

# Utilisation de la SPIR pour prédire le devenir de matières organiques exogènes dans les sols

C.Peltre<sup>a</sup>, L. Thuriès<sup>b</sup>, B. Barthès<sup>c</sup>, D. Brunet<sup>c</sup>, T. Morvan<sup>d</sup>, B. Nicolardot<sup>e</sup>, V. Parnaudeau<sup>d</sup>, S. Houot<sup>a</sup>

<sup>a</sup> INRA, UMR Environnement et Grandes Cultures, 78850 Thiverval-Grignon

<sup>b</sup> CIRAD, UPR78, Risque Environnemental Lié au Recyclage, 97408 St. Denis (La Réunion)

<sup>c</sup> IRD, UMR Eco&Sols 34060 Montpellier

<sup>d</sup> INRA, Sol, Agro et HydroSystèmes, 35000 Rennes

<sup>e</sup> INRA, INRA-ENESAD-Univ. Bourgogne, 21079 Dijon



## Contexte (1/3):

### Utilisation de MOEs pour augmenter les stocks de MO du sol

- Baisse de MO des sols: une des menaces principales pour les sols (Commission européenne, 2006)
- La séquestration du C dans les sols peut jouer un rôle important dans la régulation du climat (ClimSoil, 2008)
- Les Matières Organiques Exogènes
  - Sources importantes de MO
  - Amélioration de la fertilité et de la qualité du sol
  - Recyclage de la fraction organique des déchets
  - Stockage potentiel de C dans les sols
- Besoins de mieux quantifier les évolutions des MO des PRO dans les sols

Comment améliorer les estimations de l'évolution des stocks de MO du sol après des apports de PRO ?



## Contexte (2/3):

### Caractérisation des MOEs au laboratoire: méthodes de référence

- Analyse élémentaire
  - C organique
  - N organique
  - N total
- Fractionnement biochimique de la MO (Méthode Van Soest):
  - Soluble (**SOL**)
  - Equivalent Hemicellulose (**HEM**)
  - Equivalent Cellulose (**CEL**)
  - Equivalent Lignine+Cutine (**LIC**)
- Mesure du C potentiellement minéralisable: incubations en conditions contrôlées

→ Calcul de l'indicateur de stabilité de la MO (ISMO, Lashermes et al. 2009):

$$\text{ISMO (\%MO)} = 44.5 + 0.5 \text{ SOL} - 0.2 \text{ CEL} + 0.7 \text{ LIC} - 2.3 \text{ C}_{3j}$$



