



COMPARAISON DE METHODES PREDICTIVES DE LA QUALITE DES SOLS PAR SPECTROSCOPIE PROCHE INFRAROUGE A L'ECHELLE NATIONALE

S.TRUPIN-MAUDEMMAIN, F.AMMARI, A.CROGUENOC, B.MAHAUT, C.BAR

ARVALIS – Institut du végétal

Service Qualité et Valorisations - Pôle analytique

Boigneville (91)



Equipe projet



- ARVALIS – Institut du végétal

Service Agronomie, Economie et Environnement

Christine Le Souder, Caroline Desbourdes, François Laurent

- AUREA AgroSciences The logo for Aurea AgroSciences, featuring the word 'Aurea' in a green sans-serif font with a horizontal bar above the 'e', and 'AgroSciences' in a smaller grey sans-serif font below it.

Marie-Agnès Bourdain, Matthieu Valé, Hubert Roebroek, Laurence Leroy

Sommaire

- Description du projet
- Principe de la Spectroscopie Proche Infrarouge
- Description des bases de données
- Performances des calibrations
- Exemples d'application (modulation intra-parcellaire)
- Conclusion et perspectives

Description du projet

▪ Enjeu

Mettre à la disposition d'AUREA et de nos équipes régionales un **outil de mesure de la composition des sols** qui soit à la fois rapide, fiable, simple d'utilisation et peu coûteux.

▪ Paramètres ciblés

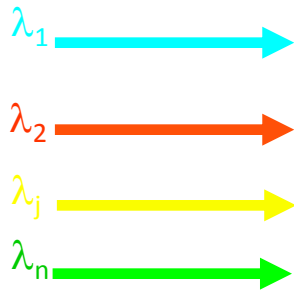
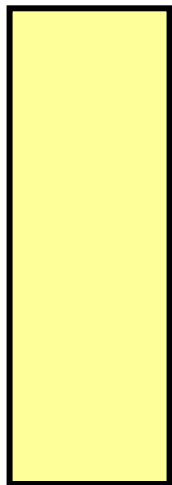
- ✓ Physiques : argile, limon, sable, CaCO₃ (carbonate)
- ✓ Chimiques : pH, CEC
- ✓ Organiques : C_{org}, N_{total}
- ✓ Nutritionnels : P, K, Mg, Ca, oligo-éléments (B, Zn, Cu, Fe)

Principe de la spectroscopie proche infrarouge SPIR ou NIRS

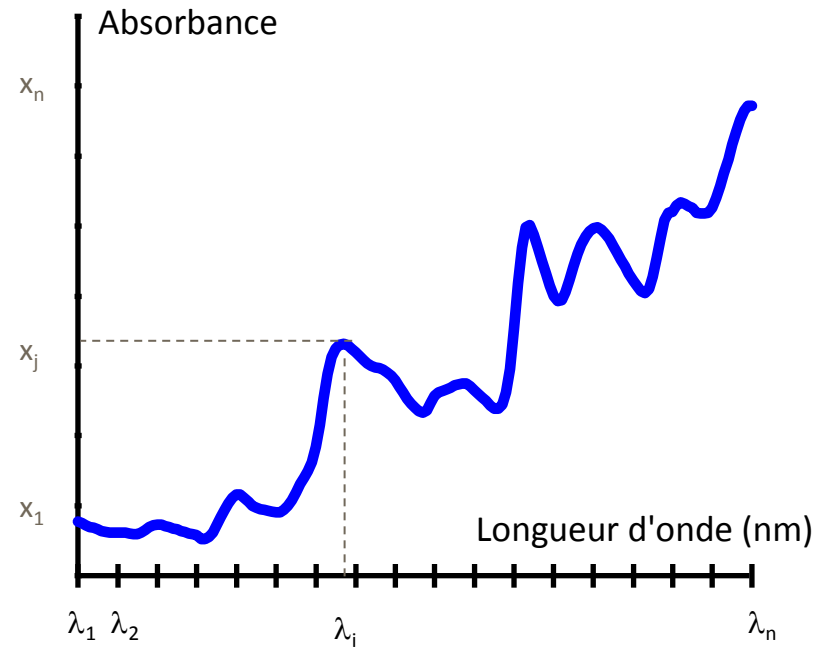
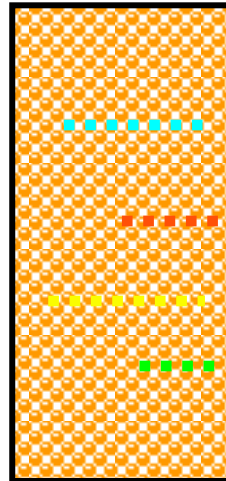
Méthode d'analyse indirecte ou dite alternative basée sur :

