

Cartographie haute résolution du carbone des sols en milieu aride par régression-krigeage combinant des données spectrométriques au sol et une image ASTER

H. Aïchi^{1, 2, 3}, Y. Fouad^{1, 2*}, C. Walter^{1, 2}, Z. Lili Chabaane³, H. Nicolas^{1, 2}, M. Sanaa³

¹*Agrocampus Ouest, UMR 1069, Sol Agro et hydrosystème Spatialisation, F-35000 Rennes, France*

²*INRA, UMR 1069, Sol Agro et hydrosystème Spatialisation, F-35000 Rennes, France*

³*Institut National Agronomique de Tunisie (INAT), 1082 Tunis - Mahrajène, Tunisie*

* Contact Information: fouad@agrocampus-ouest.fr

La compréhension de la distribution spatiale des propriétés du sol est un enjeu majeur, tout particulièrement dans un contexte de gestion et de surveillance de la ressource sol.

→ Nécessite des données de qualité et de prix abordable

Spectroscopie par réflectance Vis-PIR offre une méthode alternative pour prédire une large gamme de propriétés de sol (Viscarra Rossel et al., 2006 ; Lagacherie et al., 2008)

→ Il a été démontré que c'est une bonne alternative aux analyses coûteuses des sols au laboratoire pour estimer certaines propriétés physiques et chimiques du sol

→ Différentes méthodes ont été développées pour mettre en relation les spectres des sols acquis au laboratoire aux attributs du sol : Partial Least Squares regression (PLS regression)

→ Ces prédictions ponctuelles génèrent des données d'entrée pour les modèles d'interpolation permettant ainsi de produire des prédictions spatialisées.

En général, lorsque l'interpolation est uniquement basée sur des données ponctuelles les cartes obtenues peuvent être très lissées en particulier quand la résolution de l'échantillonnage insuffisante pour appréhender les variations spatiales à courte distance (Walter, 2002; Douaoui et al., 2006; Minasny and Mc Bratney, 2007).

Techniques hybrides peuvent offrir une meilleure estimation de la variable d'intérêt que la simple utilisation des techniques géostatistiques (Hengl *et al.*, 2007)

→ Combinent les avantages des prédictions basées à la fois sur les corrélations dans l'espace géographique et l'espace des variables (Bishop and Mc Bratney, 2001; Bourenane and King, 2003; Lloyd, 2005) : Méthodes robustes

→ Régression-krigeage (Odeh *et al.*, 1994 and 1995 ; Minasny and Mc Bratney, 2007).

Objectifs:

Dans le contexte d'un milieu aride en Tunisie,

- Implémenter une approche régression PLS-krigeage pour prédire les propriétés du sol,
- Combiner des informations issues des bandes multi-spectrales d'une image satellitale et une collection de spectres de sol acquis en conditions contrôlées de laboratoire.

Application à la teneur en carbone total (C_{tot}) qui est une propriété déterminante dans le processus de la genèse du sol dans cette zone aride.

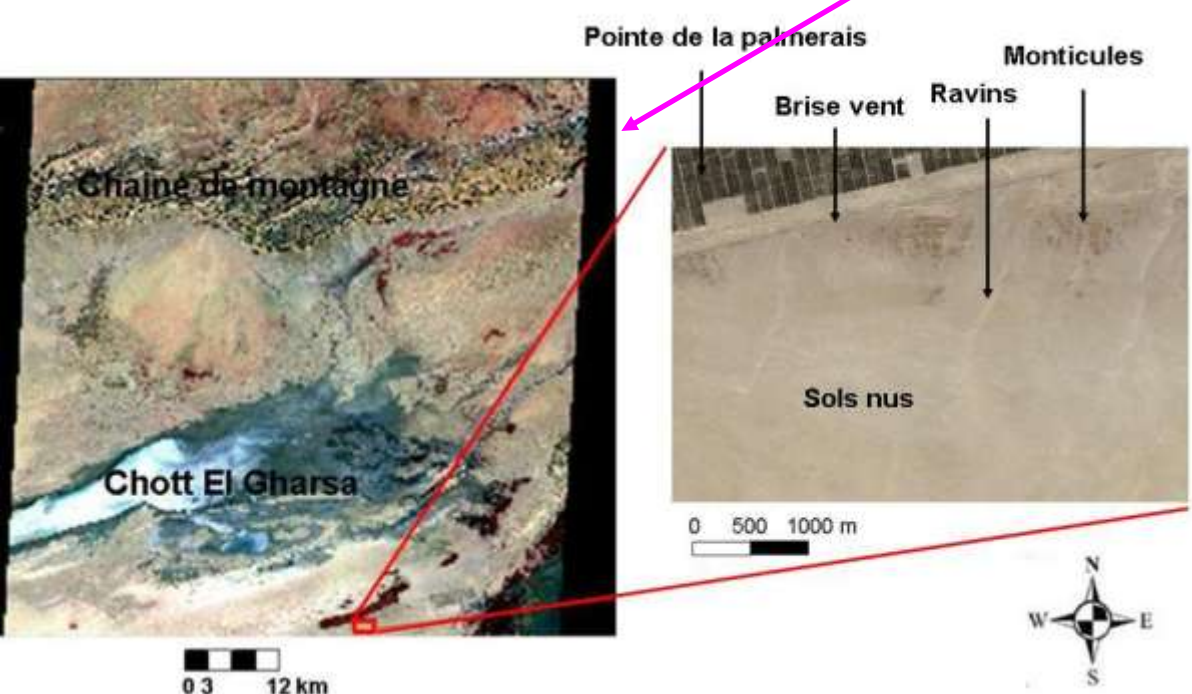
Site d'étude

Situé dans la région naturelle aride de Djérid (SO de la Tunisie)

