



# Une démarche de cartographie des sols en Occitanie basée sur la valorisation de données pédologiques anciennes par des outils d'intelligence artificielle

**Philippe Lagacherie, INRAE, LISAH Montpellier**





## Éléments de contexte

- Forte demande actuelle de connaissance spatiale sur les sols pour l'aide à la décision (artificialisation des sols, ressources en eau, transition agro-écologique)
- Cartes régionales des sols encore trop imprécises pour l'aide à la décision aux échelles pertinentes (communes, communautés de communes, bassins versants,...)
- Un historique très riche de collecte de données sur les sols dans la région qui reste inexploité ( BRL, CACG, AC34,...)
- Une profusion de données spatiales sur des éléments de paysage en relation avec les sols
- Un renouvellement des approches de cartographie des sols apporté par la recherche: Digital Soil Mapping (DSM)- Cartographie des sols par Modélisation statistique (CSMS)



## Un objectif à moyen terme

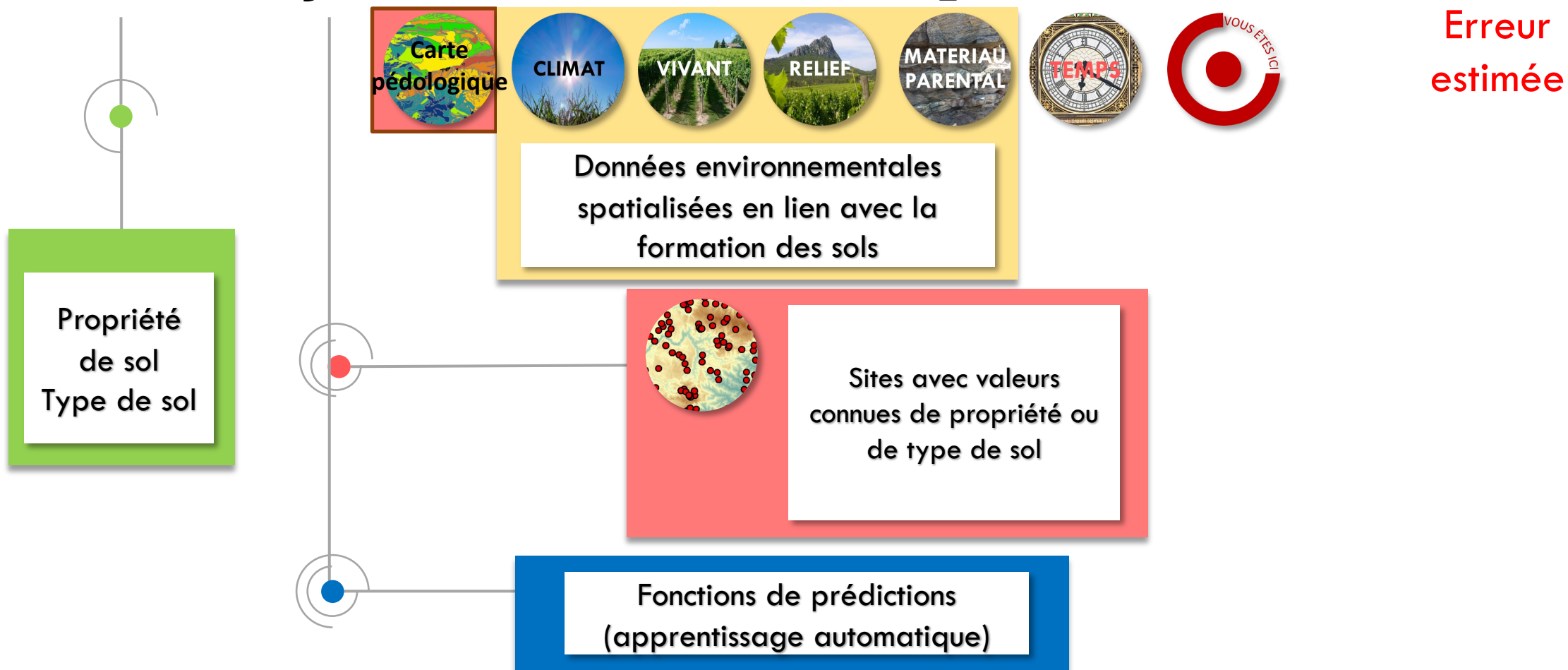
Mettre en place à l'échelle régionale un dispositif numérique de cartographie des sols dynamique permettant:

- La réalisation des meilleures cartes de sol possibles au vu des données disponibles à la date du jour
- L'intégration progressive et la valorisation de toutes les observations de sol réalisées dans le passé sur la région
- La réalisation de produits de cartographie des sols adaptée à chaque utilisation



## Cartographie des sols par modélisation statistique

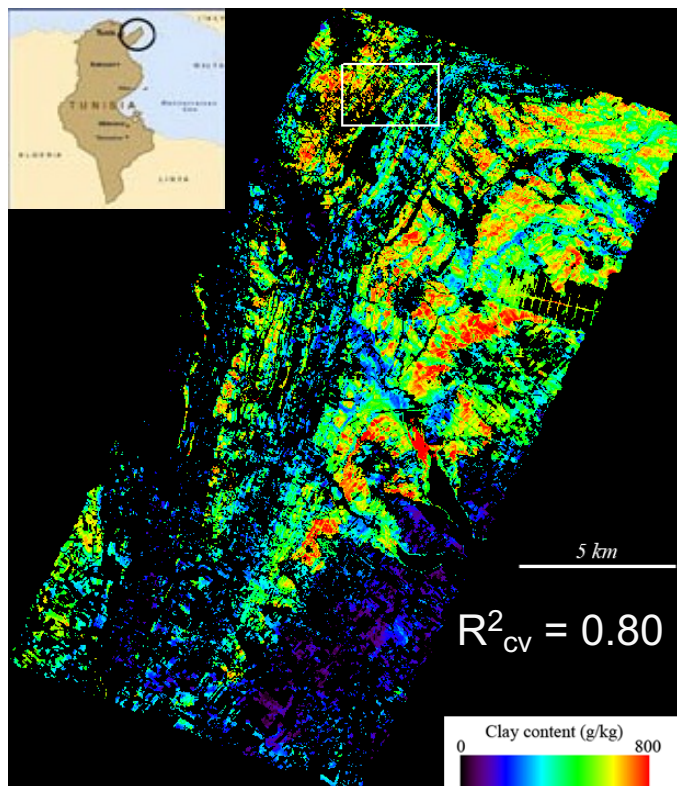
$$S = f(s, c, o, r, p, a, n) + \varepsilon$$