- Une mesure physique
- Une interaction rayonnement – matière : vibration des molécules
- Une calibration ou équation d'étalonnage

Source lumineuse

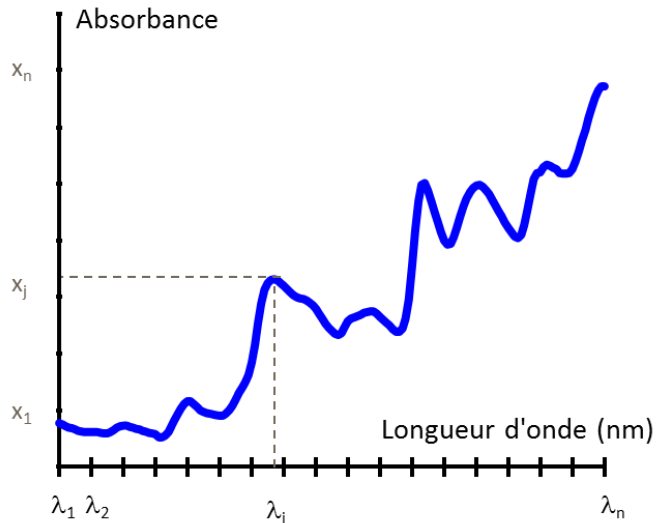


Echantillon



Gamme spectrale : 800 - 2500 nm ou 4000 - 12500 cm⁻¹

Principe de la spectroscopie proche infrarouge SPIR ou NIRS



Etape de
transformation
mathématique

Propriété d'intérêt
(ex. concentration)



calibration ou équation d'étalonnage ou modèle

- **Une base de données référencées**
 - Large collection d'échantillons différents et représentatifs
 - Chaque échantillon est analysé sur le spectromètre et au laboratoire suivant la méthode de référence
- **Une méthode de calcul (régression multivariée)**
- **Des performances (critères statistiques)** établies lors du développement du modèle et pour une gamme donnée

Base de données laboratoire

- Appareil de laboratoire : XDS de FOSS
- Echantillons tamisés à 2 mm et séchés à 38°C
- 10 800 échantillons référencés par AUREA AgroSciences
- Couverture géographique : France entière
- 13 grands types de textures (argile, argile limoneuse, argile limoneuse calcaire, argile sableuse, argilo calcaire, craie, limon, limon argileux, limon argileux calcaire, limon calcaire limon sableux, sable, sable calcaire)
- 5 usages différents (78% grandes cultures, 12% espaces verts, 7% viticulture, 2% arboriculture, 1% maraichage)



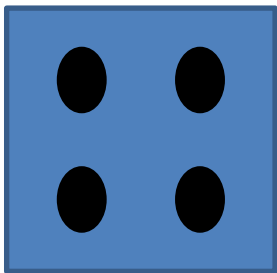
Base de données terrain

- Appareil portable : LabSpec® de ASD Inc.
- Couverture géographique : France entière (sols agricoles uniquement)
- Profondeur des prélèvements = 0 – 20 cm
- Tarière de type Edelman
- 3 années de prélèvement et 3 saisons
- 12 grands types de textures (argile, argile limoneuse, argile limoneuse calcaire, argilo calcaire, craie, limon, limon argileux, limon argileux calcaire, limon calcaire, limon sableux, sable et sable calcaire)



Base de données terrain

- \approx 1000 échantillons prélevés et référencés par AUREA Agrosociences
- Chaque point est géoréférencé
- Analyse avec le spectromètre sur carotte brute :
1 site de prélèvement
= 4 carottes brutes



3 spectres par carotte
(2-3 cm, 10-12 cm et
15-17 cm)