Méthodes longues, couteuses, génératrices de déchets polluants

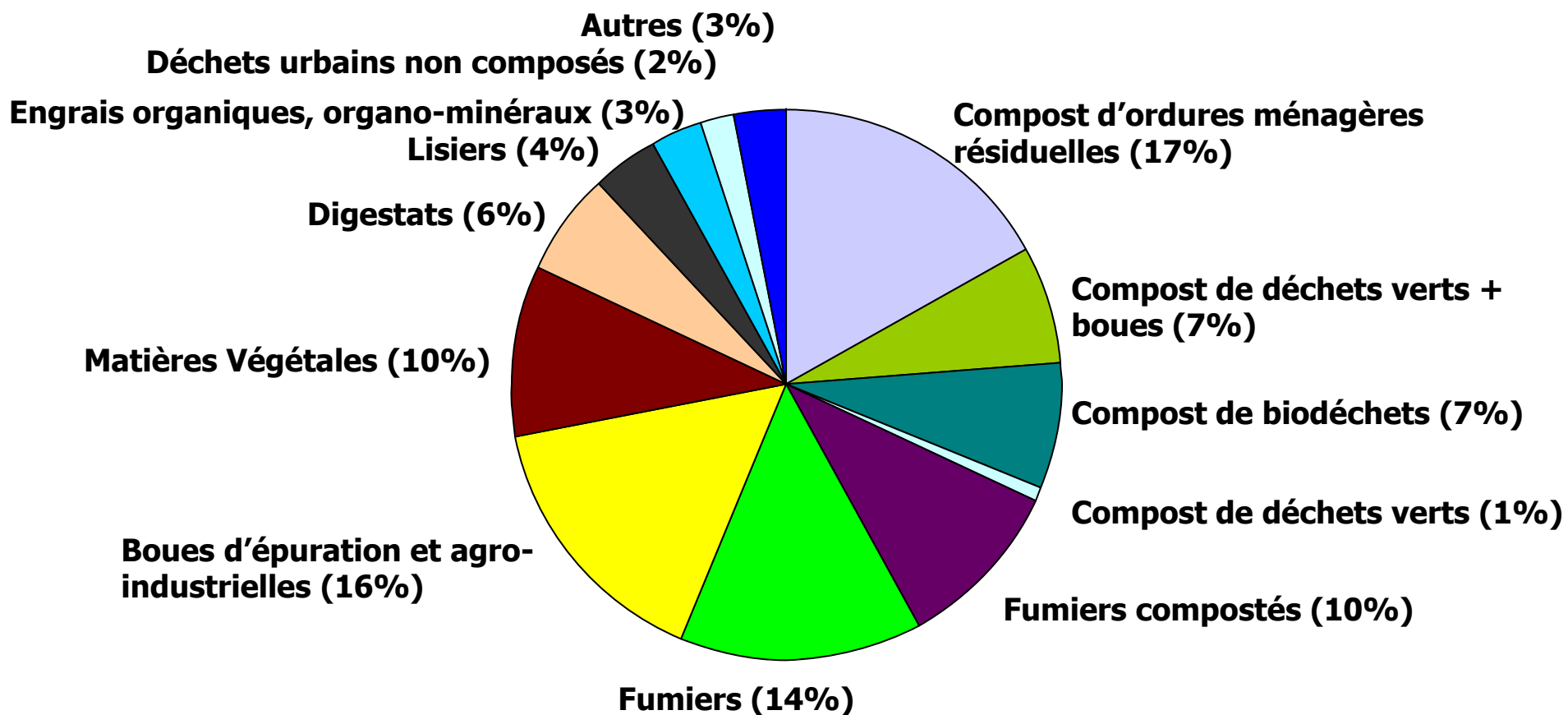
SPIR utilisée pour prédire:

- Fractions biochimiques de MOEs (Methode Van Soest)
  - De matières végétales (Bruun et al., 2005, Thuriès et al., 2005, Henriksen et al., 2007)
  - De composts (Vergnoux et al., 2009)
- Cinétiques de minéralisation du C de matières végétales (Bruun et al 2005)
- Modèle généralement calibrés pour des jeux de données relativement homogènes
  - Permet d'obtenir des prédictions très précises
  - Mais problématique pour prédire des échantillons non représentés dans le jeu de données ayant servi à la calibration
  - Problème pour réunir suffisamment d'échantillons spectralement homogènes et avec une gamme de valeurs suffisamment étendue
  - ➔ Intérêt de construire des calibrations avec des échantillons d'origine diverse

## Objectifs:

- Evaluer le potentiel de la SPIR pour prédire pour une large gamme de MOE:
  - i. Les teneurs en C et N des MOE, les fractions biochimiques et la minéralisation potentielle du C
  - ii. La proportion du C des MOEs potentiellement accumulable dans le sol à long-terme

- **300 MOEs:**



# Mesures SPIR



Credit: CIRAD EMVT, Montpellier

- Spectromètre Foss NIRSystem 6500
- MOE sèches à 40°C et broyé < 1 mm (pas de séchage supplémentaire juste avant analyse)
- Utilisation de l'intervalle 1100 – 2500 nm
- Deux réplicats par échantillon avec remplissages de coupelle indépendants