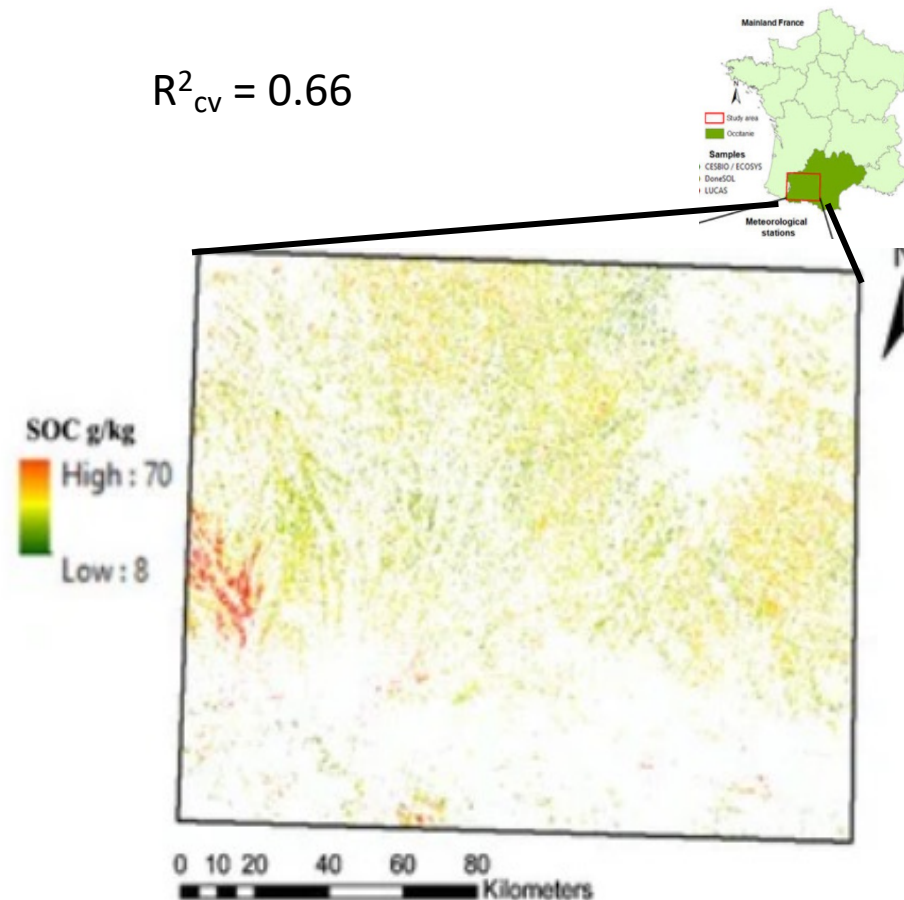


## Télédétection des propriétés de surface des sols



Télédétection du taux d'Argile à partir d'images hyperspectrales Vis-NIR aéroportées (Gomez et al, 2012)

