A vertical landscape photograph on the left side of the slide, showing a hilly region with green fields in the foreground and rocky, brownish hills in the background under a clear sky.

Utilisation de l'imagerie hyperspectrale pour la cartographie numérique des propriétés des sols en zone méditerranéenne


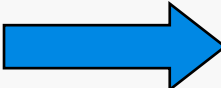
Cécile Gomez et Philippe Lagacherie,

1: IRD Laboratoire d'étude des Interactions Sol Agrosystème Hydrosystème campus Supagro INRA Montpellier ,

2 INRA, Laboratoire d'étude des Interactions Sol Agrosystème Hydrosystème campus Supagro INRA Montpellier



Contexte

- 
- **Capacités limitées d'investigation de la couverture pédologique**
 - **Nombreux travaux sur les analyses de sol par spectrométrie au laboratoire**
 - **Développement de la spectrométrie spatiale**
 - Capteurs aéroportés (HYMAP) et satellitaires (HYPERION, ENMAP)
 - Applications en géologie (*Chabrilat et al, 2005, Gomez et al, 2005*), en planétologie (*Poulet et al, 2005*)
 - **Premières applications en cartographie des propriétés des sols** (*Ben Dor, 2002, Chabrilat et al, 2002, Ben Dor et al, 2008, Lagacherie et al, 2008, Gomez et al, 2008, Stevens et al, 2010*)
 - Estimations directes de propriétés de sol de surfaces (C, argile, CaCO₃, Fe)
 - Nouvelle donnée spatiale pour prédire d'autres propriétés des sols moins accessibles (Digital Soil mapping)
- 

Projet DIGISOL-HYMED: Cartographie Numérique des Sols par imagerie hyperspectrale pour la modélisation environnementale en rég. méditerranéenne



Durée : 1/01/2009-31/12/ 2011 (2012)



Partenaires

 INRA IRD LISAH Montpellier, INRA EMMAH Avignon, INRA BioSp Avignon

 INAT, CNCT, ENIT (LTSIRS), Min. Agriculture et ress. Hydraul. (DG/ACTA)

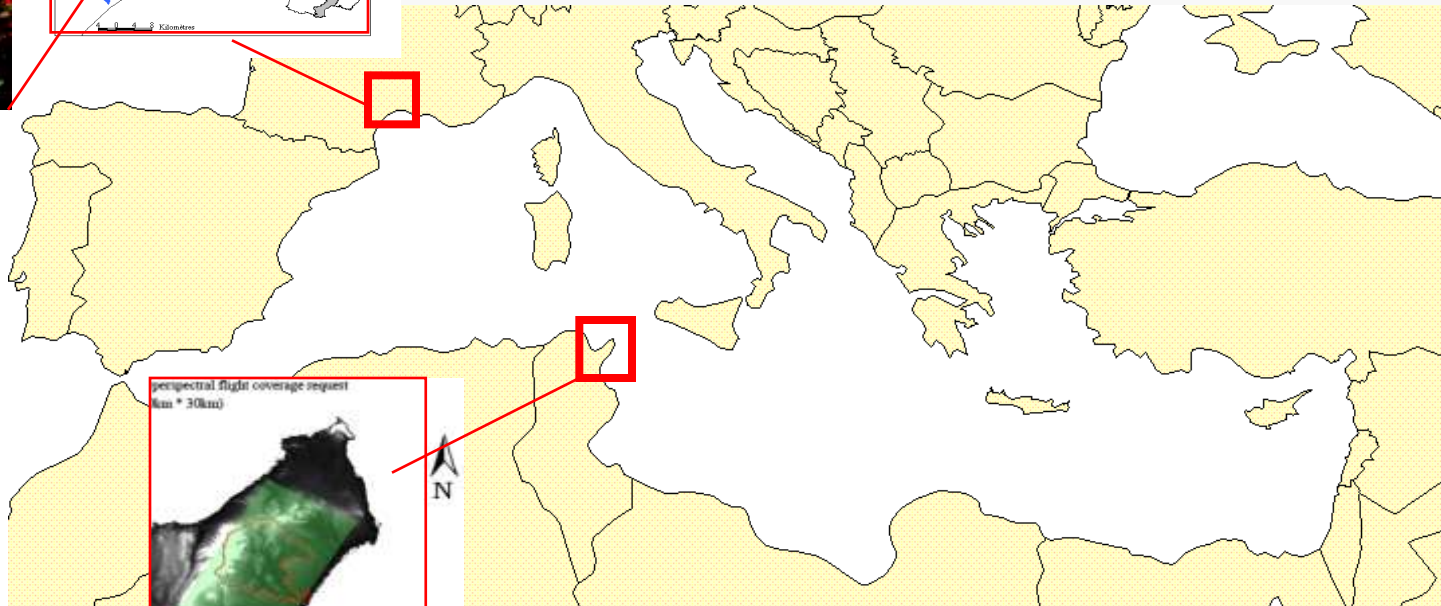
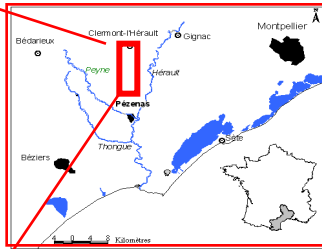
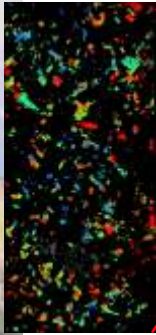
 Université de Sydney

Objectifs Généraux

- Développer des méthodes de prédiction de propriétés de surface de sol à partir d'images hyperspectrales
- Proposer une approche de cartographie numérique des sols adaptée au contexte méditerranéen
- Evaluer la valeur ajoutée de la cartographie numérique des sols pour la modélisation agro-environnementale :
 - Erosion
 - Bilan hydrique

