

Comparaison des performances d'un spectromètre NIR miniaturisé et d'un appareil standard pour caractériser les teneurs en C et N du sol

Bernard Barthès¹, Ernest Kouakoua¹, Michaël Clairotte^{1,2,3},
Jordane Lallemand⁴, Lydie Chapuis-Lardy⁵,
Michel Rabenarivo⁶, Sylvie Roussel⁴

¹ IRD, UMR Eco&Sols, Montpellier, France <bernard.barthes@ird.fr>

² Inra, UMR Eco&Sols, Montpellier, France

³ adresse actuelle : European Commission Joint Research Centre, Ispra, Italie

⁴ Ondalys, Clapiers, France

⁵ IRD, UMR Eco&Sols, Dakar, Sénégal

⁶ Laboratoire des Radio-Isotopes, Université d'Antananarivo, Madagascar



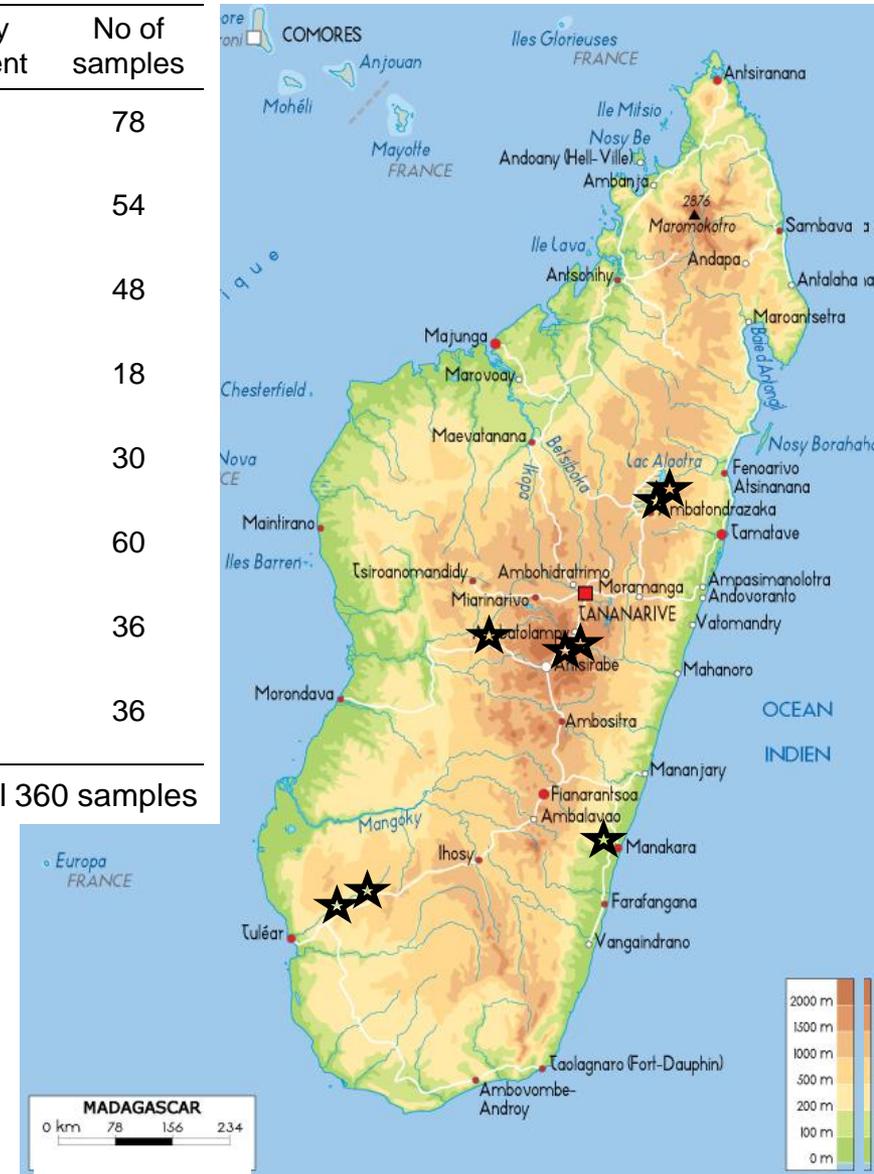


Echantillons provenant de 8 sites

Site	Region	Climate	Soil type	Clay content	No of samples
LMARB Marololo Baiboho	Alaotra lake, northeast	mid-altitude tropical	Fluvisol	≈20%	78
LMART Marololo Tanety	Alaotra lake, northeast	mid-altitude tropical	Ferralsol	≈20%	54
AAND Andranomanelatra	Antsirabe, centre	highland tropical	Ferralsol	≈60%	48
AATS Antsapanimahazo	Antsirabe, centre	highland tropical	Ferralsol	≈35%	18
AIVO Ivory	Antsirabe, centre (midwest)	highland tropical	Ferralsol	≈30%	30
MADS Andasy	Manakara, southeast	sub- equatorial	Ferralsol	≈45%	60
TAVR Andranovory	Tulear, southwest	subarid	Cambisol	≈30%	36
TSAK Sakaraha	Tulear, southwest	subarid	Arenosol	≈10%	36

Total 360 samples

- Huit dispositifs expérimentaux installés par l'ONG Tafa avec l'appui du Cirad
- Représentatifs de la majorité des sols cultivés
- Minéralogie assez homogène
- Semis direct vs. labour (bêchage) + jachères
Riz pluvial (maïs à Tuléar)
+ (semis direct) couvert légumineuses ou graminées



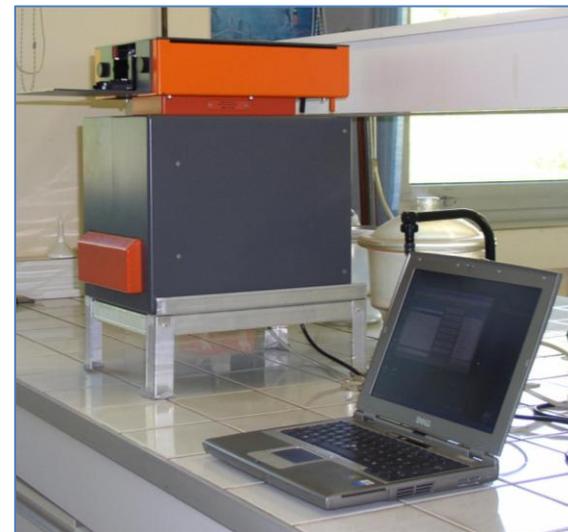
360 échantillons
prélevés au cylindre
à 0-5 cm de profondeur

séchés à l'air
éventuellement concassés
puis tamisés à 2 mm
et broyés à 0.2 mm

Dosage de C et N par combustion sèche
à l'analyseur élémentaire CHN
Carbo Erba NA 2000

