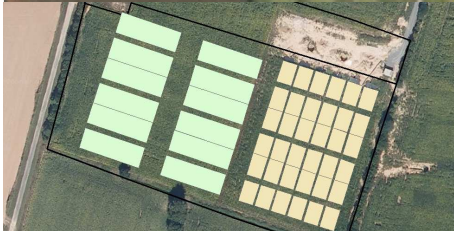


Assemblée générale du SOERE PRO

*Mardi 24 novembre 2015
INRA de Colmar*





Assemblée générale du SOERE PRO

Mardi 24 novembre 2015, INRA de Colmar



Méthodes statistiques pour analyser un essai de longue durée et mettre en évidence l'effet agronomique de l'apport répété de PRO : application à deux sites du SOERE PRO

Germain M*, Bell A, Mercier V, Montenach D,
Schaub A, Valentin N, Houot S, Lollier M, Michaud A



INRA
SCIENCE & IMPACT

* mgermain@grignon.inra.fr

Effets des PRO au champ dépendent

Contexte d'apport (dose, date)

Propriétés des PRO épanchés
Fonction origine, composition,
Procédé(s) de traitement



De la nature du PRO

Du type de culture



Besoins, physiologie



Précipitations : Effet sur des risques de pertes par lessivage/lixiviation

Température : Effet sur la minéralisation de la MO



Du climat

Du sol



Propriétés physico-chimiques, biologiques
(Bio)disponibilité éléments, risques lixiviation

→ **Nécessité d'étudier les effets d'apports de PRO au champ sur le long terme dans différents contextes**

Mise en place d'un observatoire de recherches - SOERE PRO

Introduction



SOERE PRO : Acquisition de jeux de données complets sur le long terme sur les compartiments de l'agro-système (ex. éléments majeurs, ETM, CTO)



Analyses statistiques usuellement utilisées :

ANOVA année par année,
ou juste 1^{ère} et dernière année



**Non prise en compte
de l'aspect temporel**

Par compartiments



Pas mise en relation des évolutions de propriétés du sol
(ex. stocks du sol) avec les propriétés des PRO, les flux
d'éléments apportés par épandages
et les bilans (entrées-sorties)

**Comment évaluer l'effet d'apports répétés de PRO différents
sur l'évolution de propriétés agronomiques du sol ?
Application aux éléments NPK sur 2 sites longue durée**

**2 dispositifs de longue durée considérés :
QualiAgro (initié en 1998) et Colmar (initié en 2000)**

3 PRO communs

BIO : compost de biodéchets

DVB : compost de déchets verts et boue

FUM : fumier de bovin

Données considérées pour les analyses

PRO



CNPK et ISMO

Mesurés à chaque épandage

SOL



NPK

Tous les deux ans

PLANTES



Rendements et NPK

Mesurés tous les ans

Objectifs :

- (i) mettre en place une **démarche statistique** pour exploiter les jeux de données (PRO/Sol/Plantes) acquis sur un dispositif de longue durée de façon **temporelle, agrégée**

- (ii) tester la démarche statistique sur les résultats acquis sur Colmar et QualiAgro pour **mettre en évidence l'effet concordant de l'apport répété de 3 PRO communs sur l'évolution des teneurs en NPK du sol**

(i) Démarche statistique

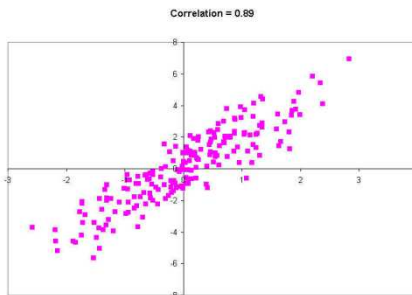


1) Quelles sont les propriétés des PRO ?
→ ACP

2) Existe-t-il une évolution différente des propriétés du sol
entre traitements ?
→ statistiques temporelles



3) Calculs des bilans (PRO + fertilisation – exportations plantes)
→ Déficitaire, excédentaire ?



