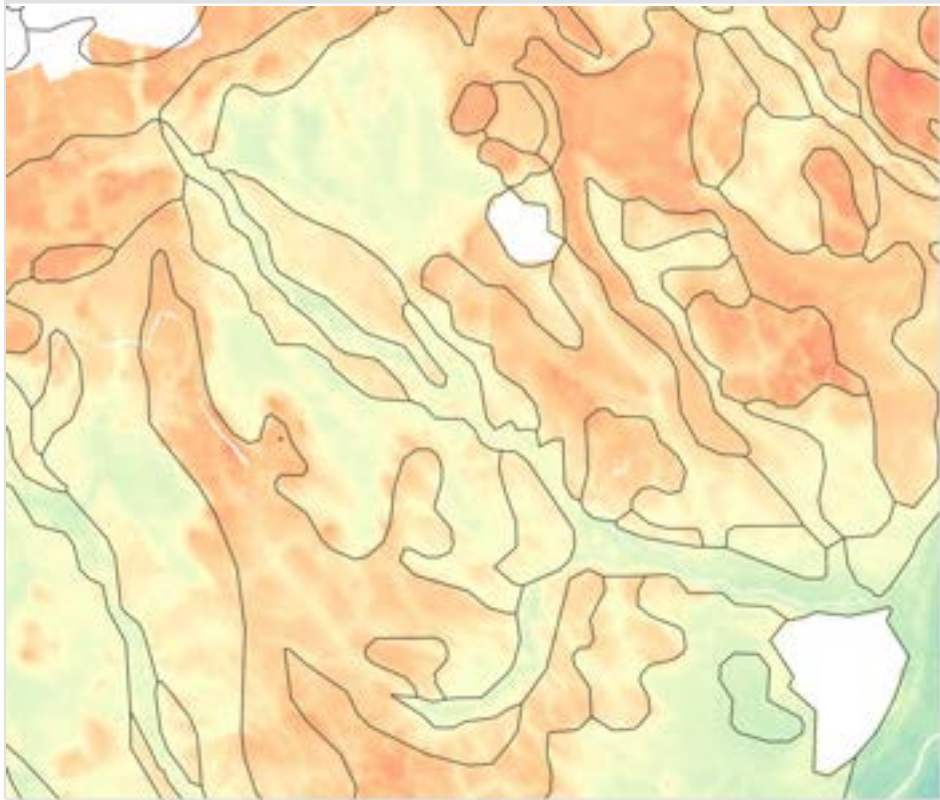




Cartographie des sols par Modélisation Statistique (CSMS) en Occitanie

Philippe Lagacherie¹, Amine Chemchem²

¹ LISAH, Univ Montpellier, INRAE, IRD, Institut Agro, Montpellier,

² ATOS, Montpellier

LISAH

AtoS



INRAE



Cartographie Par Modélisation Statistique : Définition et historique

CSMS : la production d'estimations spatialisées de types de sol ou de valeurs de propriétés des sols en tout point de l'espace par des modèles statistiques alimentés par des données spatiales environnementales et calibrés avec les données de sol disponibles sur la zone d'étude. (Voltz et al, 2018)

1985-95 : Travaux pionniers en Australie, France et USA

2003 : La CSMS est reconnue comme discipline scientifique



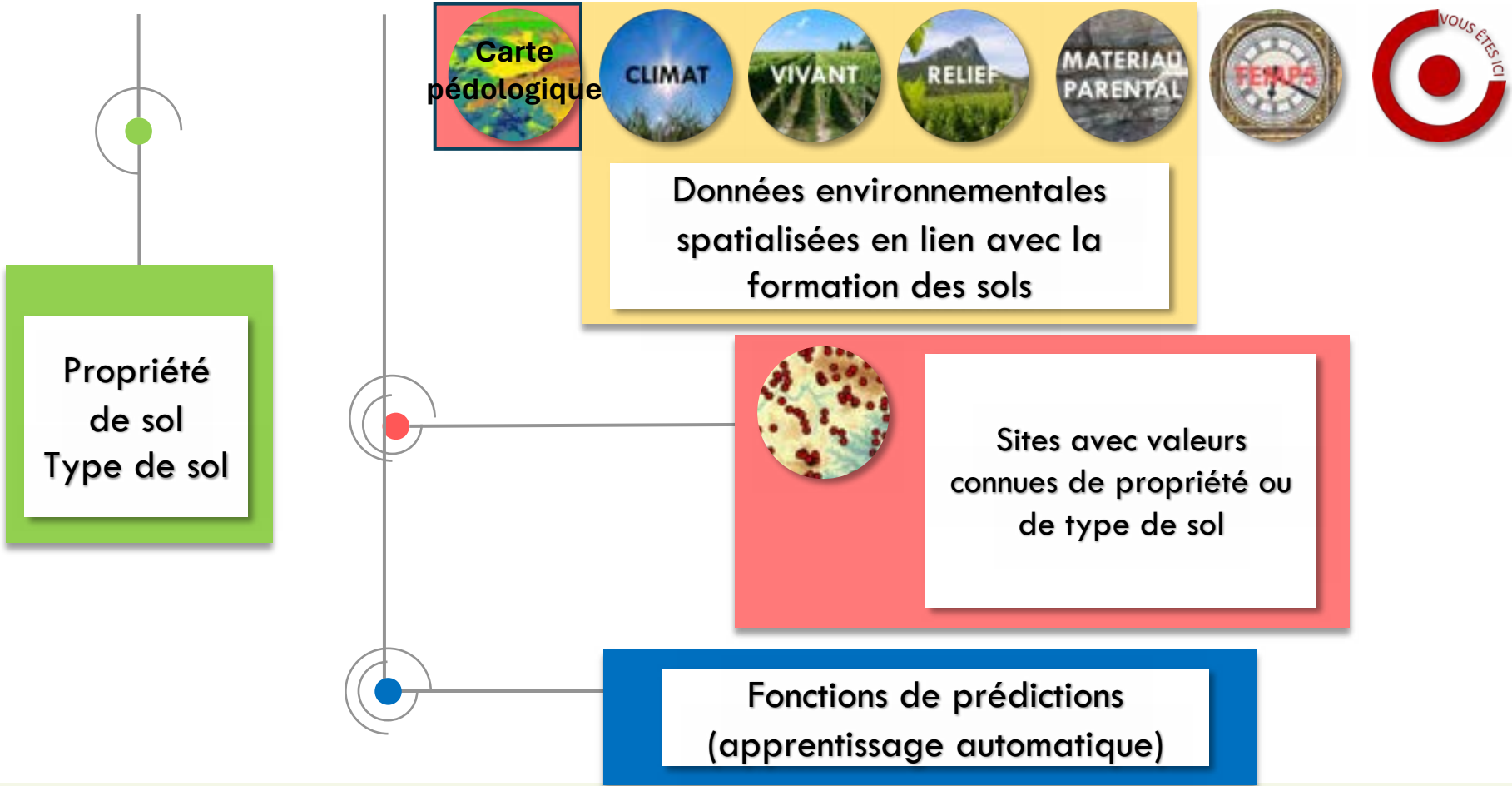
2009: projet GlobalSoilMap : vers l'opérationnalité



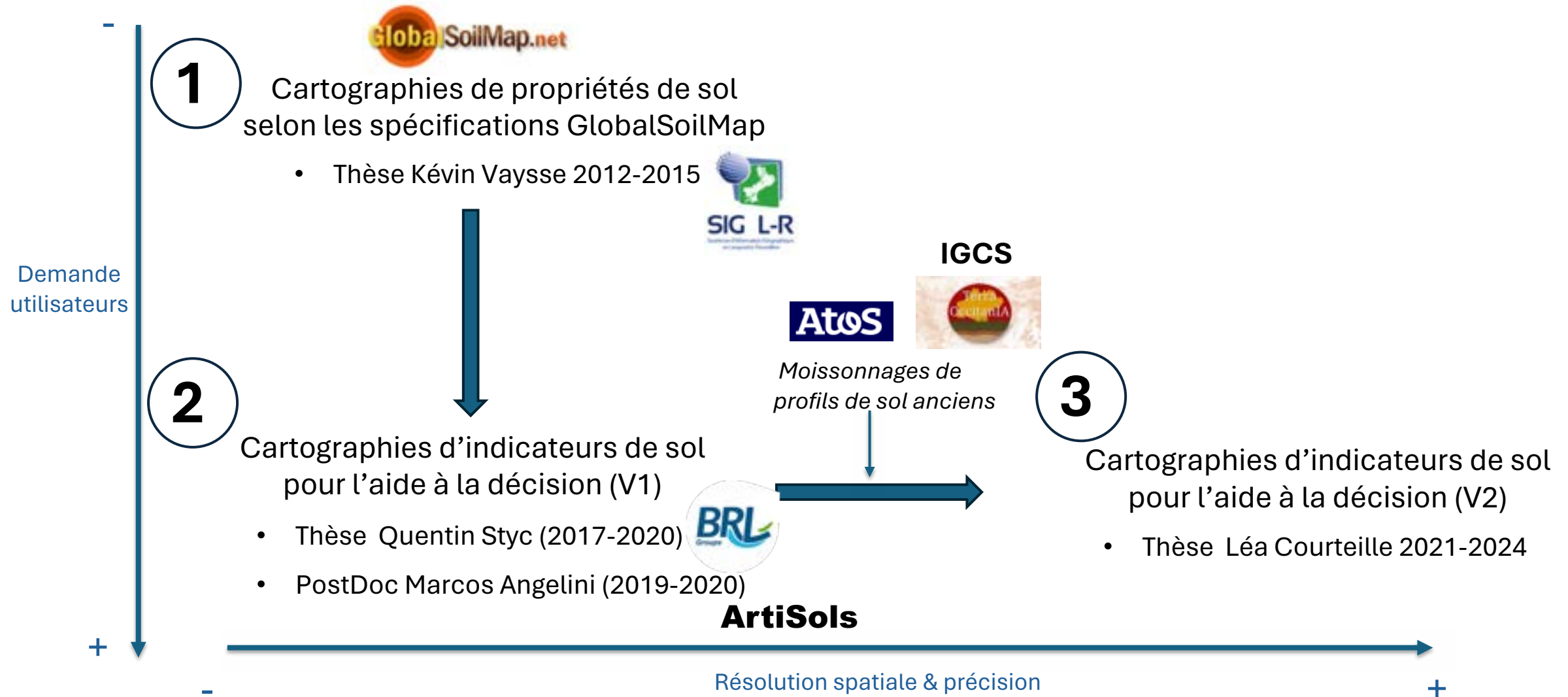
Cartographie Par Modélisation Statistique : Principe général