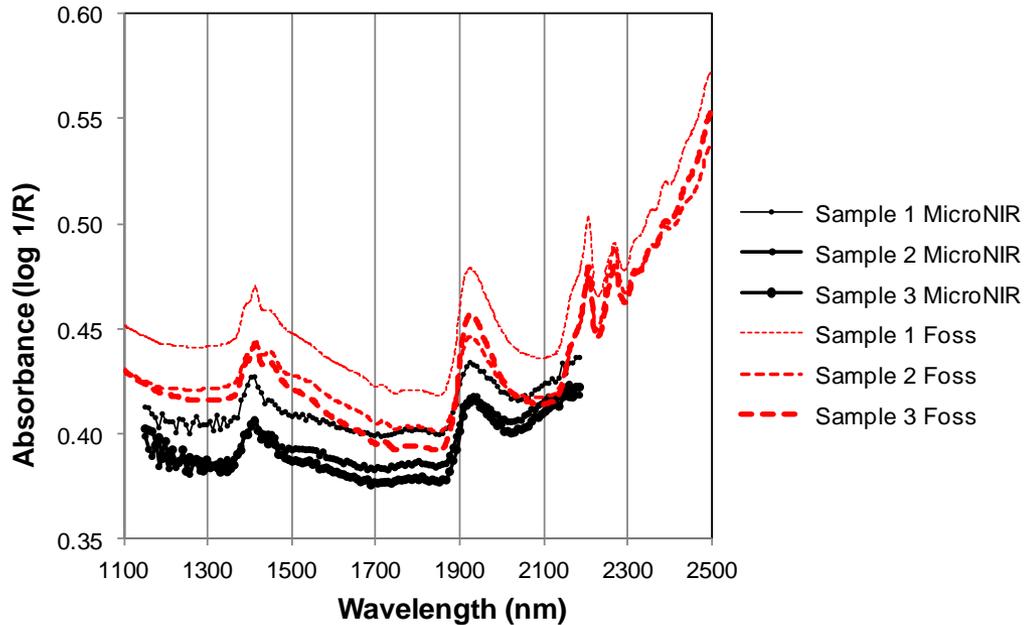


Les forces en présence



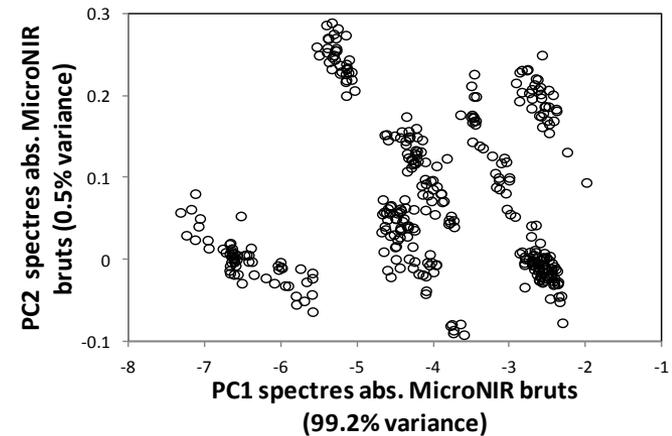
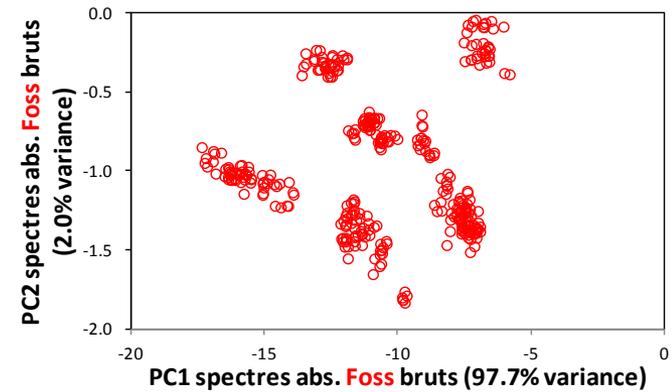
	JDSU MicroNIR 2200	Foss NIRSystems 5000
Source	tungstène	halogène
Dispersion	filtre variable linéaire (techno JDSU)	réseau
Détection	InGasAs	PbS
Gamme et pas	1151-2186 nm, 8.15 nm	1100-2500 nm, 2 nm
Résolution	12.5 nm à 1000 nm, 25 nm à 2000 nm	5 nm
Référencement	externes, Spectralon (100%) et 'espace' (0%)	interne
Surface scan	8 mm ²	42 mm ²
Poids	0.06 kg	~ 20 kg
Prix	~ 7 k€ (2014)	~ 40 k€ (2003)

- Spectres bruts MicroNIR vs. Foss



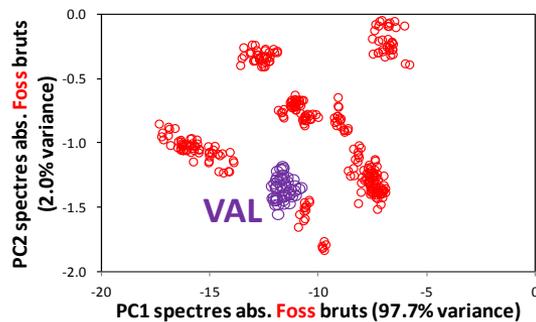
- Régression PLS avec WinISI4

Population d'échantillons clusterisée (par site)