Couverture pédologique formée pour l'essentiel de sols calcimagnésiques à texture sableuse (El Fkih, 1965)

Image ASTER image (scène of 60x60 km²) acquise 27 octobre 2006 (Fausses couleurs RGB)

La scène couvre la partie nord de la région naturelle du Djérid



Sub-image (zone d'intérêt pour notre étude), spatialement rééchantillonnée à partir de l'image initiale, couvre 580 ha

Cette zone fait partie du BV de chott El Gharsa

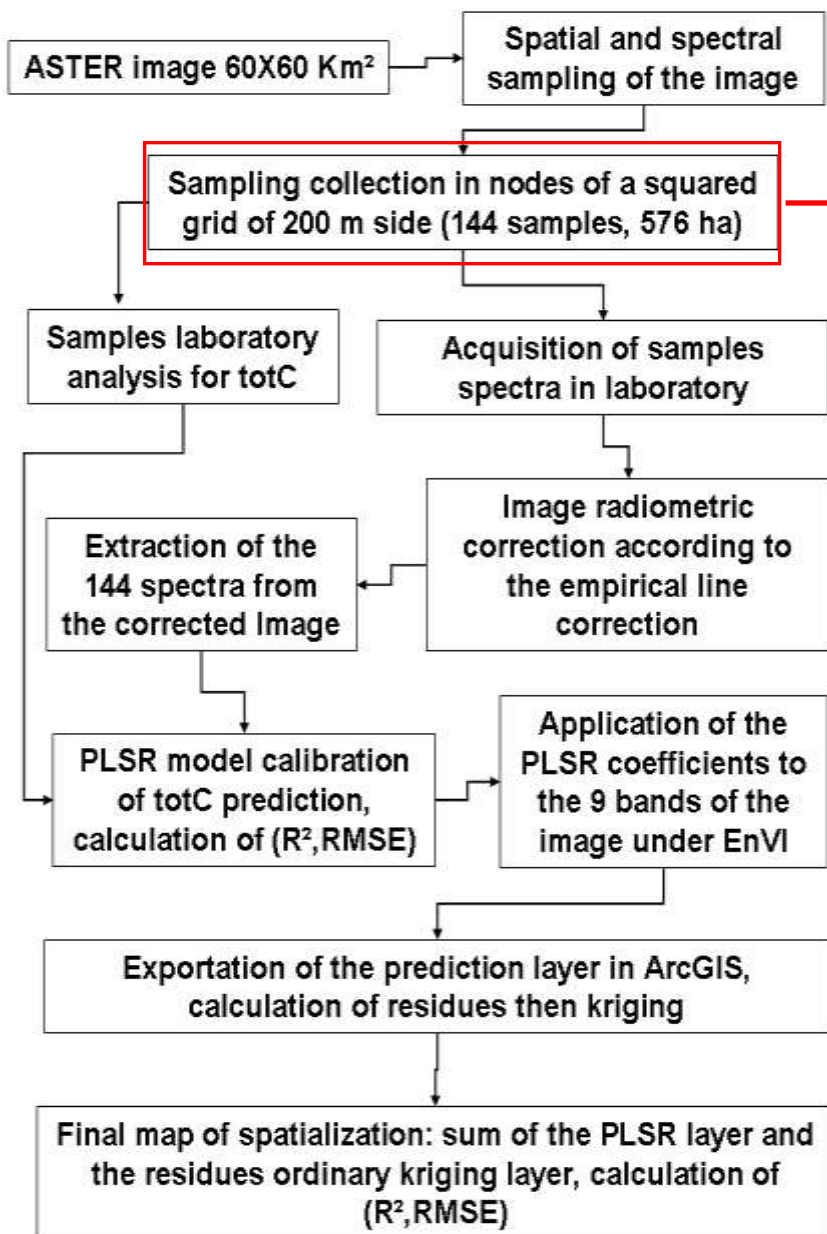
Caracteristiques	Visible et Proche infrarouge	Proche infrarouge	IRThermique
Bandes (nm)	B1 : 520-600 (Nadir)	B4 : 1600-1700	B10 : 8120-8 470
	B2 : 630-690 (Nadir)	B5 : 2140-2180	B11 : 8470-8820
	B3 : 760-860 (Nadir)	B6 : 2180-2220	B12 : 8920-9270
	B3B : 760-860 (± incliné de 24°)	B7 : 2230-2280	B13 : 1025-1095
		B8 : 2290-2360	B14 : 1095-1165
		B9 : 2360-2430	
Résolution spatiale (m)	15	30	90