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

Erreur
estimée



CSMS en Languedoc-Roussillon: Les trois grandes étapes de son application



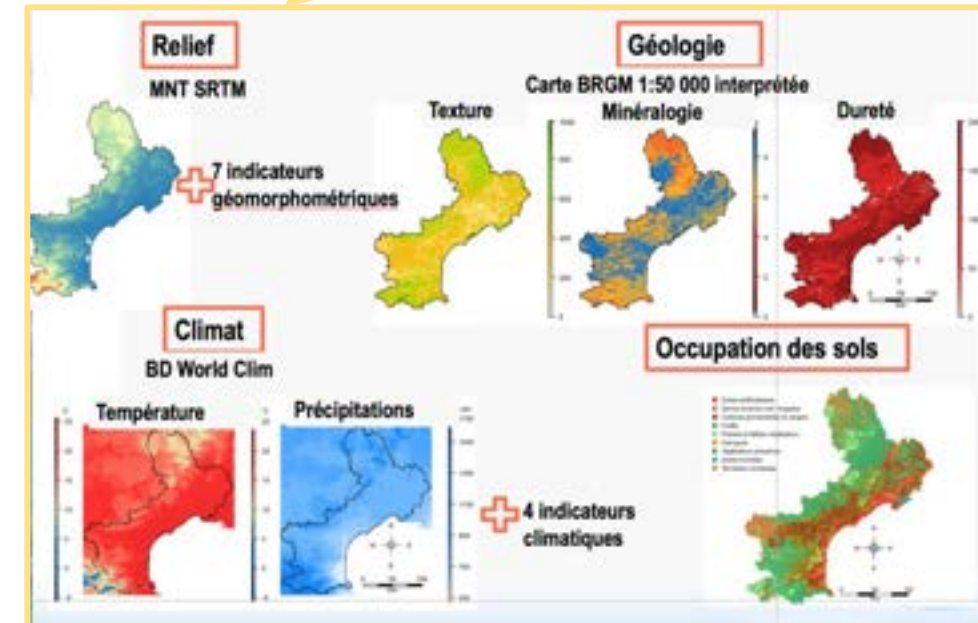
Cartographies de propriétés de sol selon les spécifications GlobalSoilMap

(Thèse Kévin Vaysse, 2012-2015)



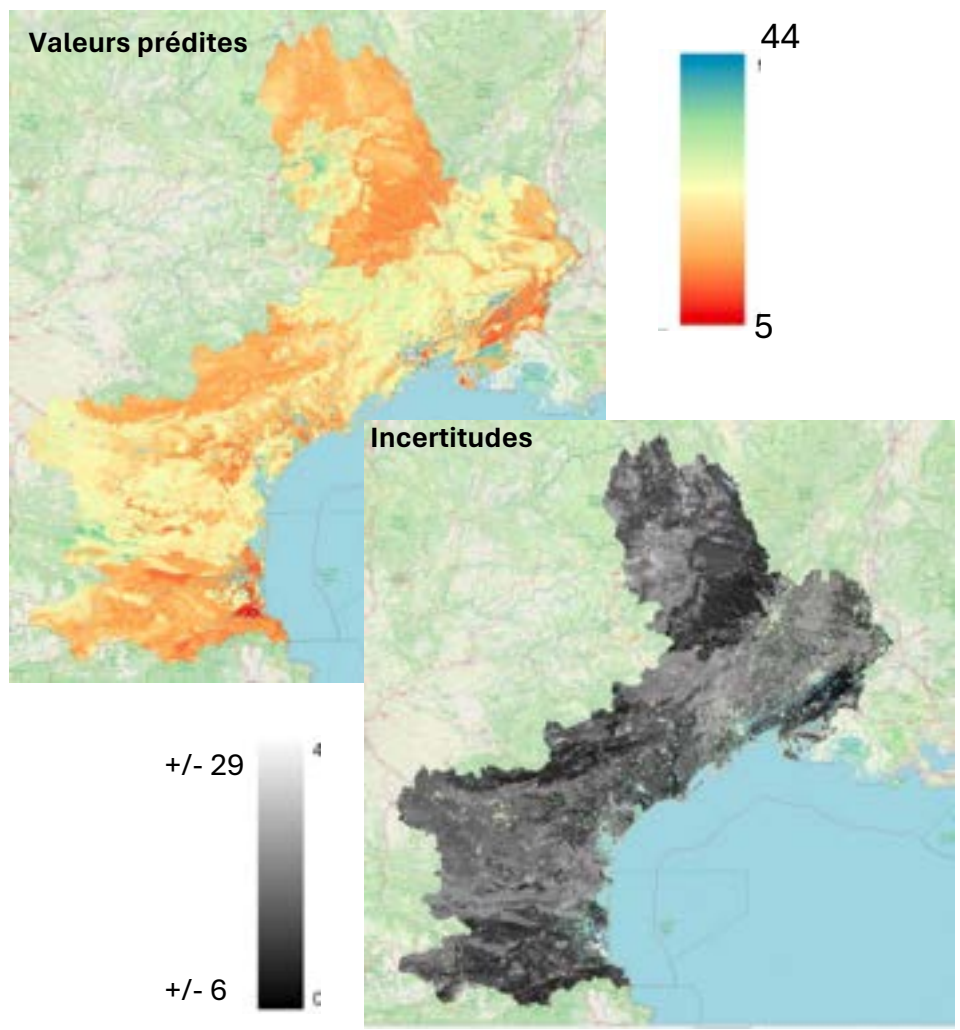
Algorithme:

Forêt de régression quantile

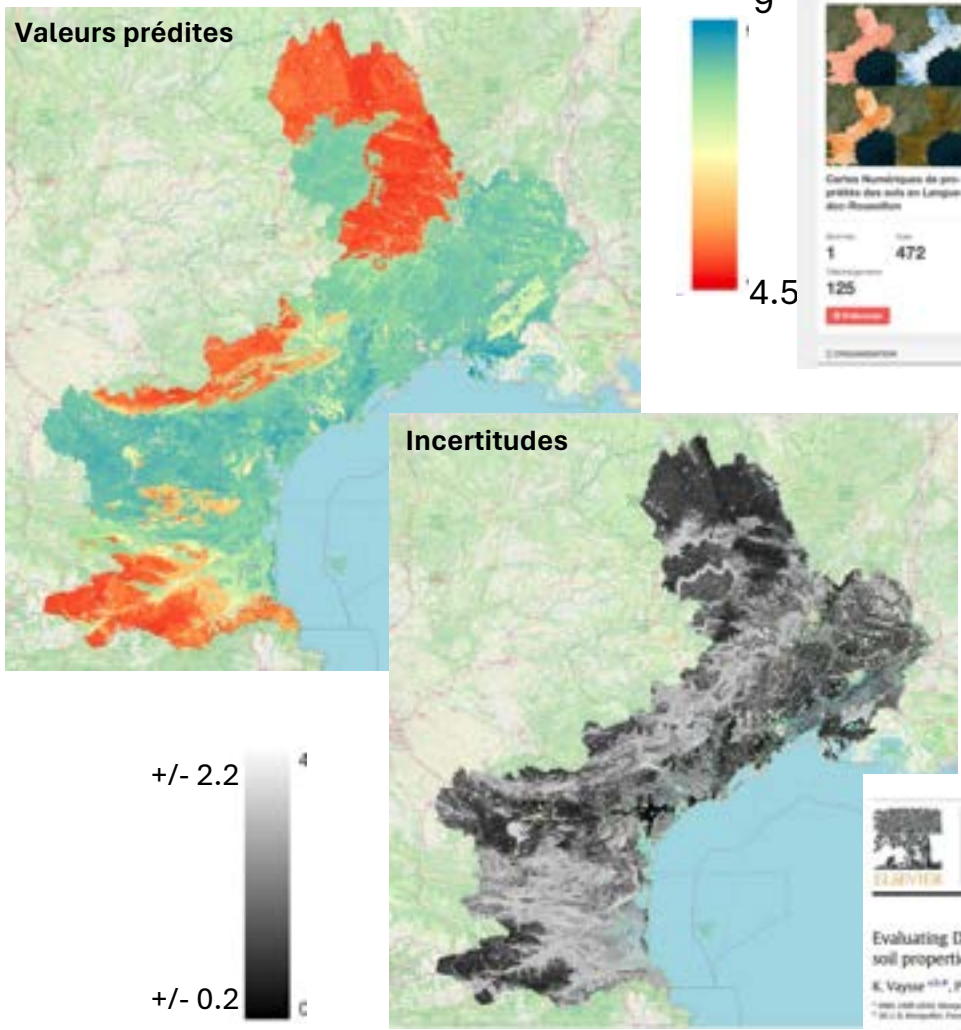


Exemples de produits GlobalSoilMap Languedoc-Roussillon

Taux d'argile 0-5 cm (%)



pH 30-60 cm

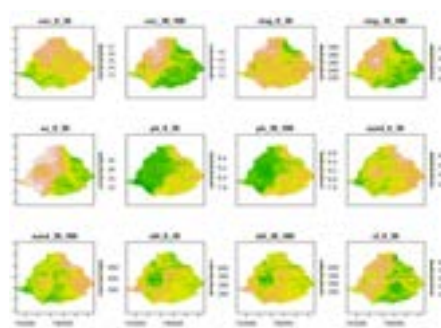


Cartographies d'indicateurs de sol pour l'aide à la décision

Deux indicateurs demandés par utilisateurs en Occitanie:

- Réservoir Utile du sol (gestion de la ressource en eau)
- Indice de qualité des sols (planification urbaine)

Démarche: CSMS multivariable



Spatialisations séparées de composants des indicateurs (propriétés de sol)



