Etat de l'art
des capteurs et technologies numériques pour caractériser les sols cultivés

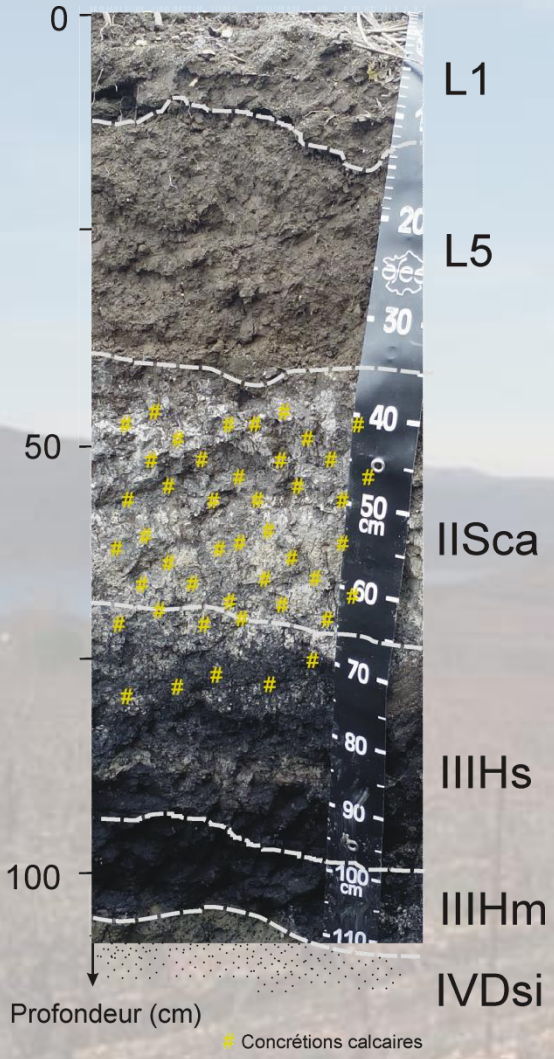
Guillaume Coulouma *INRA, UMR LISAH* , Montpellier , France

Maud Seger *INRA, UR SOL ,* Orléans , France

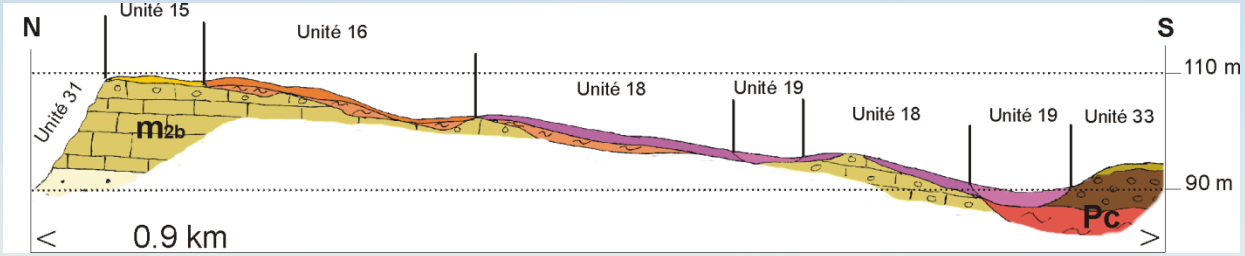
Séminaire AGROTIC 5 décembre 2017

Le sol : un écosystème variable

- Verticalement



- Latéralement



- Temporellement
  pour certaines propriétés

Comment traduire cette variabilité ?

$$S = f(S, C, O, R, P, A, N) + \varepsilon \text{ (erreur)}$$

Sol — Sol — Climat — Organismes — Relief — Roche mère — Age — Position(x,y)

Données spatiales en lien avec formation des sols

Données pédologiques anciennes (profils, cartes)

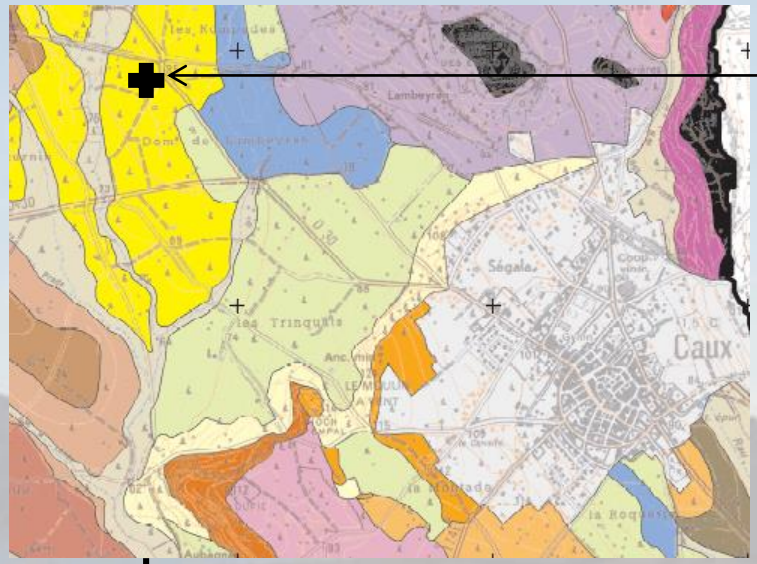
Nouveaux échantillonnages de sites mesurés

« soil sensing »

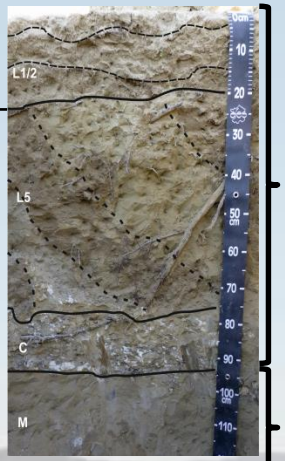
Fonctions d'estimation spatiale

Comment traduire cette variabilité ?