4) Existe-t-il un lien entre les bilans,
les caractéristiques des PRO,
les évolutions des propriétés du sol
(ex. teneurs, stocks) ?
→ ACP

(i) Démarche statistique

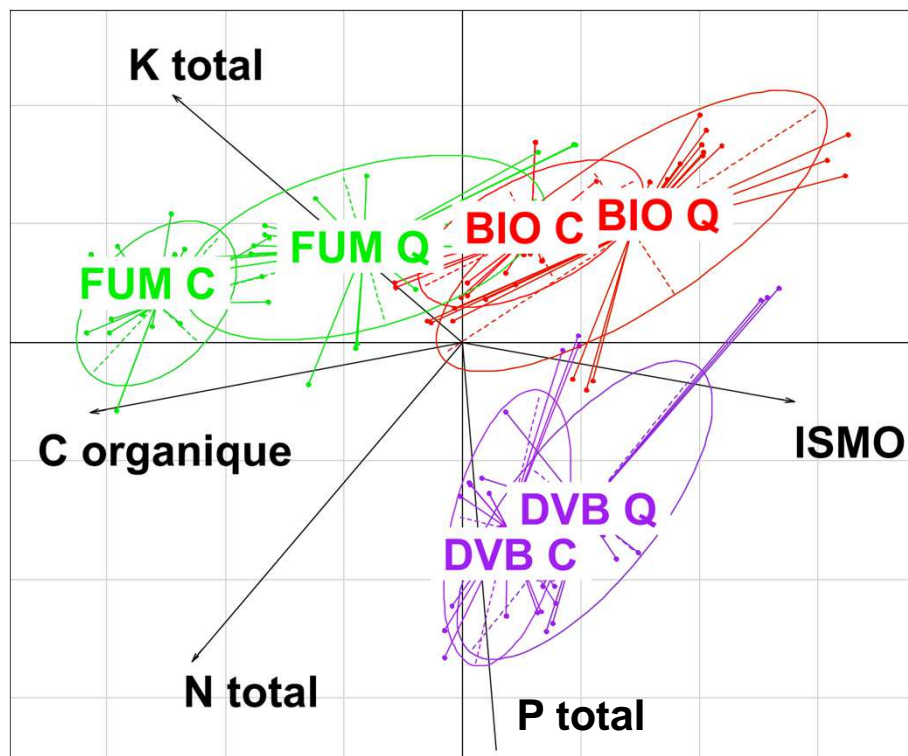


- 1) Quelles sont les propriétés des PRO ?
→ ACP

1) Caractérisation des PRO épanchés



ACP sur les teneurs en éléments majeurs des PRO (g/kg MS) et l'ISMO



FUM → K total et C org.

DVB → P total et ISMO

BIO → ISMO

Intérêt des ACP

→ Caractérisation visuelle et multidimensionnelle des individus (PRO)

(i) Démarche statistique

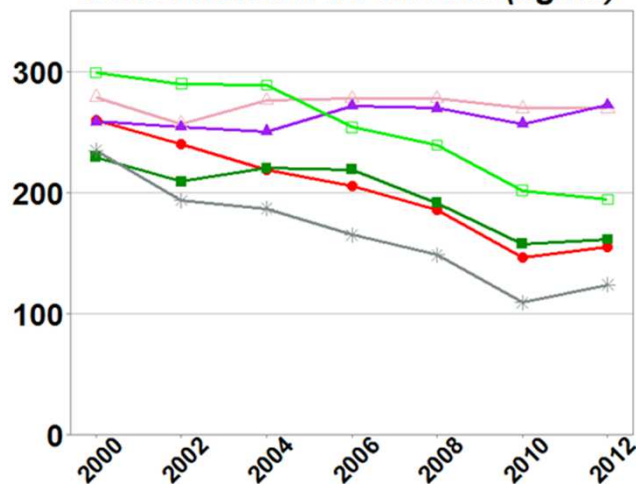


1) Quelles sont les propriétés des PRO?
→ ACP

2) Existe-t-il une évolution différente des propriétés du sol
entre traitements ?

