



13^{èmes} Rencontres de la fertilisation raisonnée et de l'analyse

comifer

Gemas
Groupeement d'Etudes Microbiologiques pour l'Analyse des Sol

Avec la participation de 

Sait-on quantifier les stocks d'éléments en sol calcaire ?

Proposition d'amélioration des protocoles de prélèvement et d'analyse

Mary B, Ferchaud F, Autret B, Chlébowski F, Beaudoin N
INRA, UR AgrolImpact, Laon-Mons

Contexte

- Un grand nombre d'analyses de terre réalisées chaque année dans des parcelles agricoles
- La mise en place de dispositifs expérimentaux testant des systèmes de culture innovants
- Un regain d'intérêt pour le stockage de carbone dans le sol (initiative 4‰)
- La fourniture d'éléments nutritifs avec les modifications de travail du sol
- Passer de concentration(t) à une variation de stock(Δt)
- Le calcul du stock d'éléments : problèmes méthodologiques
- Application aux éléments C et N

La chaîne prélèvement – préparation – analyse – calcul

1. Protocole de prélèvement de sol (terrain)
2. Protocole de préparation du sol (laboratoire)
3. Qualité de l'analyse de terre (laboratoire)
4. Méthode de calcul du stock d'élément (?)

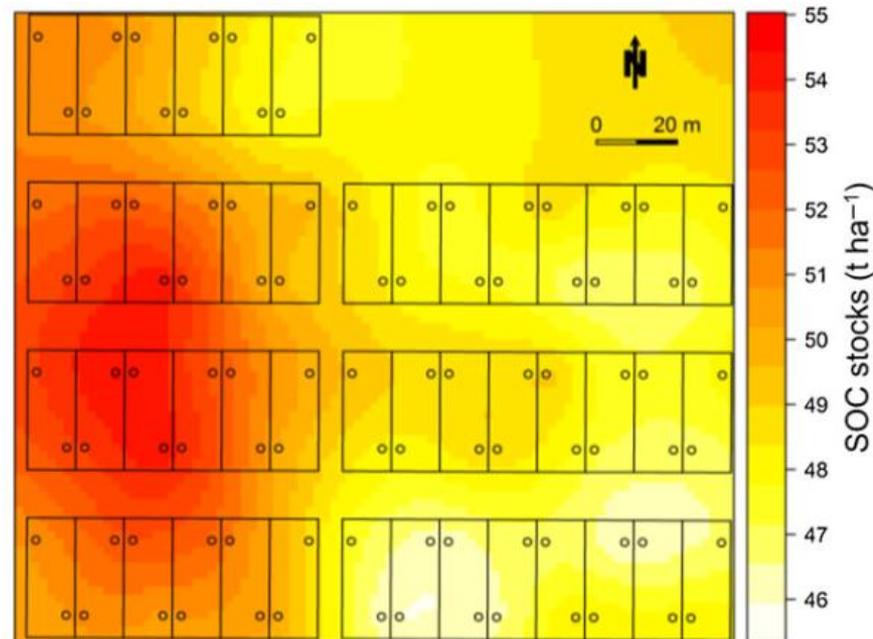
1. Protocole de prélèvement de sol

- 11. Choix de la localisation
- 12. Choix de la profondeur
- 13. Estimation de la densité apparente
- 14. Estimation des éléments grossiers

1. Protocole de prélèvement de sol

11. Choix de la localisation

Une forte variabilité spatiale de la teneur en C, mais non aléatoire



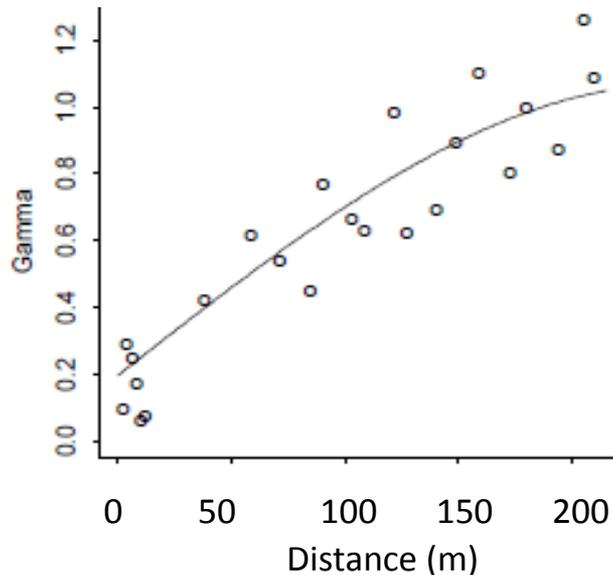
Parcelle de 3 ha en limon à Estrées-Mons (Ferchaud et al, 2015)