- De la carte traditionnelle



Profil représentatif d'une unité de sol



géostatistiques

- Aux propriétés de sol

Nouveaux capteurs au sol

Nouveaux capteurs aéroportés ou satellites

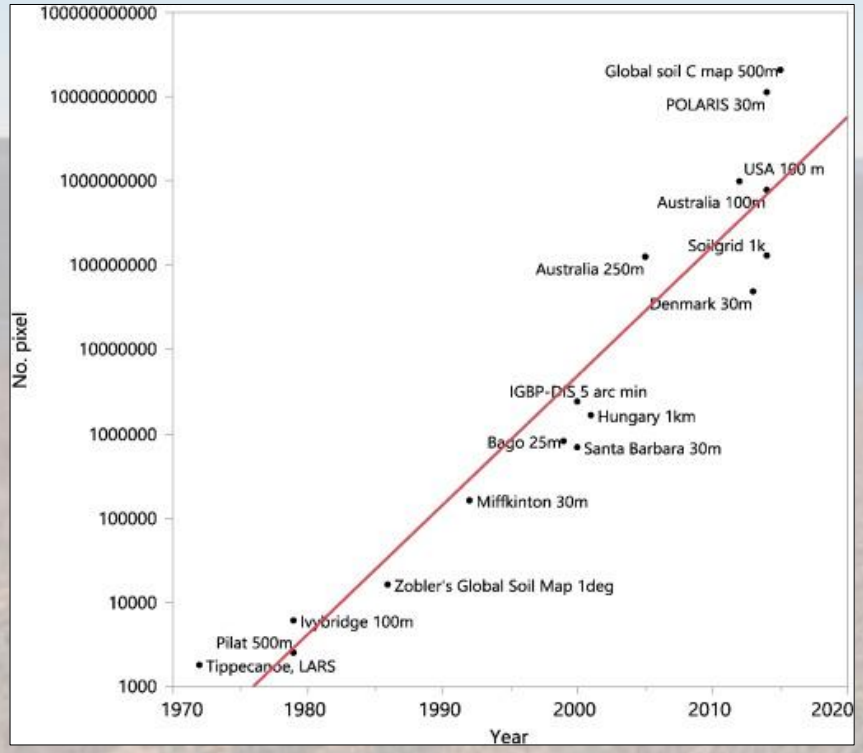
Comment traduire cette variabilité ?

- Des progrès techniques
  - Au niveau de l'instrumentation



  - Au niveau des capacités informatiques

Minasny and McBratney, 2016

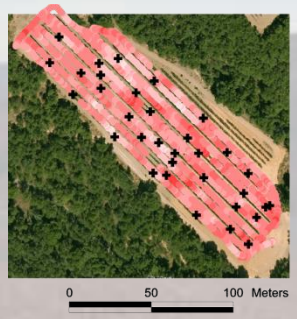


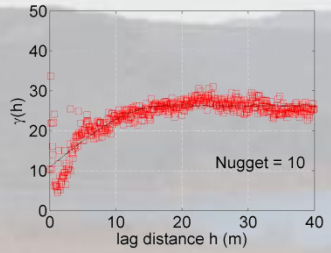
Comment traduire cette variabilité ?

- Au grain de la parcelle agricole, plusieurs voies possibles
  - Augmenter les observations et analyses classiques

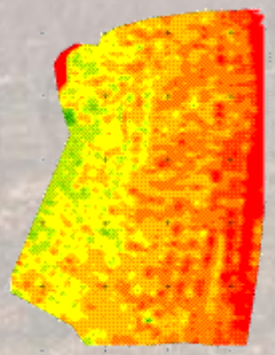


  - Utiliser des techniques géostatistiques sur l'info préexistante





  - Utiliser des données issues de « capteurs »



Différents types de capteurs

- Un **capteur** transforme l'état d'une grandeur physique observée en une grandeur utilisable







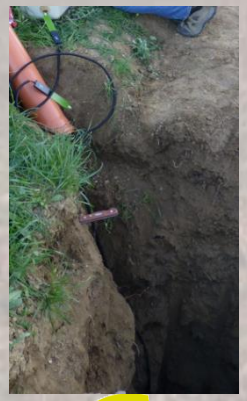


Capteurs distants





Capteurs au sol

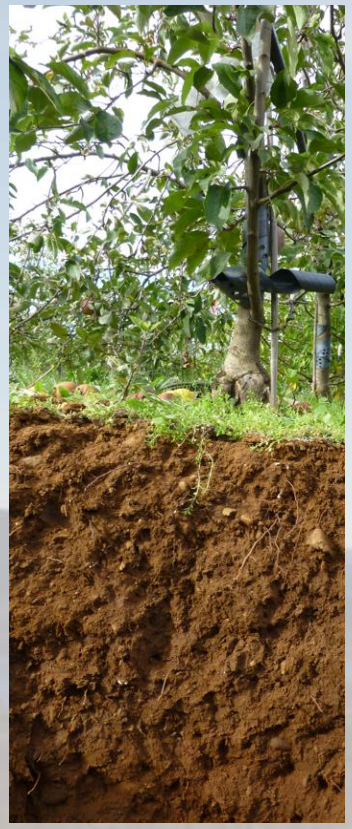


Capteurs profonds

Capteurs/méthodes actuellement utilisés

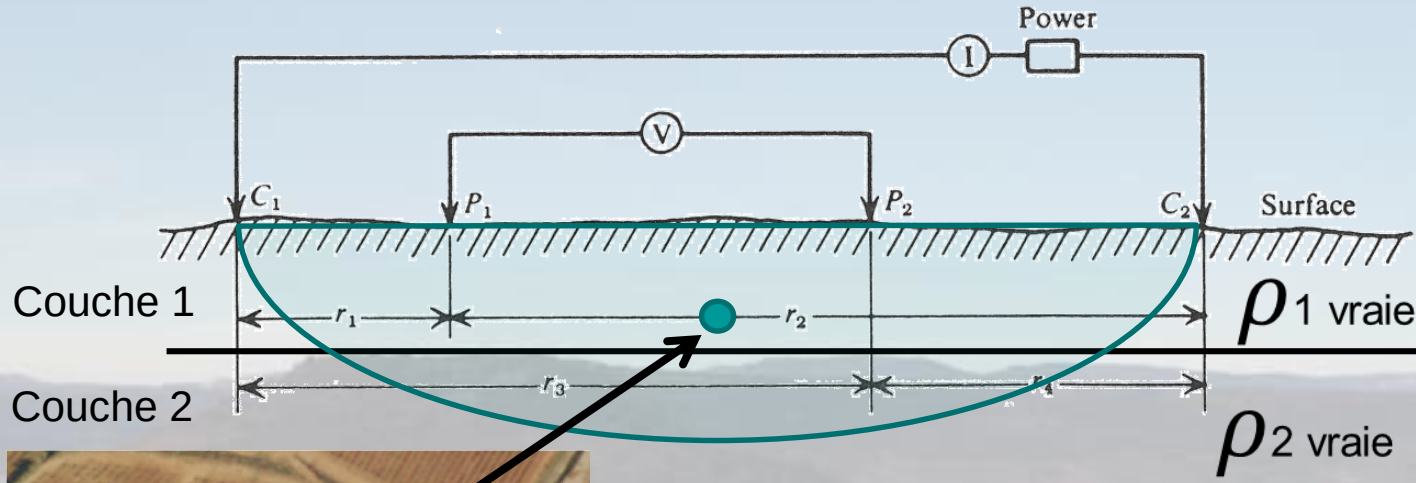
- Electrique
  - Résistivité vraie (tomographie)
  - Résistivité apparente (MUCEP/ARP/VERIS)
  - Chargeabilité (Polarisation provoquée PP)
- Electromagnétisme
  - Permittivité diélectrique (TDR,FDR,capacitif)
  - Conductivité apparente (EM38,31)
- Sismique
  - Réflexion
  - Réfraction
- Radar
  - Surface (teneur en eau)
  - Profondeur
- Spectral (multi/hyper)
- Gammaradiométrie