12 spectres par
carotte

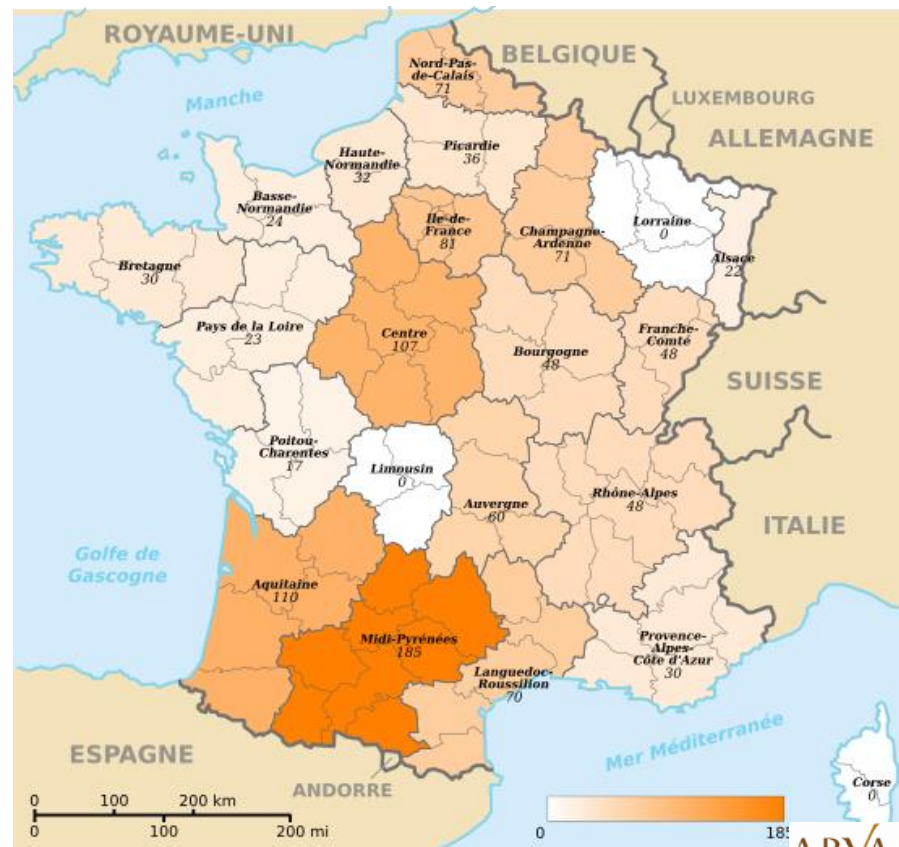
J-P. Gras, B.G. Barthès, B. Mahaut, S. Trupin, Best practices for obtaining and processing field visible and near infrared (VNIR) spectra of topsoils, *Geoderma* 214–215 (2014) 126–134

Représentativité géographique

Laboratoire



Terrain



Méthodes de référence

- Matière organique (%) (carbone organique x 1,72) : NF ISO 14235
- Azote total (%) : méthode DUMAS (NF ISO 13878)
- Argile (%) et Limon (%) : Analyse granulométrique après décarbonatation (X 31.107)
- Calcaire total (%) : NF ISO 10693
- Phosphore disponible (P_2O_5) ($mg\ kg^{-1}$) : méthode Olsen (NF ISO 11263)
- Potassium échangeable (K_2O) ($mg\ kg^{-1}$) : extraction à l'acétate d'ammonium (NF X 31.108)

Méthodes de traitement des données

- 3 méthodes de régression testées en fonction des logiciels utilisés :
 - ✓ Linéaires : PLS (terrain + labo) et PLS locale (labo)
 - ✓ Non linéaire : Réseaux de neurones artificiels (labo)
- Prétraitements mathématiques classiques appliqués aux spectres au préalable
- Méthode permettant d'obtenir les meilleures performances pour la base de données labo = PLS locale

Performances des calibrations

Laboratoire

		Matière organique (%)	N total (%)
Lot de calibration	N	7994	5953
	Gamme	0.4 - 15.8	0.02 - 0.92
	SEC	0.68	0.03
	Biais	0.005	-0.001
	Pente	1	1.01
	R ²	0.8	0.84
Lot de validation	N	4067	2660
	SEP	0.63	0.04
	Biais	-0.079	-0.003
	Pente	0.95	1.03
	R ²	0.8	0.8
	RPD	2.09	2.18