1. Protocole de prélèvement de sol

11. Choix de la localisation

Une forte variabilité spatiale de la teneur C, mais non aléatoire

Le variogramme décrit la variance en fonction de la distance

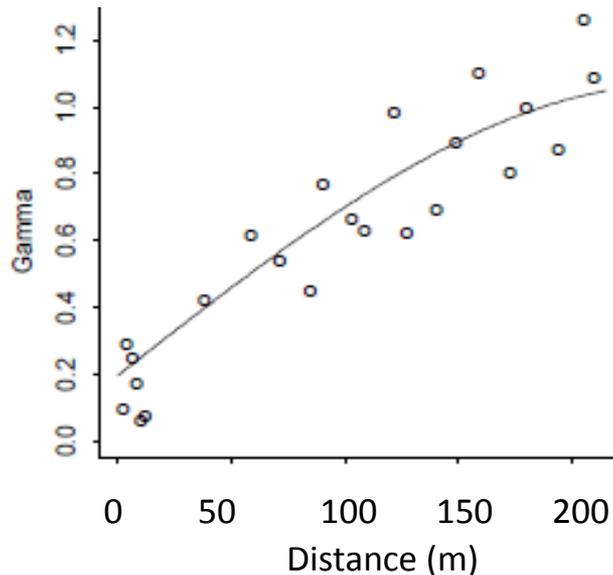


1. Protocole de prélèvement de sol

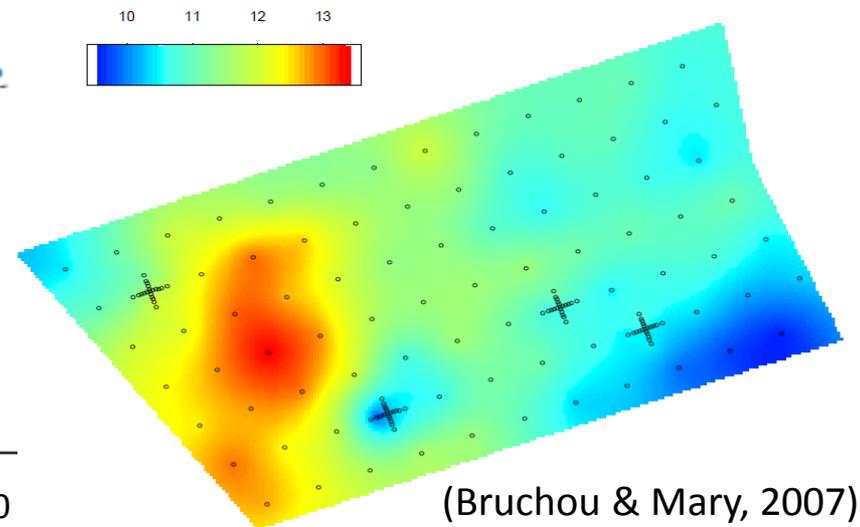
11. Choix de la localisation

Une forte variabilité spatiale de la teneur C, mais non aléatoire

Le variogramme décrit la variance en fonction de la distance



Carte des teneurs en C (0-30 cm)



(Bruchou & Mary, 2007)

Un suivi des mesures sur les mêmes sites permet de diminuer la variabilité spatiale et de mieux caractériser l'évolution temporelle

1. Protocole de prélèvement de sol

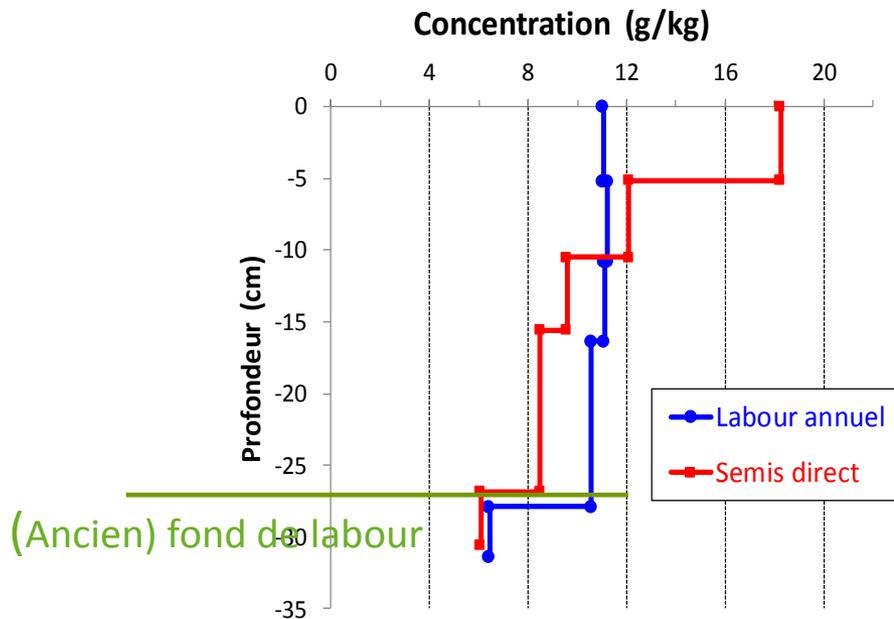
12. Choix de la profondeur

- Classiquement la profondeur de prélèvement correspondait à la profondeur de labour (?)
- Que faire avec la réduction de la profondeur et de la fréquence de travail du sol ?
- La tendance est de se concentrer sur la teneur en surface, pour mettre en évidence les bienfaits de cette réduction
- Pas compatible avec un suivi des stocks