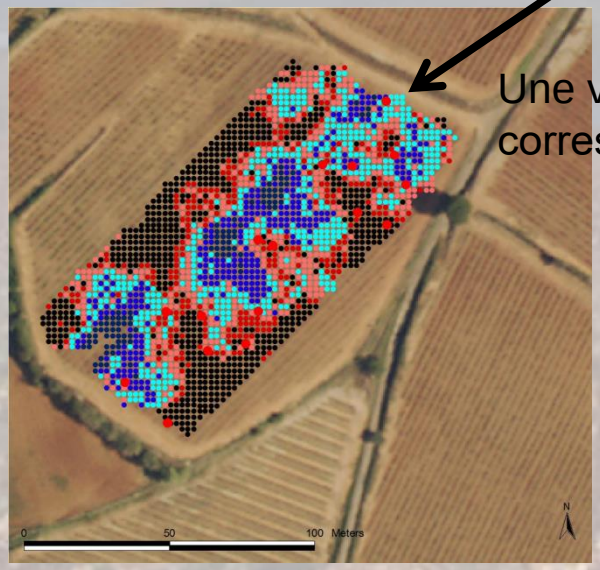
Zone d'investigation des capteurs



- L'exemple de la résitivité

$$\rho \text{apparente} = \rho 1 \text{ vraie x épaisseur 1} + \rho 2 \text{ vraie x épaisseur 2} + \ldots$$

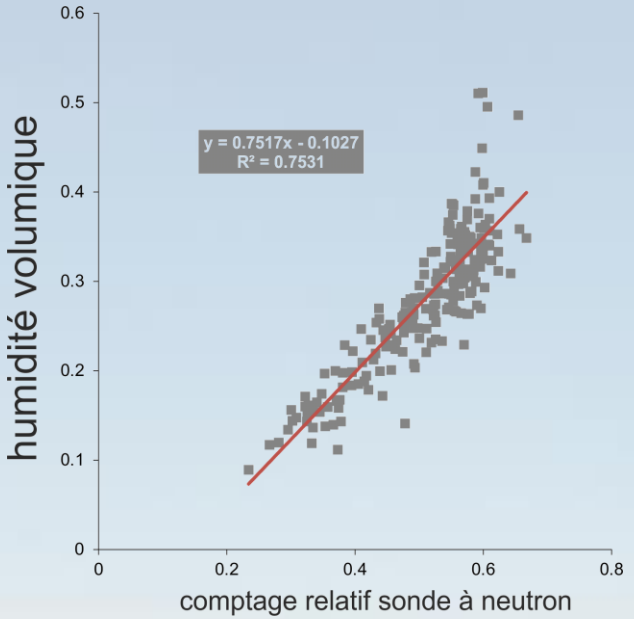




Une valeur de résistivité apparente correspond à une profondeur d'investigation

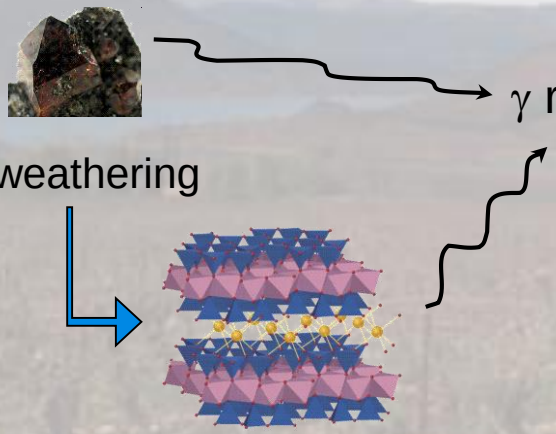
La calibration

- « Étalonnage » direct (en labo ou in situ)

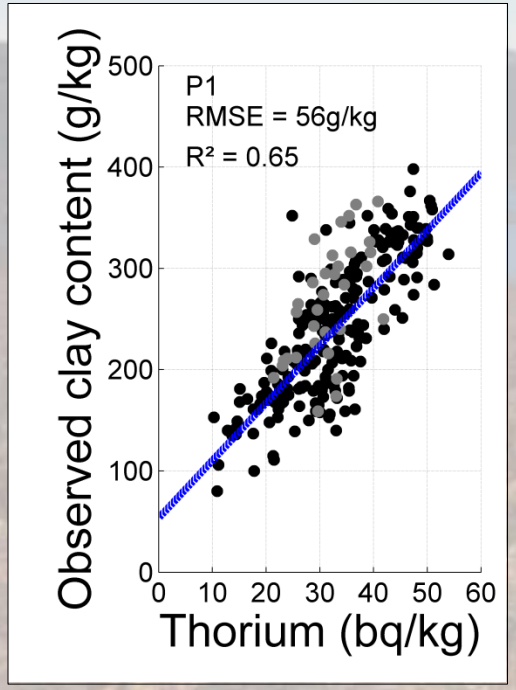


- « Étalonnage » indirect (in situ)

Igneous minerals: high content of 232Th



232Th fixed by clays



Des exemples concrets

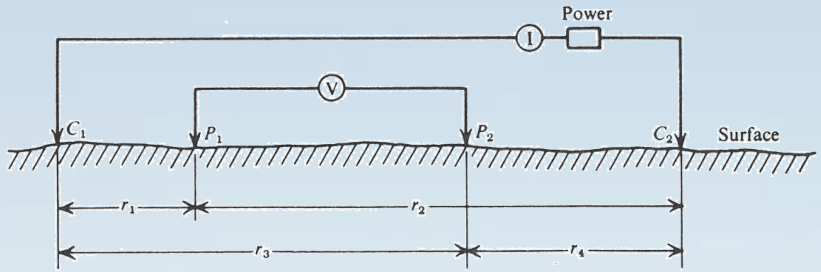
- Tomographie de résistivité électrique
  - Cartographie de la RU en vigne
- Cartographie de résistivité apparente
  - Zonage pédologique
  - Taux d'éléments grossiers
- Gammaradiométrie au sol
  - Taux d'argile granulométrique
- VIS-NIR par satellite
  - Teneur en carbonate de calcium