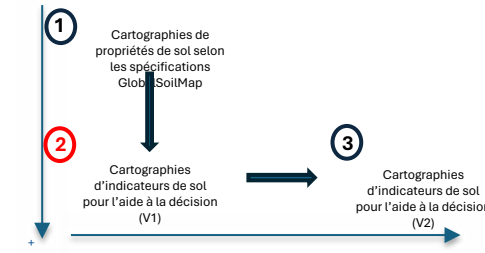
Calculs d'indicateurs



Valeurs prédites



Incertitudes

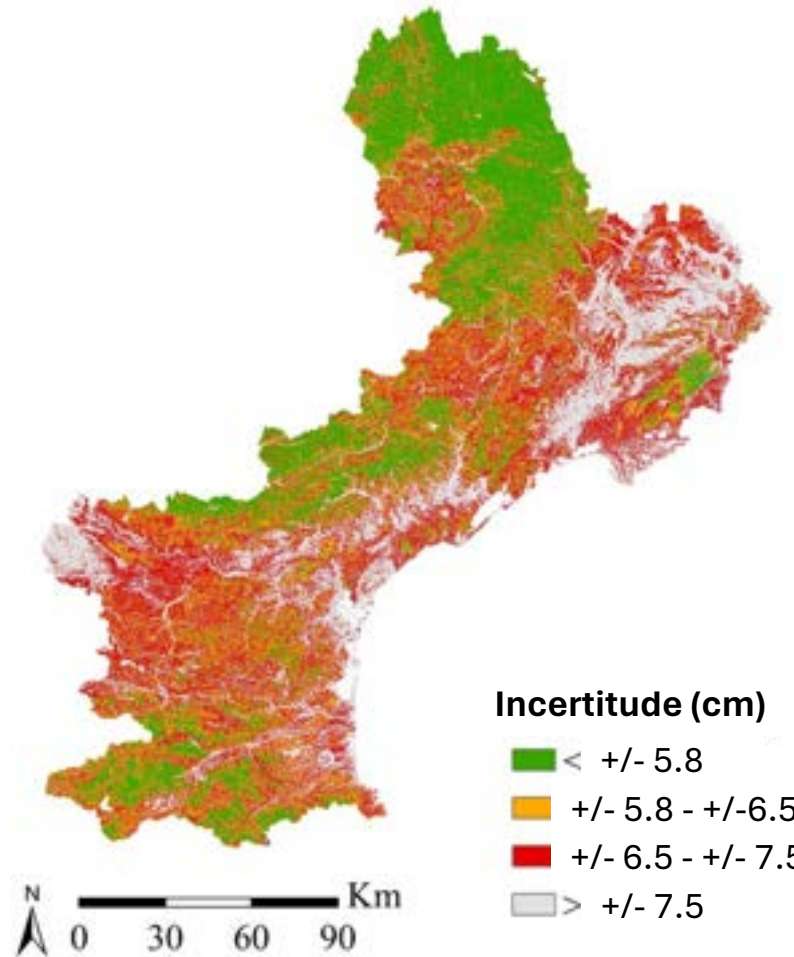
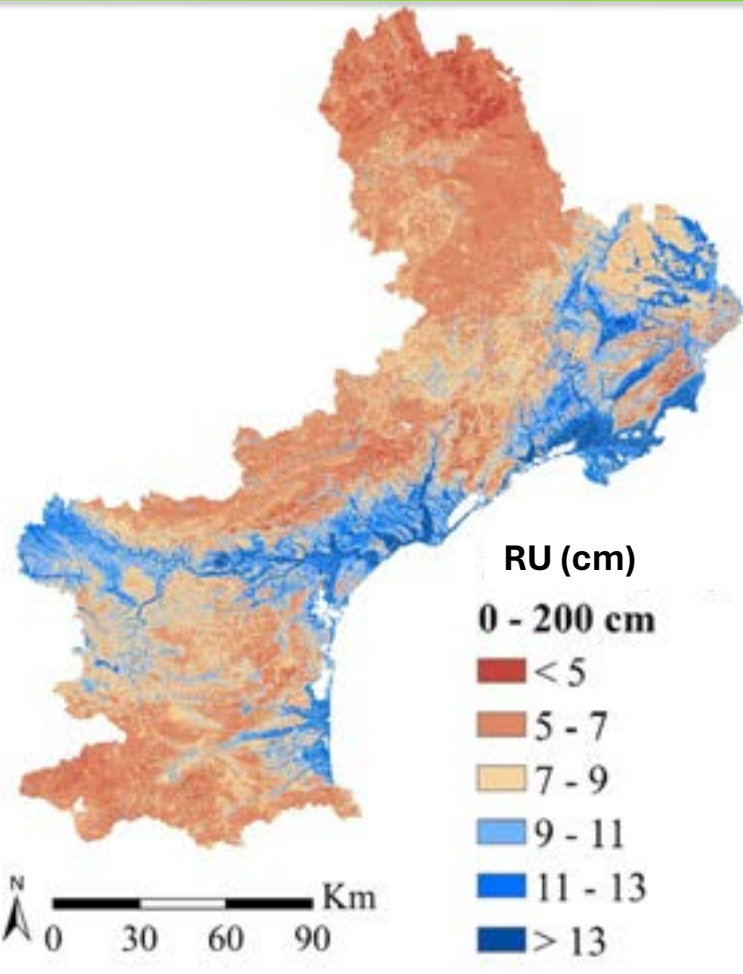
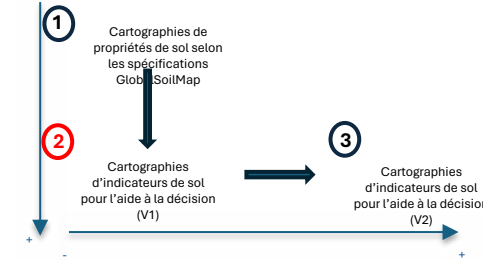


Défi méthodologique: propager correctement les incertitudes des cartes de propriétés de sol

- Réservoir Utile : formule de propagation d'erreur dans une opération arithmétique (Styc & Lagacherie, 2021)
- Indice de qualité des sols: simulations stochastiques basées sur un modèle géostatistique (Angelini et al, 2022)

Réservoir Utile du sol du Languedoc Roussillon

(Thèse Quentin Styc, 2017-2020)



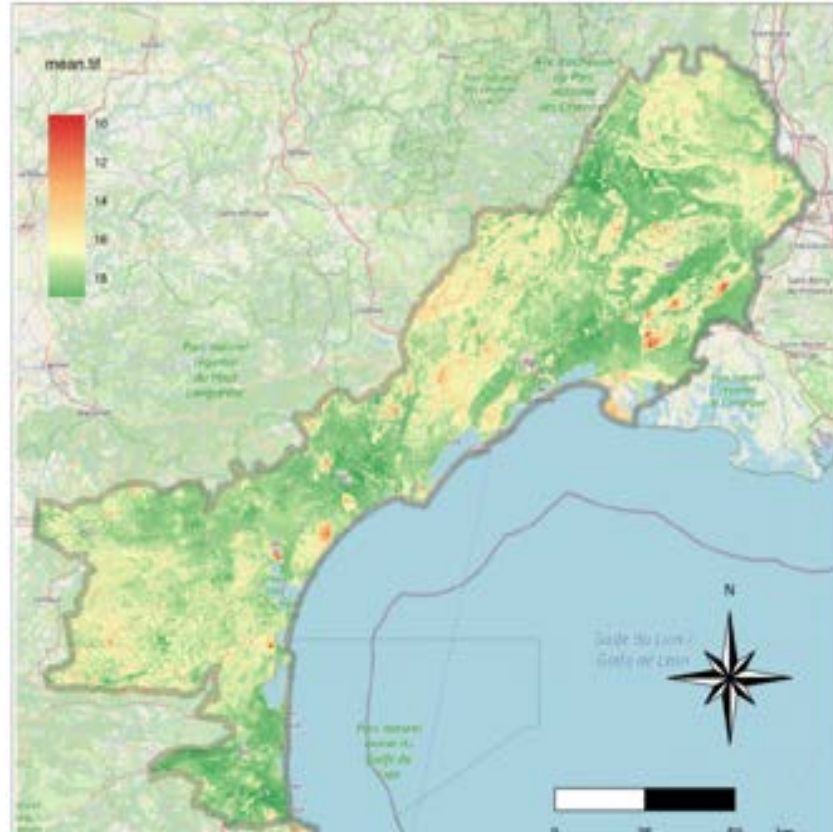
- Variabilités de RU représentées conformes aux connaissances
- Gain de résolution spatiale / RRP



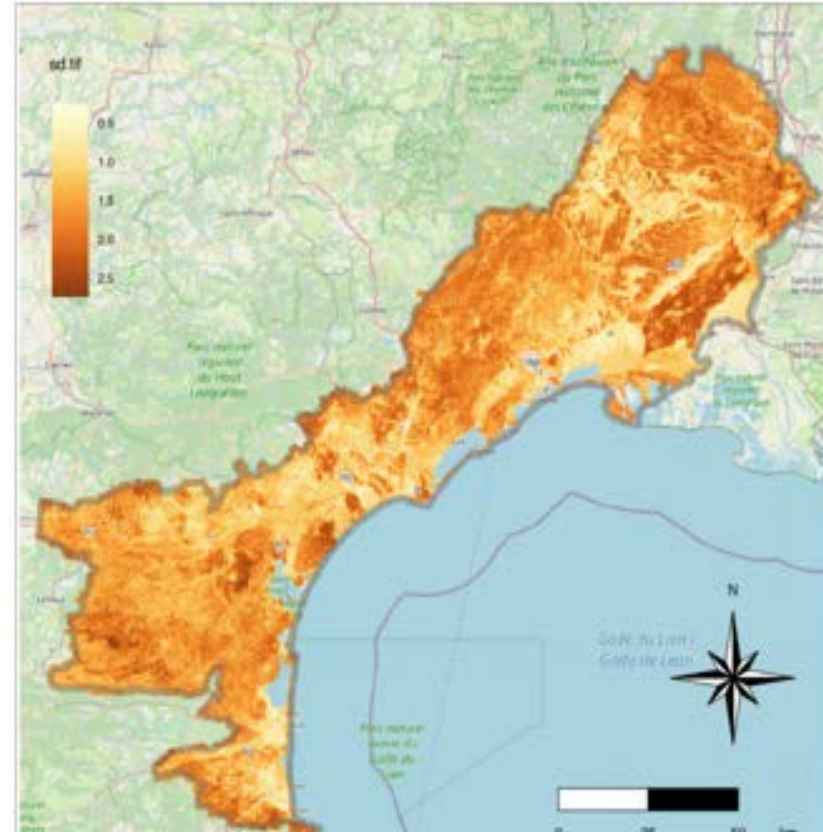
- Forte incertitude prédite
- Uniquement 12% de variabilité du RU représentée



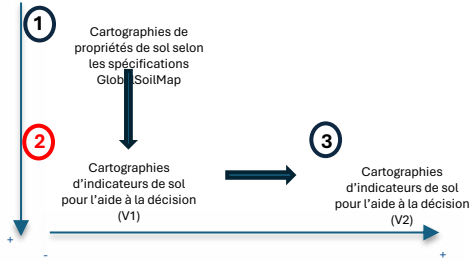
Indice de multifonctionnalité (qualité) des sols sur la zone côtière d'Occitanie



Valeurs prédites



Incertitudes



- Variabilités de IQS représentées conformes aux connaissances
- Gain de résolution spatiale / RRP



- Forte incertitude prédite
- Uniquement 7 % de variabilité représentée

DOI: 10.1111/soil.12040

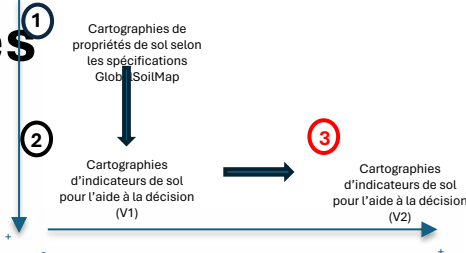
ORIGINAL ARTICLE

Soil Science WILEY

A multivariate approach for mapping a soil quality index and its uncertainty in southern France

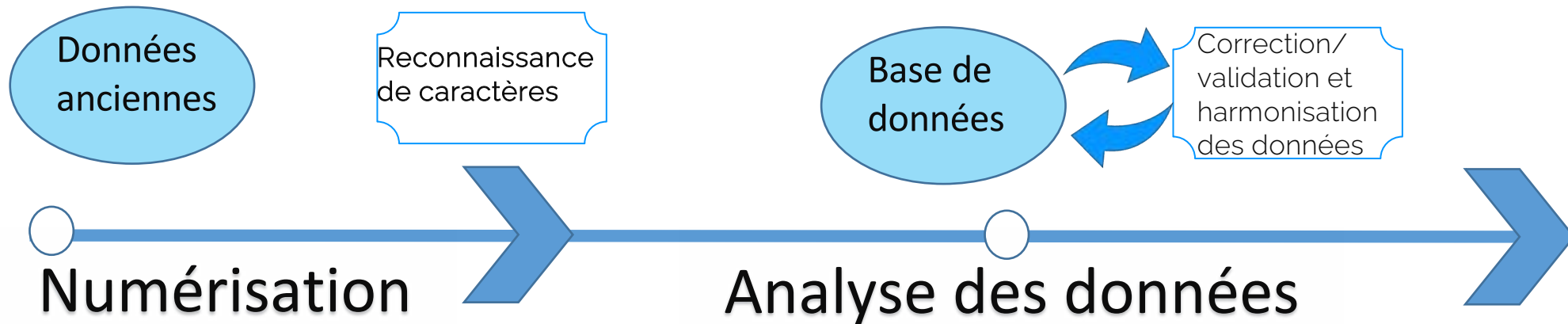
M. E. Angelini^{1,2} | G. B. M. Heuvelink^{3,4} | P. Lagacherie²

Enrichissement de la Base régionale de données de profils pédologiques



Etudes - projets	Nombre de profils	Auteurs	dates profils
Carte 1/100 000 Argelès	72	INRA, CNABRL	1960-65
Carte 1/100 000 Lodève	327	INRA-IFN	1969-85
Carte 1/25 000 BV Payne	20	INRA	2000-10
Projet IGCS CAPVAL	71	GeoSOLEAU, ACH	1992-98
Projet IGCS 2021	1 192	SIGALES, GeoSOLEAU	1985-2006
Projet TerraOccitania	6 752	CNABRL	1955-92

De la fiche de sol ancienne à la donnée stockée dans DONESOL



Vue sur les données anciennes

Traitement semi-automatique des fiches de sol

- 4 formats différents
- 6752 documents traités

Format 1

Format 2

C.N.A.R.E.L. S.E.M.V. S.E.E. (anci. S.E.E.)