Terrains d'étude

Bassin versant de la Peyne (Mise au point méthodologique)



Lebna catchment (red line)
west (green zone)

Gouvernorat de Nabeul (Application)

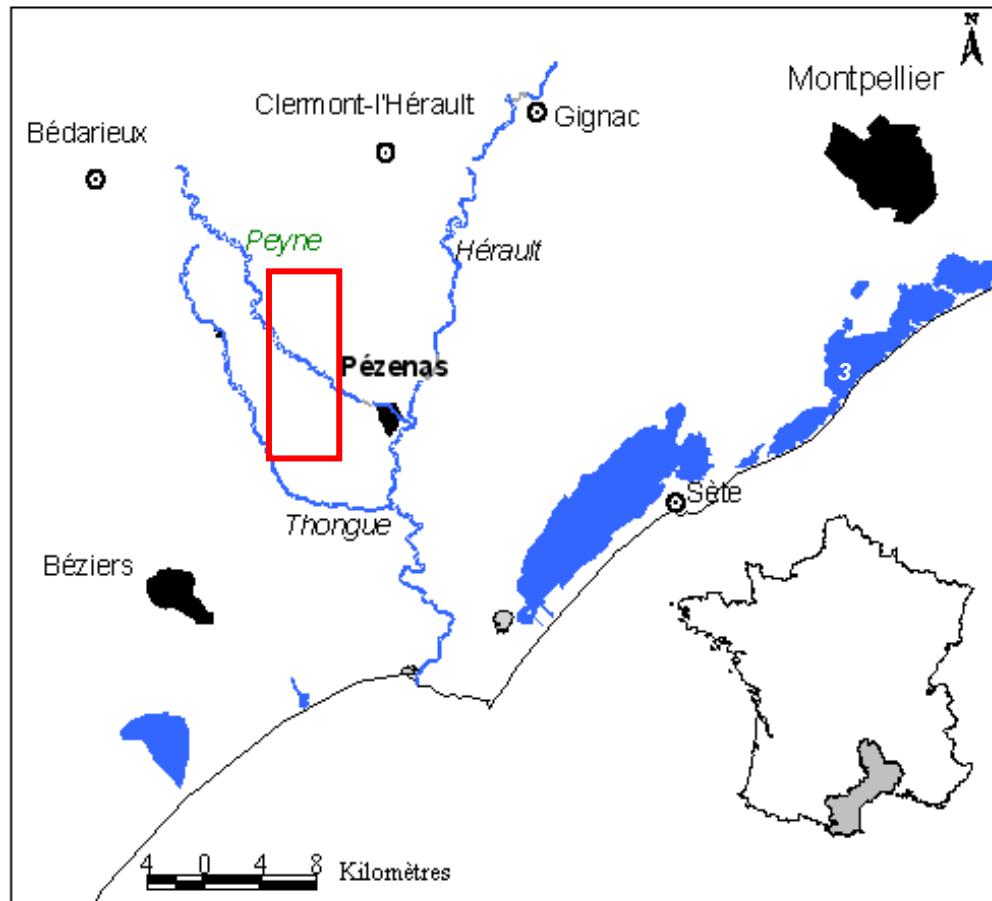
Plan de l'exposé



- **Introduction**
- **Site d'étude et données**
- **Prédiction de propriétés de surface de sol nue à partir d'une image hyperspectrale** (*Gomez et al, en prep.*)
- **Utilisation d'une image hyperspectrale pour la cartographie numérique des propriétés de sol d'une petite région** (*Lagacherie et al, en prep.*)



Site d'étude



■ Zone viticole de 23.9 km² (Bassin versant de la Peyne, Hérault)

Variabilité des surfaces de sol à prédire



Fersialsol (*sols sur alluvions « villafranchiennes »*)

CaCO₃ : 0 g/kg Argile : 397 g/kg
Fer : 2.92 g/100g CO : 10.4 g/kg



Calcisol (*sols sur alluvions quaternaires anciennes*)

CaCO₃ : 175g/kg Argile : 356 g/kg
Fer : 1.88 g/100g CO : 4.61 g/kg



Calcosol (*sols développés sur molasse*)

CaCO₃ : 336g/kg Argile : 234 g/kg
Fer : 0.72 g/100g CO : 5.4 g/kg



Fluvisol (*sols sur bordures de petits cours d'eau*)

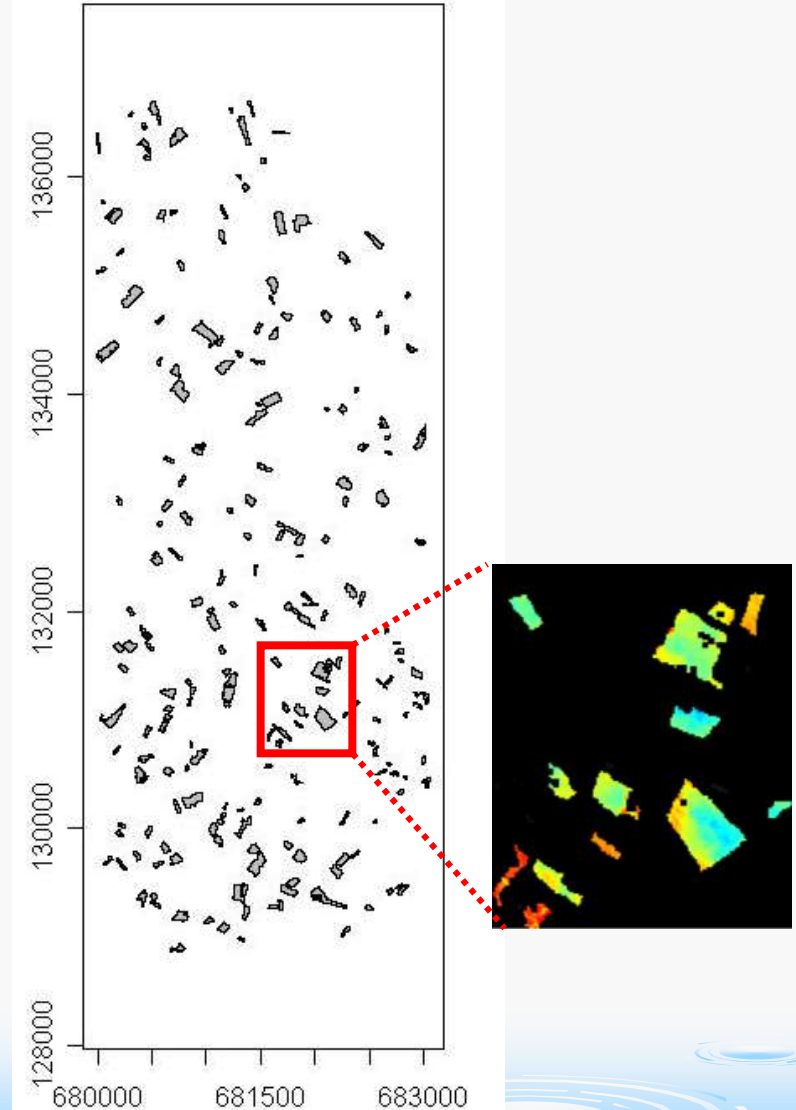
CaCO₃ : 202g/kg Argile : 125 g/kg
Fer : 0.8 g/100g CO : 18.2 g/kg



