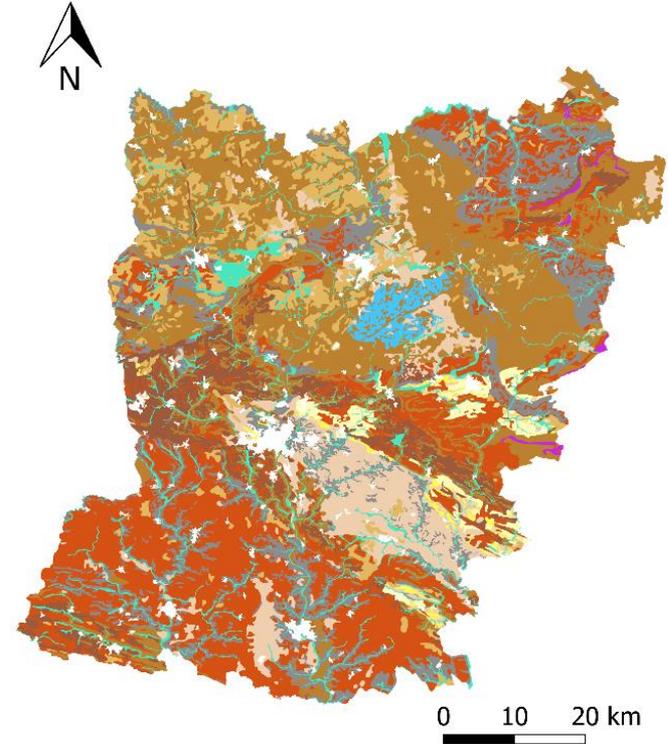
Département de la Mayenne :

- Département de taille « moyenne » (>5000km<sup>2</sup>), avec un RRP labélisé, dans un contexte géologique métamorphique – sédimentaire.



<b>Residual rocks</b>	<b>Sedimentary rocks</b>	<b>Metamorphic rocks</b>
Alluvial deposits	Claystones	Hornfels
Loam	Silt	Shales
Alterites	Sand	<b>Magmatic rocks</b>
	Conglomerate rocks	Tuffs
	Limestones	Granitoids
	Sandstones	

Loiseau et al., 2020



**Soil Type WRB 2006:**

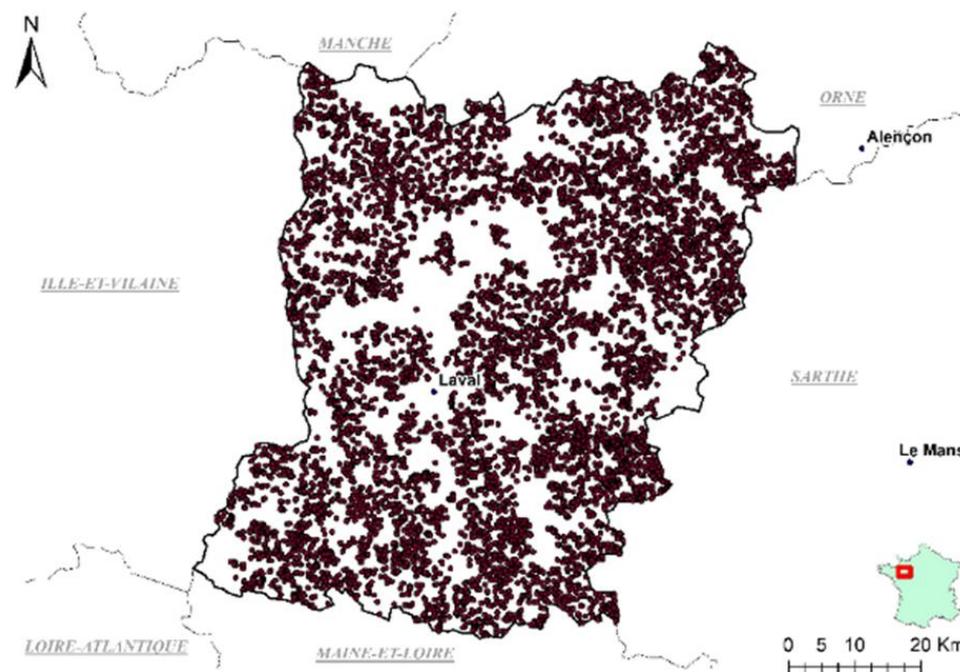
Umbric Leptosols	Eutric Cambisols	Stagnosols
Fluvisols	Stagnic Cambisols	Stagnic Cambisols
Rendzic Leptosols	Haplic Luvisols	Haplic Albeluvisols
Calcaric Cambisols	Albic Podzols	

Loiseau et al., 2020

# Terrain d'étude

Département de la Mayenne :

- Département de taille « moyenne » (>5000km<sup>2</sup>), avec un RRP labélisé, dans un contexte géologique métamorphique – sédimentaire.
- L'une des densités d'observation pédologique les plus importantes de France (Ici 8200 sondages).