FICHE DE SOL

211 bis 241 bis 2

CARACTÈRES GÉNÉRAUX

OBSERVATEUR : J.L.B.
 DATE DE PRÉLÈVEMENT : 21/11/62
 CARRÉ N° : 157, PUNET N° : 1
 CARRÉ (LIEUX) :
 CARRÉ (LIEUX) :
 COORDONNÉES :
 LAMBERT :
 ALTITUDE : 120 m

SITUATION TOPOGRAPHIQUE : ...
 INCLINAISON : ...
 VENT : ...
 ROCHES ENCAISSON : ...
 VÉGÉTATION ACTUELLE : ...
 VÉGÉTATION PRÉVALEANTE : ...
 ÉTAT DE LA SURFACE : ...
 GÉOLOGIE : ...
 DRAINAGE : ...
 TYPE DE SOL : ...

CARACTÉRISTIQUES HYDRODYNAMIQUES

Profondeur	Teneur en eau				pH	pH _{Ca}	pH _{Na}	pH _{Cl}	pH _{SO₄}	pH _{NO₃}	pH _{CO₃}	pH _{PO₄}	pH _{SiO₄}	pH _{SiO₂}	pH _{SiO₃}	pH _{SiO₄}	pH _{SiO₃}	pH _{SiO₄}	pH _{SiO₃}
	0-10	10-20	20-30	30-40															
0-10	10	10	10	10	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5

CARACTÉRISTIQUES PÉDOLOGIQUES

211 bis 241 bis 2

CARACTÈRES DU SOL EN PLACE

Profondeur	Texture	Structure	Consistance	Stabilité	Observations complémentaires
0-10	lim. arg. à lim. arg. s. arg.	micropéd. à micropéd. arg.	molle	st. mod.	arg. par microp. et microp. arg.
10-20	lim. arg. à lim. arg. s. arg.	micropéd. à micropéd. arg.	molle	st. mod.	arg. par microp. et microp. arg.
20-30	lim. arg. à lim. arg. s. arg.	micropéd. à micropéd. arg.	molle	st. mod.	arg. par microp. et microp. arg.

ANALYSES

Géochimie : ...
 Analyse chimique : ...
 Analyse chimique - complexe absorbant : ...
 Analyse chimique - complexe absorbant - tests des sols secs : ...

CONCLUSIONS

Données des analyses : ...
 Spécimen : ...

C.N.A.R.E.L. S.E.M.V. S.E.E. (anci. S.E.E.)

FICHE DE SOL

211 bis 241 bis 2

CARACTÉRISTIQUES HYDRODYNAMIQUES

OBSERVATEUR : J.L.B.
 DATE DE PRÉLÈVEMENT : 21/11/62
 CARRÉ N° : 157, PUNET N° : 1
 CARRÉ (LIEUX) :
 CARRÉ (LIEUX) :
 COORDONNÉES :
 LAMBERT :
 ALTITUDE : 120 m

SITUATION TOPOGRAPHIQUE : ...
 INCLINAISON : ...
 VENT : ...
 ROCHES ENCAISSON : ...
 VÉGÉTATION ACTUELLE : ...
 VÉGÉTATION PRÉVALEANTE : ...
 ÉTAT DE LA SURFACE : ...
 GÉOLOGIE : ...
 DRAINAGE : ...

CARACTÉRISTIQUES PÉDOLOGIQUES

211 bis 241 bis 2

CARACTÈRES DU SOL EN PLACE

Profondeur	Texture	Structure	Consistance	Stabilité	Observations complémentaires
0-10	lim. arg. à lim. arg. s. arg.	micropéd. à micropéd. arg.	molle	st. mod.	arg. par microp. et microp. arg.
10-20	lim. arg. à lim. arg. s. arg.	micropéd. à micropéd. arg.	molle	st. mod.	arg. par microp. et microp. arg.
20-30	lim. arg. à lim. arg. s. arg.	micropéd. à micropéd. arg.	molle	st. mod.	arg. par microp. et microp. arg.

ANALYSES

Géochimie : ...
 Analyse chimique : ...
 Analyse chimique - complexe absorbant : ...
 Analyse chimique - complexe absorbant - tests des sols secs : ...

CONCLUSIONS

Données des analyses : ...
 Spécimen : ...

CARACTÉRISTIQUES PÉDOLOGIQUES

211 bis 241 bis 2

CARACTÈRES DU SOL EN PLACE

Profondeur	Texture	Structure	Consistance	Stabilité	Observations complémentaires
0-10	lim. arg. à lim. arg. s. arg.	micropéd. à micropéd. arg.	molle	st. mod.	arg. par microp. et microp. arg.
10-20	lim. arg. à lim. arg. s. arg.	micropéd. à micropéd. arg.	molle	st. mod.	arg. par microp. et microp. arg.
20-30	lim. arg. à lim. arg. s. arg.	micropéd. à micropéd. arg.	molle	st. mod.	arg. par microp. et microp. arg.

ANALYSES

Géochimie : ...
 Analyse chimique : ...
 Analyse chimique - complexe absorbant : ...
 Analyse chimique - complexe absorbant - tests des sols secs : ...

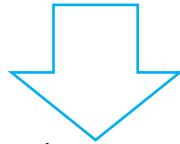
CONCLUSIONS

Données des analyses : ...
 Spécimen : ...

Entraînement du modèle de reconnaissance du texte



Soumission automatique des documents
scannés

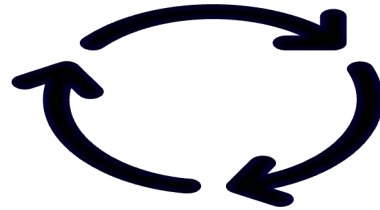
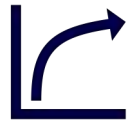
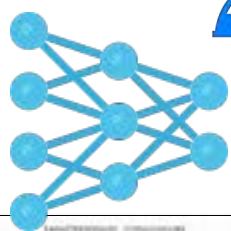


Entraînement du
Model

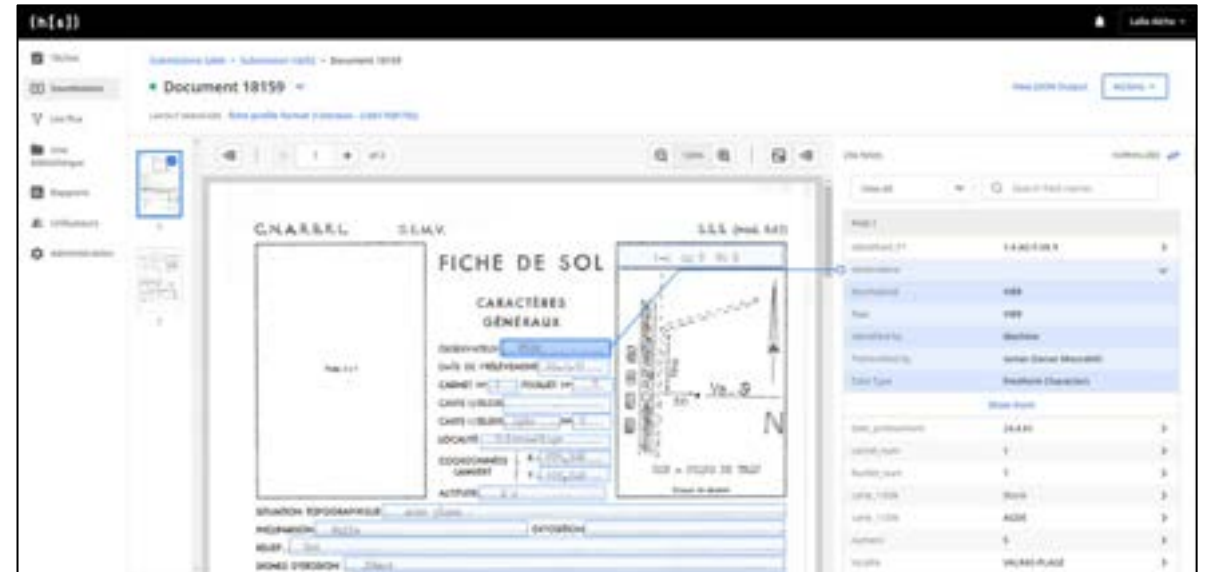


(h[s])
HYPERSCIENCE

Azure AI | Document Intelligence Studio



Labélisation des données (20 documents / format)



Évaluation du modèle de reconnaissance du texte

Count of Submission ID Column Labels							
Row Labels	FALSE	TRUE (blank)	Grand Total	Cumulative Automation	Automation %	Cumulative Errors	Accuracy %
0.95-1		64	64	64	1,1%	0	100,0%
0.9-0.95	1	2884	2885	2949	51,2%	1	100,0%
0.85-0.9	1	902	903	3852	66,9%	2	99,9%
0.8-0.85	3	519	522	4374	75,9%	5	99,9%
0.75-0.8	4	286	290	4664	80,9%	9	99,8%
0.7-0.75	8	178	186	4850	84,2%	17	99,6%
0.65-0.7	6	100	106	4956	86,0%	23	99,5%
0.6-0.65	4	87	91	5047	87,6%	27	99,5%
0.55-0.6	5	65	70	5117	88,8%	32	99,4%
0.5-0.55	10	64	74	5191	90,1%	42	99,2%
0.45-0.5	9	59	68	5259	91,3%	51	99,0%
0.4-0.45	16	42	58	5317	92,3%	67	98,7%
0.35-0.4	11	55	66	5383	93,4%	78	98,6%
0.3-0.35	13	32	45	5428	94,2%	91	98,3%
0.25-0.3	17	37	54	5482	95,1%	108	98,0%
0.2-0.25	11	39	50	5532	96,0%	119	97,8%
0.15-0.2	24	45	69	5601	97,2%	143	97,4%
0.1-0.15	15	36	51	5652	98,1%	158	97,2%
0.05-0.1	46	8	54	5706	99,0%	204	96,4%
0-0.05	55	1	56	5762	100,0%	259	95,5%
<0 or (blank)				5762	100,0%	259	95,5%
Grand Total	259	5503	5762				

