

Biodisponibilité du phosphore des intrants

Astrid Oberson, Else Bünemann, Simone Nanzer et Lalajaoana Randriamanantsoa

Groupe de Nutrition des Plantes (Prof. E. Frossard), Institut des Sciences Agricoles, ETH Zurich, Suisse

Journée d'Hommage – Sur les traces des Jean-Claude Fardeau



Introduction: Background et contexte

Soil phosphorus dynamics in cropping systems managed according to conventional and biological agricultural methods

A. Oberson¹, J.C. Fardeau², J.M. Besson¹, H. Sticher³

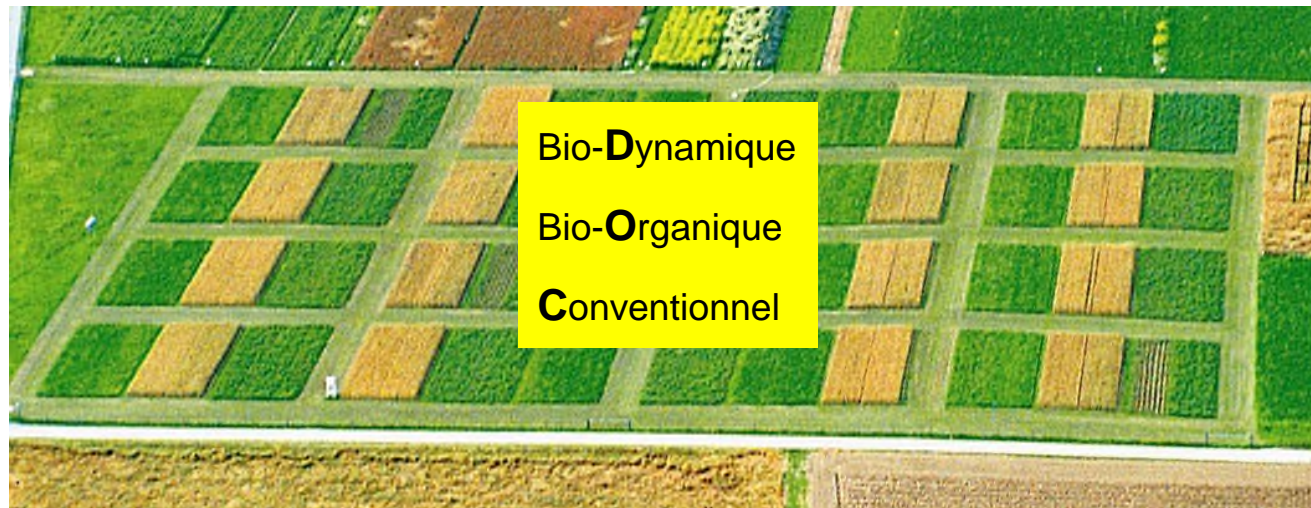
¹Swiss Federal Research Station for Agricultural Chemistry and Hygiene of Environment, CH-3097 Liebefeld-Berne, Switzerland

²Commissariat à l'Énergie Atomique, DPVE, Centre d'Études de Cadarache, F-13108 Saint-Paul-lez-Durance, France

³Institute of Terrestrial Ecology, Soil Chemistry, Federal Institute of Technology Zurich, Grabenstraße 3, CH-8952 Schlieren, Switzerland

Received: 9 June 1992

Biology and Fertility of Soils (1993), 16



Essai DOC
depuis 1978
Therwil, Suisse
Agroscope & FiBL

Effets des intrants dans différents systèmes de culture

Système	Abrév.	E1 min mg/kg		Soil biomass ng ATP/g	
Contrôle	NOFERT	2.5 ± 0.2	a	843 ± 89	a
Bio-Dynamique	BIODYN	8.3 ± 0.5	b	1217 ± 34	c
Bio-Organique	BIOORG	7.2 ± 0.4	b	1160 ± 49	bc
Conventionnel mixte	CONFYM	10.5 ± 0.7	c	1006 ± 22	abc
Conventionnel minéral	CONMIN	7.0 ± 0.6	b	945 ± 58	ab
Kruskall-Wallis			***		**

