

# Gradient et profondeur de prélèvement de terre en cas de non labour prolongée

RÉGNIEZ Émile (AUREA)

AUMOND Claire (INVIVO)

BOUTHIER Alain (ARVALIS)

DENOROY Pascal (INRA)

FÉLIX-FAURE Bruno (GALYS)

KALT Sébastien (AUREA)

LABREUCHE Jérôme (ARVALIS)

LE SOUDER Christine (ARVALIS)

MATHIEU Pascal (CESAR)

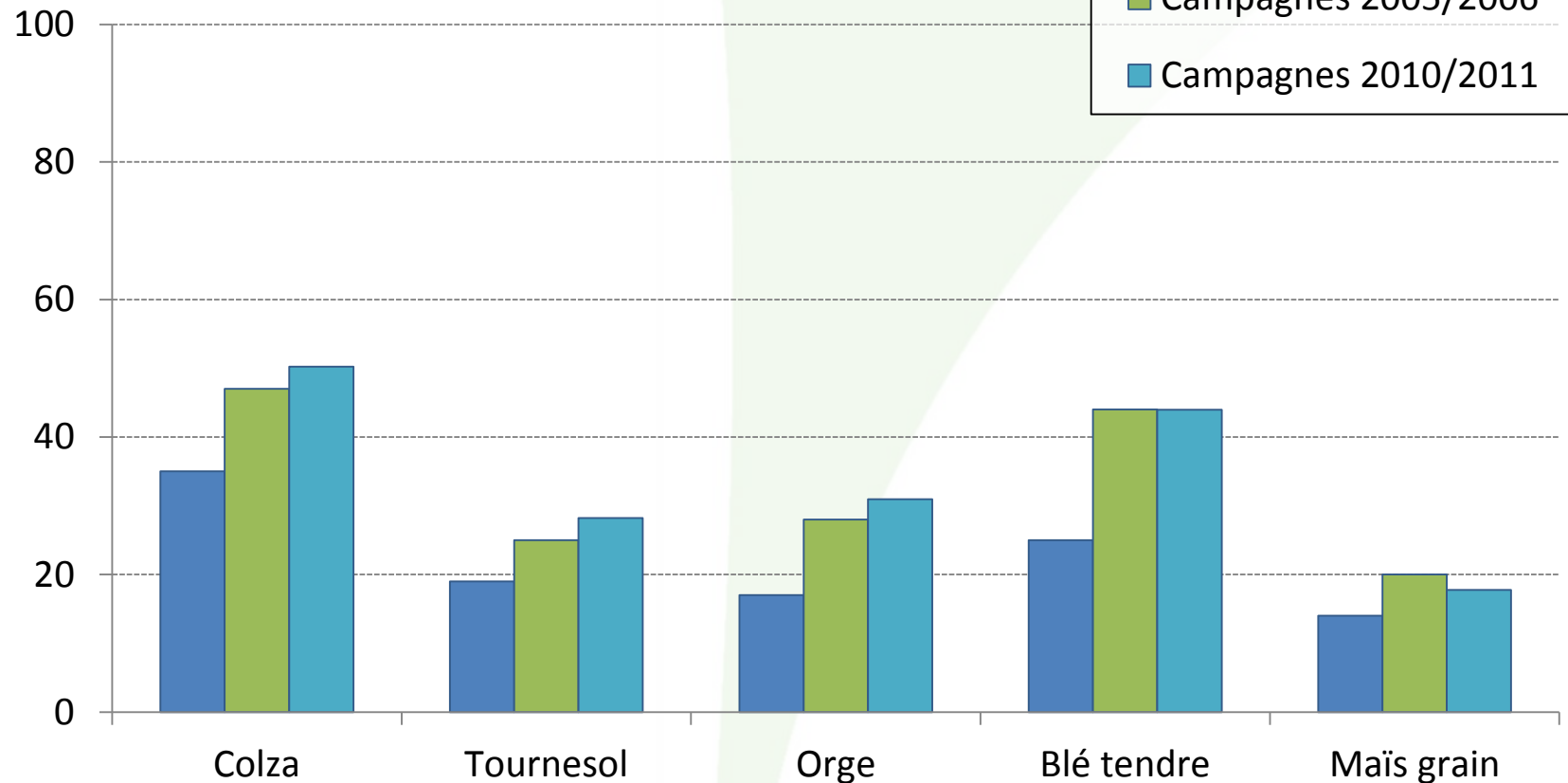
SERVAIN François (LDAR)

VALÉ Matthieu (AUREA)

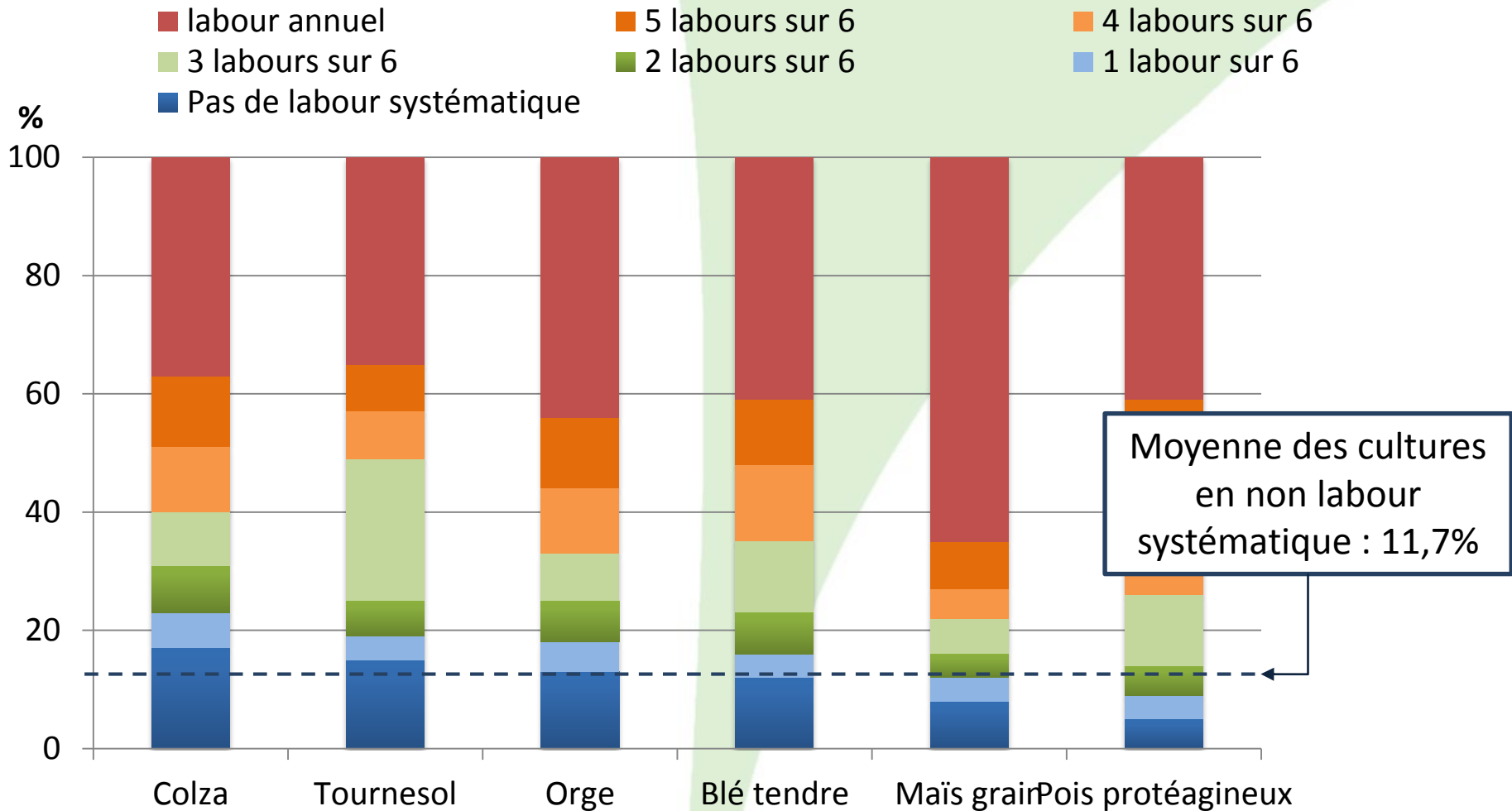
VERBEQUE Bernard (CA Loiret)

COMIFER PKMg – 23/03/16

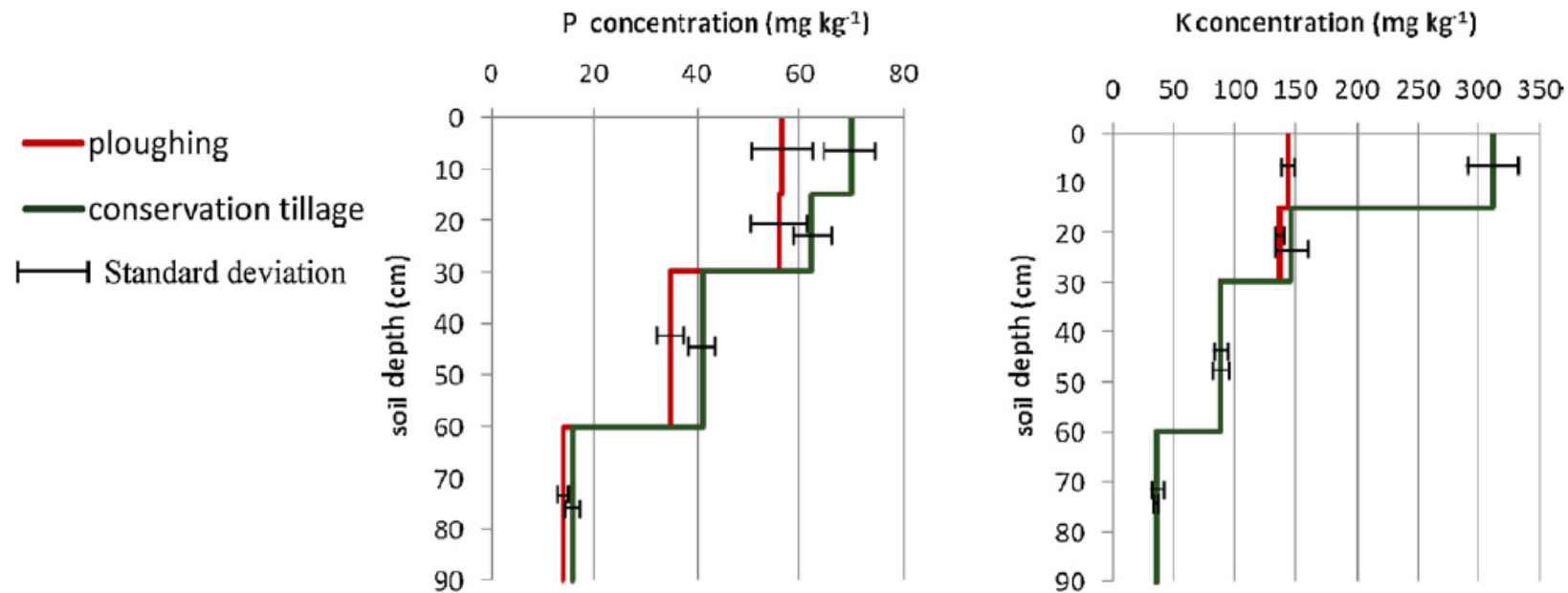
% des surfaces  
implantées sans  
labour



Pourcentage des surfaces implantées sans labour par culture en France  
(Labreuche et al, 2014)



Nombre de labours de 2001 à 2006 selon la culture récoltée en 2006  
(Labreuche et al, 2014)



Distribution du Phosphore (P) et Potassium (K) bio-disponible en fonction de la profondeur de sol et du mode de travail : ploughing (= labour) ; conservation tillage (= travail superficiel). (Deubel et al, 2011)

## Conditions expérimentales

Bernburg, Saxe Anhalt, Allemagne	Tchernoziom (Argile riche en MO, P, K et oligo)
fertilisation minérale 2002 et 2006, dose : 45 kg P.ha <sup>-1</sup> , 100 kg K.ha <sup>-1</sup>	travail superficiel (12-15 cm) / labour (20-30cm)
Arrêt du labour depuis 16 ans	Maïs G. - BTH - Orge H -colza H - BTH
Méthode d'extraction à l'eau	Prf. Prélevée (cm) : 0-5 ; 5-15 ; 15-30 ; 30-45 ; 45-60

Faut-il changer la profondeur de prélèvement en absence de labour et quel serait l'impact de ce changement sur l'interprétation agronomique ?

À partir de quand le gradient est-il statistiquement significatif ?

Quels sont les facteurs qui influencent la formation du gradient ?

Peut-on déterminer, *a priori*, si une parcelle est stratifiée ou non, s'il faut changer de profondeur de prélèvement ou non ?

Détermination d'un seuil de significativité du gradient par test statistique

Évaluation de la répercussion des facteurs sur la formation d'un gradient, à partir :

- De la bibliographie
- De deux jeux de données : 1 essai travail du sol + 1 réseau de parcelles

Formalisation d'un outil d'aide à l'identification des situations avec gradient

# Essai travail du sol (Boigneville)

## Site expérimental

- 1970-2015
- Néoluvisol
- Rotation : Maïs-blé H



## 3 modalités de travail du sol

- Labour : 20 cm
  - Travail superficiel (TS) : 10 puis 5 cm
  - Semis-direct (SD)
- } TCS

## Prélèvement

- Couches prélevées : tranche de 5 cm jusqu'à 35 cm de profondeur

## Analyses physico-chimiques

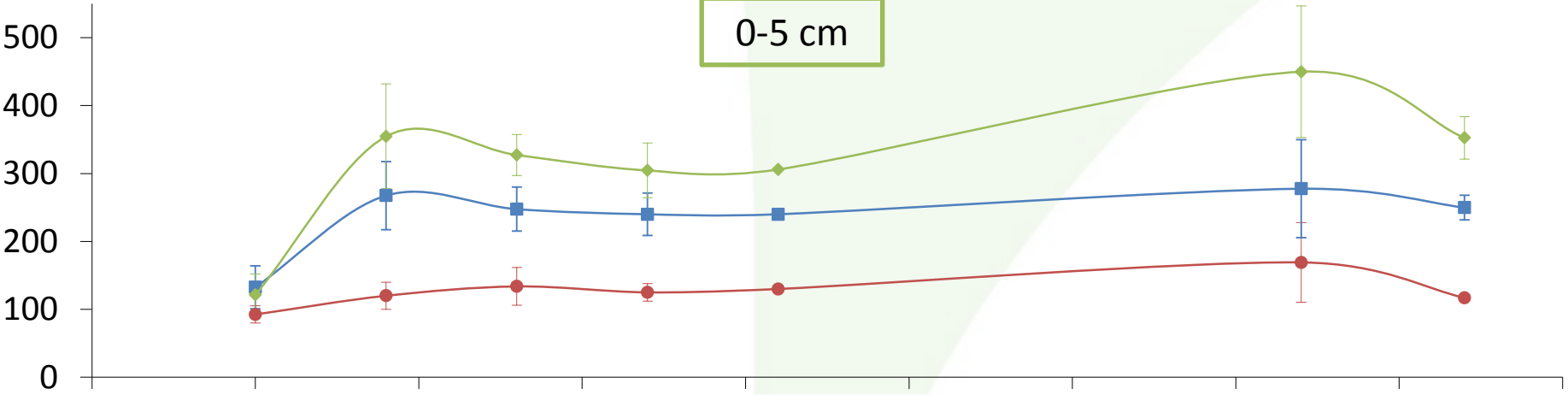
- $P_2O_5$  (Joret-Hébert et Olsen),  $K_2O$ ,  $MgO$ ,  $CaO$  (échangeables)
- Tous les 4 ans jusqu'en 1986, 2002, 2007
- Composition du sol et des plantes

# Évolution du P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> Joret-Hébert dans le temps selon le travail du sol

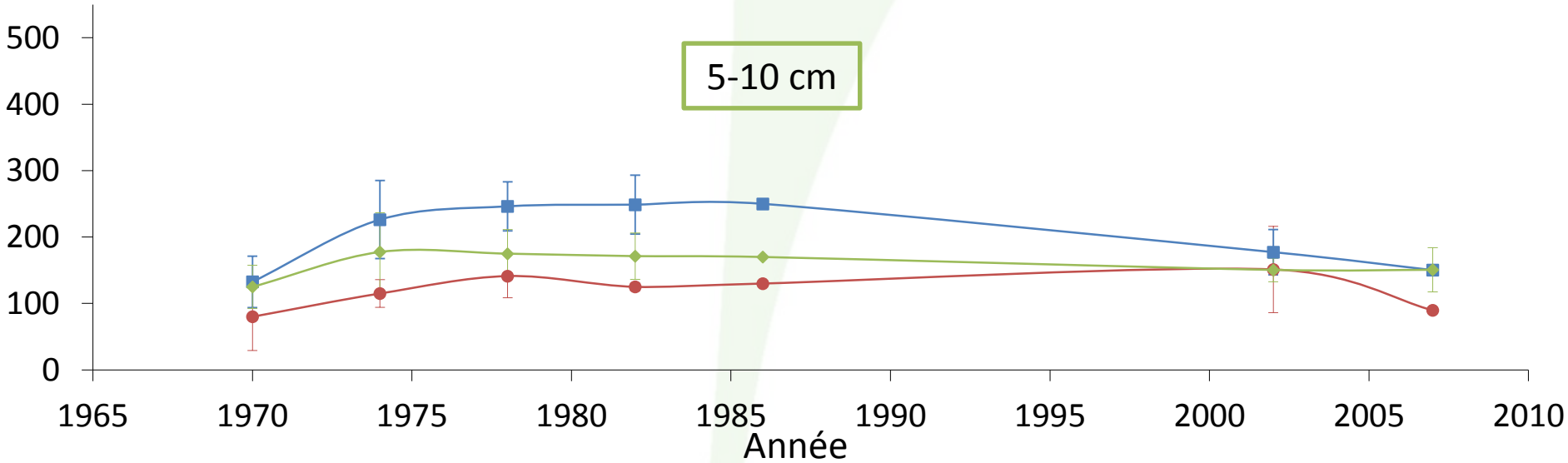
P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> J.-H.  
(ppm)