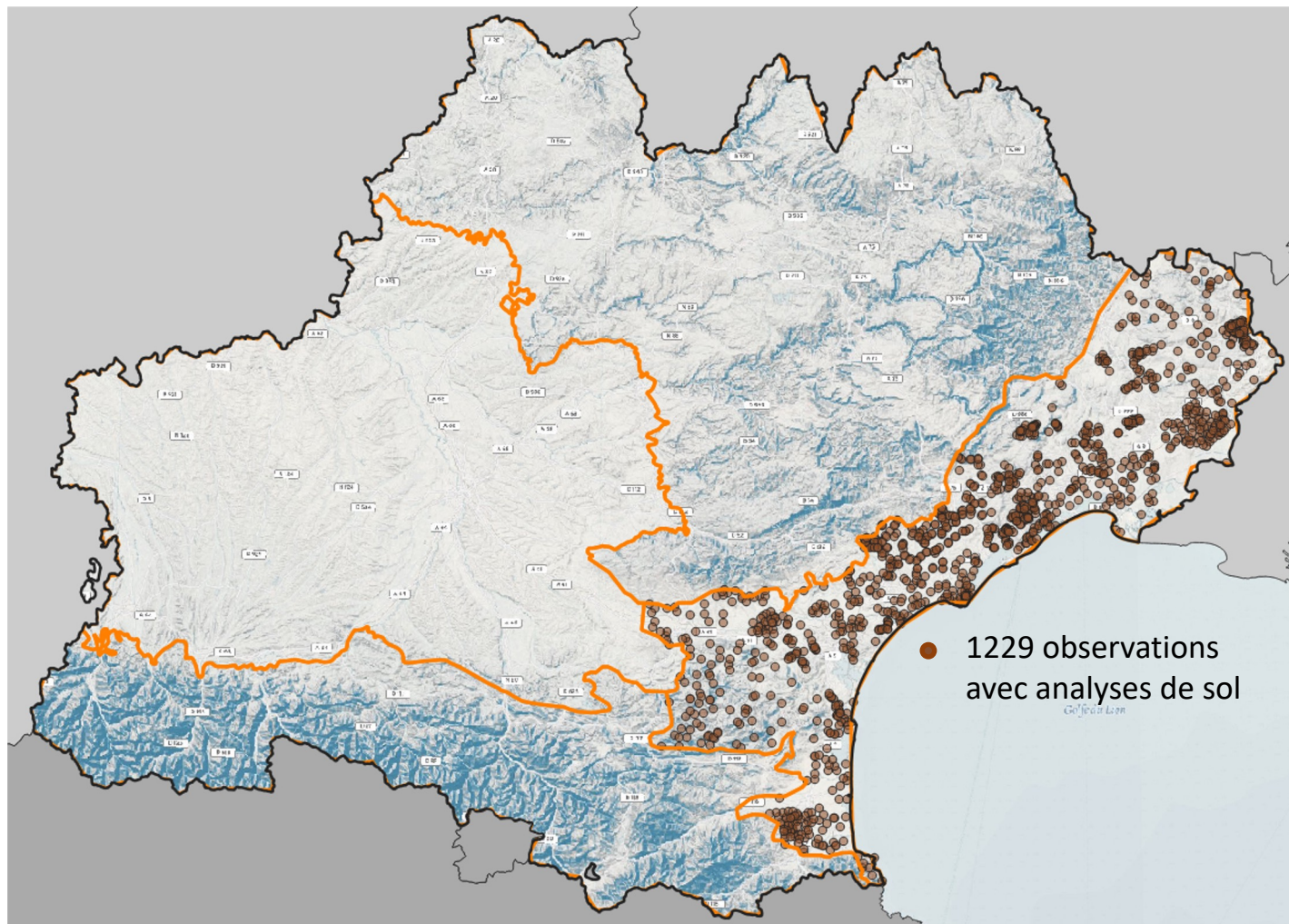
$$R^2_{cv} = 0.66$$



Télédétection du Carbone Organique à partir d'images satellites Sentinel 2 (Urbina Salazar et al, 2021)



# Application de la CSMS au zonage de l'indicateur de multi-fonctionnalité des sols



$$S = f(s, c, o, r, p, a, n)$$



➤ RRP Occitanie (1/250 000)



- MNT IGN 25 m et 75m et variables dérivées
- Images de télédétection (MODIS, Landsat)
- Carte géologique au 1/50 000



- Distances géographiques à des lignes remarquables ( ex...ligne de côte)
- Distances géographiques à 280 points particuliers répartis sur la zone d'étude

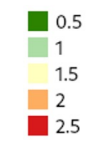
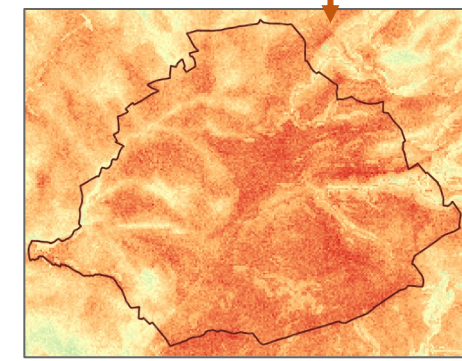
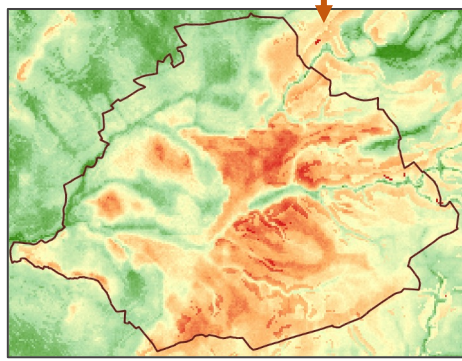
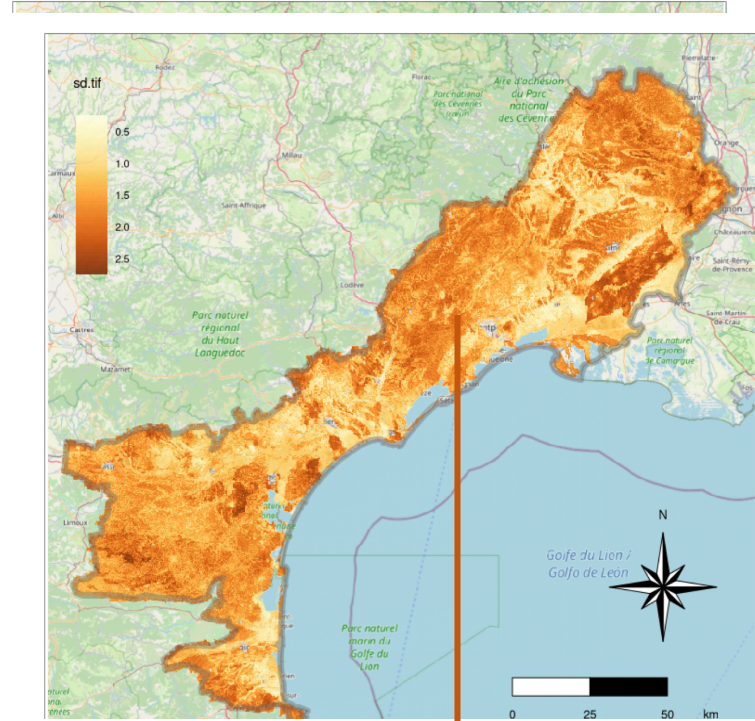
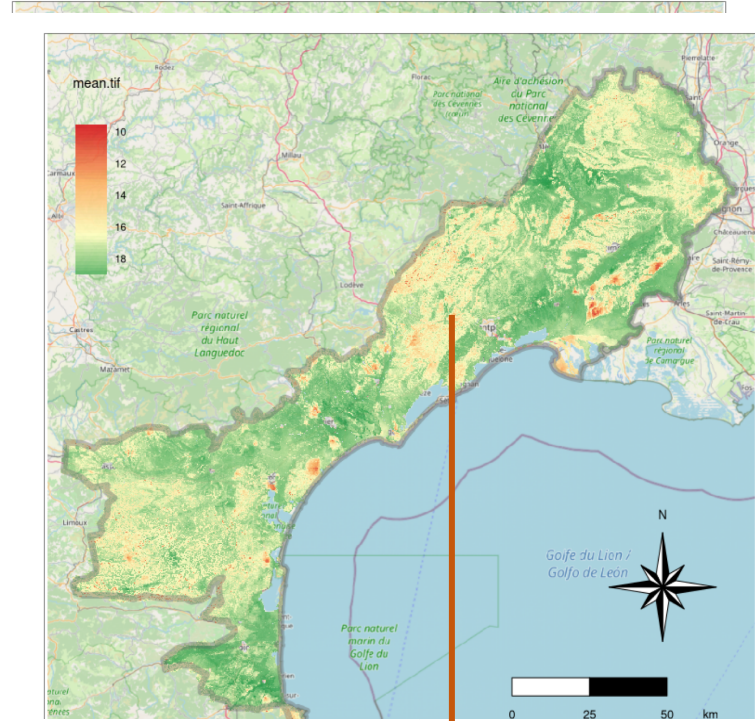