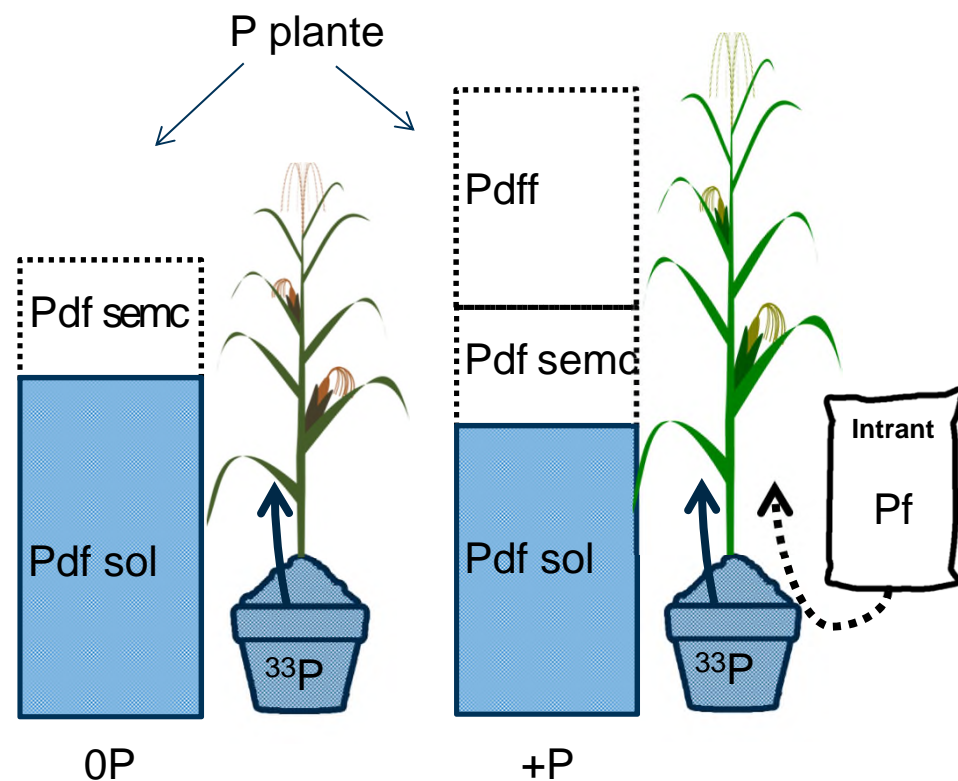
Oberson et al., 1993, BFS 16

Effets des intrants sur le statut du P et l'activité microbologique des sols

→ Utilisation du P des intrants par les plantes?

→ Etudes par des méthodes isotopiques

Méthode isotopique indirecte: Principe de la dilution isotopique



**Pourcentage de P dans la plante
originnaire de l'intrant:**

$$\text{Pdf} (\%) = \left(1 - \frac{\text{SA}+\text{P}}{\text{SA}0\text{P}}\right) \times 100$$

$$\text{Pdf} (\text{mg P kg}^{-1}) = \text{Pdf}(\%)/100 \times \text{Ppl}$$

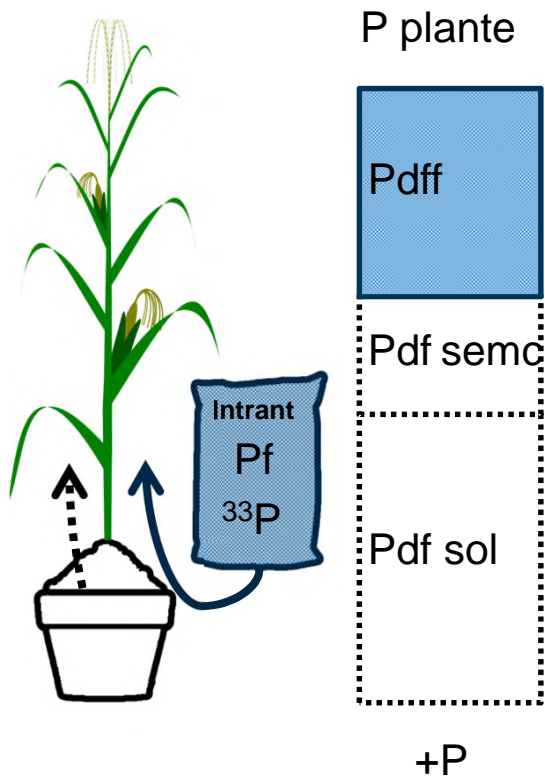
Coefficient d'utilisation:

$$\text{CUP} (\%) = \frac{\text{Pdf}}{\text{Pf}} \times 100$$

Pdf= P provenant de, f = intrant, Ppl = P totale dans la plante
(mg P kg⁻¹), semc = semence, Pf = P apporté par l'intrant (mg P
kg⁻¹), SA = activité spécifique (Bq µg P⁻¹), PS = P soluble à l'eau

Morel et Fardeau, 1989
Appl. Radiat. Isot. 40

Méthode directe: traçage isotopique



- Marquage homogène du P de l'intrant → Suivi direct
- Pourcentage de P dans la plante originaire de l'intrant:

$$Pdff(\%) = \left(\frac{SA+P}{SAPf} \right) \times 100$$

Morel et Fardeau, 1989 Appl. Radiat. Isot. 40

Méthodes isotopiques:

- S'appliquent aussi à **d'autres compartiments** que la plante → **Devenir du P des intrants dans le sol**
- **Combinaison** avec d'autres approches; Besoin d'une **caractérisation approfondie** de l'intrant (composition, formes du P ...)
- **Méthodes établies**, largement appliquées

Biodisponibilité du P des intrants pour les plantes - études isotopiques (exemples)