INRAE

Essais de représentation de l'incertitude  
9 avril 2021 / Webinaire IGCS 2021 / Thomas Loiseau

# Terrain d'étude

Département de la Mayenne :

- Département de taille « moyenne » (>5000km<sup>2</sup>), avec un RRP labélisé, dans un contexte géologique métamorphique – sédimentaire.
- L'une des densités d'observation pédologique les plus importantes de France (Ici 8200 sondages).
- Présente l'avantage d'avoir un large catalogue d'information environnementale spatialisée (relevé topo, occupation des sols, carte lithologique, données issues de la télédétection...)

# Terrain d'étude

Département de la Mayenne :

- Département de taille « moyenne » (>5000km<sup>2</sup>), avec un RRP labélisé, dans un contexte géologique métamorphique – sédimentaire.
- L'une des densités d'observation pédologique les plus importantes de France (Ici 8200 sondages).
- Présente l'avantage d'avoir un large catalogue d'information environnementale spatialisée (relevé topo, occupation des sols, carte lithologique, données issues de la télédétection...)

Propriétés sélectionnées : argile, limon  
et sable de surface (0-30 cm)

# Essais de représentation



**INRAE**

Essais de représentation de l'incertitude  
9 avril 2021 / Webinaire IGCS 2021 / Thomas Loiseau

# Essais de représentation

Représentation classique IC 90% :

- Comparer de manière cartographique les zones les plus variables au sein d'une étendue géographique.
- 3 scénarios possibles :

Valeur prédite la plus faible

Quantile 5%

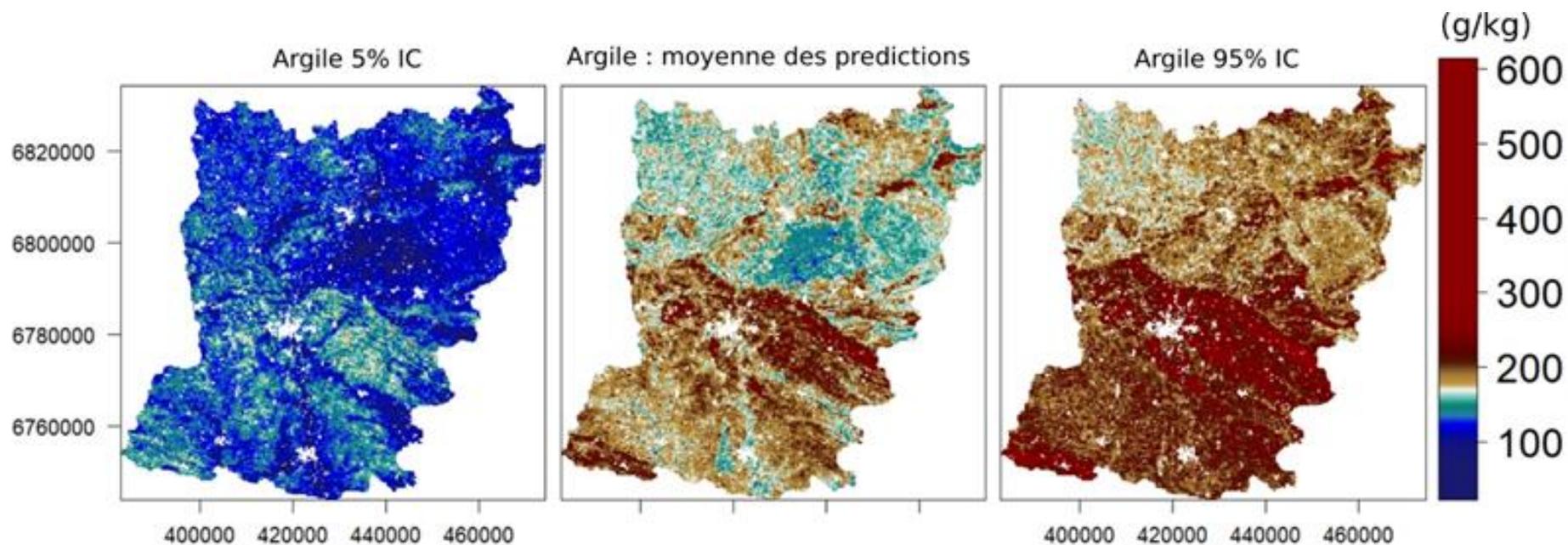
Valeur prédite la plus forte

Quantile 95%

Valeur prédite moyenne ou médiane

# Essais de représentation

Représentation classique IC 90% :