Image HYMAP



- prise de vue en Juillet 2003 (conditions sèches, vigne en végétation)
- gamme de longueur d'onde : 400nm → 2500 nm
- Résolution spectrale : 19 nm
- Résolution spatiale 5 m
- Masquée par la végétation (192 parcelles en sol nu)



200 sites mesurés

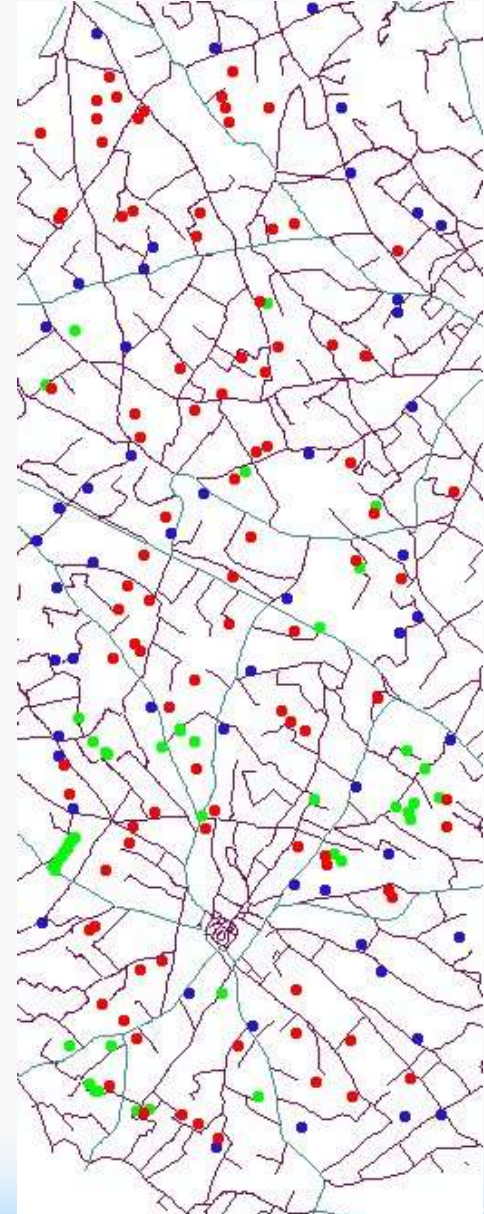


■ Parcelles de sol nu (137 sites)

- 95 sites avec analyses de sol + spectres VIS-NIR en labo (2008)
- 42 sites avec analyses de sol (2003 et 2005)

■ Parcelles de vigne (63 sites)

- 63 sites avec analyses de sol + spectres VIS-NIR en labo (2008)





- **Introduction**
- **Site d'étude et données**
- **Prédiction de propriétés de surface de sol nu à partir d'une image hyperspectrale** (*Gomez et al, en prep.*)
- **Utilisation d'une image hyperspectrale pour la cartographie numérique des propriétés de sol d'une petite région** (*Lagacherie et al, en prep.*)

Démarche générale

■ 10 propriétés primaires du sol étudiées:

- granulométrie 5 fractions
- CaCO₃
- Fer libre
- Carbone organique
- Capacité d'échange cationique
- pH