0-5 cm

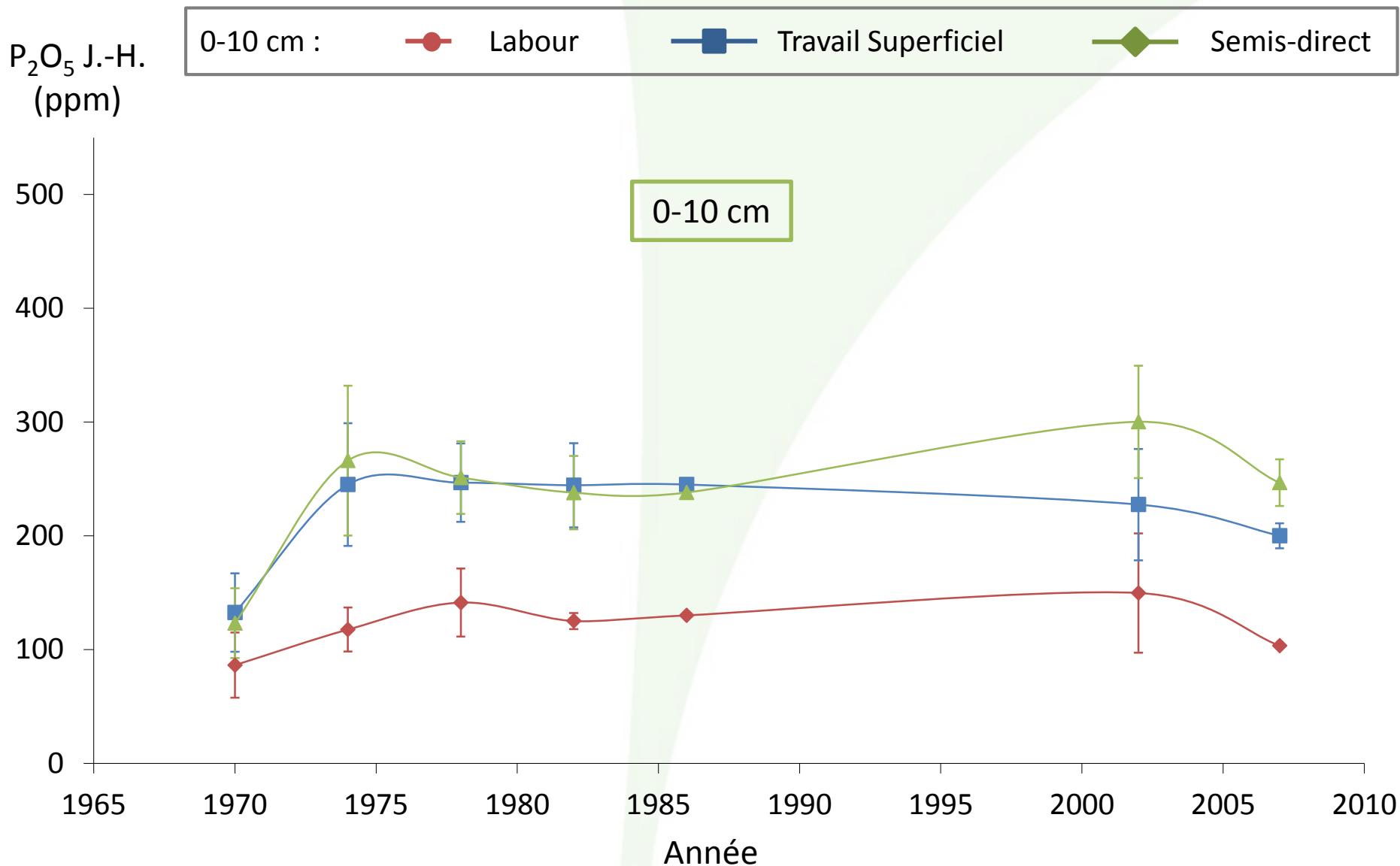


5-10 cm

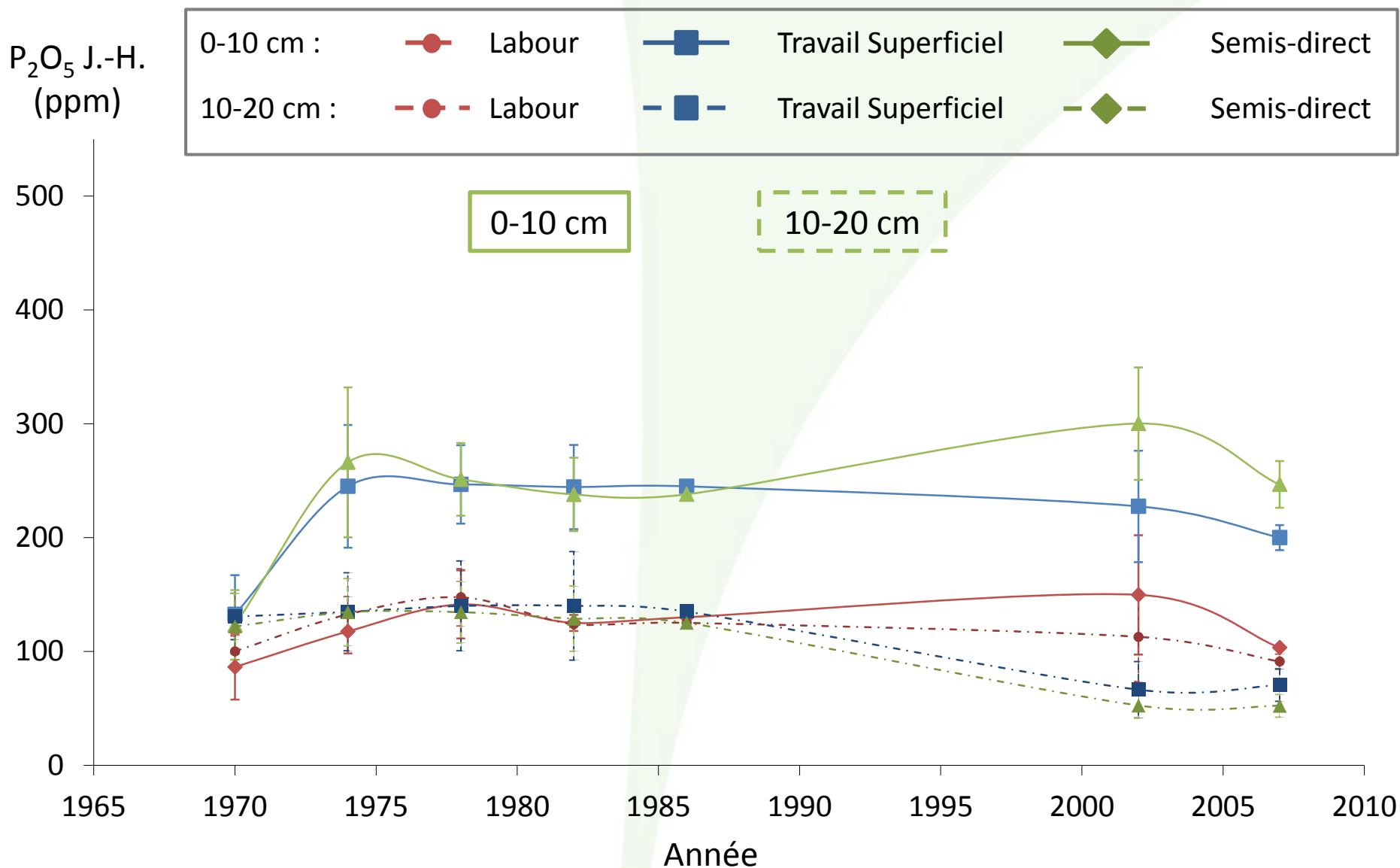




# Évolution du P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> Joret-Hébert dans le temps selon le travail du sol

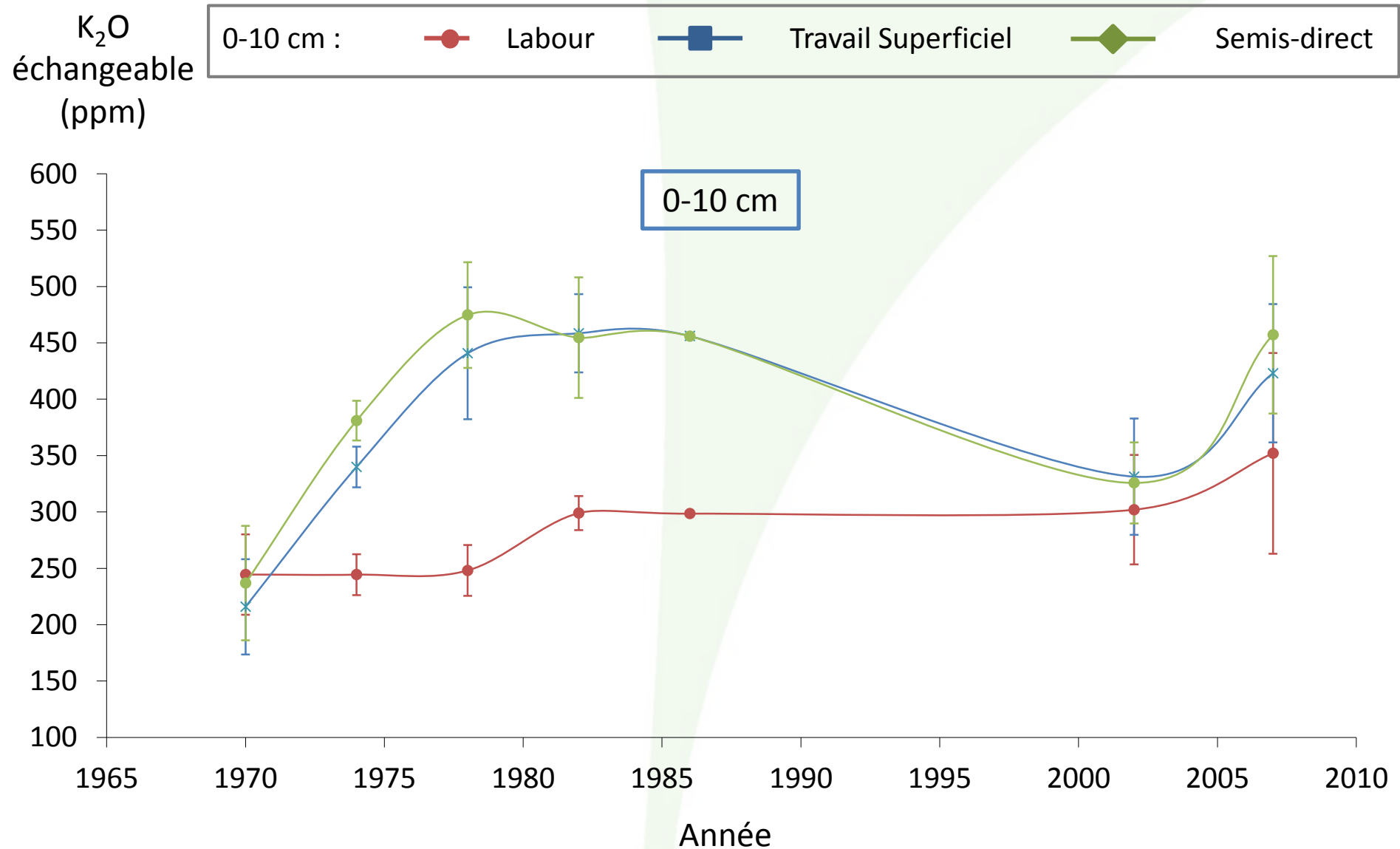


# Évolution du P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> Joret-Hébert dans le temps selon le travail du sol

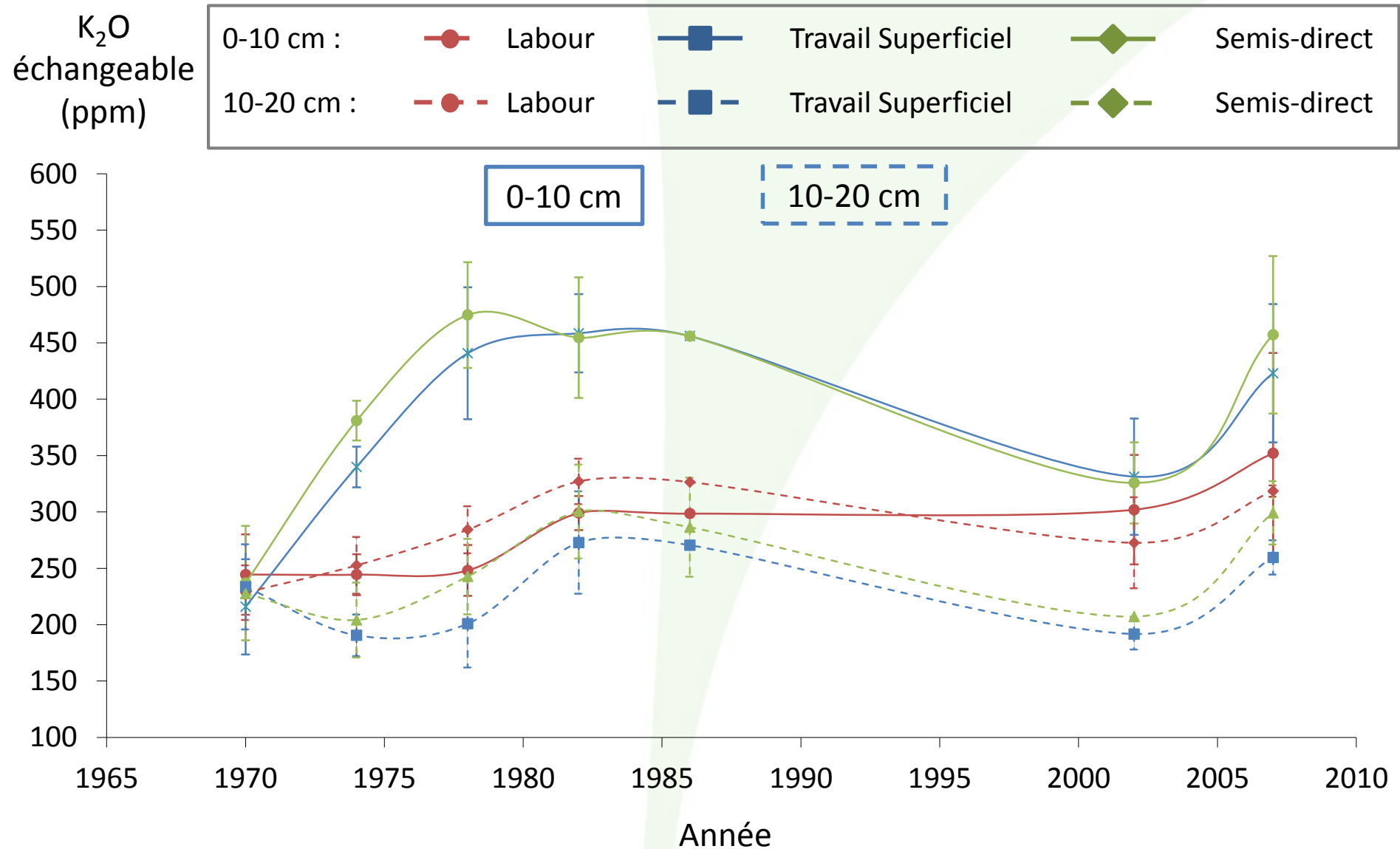




# Évolution du K<sub>2</sub>O échangeable dans le temps selon le travail du sol



# Évolution du K<sub>2</sub>O échangeable dans le temps selon le travail du sol



# Mise en place d'un indice de stratification ( $I_s$ )

$$I_s = \frac{\text{teneur à } 0 - 10 \text{ cm de profondeur}}{\text{teneur à } 10 - 20 \text{ cm de profondeur}}$$

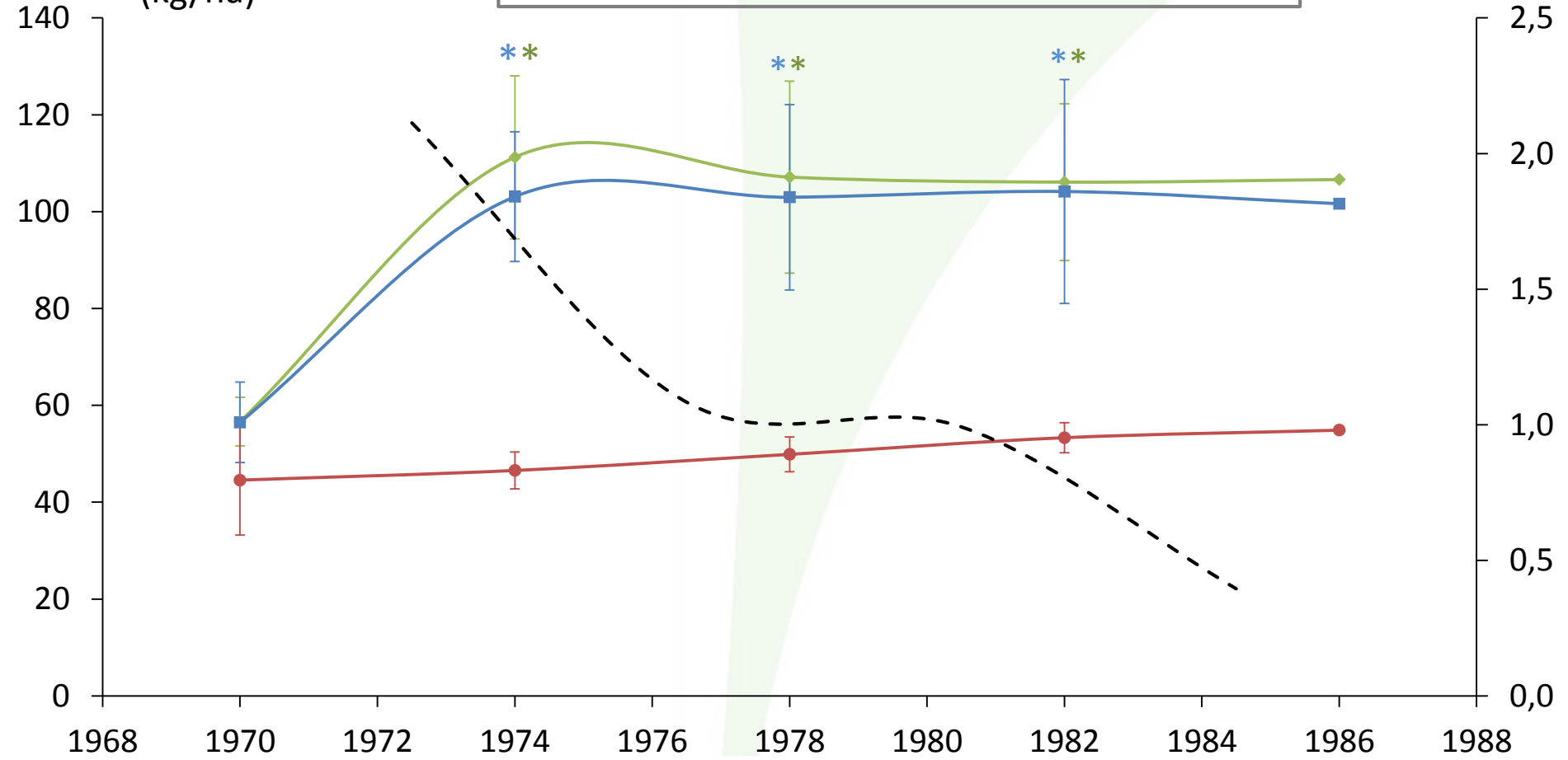
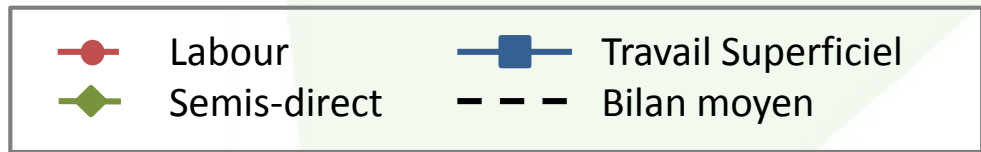
$$I_sP = 1$$