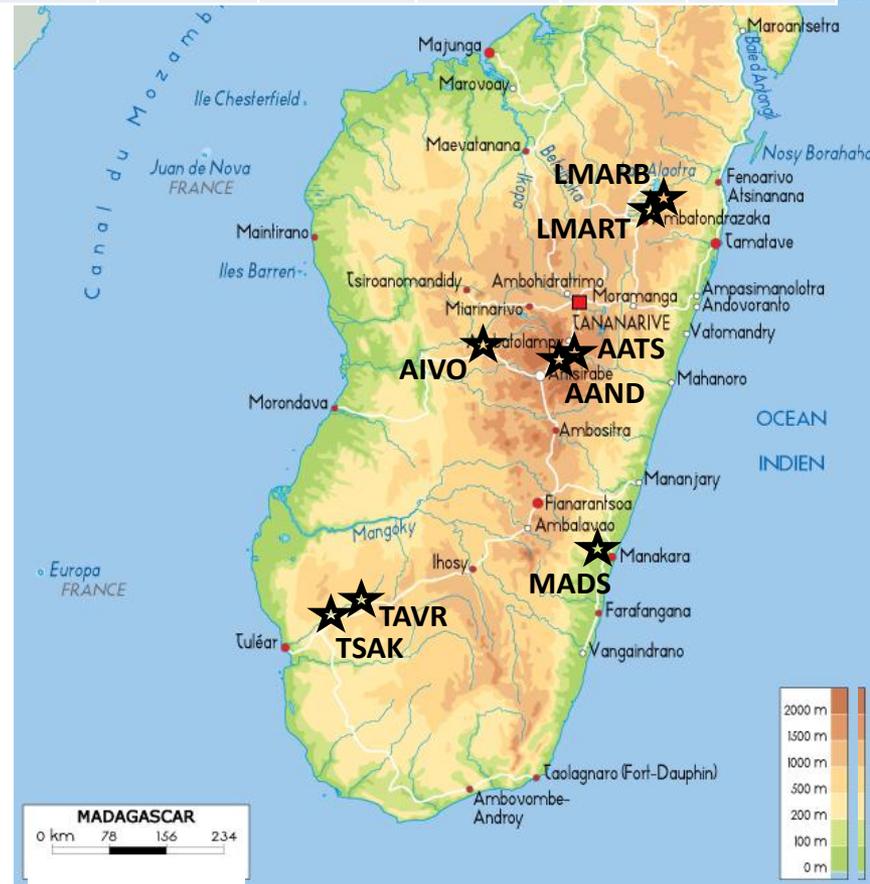
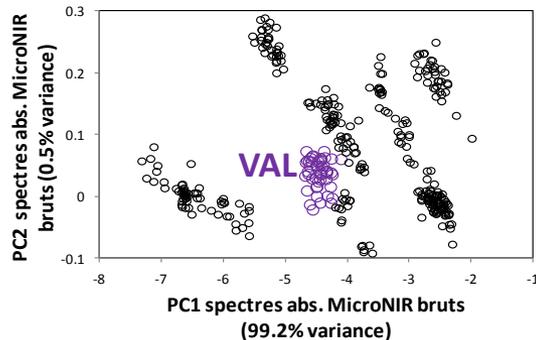


	AAND	AATS	AIVO	LMARB	LMART	MADS	TAVR	TSAK
Nb échantillons du site	48	18	30	78	54	60	36	36
Nb éch du site bien représentés par les 7 autres sites (GH < 3 dans ACP Foss)	41	13	20	0	0	0	0	0

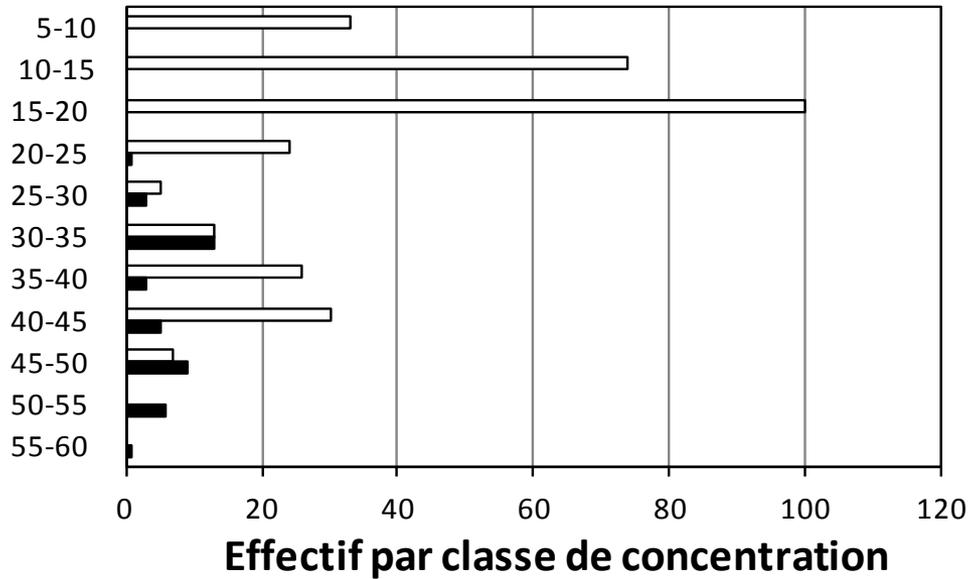
- Identification du site de validation : spectres de chaque site projetés dans l'ACP des 7 autres sites, à tour de rôle
- VAL : 41 éch AAND (> 10 km de AATS)



ACP 8 sites

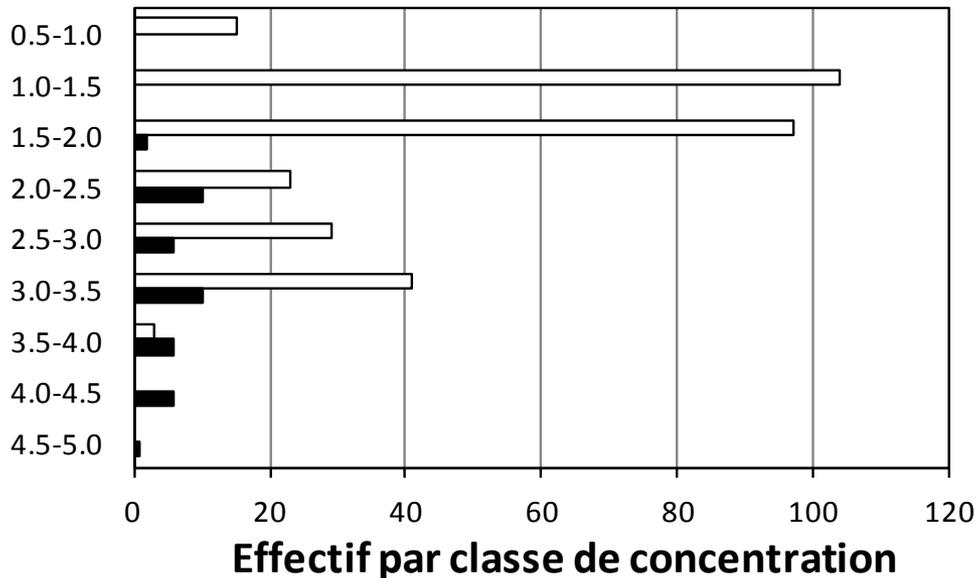


Distribution de C (gC kg⁻¹)