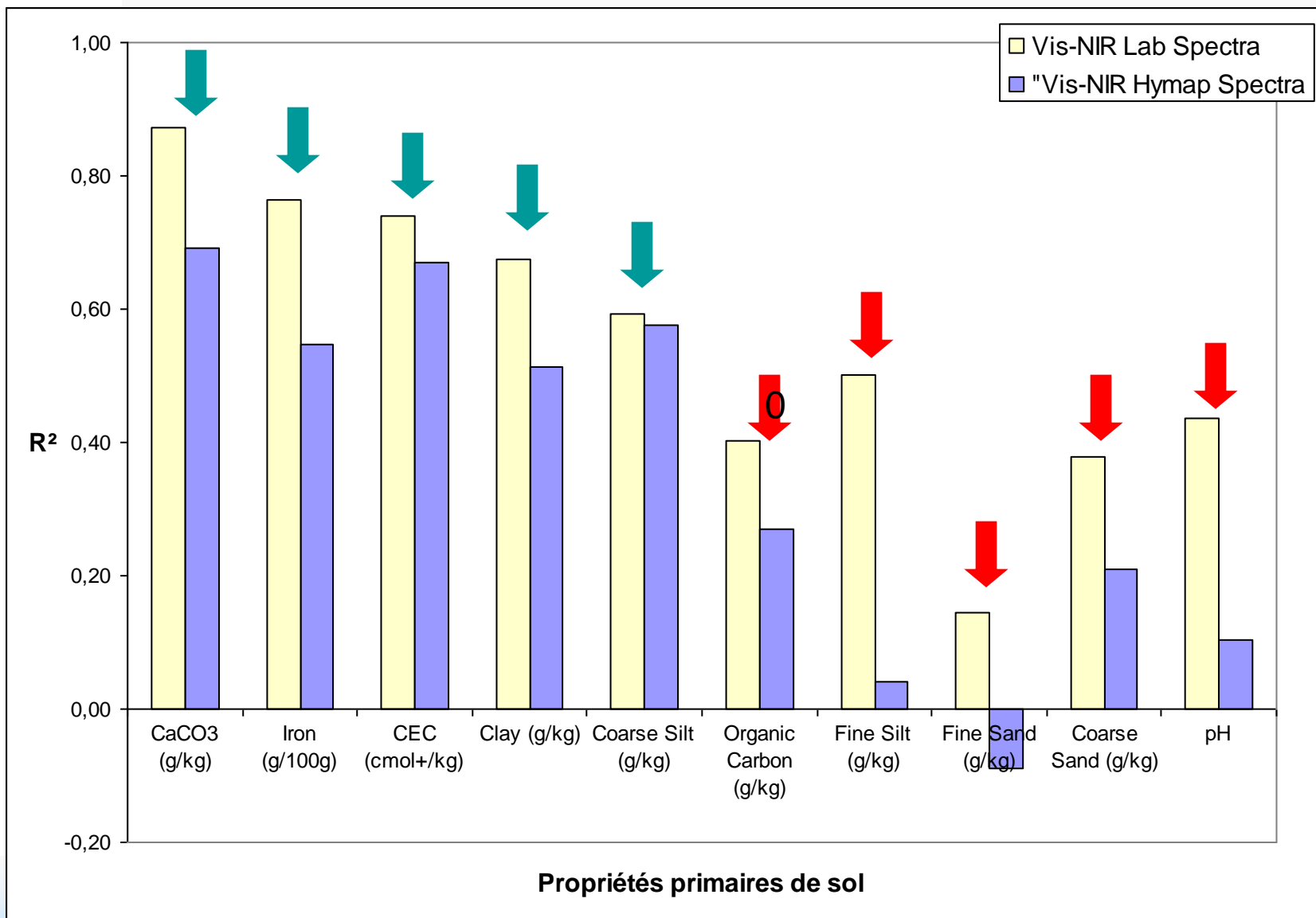
■ Prédications à partir de spectres de laboratoire et de spectres HYMAP

■ Construction des modèles de prédiction (PLSR) à partir de 2/3 des 95 sites de 2009

■ Validations

- locales sur 31 sites (1/3 des sites de 2009)
- spatiales sur 137 sites (42 sites 2003-2005 + 95 en « leave one out »)

Performances des prédictions à partir de spectre labo et HYMAP (31 sites)