Tomographie de résistivité

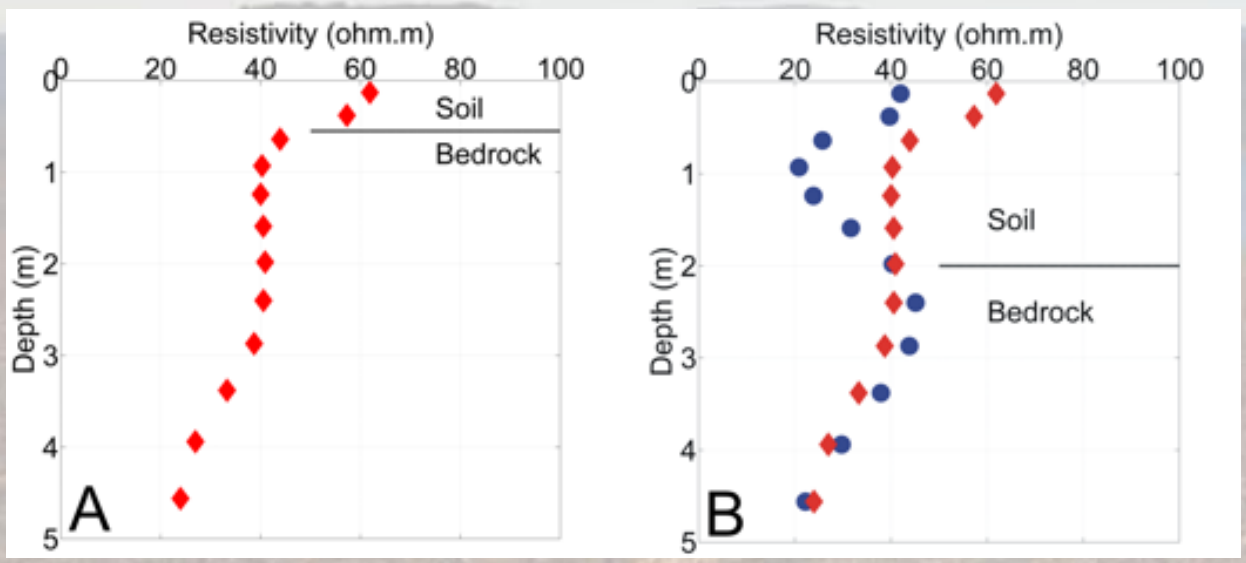


- Tomographie de résistivité électrique

$$\Delta V = \frac{I\rho}{2\pi}\left\{\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4}\right)\right\}$$



- Mesures diachroniques



Tomographie de résistivité

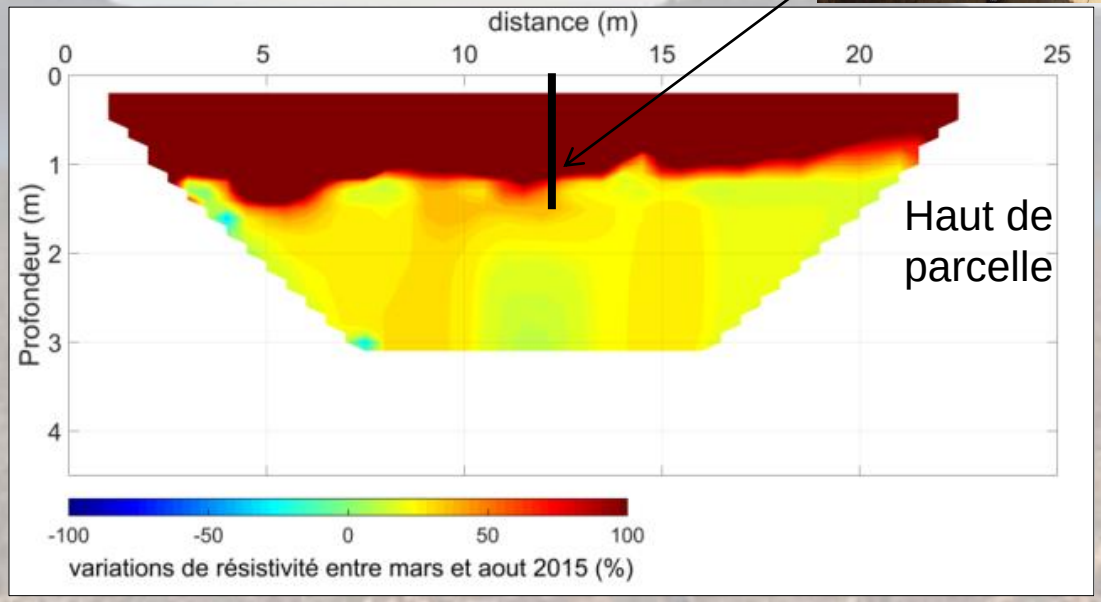
- L'extraction d'eau par la vigne entre mars et fin aout 2015