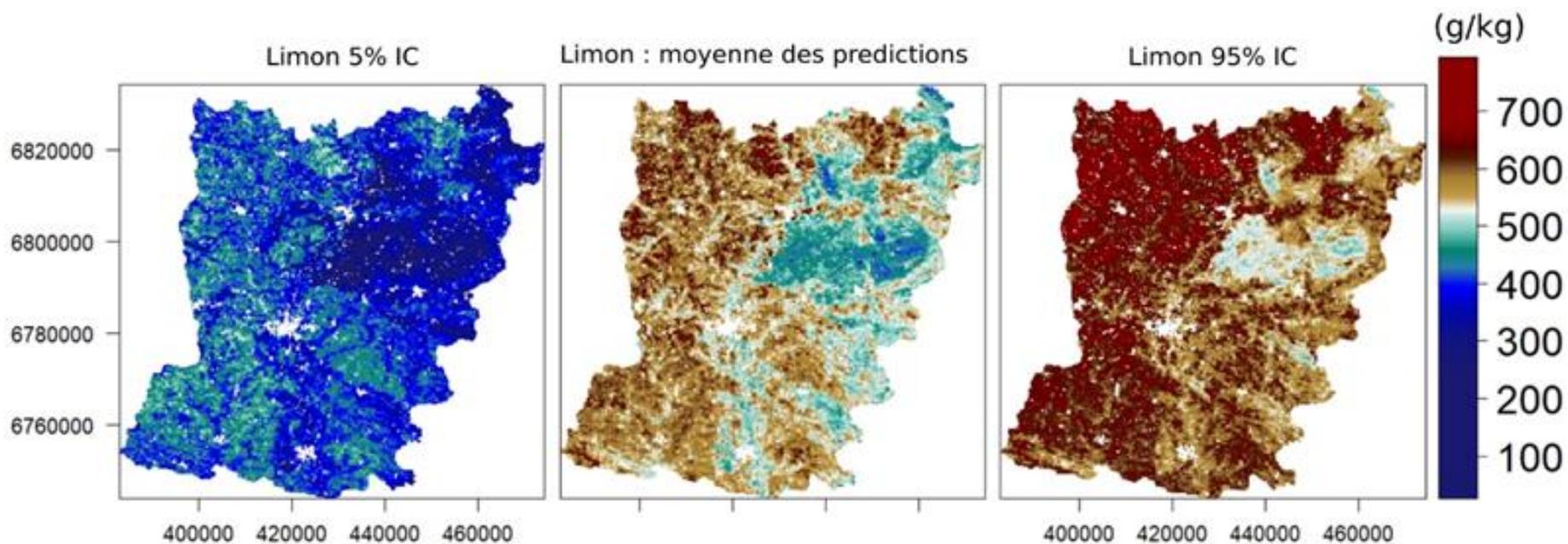
Loiseau et al., 2020



INRAE

# Essais de représentation

Représentation classique IC 90% :