# Indice de multifonctionnalité des sols (zône côtière Occitanie)

Valeurs prédites

Niveaux d'incertitude



Meilleure résolution spatiale  
mais ...  
Fort niveaux d'incertitudes



## Un objectif à moyen terme

Mettre en place à l'échelle régionale un dispositif numérique de cartographie des sols dynamique permettant:

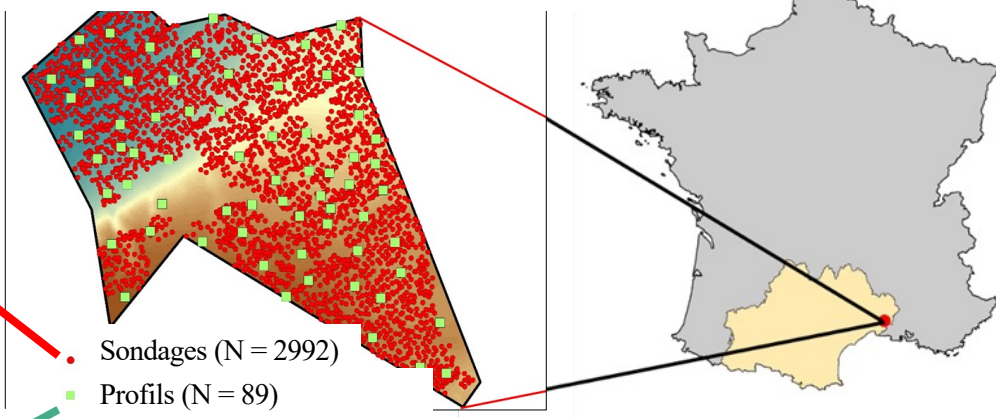
- La réalisation des meilleures cartes de sol possibles au vu des données disponibles à la date du jour
- L'intégration progressive et la valorisation de toutes les observations de sol réalisées dans le passé sur la région
- La réalisation de produits de cartographie des sols adaptée à chaque utilisation
- La participation des futurs utilisateurs à l'élaboration des cartes de sol



# Utilisation de données pédologiques anciennes pour améliorer la précision de cartes de réservoir utile du sol

| ÉTUDE PÉDOLOGIQUE DE DÉTAIL — FICHE DE SONDAGE OU TRANCHÉE |        |    |    |    |         |         |      |     |      |                 |       |                          |                              |  |
|--|--------|----|----|----|---------|---------|------|-----|------|-----------------|-------|--------------------------|------------------------------|--|
| Date   | Coteur | P  | G  | TF | Tacture | Calculs |      |     |      |                 | Cotes | Comportement des racines | Observations complémentaires |  |
|  |        |    |    |    |         | Tail    | tail | pH  | Δe   | R <sub>10</sub> |       |                          |                              | CR Δe  |
| 1925   | Belgoy | 26 | 3  | 71 | 3       |         |      | 6,2 | 1,14 | 116             | 20,5  | 0,61                     |                              | Structure : continue et granuleuse fragile. Quelques galates (5 cm).           |
| 1937   | Belgoy | 45 | 21 | 34 | 0       |         |      | 6,3 | 0,54 | 123             | 12,4  | 0,37                     |                              | Gapen maigre très dur. Nombreux galates jusqu'à 10 cm. Très nombreux graviers. |

Données pédologiques anciennes  
CNABRL (1955-80)



Cifre  
BRL  
Exploitation  
Thèse Quentin Styc, 2020

● Sondages (N = 2992)  
■ Profils (N = 89)

| FICHE DE SOL          |  |
|-----------------------|--|
| CARACTÈRES GÉNÉRAUX   |  |
| OBSERVATION : ...     |  |
| DATE DE RÉCOLTE : ... |  |
| CARTES : ...          |  |
| COORDONNÉES : ...     |  |
| AUTRES : ...          |  |

| CARACTÉRISTIQUES PÉDOLOGIQUES |            |         |           |              |             |          |              |                                       |  |
|-------------------------------|------------|---------|-----------|--------------|-------------|----------|--------------|---------------------------------------|--|
| CARACTÈRES DU SOL EN PLACE    |            |         |           |              |             |          |              |                                       |  |
| Horizon                       | Profondeur | Texture | Structure | Stabilité    | Consistance | Moisture | Observations |                                       |  |
| 1                             | 0-10       | argile  | 2-0       | granuleuse   | molle       | ++       |              | Racines et nodules (surtout nodules). |  |
| 2                             | 10-25      | argile  | 0-2       | protubérante | très molle  | ++       |              | Racines et nodules (surtout nodules). |  |
| 3                             | 25-50      | argile  | 0-2       | protubérante | très molle  | ++       |              | Racines et nodules (surtout nodules). |  |