□ CAL C Moy ± SD = **21.1 ± 11.2** gC kg⁻¹
■ VAL C Moy ± SD = **40.4 ± 8.9** gC kg⁻¹

Distribution de N (gN kg⁻¹)



□ CAL N Moy ± SD = **1.86 ± 0.74** gN kg⁻¹
■ VAL N Moy ± SD = **3.10 ± 0.72** gN kg⁻¹

Prédictions carbone (moyenne et écart type en VAL : 40.4 ± 8.9 gC kg⁻¹)

Spectro and conditions	Pretreatment	Calibration					Validation					
		LVmax	LV	SECV	R ² _{cv}	RPD _{cv}	SEP	Bias	SEPC	Slope	R ² _{val}	RPD _{val}
MicroNIR (1151-2186 nm, 8.15 nm)												
≤ 16 LV	None001	16	7	3.2	0.92	3.5	9.2	6.8	6.3	0.53	0.64	1.4
≤ 16 LV	SNV1205	16	9	2.8	0.94	4.1	4.6	-2.5	3.9	0.87	0.82	2.3
Foss (1100-2498 nm, 2 nm)												
≤16 LV	None001	16	15	1.9	0.97	6.0	3.4	0.0	3.4	0.84	0.88	2.6

Pour C, prédictions avec MicroNIR un peu moins précises qu'avec Foss mais à condition de prétraiter et corriger du biais

Prédictions carbone (moyenne et écart type en VAL : 40.4 ± 8.9 gC kg⁻¹)

Spectro and conditions	Pretreatment	Calibration					Validation					
		LVmax	LV	SECV	R ² _{cv}	RPD _{cv}	SEP	Bias	SEPC	Slope	R ² _{val}	RPD _{val}
MicroNIR (1151-2186 nm, 8.15 nm)												
≤ 16 LV	None001	16	7	3.2	0.92	3.5	9.2	6.8	6.3	0.53	0.64	1.4
≤ 16 LV	SNV1205	16	9	2.8	0.94	4.1	4.6	-2.5	3.9	0.87	0.82	2.3
Foss (1100-2498 nm, 2 nm)												
≤16 LV	None001	16	15	1.9	0.97	6.0	3.4	0.0	3.4	0.84	0.88	2.6
≤ 9 LV	None001	9	9	2.5	0.95	4.5	8.9	5.8	6.9	0.37	0.65	1.3
≤ 9 LV	D144	9	9	2.3	0.96	4.9	4.4	0.0	4.4	0.72	0.82	2.0

Pour Foss avec 9 LV, avec ou sans prétraitement, mêmes résultats qu'avec MicroNIR

Prédictions carbone (moyenne et écart type en VAL : 40.4 ± 8.9 gC kg⁻¹)

Spectro and conditions	Pretreatment	Calibration					Validation					
		LVmax	LV	SECV	R ² _{cv}	RPD _{cv}	SEP	Bias	SEPC	Slope	R ² _{val}	RPD _{val}
MicroNIR (1151-2186 nm, 8.15 nm)												
≤ 16 LV	None001	16	7	3.2	0.92	3.5	9.2	6.8	6.3	0.53	0.64	1.4
≤ 16 LV	SNV1205	16	9	2.8	0.94	4.1	4.6	-2.5	3.9	0.87	0.82	2.3
Foss (1100-2498 nm, 2 nm)												
≤16 LV	None001	16	15	1.9	0.97	6.0	3.4	0.0	3.4	0.84	0.88	2.6
≤ 9 LV	None001	9	9	2.5	0.95	4.5	8.9	5.8	6.9	0.37	0.65	1.3
≤ 9 LV	D144	9	9	2.3	0.96	4.9	4.4	0.0	4.4	0.72	0.82	2.0
MicroNIR-ranged Foss (1150-2182 nm, 2 nm)												
≤ 16 LV	None001	16	14	2.1	0.97	5.4	7.8	4.3	6.6	0.44	0.67	1.4
≤ 16 LV	D001	16	14	2.0	0.97	5.8	4.0	1.1	3.9	0.68	0.90	2.3
≤ 9 LV	None001	9	9	2.6	0.95	4.3	7.3	4.3	6.0	0.44	0.80	1.5
≤ 9 LV	SNVD001	9	9	2.5	0.95	4.4	4.6	-1.9	4.2	0.75	0.83	2.1
MicroNIR-fitted Foss (1150-2182 nm, 8 nm)												
≤ 16 LV	None001	16	14	2.1	0.97	5.4	8.1	4.7	6.7	0.50	0.58	1.3
≤ 16 LV	SNVD144	16	15	1.8	0.97	6.1	4.6	0.6	4.6	0.90	0.74	1.9
≤ 9 LV	None001	9	9	2.5	0.95	4.6	7.3	4.5	5.8	0.46	0.80	1.5
≤ 9 LV	SNVD001	9	9	2.7	0.94	4.2	4.4	-1.0	4.3	0.79	0.80	2.1

Prédictions carbone (moyenne et écart type en VAL : 40.4 ± 8.9 gC kg⁻¹)

