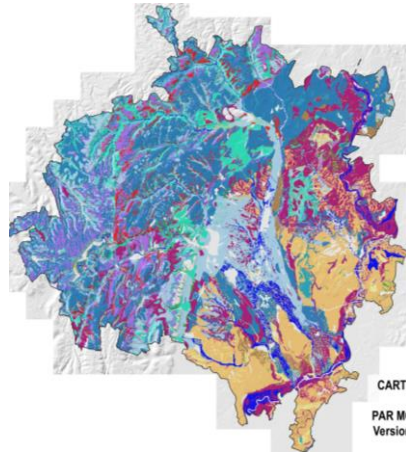




Un couplage humain-machine pour cartographier les sols de l'aire urbaine de Dijon Métropole : une association entre cartographie experte, géomorphologie et Digital Soil Mapping



C. Collin-Bellier, J. Constans, A. Poiraud, A. Hermant, M. Lechenet, M. Blondon, L. Bargeot, E. Matagne, P.-A. Maron, A. Christel, F. Mercier, J. Villerd, W. Horrigue, L. Ranjard, N. Chemidlin Prévost-Bouré*



Opération 4 Référentiel territorial qualité des sols		
Opé. 2 Indicateurs qualité des sols	Opé. 5 Numérique	Opé. 3 Indicateurs qualité de l'eau
Opé. 1 Cartographie des sols et de leurs propriétés		



Notre Ambition : Dijon Métropole, territoire démonstrateur de la transition vers un système alimentaire durable

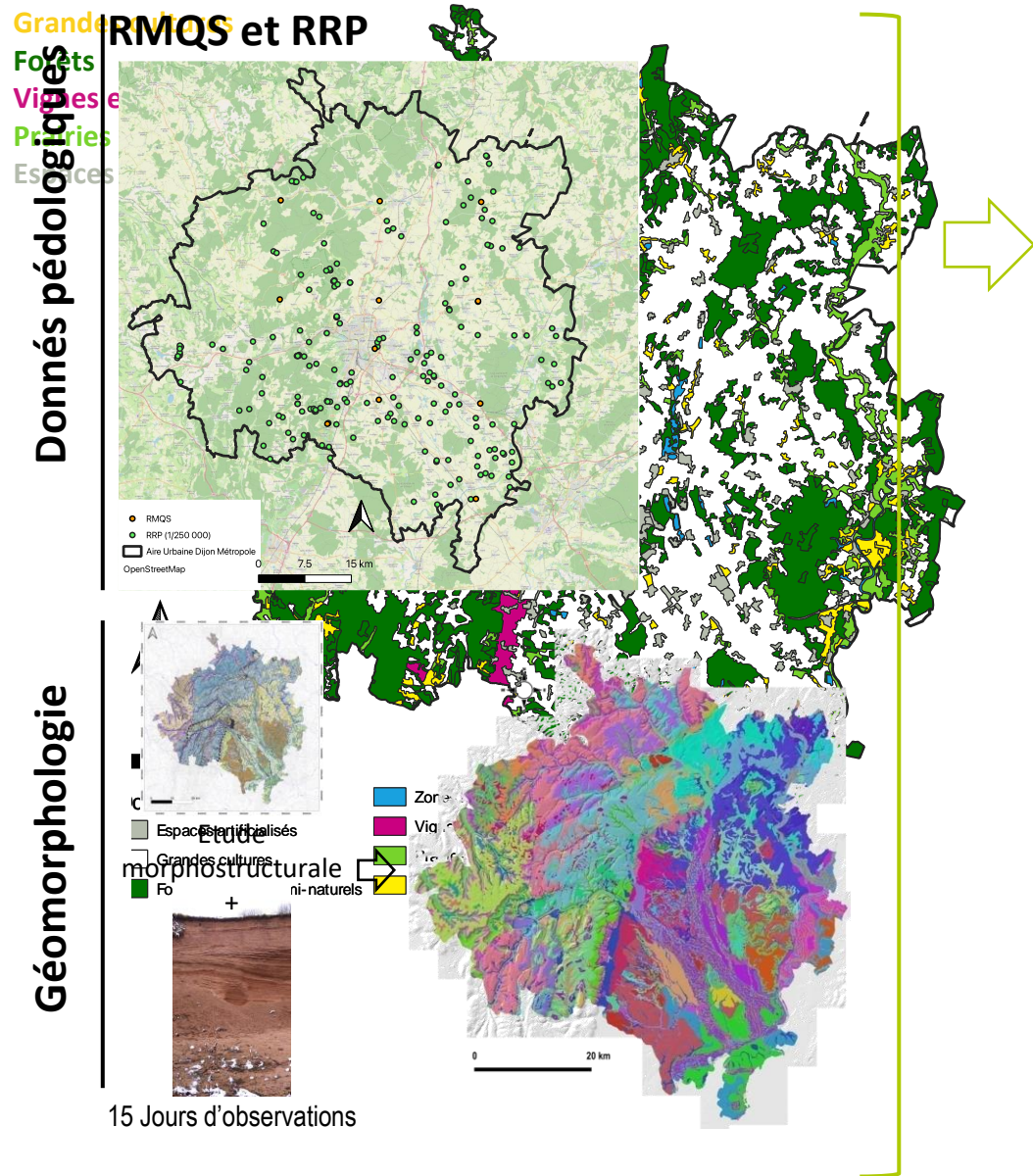


Objectif

Produire une cartographie affinée des types de sols et de leurs propriétés à l'échelle de l'aire urbaine de Dijon Métropole.