- **Intrants minéraux:** Engrais minéraux solubles à l'eau, engrais provenant de résidus de procédés industriels, roche phosphatée: Fardeau, Morel, Frossard, Sinaj, Zapata et al., dès 1988
- **Intrants organiques:** Résidus de plante (Thibaud et al. 1988), boues d'épuration (Frossard et al. 1996), composts (Sinaj, Frossard et al., dès 1999), engrais de ferme, fumier: *Fardeau et Guiraud 1971*; Oberson et al. 2010
- **Produits de recyclage plus récents:** Cendres de boues d'épuration (Nanzer et al., 2014), produits d'engrais de ferme traités (Achat et al., 2014), produits basés sur l'urine humaine (Bonvin et al., 2015)

Intérêt croissant dans les produits de recyclage du P, aux interventions à influencer la disponibilité et l'efficacité d'utilisation du P → Utilisation du P des intrants par les plantes sur les sols de l'essai DOC

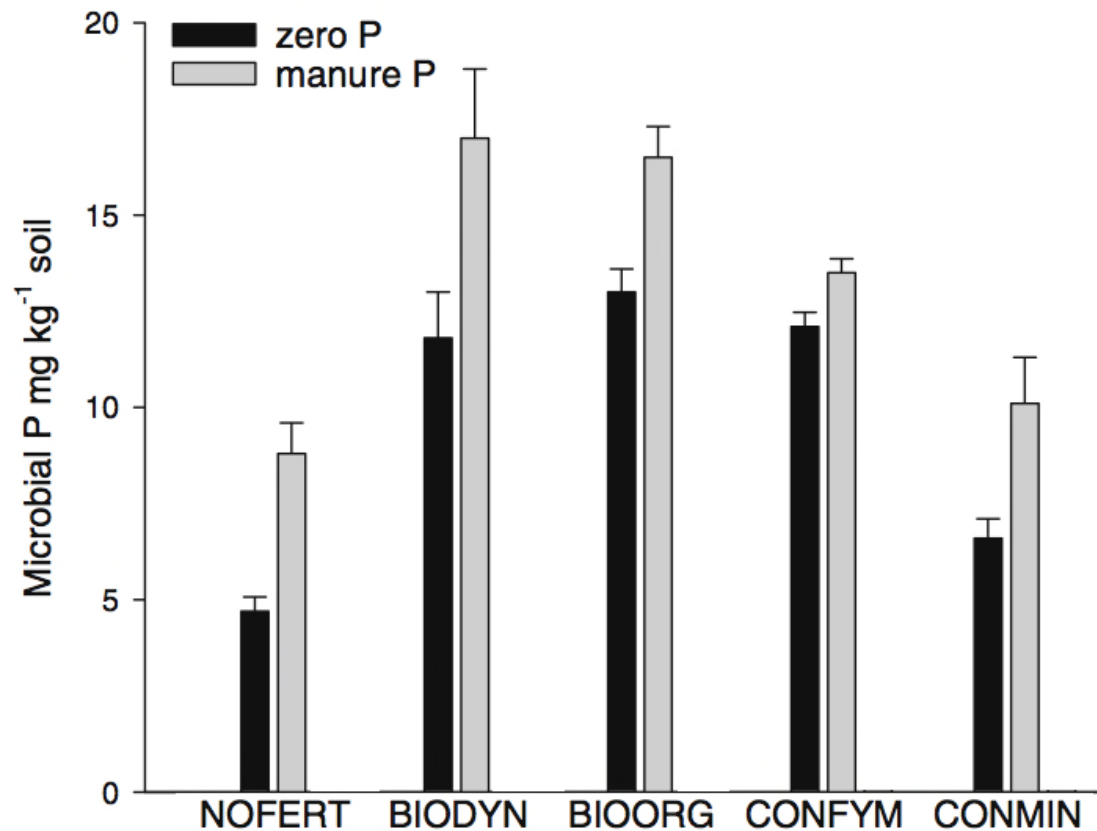
Biodisponibilité du P dans les apports organiques



Tab. Caractéristiques des excréments de vache

Total C	Total P	P _{organic}	P _{inorganic}	E _{1min}	E _{1min-3months}	E _{>3months}
g kg ⁻¹ dry wt.				% total P _{inorganic}		
423	12.3	3.3	9	55	12	33