Image ASTER a été georeferencée, corrigée des effets atmosphériques et des distorsions géométriques associées au capteur par EOS (Earth Observing System) Data Gateway Center,

Bandes IR thermique supprimées,

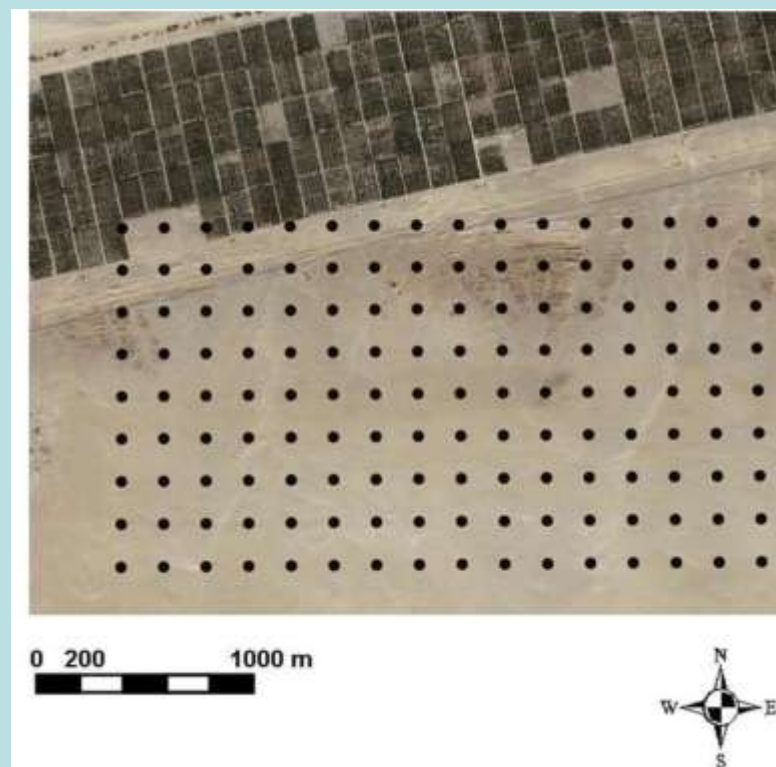
Taille des Pixels des 6 bands PIR re-échantillonnée de 30 à 15 m en utilisant la méthode du plus proche voisin,

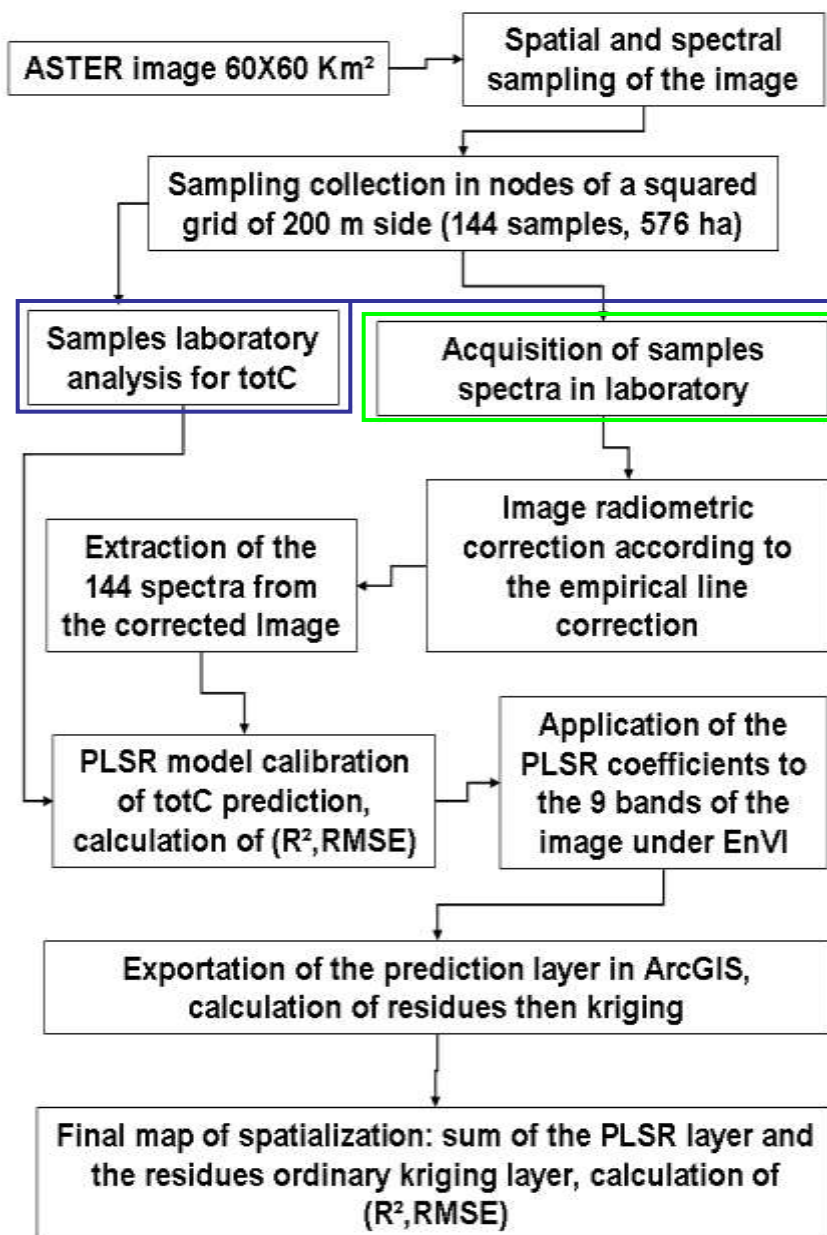
Traitements d'image : ENVI®4.3.