→ statistiques temporelles (ex. P Olsen)

*Evolution des stocks de P Olsen
dans l'horizon de surface (kg/ha)*



(i) Evolution temporelle des variables du sol

1) **Modèle mixte** : Traitement, Année, Traitement:Année, Bloc, Parcelle

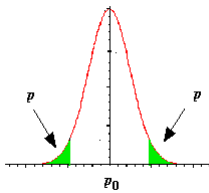


2) Non égalité des variances des résidus

3) Non indépendance des résidus



4) Normalité et égalité variances des résidus



5) **L'effet PRO sur le sol est-il significatif ?**

Non

Oui



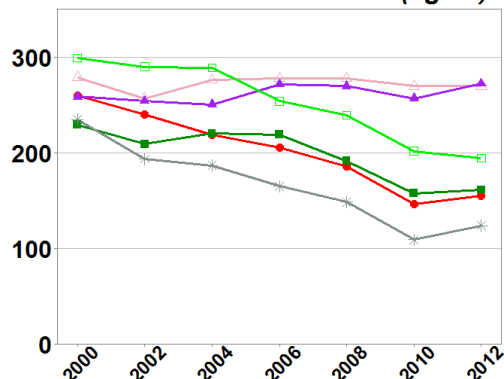
6) **Classement des PRO**
(année par année ou non)



(i) Evolution temporelle des variables du sol



Evolution des stocks de P Olsen dans l'horizon de surface (kg/ha)



Modèle prenant en compte corrélation temporelle et variabilité différente des résidus selon le PRO

	pvalue
Traitement	<0,0001
Année	<0,0001
Interaction	<0,0001
Bloc	ns

Traitement	2000	2002	2004	2006	2008	2010	2012
BOUE	ab	ab	a	a	a	a	a
DVB	ab	ab	ab	a	a	a	a
BIO	ab	abc	bc	bc	c	c	bc
FUM	a	a	a	ab	ab	b	b
FUMC	b	bc	bc	abc	bc	bc	bc
REF	b	c	c	c	c	c	c

2) Evolution des teneurs NPK du sol ?



Application démarche statistique sur chaque paramètre (NPK) de chaque site

ANOVA année par année sur QualiAgro (Q)

ANOVA temporelle sur Colmar (C)

pvalue	N total		P Olsen		K échangeable	
	QualiAgro	Colmar	Q	C	Q	C
PRO	***	***	***	***	***	***
Année		***		***		***
PRO:Année		**		**		**

→ Sur les 2 sites, différenciation significative des teneurs en NPK des sols entre traitements

→ Effet temporel visible sur chacun des sites

2) Evolution des teneurs NPK du sol ?



Paramètre	Traitement	QualiAgro	Colmar
N total	BIO	↑ ↑	=
	DVB	↑ ↑	=
	FUM	↑	↓
	TEM	↓	↓
P. Olsen	BIO	↑	↓ ↓
<p>Les mêmes PRO amènent aux mêmes tendances sur chaque site, avec augmentation (QualiAgro) ou maintien (Colmar) des teneurs en NPK du sol</p>			
K échangeable	TEM	↓	↓ ↓
	BIO	↑	↓
	DVB	=	↓
	FUM	↑ ↑	↑
	TEM	↓	↓

Écart relatif entre la teneur du sol en éléments majeurs après 6 épandages et la teneur du sol initiale (i.e. mise en place du dispositif), en fonction du site et du PRO

(i) Démarche statistique



1) Quelles sont les propriétés des PRO ?
→ ACP

2) Existe-t-il une évolution différente des propriétés du sol
entre traitements ?
→ statistiques temporelles

3) **Calculs des bilans** (PRO + fertilisation – exportations plantes)
→ Déficitaire, excédentaire ?

3) Bilans



Bilans excédentaires pour chaque élément sur chaque site et chaque PRO
→ apport de PRO (+N) pallie aux besoins des cultures

Bilans excédentaires supérieurs sur QualiAgro que Colmar

PRO	Paramètre	QualiAgro	Colmar	Ratio
BIO	N total	306	159	1,9
	P Olsen	23	8	2,9
	K total	417	175	2,4
	Matière sèche	20	8	1,6
DVB	N total	378	177	2,1
	P Olsen	20	11	2,7

flux sur Qualiagro sont 1,5 à 3 fois supérieurs aux flux apportés sur Colmar, d'où une augmentation des stocks du sol plus marquée sur QualiAgro

FUM	N total	313	192	1,6
	P Olsen	46	30	1,5
	K total	488	275	1,8
	Matière sèche	13,6	7,1	1,9

Moyenne des flux en éléments (kg ha⁻¹) des 6 premiers épandages pour chaque site et chaque PRO. Ratio = flux de tel élément sur Qualiagro / flux de tel élément à Colmar

(i) Démarche statistique

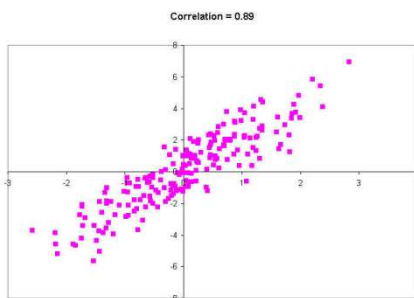


1) Quelles sont les propriétés des PRO?
→ ACP

2) Existe-t-il une évolution différente des propriétés du sol
entre traitements ?
→ statistiques temporelles



3) Calculs des bilans (PRO + fertilisation – exportations plantes)
→ Déficitaire, excédentaire?