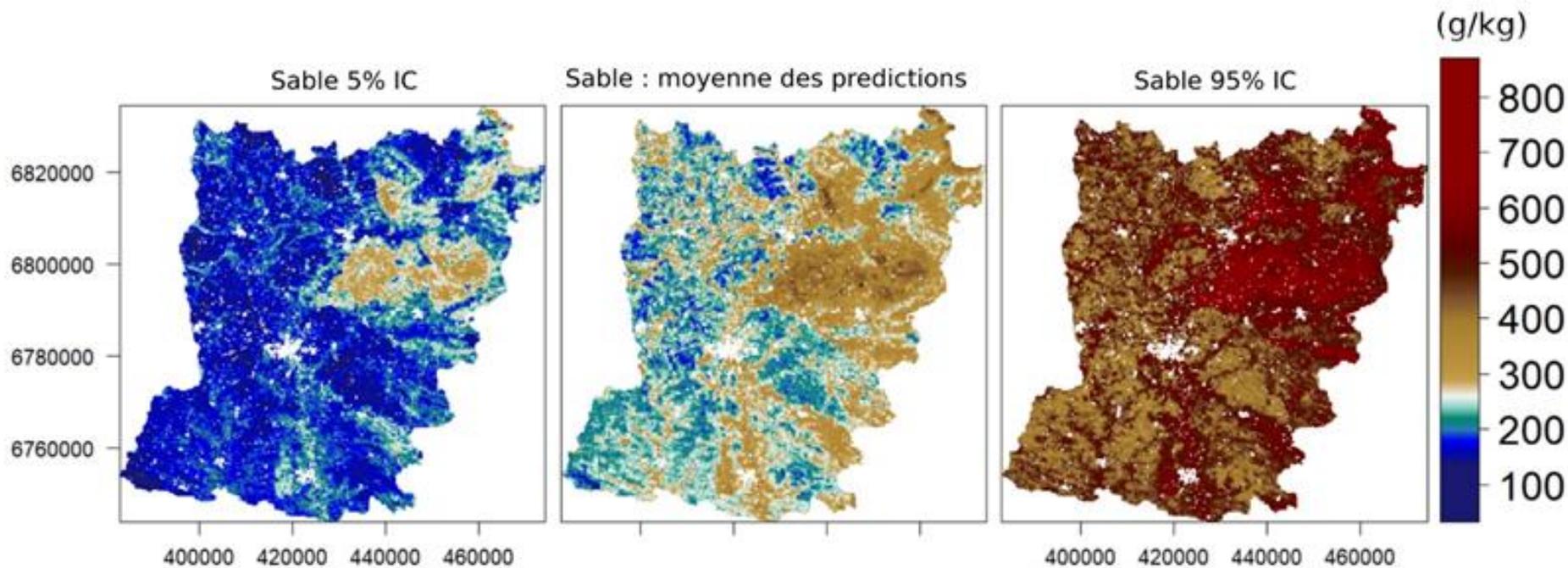
Loiseau et al., 2020



INRAE

# Essais de représentation

Représentation classique IC 90% :



Loiseau et al., 2020

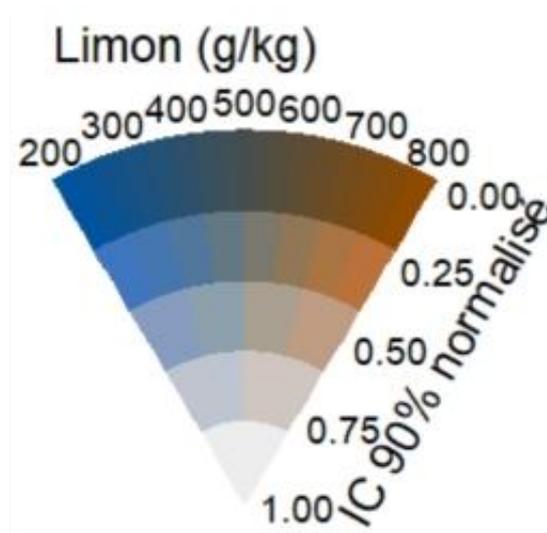


INRAE

# Essais de représentation

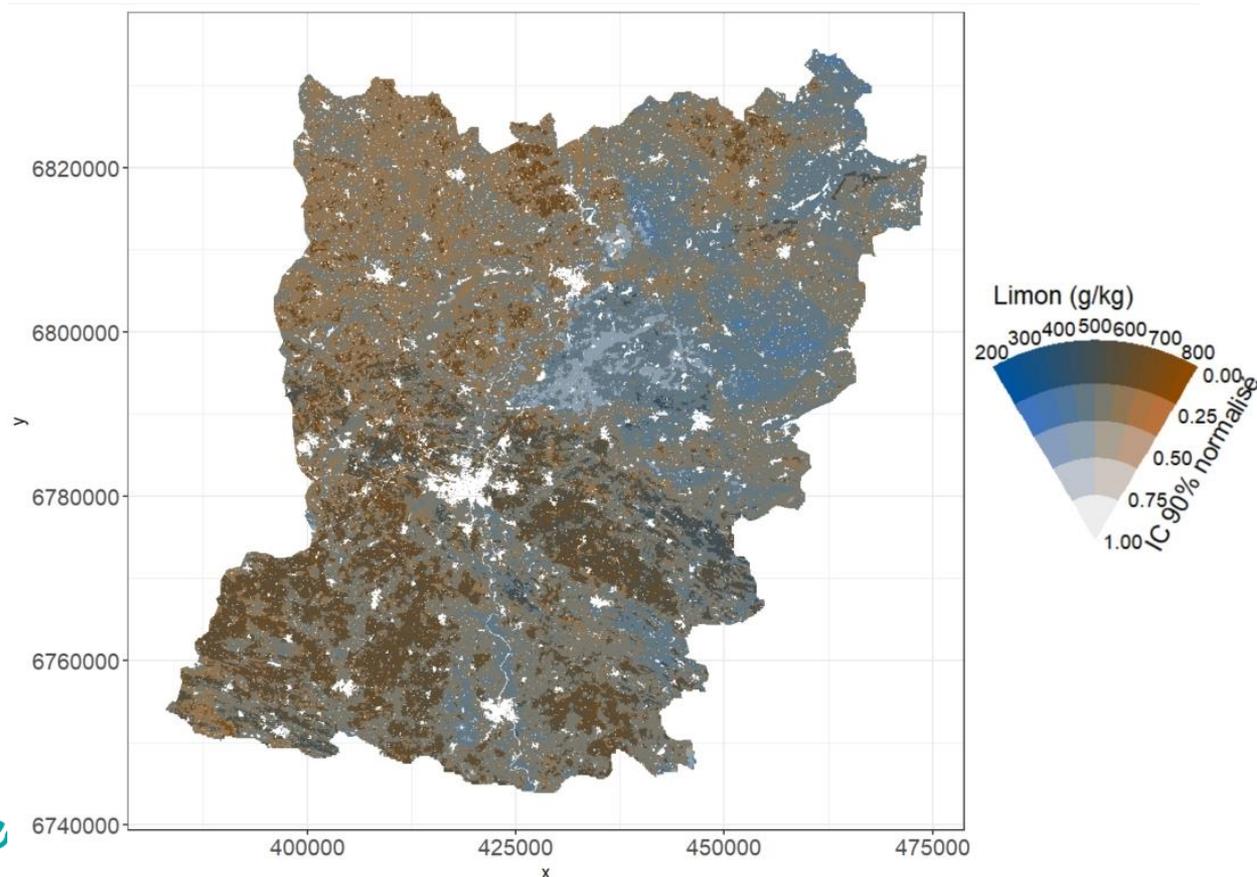
## Nuances de symbologie :