Résultat : Spatialisation des propriétés de sols



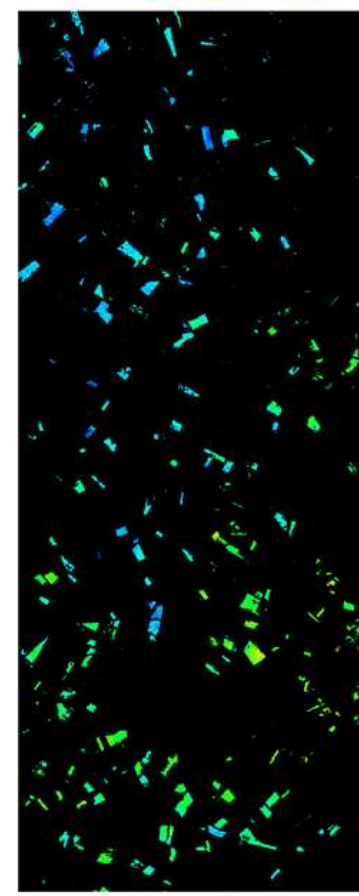
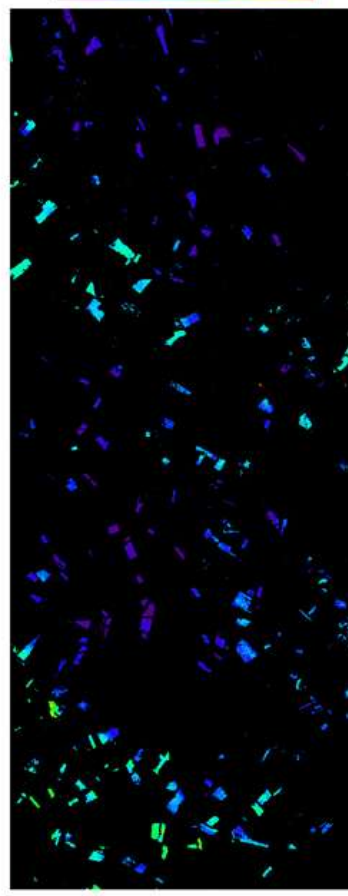
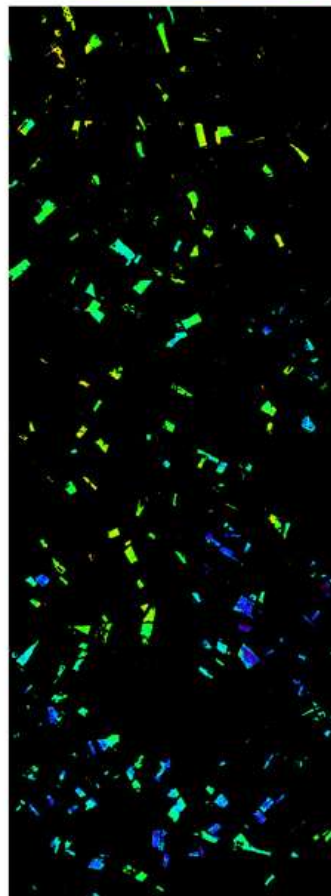
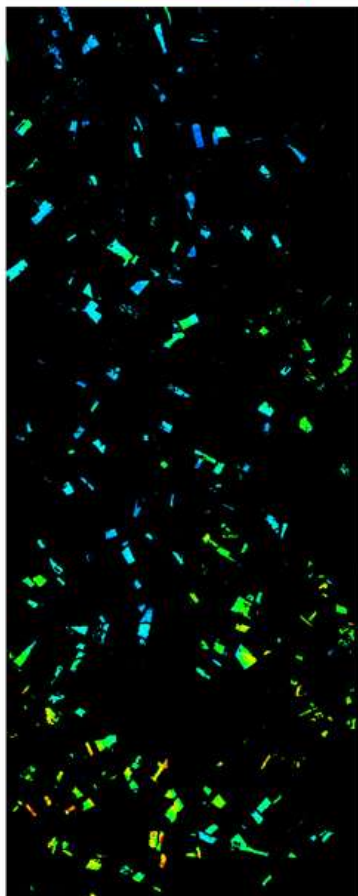
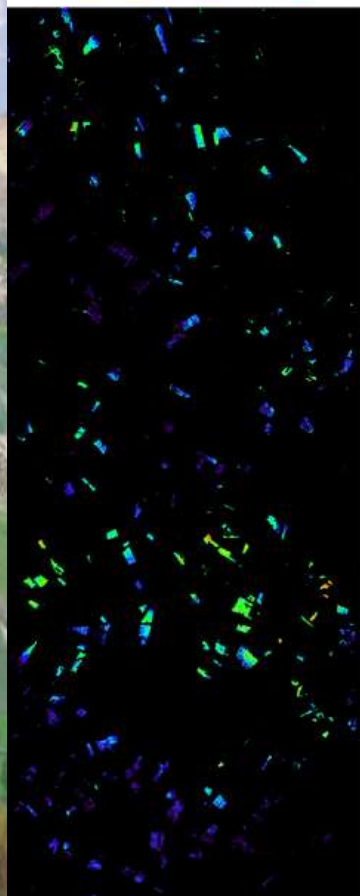
0 CaCO_3 (g/kg) 600

0 Clay (g/kg) 600

0 Coarse Silt (g/kg) 600

0 Fer (g/100g) 5

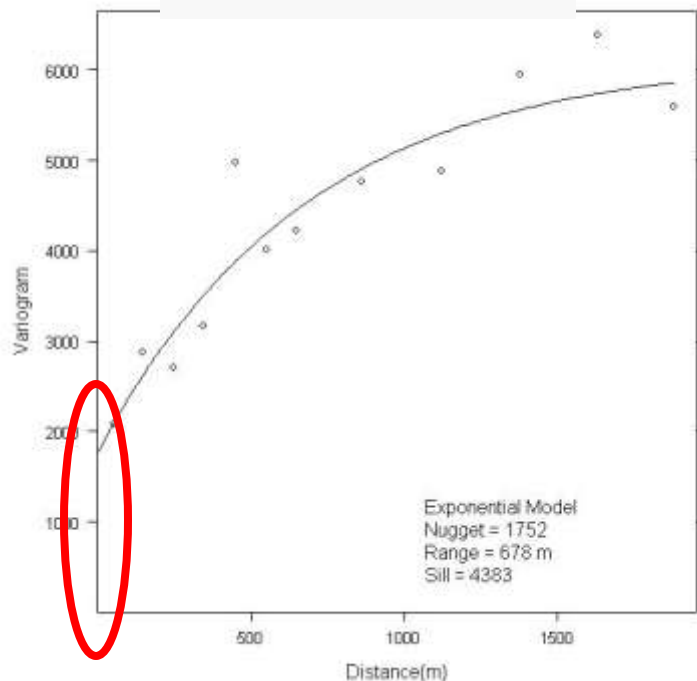
0 CEC (cmol+/kg) 25



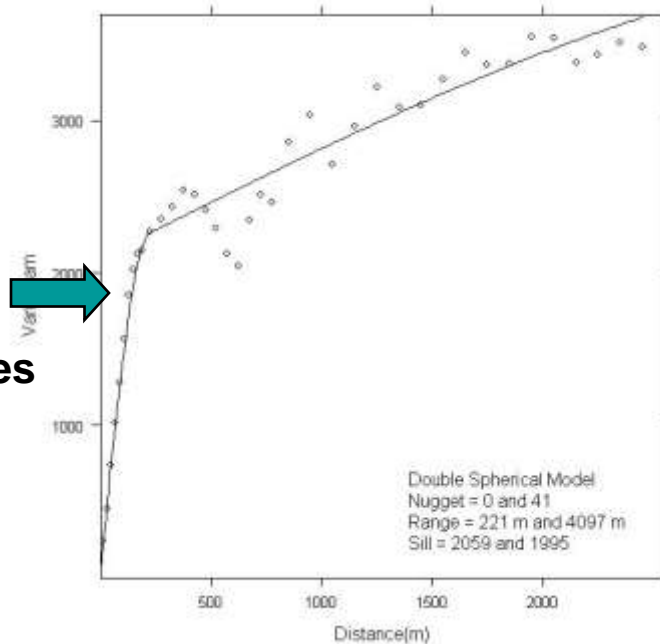
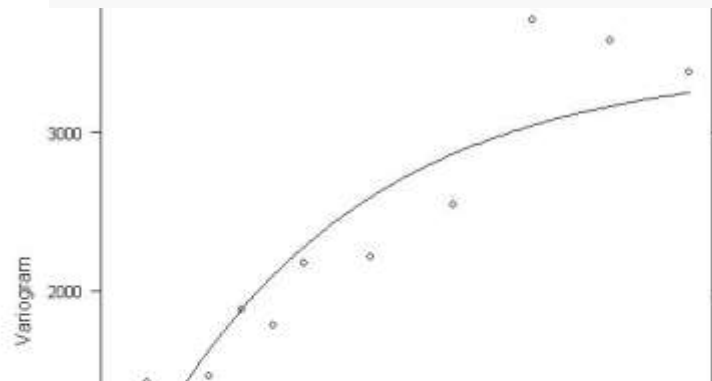
Validation par étude de structures spatiales: 1. Argile.