1. Protocole de prélèvement de sol

12. Choix de la profondeur

Le profil de concentration en C dépend du travail du sol

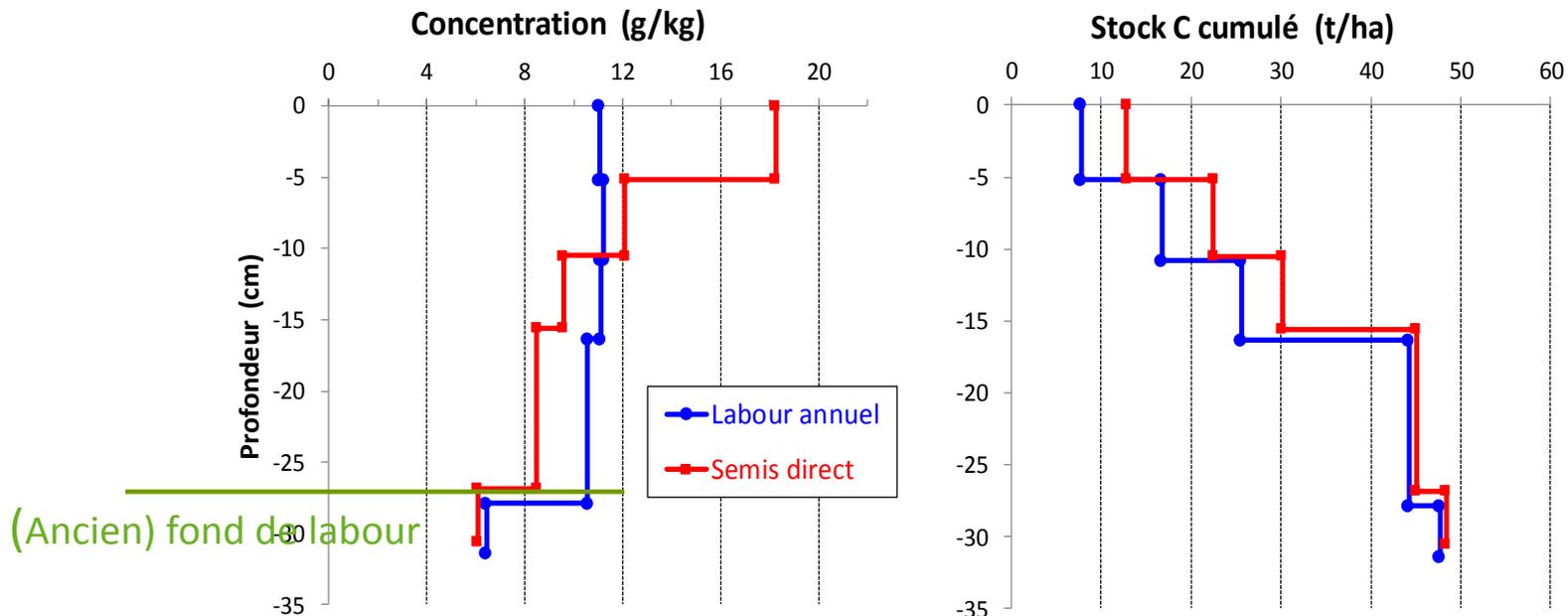


Essai A de Boigneville
après 41 ans
(Dimassi et al, 2014)

1. Protocole de prélèvement de sol

12. Choix de la profondeur

Le profil de concentration en C dépend du travail du sol



La profondeur de mesure doit être suffisante pour pouvoir comparer l'effet de traitements, notamment avec la variation du travail du sol

1. Protocole de prélèvement de sol

13. Mesure de la densité apparente

Une mesure délicate, à réaliser :

- au moins une fois en parcelle agricole
- systématiquement en expérimentation de long terme

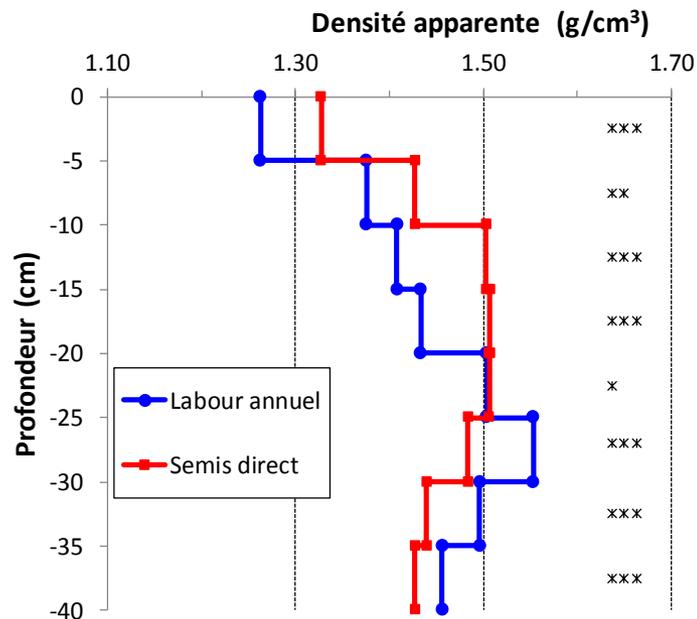
Méthodes :

- Pesée d'un volume connu de terre (cylindre, sonde tubulaire, densitomètre à membrane, ...) :
 - représentatif du sol → densité apparente globale
 - en éliminant les éléments grossiers → densité apparente de terre fine
- Gamma-densitomètre → densité apparente globale

1. Protocole de prélèvement de sol

13. Mesure de la densité apparente

Profil de densité apparente pour 2 traitements de travail du sol



Essai A de Boigneville
après 41 ans
(Dimassi et al, 2014)

La densité apparente varie avec le travail du sol

1. Protocole de prélèvement de sol

14. Mesure du taux d'éléments grossiers

- Le taux d'éléments grossiers (> 2 mm) est à mesurer au moins une fois
- Méthodes :
 - mesure directe sur le terrain, en séparant terre fine et EG
 - mesure par le laboratoire sur un échantillon représentatif