Spectro and conditions	Pretreatment	Calibration					Validation					
		LVmax	LV	SECV	R ² _{cv}	RPD _{cv}	SEP	Bias	SEPC	Slope	R ² _{val}	RPD _{val}
MicroNIR (1151-2186 nm, 8.15 nm)												
≤ 16 LV	None001	16	7	3.2	0.92	3.5	9.2	6.8	6.3	0.53	0.64	1.4
≤ 16 LV	SNV1205	16	9	2.8	0.94	4.1	4.6	-2.5	3.9	0.87	0.82	2.3
Foss (1100-2498 nm, 2 nm)												
≤16 LV	None001	16	15	1.9	0.97	6.0	3.4	0.0	3.4	0.84	0.88	2.6
≤ 9 LV	None001	9	9	2.5	0.95	4.5	8.9	5.8	6.9	0.37	0.65	1.3
≤ 9 LV	D144	9	9	2.3	0.96	4.9	4.4	0.0	4.4	0.72	0.82	2.0
MicroNIR-ranged Foss (1150-2182 nm, 2 nm)												
≤ 16 LV	None001	16	14	2.1	0.97	5.4	7.8	4.3	6.6	0.44	0.67	1.4
≤ 16 LV	D001	16	14	2.0	0.97	5.8	4.0	1.1	3.9	0.68	0.90	2.3
≤ 9 LV	None001	9	9	2.6	0.95	4.3	7.3	4.3	6.0	0.44	0.80	1.5
≤ 9 LV	SNVD001	9	9	2.5	0.95	4.4	4.6	-1.9	4.2	0.75	0.83	2.1
MicroNIR-fitted Foss (1150-2182 nm, 8 nm)												
≤ 16 LV	None001	16	14	2.1	0.97	5.4	8.1	4.7	6.7	0.50	0.58	1.3
≤ 16 LV	SNVD144	16	15	1.8	0.97	6.1	4.6	0.6	4.6	0.90	0.74	1.9
≤ 9 LV	None001	9	9	2.5	0.95	4.6	7.3	4.5	5.8	0.46	0.80	1.5
≤ 9 LV	SNVD001	9	9	2.7	0.94	4.2	4.4	-1.0	4.3	0.79	0.80	2.1

**Sans prétraitement, Foss sur même gamme que MicroNIR
donne mêmes prédictions que MicroNIR**

Prédictions carbone (moyenne et écart type en VAL : 40.4 ± 8.9 gC kg⁻¹)

Spectro and conditions	Pretreatment	Calibration					Validation					
		LVmax	LV	SECV	R ² _{cv}	RPD _{cv}	SEP	Bias	SEPC	Slope	R ² _{val}	RPD _{val}
MicroNIR (1151-2186 nm, 8.15 nm)												
≤ 16 LV	None001	16	7	3.2	0.92	3.5	9.2	6.8	6.3	0.53	0.64	1.4
≤ 16 LV	SNV1205	16	9	2.8	0.94	4.1	4.6	-2.5	3.9	0.87	0.82	2.3
Foss (1100-2498 nm, 2 nm)												
≤16 LV	None001	16	15	1.9	0.97	6.0	3.4	0.0	3.4	0.84	0.88	2.6
≤ 9 LV	None001	9	9	2.5	0.95	4.5	8.9	5.8	6.9	0.37	0.65	1.3
≤ 9 LV	D144	9	9	2.3	0.96	4.9	4.4	0.0	4.4	0.72	0.82	2.0
MicroNIR-ranged Foss (1150-2182 nm, 2 nm)												
≤ 16 LV	None001	16	14	2.1	0.97	5.4	7.8	4.3	6.6	0.44	0.67	1.4
≤ 16 LV	D001	16	14	2.0	0.97	5.8	4.0	1.1	3.9	0.68	0.90	2.3
≤ 9 LV	None001	9	9	2.6	0.95	4.3	7.3	4.3	6.0	0.44	0.80	1.5
≤ 9 LV	SNVD001	9	9	2.5	0.95	4.4	4.6	-1.9	4.2	0.75	0.83	2.1
MicroNIR-fitted Foss (1150-2182 nm, 8 nm)												
≤ 16 LV	None001	16	14	2.1	0.97	5.4	8.1	4.7	6.7	0.50	0.58	1.3
≤ 16 LV	SNVD144	16	15	1.8	0.97	6.1	4.6	0.6	4.6	0.90	0.74	1.9
≤ 9 LV	None001	9	9	2.5	0.95	4.6	7.3	4.5	5.8	0.46	0.80	1.5
≤ 9 LV	SNVD001	9	9	2.7	0.94	4.2	4.4	-1.0	4.3	0.79	0.80	2.1

Avec prétraitement, Foss sur même gamme que MicroNIR donne mêmes prédictions que MicroNIR

Prédictions azote (moyenne et écart type en VAL : 3.10 ± 0.72 gN kg⁻¹)

Spectro and conditions	Pretreatment	Calibration					Validation					
		LVmax	LV	SECV	R ² _{cv}	RPD _{cv}	SEP	Bias	SEPC	Slope	R ² _{val}	RPD _{val}
MicroNIR (1151-2186 nm, 8.15 nm)												
≤ 16 LV	None001	16	7	0.23	0.90	3.2	0.72	0.44	0.58	0.47	0.48	1.2
≤ 16 LV	SNVD001	16	5	0.28	0.86	2.7	0.36	-0.09	0.36	0.87	0.77	2.0
Foss (1100-2498 nm, 2 nm)												
≤16 LV	None001	16	15	0.17	0.95	4.4	0.35	-0.05	0.35	0.93	0.77	2.1

Pour N, prédictions avec MicroNIR à peine moins bonnes qu'avec Foss à condition de prétraiter (mais faible biais => ≠C)

Prédictions azote (moyenne et écart type en VAL : 3.10 ± 0.72 gN kg⁻¹)