4) Existe-t-il un lien entre les bilans,
les caractéristiques des PRO,
les évolutions des propriétés du sol
(ex. stocks, teneurs) ?
→ ACP

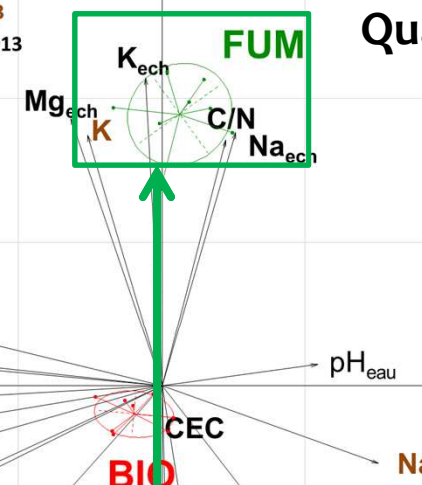
4) Lien entre bilans (apports – exports) et évolutions du sol ?



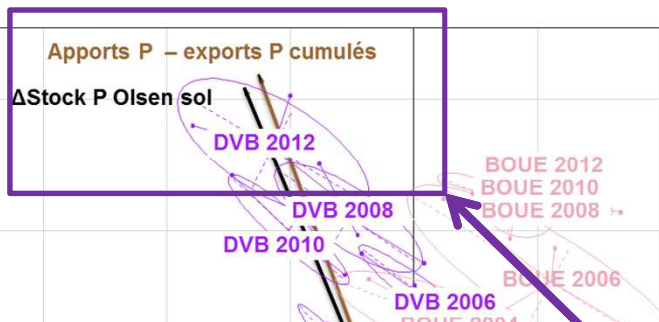
Lien entre les flux en PK et l'évolution des stocks PK du sol

QualiAgro

Flux cumulés 1998 → 2013
Valeurs dans les sols en 2013
ISMO des PRO

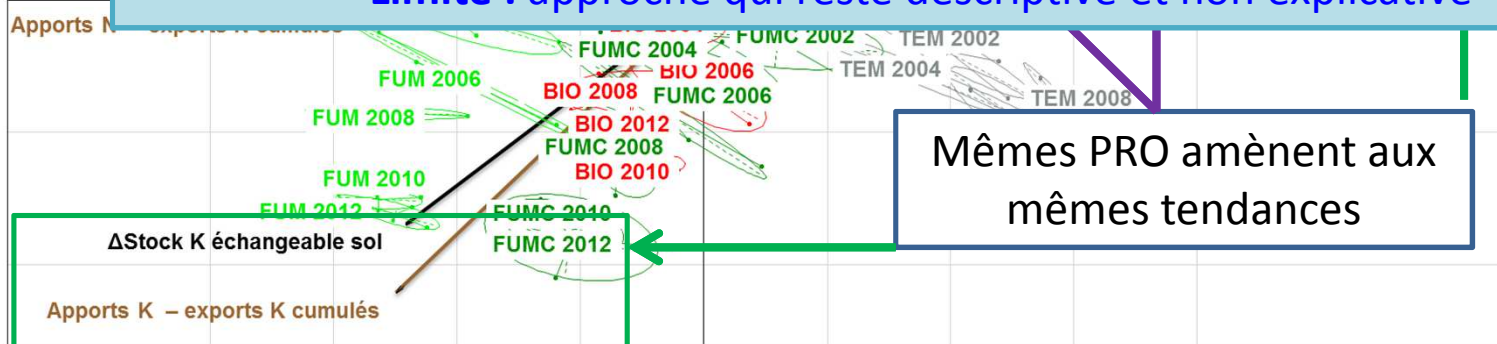


Colmar



ACP
Intérêt : Mise en évidence de corrélations linéaires entre différentes variables
Limite : approche qui reste descriptive et non explicative