mesuré



Prédit par spectres HYMAP



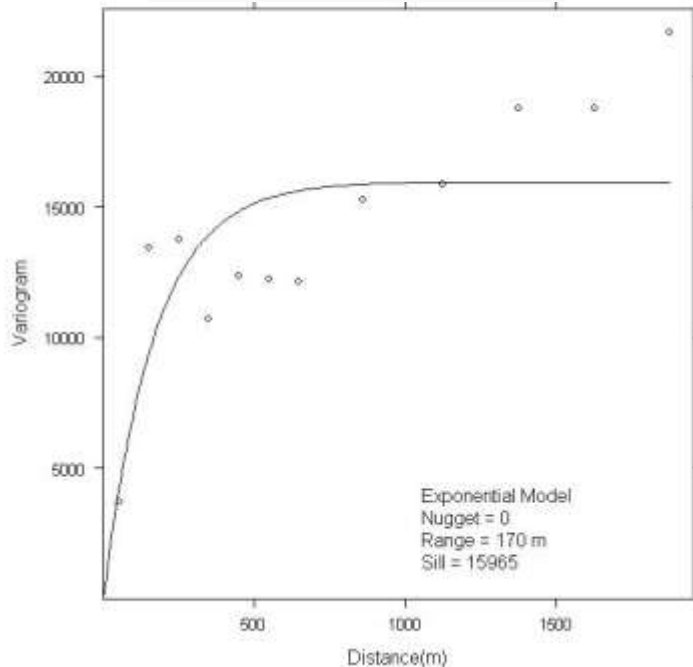
Tous les sites avec données hyperspectrales



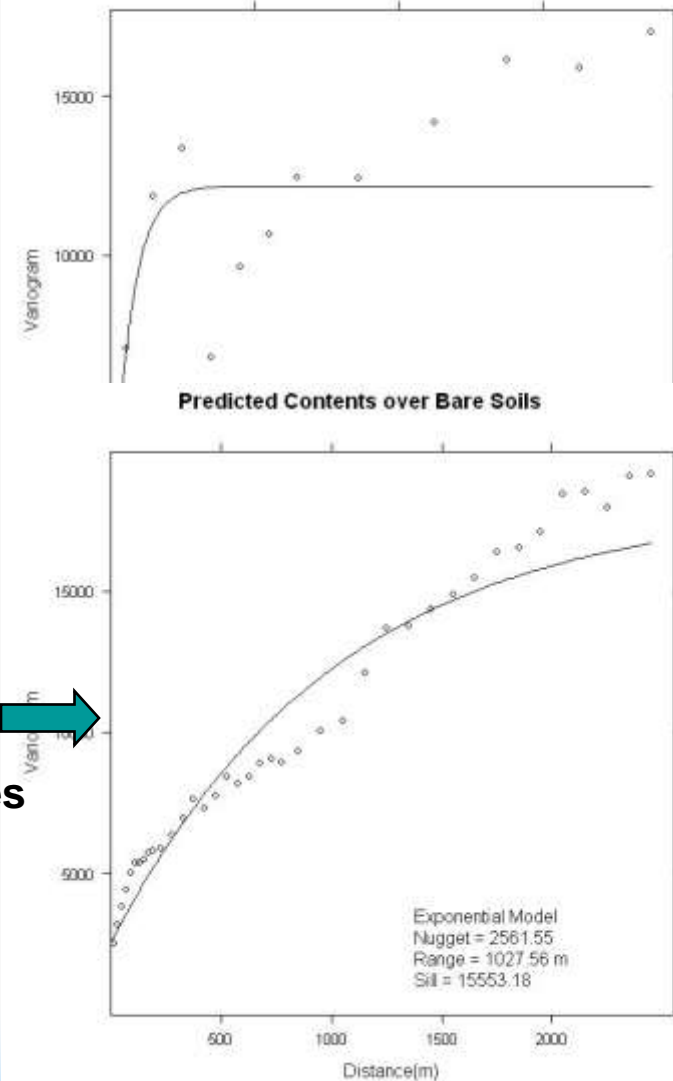
Validation par étude de structures spatiales: 2. CaCO₃



mesuré



Prédit par spectres HYMAP



Tous les sites avec données hyperspectrales



Conclusion partielle



- **Démarche caractérisée par**
 - Une large gamme de propriétés de sol étudiée (10)
 - Une méthode de validation basée sur sites indépendants
 - La prise en compte de la représentation des structures spatiales
- **5 des 10 propriétés de sol « correctement » prédites en local**
- **Les structures spatiales de propriétés obtenues par HYMAP sont proches mais pas identiques aux structures spatiales mesurées**
 - Significativité des différences (nombre de sites) ?
 - Nouveau modèles de prédictions qui privilégient les représentations de structures spatiales ?
- **Prédictions uniquement sur surfaces de sol nu**