Echantillonnage au sol:

- Réalisé en période sèche : 1^{ère} quinzaine de Novembre 2007.
- Toutes les zones échantillonnées : sols nus
- Points d'échantillonnage géoréférencés à l'aide d'un GPS
- Un échantillon composite formé de 8 sous-échantillons de sol est constitué à chaque nœud de la grille (placette d'un rayon de 8 m).





Analyse laboratoire Ctot :

Combustion (Norm ISO 10694) : analyseur élémentaire HCN

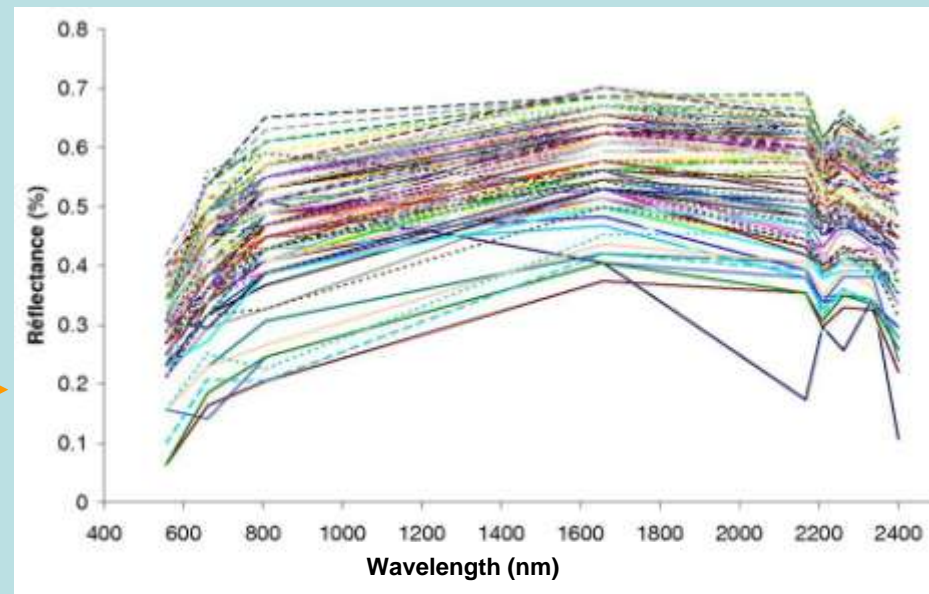
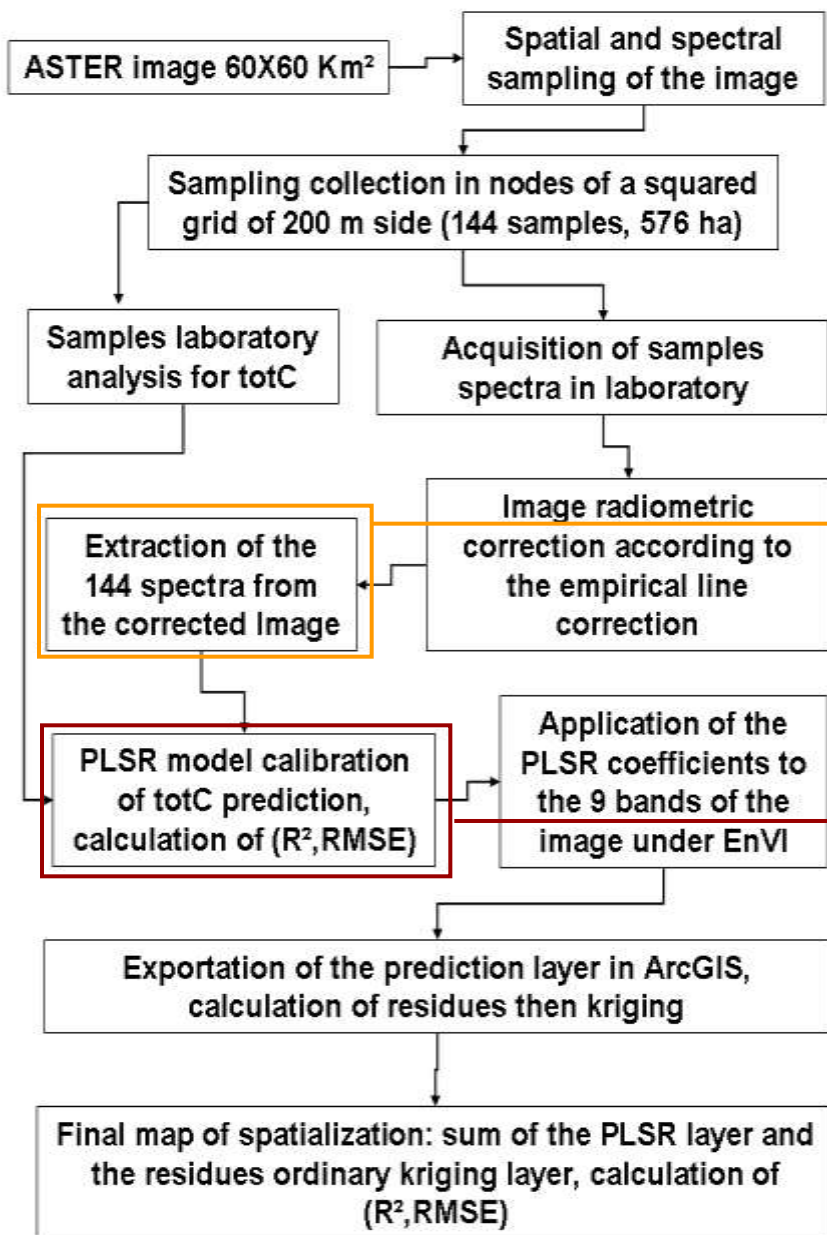
Mesures reflectance spectrale au laboratoire :