Horizon en profondeur plus riche que celui de surface

Enrichissement de l'horizon de surface

# Évolution du bilan et des Is du phosphore

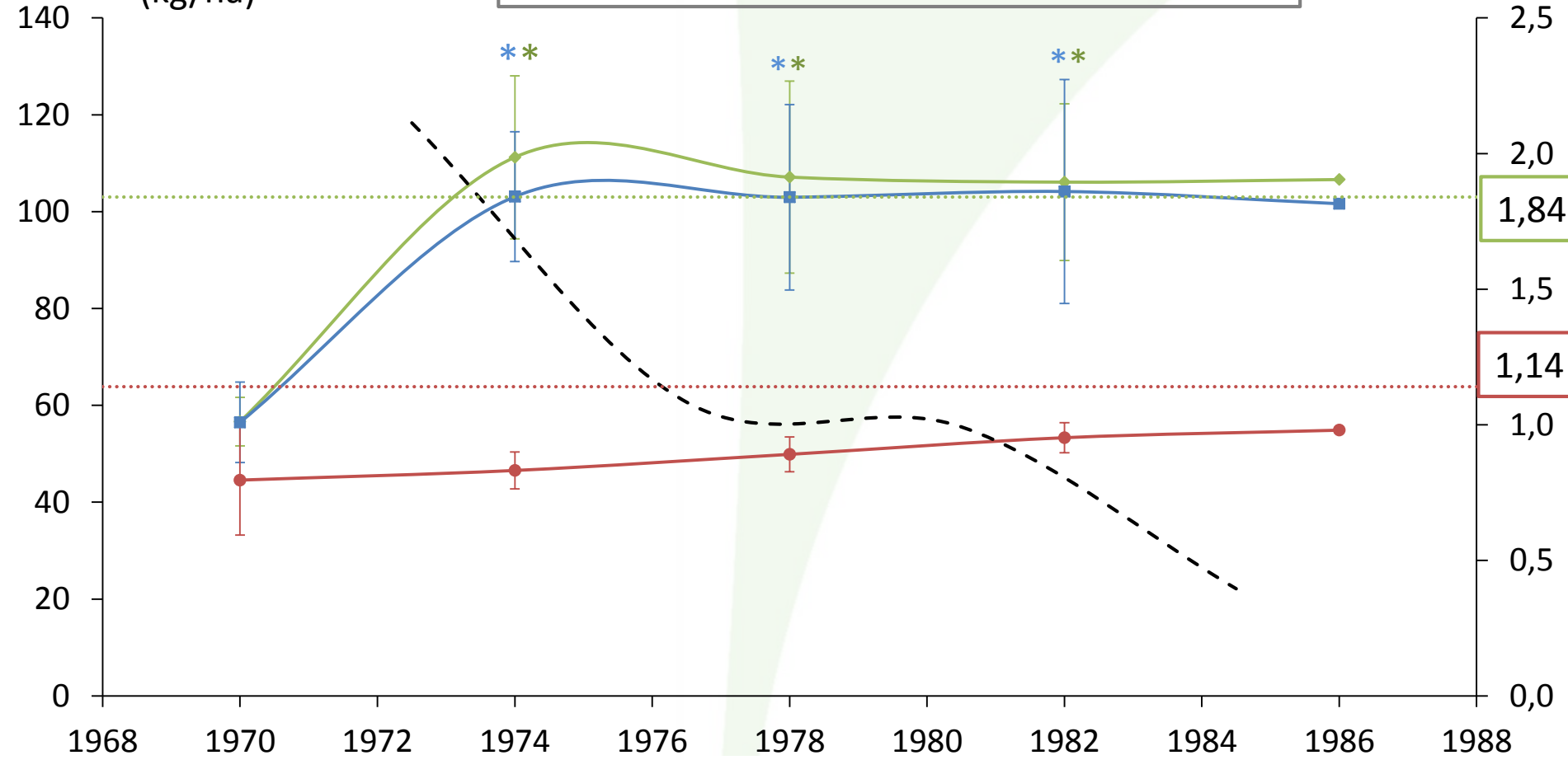
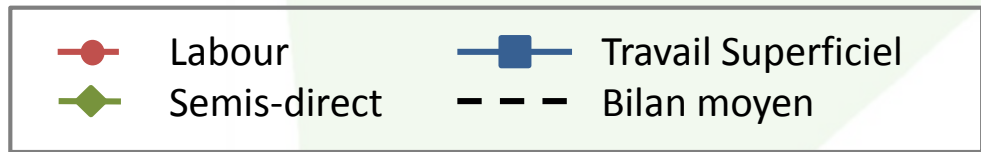
Bilan moyen en  $P_2O_5$   
par intervalle de 4 ans  
(kg/ha)



\* : Différence significative entre les teneurs à 0-10 et à 10-20: TCS; SD

# Évolution du bilan et des Is du phosphore

Bilan moyen en  $P_2O_5$   
par intervalle de 4 ans  
(kg/ha)

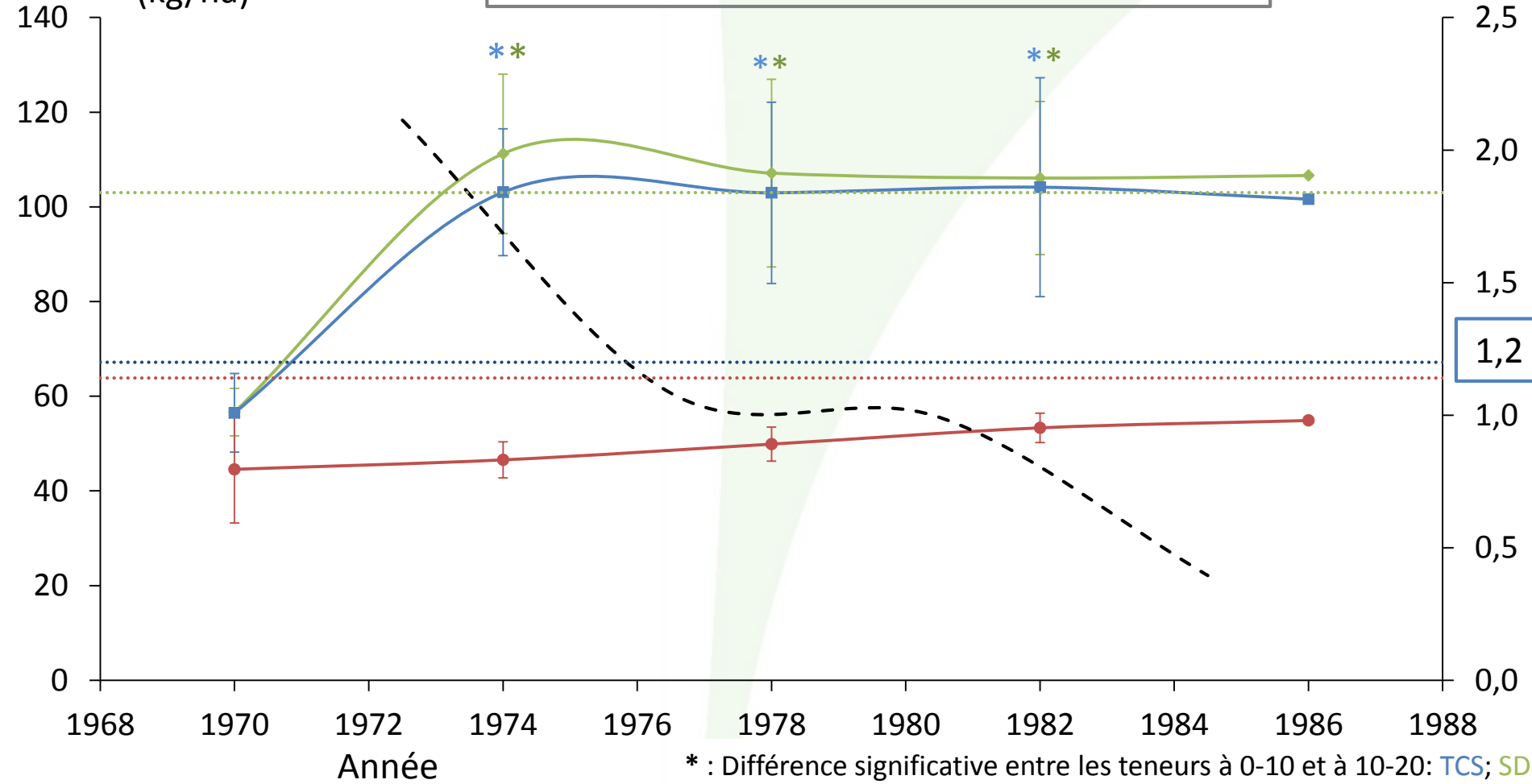
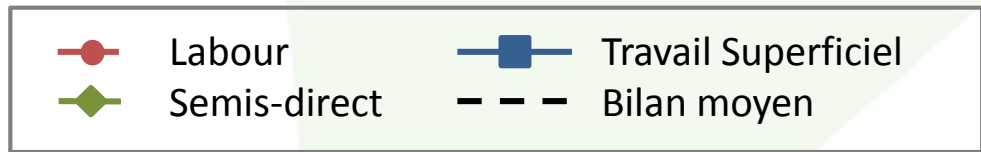


\* : Différence significative entre les teneurs à 0-10 et à 10-20: TCS; SD



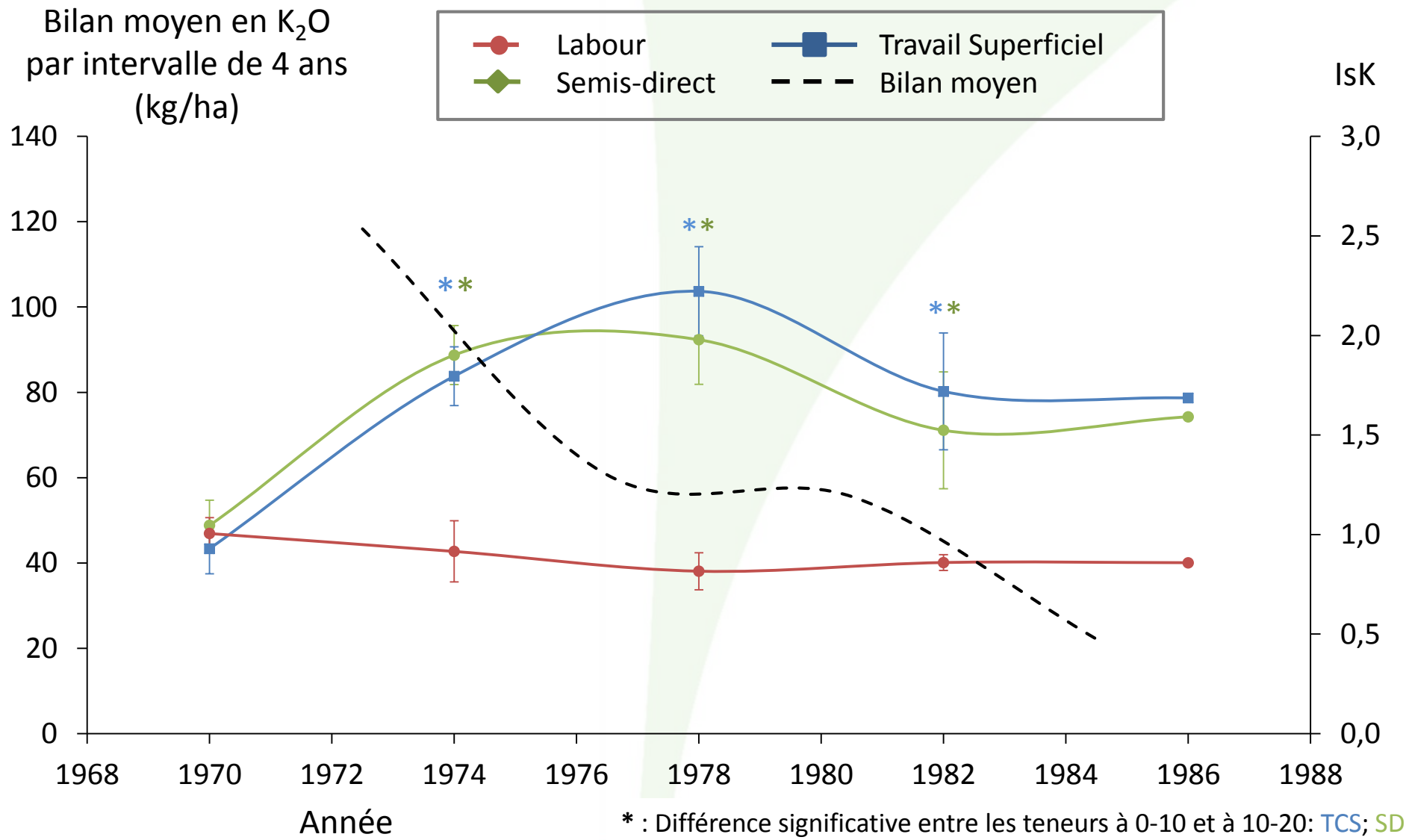
# Évolution du bilan et des Is du phosphore

Bilan moyen en  $P_2O_5$   
par intervalle de 4 ans  
(kg/ha)

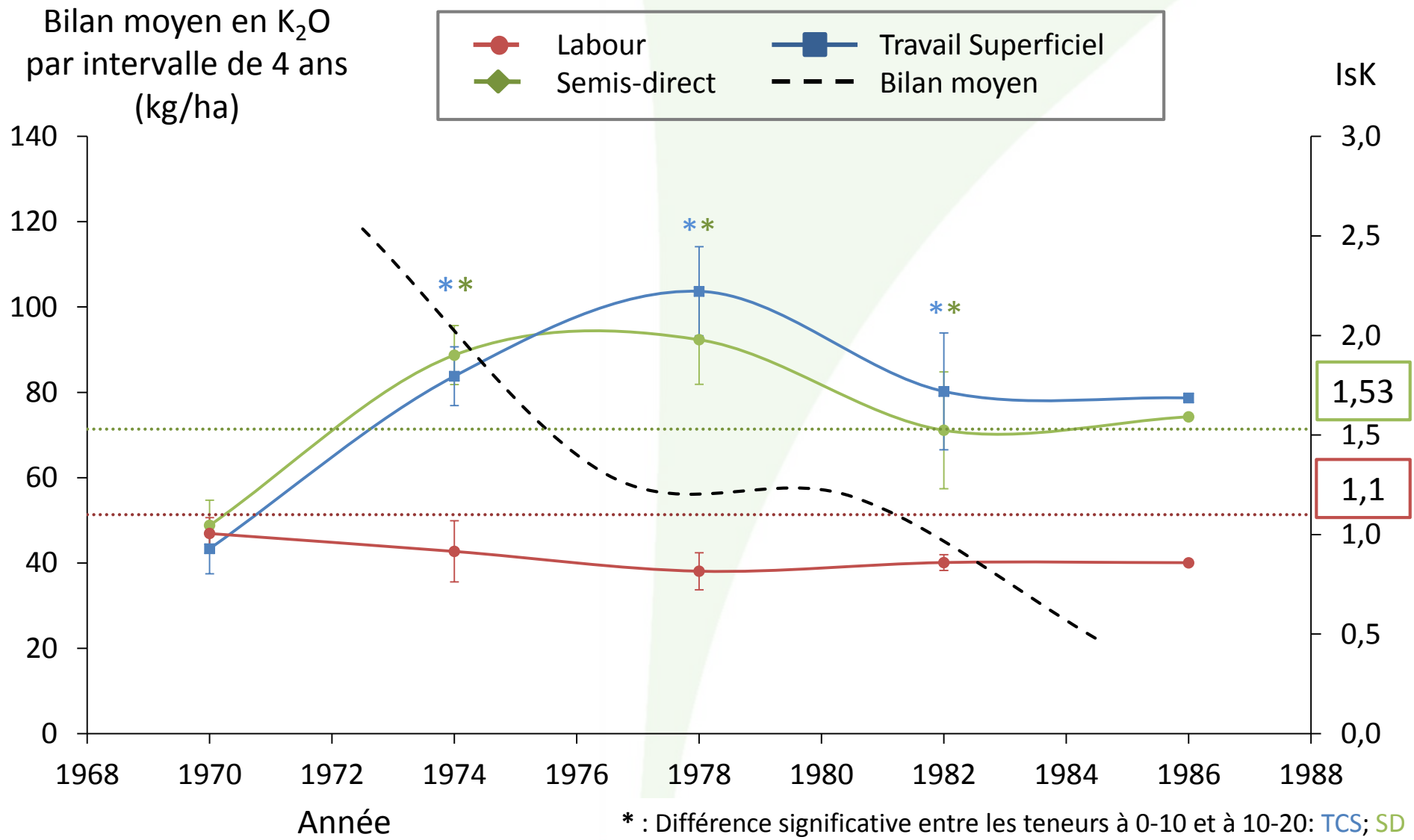


\* : Différence significative entre les teneurs à 0-10 et à 10-20: TCS; SD

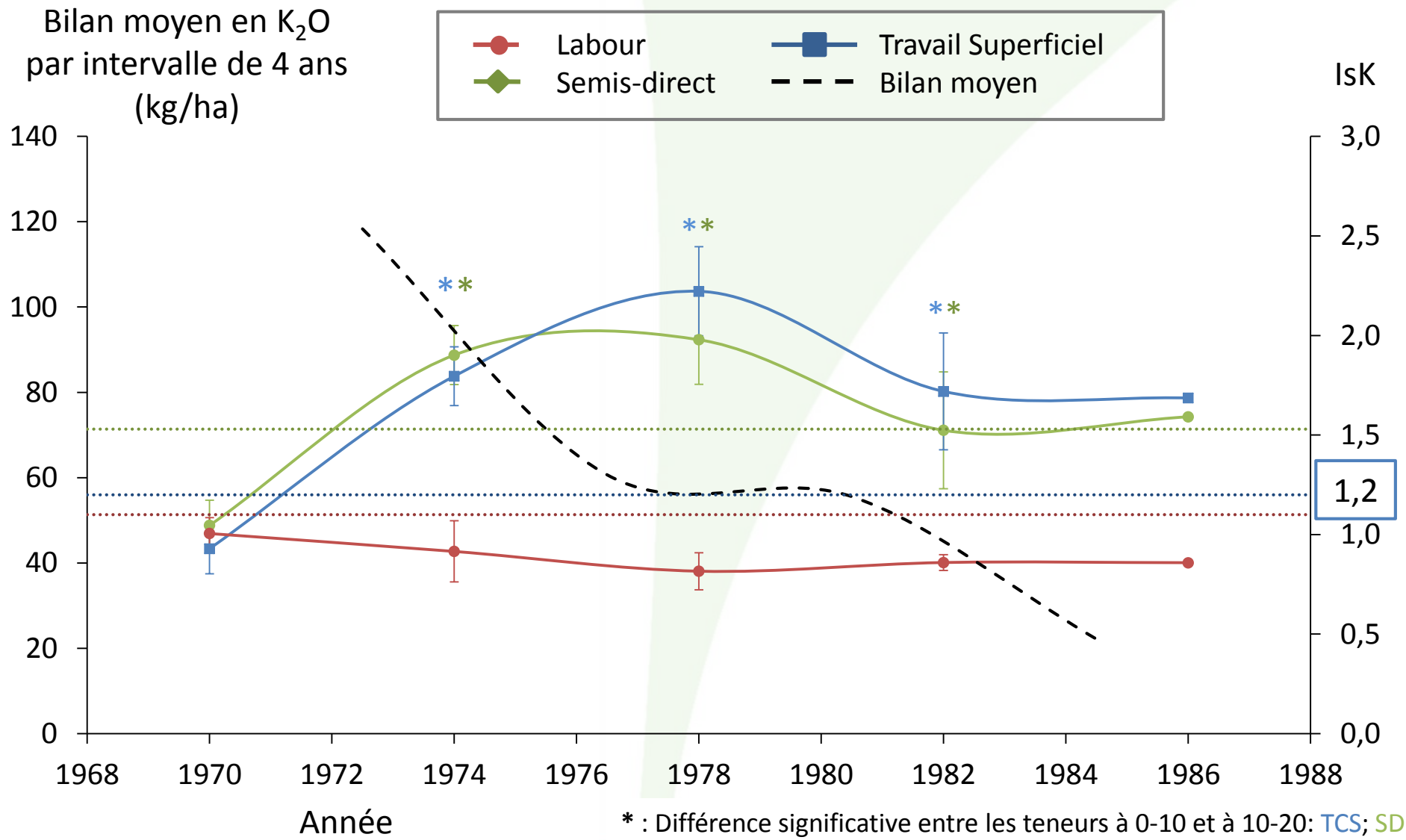
# Évolution du bilan et des Is du potassium