2. Protocole de préparation de sol

Rappel sur le calcul de stock d'élément

Le calcul de stock est fait sur la masse de terre fine (Mf , t/ha)

$$Mf = 100 \cdot Daf \cdot (1 - EGv) \cdot z$$

Daf Densité apparente de terre fine (g/cm^3)

EGv Charge volumique en éléments grossiers (cm^3/cm^3)

z Profondeur (cm)

$$Mf = 100 \cdot Da \cdot (1 - EGm) \cdot z$$

Da Densité apparente globale (g/cm^3)

EGm Charge massique en éléments grossiers (g/g)

2. Protocole de préparation de sol

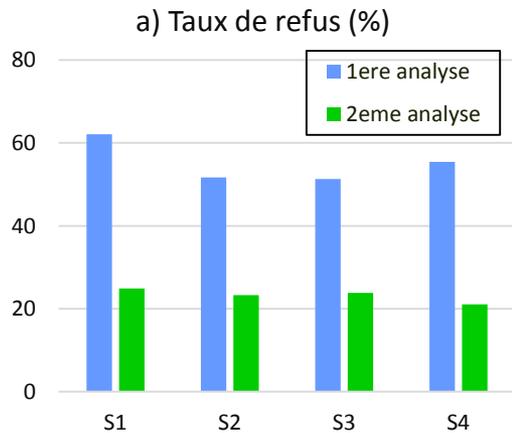
Tamissage

- Le tamissage génère 2 fractions :
 - Une fraction fine passant au tamis, inférieure à 2 mm
 - Une fraction grossière, « refus » au tamis de 2 mm, contenant les éléments grossiers
- Type d'éléments grossiers :
 - EG durs : le refus ne contient pas de MO
 - EG tendres ou poreux : le refus peut contenir des MO
- Problème :
 - diversité de protocoles selon laboratoire (durée de tamissage)
 - taux de refus pas fourni par le laboratoire !

2. Protocole de préparation de sol

Impact du protocole de tamisage

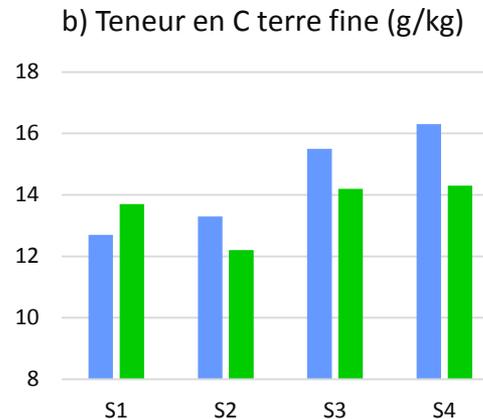
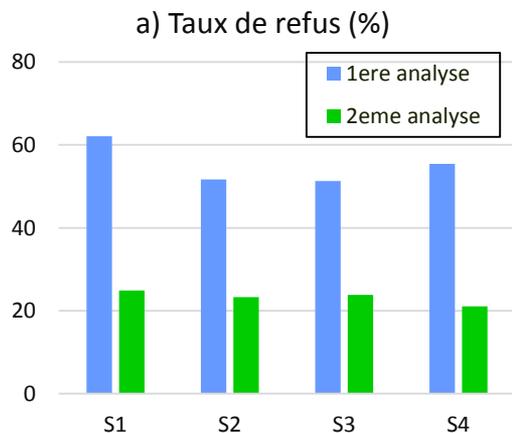
- Exemple : 4 sites de rendzine sur craie (couche 0-25 cm) (Fagnières, 51)



2. Protocole de préparation de sol

Impact du protocole de tamisage

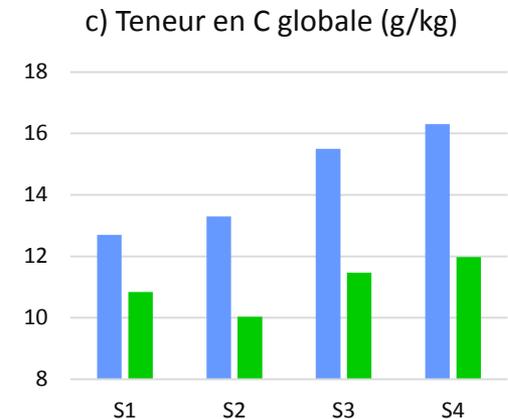
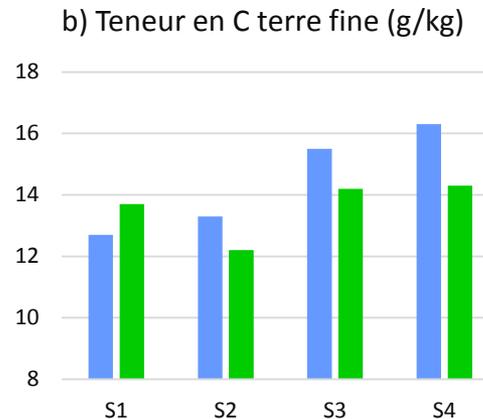
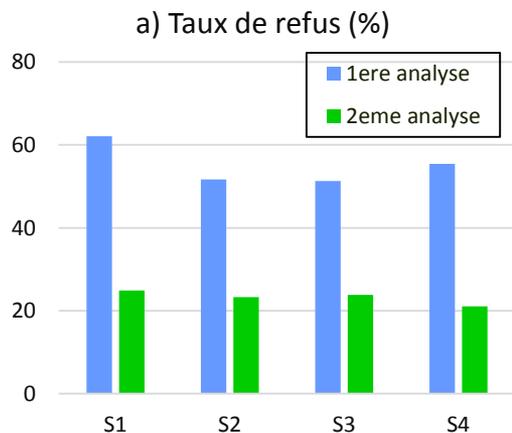
- Exemple : 4 sites de rendzine sur craie (couche 0-25 cm) (Fagnières, 51)