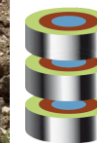
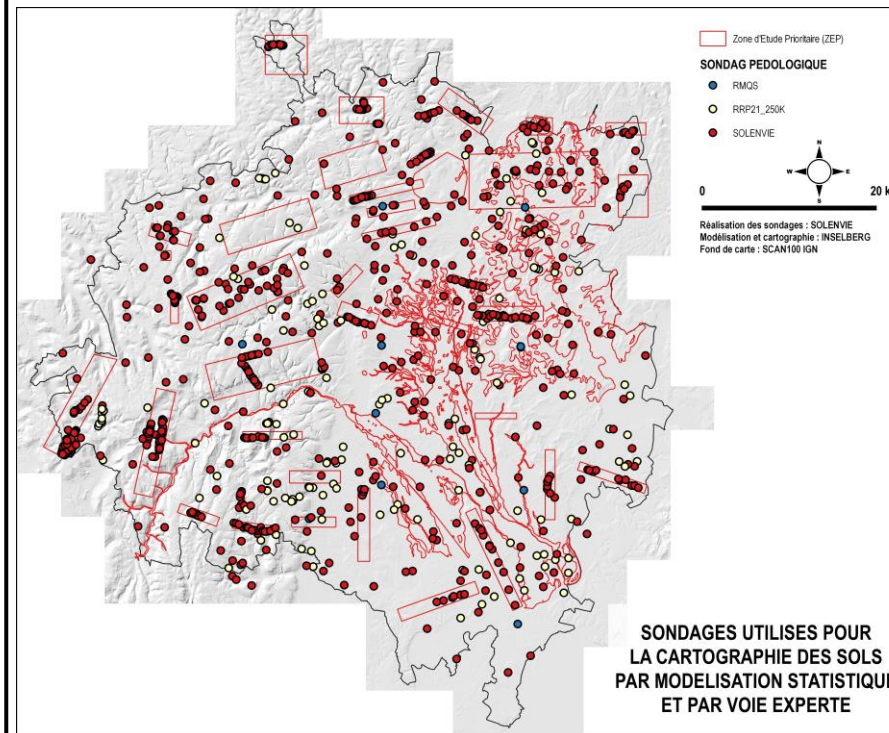
Méthodologie: Stratégie d'échantillonnage

Aire Urbaine de Dijon Métropole: 330 000 ha



Stratégie d'échantillonnage

1000 sondages



DonesolMobile

<https://github.com/AgaricIG/DonesolMobile>

AGARIC-IG

validation

Cartographie des GER : Experte ↔ CSMS

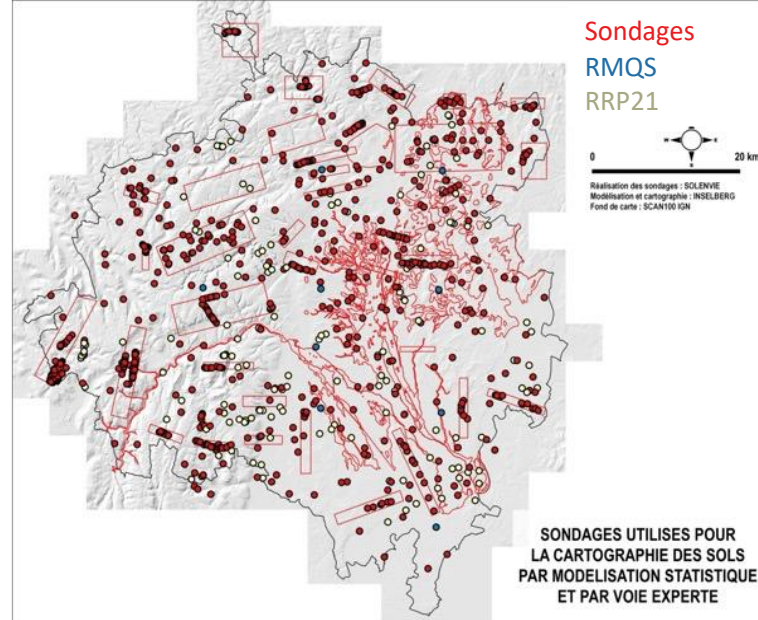
Informations disponible & temps de calcul