Compromis entre le taux de l'automatisation et le taux de précision

Base de données

- 4 formats différents
- 6752 documents traités

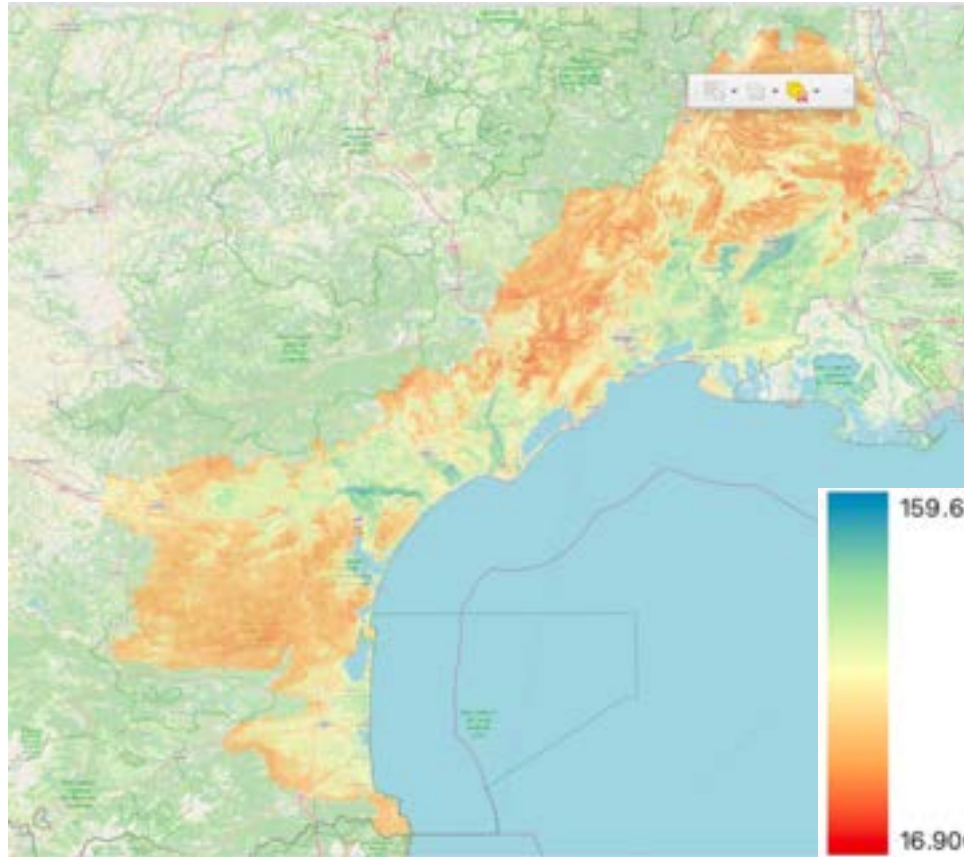
Implémentation of the system :

- Accuracy : 99,5 %
 - Automatisation : 87,6 %
 - 36 champs à compléter manuellement
- ≈ - **3 min / document**

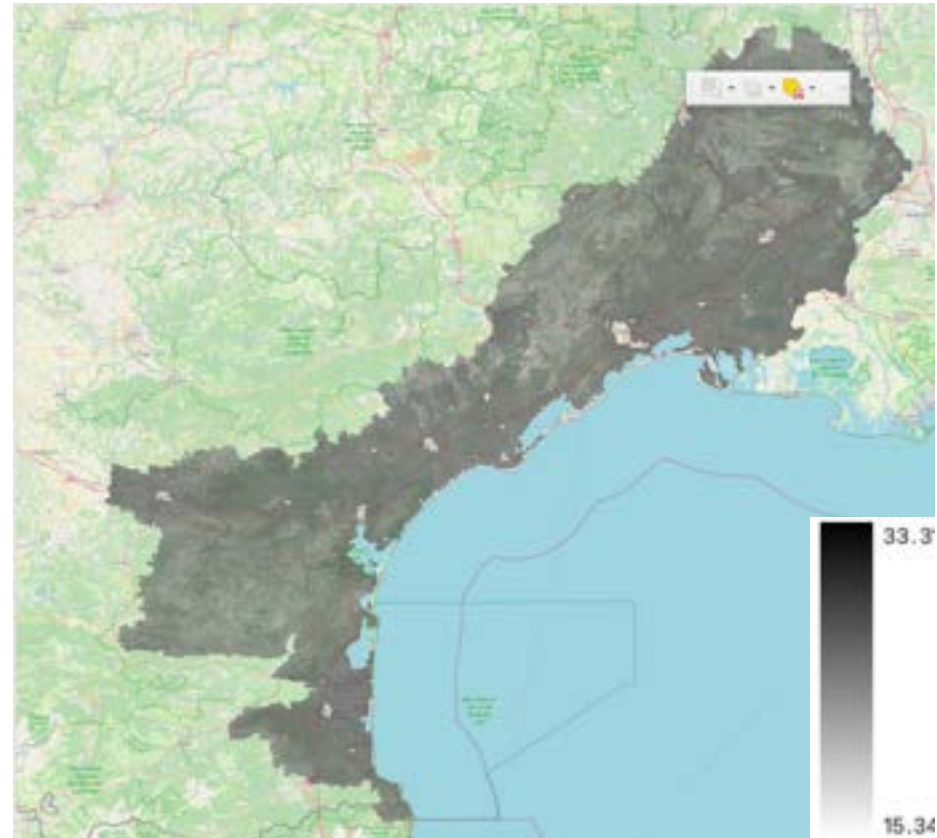
	Sans notre solution	Avec notre solution	Gain
1 fiche	13 minutes	3 minutes	10 minutes
6752 fiches	182 jours	57 jours	125 jours

Réservoir Utile du sol (0-100 cm) de la zone côtière d'Occitanie

Modèle CSMS construit avec 9135 profils de sols (1 profil /1.3 km²)

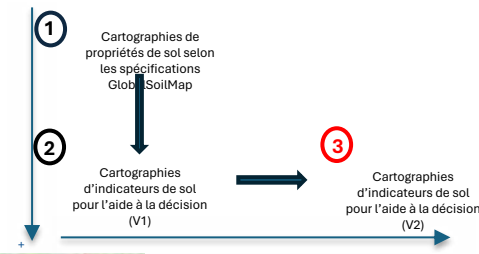


Valeurs prédites

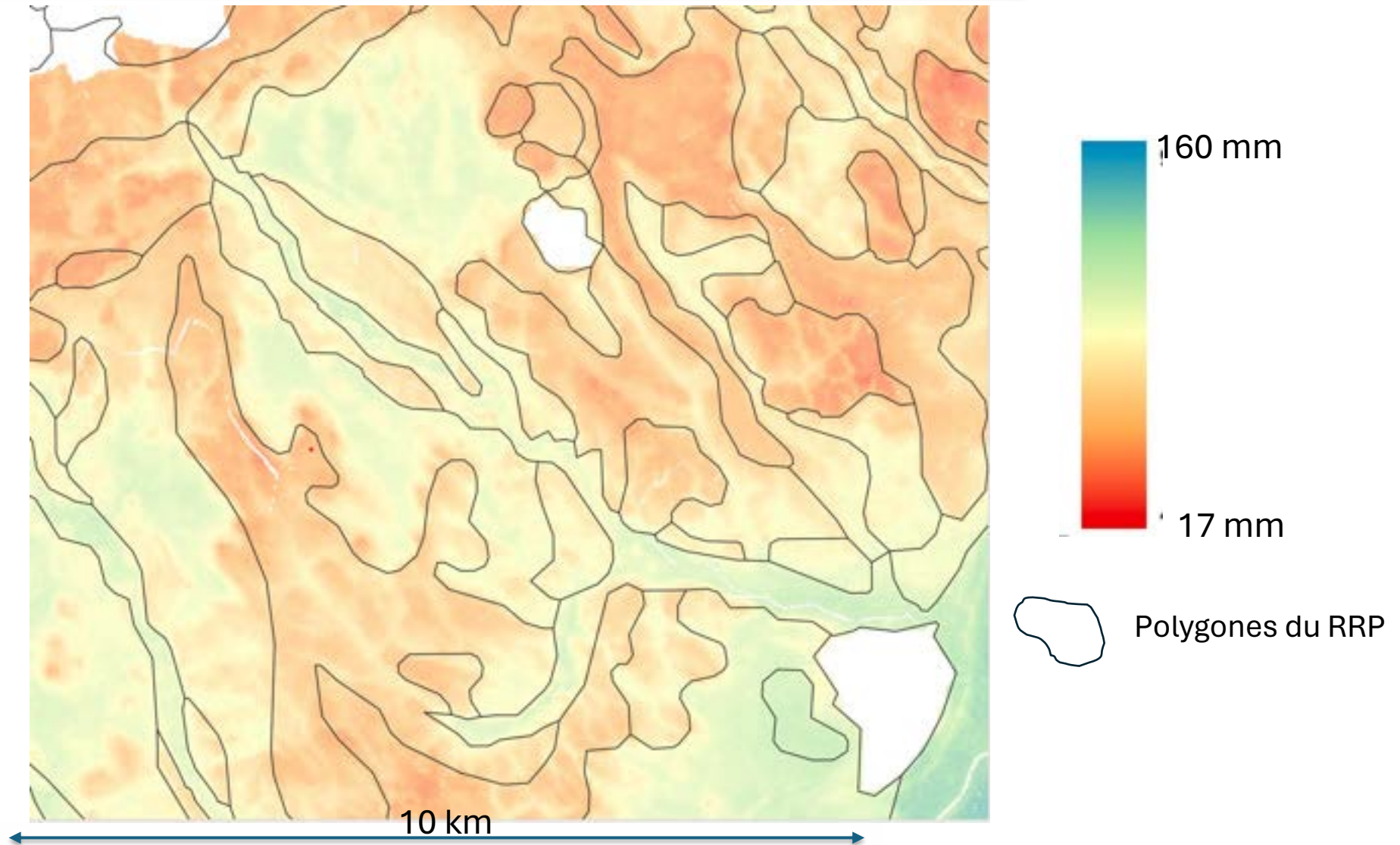
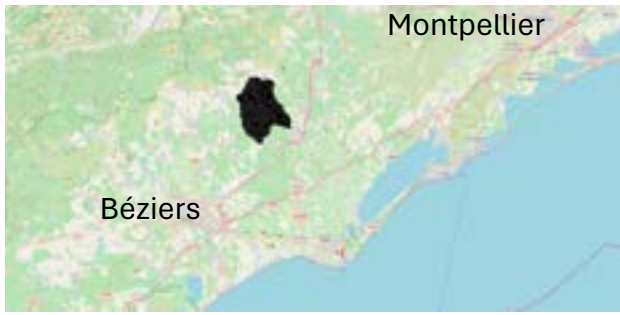