Fumier: Réponse du P microbien dans les sols de l'essai DOC

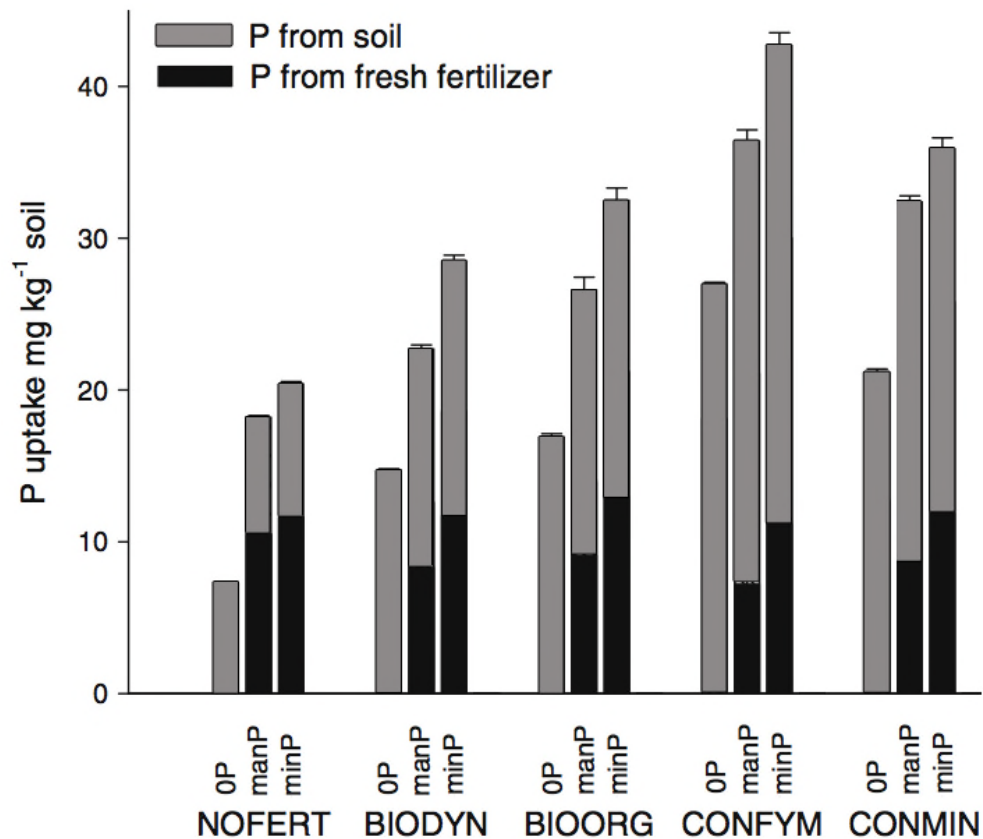


- Niveau initial différent selon le système de culture
- Apport de fumier augmente le P microbien → immobilisation

Oberson et al., 2010
PLSO 334

P du fumier prélevé par le ray-grass

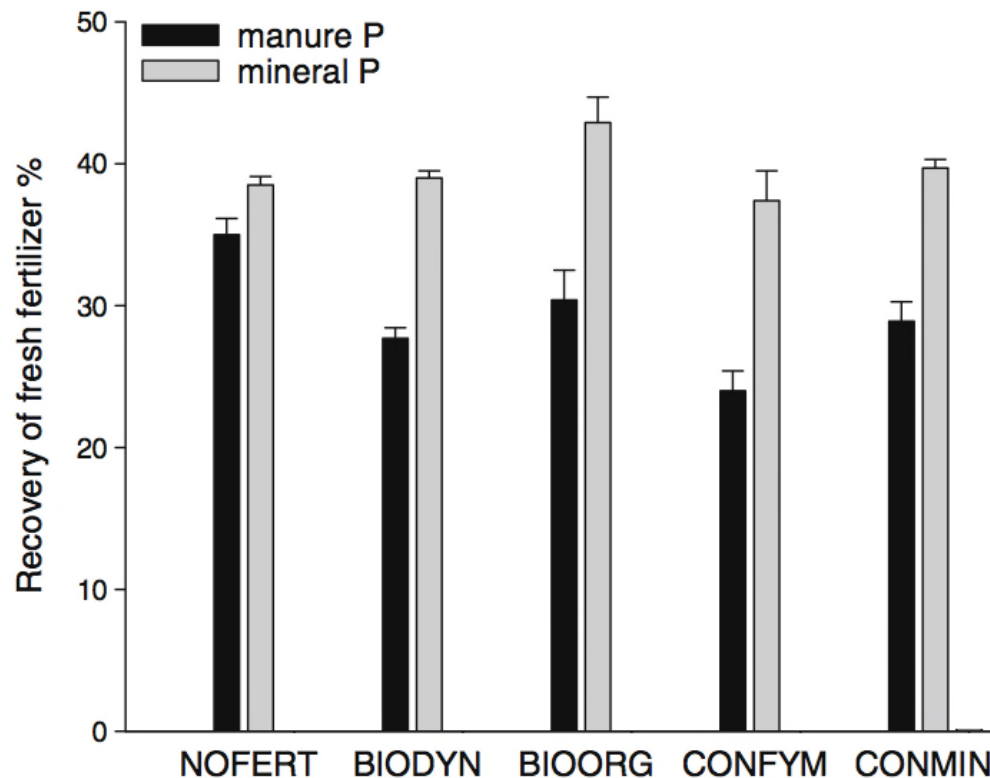
P disp. 0.6 1.5 1.9 4.9 3.4 mg P/kg



- Prélèvement de P total et Pdff(%) influencé par le statut de P dans le sol
- Sur chaque sol augmentation du P prélevé par la plante en présence des intrants
- Pdf fumier < Pdf engrais minéral