➔ Echelle: 1/65 000

➔ Résolution: 35m

Variable modélisée

Grands Ensembles de Référence

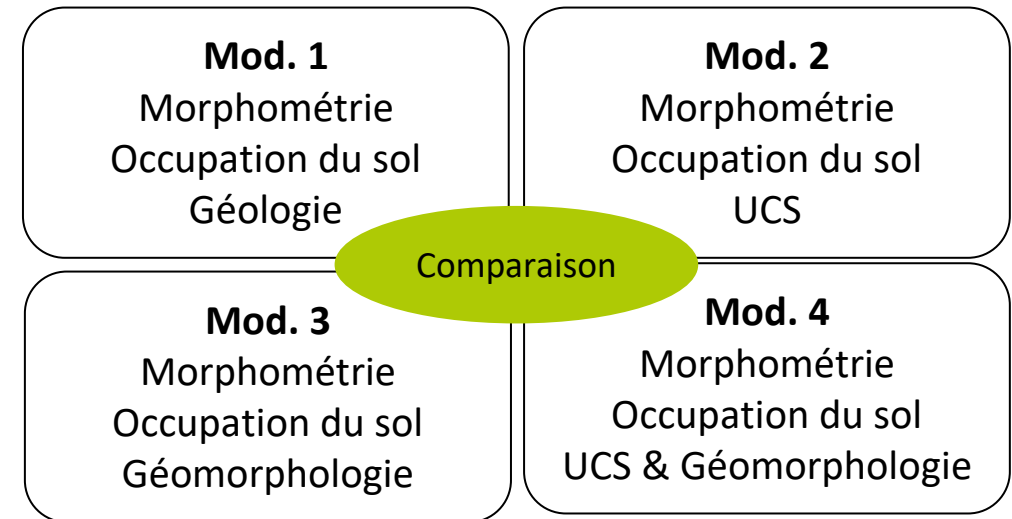


Covariables

- **Morphométrie (RGE 5m rééchantillonné à 35m, $|r| < 0.6$)**
Orientation, pente, Propension à l'érosion diffuse, Altitude relative au fond de thalweg, Vallons secs, Propension à la saturation hydraulique, Position sur le versant, Densité des failles, Zone d'interfluve, Microtopographie, Courbure
- **Occupation du sol (UE)**
- **Unités géologiques (BD CHARM, BRGM)**
- **Unités cartographiques des sols (RRP, IGCS, INRAe Info&Sol)**
- **Unités géomorphologiques**

Modélisation & Machine learning

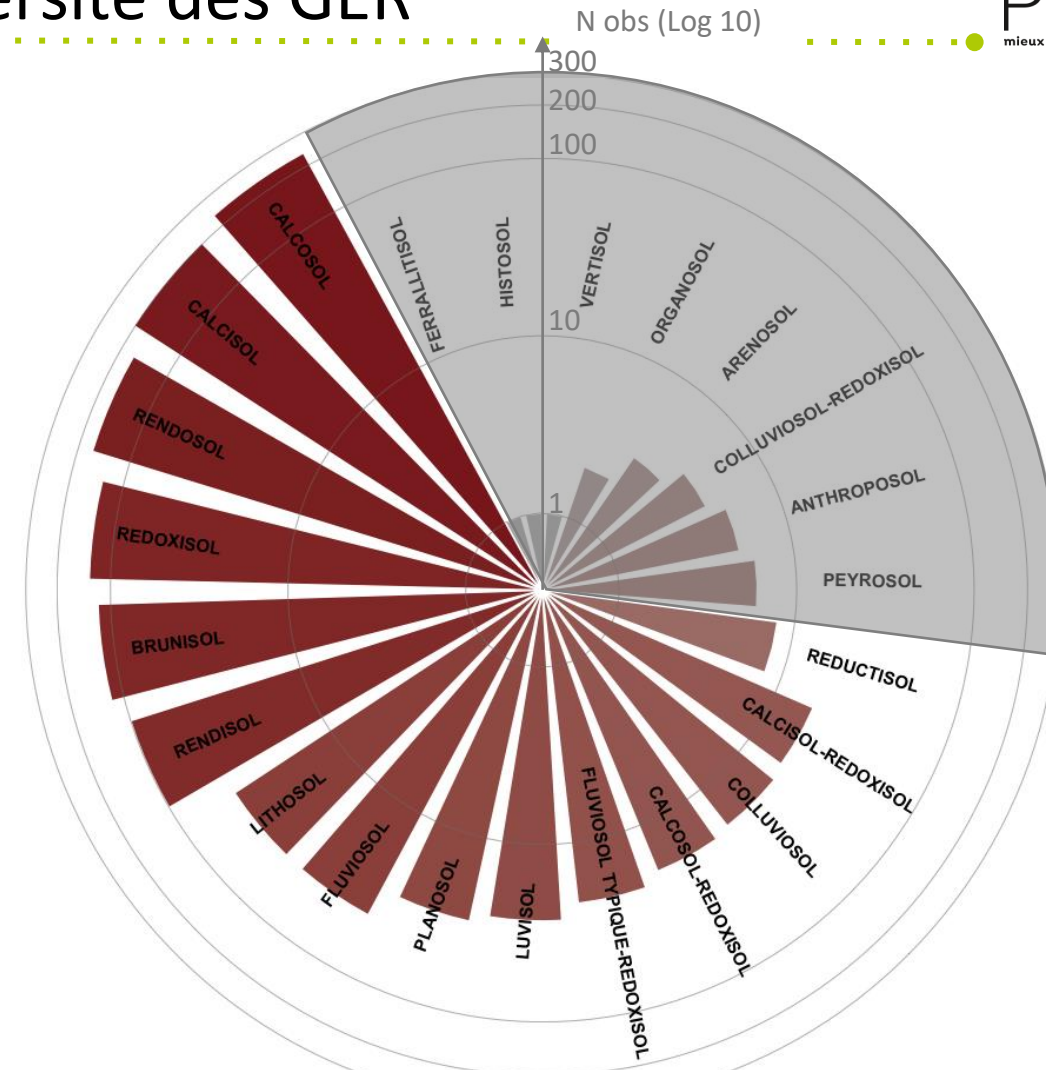
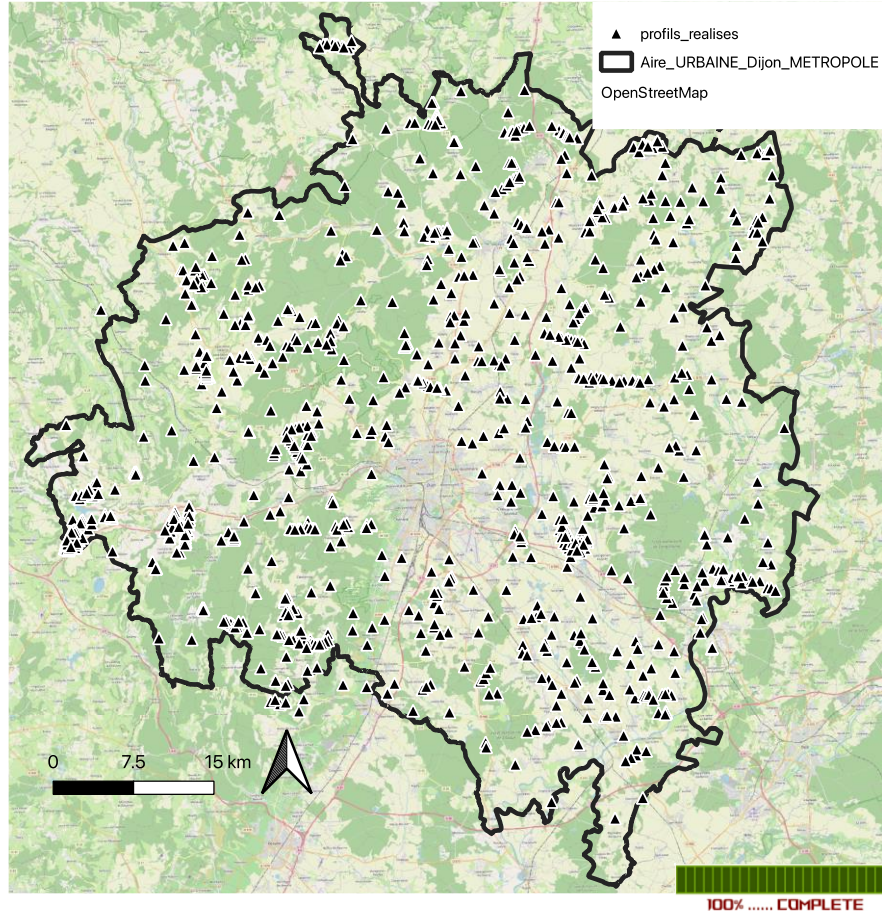
Boosting classification
70% training et 30% test
Variables normalisées
500 arbres par run // 20 runs