Incertitudes

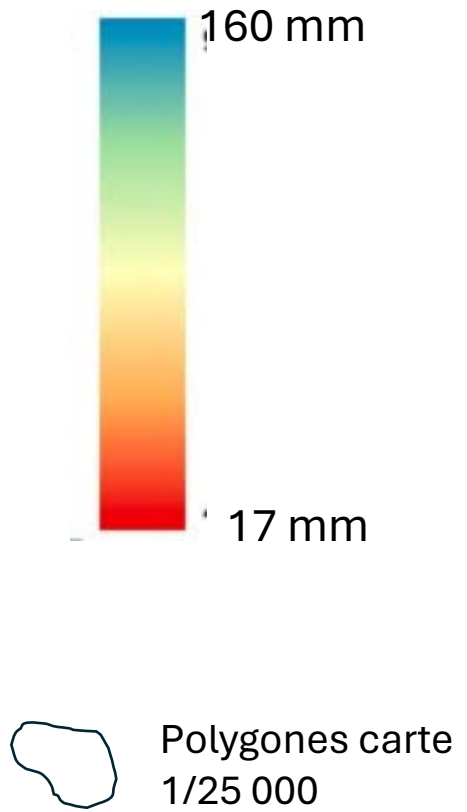
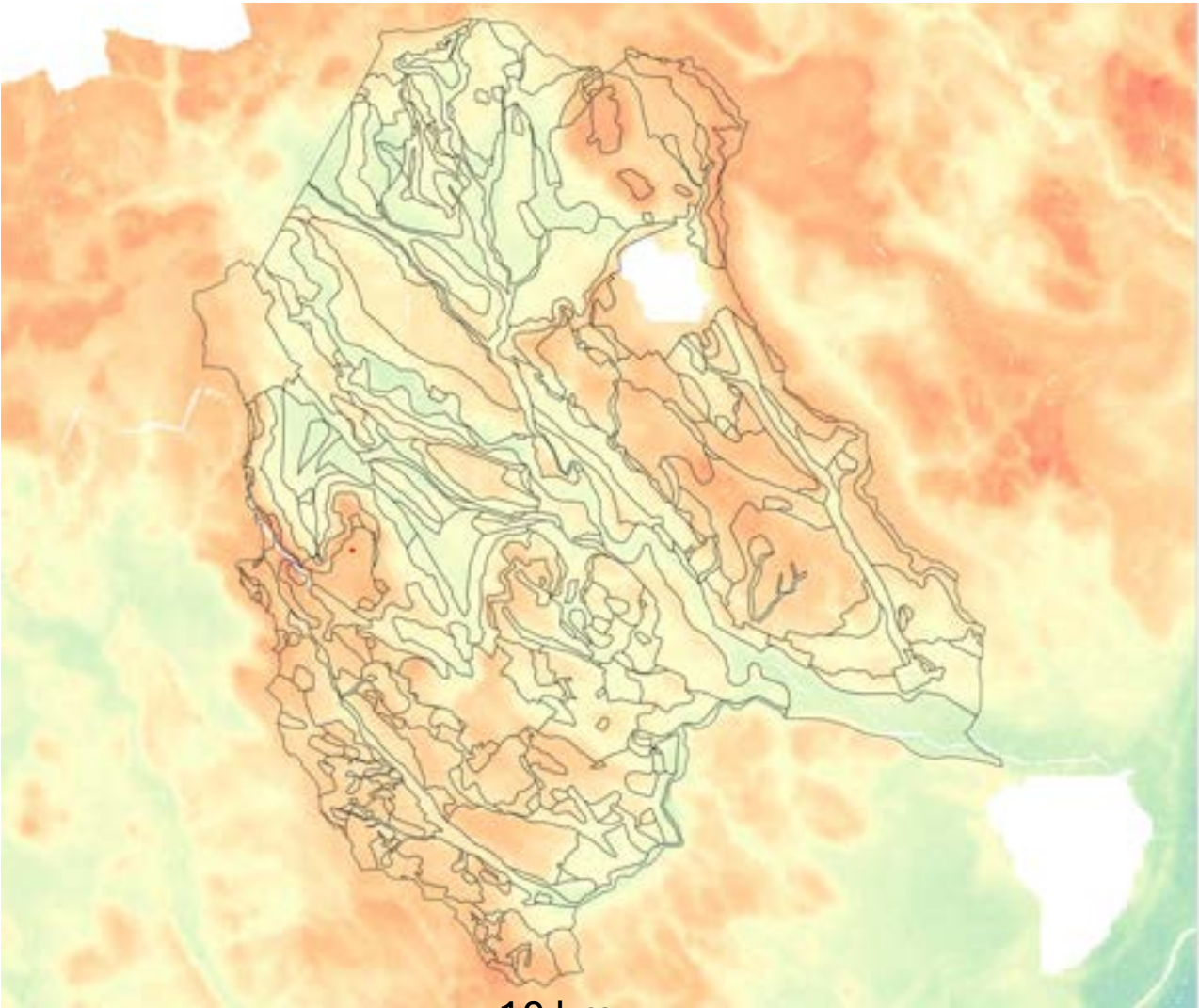
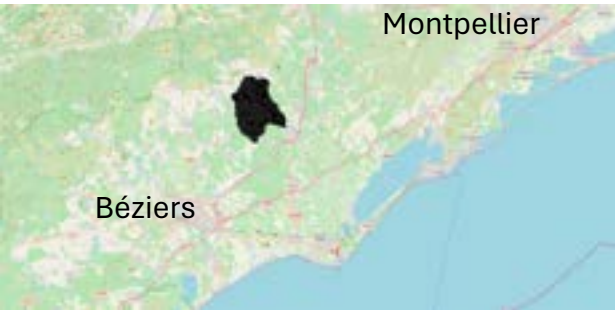
~30 % de variabilité de RU représentée



Cartes de Réservoir Utile du sol (0-100 cm) et RRP

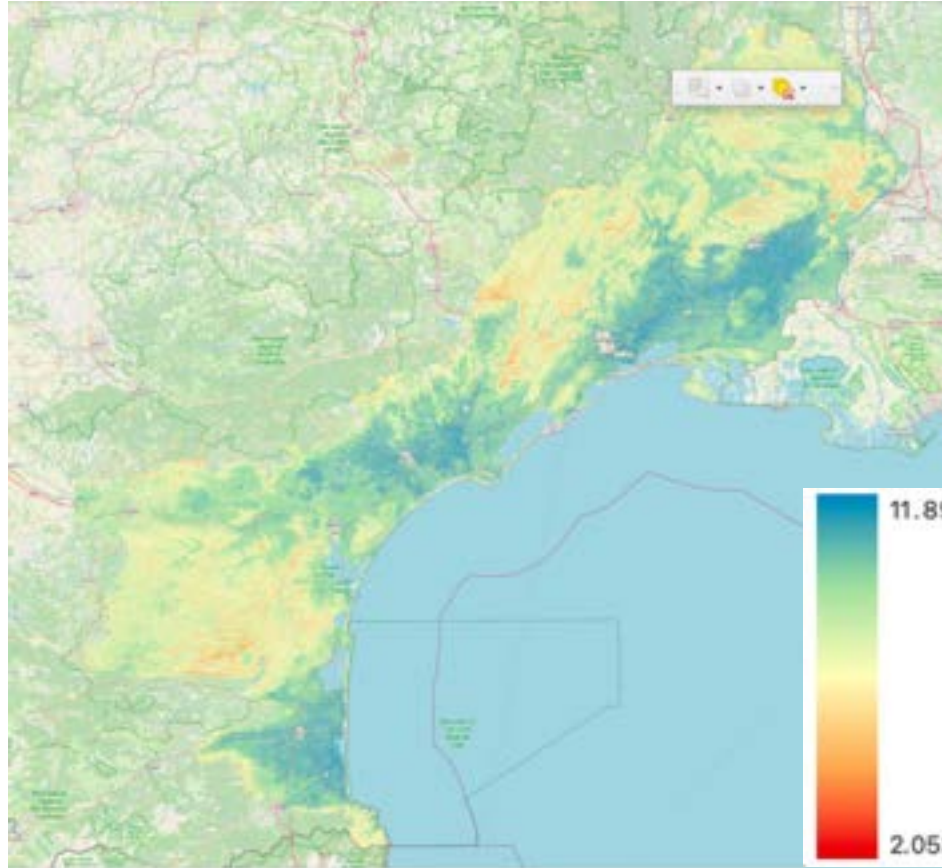
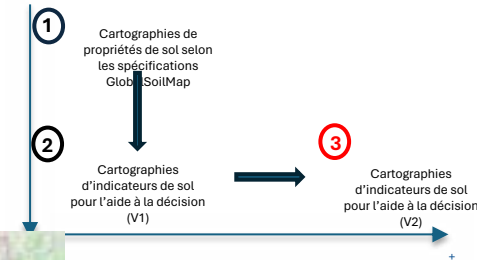


Cartes de Réservoir Utile du sol (0-100 cm) et carte 1/25 000 BV Payne (Coulouma et al, 2004)

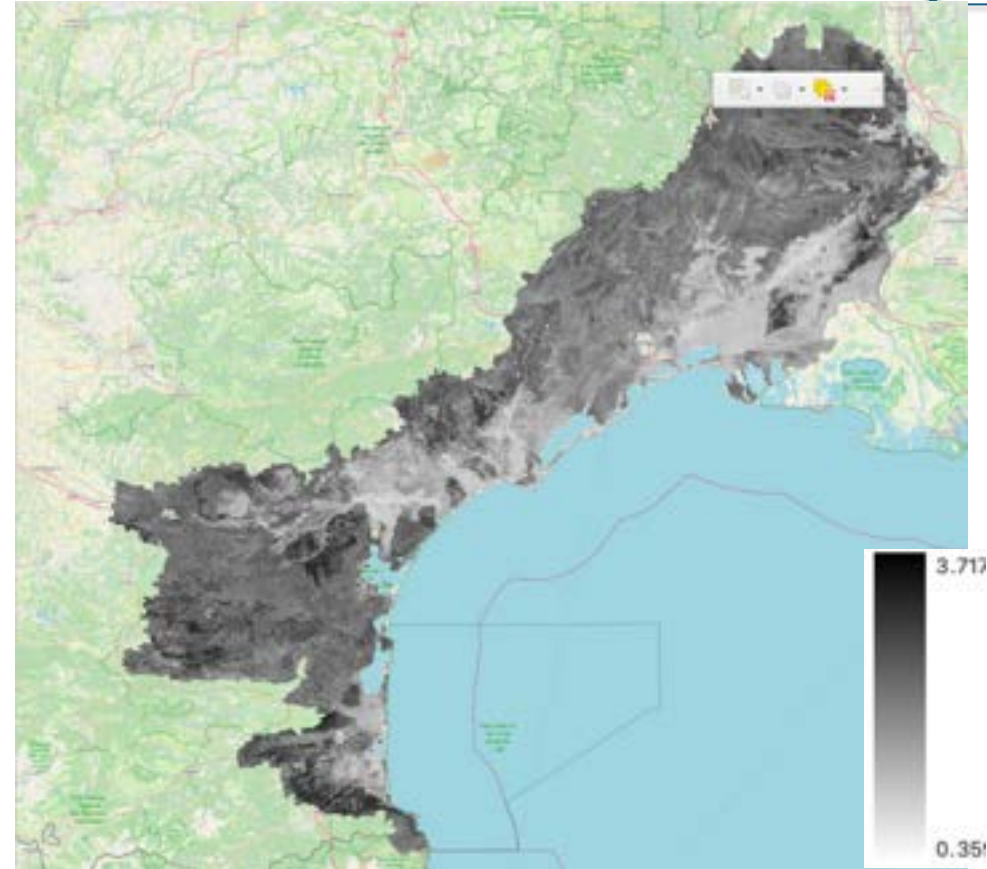


Indice de multifonctionnalité des sols de la zone côtière d'Occitanie

Modèle CSMS construit avec 9135 profils de sols (1 profil /1.3 km²)