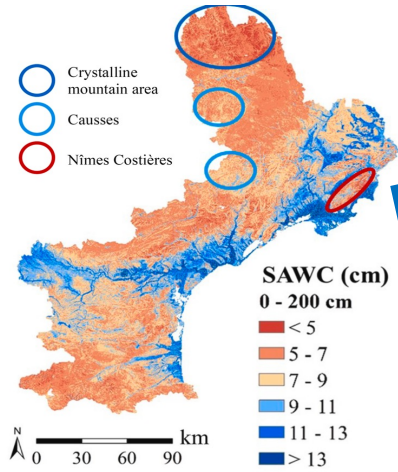
| ANALYSES  |            |     |      |     |      |      |    |    |    |    |
|---|------------|-----|------|-----|------|------|----|----|----|----|
| Analyse chimique - complexe cationique - terre des sols sableux |            |     |      |     |      |      |    |    |    |    |
| Horizon   | Profondeur | pH  | C    | N   | P    | K    | Ca | Mg | Na | Cl |
| 1   | 0-10       | 6,2 | 1,14 | 116 | 20,5 | 0,61 |    |    |    |    |
| 2   | 10-25      | 6,3 | 0,54 | 123 | 12,4 | 0,37 |    |    |    |    |



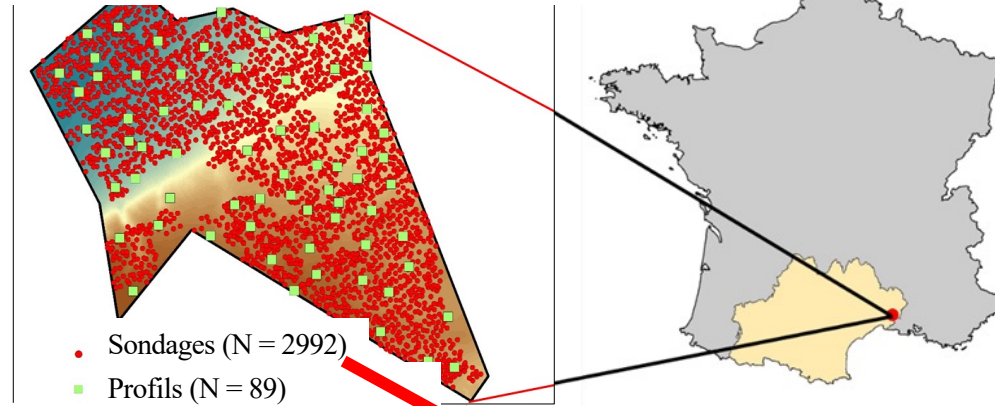


# Utilisation de données pédologiques anciennes pour améliorer la précision de cartes de réservoir utile du sol

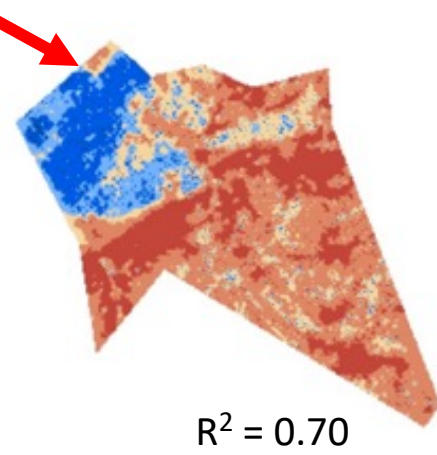
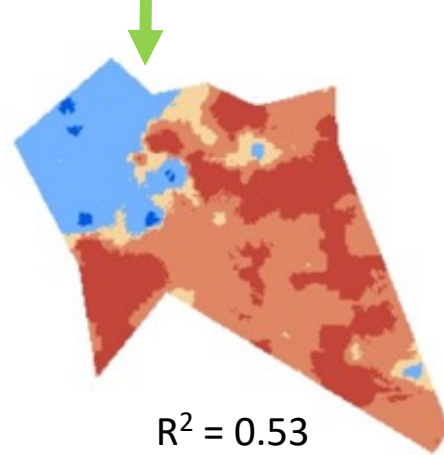
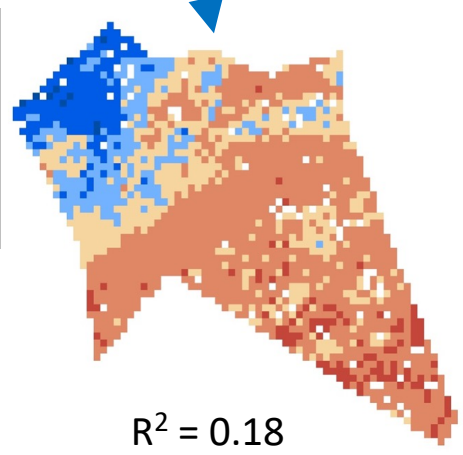
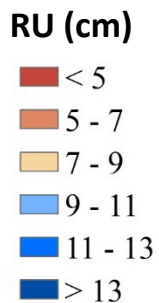
Carte RU régionale



Données pédologiques anciennes  
CNABRL (1955-80)



Cifre  
BRL  
Exploitation  
Thèse Quentin Styc, 2020





# Projet – Terra OccitanIA

Développement d'une chaîne de traitement des données pédologiques anciennes pour élaborer des cartes de sol à vocation d'appui à la décision en Occitanie