Classe dominante par pixel
Occurrences de la classe dominante par pixel
➔ *F1-Score / Area Under Curve (AUC) / Test Accuracy*



Résultats: Sondages pédologiques et diversité des GER



- ➔ BDD vérifiée et consolidée (DoneSol Web 3)
- ➔ 1208 profils pédologiques (ProDij + RMQS +RRP) à l'échelle de l'Aire Urbaine

- ➔ Grande diversité de types de sols
- ➔ Des GER dominants en accord avec les observations antérieures
- ➔ Exclusion des GER ayant un nombre d'observations trop faible de la démarche de modélisation

→ Entre variables explicatives

<i>Cramer's V</i>	CLC2018	GEOL	UCS
CLC2018			
GEOL	0.287		
UCS	0.52	0.53	
UG	0.371	0.975	0.569

- Les variables explicatives ne sont pas complètement indépendantes
- L'association est particulièrement forte entre a Géologie et les unités géomorphomogiques
- pas d'utilisation des deux variables dans le même modèle

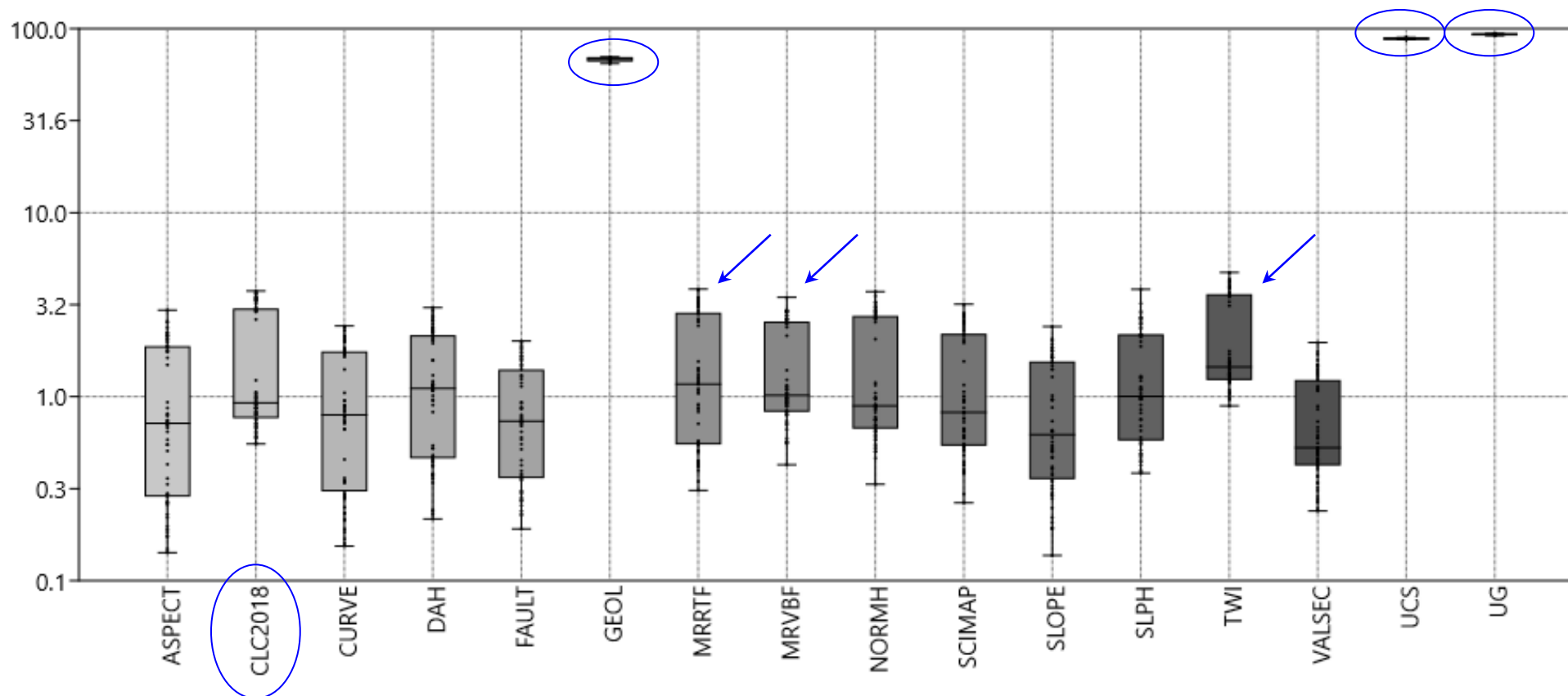
→ Entre variables explicatives et variable à modéliser