2. Protocole de préparation de sol

Impact du protocole de tamisage

- Exemple : 4 sites de rendzine sur craie (couche 0-25 cm) (Fagnières, 51)

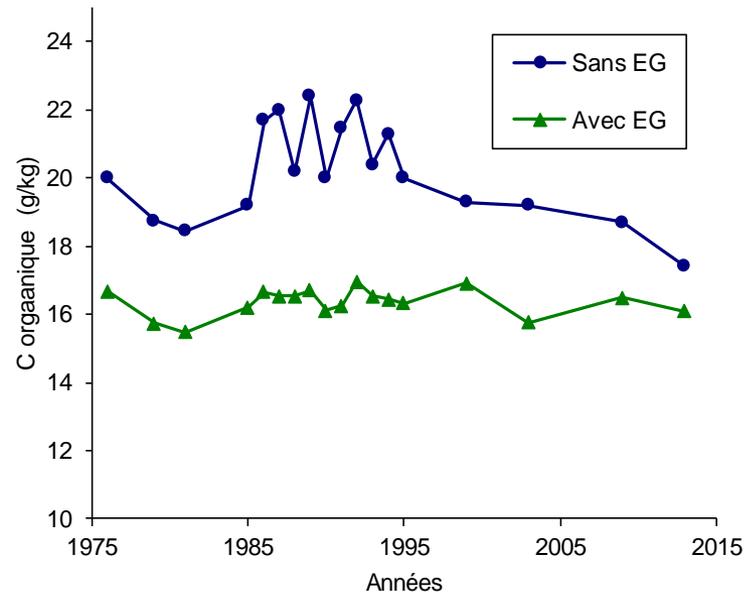


La non prise en compte du refus conduit à une forte sur-estimation de la concentration et du stock de carbone

2. Protocole de préparation de sol

Impact du protocole de tamisage

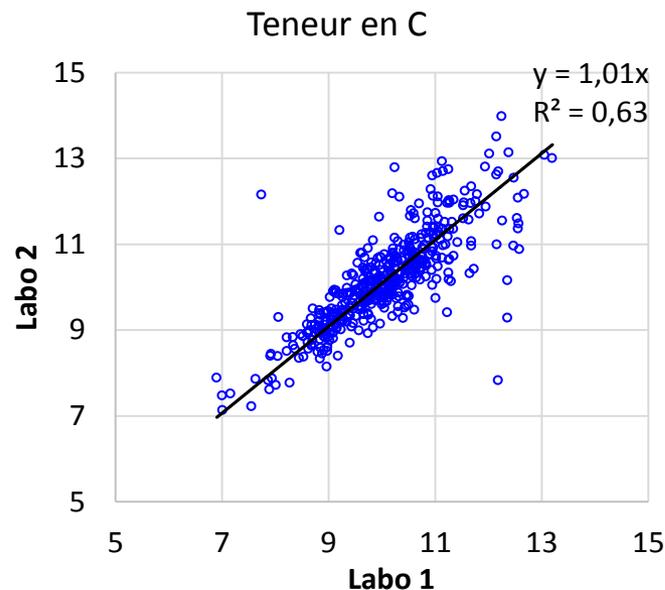
- Exemple : sol de rendzine sur craie (Fagnières, 51)



Une très forte variabilité lorsqu'on ne prend pas en compte le refus
Qui diminue fortement lorsqu'on le considère → valeurs vraies

3. Qualité de l'analyse de terre

- Variation dans méthodes d'analyse : Anne/Dumas
- Erreurs possibles, même pour laboratoires accrédités

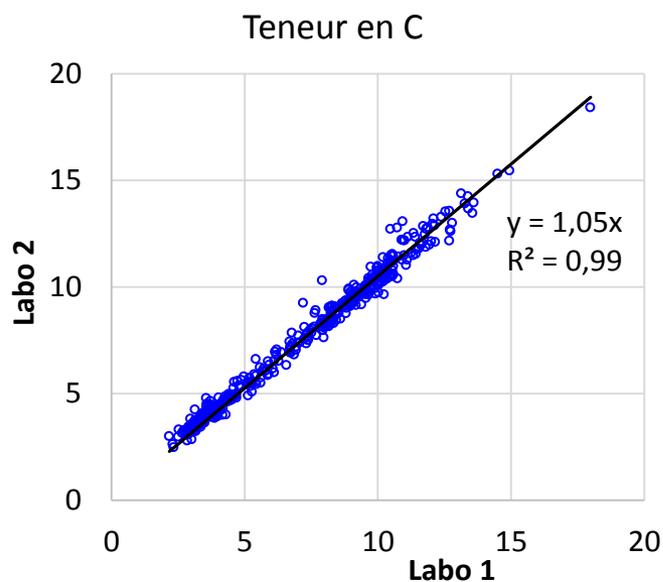


Echantillons analysés dans 2 labos
avec la même méthode

Pas de biais
Forte variabilité
Erreurs aléatoires

3. Qualité de l'analyse de terre

- Variation dans méthodes d'analyse : Anne/Dumas
- Erreurs possibles, même pour laboratoires accrédités