- Teinte de représentation de la valeur prédite en fonction du niveau d'incertitude de l'estimation (Correl et al., 2018).
- Rampe de couleur multivariée : ***plus la couleur est terne, plus la variabilité d'estimation du modèle est importante.***



Nuances de symbologie :

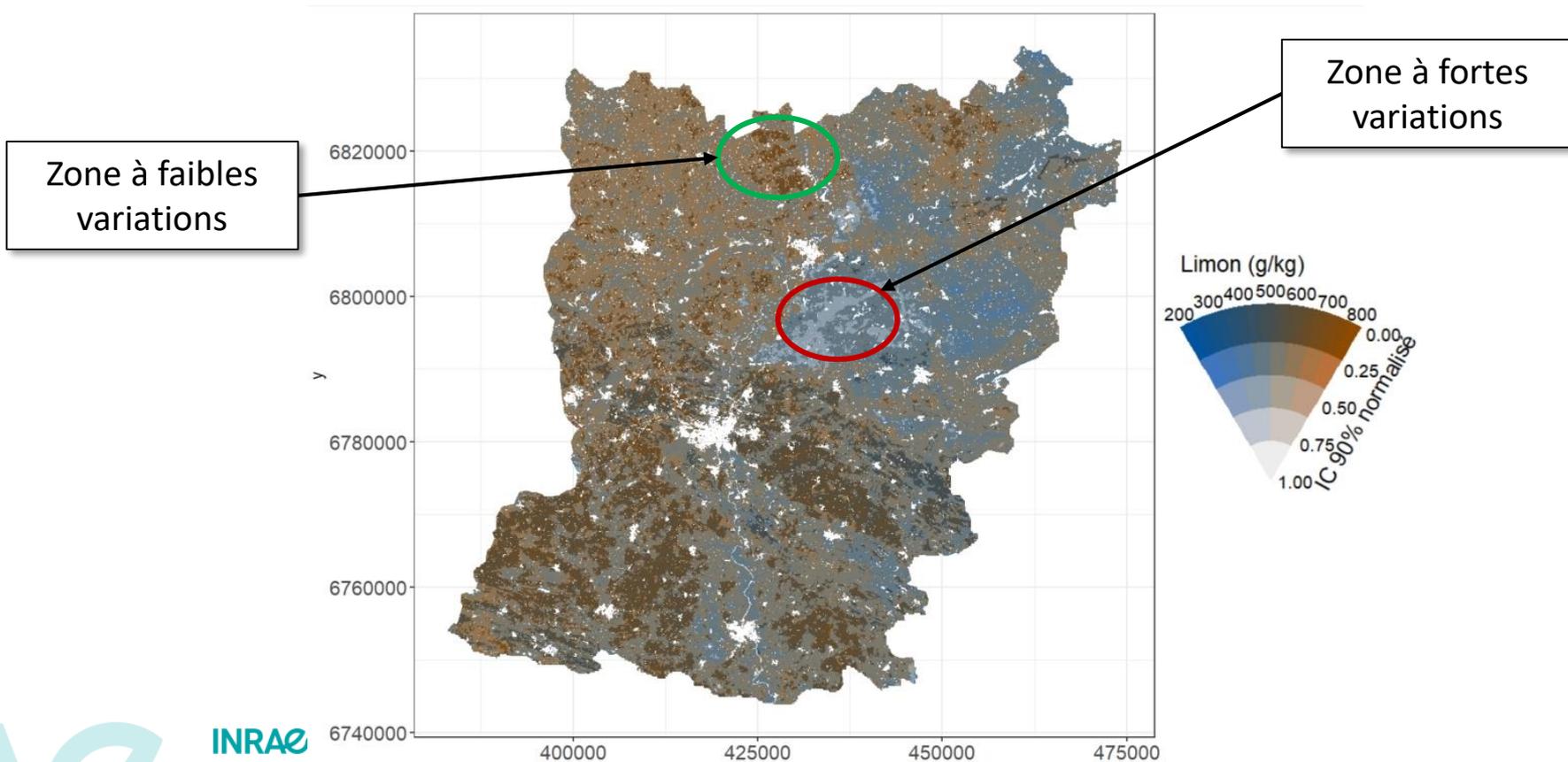
Représentation de la teneur en limon de surface  
sur le département de la Mayenne.