Terrain

		Matière organique (%)	N total (%)
Lot de calibration	N	619	639
	Gamme	0.91-4.91	0.05-0.383
	SEC	0.31	0.02
	Biais	0.00	0.00
	Pente	1	1
	R ²	0.88	0.89
Lot de validation	N	313	318
	SEP	0.39	0.03
	Biais	0.01	0.00
	Pente	1	0.97
	R ²	0.84	0.80
	RPD	2.38	2.1

SEC et SEP : erreurs standard de calibration et de prédiction
 RPD : ratio entre l'écart-type des valeurs de référence et le SEP

Pour les sols :
 Si RPD < 1.75, SPIR non utilisable
 Si 1.75 < RPD < 3, SPIR fiable
 Si RPD > 3, SPIR très fiable

Performances des calibrations

Laboratoire

Terrain

		Argile (%)	Limon (%)	Calcaire total (%)			Argile (%)	Limon (%)	Calcaire total (%)
Lot de calibration	N	5996	5997	3997	Lot de calibration	N	634	638	639
	Gamme	0.03 - 68.4	0.4 - 87.8	0.2 - 91.4		Gamme	1.92-44.27	6.5-84.4	0-82.6
	SEC	3.93	8.02	4.71		SEC	2.80	5.55	3.07
	Biais	-0.03	0.07	-0.08		Biais	0.00	0.00	0.00
	Pente	1.01	0.99	0.99		Pente	1	1	1
	R ²	0.84	0.86	0.95		R ²	0.90	0.91	0.98
Lot de validation	N	3163	3163	1570	Lot de validation	N	311	319	318
	SEP	4.14	9.15	5.01		SEP	3.28	8.73	4.17
	Biais	-0.26	0.8	0.135		Biais	-0.08	-0.85	-0.52
	Pente	1.01	0.98	1.00		Pente	1.01	0.87	0.94
	R ²	0.81	0.8	0.93		R ²	0.87	0.75	0.96
	RPD	2.29	2.21	3.87		RPD	2.69	2.05	4.73

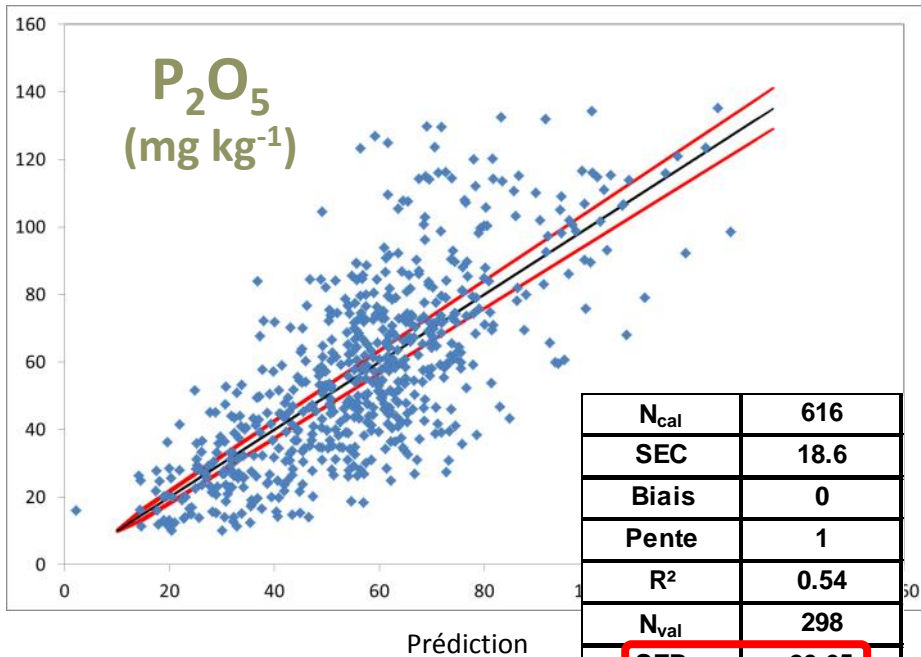
SEC et SEP : erreurs standard de calibration et de prédiction
 RPD : ratio entre l'écart-type des valeurs de référence et le SEP

Pour les sols :
 Si RPD < 1.75, SPIR non utilisable
 Si 1.75 < RPD < 3, SPIR fiable
 Si RPD > 3, SPIR très fiable