Echantillons analysés dans 2 labos
avec la même méthode

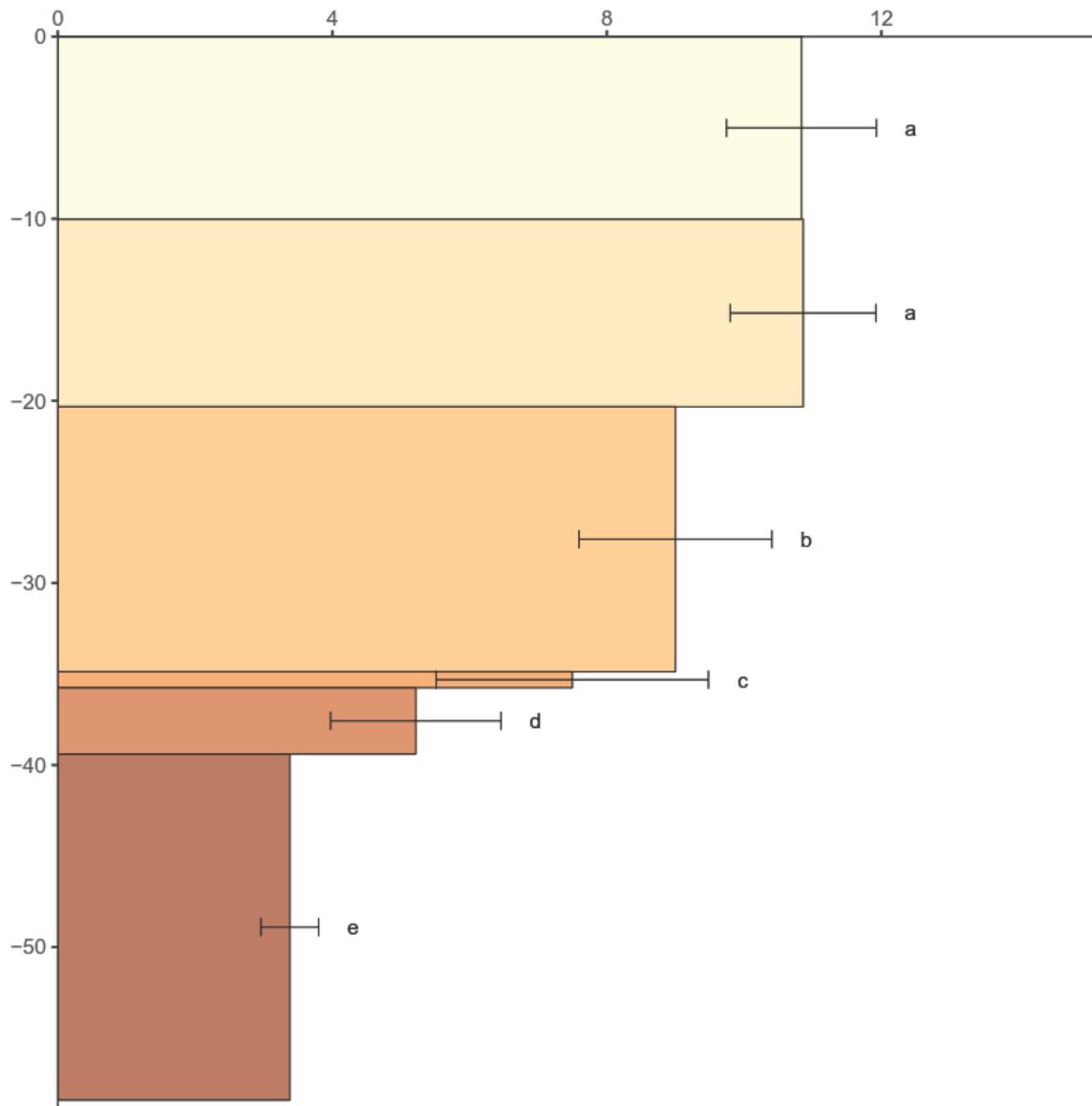
Fort biais
Faible variabilité
Erreurs systématiques

Une bonne qualité de mesure (justesse, reproductibilité) n'est jamais acquise définitivement. Il faut la contrôler en permanence.