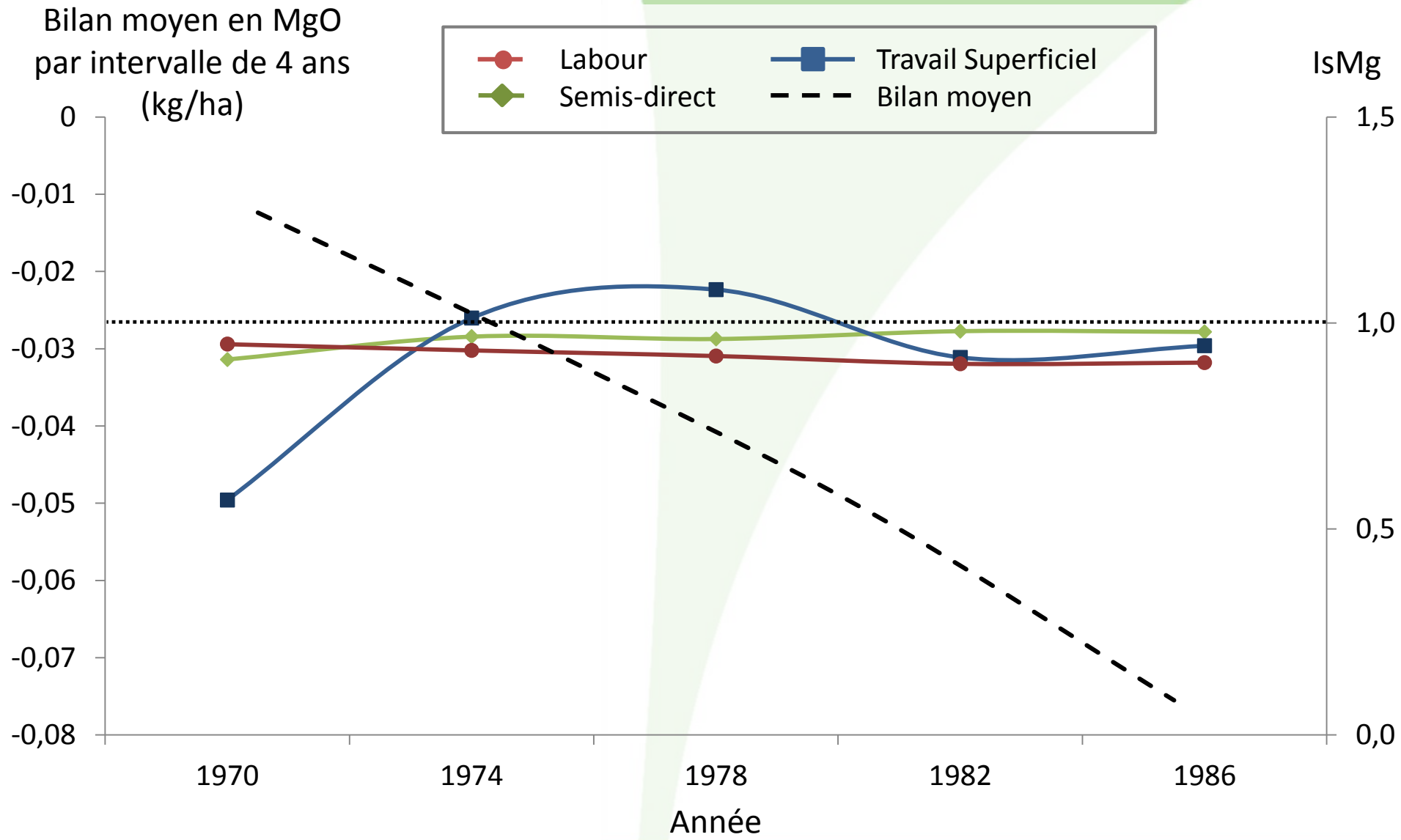
# Évolution du bilan et des Is du potassium



# Évolution du bilan et des Is du potassium

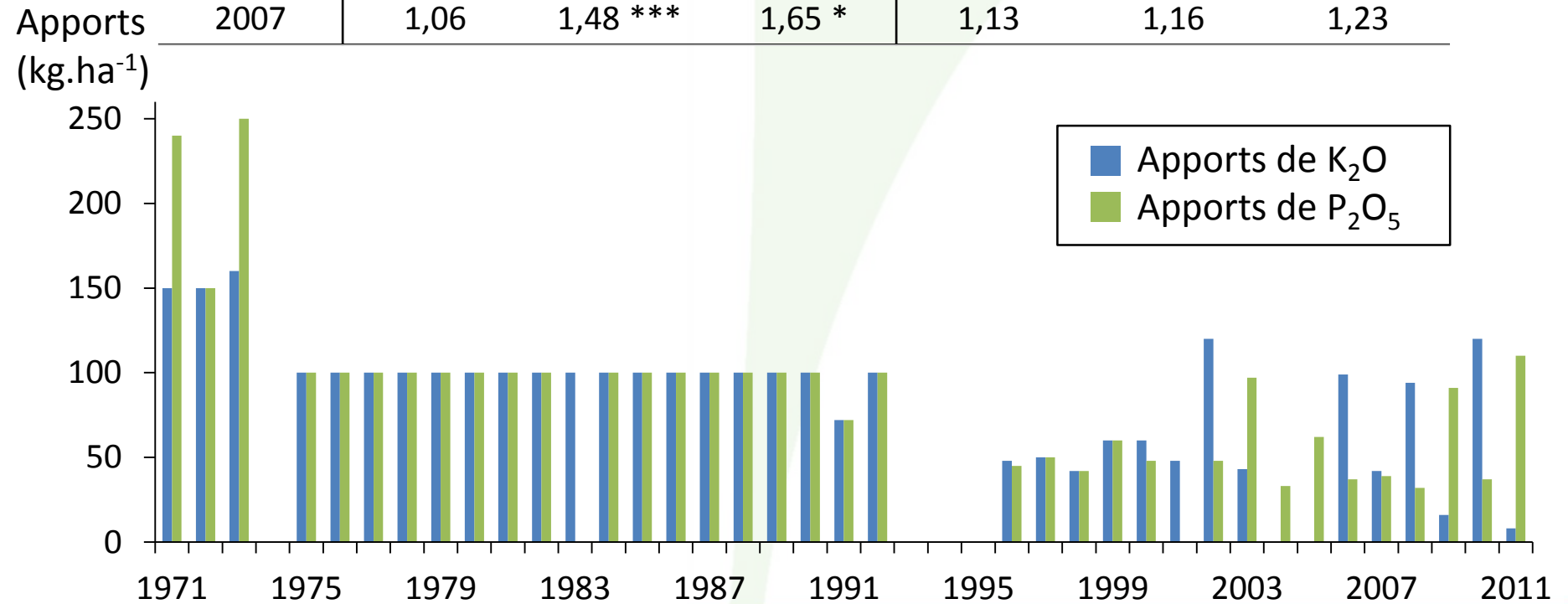


# Évolution du bilan et des Is de la magnésie



# L'horizon de surface par rapport à l'horizon « classique »

Année	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> [0-10] / P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> [0-20]			K <sub>2</sub> O[0-10] / K <sub>2</sub> O[0-20]		
	Labour	TS	SD	Labour	TS	SD
1970	0,93	1,01	1,01	1,03	0,96	1,02
1974	0,94	1,29 *	1,33 *	0,98	1,28 ***	1,30 ***
1978	0,98	1,28 **	1,30 **	0,94	1,37 ***	1,32 ***
1982	1,01	1,27 *	1,30 **	0,96	1,25 ***	1,20 **
2007	1,06	1,48 ***	1,65 *	1,13	1,16	1,23



## Profondeur de prélèvement (P, K)

- Pour le P : prélèvement à 0-10 cm, atténuation de la différence des teneurs à 0-5 cm entre SD et TCS
- Pour le K : pas de différences marquantes entre SD et TCS sur les 10 premiers cm
- Horizon de surface plus riche au bout de 4 ans par rapport à l'horizon « classique », mais que pour des apports importants

## Formation du gradient (P, K, Mg)

- P et K : enrichissement significative de la surface par rapport à la profondeur au bout de 4 ans avec fertilisation
- Mg : Pas d'enrichissement de surface, mais pas de fertilisation magnésique

## Gradient significatif

- Pour un indice de stratification du P et du K de 1,2 (soit 2x incertitude à 10%), aussi bien pour 10-20 que pour 0-20

## Parcelles prélevées en 2015

- Environ 10 par laboratoire, total : 64

## Critères de sélection

- non labour depuis au moins 3 ans
- Contextes pédoclimatiques variés
- Différents itinéraires techniques

## Prélèvements

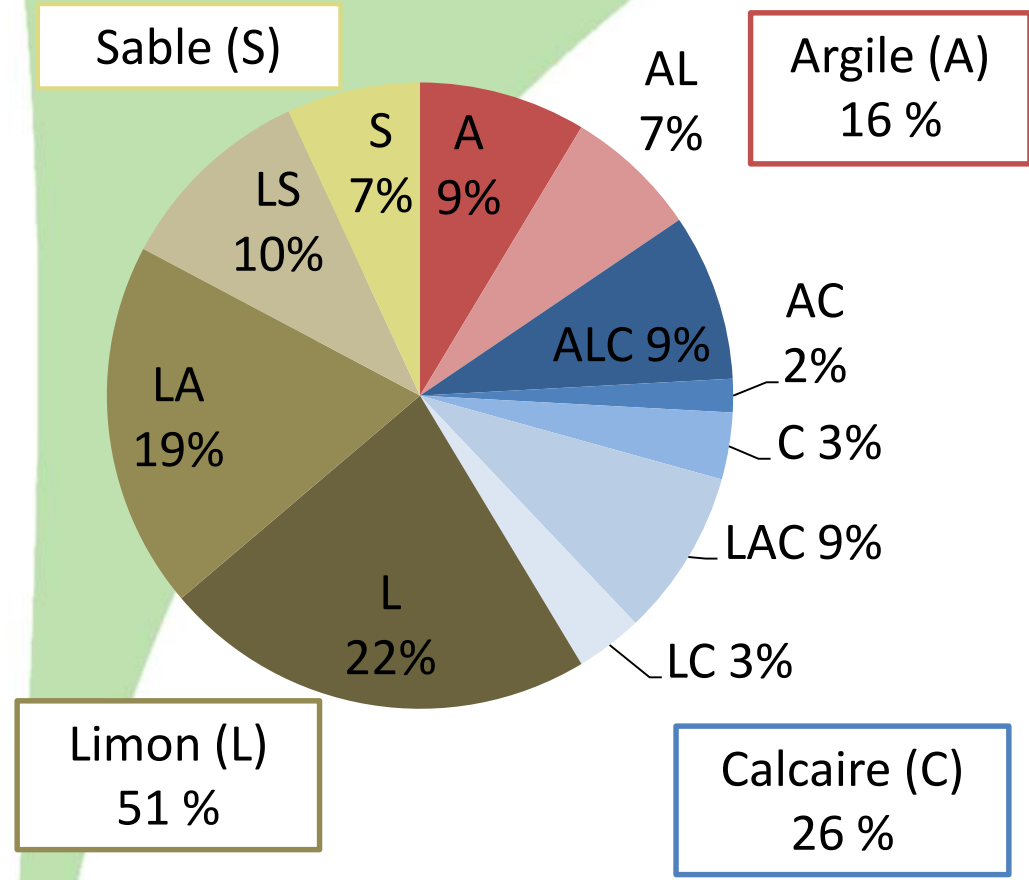
- Classique : 0-20 cm
- Stratifié : 0-10 et 10-20 cm

## Analyses physico-chimiques

- Corg ; N total ;  $P_2O_5$  Olsen ;  $K_2O$ , MgO et CaO échangeables ;  $pH_{eau}$  ; CEC Metson
- Analyse granulométrique seulement sur la couche 0-20 cm

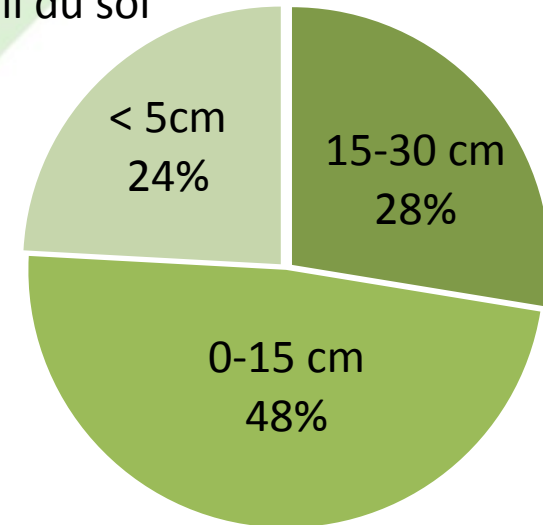






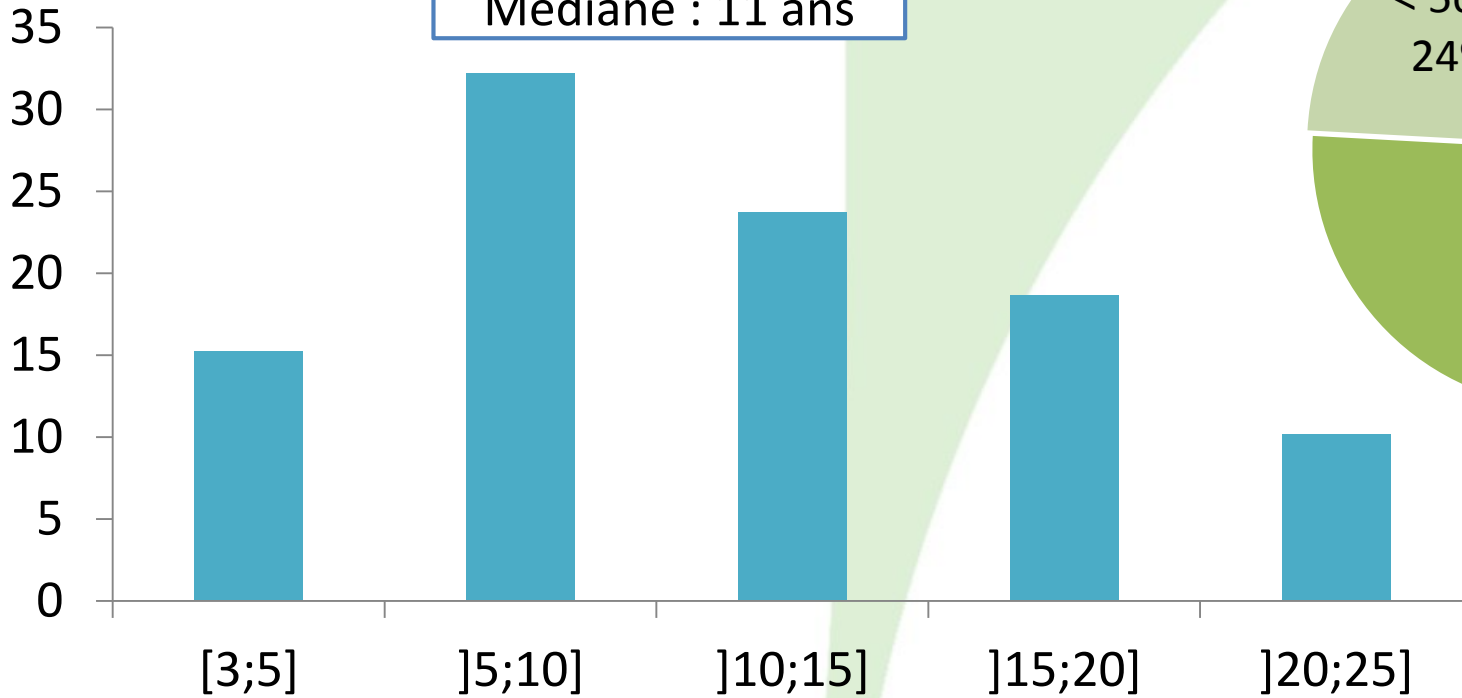
# Profondeur de travail et âge du système