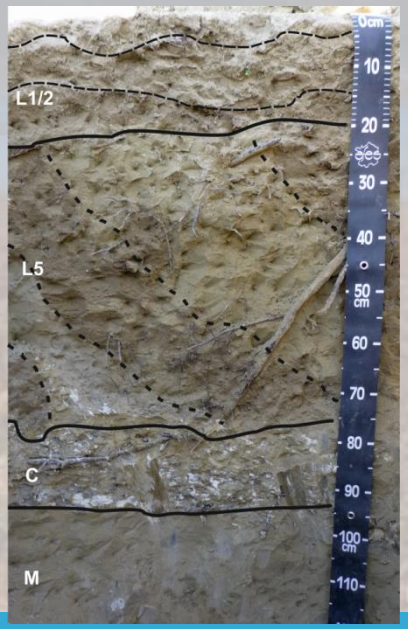
se visualise sur la tomographie

bas de parcelle

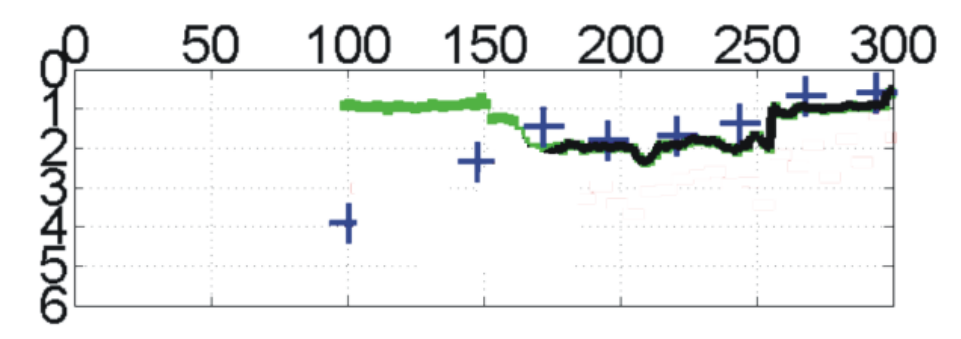


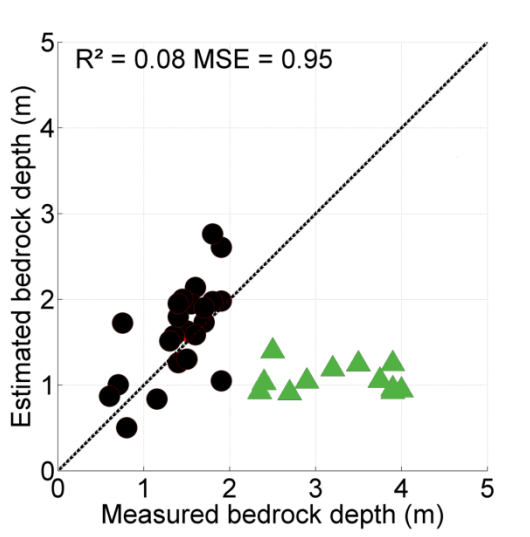
Haut de parcelle

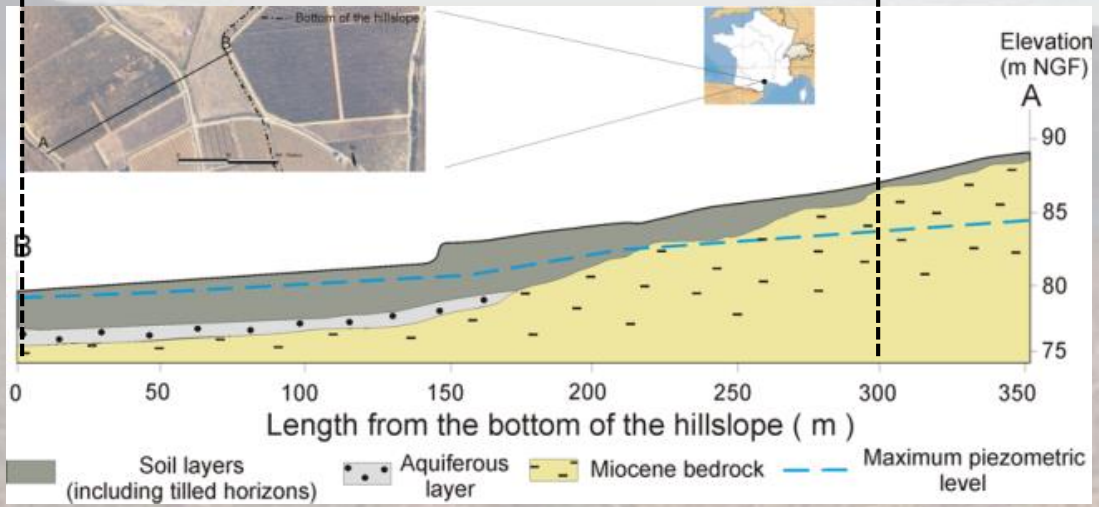




Tomographie de résistivité





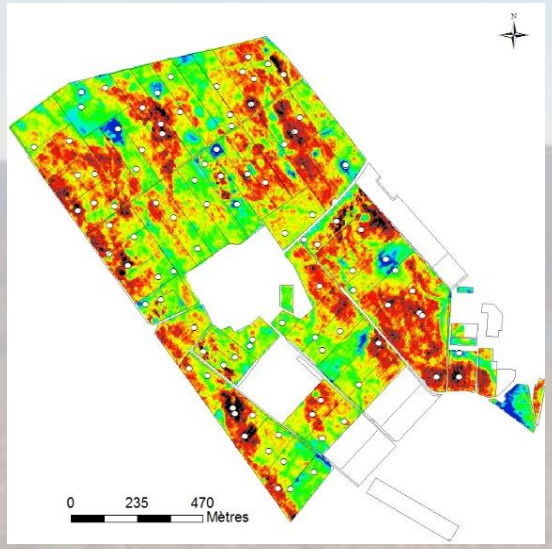


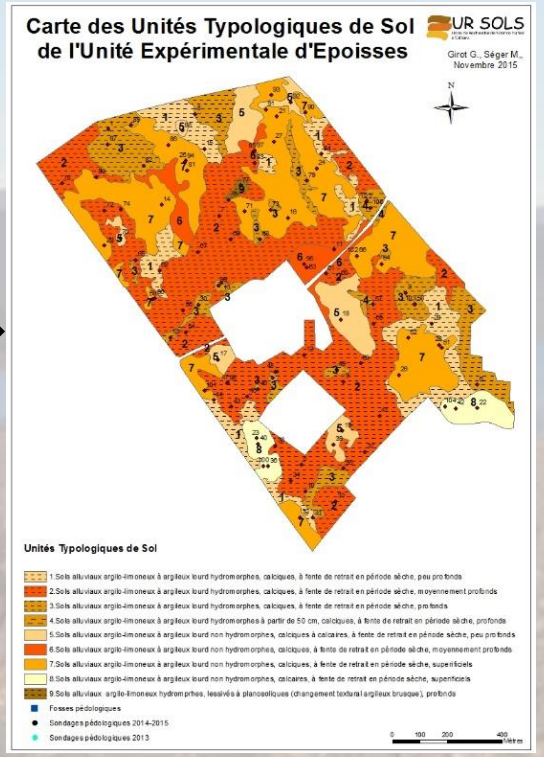
- La méthodologie ne peut pas s'appliquer en présence d'une alimentation hydrique profonde (nappe)

Cartographie de résistivité apparente

- Description méthode ARP ® (geocarta)
  - Objectif de zonage pédologique (Exemple sur projet CAREX INRA Unité d'époisses)
  - 3 voie d'acquisition = trois profondeurs d'investigation différentes