**INRAE**  
**LISAH**



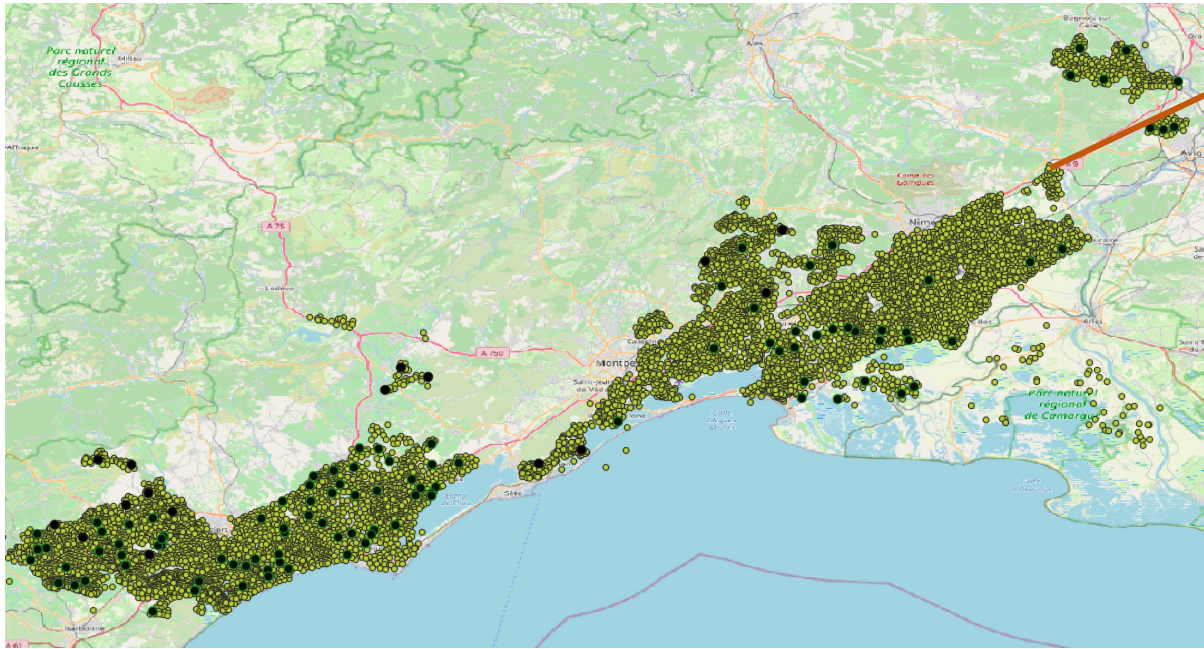
**Atos**





## Données pédologiques anciennes à saisir

8200 profils avec analyses de sol



| FICHE DE SOL   |            | CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES       |  |
|--|------------|----------------------------------|--|
| OBSERVATIONS : ...<br>DATE DE RÉLEVÉ : ...<br>CARACT. : ...<br>COTE : ...<br>COORDONNÉES : ...<br>AUTRES : ... |            |                                  |  |
| CARACTÉRISTIQUES PÉDologiques  |            | CARACTÉRISTIQUES DU SOL EN PLACE |  |
| Profondeur (cm)  | Couleur    | Texture                          | Observations complémentaires                                 |
| 0-10   | brun rouge | argilo-sableux                   | Structure en blocs, galets et graviers fins, nodules de fer. |
| 10-20  | brun rouge | argilo-sableux                   | Structure en blocs, galets et graviers fins, nodules de fer. |
| 20-30  | brun rouge | argilo-sableux                   | Structure en blocs, galets et graviers fins, nodules de fer. |

> 200 000 sondages (observations de sol qualitatives)

| ÉTUDE PÉDologique DE DÉTAIL - FICHE DE SONDEGE OU TRANCHEE |                   |    |      |      |         |      |     |      |      | CHASSAIS |               |   |
|--|-------------------|----|------|------|---------|------|-----|------|------|----------|---------------|---|
| Élé.   | Couleur           | pH | TF % | TF % | Texture | Col. | pH  | Δp   | R.M. | CR.Δp    | Dens. (g/cm³) | Observations complémentaires  |
| 1625   | Brique orangé     | 26 | 3    | 71   | I, S    |      | 6,2 | 1,14 | 18   | 20,5     | 0,61          | Structure : continue et grossière fragmentaire.<br>Parement : forte = lamelles et galeries d'insectes fouisseurs.   |
| 1637   | Brique brun rouge | 45 | 21   | 34   | I, A    |      | 6,3 | 0,54 | 18   | 12,4     | 0,37          | Structure : continue et grossière fragmentaire.<br>Parement : moyenne = lamelles et galeries d'insectes fouisseurs. |





## Interface de saisie semi-automatique des données pédologiques anciennes

Submissions table > Submission 4217 > Document 7728

• Document 7728 ▾

[View JSON Output](#)

[Actions ▾](#)

LAYOUT VARIATION [Fiche sondage semi structurer \(Version - \(1648214943\)\)](#)

The screenshot displays a web-based interface for entering soil profile data. The main area shows a scanned document with a table of soil characteristics. The table has columns for 'Niveau' (depth), 'Couleur' (color), 'P %', 'S %', 'Texture', 'Cation', 'pH', 'pKa', 'Dureté', 'Structure - Forme - Cohésion - Parenté', 'Comparaison des racines - Anobes', and 'Unité cartographique'. The table contains data for several soil profiles, with some cells highlighted in blue. A sidebar on the right lists the profiles, including 'profil\_caracteristique', 'observateur', 'date', 'nappe', 'Profondeur', 'epaisseur utile', 'commune', 'Normalized', 'Raw', 'Identified by', and 'Transcribed by'. A blue circle highlights the 'commune' field, which is marked as 'Field Marked Illegible'.