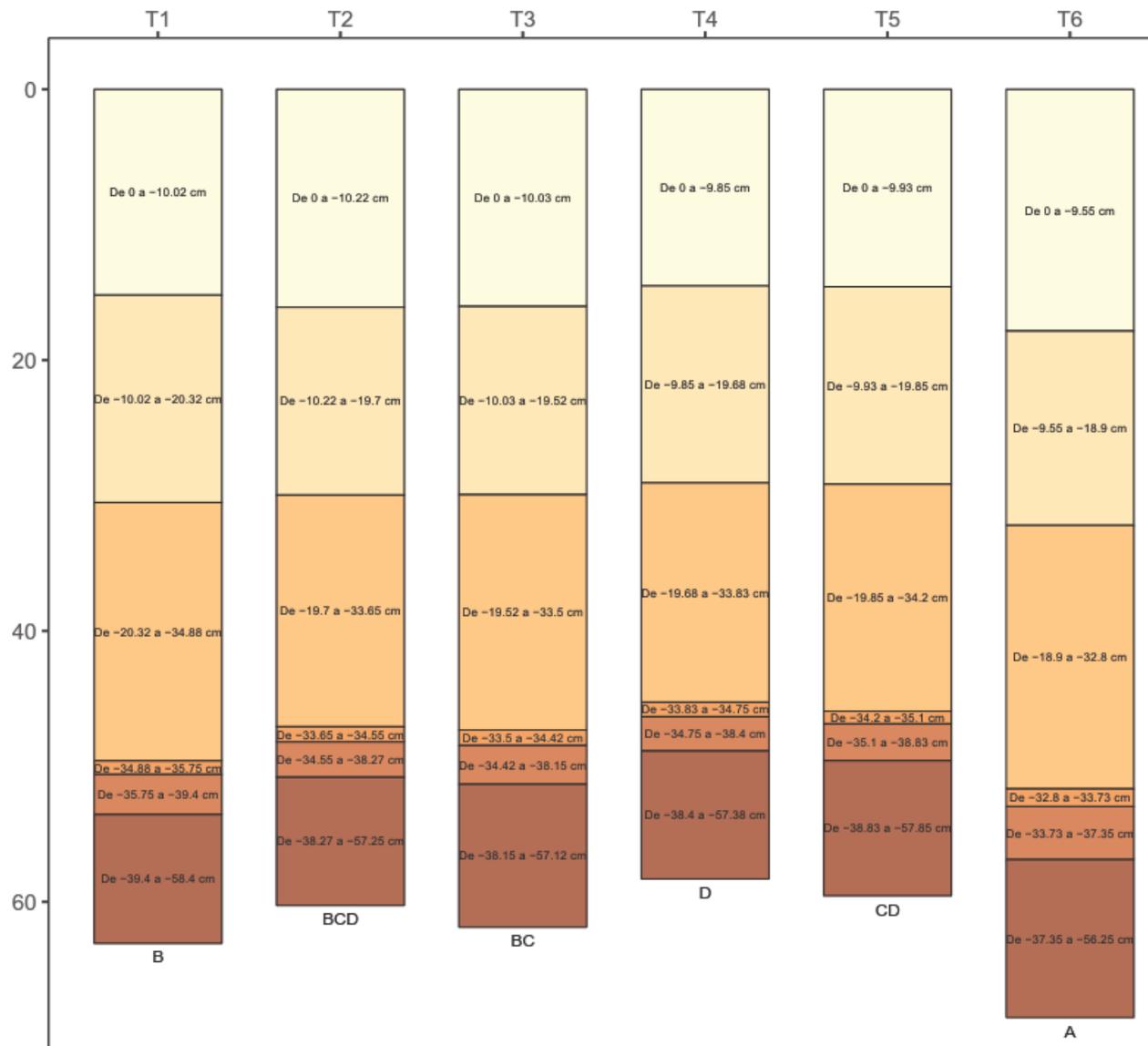
4. Méthode de calcul des stocks

- De nombreux détails influencent le calcul
 - Travailler à masse de sol équivalente
- **Logiciel *SEME* : Stock d'Element à Masse Equivalente**
- mis au point à l'INRA Laon en collaboration avec Arvalis (J. Labreuche)
 - Applicable à tout élément (C, N, P, K, ...)
 - Package R avec entrées sous forme de fichiers excel
 - Réalise analyse spatiale (variogramme, carte)
 - Réalise analyses statistiques