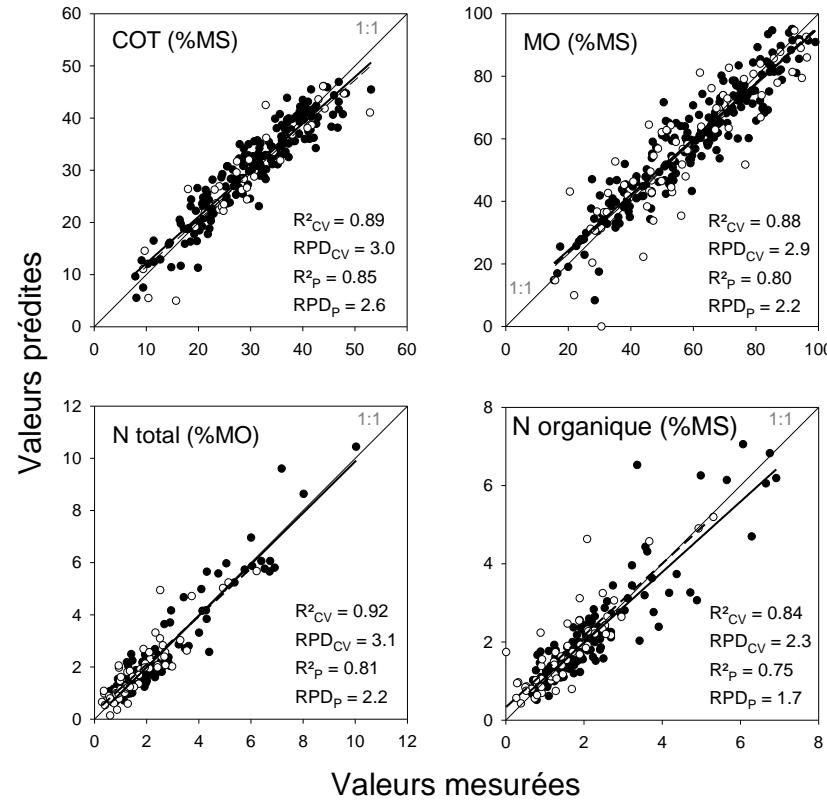
## Calibrations SPIR

- Première sélection des composts les plus représentatifs (méthode des plus proches voisins) avec WinISI III
- Données traitées avec The Unscrambler 9.8
- Pre-traitements mathématiques:
  - Dérivée seconde et lissage sur 4 pts de chaque côté
  - Multiplicative scatter correction (MSC)