% de parcelles selon la profondeur de travail du sol



Moyenne : 13 ans  
Médiane : 11 ans

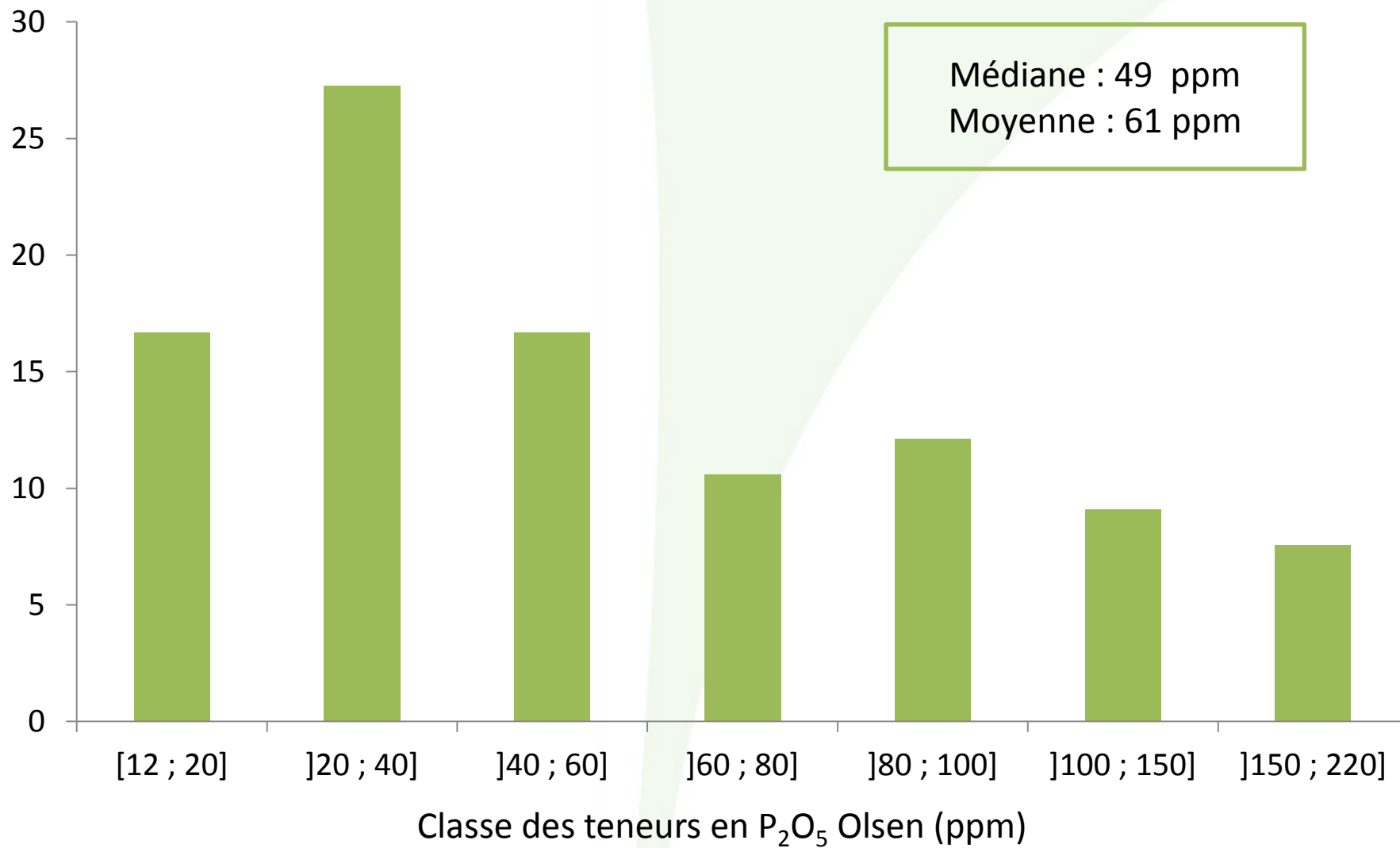
% de parcelles



nombre d'années depuis l'arrêt du labour

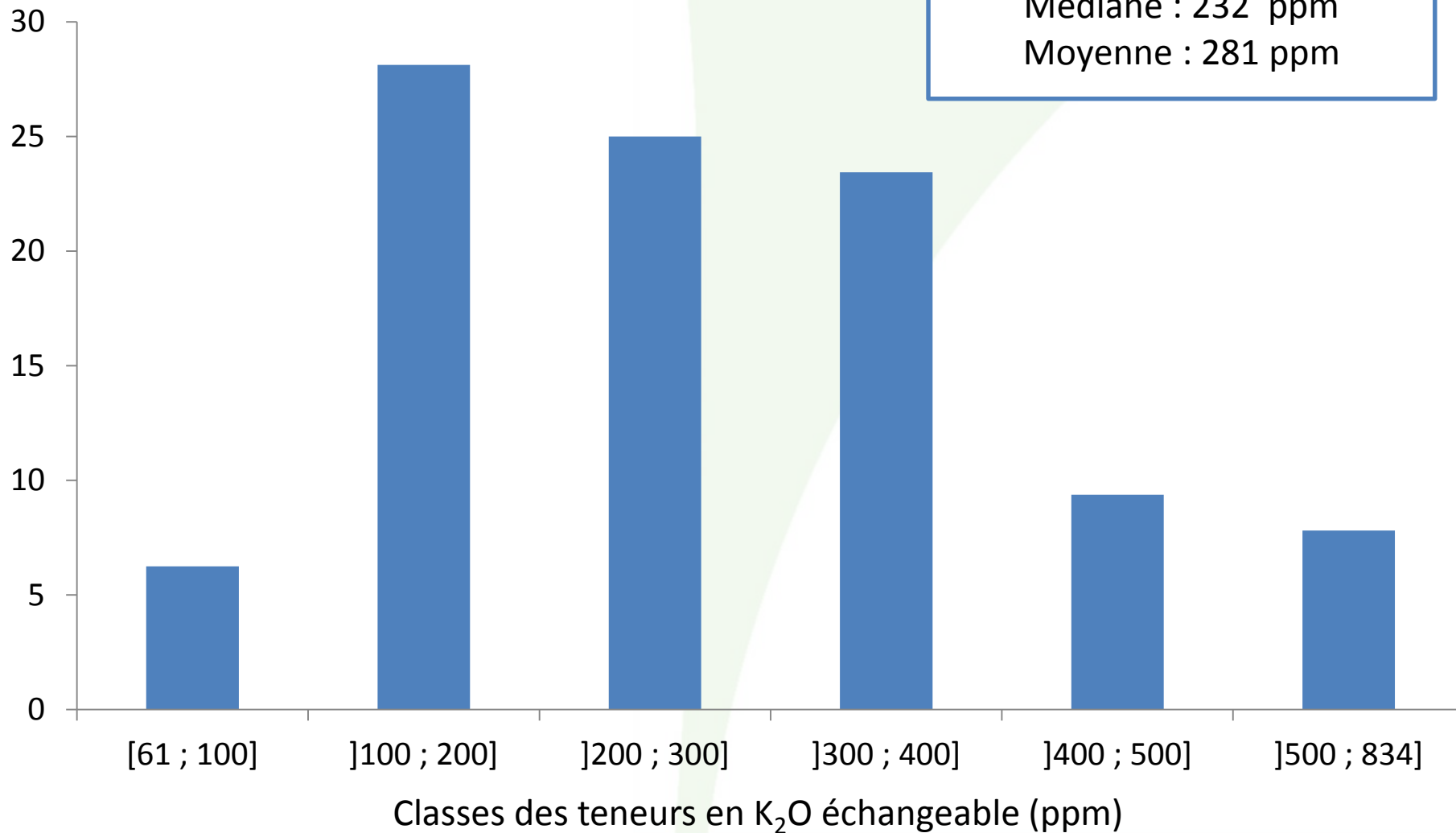
# Répartition des teneurs en $P_2O_5$ Olsen

% de parcelles

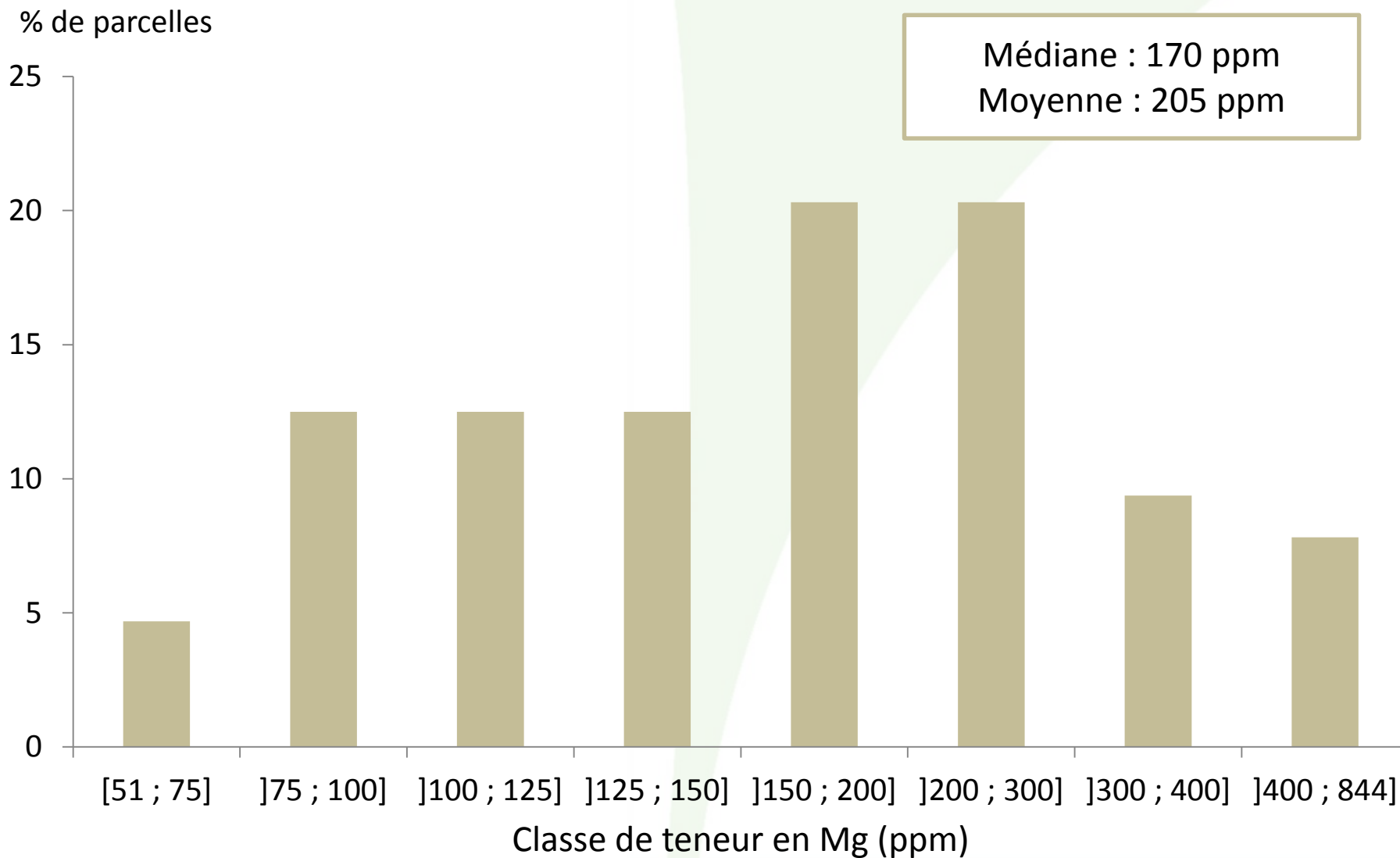


# Répartition des teneurs en $K_2O$ échangeable

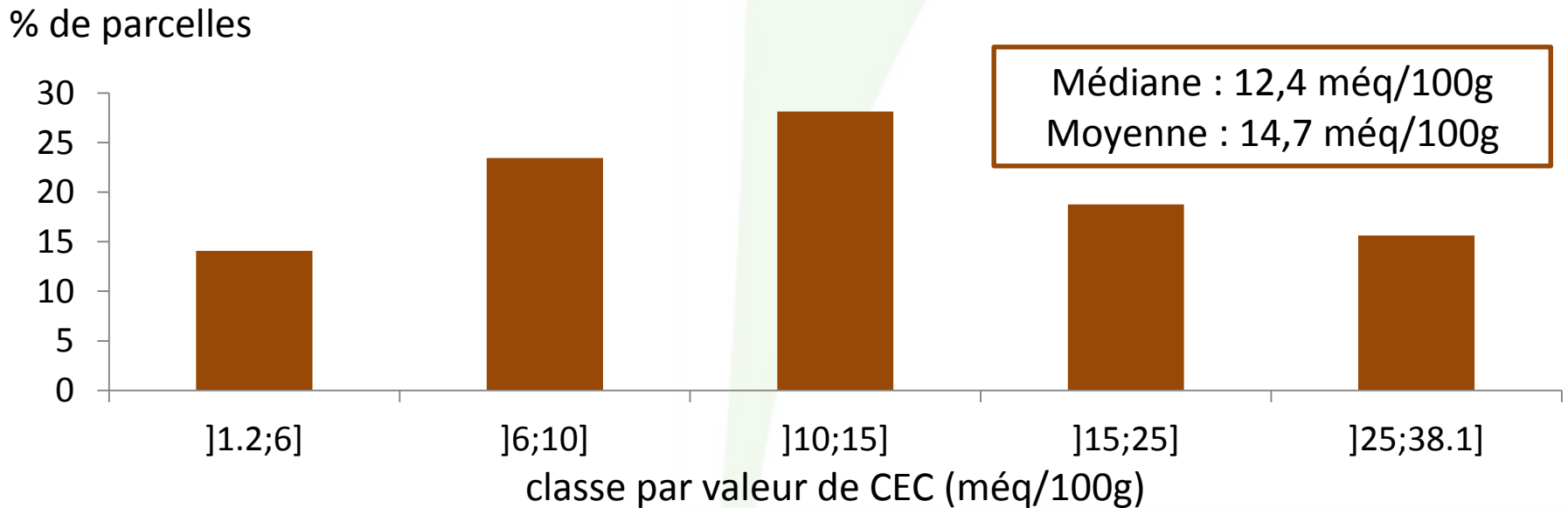
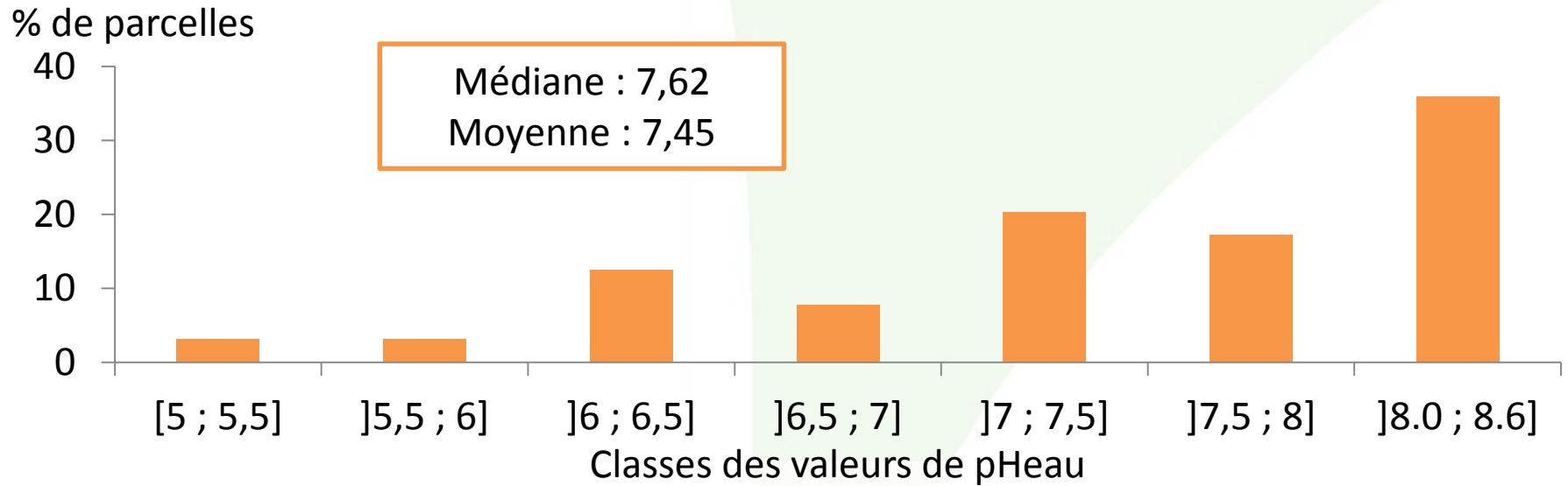
% de parcelles



# Répartition des teneurs en MgO échangeable



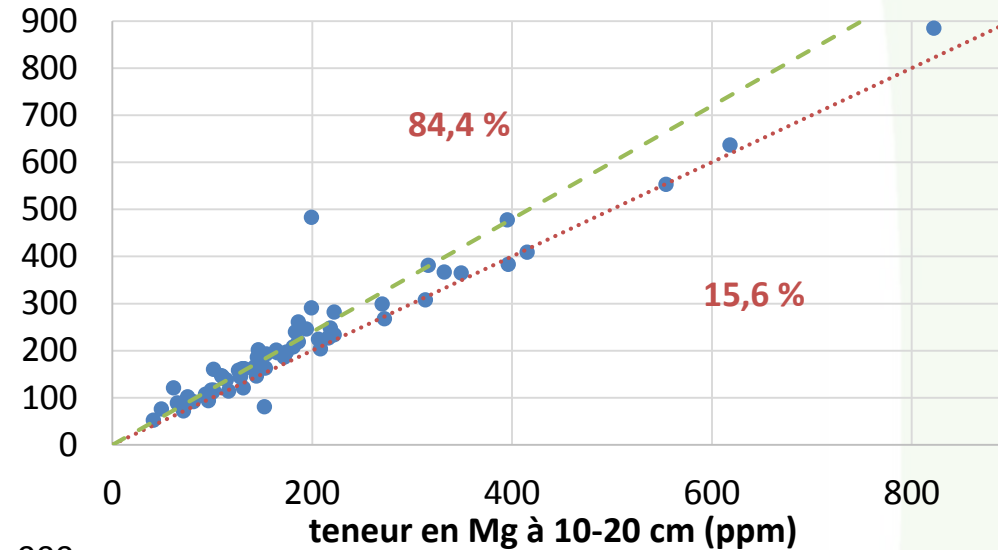
# Répartition du pH<sub>eau</sub> et de la CEC Metson