Ech. de sols séchés à l'air libre puis tamisés à une fraction de 2 mm

ASD FieldSpec Pro-Fr (350-2500nm, échantillonnage spectral de 1 nm)

Source de lumière : 2 lampes halogènes, 300W/lampe

24h avant l'acquisition des spectres les éch. sont passés à l'étuve à 45°C



Calibration d'un modèle statistique par validation croisée "leave-one-out" : Algorithme régression PLS.

Statistiques descriptives

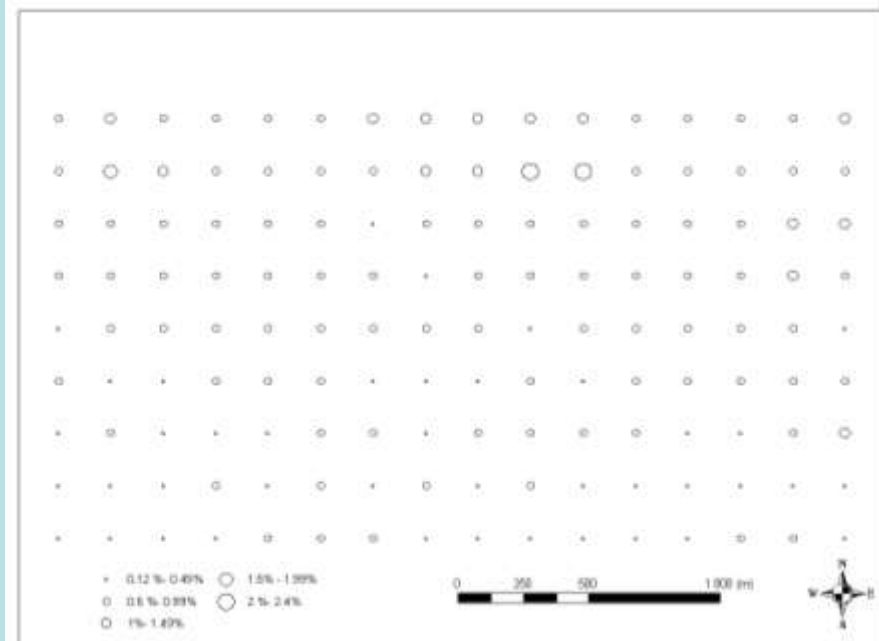
	Min	Max	Etendue	Moy	ET
Ctot (%)	0.12	2.38	2.26	0.70	0.34

Carbone essentiellement sous forme minérale

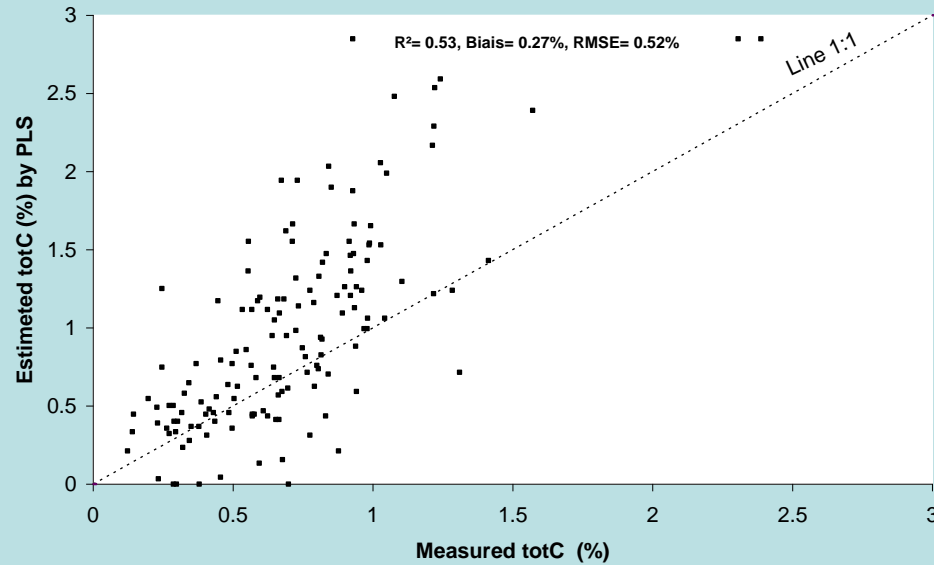
Végétation (herbacées à faible biomasse) très éparse : couverture < 1% de la surface du sol

Pour 31 échantillons du même site mais prélevés sur une superficie plus large (2800 ha) : Cmin représente en moyenne 96,5% du Ctot.