Tableau de contingence et test d'indépendance conditionnelle (Watson & Wright, 2021 doi:10.1007/s10994-021-06030-6)

VARIABLES	CLC2018	GEOL	UCS	UG
N	1176	1176	1176	1176
Khi ²	410	1801	2749	2608
dF	154	560	756	1246
P-value	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
Coeff. Contingence	0.51	0.778	0.837	0.83
V de Cramer	0.178	0.331	0.409	0.398

- Peu d'influence de la couverture végétale
- Influence significative de la Géologie
- Influence significative des Unités cartographiques de sols et des unités géomorphologiques

Contributions des variables aux différents modèles confondus

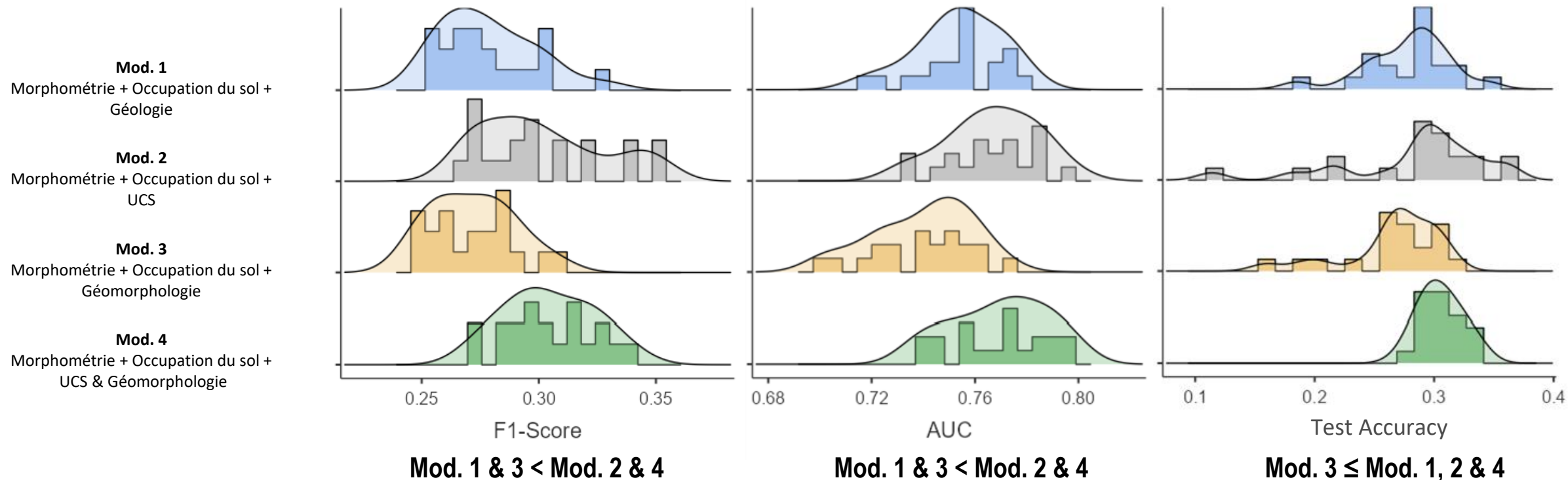


➔ Contribution des variables

Géologie, Unités cartographiques des Sols, Unités géomorphologiques > Occupation du sol, variables morphométriques