- Outliers spectraux écartés sur la base du critère du  $T^2$  de Hotelling calculé avec les résultats d'une ACP sur les 300 MOEs (19 outliers spectraux)
- 75% du jeu de données utilisé pour calibration (211 ech.), 25% pour validation (70 ech.)
- Régression PLS avec cross-validation



# Prédiction des teneurs en C et N

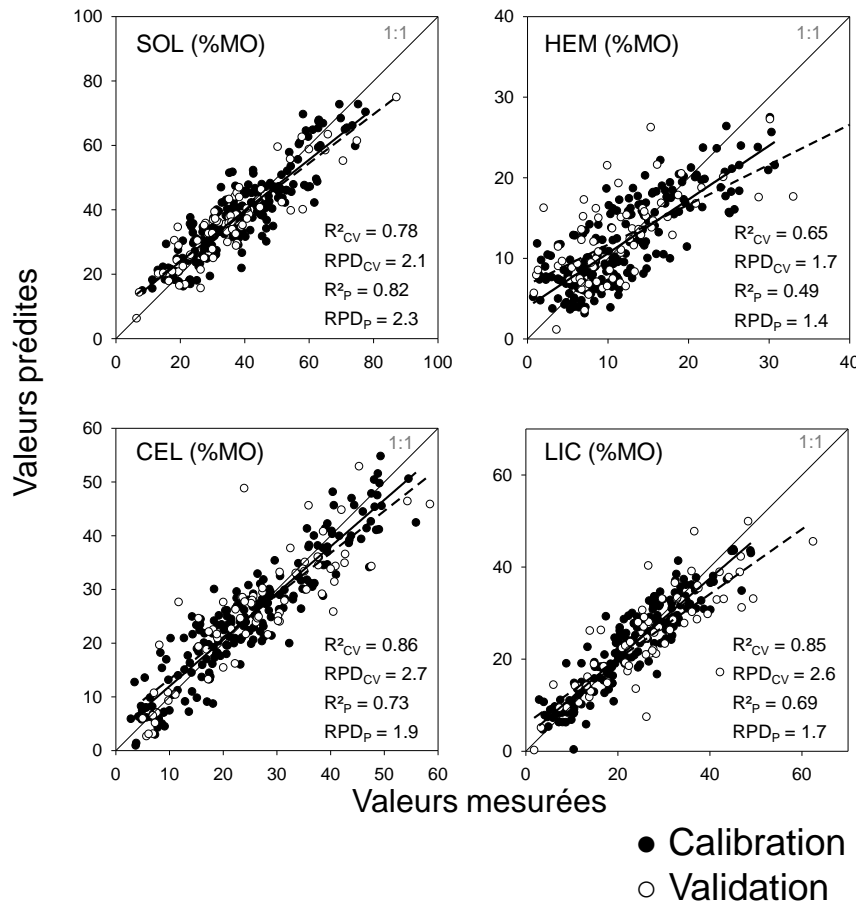
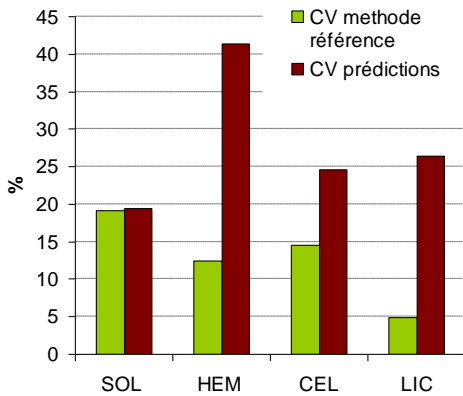
Prédiction satisfaisante des teneurs en MO, C et N des MOE