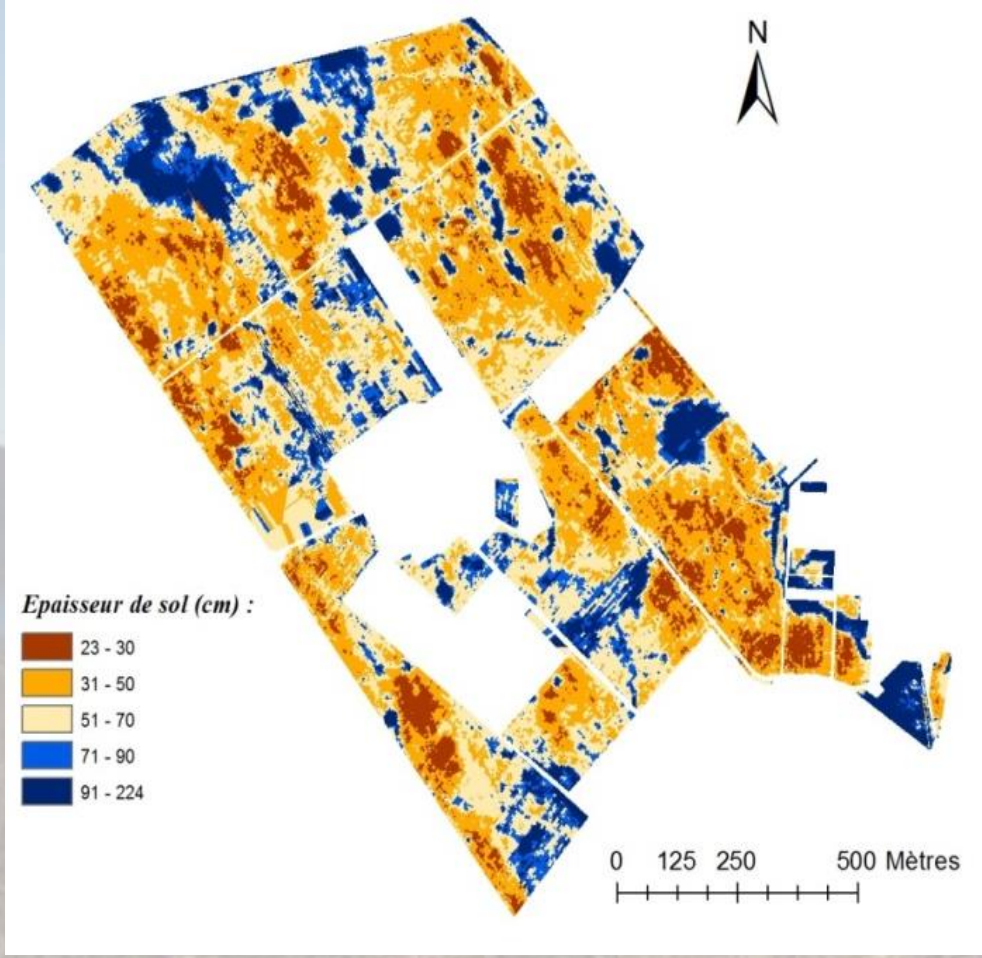


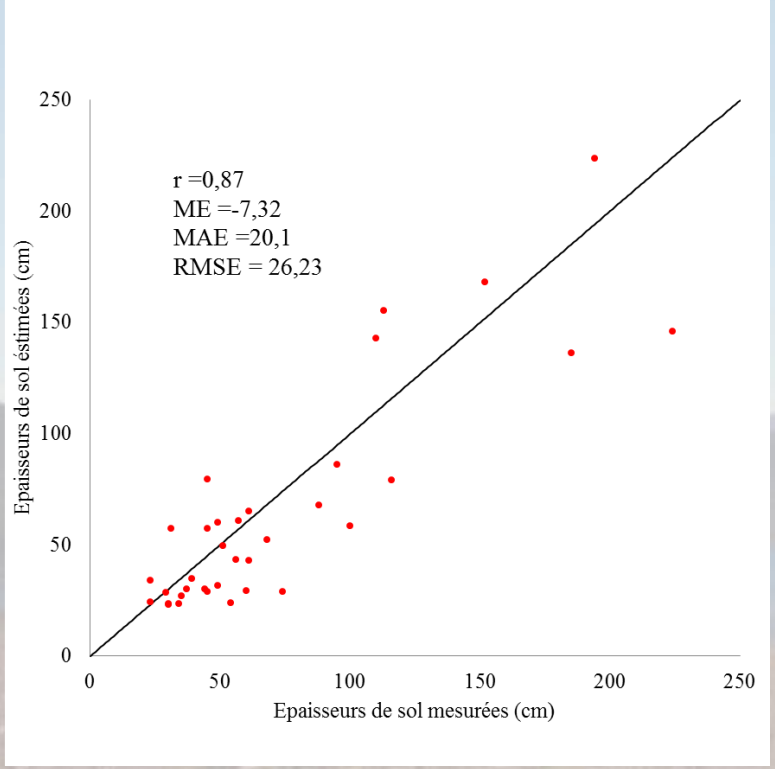




Seger et al., 2016

Cartographie de résistivité apparente





Bourennane et al. 09 novembre 2016
Geofcan Orléans (BRGM)

Cartographie de résistivité apparente

- Utilisation de la variabilité de la mesure
  - une prospection MUCEP
  - Analyse de la variabilité de la mesure sur un rayon de 5 mètres
  - 18 points de calibration avec la teneur en éléments grossiers sur 0-45 cm