# Essais de représentation

Nuances de symbologie :

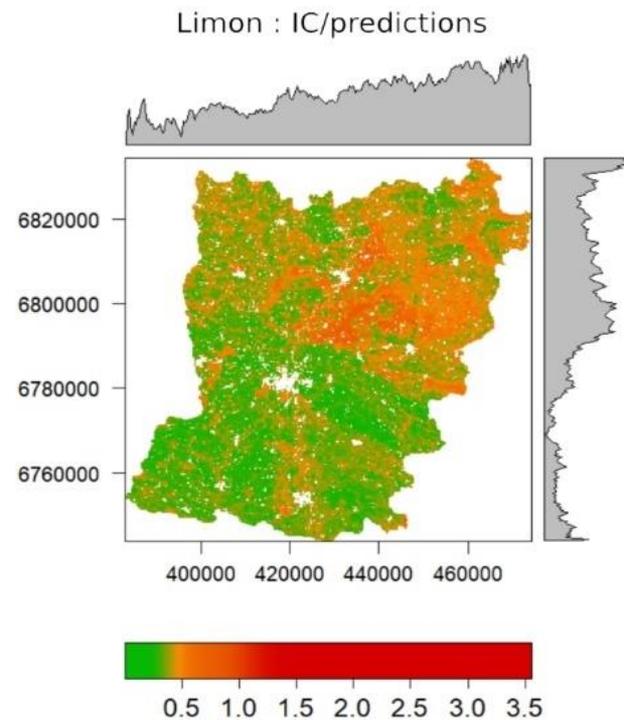
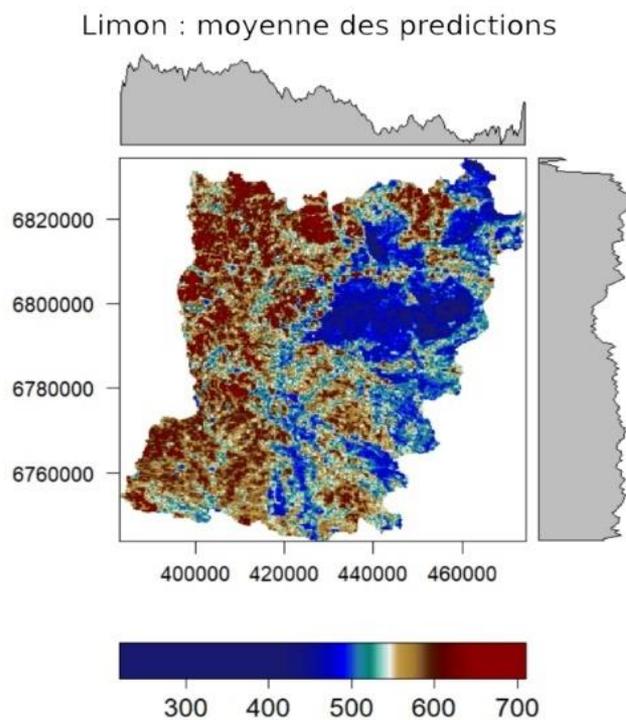
Représentation de la teneur en limon de surface  
sur le département de la Mayenne.



# Essais de représentation

## Incertitude relative :

- Un rapport est appliqué sur la cartographie de l'incertitude pour observer les structures à fortes variations.



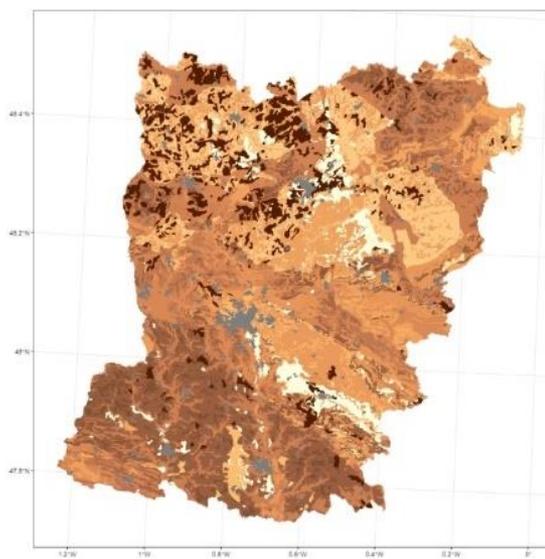
Comparaison avec une référence :

- Représentation de la prédiction moyenne du modèle avec une carte de l'incertitude globale.
- Comparaison avec une représentation des valeurs modales des strates de surface du RRP au 1 : 250 000.
- Observer les différences de structures dans l'espace de la variable de sol étudiée.