	<b>Indice de stratification</b>	valeur minimale	moyenne	médiane	valeur maximale	% de parcelles $\geq 1,2$
10-20	$P_{0-10} / P_{10-20}$	0,60	<b>1,50</b>	1,32	6,25	<b>62</b>
	$K_{0-10} / K_{10-20}$	0,60	<b>1,38</b>	1,36	3,73	<b>67</b>
	$Mg_{0-10} / Mg_{10-20}$	0,53	<b>1,19</b>	1,15	2,43	<b>41</b>
0-20	$P_{0-10} / P_{0-20}$	0,65	<b>1,17</b>	1,14	2,16	<b>33</b>
	$K_{0-10} / K_{0-20}$	0,57	<b>1,26</b>	1,19	2,44	<b>48</b>
	$Mg_{0-10} / Mg_{0-20}$	0,78	<b>1,08</b>	1,08	1,50	<b>9</b>

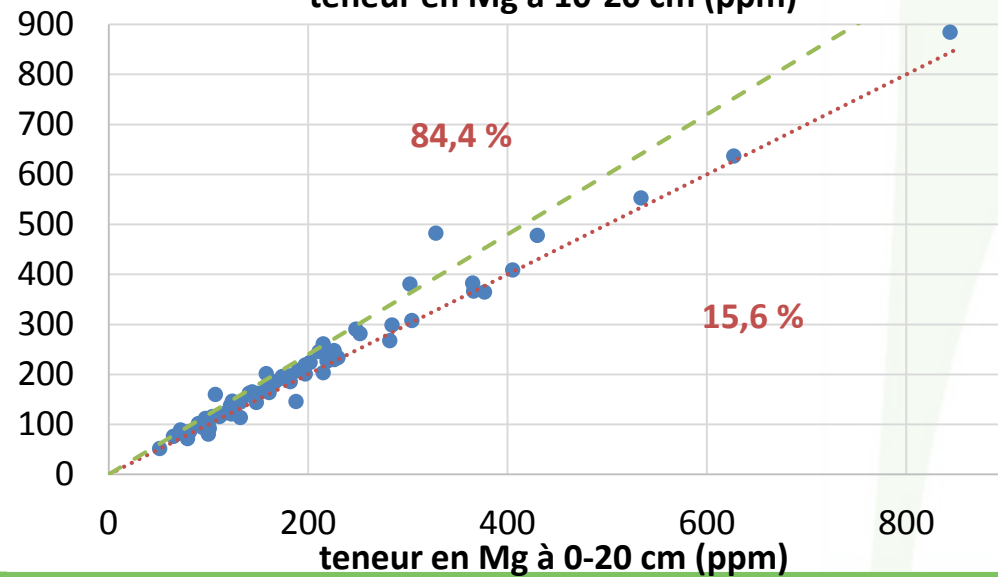
# Répartition du MgO dans les sols du réseau

teneur en MgO à  
0-10 cm (ppm)



$$y = x$$

$$y = 1,2 x$$

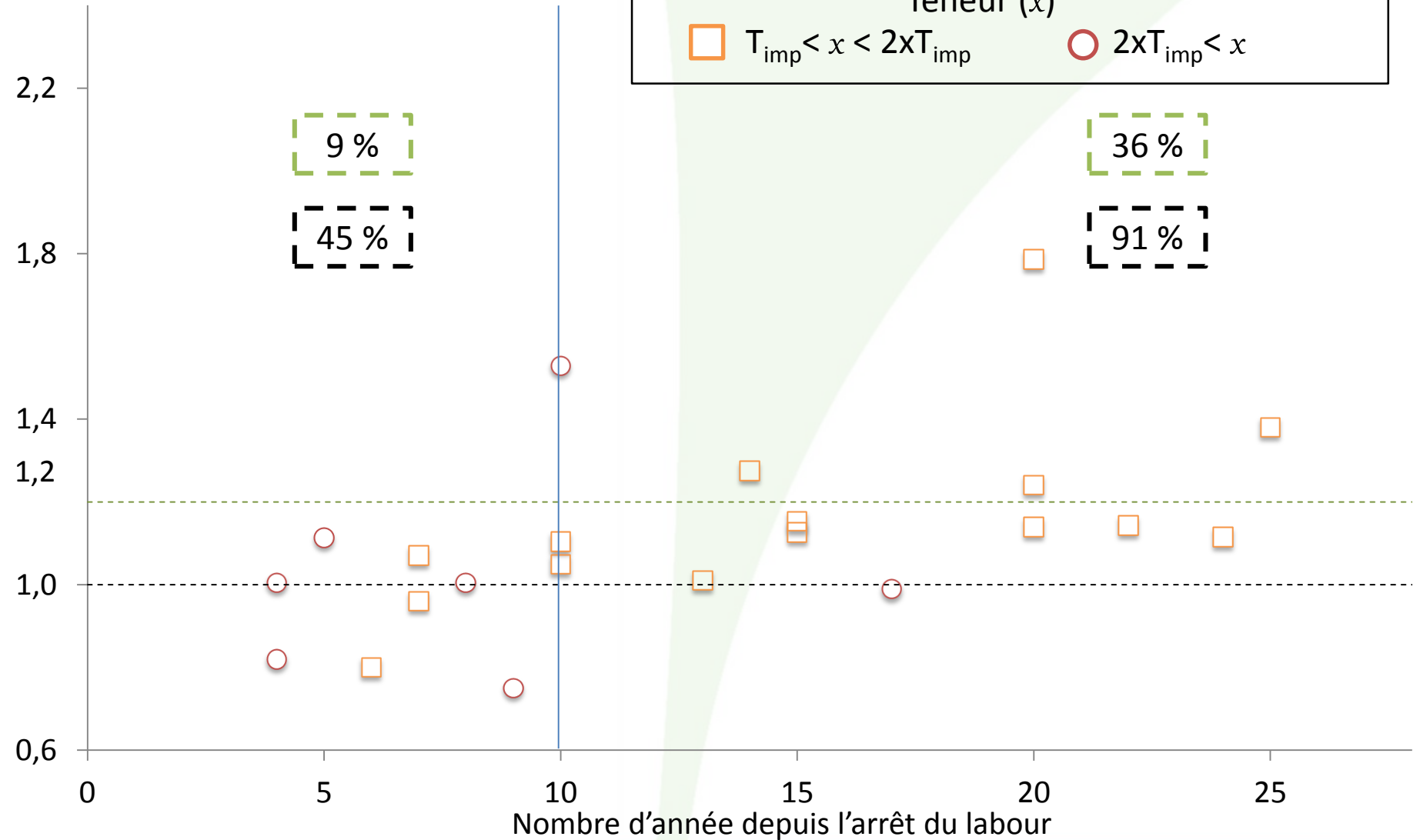


écarts	[0-10]-[10-20]	[0-10]-[0-20]
écart min	-71	-42
moyenne des écarts	29	15
médiane des écarts	24	14
écart max	284	155



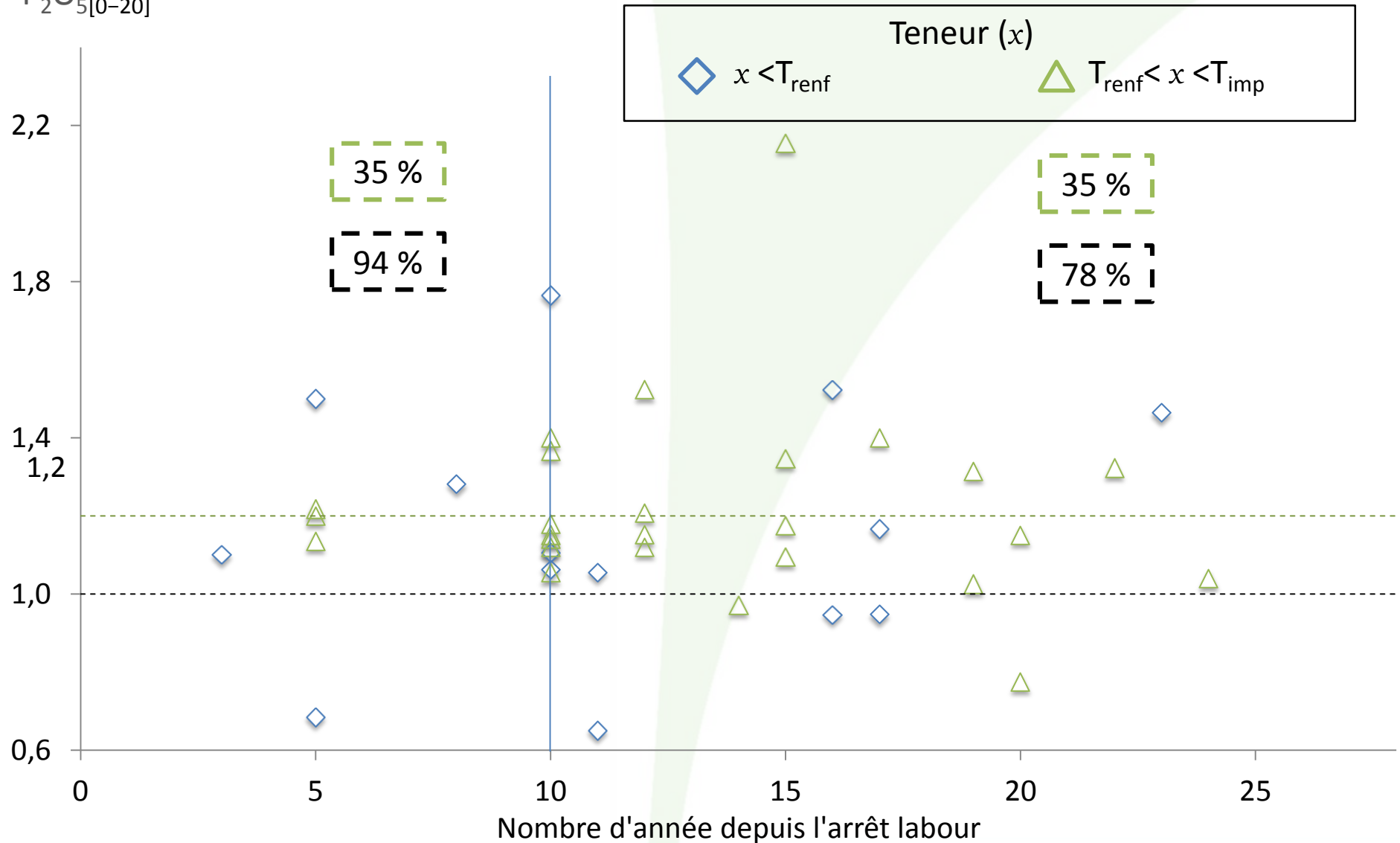
# Différence 0-10/0-20 selon la richesse en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> du sol et l'âge du système

$\frac{P_2O_{5[0-10]}}{P_2O_{5[0-20]}}$

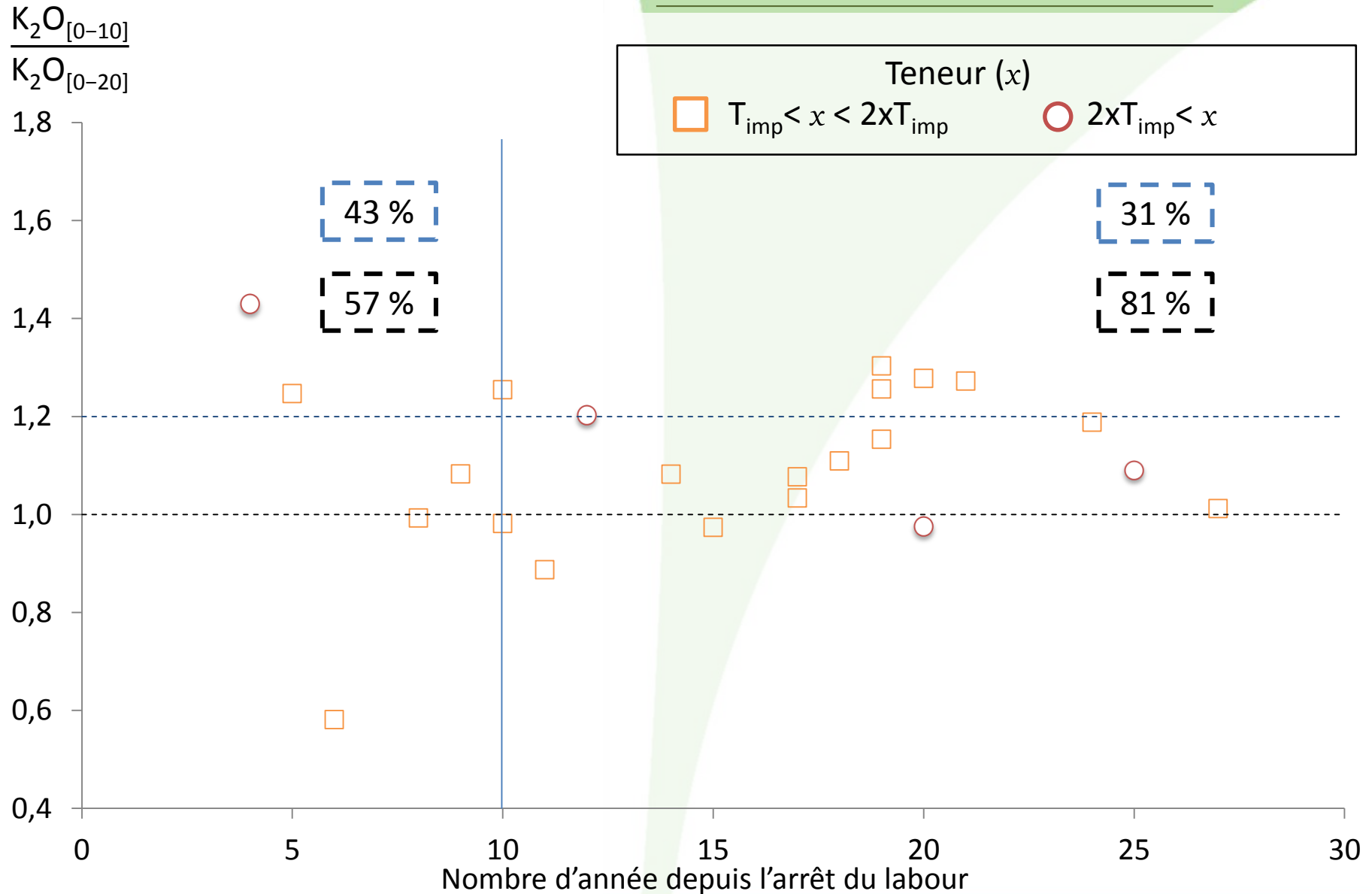


# Différence 0-10/0-20 selon la richesse en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> du sol et l'âge du système

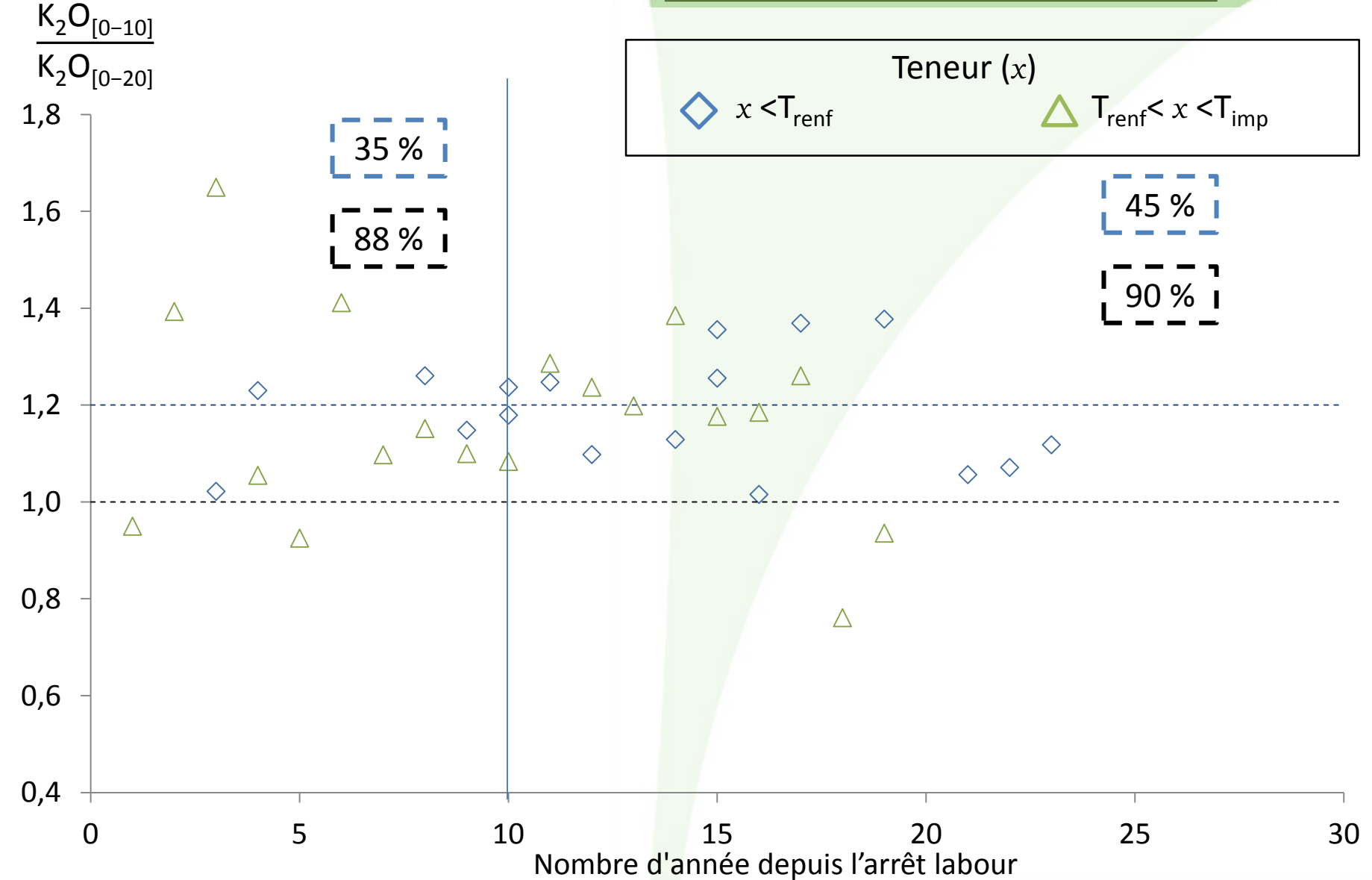
$$\frac{P_2O_5[0-10]}{P_2O_5[0-20]}$$



# Différence 0-10/0-20 selon la richesse en $K_2O$ du sol et l'âge du système



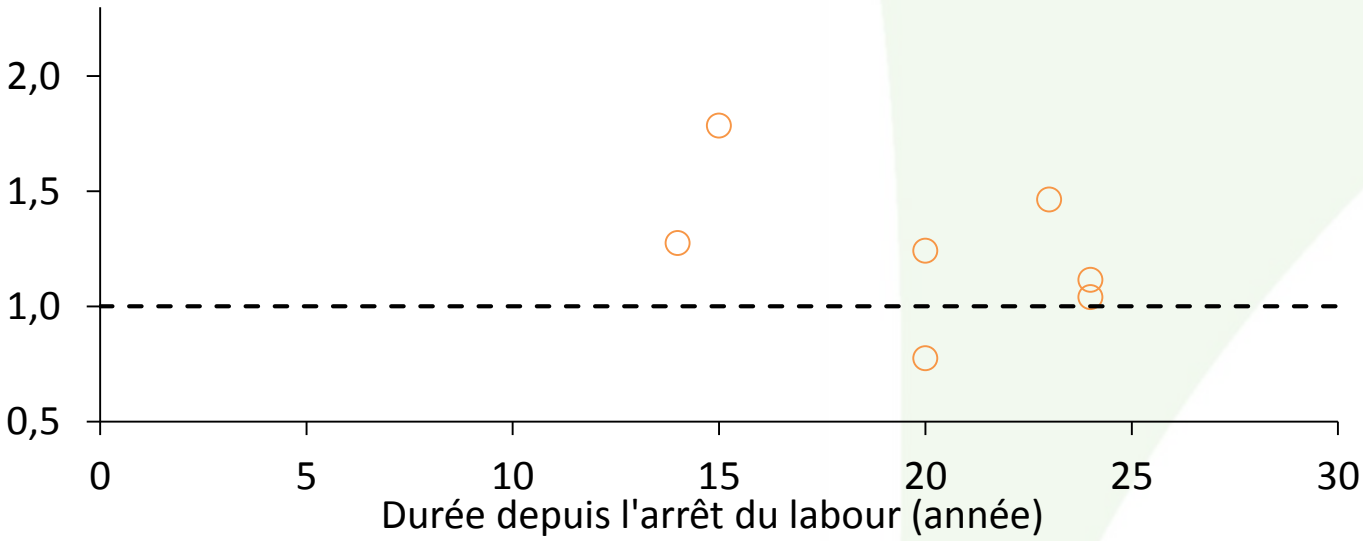
# Différence 0-10/0-20 selon la richesse en $K_2O$ du sol et l'âge du système