Performances des calibrations

Terrain

Référence



N _{cal}	616
SEC	18.6
Biais	0
Pente	1
R ²	0.54
N _{val}	298
SEP	20,65
Biais	-0,62
Pente	0,91
R ²	0,50
RPD	1.35

Pour les sols :

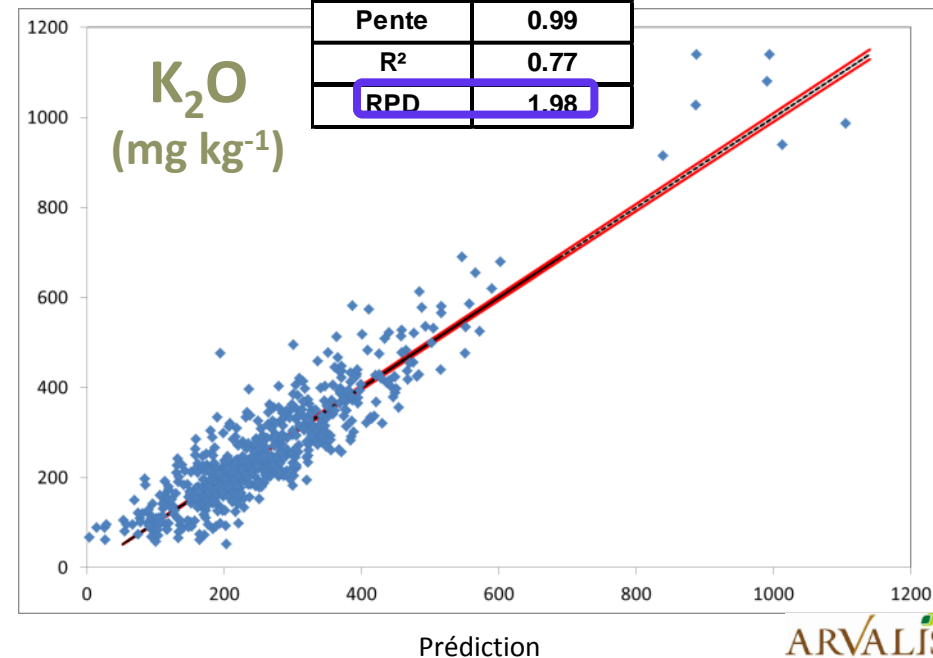
Si RPD < 1.75, SPIR non utilisable

Si 1.75 < RPD < 3, SPIR fiable

Si RPD > 3, SPIR très fiable

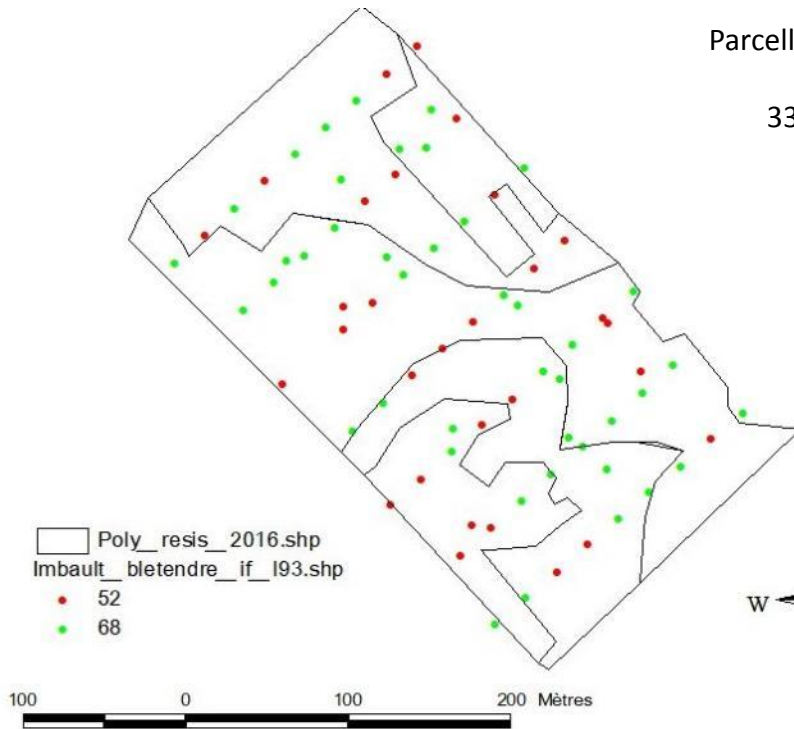
N _{cal}	640
SEC	56.8
Biais	0
Pente	1
R ²	0.84
N _{val}	317
SEP	73.76
Biais	8.17
Pente	0.99
R ²	0.77
RPD	1.98