Nature carbonatée du matériau originel sous-jacent



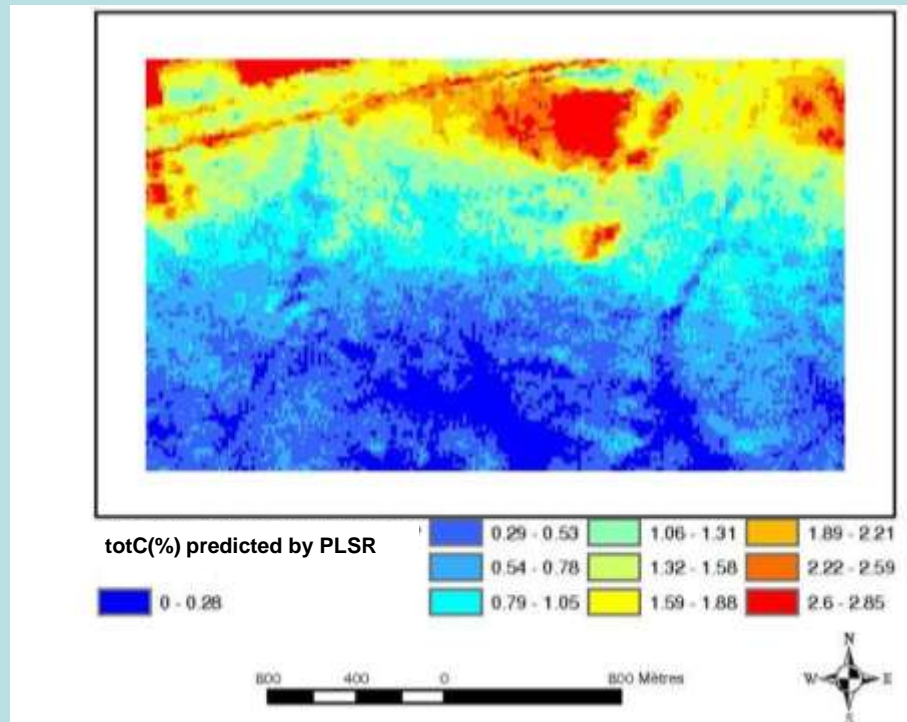
Gradient Sud-Nord de la teneur en Ctot.



Modèle PLS surestime les valeurs mesurées;

Surestimation pourrait s'expliquer par la présence dans le sol de constituants autres que les carbonates, et dont les vibrations occasionnent une augmentation de l'énergie absorbée.

Site d'étude : Sols calcimagnésiques avec une présence à la fois des ions CO_3^- et SO_4^-



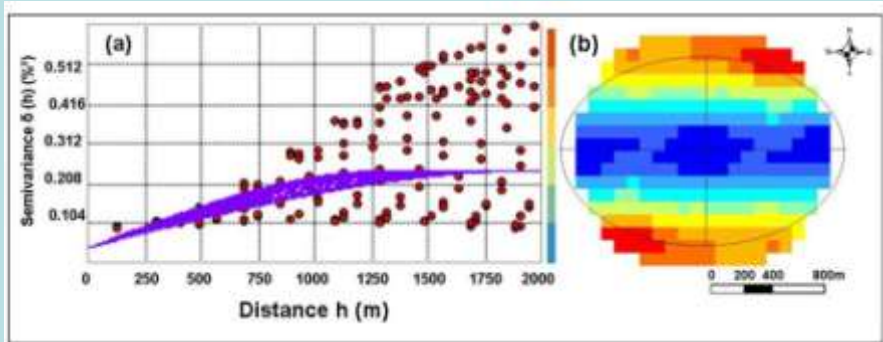
Carte de la teneur en Ctot obtenue par application du modèle PLS calibré aux 9 bandes de la sub-image ASTER.

Spatialisation du modèle PLS génère des classes de valeurs prédites cohérentes avec les structures physiques observées dans la zone d'étude :