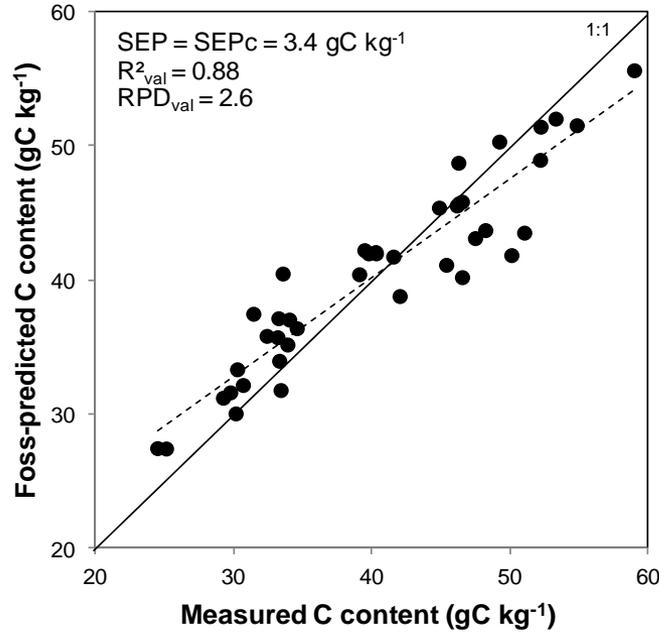
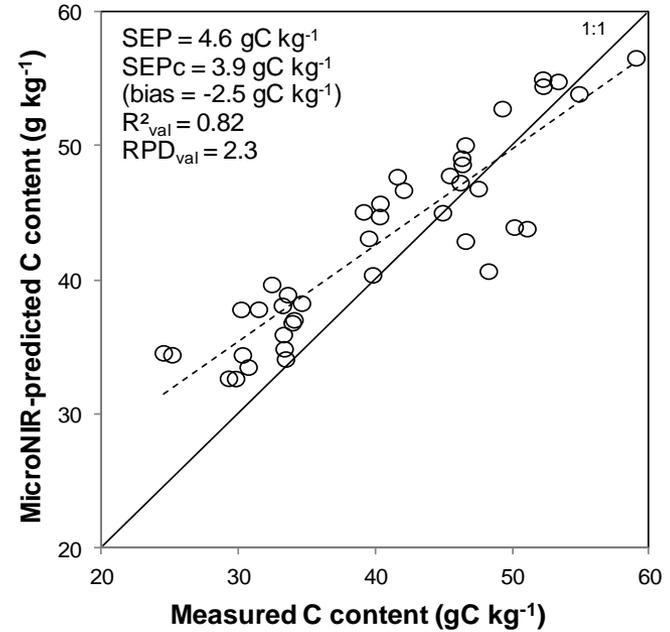
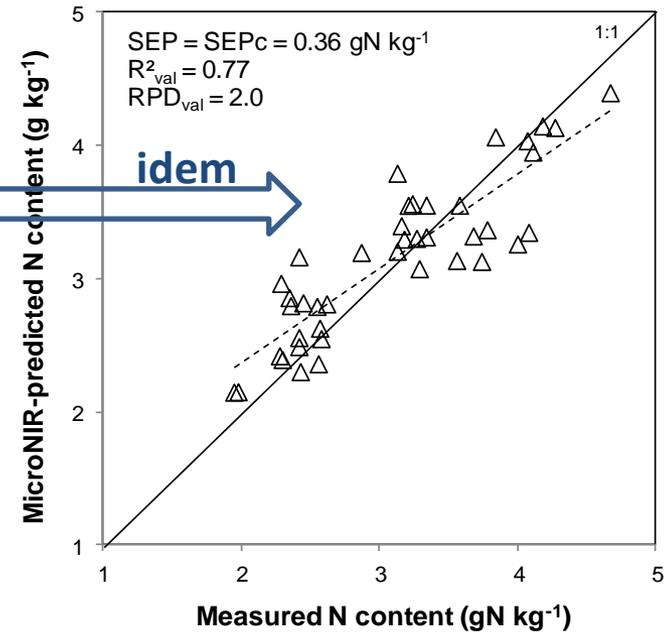
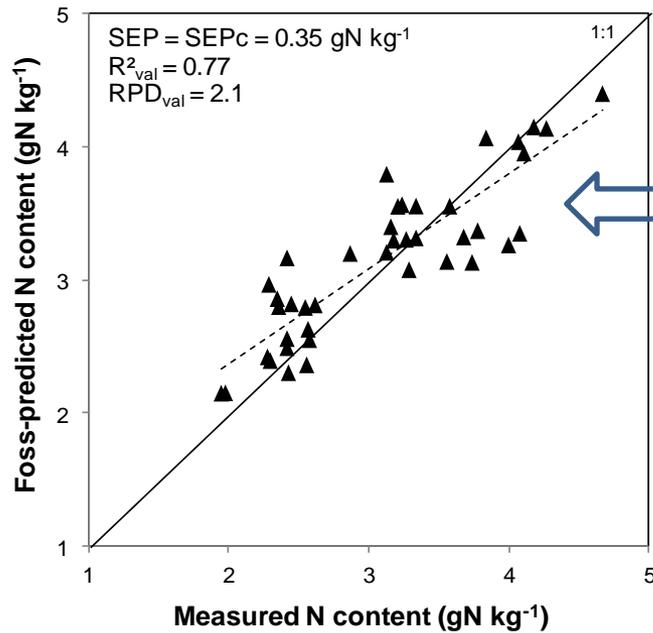
Spectro and conditions	Pretreatment	Calibration					Validation					
		LVmax	LV	SECV	R ² _{cv}	RPD _{cv}	SEP	Bias	SEPC	Slope	R ² _{val}	RPD _{val}
MicroNIR (1151-2186 nm, 8.15 nm)												
≤ 16 LV	None001	16	7	0.23	0.90	3.2	0.72	0.44	0.58	0.47	0.48	1.2
≤ 16 LV	SNVD001	16	5	0.28	0.86	2.7	0.36	-0.09	0.36	0.87	0.77	2.0
Foss (1100-2498 nm, 2 nm)												
≤16 LV	None001	16	15	0.17	0.95	4.4	0.35	-0.05	0.35	0.93	0.77	2.1
≤ 5 LV	None001	5	5	0.28	0.86	2.7	0.64	0.18	0.62	0.32	0.45	1.1
≤ 5 LV	D144	5	5	0.23	0.90	3.2	0.50	0.11	0.50	0.50	0.69	1.4

Pour Foss avec 5 LV, avec ou sans prétraitement, moins bons résultats qu'avec MicroNIR