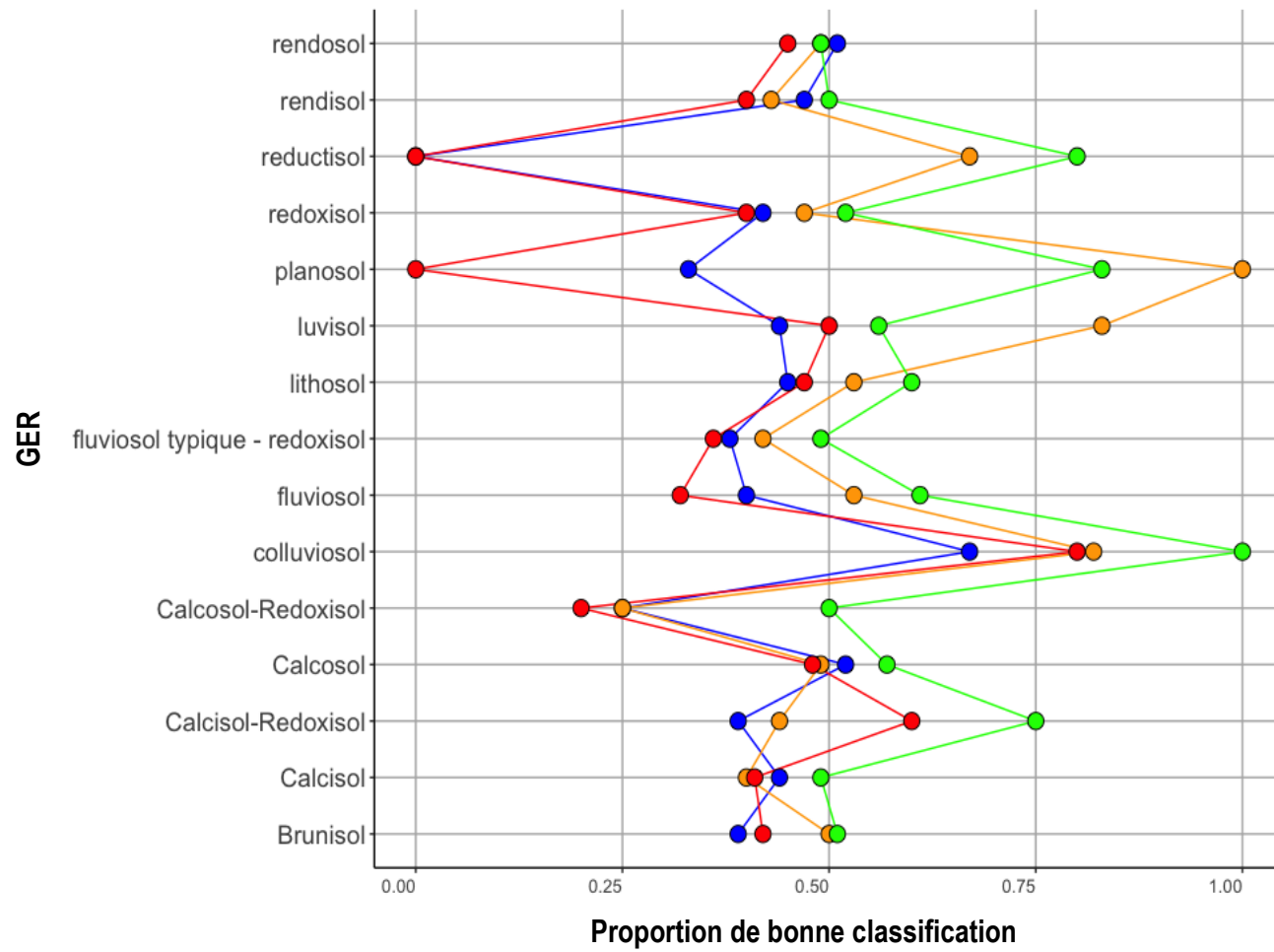
➔ Au sein des variables morphométriques: TWI & MRVBF/MRRTF ont un poids légèrement plus important.

Résultats: Comparaison des performances des modèles



- ➔ La variable UCS augmente les performances du modèle sur l'échantillon de test, mais est plus volatile que les variables Géologie et Unité Géomorphologiques
- ➔ La variable Unité Géomorphologiques seule est moins performante que les variables Géologie et UCS seules, ce qui peut être associé au caractère au caractère globalisant des GER par rapport aux Unités typologiques de sols
- ➔ **La combinaison des variables UCS et Unités Géomorphologiques rend le modèle au moins aussi performant que l'utilisation des seules UCS; et surtout augmente sa stabilité et réduit sa volatilité.**

Résultats: Comparaison des performances des modèles par GER



➔ Le modèle incluant les UCS prédit mieux les GER que les modèles n'incluant que la Géologie ou les unités géomorphologiques.

➔ Le modèle n'incluant que les unités géomorphologiques est en général moins performant hormis pour des sols dont la formation est à fortement associée à la topographie.

➔ Le modèle associant les UCS et les unités géomorphologiques est presque systématiquement meilleur que les modèles unitaires (gains compris entre 0% et 30%), hormis pour les luvisols et planosols du secteur de la plaine alluviale.