- **Introduction**
- **Site d'étude et données**
- **Prédiction de propriétés de surface de sol nu à partir d'une image hyperspectrale** (*Gomez et al, en prep.*)
- **Utilisation d'une image hyperspectrale pour la cartographie numérique des propriétés de sol d'une petite région** (*Lagacherie et al, en prep.*)

Démarche générale



■ Données

- 200 sites avec mesures d'argile
- 192 parcelles de sol nu avec un estimateur spectrométrique du taux d'argile (CR_{2206}) ($R^2 = 0.58$)

Lagacherie et al, 2008

■ Principe :

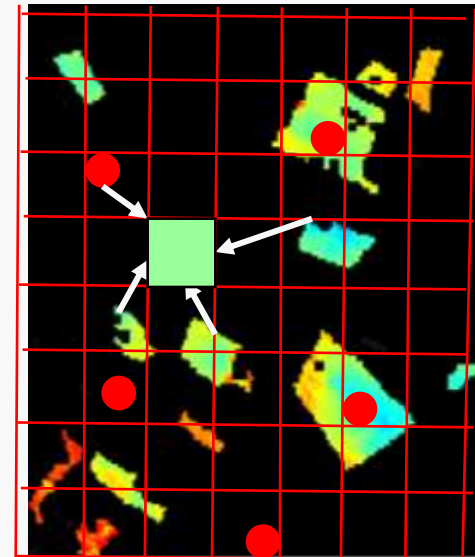
- Interpolation et agrégation spatiale

■ Outil :

- Cokrigage par blocs (R)

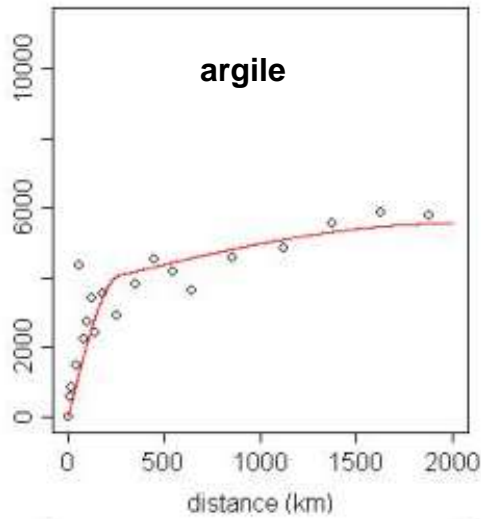
■ Stratégie d'estimation d'erreurs de spatialisation

- Validation des valeurs et erreurs prédites sur sites ponctuels par cokrigage
- Erreur sur bloc \approx variance d'erreur estimée par cokrigage par block

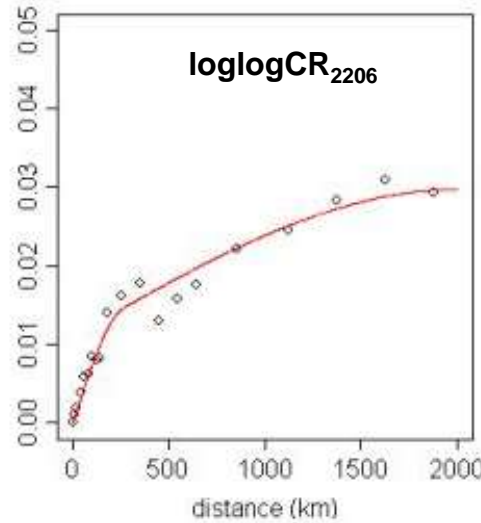
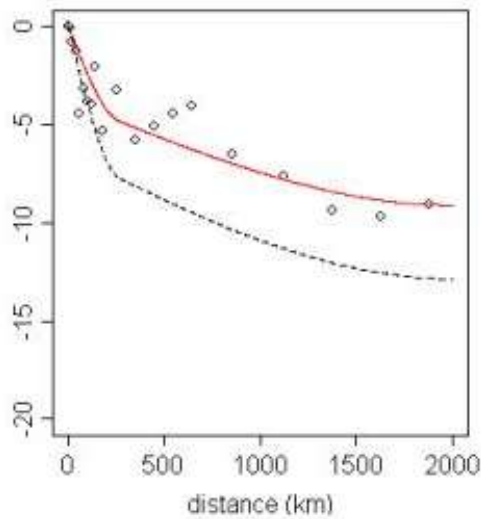


- Points mesurés
- Bloc concerné par prédiction

Modèle spatial: modèle de corégionalisation linéaire



$$\begin{bmatrix} \gamma_{\text{clay-clay}} & \gamma_{\text{clay-CR2206}} \\ \gamma_{\text{CR2206-clay}} & \gamma_{\text{CR2206-CR2206}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3693 & -3.786 \\ -3.786 & 0.0110 \end{bmatrix} \text{Sph}\left(\frac{h}{265}\right) + \begin{bmatrix} 1872 & -5.339 \\ -5.339 & 0.0188 \end{bmatrix} \text{Sph}\left(\frac{h}{2000}\right)$$



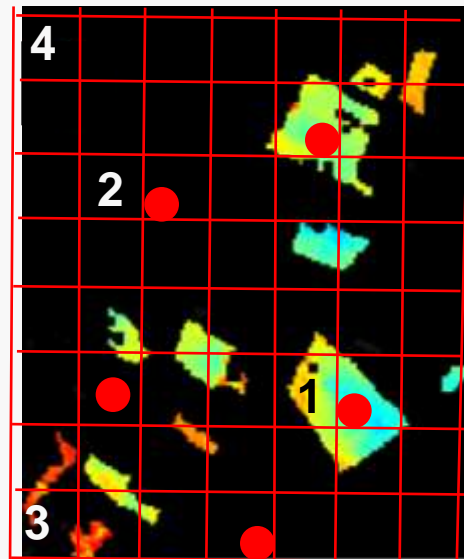
Performances de prédictions



■ Cokrigage ponctuel

$RMSEP_{vc} = 51 \text{ g/kg} \approx RMSEP_{est} = 50 \text{ g/kg} \rightarrow$ bonne estimation des erreurs de prédiction