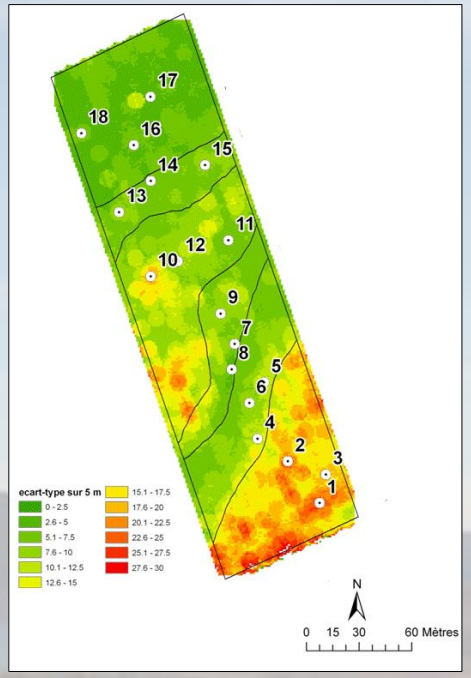




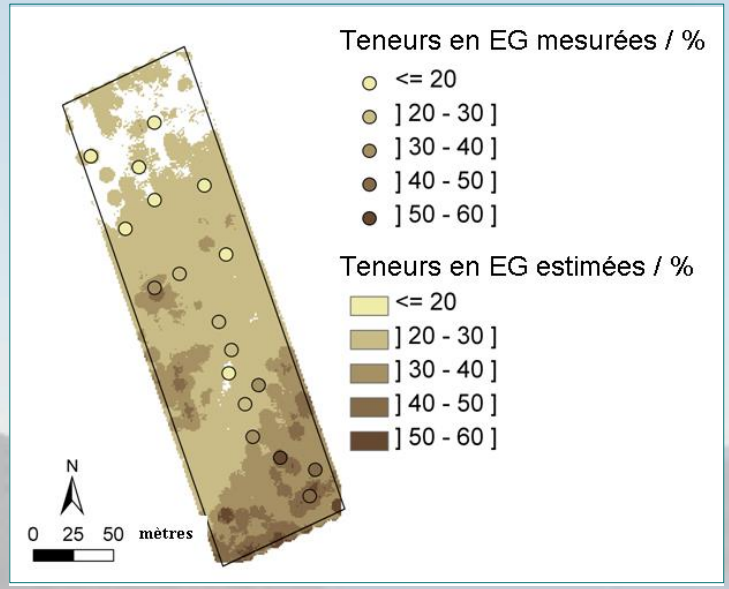
LISAH Cartographie de résistivité apparente

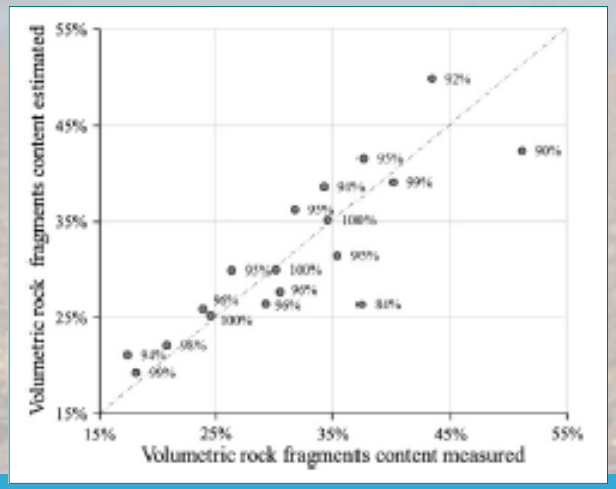
Tetegan et al., 2012

Carte de l'écart-type de la résistivité apparente voie 1



Carte de la teneur en EG estimée



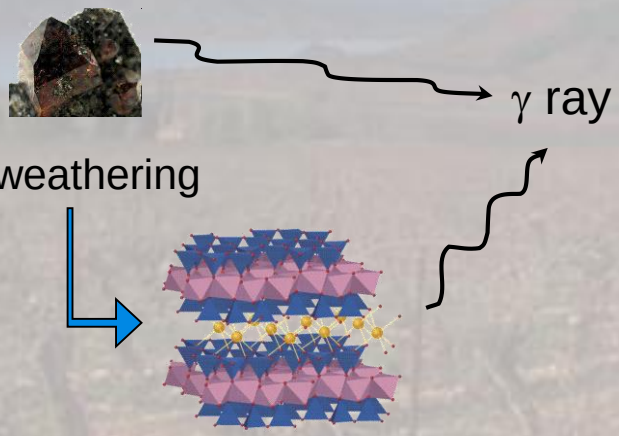


Gammaradiométrie

- U, Th and K principaux éléments naturels producteurs de rayons gamma

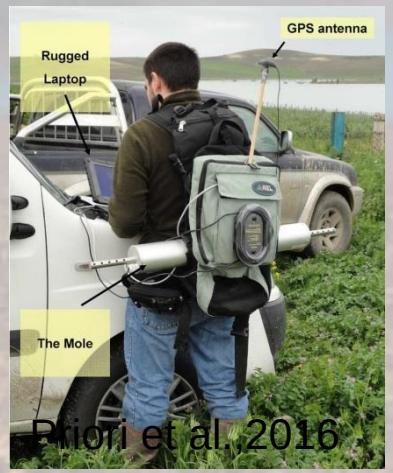
- Les isotopes “radioactifs” sont relativement abondants