Mod. 1

Morphométrie + Occupation du sol + Géologie

Mod. 3

Morphométrie + Occupation du sol + Géomorphologie

Mod. 2

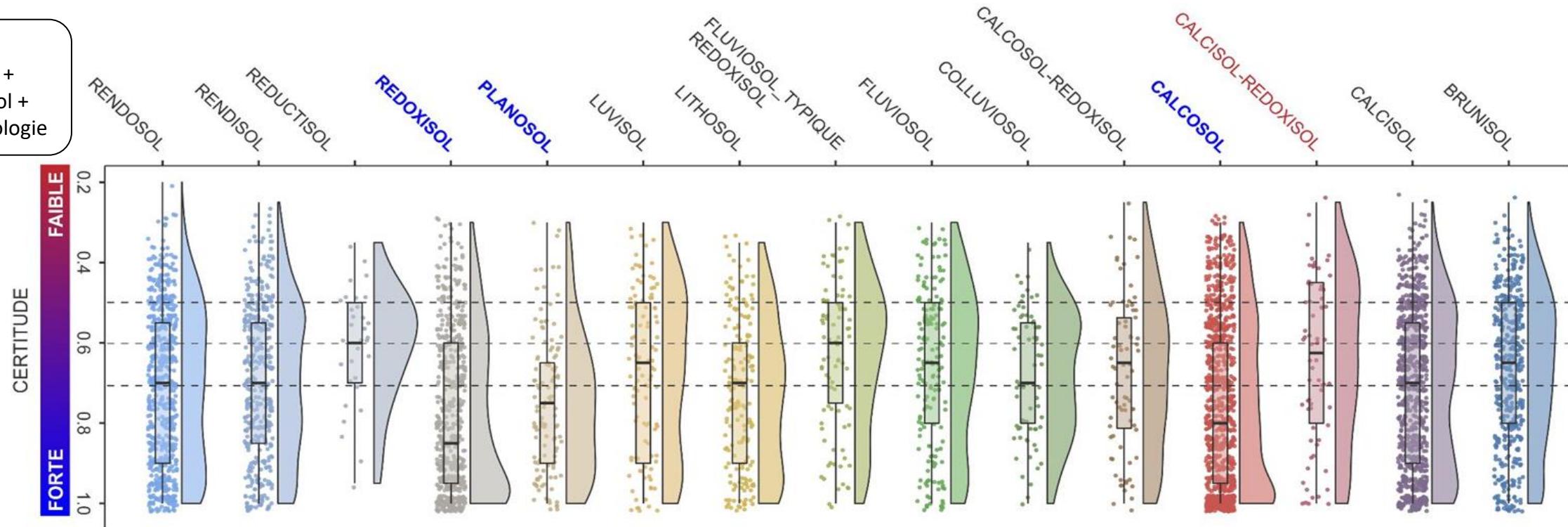
Morphométrie + Occupation du sol + UCS

Mod. 4

Morphométrie + Occupation du sol + UCS & Géomorphologie

Résultats: Incertitude associée à la prédiction des GER

Mod. 4
Morphométrie +
Occupation du sol +
UCS & Géomorphologie



GER bien prédictibles: Médiane > 0.7

GER prédictibles avec des incertitudes: $0.5 < \text{Médiane}$ et $Q_{25} < 0.7$

GER difficilement prédictibles: $Q_{25} < 0.5$

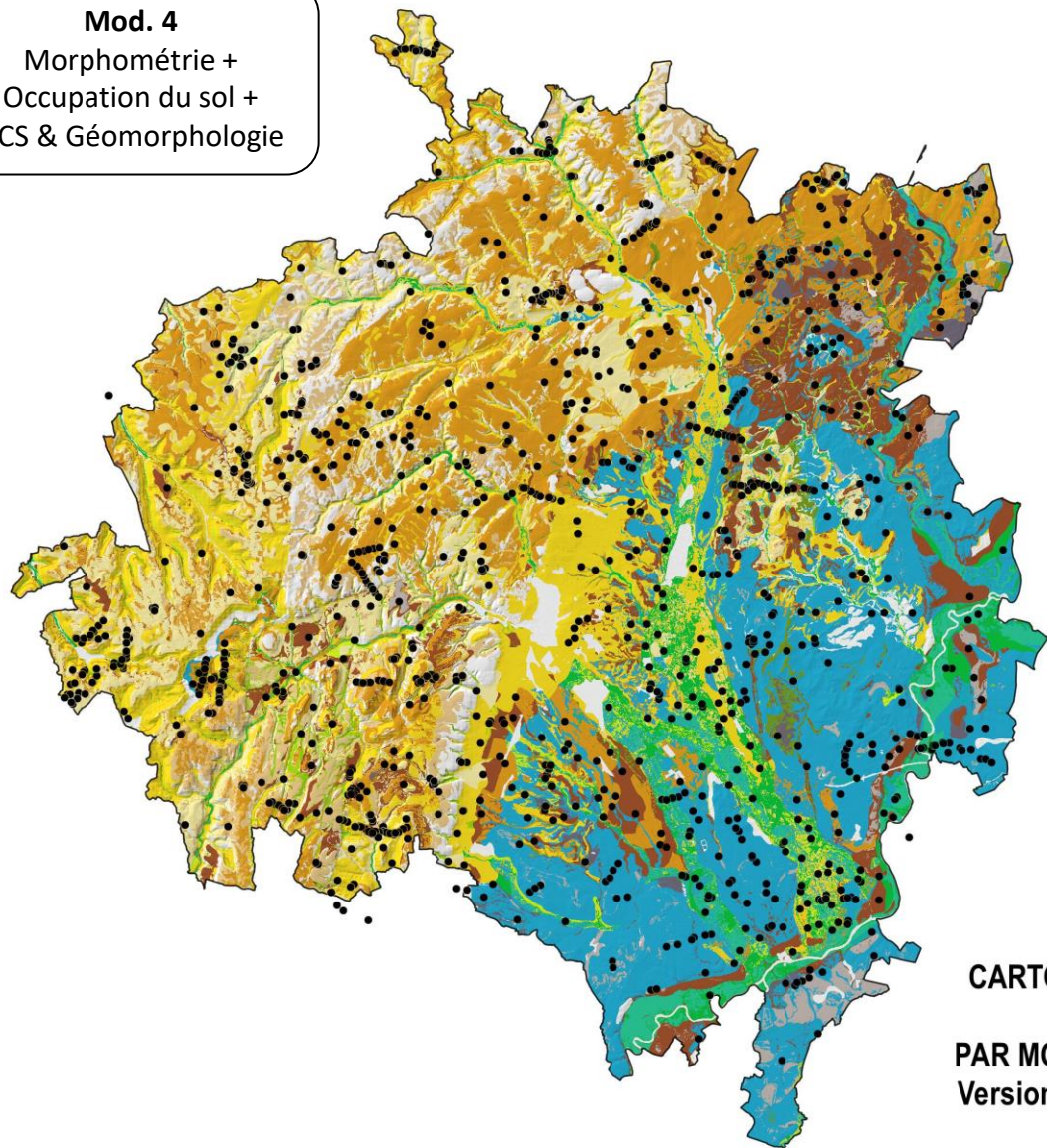
➔ La majorité des GER présente un médiane > 0.6

➔ Plus de 75% des GER ont des certitudes > 0.5 mais certains GER restent très difficilement prédictibles.