■ Cokrigage par blocs 100m

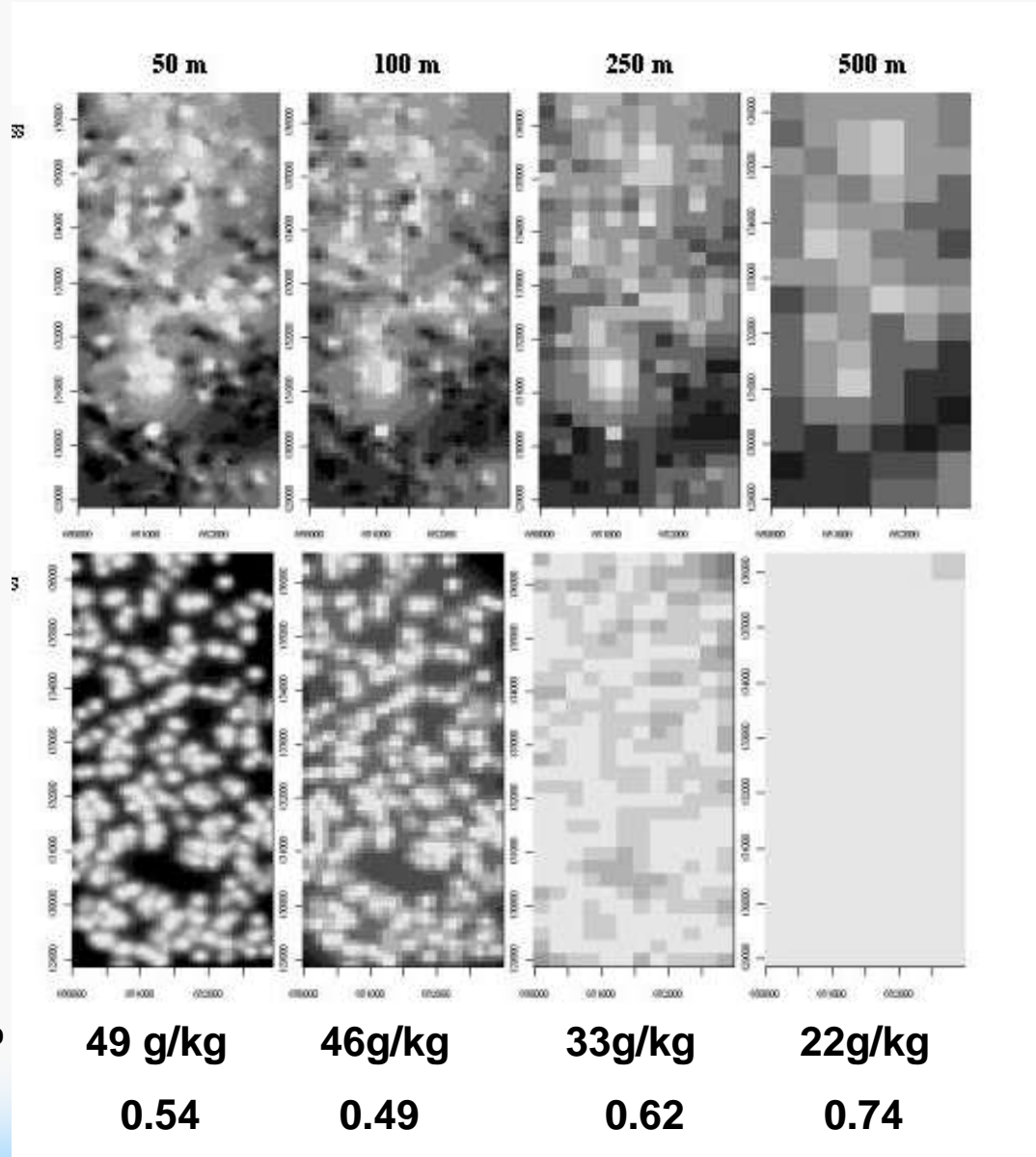


- | | |
|---|-----------------|
| 1. Proche site mesuré et données hyperspectrales (<200m) : | RMSEP = 43 g/kg |
| 2. Proche site mesuré et loin données hyperspectrales | RMSEP = 49 g/kg |
| 3. Loin site mesuré et proche données hyperspectrales: | RMSEP = 53 g/kg |
| 4. Loin site mesuré et loin données hyperspectrales: | RMSEP = 58 g/kg |

Co-krigeage par bloc à différentes résolutions spatiales



Taux
d'argile



Erreur
estimée

RMSEP

49 g/kg

46g/kg

33g/kg

22g/kg

R²

0.54

0.49

0.62

0.74

Conclusions partielles



- Le co-krigeage par bloc permet d'exploiter des images hyperspectrales incomplètes pour cartographier des propriétés des sols
- Les données hyperspectrales apportent une amélioration significative sur la prédiction d'argile à l'échelle sub-régionale
- La démarche permet une variété de représentations possibles en modulant résolution spatiale et précision de prédiction
- Peut être étendue à toutes les propriétés prédites par l'imagerie hyperspectrale et autres capteurs géophysiques;

Conclusions - perspectives



- **L'imagerie hyperspectrale peut être une source d'information importante pour la cartographie des sols méditerranéens**
- **Transposition de l'approche sur terrain Tunisien → démarche généralisable?**
- **Extension de l'imagerie hyperspectrale aux zones (partiellement) végétalisées**
- **Valeur ajoutée de la cartographie numérique des sols utilisant des images hyperspectrales**
 - Spatialisation de l'érodibilité des sols
 - Spatialisations des bilans hydriques et potentialités des cultures