Oberson et al., 2010
PLSO 334

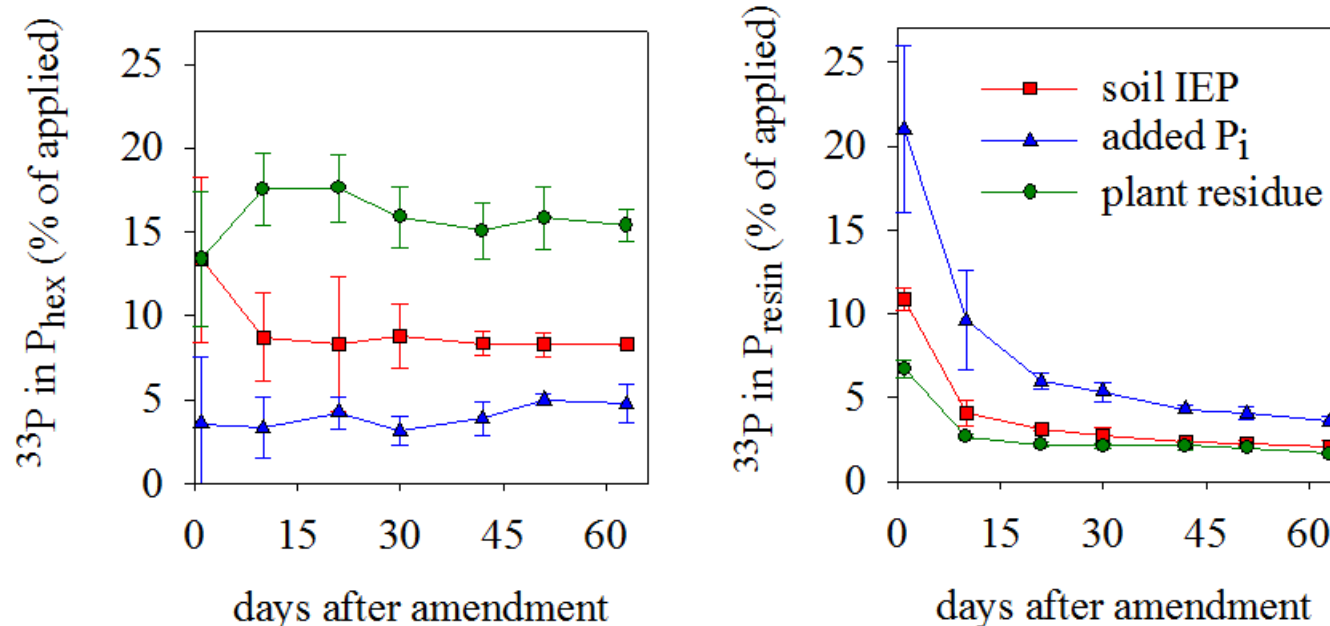
Coefficient d'utilisation du P



- CUP plus élevé pour l'engrais minéral que pour le fumier
- CUP plus influencé par le status de P disponible du sol que par l'activité microbienne
- Immobilisation du P microbien → disponibilité?

Oberson et al., 2010
PLSO 334

Biodisponibilité: Assimilation du P des apports par les microorganismes dans un Ferralsol



- Immobilisation du P par les microorganismes → reminéralisation (?); protection contre de fortes sorptions du P dans le sol (?)
- Marquage du P dans le sol inclut le P microbien (!)
- Formation de P organique → augmentation du potentiel de minéralisation du P organique (Lalajaoana et al., 2015 in press) → **Valeur résiduelle**

Prélèvement du P issu des intrants organiques par le riz dans un Ferralsol

Méthode	Intrants	CUP %
Directe	Stylo	8 ± 0.5
	P minérale	10 ± 1.0
Indirecte	Stylo	7 ± 0.4
	P minérale	12 ± 1.7
	Fumier	5 ± 0.5

- P des résidus de **jeune** légumineuse facilement disponible
- Correspondance de méthode directe et indirecte → hypothèse de base de la méthode indirecte accomplie
- Fumier comme source potentielle de P

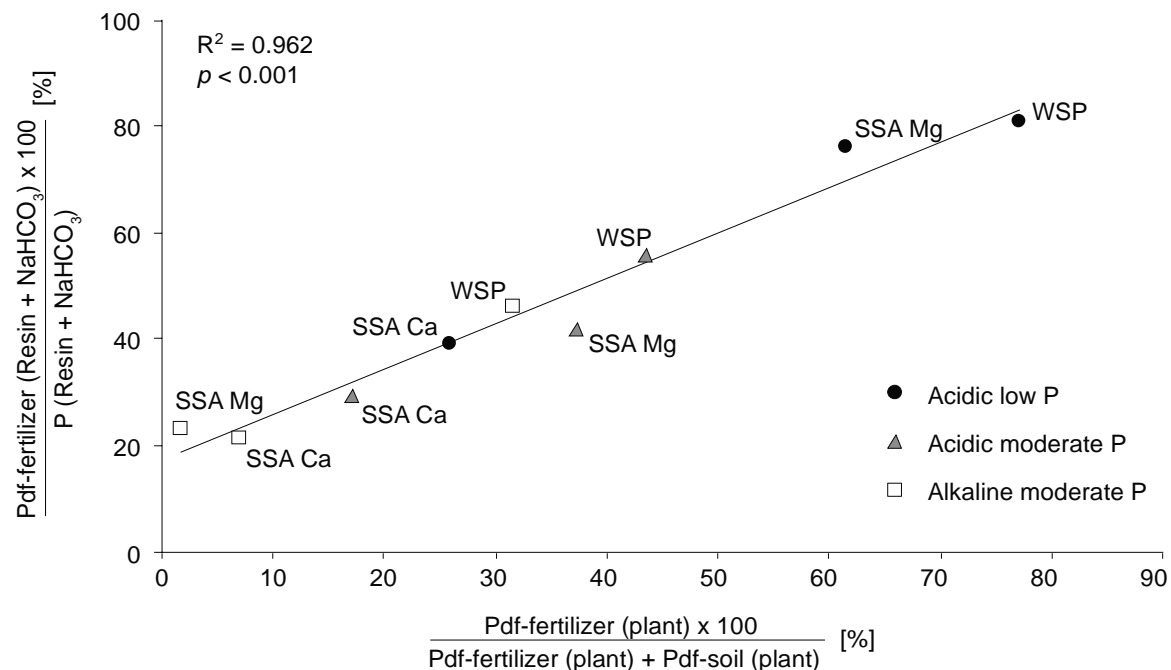
Randriamanantsoa L., 2013,
thèse de doctorat, Université
d'Antananarivo