| Niveau | Couleur       | P % | S % | Texture | Cation | pH | pKa | Dureté | Structure - Forme - Cohésion - Parenté  | Comparaison des racines - Anobes   | Unité cartographique |
|--------|---------------|-----|-----|---------|--------|----|-----|--------|---|--|----------------------|
| 0      | brun jaunâtre | 12  | 10  | 72 Ls   | 14     |    |     |        | St. remanié, peu friable. St. continu à granuleux. Cohésion moyenne. Porosité moyenne bien répartie. Activité biologique moyenne. | Les fines racines bien répartition. Les racines < 40 et racines collées certains endroits. Les racines et racines collées. Les racines et racines collées d'apparence collées. Les racines et racines collées. | PGGN FRLa            |
| 10     | brun jaunâtre | 12  | 10  | 72 Ls   | 14     |    |     |        | St. remanié, peu friable. St. continu à granuleux. Cohésion moyenne. Porosité moyenne bien répartie. Activité biologique moyenne. | Les fines racines bien répartition. Les racines < 40 et racines collées certains endroits. Les racines et racines collées. Les racines et racines collées d'apparence collées. Les racines et racines collées. | PGGN FRLa            |
| 20     | brun jaunâtre | 12  | 10  | 72 Ls   | 14     |    |     |        | St. remanié, peu friable. St. continu à granuleux. Cohésion moyenne. Porosité moyenne bien répartie. Activité biologique moyenne. | Les fines racines bien répartition. Les racines < 40 et racines collées certains endroits. Les racines et racines collées. Les racines et racines collées d'apparence collées. Les racines et racines collées. | PGGN FRLa            |
| 30     | brun jaunâtre | 12  | 10  | 72 Ls   | 14     |    |     |        | St. remanié, peu friable. St. continu à granuleux. Cohésion moyenne. Porosité moyenne bien répartie. Activité biologique moyenne. | Les fines racines bien répartition. Les racines < 40 et racines collées certains endroits. Les racines et racines collées. Les racines et racines collées d'apparence collées. Les racines et racines collées. | PGGN FRLa            |
| 40     | brun jaunâtre | 12  | 10  | 72 Ls   | 14     |    |     |        | St. remanié, peu friable. St. continu à granuleux. Cohésion moyenne. Porosité moyenne bien répartie. Activité biologique moyenne. | Les fines racines bien répartition. Les racines < 40 et racines collées certains endroits. Les racines et racines collées. Les racines et racines collées d'apparence collées. Les racines et racines collées. | PGGN FRLa            |
| 50     | brun jaunâtre | 12  | 10  | 72 Ls   | 14     |    |     |        | St. remanié, peu friable. St. continu à granuleux. Cohésion moyenne. Porosité moyenne bien répartie. Activité biologique moyenne. | Les fines racines bien répartition. Les racines < 40 et racines collées certains endroits. Les racines et racines collées. Les racines et racines collées d'apparence collées. Les racines et racines collées. | PGGN FRLa            |
| 60     | brun jaunâtre | 12  | 10  | 72 Ls   | 14     |    |     |        | St. remanié, peu friable. St. continu à granuleux. Cohésion moyenne. Porosité moyenne bien répartie. Activité biologique moyenne. | Les fines racines bien répartition. Les racines < 40 et racines collées certains endroits. Les racines et racines collées. Les racines et racines collées d'apparence collées. Les racines et racines collées. | PGGN FRLa            |
| 70     | brun jaunâtre | 12  | 10  | 72 Ls   | 14     |    |     |        | St. remanié, peu friable. St. continu à granuleux. Cohésion moyenne. Porosité moyenne bien répartie. Activité biologique moyenne. | Les fines racines bien répartition. Les racines < 40 et racines collées certains endroits. Les racines et racines collées. Les racines et racines collées d'apparence collées. Les racines et racines collées. | PGGN FRLa            |
| 80     | brun jaunâtre | 12  | 10  | 72 Ls   | 14     |    |     |        | St. remanié, peu friable. St. continu à granuleux. Cohésion moyenne. Porosité moyenne bien répartie. Activité biologique moyenne. | Les fines racines bien répartition. Les racines < 40 et racines collées certains endroits. Les racines et racines collées. Les racines et racines collées d'apparence collées. Les racines et racines collées. | PGGN FRLa            |
| 90     | brun jaunâtre | 12  | 10  | 72 Ls   | 14     |    |     |        | St. remanié, peu friable. St. continu à granuleux. Cohésion moyenne. Porosité moyenne bien répartie. Activité biologique moyenne. | Les fines racines bien répartition. Les racines < 40 et racines collées certains endroits. Les racines et racines collées. Les racines et racines collées d'apparence collées. Les racines et racines collées. | PGGN FRLa            |
| 100    | brun jaunâtre | 12  | 10  | 72 Ls   | 14     |    |     |        | St. remanié, peu friable. St. continu à granuleux. Cohésion moyenne. Porosité moyenne bien répartie. Activité biologique moyenne. | Les fines racines bien répartition. Les racines < 40 et racines collées certains endroits. Les racines et racines collées. Les racines et racines collées d'apparence collées. Les racines et racines collées. | PGGN FRLa            |
| 110    | brun jaunâtre | 12  | 10  | 72 Ls   | 14     |    |     |        | St. remanié, peu friable. St. continu à granuleux. Cohésion moyenne. Porosité moyenne bien répartie. Activité biologique moyenne. | Les fines racines bien répartition. Les racines < 40 et racines collées certains endroits. Les racines et racines collées. Les racines et racines collées d'apparence collées. Les racines et racines collées. | PGGN FRLa            |
| 120    | brun jaunâtre | 12  | 10  | 72 Ls   | 14     |    |     |        | St. remanié, peu friable. St. continu à granuleux. Cohésion moyenne. Porosité moyenne bien répartie. Activité biologique moyenne. | Les fines racines bien répartition. Les racines < 40 et racines collées certains endroits. Les racines et racines collées. Les racines et racines collées d'apparence collées. Les racines et racines collées. | PGGN FRLa            |