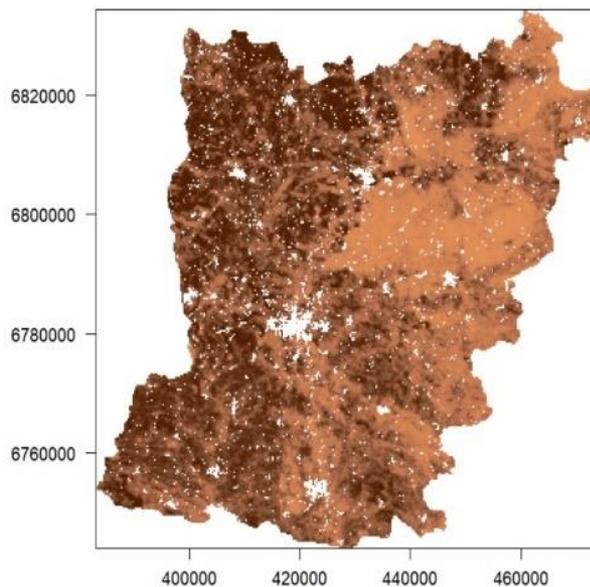
# Essais de représentation

Comparaison avec une référence :

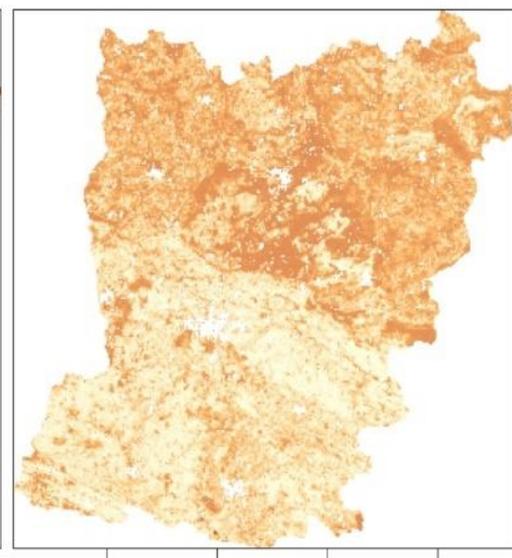
Référentiel régional pédologique Limon  
1 : 250 000



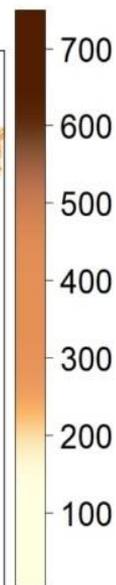
Limon : moyenne des prédictions



Limon 90% IC



(g/kg)



# Perspectives et conclusions

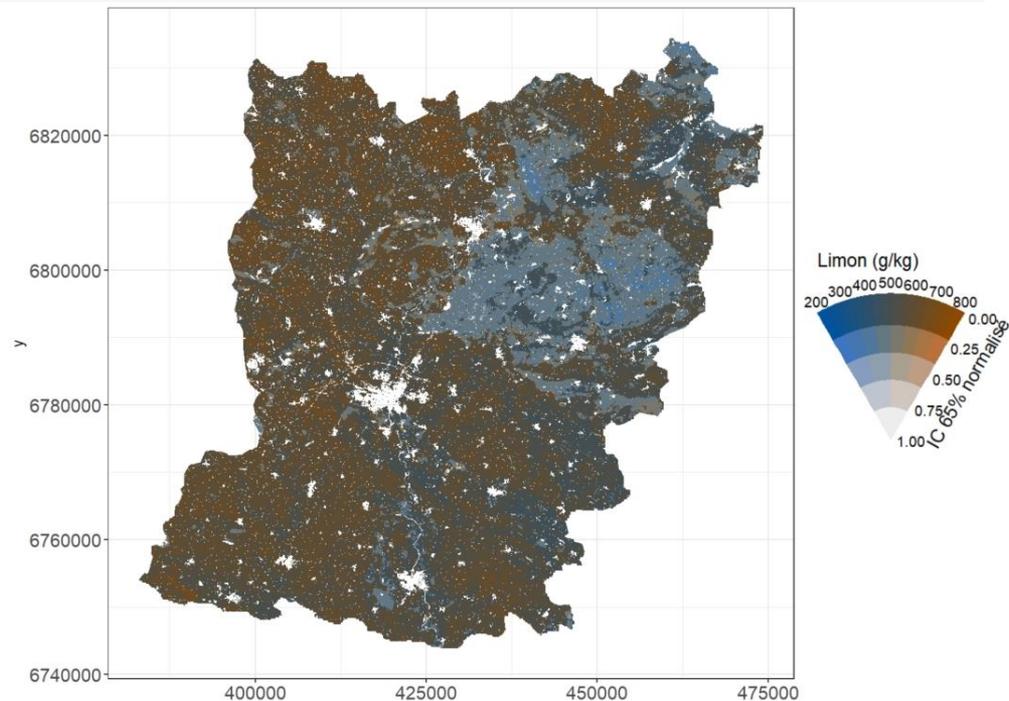


# Perspectives et conclusions

## Retours d'expérience :

- Un intervalle de confiance inférieur à 90% pourrait être plus pertinent.