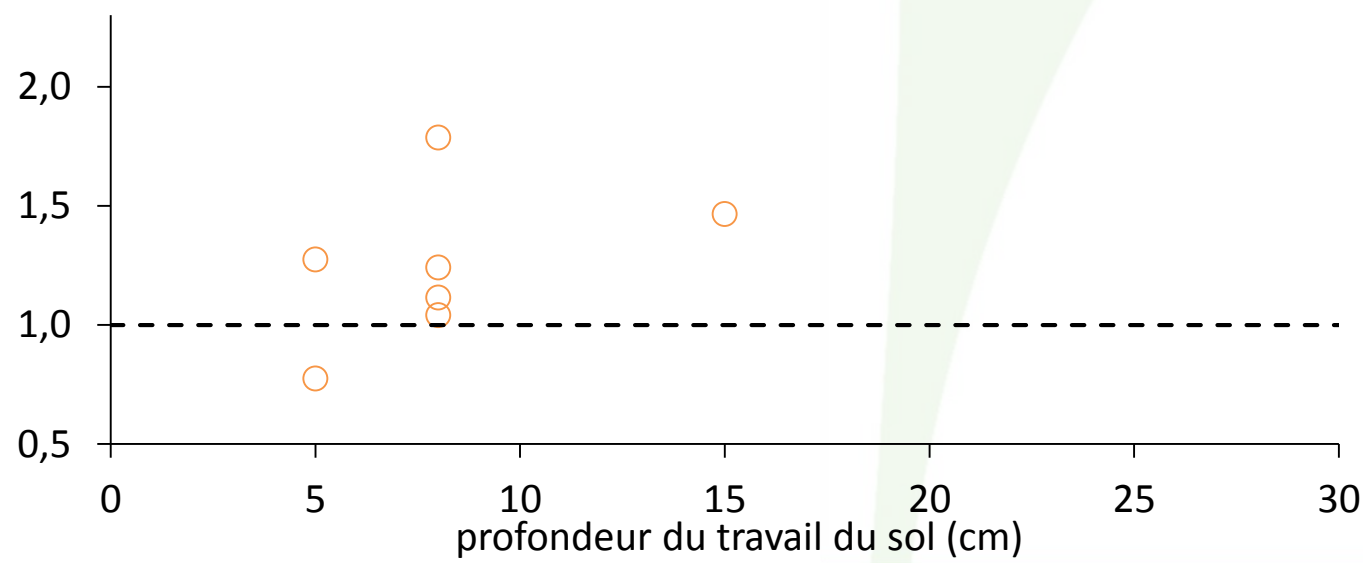
Différence de teneur en  $P_2O_5$  0-10/0-20 selon le régime de fertilisation

$P_2O_5$ <sub>[0-10]</sub>  
 $P_2O_5$ <sub>[0-20]</sub>



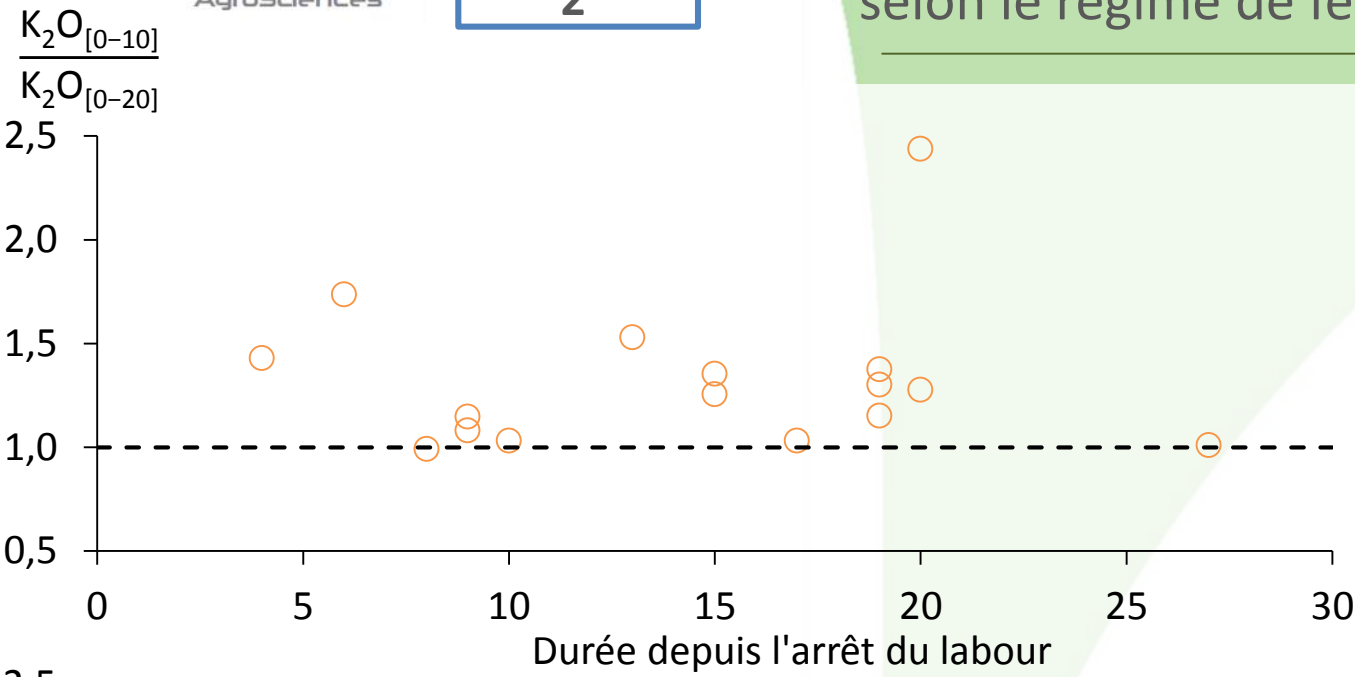
Régime de fertilisation sur 5 ans d'historique

○ Pas d'apport



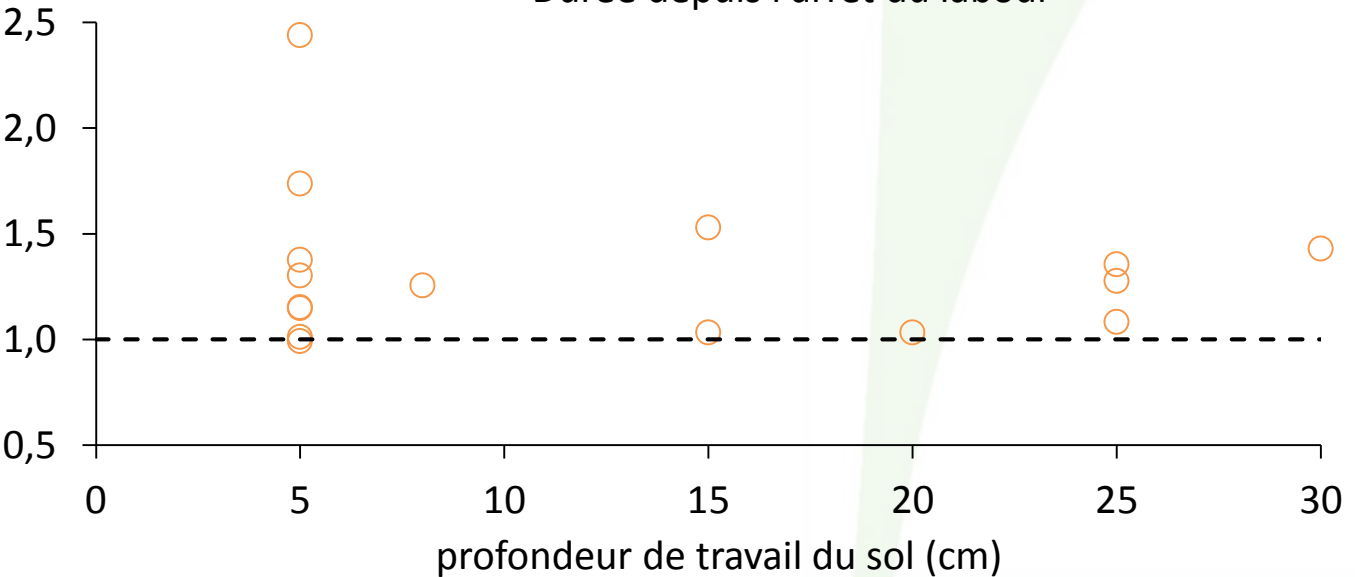
**K<sub>2</sub>O**

Différence de teneur en K<sub>2</sub>O 0-10/0-20 selon le régime de fertilisation



Régime de fertilisation sur 5 ans d'historique

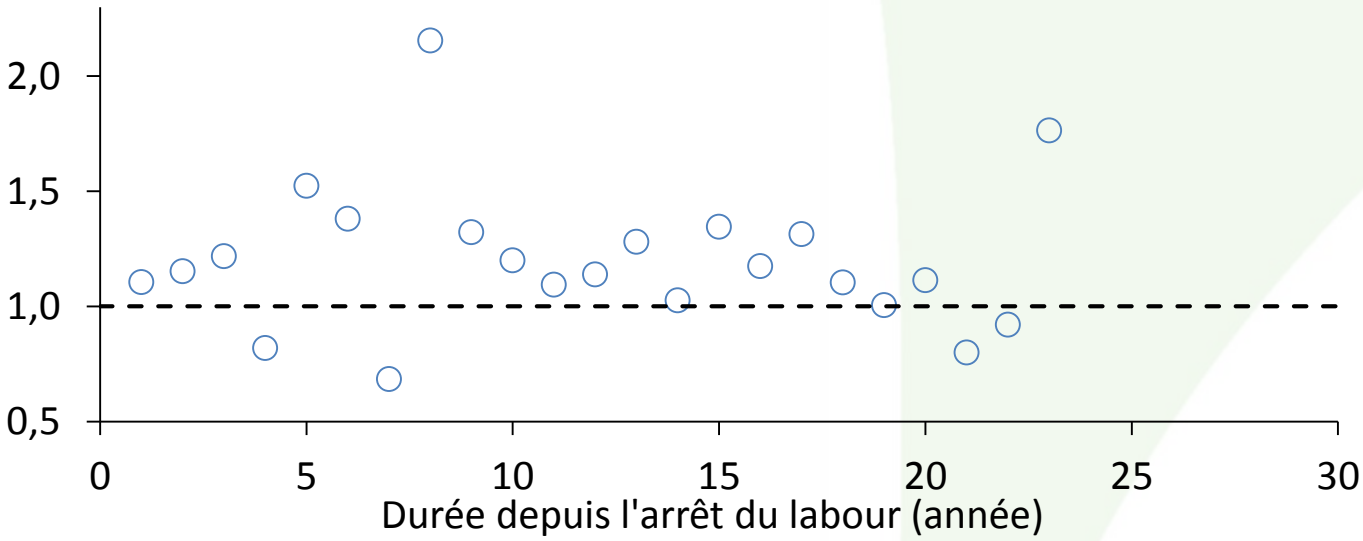
○ Pas d'apport






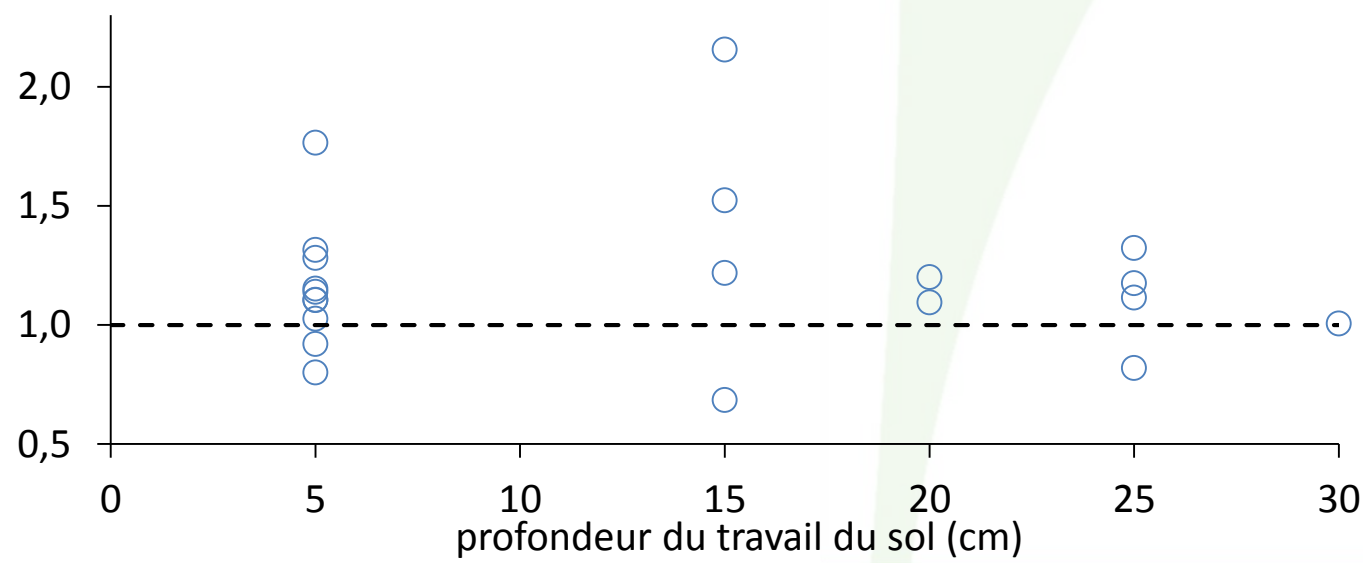
Différence de teneur en  $P_2O_5$  0-10/0-20 selon le régime de fertilisation

$P_2O_5$ <sub>[0-10]</sub>  
 $P_2O_5$ <sub>[0-20]</sub>



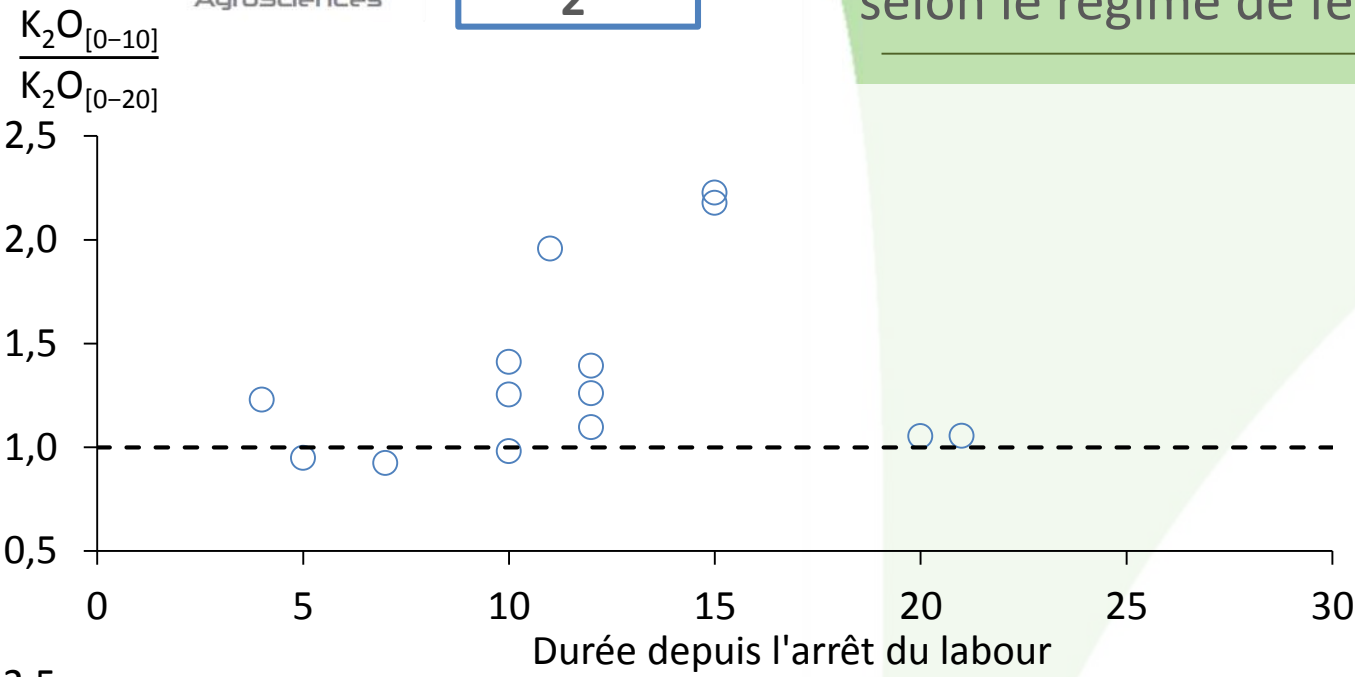
Régime de fertilisation sur 5 ans d'historique

 Engrais phosphaté(s) minéral(ux)