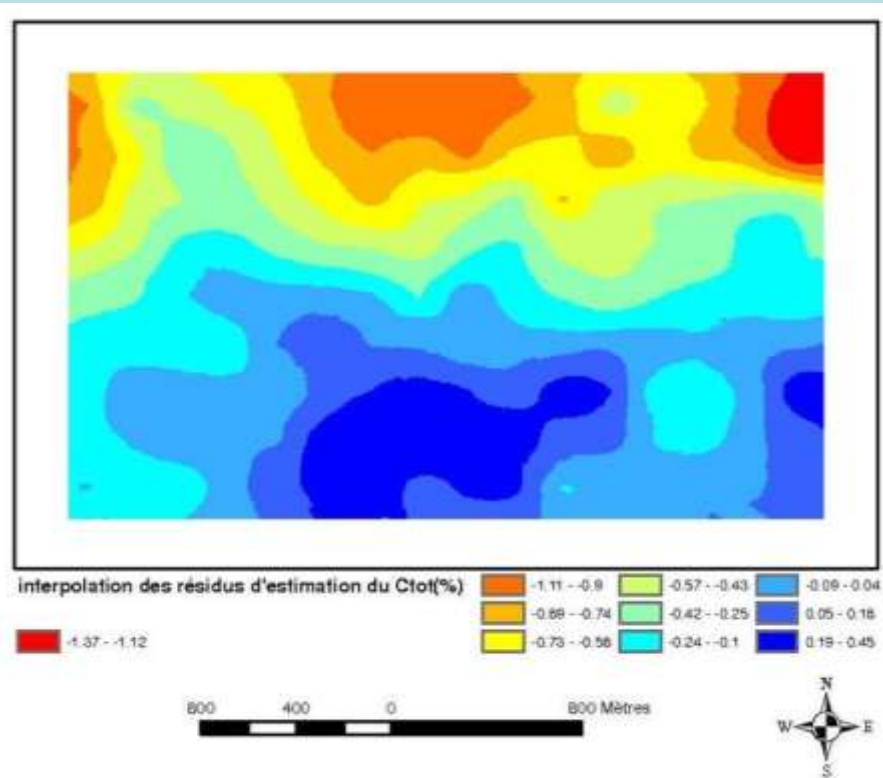
Teneurs en Ctot faibles dans la partie sud alors qu'elles sont fortes dans la partie nord où la croûte calcimagnésique est affleurante.

Plage à forte teneur en Ctot circonscrit d'une part les monticules et d'autre part la piste ouverte dans un lithosol gypso-calcaire délimité par une palissade formée de palmes sèches (riche en Corg)

Variogramme expérimental des résidus de la variable Ctot



Krigeage ordinaire des résidus de la régression PLS



Meilleur ajustement : modèle anisotrope sphérique

Effet pépite de $0.038(\%)^2$ et un palier de $0.208(\%)^2$

Portée majeure 1985m avec orientation Est-Ouest

Portée mineure 1324m avec orientation Nord-Sud

→ Variation spatiale plus importante dans la direction Nord-Sud.

Effet pépite faible, 18% de la variance totale

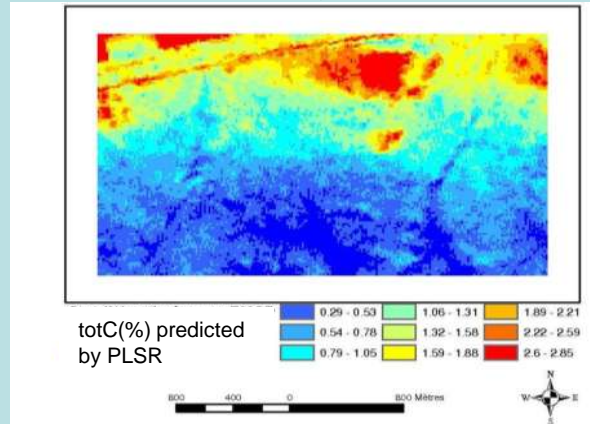
→ Faible variabilité locale

Gradient des résidus Sud-Nord.

Le modèle surestime les fortes teneurs en Ctot :

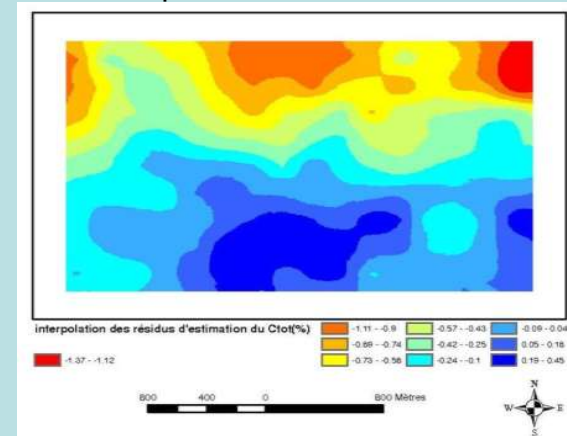
Fortes erreurs au nord pourraient s'expliquer par la présence du gypse et de l'argile qui forment en plus des carbonates les structures monticulaires gréseuses et qui influencent directement les propriétés spectrales.