Représentation de la teneur en limon de surface sur le département de la Mayenne (IC 65%).



# Perspectives et conclusions

## Retours d'expérience :

- Un intervalle de confiance inférieur à 90% pourrait être plus pertinent.
- Le rapport IC / prédiction peut être amélioré sous la forme d'une classification sur un degré d'incertitude (faible, modéré, forte...).

## Retours d'expérience :

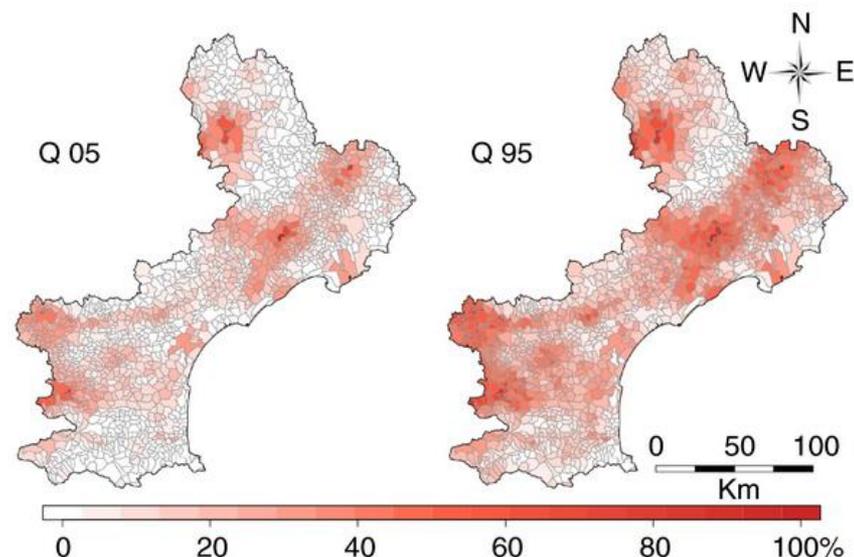
- Un intervalle de confiance inférieur à 90% pourrait être plus pertinent.
- Le rapport IC / prédiction peut être amélioré sous la forme d'une classification sur un degré d'incertitude (faible, modéré, forte...).
- Obtention d'une fonction de distribution par pixel pour une meilleure représentation de la variabilité pour des unités fonctionnelle et décisionnelle (Vaysse et al., 2017).

# Perspectives et conclusions

## Retours d'expérience :

- Un intervalle de confiance inférieur à 90% pourrait être plus pertinent.
- Le rapport IC / prédiction peut être amélioré sous la forme d'une classification sur un degré d'incertitude (faible, modéré, forte...).
- Obtention d'une fonction de distribution par pixel pour une meilleure représentation de la variabilité pour des unités fonctionnelle et décisionnelle (Vaysse et al., 2017).

Exemple de représentation de la probabilité de présence de sols « gonflants » par municipalité.



# Perspectives et conclusions

## Retours d'expérience :

- Un intervalle de confiance inférieur à 90% pourrait être plus pertinent.
- Le rapport IC / prédiction peut être amélioré sous la forme d'une classification sur un degré d'incertitude (faible, modéré, forte...).
- Obtention d'une fonction de distribution par pixel pour une meilleure représentation de la variabilité pour des unités fonctionnelle et décisionnelle (Vaysse et al., 2017).

*Fonction des besoins des utilisateurs  
et des usages.*





**Merci pour votre attention**

- Correl M., Moritz D., Heer J., 2018 - Value-Suppressing Uncertainty Palettes. CHI 2018, April 21-26, 2018, Montreal, QC, Canada.
- Lagacherie P., Arrouays D., Walter C., 2013 - Cartographie numérique des sols : principes, mise en œuvre, potentialités. Etude et Gestion des Sols, 20(1), 83 – 98.
- Loiseau T., Richer-de-Forges A.C., Roudier P. , Ducommun C., Chen S., Lagacherie P et Arrouays D., 2020 - Essais de représentation cartographique de l'incertitude pour les utilisateurs de cartographies des sols par modélisation statistique, Etude et Gestion des Sols, 27, 257-275.
- McBratney A.B., Mendonca Santos M.dL., Minasny B., 2003 - On digital soil mapping. Geoderma, 117, pp. 3-52.
- Vaysse K., Lagacherie P., 2017 - Using quantile regression forest to estimate uncertainty of digital soil mapping products. Geoderma, 291, 55-64.