Biodisponibilité du P dans les produits minéraux de recyclage



Prédiction de la disponibilité du P des cendres pour le ray-grass

- Comparaison entre la **fraction de P dans la plante** provenant de l'intrant (essai en pot) et la fraction de P provenant de l'intrant **dans un extrait de sol** (incubation) (méthode indirecte)
 - Interactions sol-intrant déterminent Pdf dans la plante
 - Méthode indirecte permet de tracer le P de l'intrant dans le sol



Nanzer et al. (2014)
PLSO 377

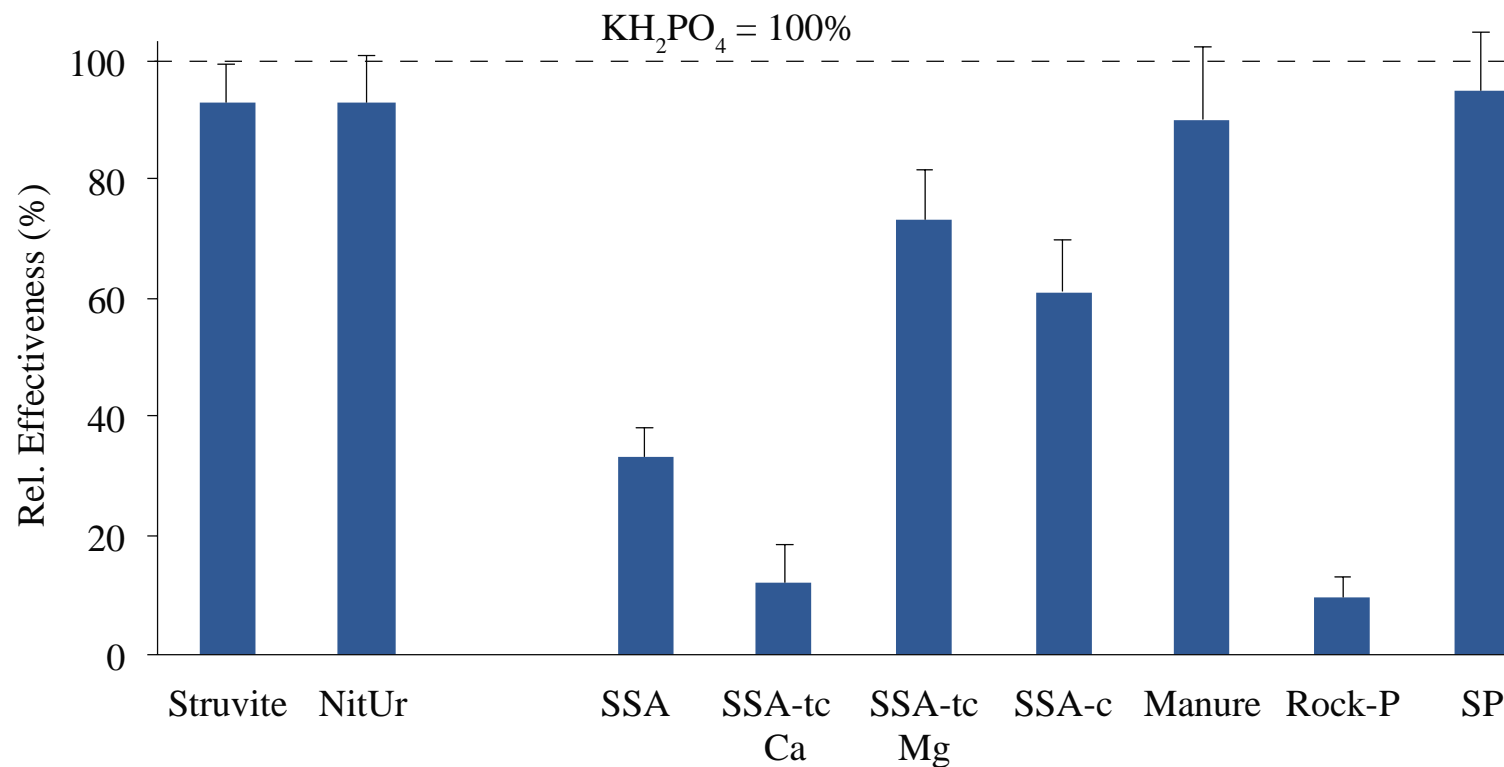
Conclusions et perspectives

- **Méthode directe et indirecte**: approches solides pour identifier l'origine du P assimilé par les plantes; suivi du P dans le sol
- **Biodisponibilité** du P pour la plante: **incubation sol/intrant** comme alternative (extraits, valeurs E (Morel et Fardeau, 1991))?