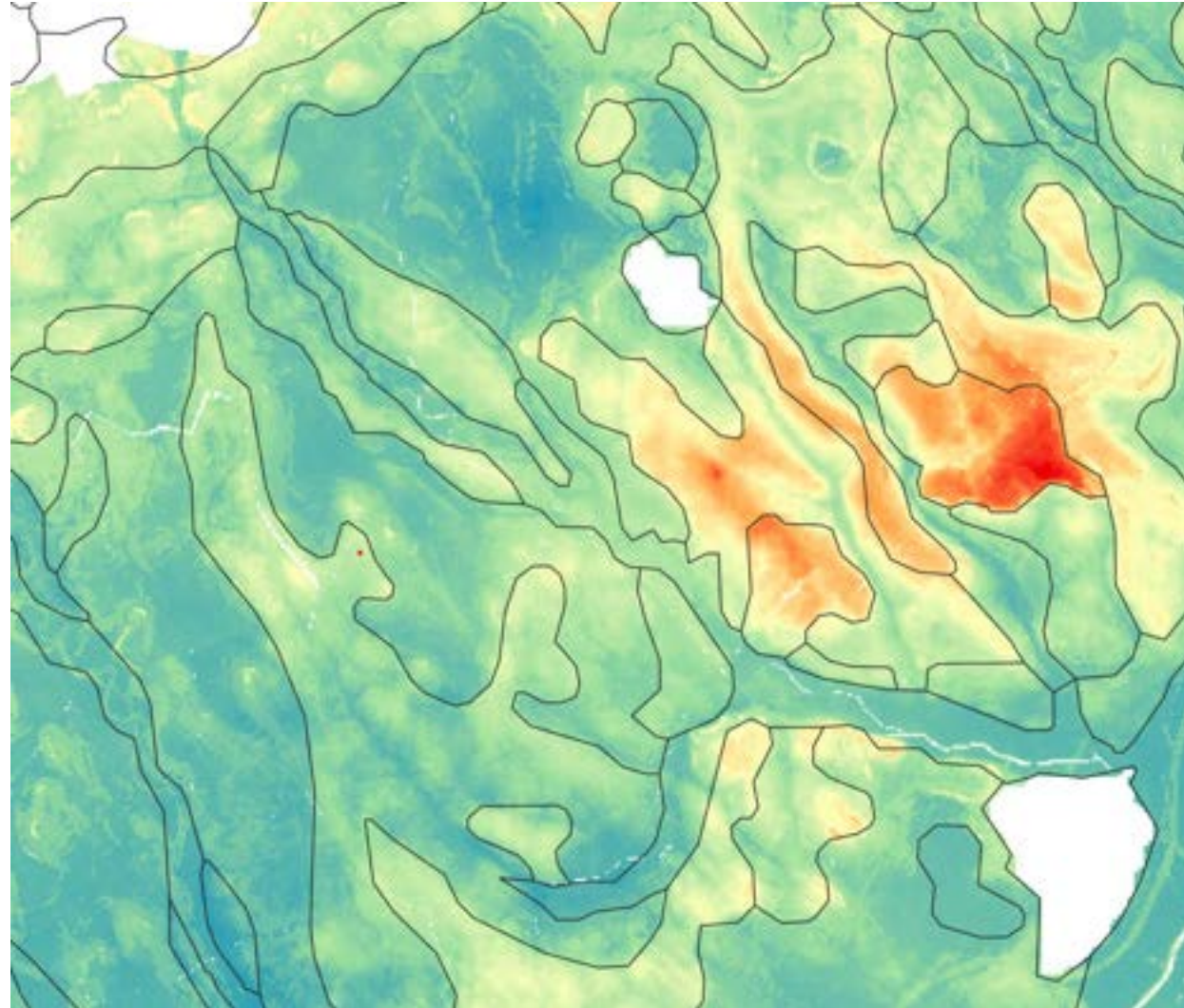
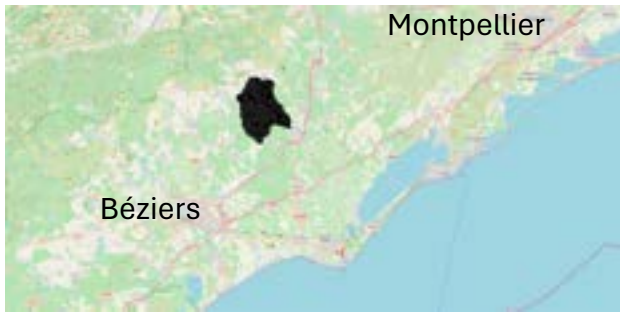
Valeurs prédites



Incertitudes

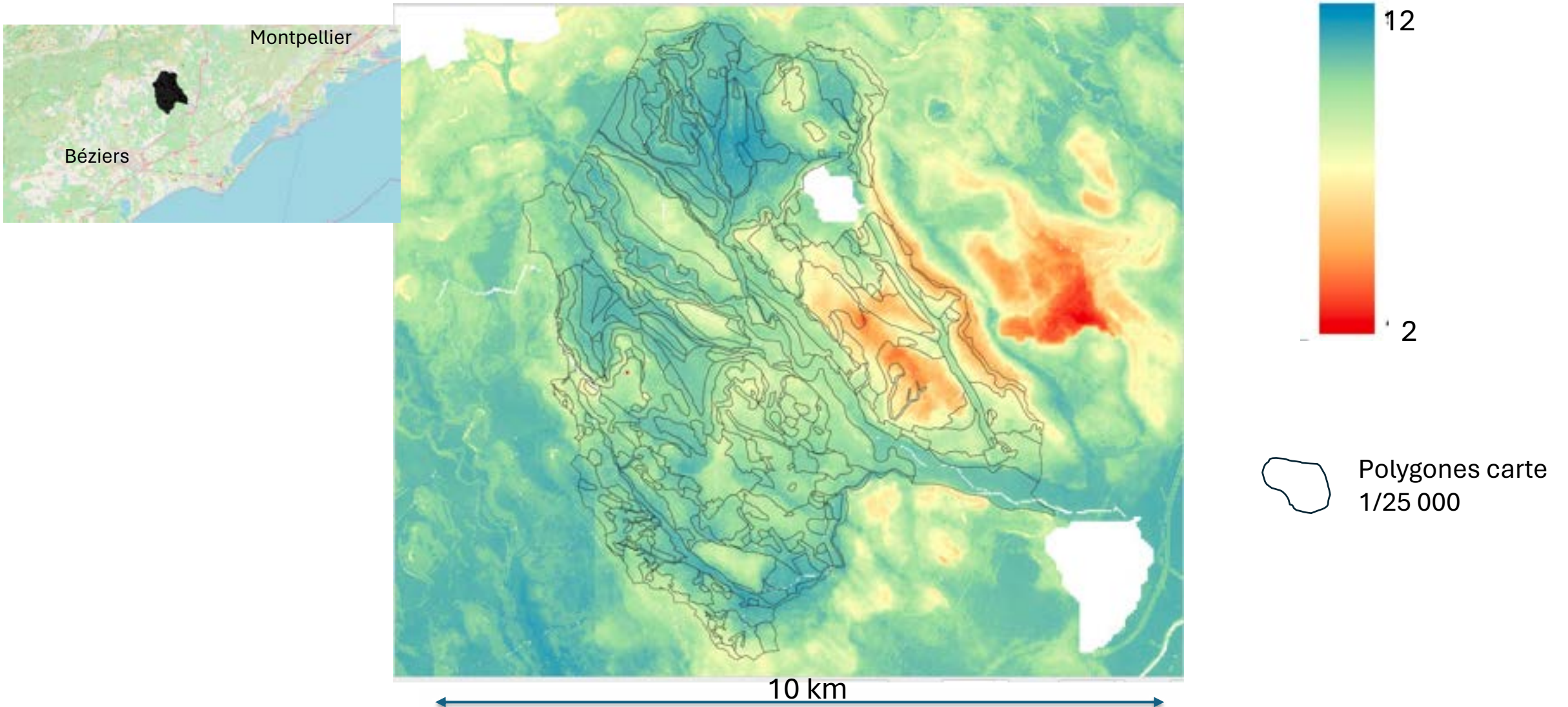
% de variabilité de l'indice de multifonctionnalité des sols représentée: calculs en cours

Cartes d'Indice de Multifonctionnalité et RRP



 Polygones du RRP

Cartes d'indice de multifonctionnalité et carte 1/25 000 BV Payne (*Coulouma et al, 2004*)



Pourquoi appliquer la CSMS à l'échelle d'une région ?

- Augmenter la résolution spatiale de la connaissance régionale des sols
- Expliciter et zoner l'incertitude cartographique pour mieux la prendre en compte
- Diversifier l'offre en information géographique sur les sols pour satisfaire plus d'utilisateurs
- Permettre d'organiser dans le temps la montée en qualité de la connaissance régionale des sols (cartes révisables)

CSMS : Les limites actuelles et les solutions envisagées

Incertitudes résiduelles non négligeables dues à l'inaptitude des modèles à représenter les variations de sol très locales



- Augmenter la densité spatiale des observations de sol
- Développer des approches de CSMS locale et participatives

Difficultés de prendre en compte l'incertitude dans les décisions



- Développer des visualisations des produits CSMS adaptées à la décision en contexte incertain (Léa Courteille, demain)

Difficultés d'appropriation de la CSMS par des « non-académiques »



- Organiser le transfert de technologie CSMS (Mawuclo Hounkpatin Totin, Anne Richer de Forges, demain)
- Simplifier les démarches de CSMS