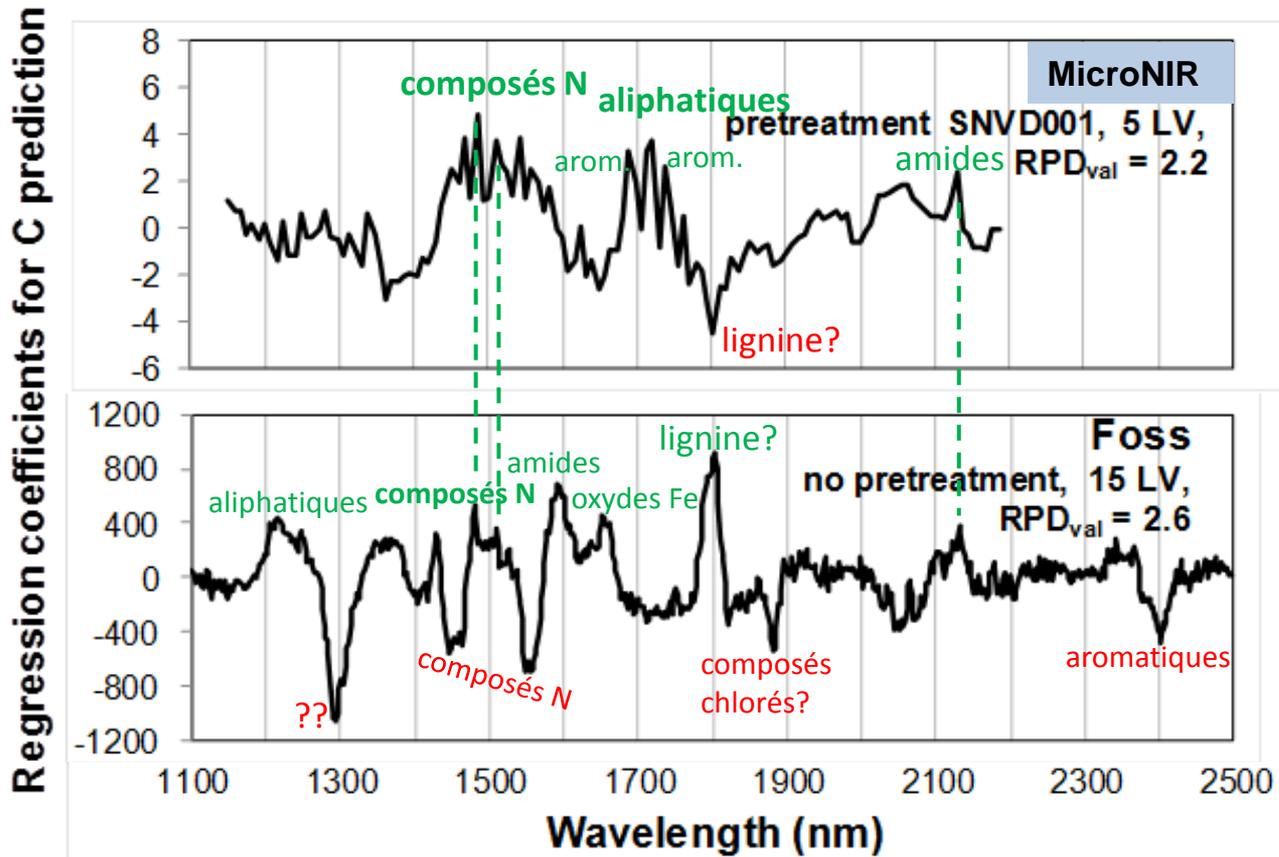
Prédictions azote (moyenne et écart type en VAL : 3.10 ± 0.72 gN kg⁻¹)

Spectro and conditions	Pretreatment	Calibration					Validation					
		LVmax	LV	SECV	R ² _{cv}	RPD _{cv}	SEP	Bias	SEPC	Slope	R ² _{val}	RPD _{val}
MicroNIR (1151-2186 nm, 8.15 nm)												
≤ 16 LV	None001	16	7	0.23	0.90	3.2	0.72	0.44	0.58	0.47	0.48	1.2
≤ 16 LV	SNVD001	16	5	0.28	0.86	2.7	0.36	-0.09	0.36	0.87	0.77	2.0
Foss (1100-2498 nm, 2 nm)												
≤16 LV	None001	16	15	0.17	0.95	4.4	0.35	-0.05	0.35	0.93	0.77	2.1
≤ 5 LV	None001	5	5	0.28	0.86	2.7	0.64	0.18	0.62	0.32	0.45	1.1
≤ 5 LV	D144	5	5	0.23	0.90	3.2	0.50	0.11	0.50	0.50	0.69	1.4
MicroNIR-ranged Foss (1150-2182 nm, 2 nm)												
≤16 LV	None001	16	11	0.18	0.94	4.0	0.60	0.35	0.50	0.44	0.74	1.4
≤16 LV	SNVD001	16	14	0.17	0.95	4.3	0.45	0.11	0.44	0.57	0.75	1.6
≤ 5 LV	None001	5	5	0.26	0.88	2.9	0.68	0.38	0.57	0.24	0.86	1.2
≤ 5 LV	SNVD001	5	5	0.31	0.82	2.4	0.61	0.39	0.49	0.46	0.76	1.5
MicroNIR-fitted Foss (1150-2182 nm, 8 nm)												
≤ 16 LV	None001	16	11	0.19	0.94	4.0	0.61	0.35	0.50	0.45	0.72	1.4
≤ 16 LV	SNVD144	16	12	0.15	0.96	4.9	0.39	0.00	0.39	0.79	0.73	1.8
≤ 5 LV	None001	5	5	0.26	0.88	2.8	0.68	0.38	0.57	0.24	0.86	1.2
≤ 5 LV	D144	5	5	0.26	0.87	2.8	0.70	0.46	0.54	0.42	0.67	1.3