Exemple de sortie de *SEME* : profil de teneur en C dans un traitement



Exemple de sortie de *SEME* : comparaison des stocks entre traitements



5. Recommandations

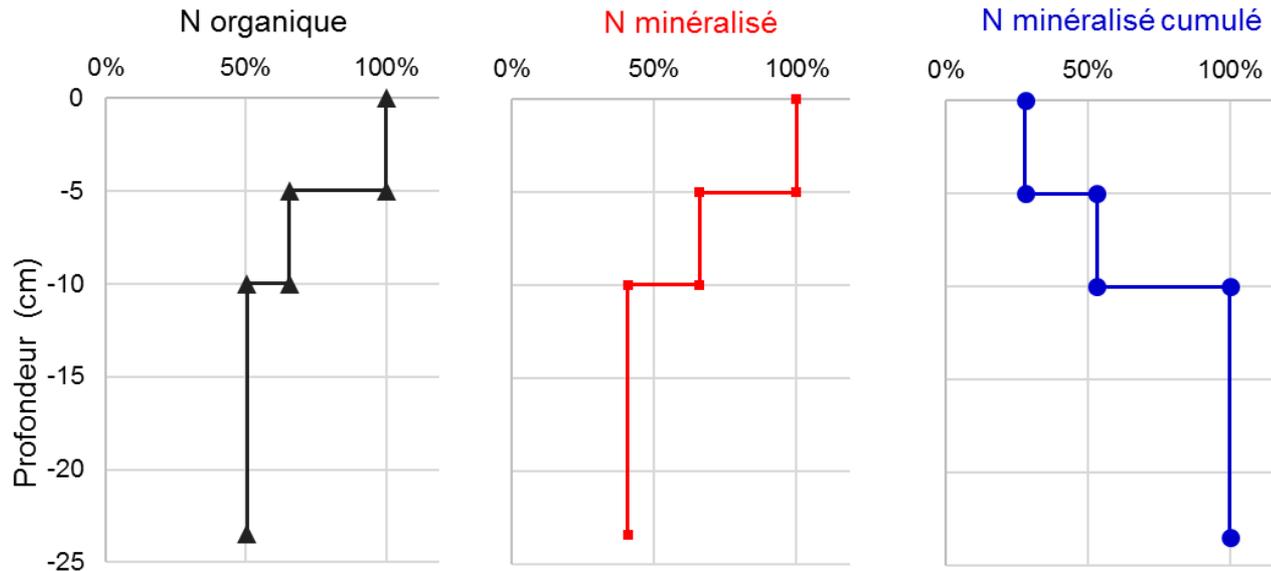
Protocole de prélèvement

- Date
- Localisation
 - retour sur les mêmes sites (1-2 m)
- Profondeur
 - au moins égale à la plus grande profondeur de travail du sol pratiquée antérieurement
 - En parcelle agricole : profondeur de 30 cm recommandable
 - une mesure additionnelle de la concentration en surface (0-10 cm) peut être faite
 - En essai de longue durée : profondeur de 60 cm impérative

5. Recommandations

Pourquoi prélever « profond » dans un sol non travaillé ?

Contribution des couches de sol à la minéralisation d'azote en « agriculture de conservation » après 19 ans (essai La Cage)



Autret et al (2017)

La mesure seule de la couche de surface (0-10 cm) sous-estimerait d'au moins 50% la minéralisation potentielle d'azote.

5. Recommandations

Tamisage au laboratoire

- chercher à avoir un refus au tamisage minimal
- le refus devrait être quasi nul dans du calcaire tendre (ex: rendzine sur craie)
- la teneur en éléments grossiers de l'échantillon de sol confié au labo devrait être **systematiquement** fournie au demandeur d'analyse
- si le refus contient de la MO, il faut l'analyser

5. Recommandations

Mesure de la densité apparente

- indispensable en essai, souhaitable en parcelle agricole
- distinguer la terre fine et globale
- le taux d'éléments grossiers doit être mesuré
- il pourrait être fourni par le laboratoire

5. Recommandations

Qualité d'analyse

- source importante d'erreur (systématique / aléatoire)
- augmenter sévérité des tests d'acceptabilité
- insérer un échantillon témoin de façon répétitive dans les séries
- refaire à la date $t+1$ les analyses de quelques échantillons déjà mesurés à date t

5. Recommandations

Calcul des stocks d'éléments

- Homogénéiser les méthodes de calcul
- Tester l'effet de pratiques à la même date (analyse synchronique)
- Tester les variations de stocks au cours du temps (analyse diachronique)



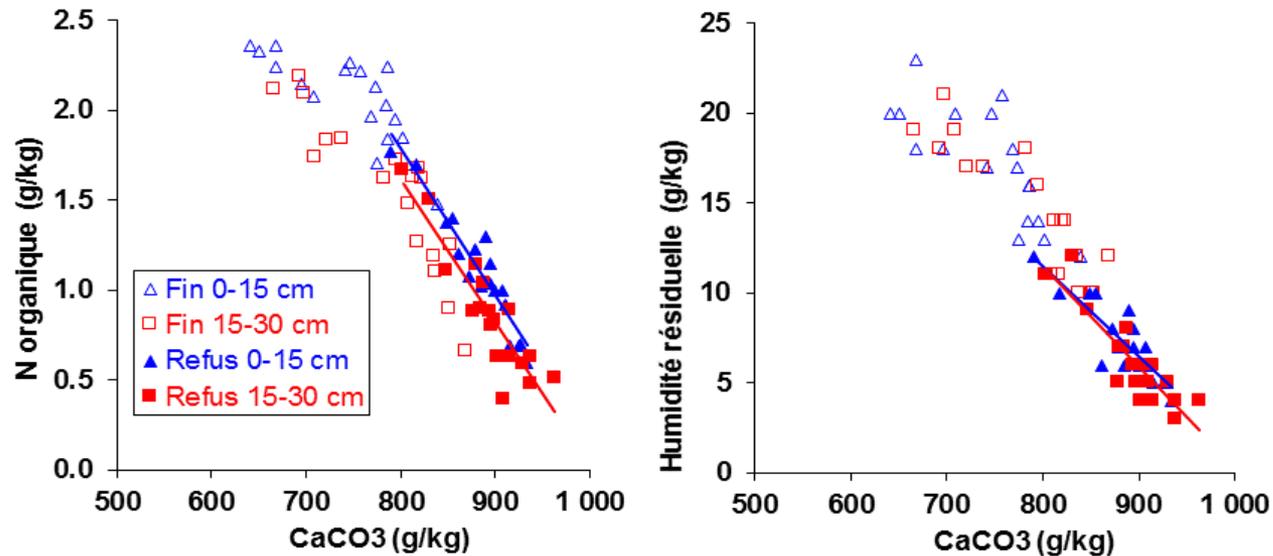
Merci de votre attention



2. Protocole de préparation de sol

Impact du protocole de tamisage

- Exemple : sol de rendzine sur craie (Thibie, 51)



Forte corrélation

teneur en N organique / teneur en CaCO₃

humidité résiduelle / teneur en CaCO₃ / argile

teneur en N organique / argile

4. Méthode de calcul des stocks

- Masses de sol équivalentes (Ferchaud et al, 2015)