Retrouvez toutes les présentations pour le Séminaire

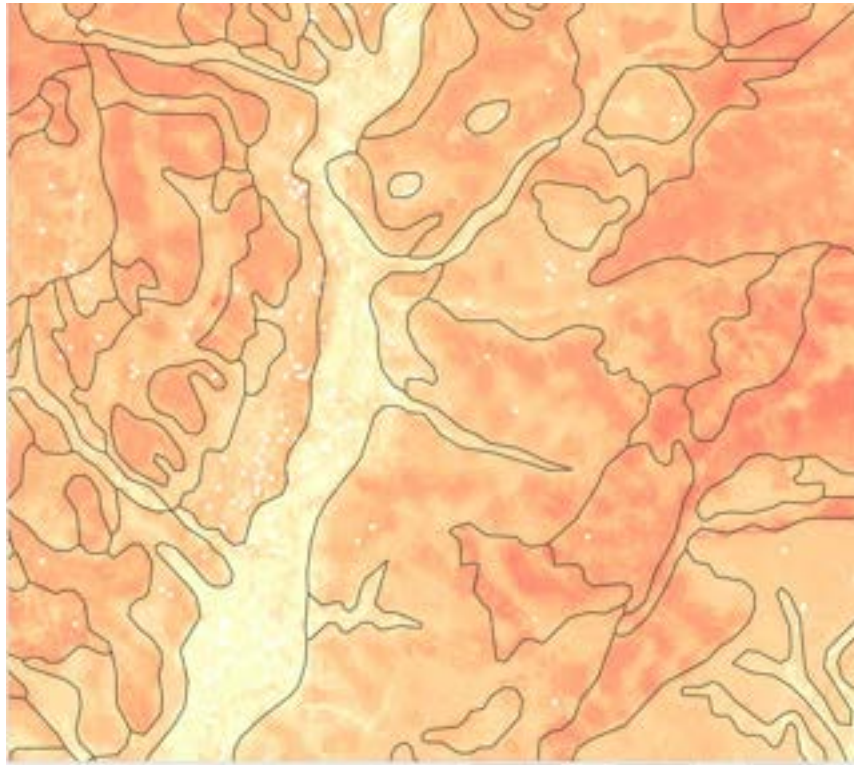
LA CONNAISSANCE DES SOLS AU SERVICE DES PROJETS DE TERRITOIRES

Sur lien de la page

Comparaison des versions de cartes de Réservoir Utile du sol

2019

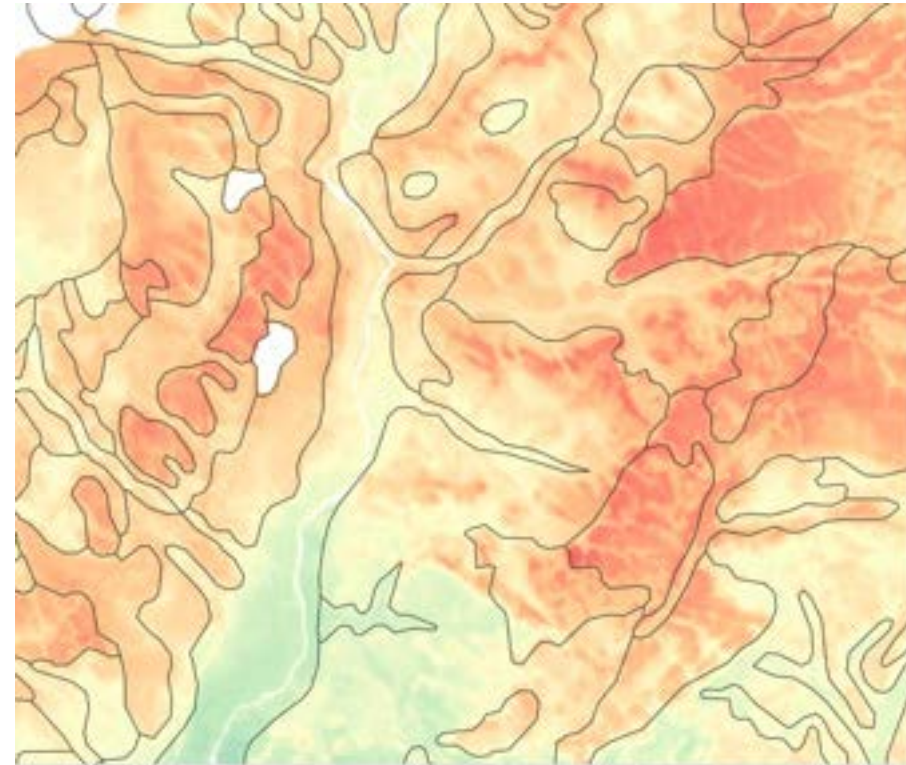
1 profil / 13.5 km²



10 km

2024

1 profil / 1.3 km²



Comparaison des versions de cartes de Réservoir Utile du sol

2019

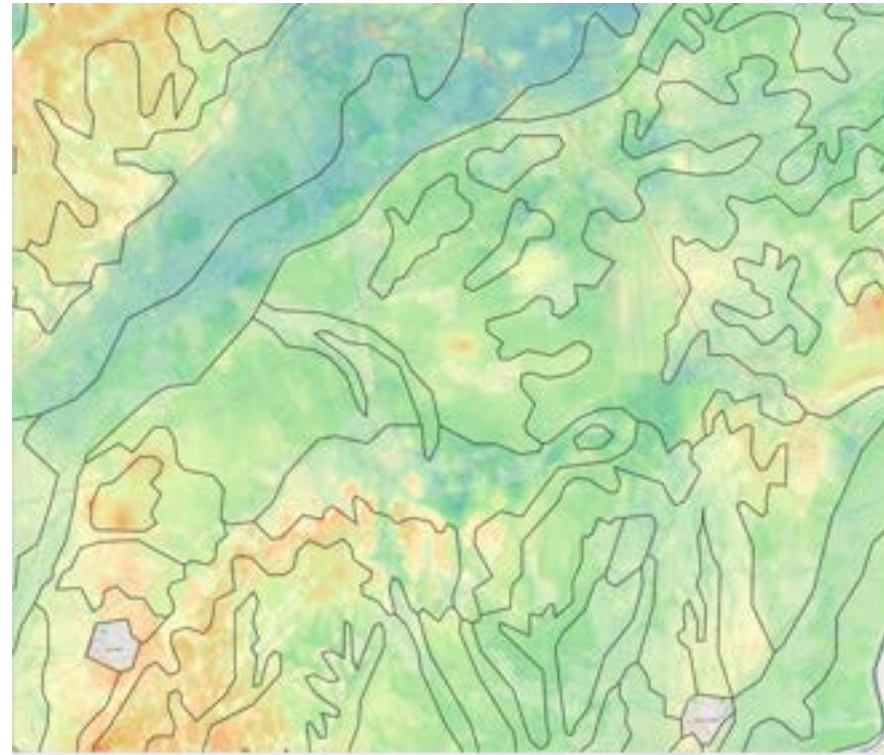
1 profil / 13.5 km²



10 km

2024

1 profil / 1.3 km²



Comparaison des versions de cartes d'indice de multifonctionnalité des sols

2022

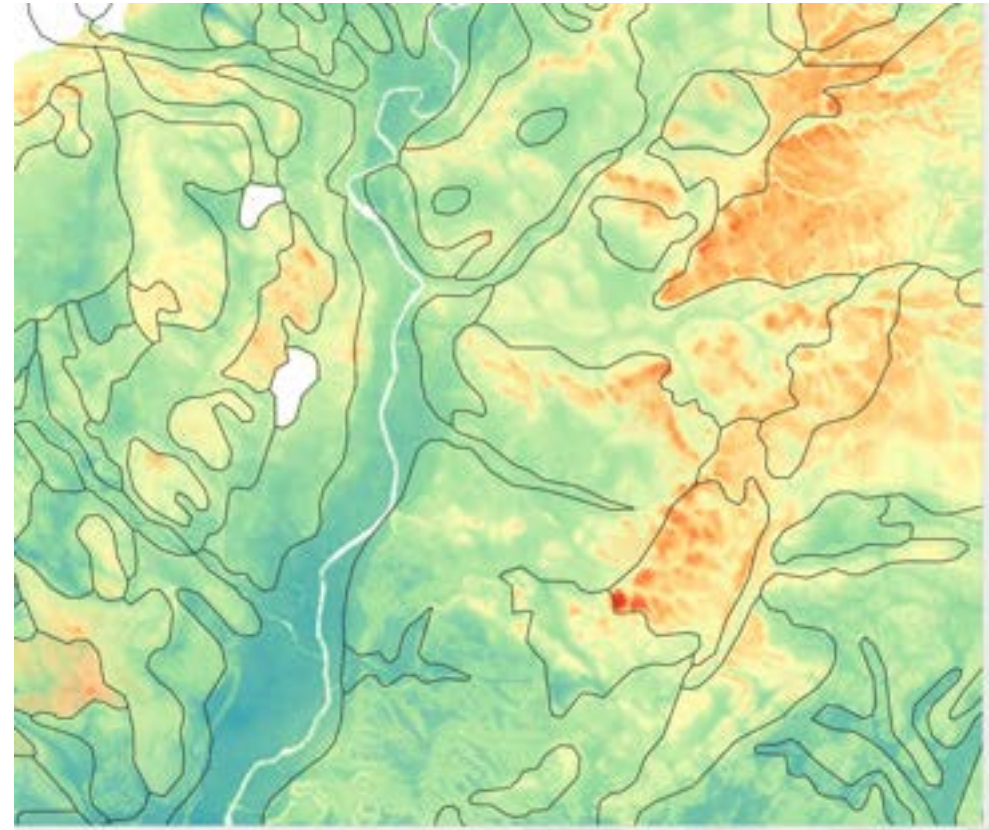
1 profil / 9,9 km²



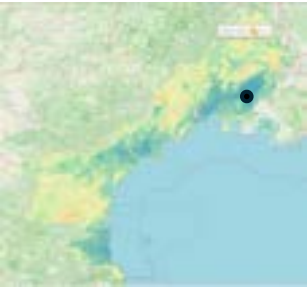
10 km

2024

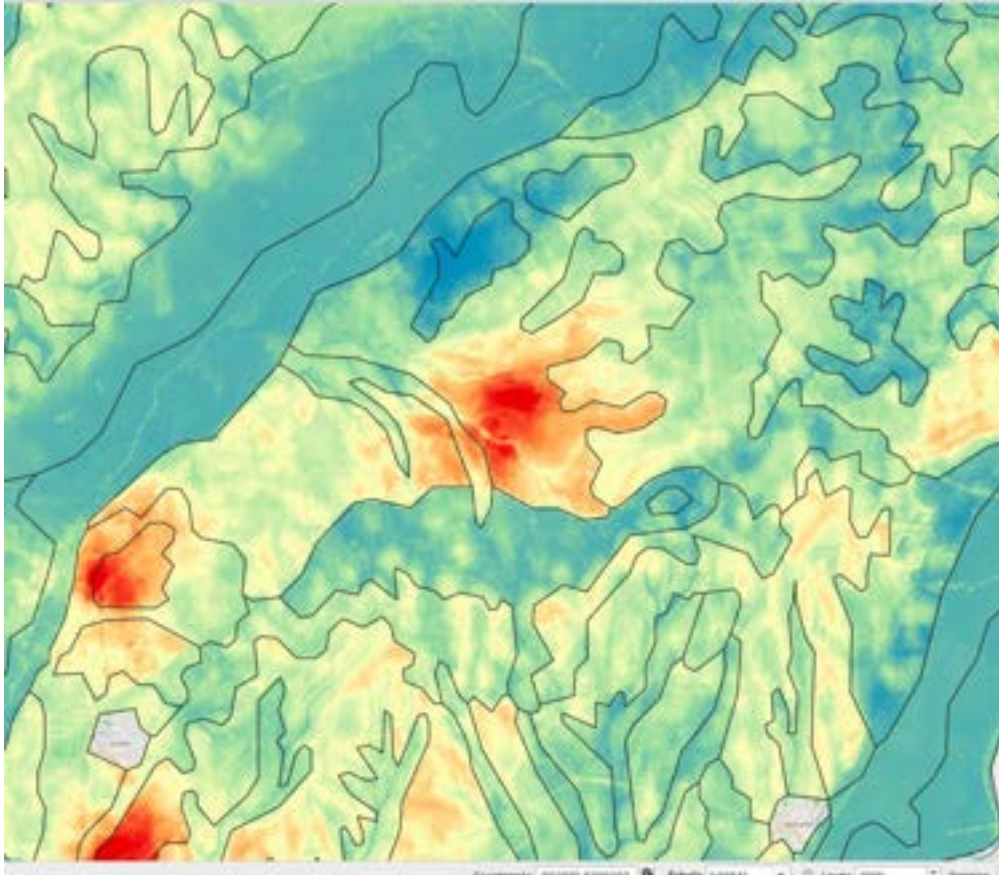
1 profil / 1.3 km²



Comparaison des versions de cartes d'indice de multifonctionnalité des sols



2022
1 profil / 9,9 km²



2024
1 profil / 1.3 km²