- **Intrants**:
Augmentation de la **pression sociale** pour le **recyclage** du P → intrants plus divers et plus complexes; intrants **organiques** ou **mixte** dans les approches intégrées de gestion de fertilité de sol → connaître leur biodisponibilité sous différentes conditions: effet sol, plante, activité microbologique, bio-inoculats, système de culture...
Valeur résiduelle du P des intrants?

Un grand merci aux organisateurs pour cette formidable opportunité et merci à vous pour votre attention



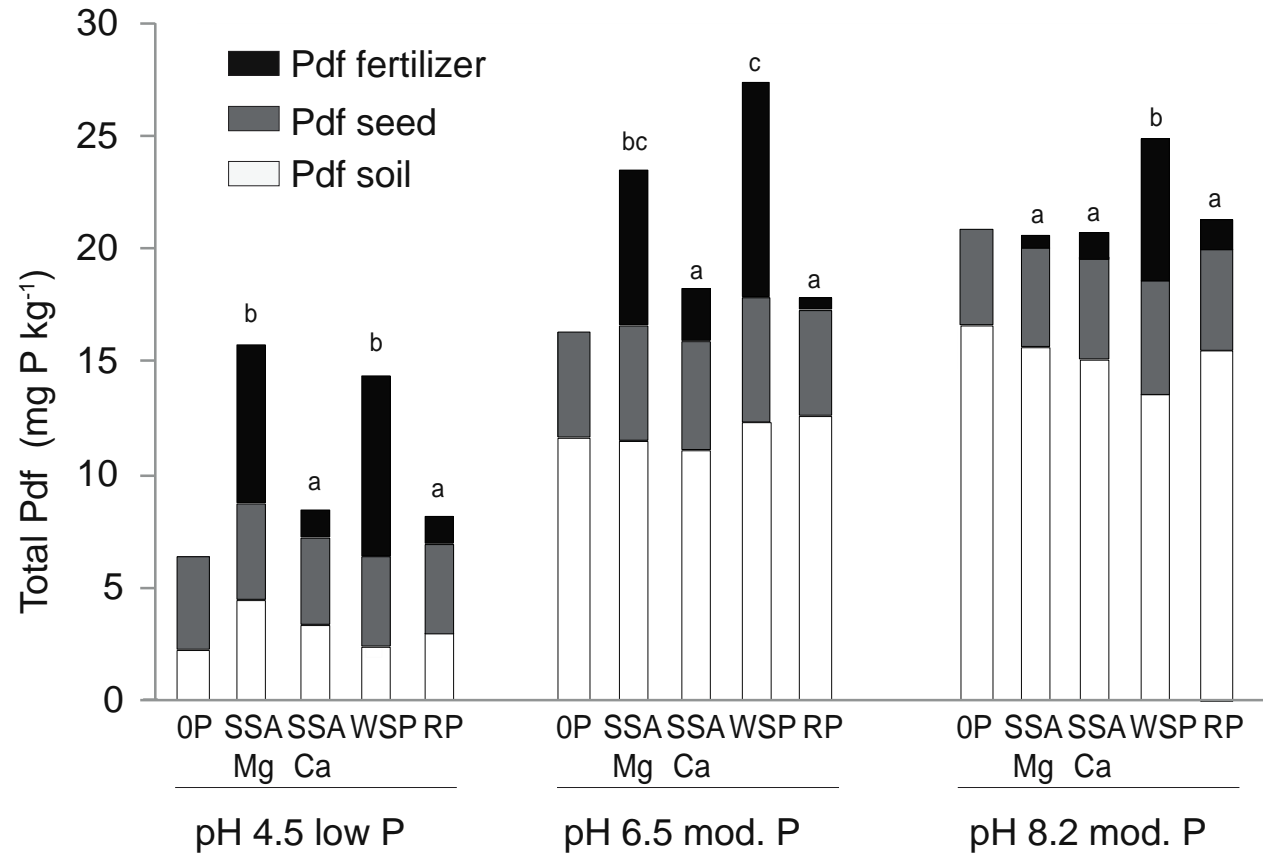
Efficacité relative de divers intrants



Sur sol pH 6.5 et statut de P modéré

Oberson et al., 2010 Plant & Soil 334; Nanzer et al., 2014 Plant & Soil 377; Bonvin et al. 2015