Degré d'automatisation : profils 87 %, sondages 0%  
Taux d'erreur: <9%

Temps de saisie / profils : 1.5 à 10 mn  
Nombre de profils saisis : 6 700



## Un objectif à moyen terme

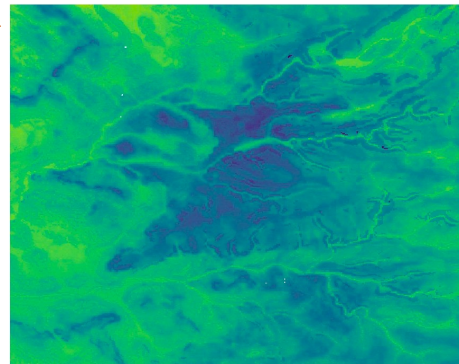
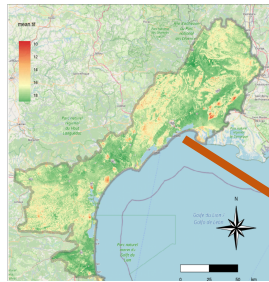
Mettre en place à l'échelle régionale un dispositif numérique de cartographie des sols dynamique permettant:

- La réalisation des meilleures cartes de sol possibles au vu des données disponibles à la date du jour
- L'intégration progressive et la valorisation de toutes les observations de sol réalisées dans le passé sur la région
- La réalisation de produits de cartographie des sols adaptée à chaque utilisation

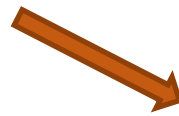
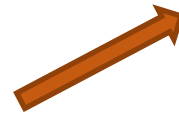


# Développement d'un dispositif numérique de cartographie participative de la qualité des Sols (Thèse Léa Courteille en cours)

- Visualiser l'incertitude pour décider au mieux



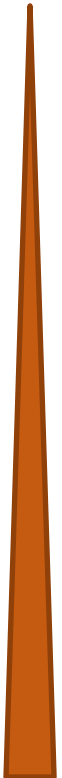
Indice de multifonctionnalité des sols



Incertitude



résolution spatiale





## Développement d'un dispositif numérique de cartographie participative de la qualité des Sols (Thèse Léa Courteille en cours)

- Rechercher un compromis incertitude vs résolution spatiale pour décider au mieux
- Permettre une interaction des utilisateurs sur le résultat cartographique:
  - Pondération interactive des fonctions du sol considérées dans l'indice
  - Choix interactif des seuils de satisfaction de chaque fonction du sol

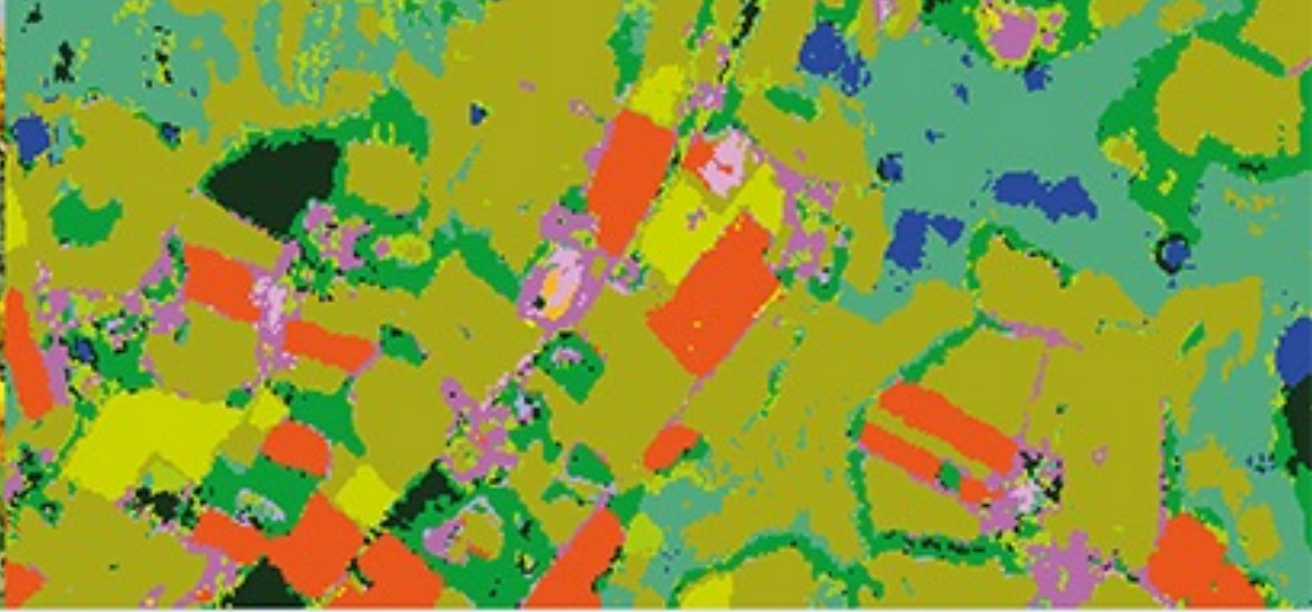
**EN COURS !!**



## Conclusions

- La Cartographie des Sols par modélisation statistique est un outil puissant pour intégrer et valoriser une connaissance régionale des sols encore imprécise et inégale
- Une dynamique est à l'œuvre en Occitanie pour collecter les données anciennes. Initiée dans TerraOccitania, elle a vocation à se poursuivre (GT « sols » OpenIG)
- Les utilisateurs de cartes de sol seront sollicités via des interfaces interactives pour adapter les cartes à leurs besoins spécifiques pour leurs décisions





Retrouvez toutes les présentations de l'atelier



**TÉLÉDÉTECTION, AGRICULTURE & ENVIRONNEMENT**

sur [www.theia-land.fr/2023-agriculture/](http://www.theia-land.fr/2023-agriculture/)