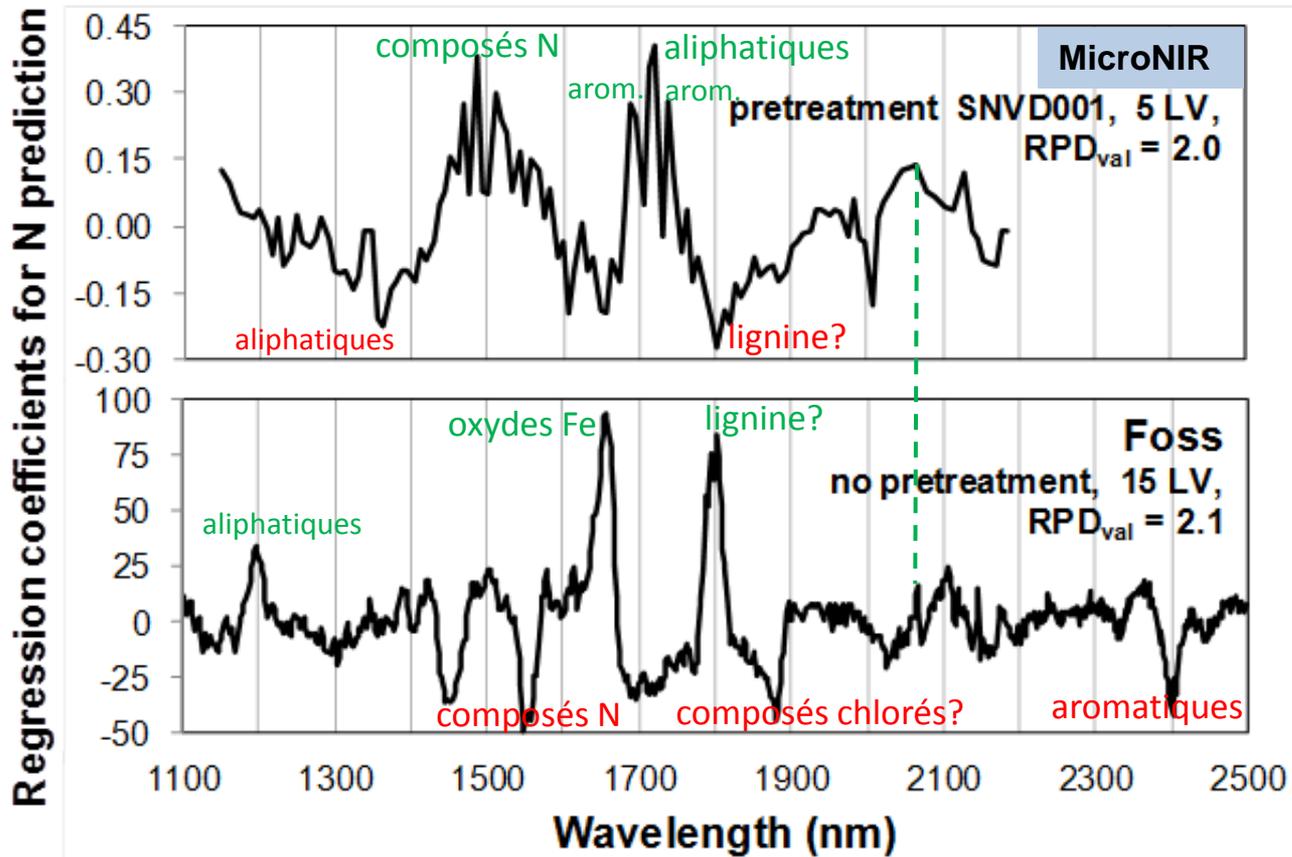
Spectre Foss utilisé comme MicroNIR (gamme et pas) donne moins bonnes prédictions de N

C**Foss****MicronIR****N**

Coefficients de régression pour C

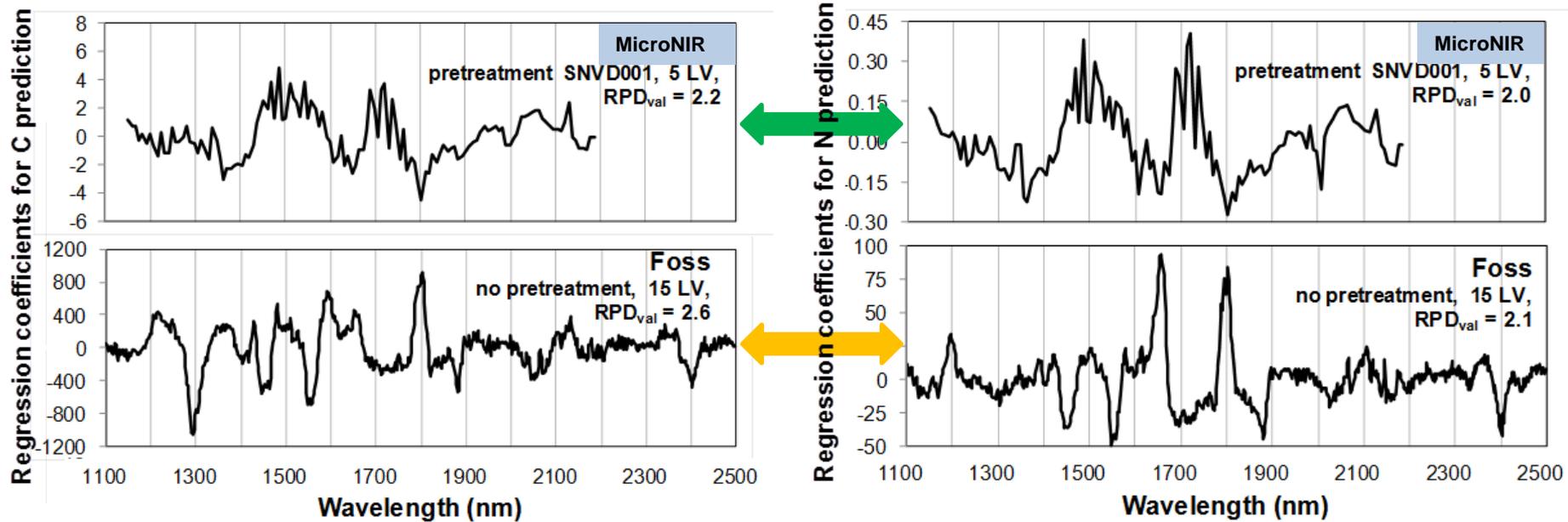


Coefficients de régression pour N



Coefficients de régression pour C

vs. coefficients de régression pour N



- Même types de constituants pèsent dans prédiction de C et N
 - MicroNIR : composés aliphatiques, aromatiques et azotés (+), possiblement lignine (-)
 - Foss : lignine possiblement, oxydes Fe (+), et composés azotés, composés aromatiques, possiblement composés chlorés (-)

Conclusion

Pour les échantillons étudiés

- MicroNIR prédit **N** du sol **aussi bien** que Foss à condition de **prétraiter** les spectres
- MicroNIR prédit **C** du sol **presque aussi bien** que Foss à condition de **prétraiter** les spectres et **corriger du biais**