Variables	Calibration (n=211)								Validation (n=70)				
	$n_C$	$Out_C$	Mean	SD	$RMSE_{CV}$	$R^2_{CV}$	$RPD_{CV}$	$CV_{CV}$	$n_P$	$RMSE_P$	$R^2_P$	$RPD_P$	$CV_P$
COT	195	16	30.3	9.4	3.1	0.89	3.0	10.4	70	4.0	0.85	2.6	13.3
OM	201	10	58.8	19.7	6.9	0.88	2.9	11.7	70	9.9	0.80	2.2	16.9
N total	173	10	2.0	1.3	0.4	0.90	3.1	20.9	65	0.5	0.81	2.2	31.1
N org.	170	13	1.9	1.0	0.5	0.80	2.3	24.6	62	0.6	0.75	1.7	36.3

# Prédiction des fractions biochimiques des MOEs

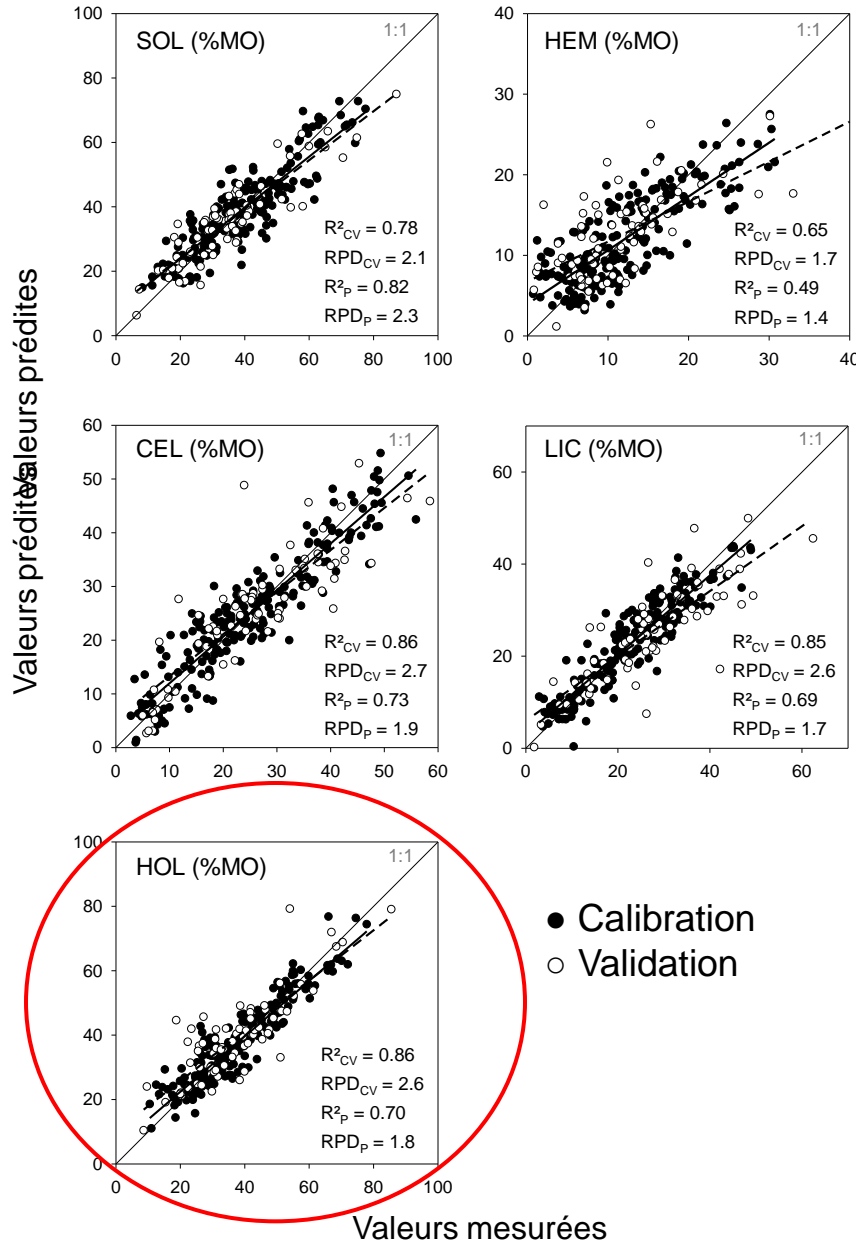
- Prédications satisfaisantes pour les fractions SOL, CEL
- Prédiction LIC passable mais plus gros écart avec CV de la méthode de référence
- Prédiction non satisfaisante de la fraction HEM



Variables	Calibration (n=211)								Validation (n=70)				
	$n_C$	$Out_C$	Mean	SD	$RMSE_{CV}$	$R^2_{CV}$	$RPD_{CV}$	$CV_{CV}$	$n_P$	$RMSE_P$	$R^2_P$	$RPD_P$	$CV_P$
SOL	200	11	38.8	14.3	6.6	0.78	2.1	17.1	70	6.7	0.82	2.3	19.2
HEM	204	7	11.9	6.7	3.9	0.65	1.7	33.2	70	5.7	0.49	1.4	48.3
CEL	202	9	24.9	12.5	4.6	0.86	2.7	18.5	70	6.4	0.73	1.9	24.6
LIC	195	16	22.2	10.5	4.0	0.85	2.6	18.1	70	7.1	0.69	1.7	26.4

# Prédiction des fractions biochimiques des MOEs

Calcul de la fraction holocellulose  
 $HOL = HEM + CEL$   
HOL correctement prédite