Référence



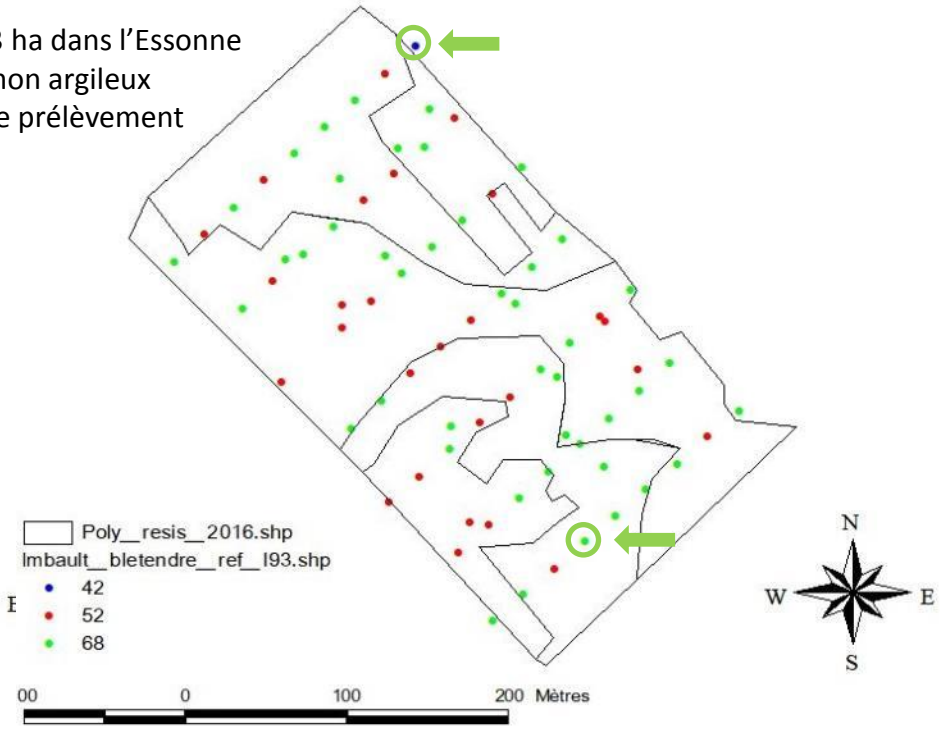
Modulation P_2O_5 sur blé tendre (doses conseillées)