Spatialisation de la régression PLS

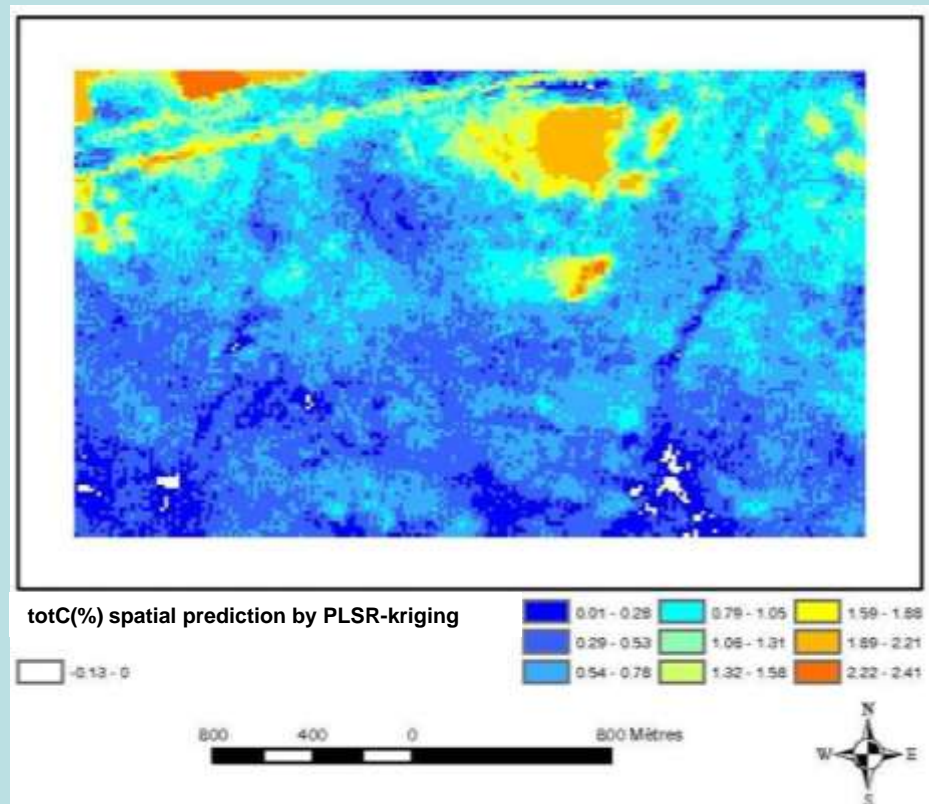


+

Interpolation des résidus



=

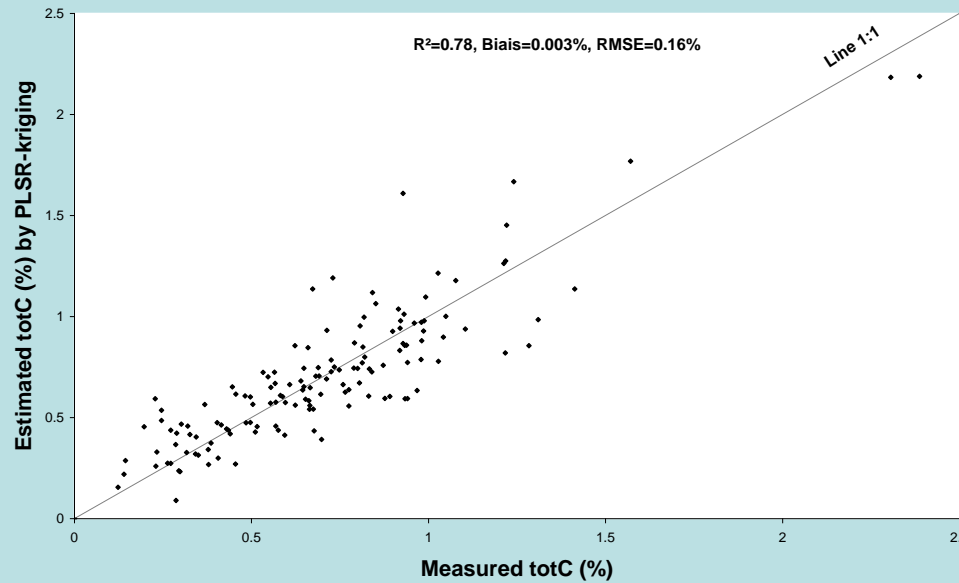


• Qualitativement la carte obtenue présente des plages continues mais contrastées et cohérentes avec les structures physiques du milieu (monticules, réseau physiographique, piste et brise-vent, limites de la palmeraie, etc.)

• Teneurs les plus élevées de Ctot se concentrent au niveau du monticule (matériau originel de nature calcimagnésique)

• Teneurs les plus faibles se situent au niveau des ravins (sols déblayés et décarbonatés par effet mécanique et chimique des eaux de ruissellement)

Ctot prédit par régression PLS-Krigeage au niveau des 144 pixels de la carte produite vs teneurs Ctot mesurées au laboratoire



Performances des prédictions améliorées de manière significative : $R^2 = 0.78$, Biais = 0.003% and RMSE = 0.16%

- Pour notre cas d'étude (région aride), le couplage d'une image multi-spectrale ASTER et des spectres de sol acquis au laboratoire nous a permis de quantifier spatialement la teneur en C_{tot} du sol avec une assez bonne précision :

Performances de prédiction meilleures avec régression PLS-krigeage ($R^2 = 0.78$, RMSE = 0.16%) que la simple spatialisation du modèle PLS ($R^2 = 0.53$, RMSE = 0.52%)

- Cette approche apparaît bien adaptée aux conditions arides du fait que les périodes de sol nu sont nombreuses → Plus facile à adapter que dans conditions tempérées
- Le défi étant le suivi temporel du sol → Méthode prometteuse parce que la méthodologie est de coût abordable, avec une haute résolution spatiale et une répétabilité dans le temps dans de bonnes conditions (sol nu,...)

**Merci de votre
attention**