Igneous minerals: high content of 232Th



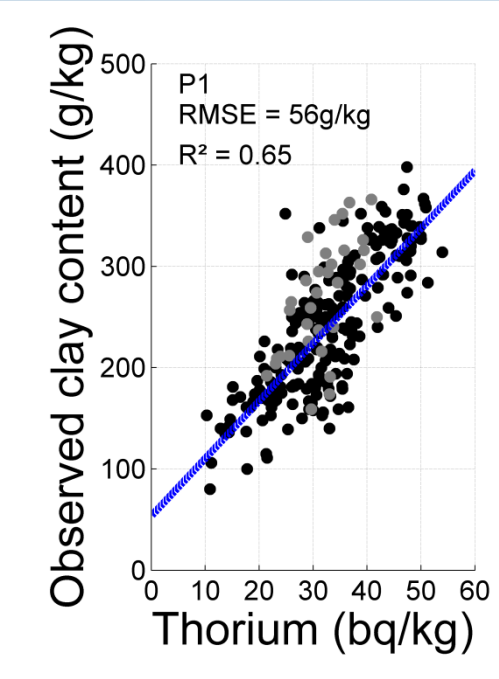
232Th fixed by clays

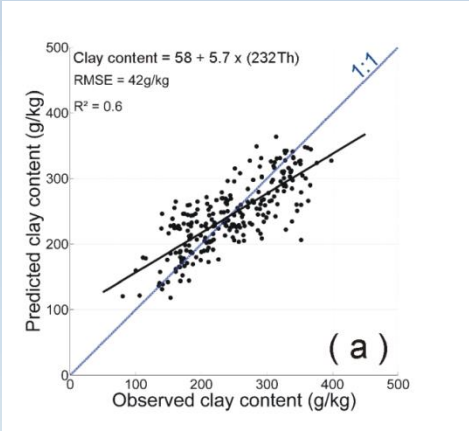
- Mesure des rayons gamma

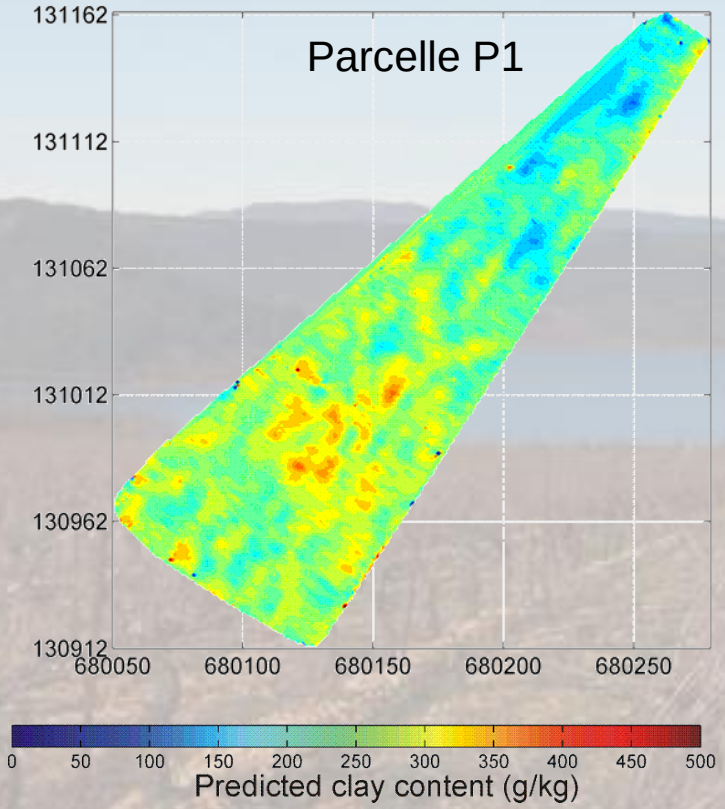


Priori et al.,2016

Gammaradiométrie

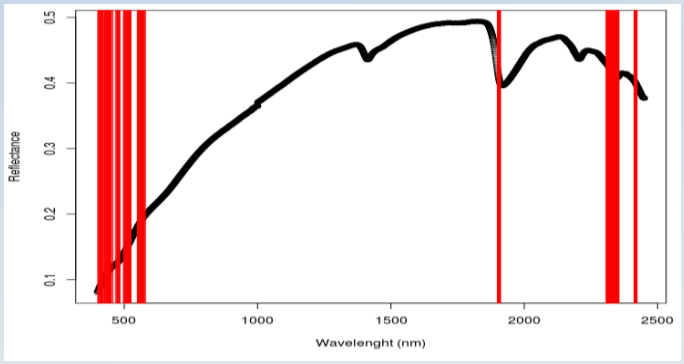


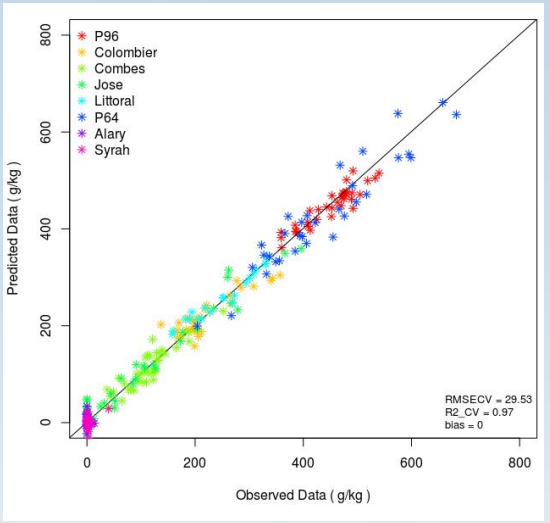




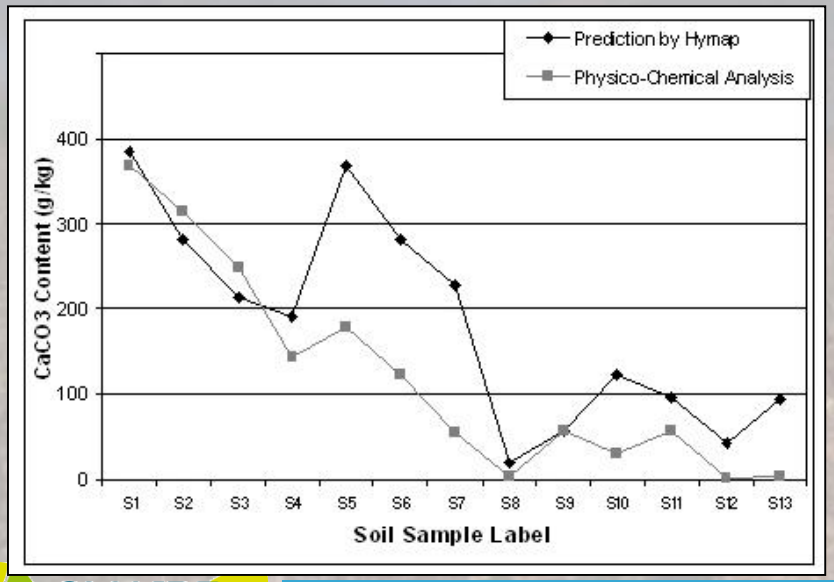
satellite Hyperspectral VIS NIR (400-2500nm)

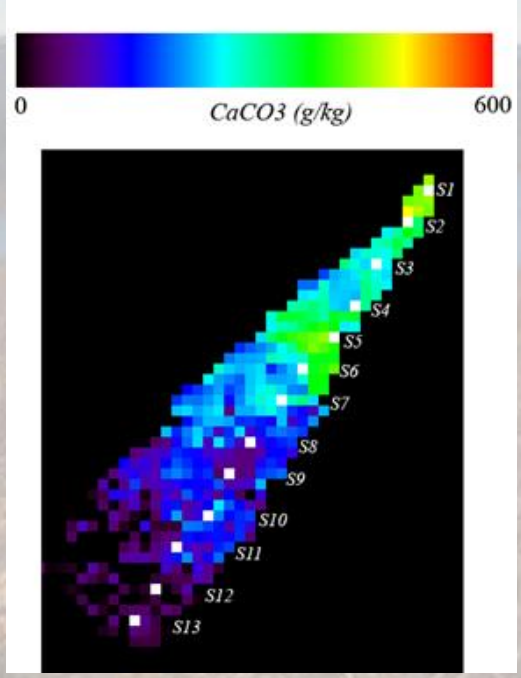
- Calibration en labo avec spectro ASD





- Carte issue d'une image HYMAP





Conclusions

- Les développements techniques et méthodologiques permettent d'aborder les sols à travers leurs propriétés

- Il n'existe pas de capteur universel. Chaque technique présente des avantages et inconvénients

- Chaque technique permet de mesurer des variables qui sont liées à une ou plusieurs propriétés de sols. La calibration est fondamentale

Perspectives

- Les facteurs de progression :
  - Nombreux capteurs développés par les industries, potentiellement dévoyables vers la science du sol
  - Facilité d'acquisition et de traitement de données multicapteur (+- collaboratif)
- Les facteurs limitants :
  - Le sol, système complexe, fortes interactions entre propriétés
- Ce qu'il reste à travailler :
  - Le lien entre propriété de sol et variables mesurées
  - L'injection des connaissances pédologiques existantes (cartes, bases de données) dans les chaines de traitements des nouveaux capteurs