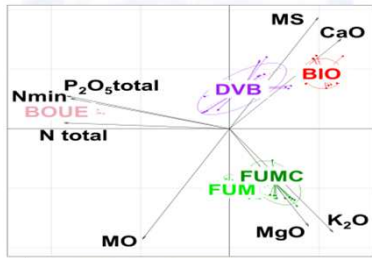
De M. Stauffer



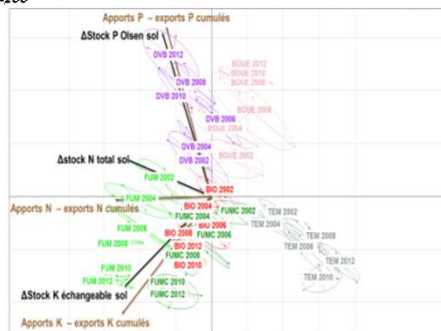
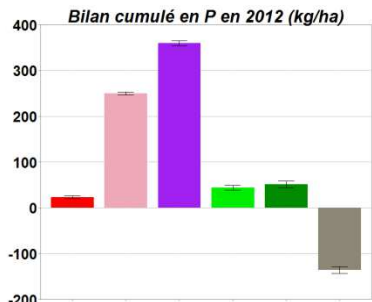
Mêmes PRO amènent aux mêmes tendances

Lien entre stockage plus important en N total dans le sol pour DVB et BIO et stabilité de leur matière organique

(i) Démarche statistique



1) Définition du modèle : quels sont les facteurs expliquant les variations de P Olsen dans le sol?



1) Quelles sont les propriétés des PRO ?

→ **ACP** : visualisation variables discriminant PRO entre eux, stabilité temporelle propriétés mais nécessite d'un nombre minimale de données

2) Existe-t-il une évolution différente des propriétés du sol entre traitements ?

→ **statistiques temporelles** : classement des effets des PRO, évolution temporelle significative ou non, mais nombre de points de mesure minimum, validation hypothèses pour exploiter résultats

3) Calculs des bilans

→ **Déficitaire, excédentaire ?** : nécessité d'analyser chaque compartiment selon des méthodes similaires

4) Lien entre les différents compartiments

→ **ACP** : Visualisation corrélations linéaires entre les évolutions de stock du sol, les bilans et les propriétés des PRO mais analyse restant descriptive et non explicative

- Nécessité de **prendre en compte le type de données** (temporel, agronomique...) pour développer une **méthode statistique adaptée à la question posée**
- **Diversité des méthodes statistiques pour expliquer l'évolution temporelle** des paramètres agronomiques du sol (ANOVA temporelle, ACP, forêts aléatoires, bayésien...)
- Application de ces méthodes aux sites de Colmar et QualiAgro a **montré un effet concordant de chaque type de PRO sur les 2 sites**

= ou ↗ P

DVB



= ou ↗ K

Fumier



Analyse de 2 dispositifs de longue durée a montré
un **effet visible et similaire des PRO**
sur les **paramètres agronomiques NPK du sol**,
Mais **intensité différente** due à des raisonnements d'apport différents



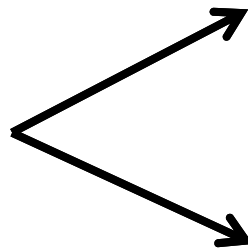
DVB et BIO

= ou ↗ N total

lien entre les flux en éléments majeurs apportés par les PRO
et l'évolution des teneurs/stocks du sol en P et K

lien entre la stabilité de la matière organique des PRO
et l'augmentation des teneurs du sol en N total

Apport de PRO



Peut pallier les besoins des cultures en NPK
(Cf bilans excédentaires)



Peut maintenir/augmenter les stocks en NPK du sol

Dépendant du type de PRO et de la conduite de site
(raisonnement des apports de PRO,
des restitutions de résidus à la parcelle...)



Vers des recommandations agronomiques

Difficulté d'étudier l'effet du contexte pédoclimatique sur les effets des apports de PRO (ex. sur les propriétés du sol)
car conduite des sites non équivalente, il faudrait :

PRO similaires

Flux d'apport équivalents

Définition des paramètres agronomiques à analyser et de la méthode d'échantillonnage
(adaptée pour faire des bilans)

Pas de temps identique

Protocole et Conduite de site équivalente