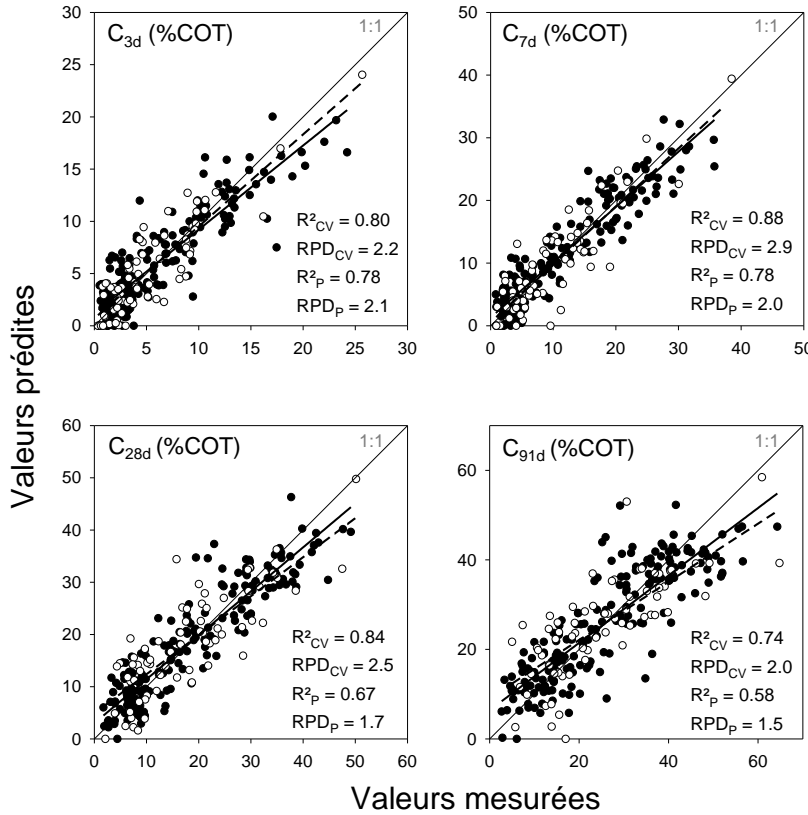


# Prédiction de la minéralisation du C des MOEs au cours d'incubations

Qualité des prédictions:

C7d > C3d > C28d > C91d

Moins bonne prédiction des proportions de C minéralisées en fin d'incubation



● Calibration  
○ Validation

Variables	Calibration (n=211)								Validation (n=70)				
	n <sub>C</sub>	Out <sub>C</sub>	Mean	SD	RMSE <sub>CV</sub>	R <sup>2</sup> <sub>CV</sub>	RPD <sub>CV</sub>	CV <sub>CV</sub>	n <sub>P</sub>	RMSE <sub>P</sub>	R <sup>2</sup> <sub>P</sub>	RPD <sub>P</sub>	CV <sub>P</sub>
C <sub>3d</sub>	202	9	5.9	5.2	2.3	0.80	2.2	39.5	70	2.1	0.78	2.1	39.4
C <sub>7d</sub>	189	16	10.9	8.8	3.0	0.88	2.9	27.8	67	3.7	0.78	2.0	36.5
C <sub>28d</sub>	185	20	18.6	11.9	4.7	0.84	2.5	25.4	67	6.2	0.67	1.7	34.5
C <sub>91d</sub>	190	15	25.7	14.2	7.2	0.74	2.0	28.2	67	8.6	0.58	1.5	34.2

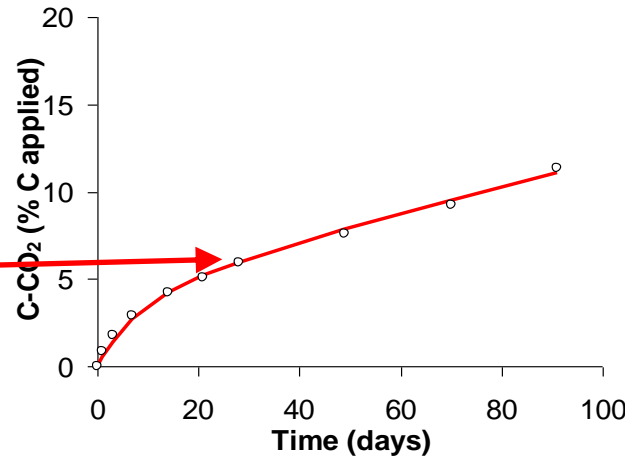
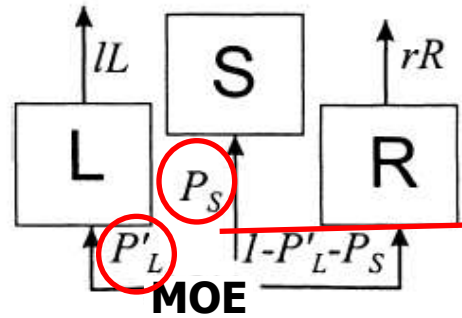
# Prédiction du C organique stable des MOEs

Deux approches pour estimer la fraction de C organique stable des MOEs:

1. Calcul de l'indicateur de stabilité de la MO (ISMO)  
 $ISMO = 44.5 + 0.5 SOL - 0.2 CEL + 0.7 LIC - 2.3 C_{3d}$
2. Optimisation des paramètres d'un modèle de décomposition sur les cinétiques de minéralisation du C:

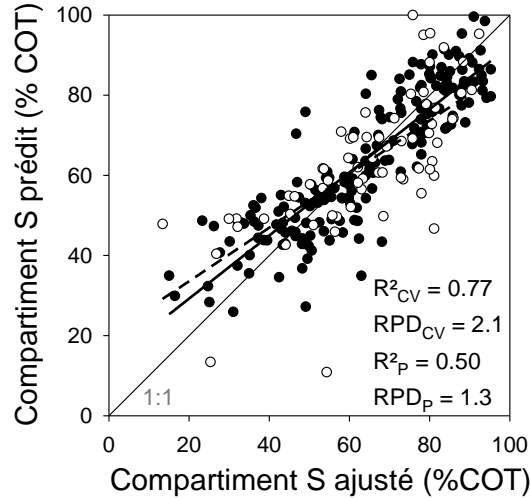
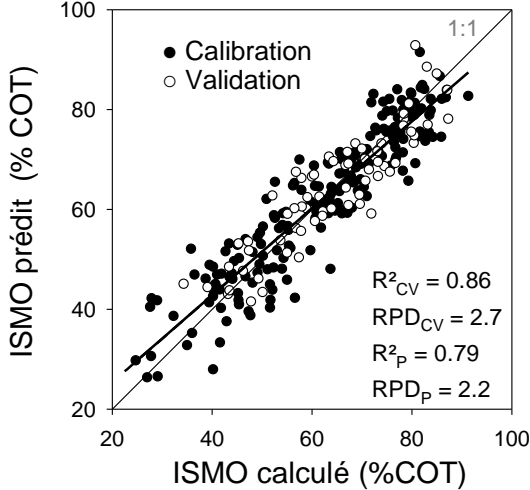
→ C minéralisé =  $L * e^{(-0.4*t)} + \underbrace{(100 - L - S)}_R * e^{(-0.014*t)} + S$   
 (Thuriès et al., 2001)

**L**: compartiment labile  
 (TMR=2.5 jours)  
**R**: compartiment résistant  
 (TMR=71 jours)  
**S**: compartiment stable



# Prédiction du C organique stable des MOEs

- Prédiction satisfaisante de l'ISMO
- Calibration correcte du compartiment stable mais résultats de validation insuffisants pour prédiction
- Meilleurs résultats pour prédiction de l'ISMO car :
  - ISMO à l'origine calibré sur des incubations à long terme (> 156 jours contrairement à 91 jours pour le calcul du compartiment S)
  - Calculé à partir de fractions biochimiques bien définies et minéralisation à court terme
- Compartiment S moins bien prédit car plus grande complexité et interactions des facteurs et liaisons chimiques influençant la minéralisation à long terme



Variables	Calibration (n=211)								Validation (n=70)				
	$n_C$	$Out_C$	Mean	SD	$RMSE_{CV}$	$R^2_{CV}$	$RPD_{CV}$	$CV_{CV}$	$n_P$	$RMSE_P$	$R^2_P$	$RPD_P$	$CV_P$
S	188	17	63.7	19.2	9.2	0.77	2.1	14.4	67	13.2	0.50	1.3	20.4
ISMO	196	15	62.0	15.7	5.9	0.86	2.7	9.5	70	6.3	0.79	2.2	9.9

## Conclusions

- ✓ Prédiction satisfaisante des teneurs en C, N et de fractions biochimiques à partir d'un jeu de données hétérogène
  
- ✓ Meilleure prédiction des variables liées à la minéralisation des MOEs à court terme plutôt qu'à long terme
  
- ✓ Prédiction satisfaisante de l'indicateur ISMO, contrairement à la prédiction du compartiment stable d'un modèle de décomposition
  - ISMO à l'origine calibré sur des incubations à plus long terme
  - Lié au mode de calcul de l'ISMO, à partir de fraction biochimiques et minéralisation à court terme facilement prédictible par NIRS
  
- ✓ Calibrations spécifiques nécessaires pour les MOEs écartées en tant qu'outliers, principalement des boues d'épuration et agro-industrielles, lisiers et engrais organo-minéraux



Merci pour votre attention