Méthode de référence labo



Parcelle de 7.3 ha dans l'Essonne
Sol : limon argileux
33 sites de prélèvement

SPIR Terrain



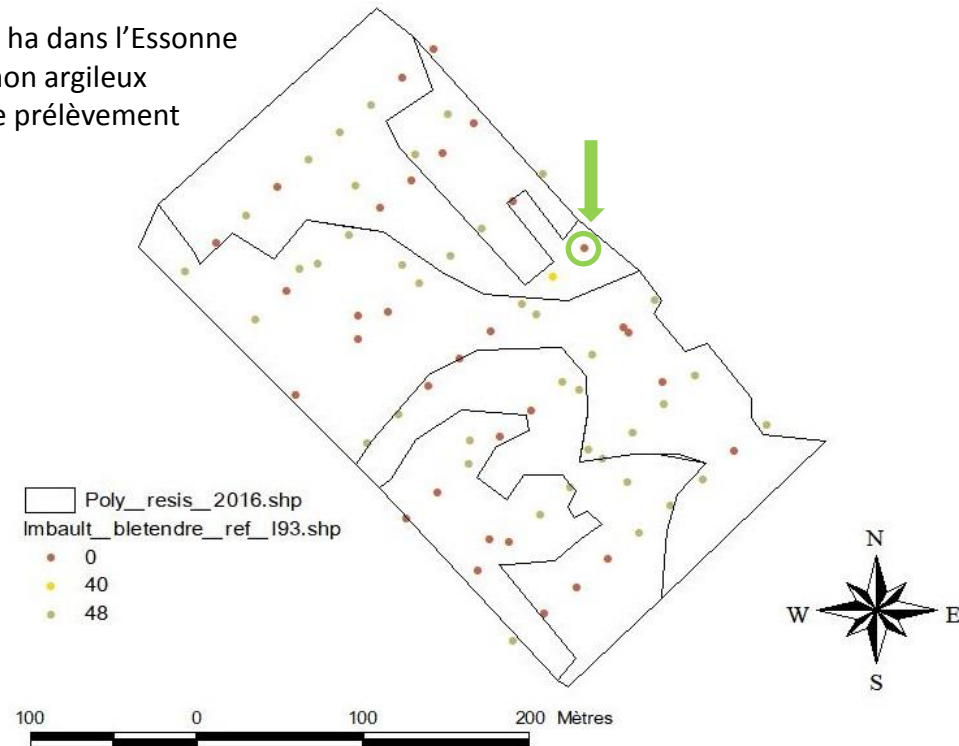
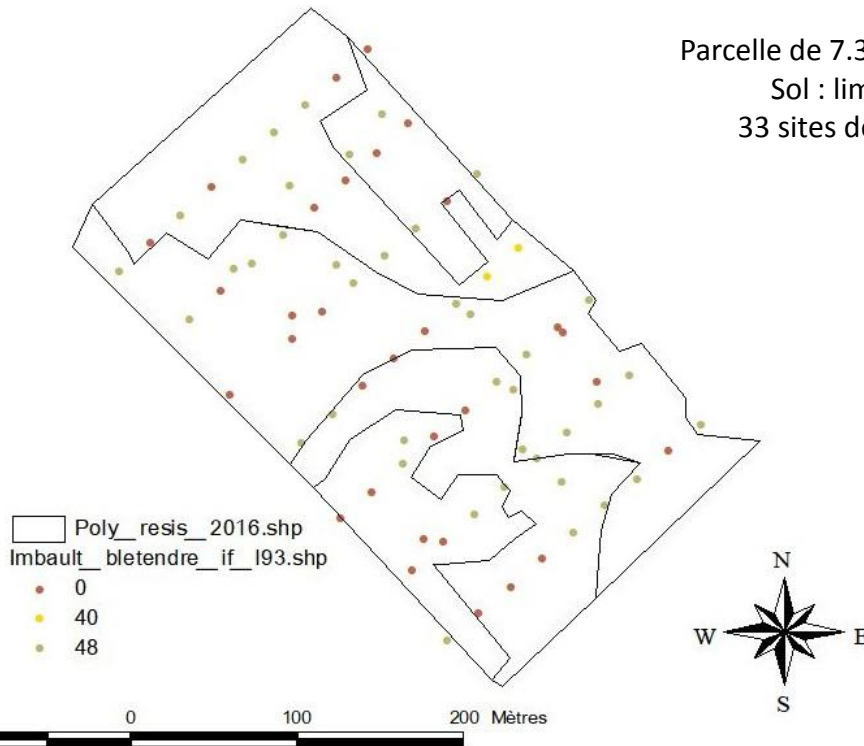
2 points de différence : surestimation par la SPIR
Moyenne mesures labo : 61.7 / Moyenne SPIR : 61.4

Modulation K_2O sur blé tendre (doses conseillées)

Méthode de référence labo

SPIR Terrain

Parcelle de 7.3 ha dans l'Essonne
Sol : limon argileux
33 sites de prélèvement



Un seul point de différence : la SPIR surestime un point
Moyenne mesures labo : 26.8 / Moyenne SPIR : 27.4

Conclusion et perspectives

- Des performances équivalentes entre la SPIR en laboratoire et la SPIR de terrain
- Concentration des travaux sur la SPIR de terrain
- Erreurs de mesure encourageantes (ex. modulation P et K)
- Evaluer la variabilité d'autres parcelles et donc d'autres types de sol
- Tester la modulation sur d'autres cultures et d'autres parcelles
- Poursuivre le développement de calibrations pour de nouveaux critères (pH, Mg...)
- Optimiser l'ergonomie de l'appareil
- Déployer l'outil sur le terrain