Assimilation du P des cendres par le ray-grass



Pdf des cendres dépend de leur traitement et des propriétés du sol

Le Pdf sol n'est pas constant → interaction de l'intrant avec le sol

Intérêts des méthodes isotopiques sur des sols suffisamment riches en P

Méthode indirecte: hypothèses et conditions

- **Marquage homogène** du P échangeable du sol = P disponible pour les plantes
- **Activité spécifique identique** du P disponible du sol prélevé par la plante dans le sol avec et sans apports (0P and +P)
 - toute dilution isotopique est causée par P non-marqué de l'engrais

Violation:

- P contenu dans la graine: important seulement si l'assimilation totale de P par la plante est faible comparée à la réserve dans la graine → correction
- Si l'apport provoque la libération de P non-marqué du sol (interaction de l'engrais avec le sol) → analyses des propriétés chimiques et microbiologiques du système sol-intrant (incubation)
- S'applique aussi à d'autres compartiments que la plante

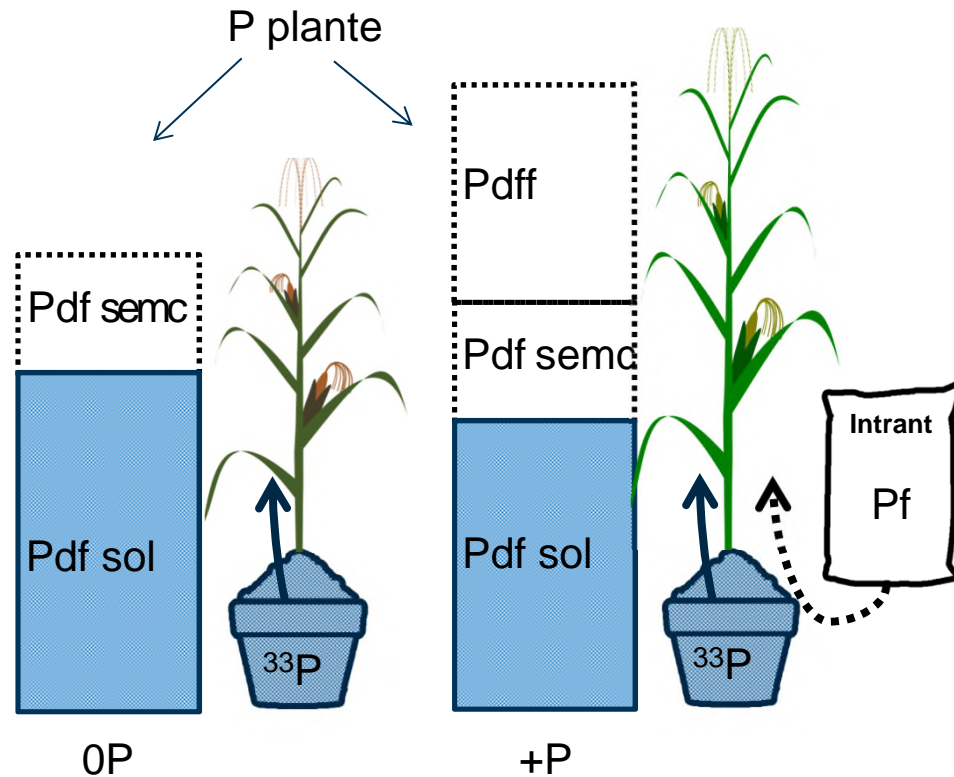
Assimilation de P par les plantes: Essais en pots avec des méthodes isotopiques sous conditions contrôlées



Cendres de boues d'épuration (SSA)

- En Suisse l'application des boues d'épuration est interdite depuis 2006
 - 6000 t de P par année ~ engrais minéraux importés
 - Mono-incinération et dépôt des cendres (SSA)
 - Concentration en métaux lourds dépasse les limites légales
- Traitement thermo-chimique (SSA-tc) ou chimique (SSA-c) pour enlever les métaux et/ou pour récupérer le P
- SSA-tc: traitements utilisant du chlorure de calcium (CaCl_2) ou de magnésium (MgCl_2) (SSA-Ca, SSA-Mg)

Méthode isotopique indirecte: Principe de la dilution isotopique



**Pourcentage de P dans la plante
originnaire de l'intrant:**

$$Pdff (\%) = \left(1 - \frac{SA_{+P}}{SA_{0P}}\right) \times 100$$

$$Pdff (\text{mg P kg}^{-1}) = Pdff(\%)/100 \times Ppl$$

Coefficient d'utilisation:

$$CUP (\%) = \frac{Pdff}{Pf} \times 100$$

Efficacité relative:

$$REff (\%) = \frac{CUP_{+P}}{CUP_{PS}} \times 100$$

Pdf= P provenant de, f = intrant, Ppl = P totale dans la plante (mg P kg⁻¹), semc = semence, Pf = P apporté par l'intrant (mg P kg⁻¹), SA = activité spécifique (Bq µg P⁻¹), PS = P soluble à l'eau

Morel et Fardeau, 1989
Appl. Radiat. Isot. 40