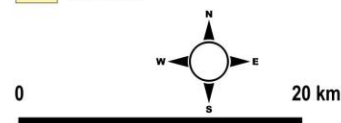
Résultats: Carte des GER et carte de certitude

Mod. 4

Morphométrie +
Occupation du sol +
UCS & Géomorphologie

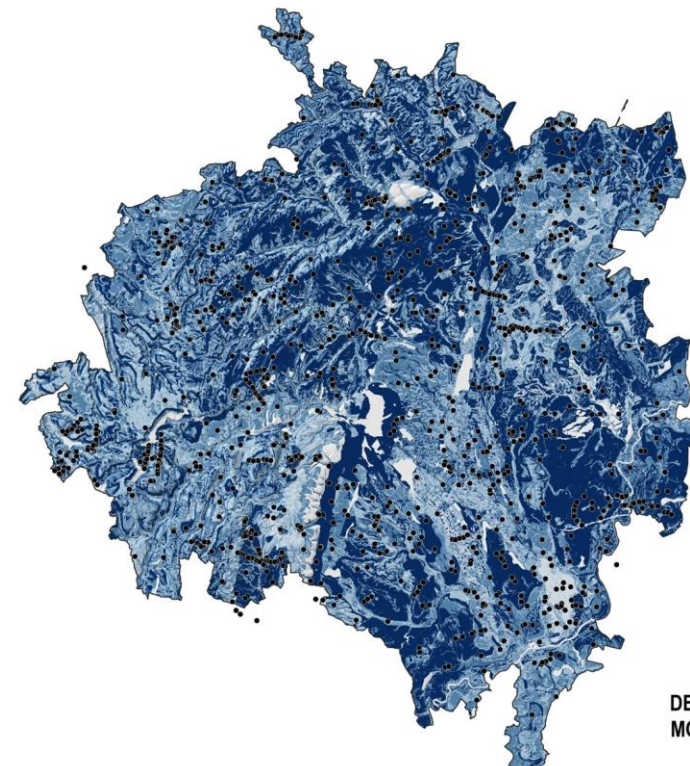


- GER
- BRUNISOL
- CALCISOL
- CALCISOL-REDOXISOL
- CALCOSOL
- CALCOSOL-REDOXISOL
- COLLUVIOSOL
- FLUVIOSOL
- FLUVIOSOL TYPIQUE-REDOXISOL
- LITHOSOL
- LUVISOL
- PLANOSOL
- REDOXISOL
- REDUCTISOL
- RENDISOL
- RENDOSOL



Réalisation des sondages : SOLENVIE
Modélisation et cartographie : INSELBERG
Fond de carte : SCAN100 IGN

**CARTOGRAPHIE DES TYPES DE SOLS (GER)
PAR MODELISATION STATISTIQUE**
Version de travail non stabilisée et non filtrée



Dominance of Majority

- Bande 1
- <= 0.2
- 0.2 - 0.4
- 0.4 - 0.6
- 0.6 - 0.8
- > 0.8



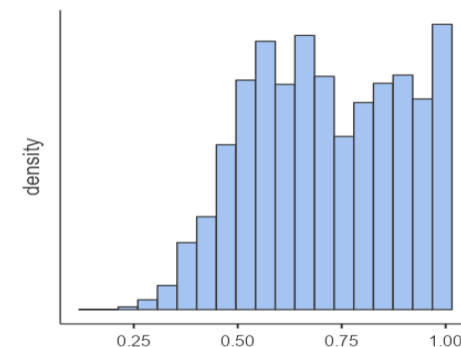
Réalisation des sondages : SOLENVIE
Modélisation et cartographie : INSELBERG
Fond de carte : SCAN100 IGN

Statistiques descriptives

	COMBI4
N	2584515
Moyenne	0.715
Médiane	0.710
Ecart-type	0.181
Minimum	0.150
Maximum	1.00
25-ième percentile	0.570
50-ième percentile	0.710
75-ième percentile	0.870

DEGRE DE CERTITUDE DE LA MODELISATION STATISTIQUE

Version de travail



Mod. 4

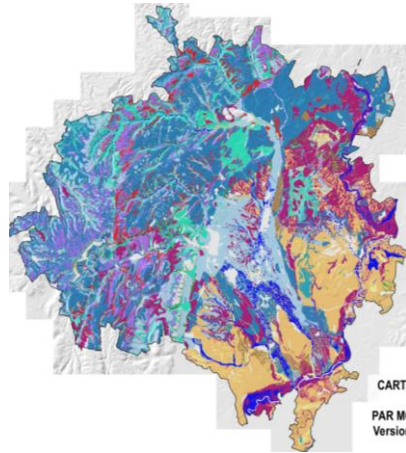
➔ Carte affinée: 1/250 000 → 1/65 000

➔ Degré de certitude supérieur à 0.6 dans la majorité des cas

- La variable géomorphologique consolide et améliore le modèle basé sur les UCS (gains significatifs de performance prédictive sur certains GER (calcisol-redoxisol, calcosol-redoxisol, colluviosol, reductisol, *calcisol*)
- Le processus de *machine learning* par Boosting ou Random Forest tend à écraser les contributions des variables morphométriques au profit des variables intégrées (Géomorphologie, UCS, Géologie) → perte de finesse dans la discrimination spatiale des GER que la variable géomorphologique compense partiellement
- Globalement, les incertitudes des tous les modèles sur l'échantillon de sondages sont convenables mais il demeure des zones de forte volatilité des résultats (coteaux, la Plaine et sur les versants de la Montagne)
 - Intégration de données externes supplémentaires:
 - Cartes 1/100 000 de J Chrétien
 - Cartes 1/10 000 côte viticole (coll. BE Adama)



Un couplage humain-machine pour cartographier les sols de l'aire urbaine de Dijon Métropole : une association entre cartographie experte, géomorphologie et Digital Soil Mapping



C. Collin-Bellier, J. Constans, A. Poiraud, A. Hermant, M. Lechenet, M. Blondon, L. Bargeot, E. Matagne, P.-A. Maron, A. Christel, F. Mercier, J. Villerd, W. Horrigue, L. Ranjard, N. Chemidlin Prévost-Bouré*