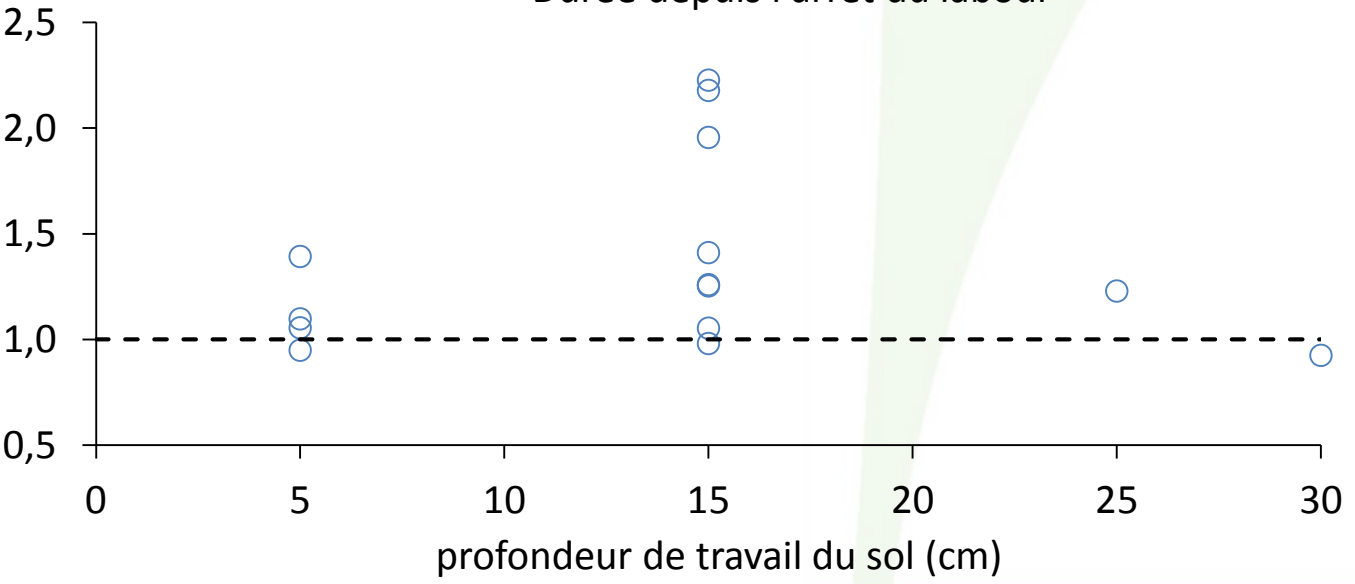
**K<sub>2</sub>O**

# Différence de teneur en K<sub>2</sub>O 0-10/0-20 selon le régime de fertilisation



Régime de fertilisation sur 5 ans d'historique

○ Engrais potassique(s) minéral(ux)

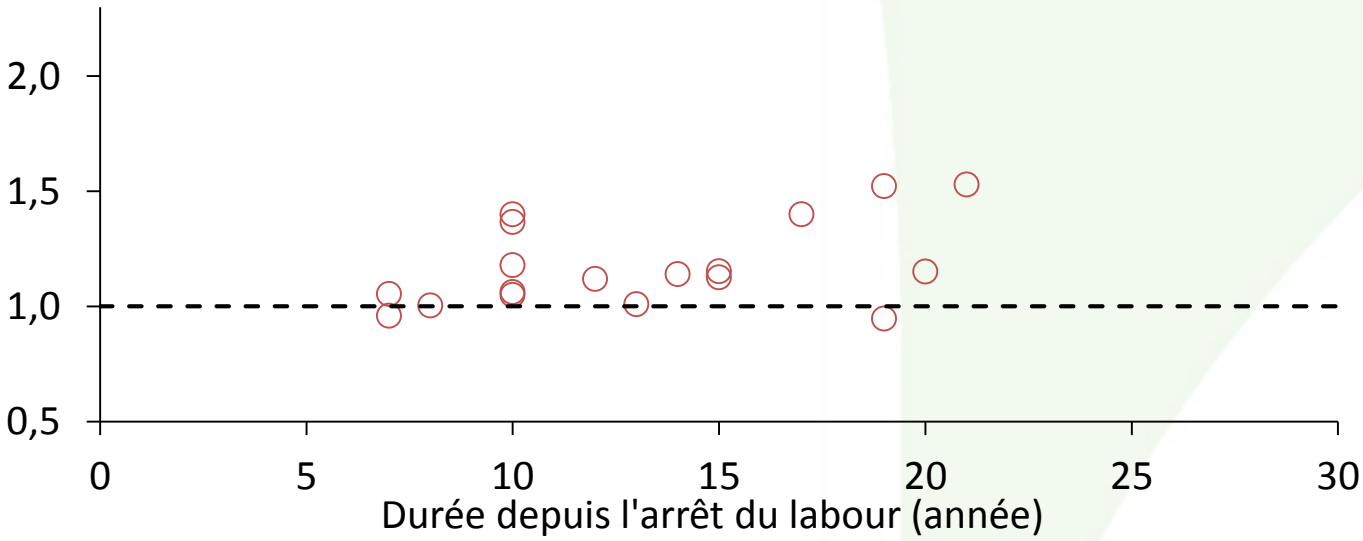






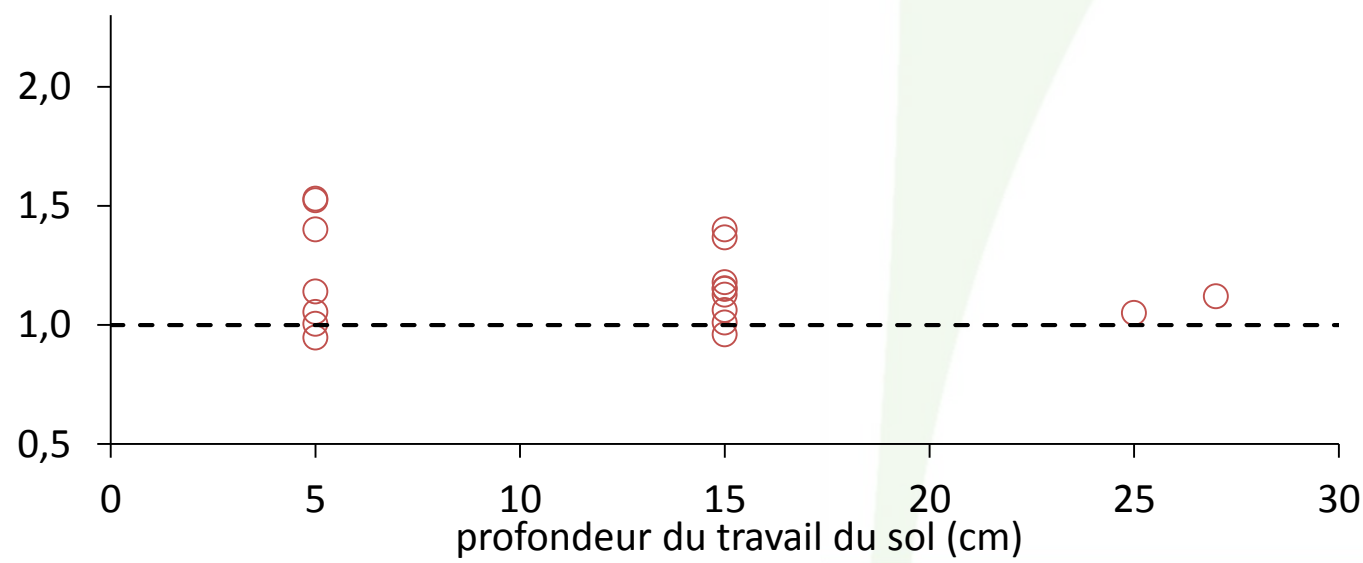
Différence de teneur en  $P_2O_5$  0-10/0-20 selon le régime de fertilisation

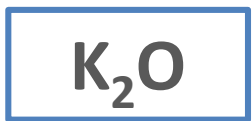
$P_2O_5$ <sub>[0-10]</sub>  
 $P_2O_5$ <sub>[0-20]</sub>



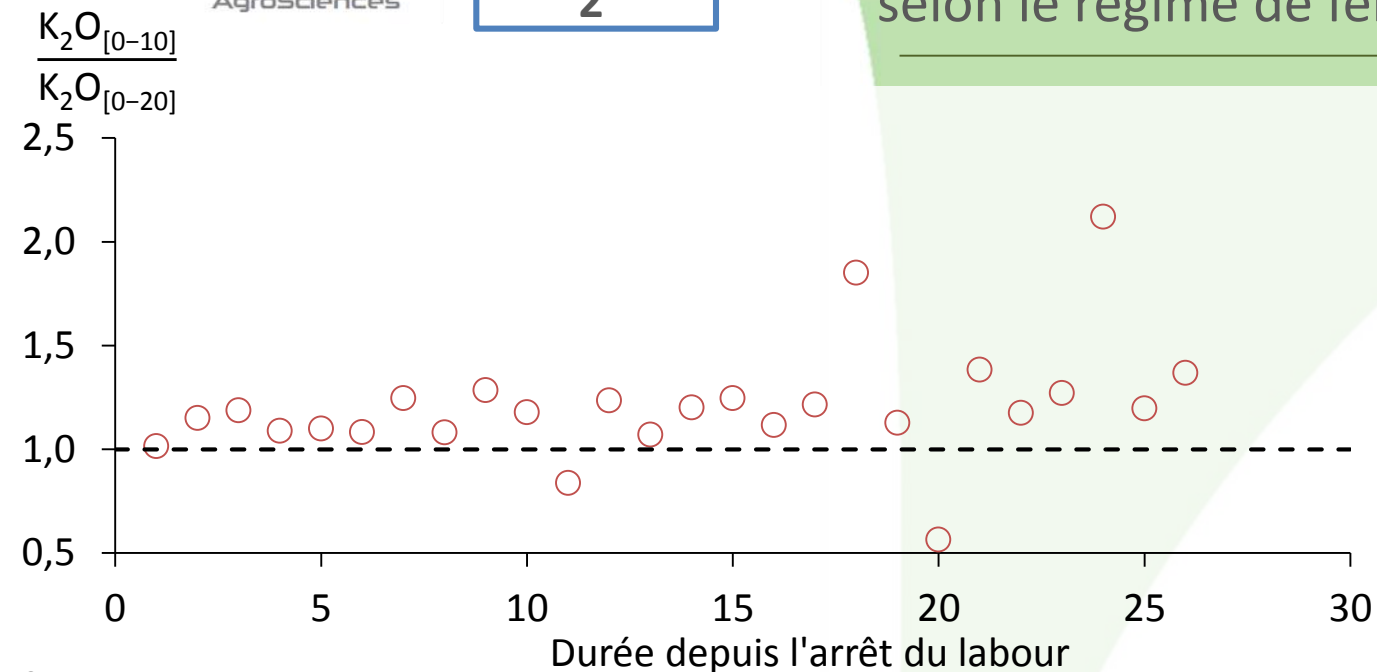
Régime de fertilisation sur 5 ans d'historique

○ Amendement(s) organique(s)



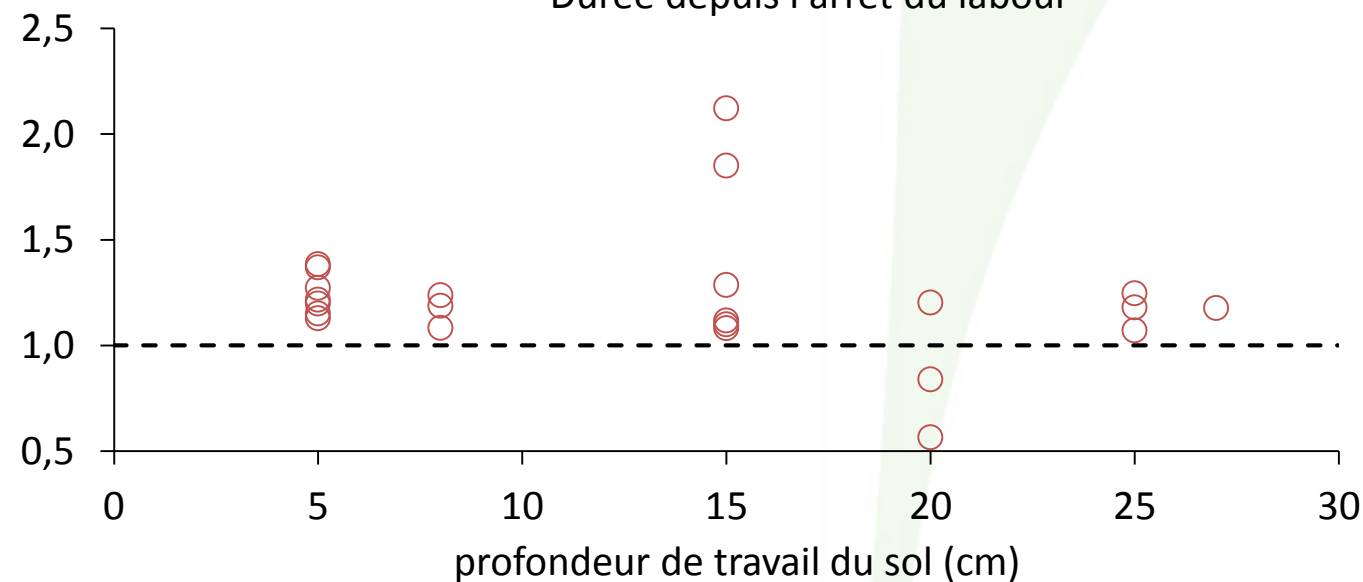


Différence de teneur en K<sub>2</sub>O 0-10/0-20 selon le régime de fertilisation



Régime de fertilisation sur 5 ans d'historique

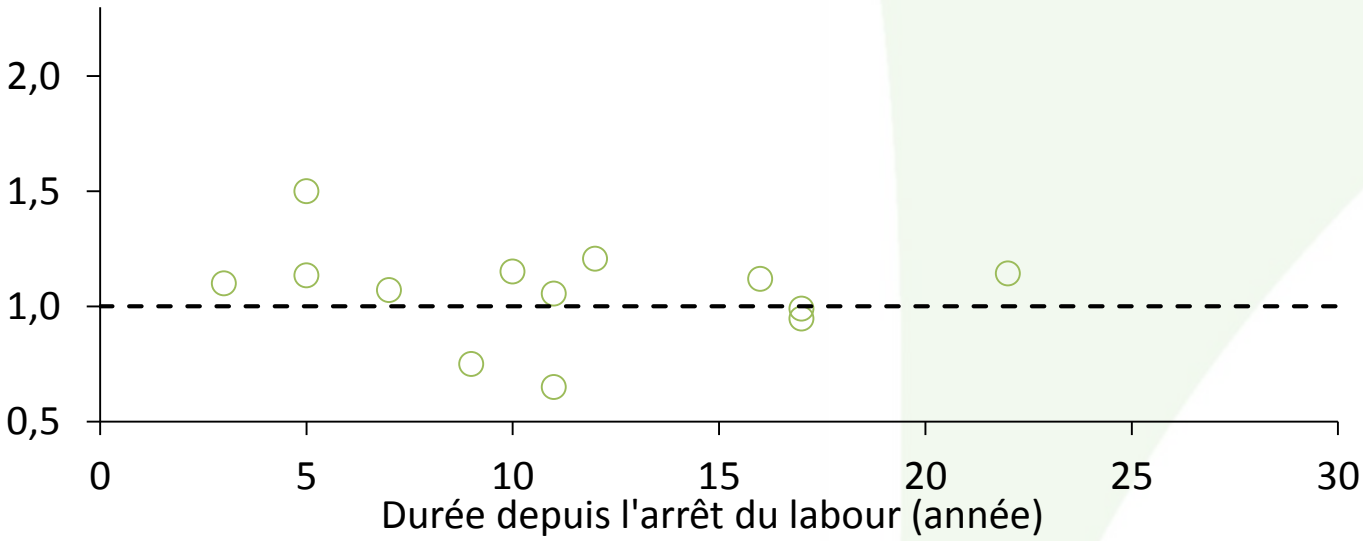
○ Amendement(s) organique(s)






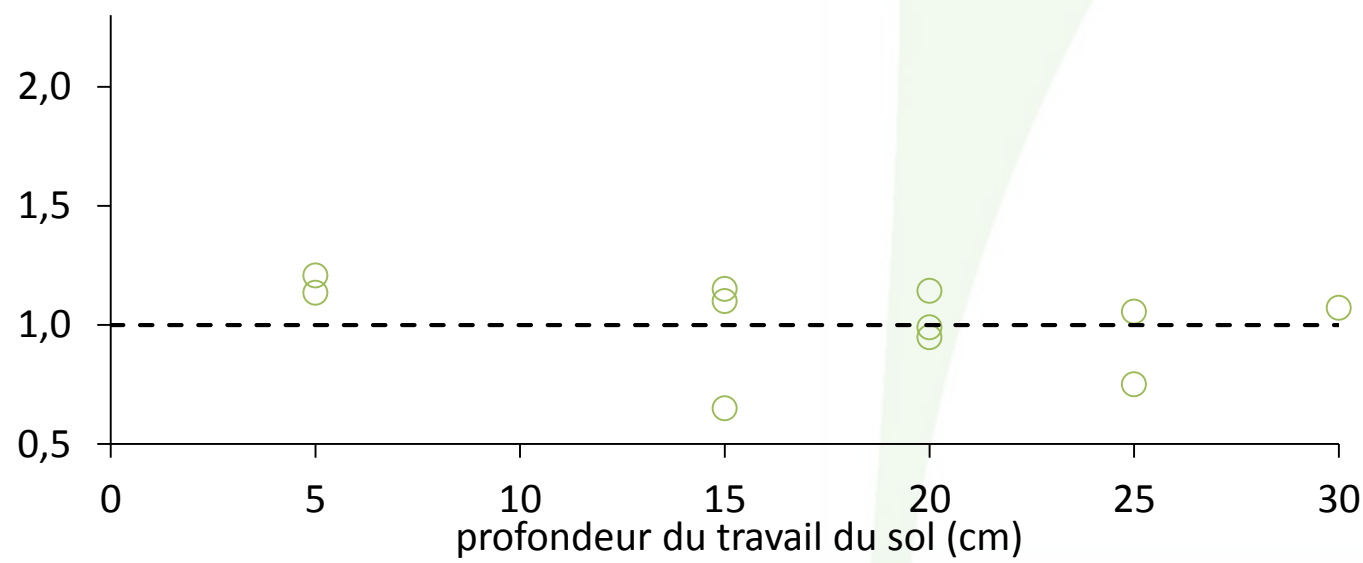
Différence de teneur en  $P_2O_5$  0-10/0-20 selon le régime de fertilisation

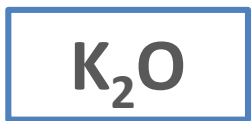
$P_2O_5$ <sub>[0-10]</sub>  
 $P_2O_5$ <sub>[0-20]</sub>



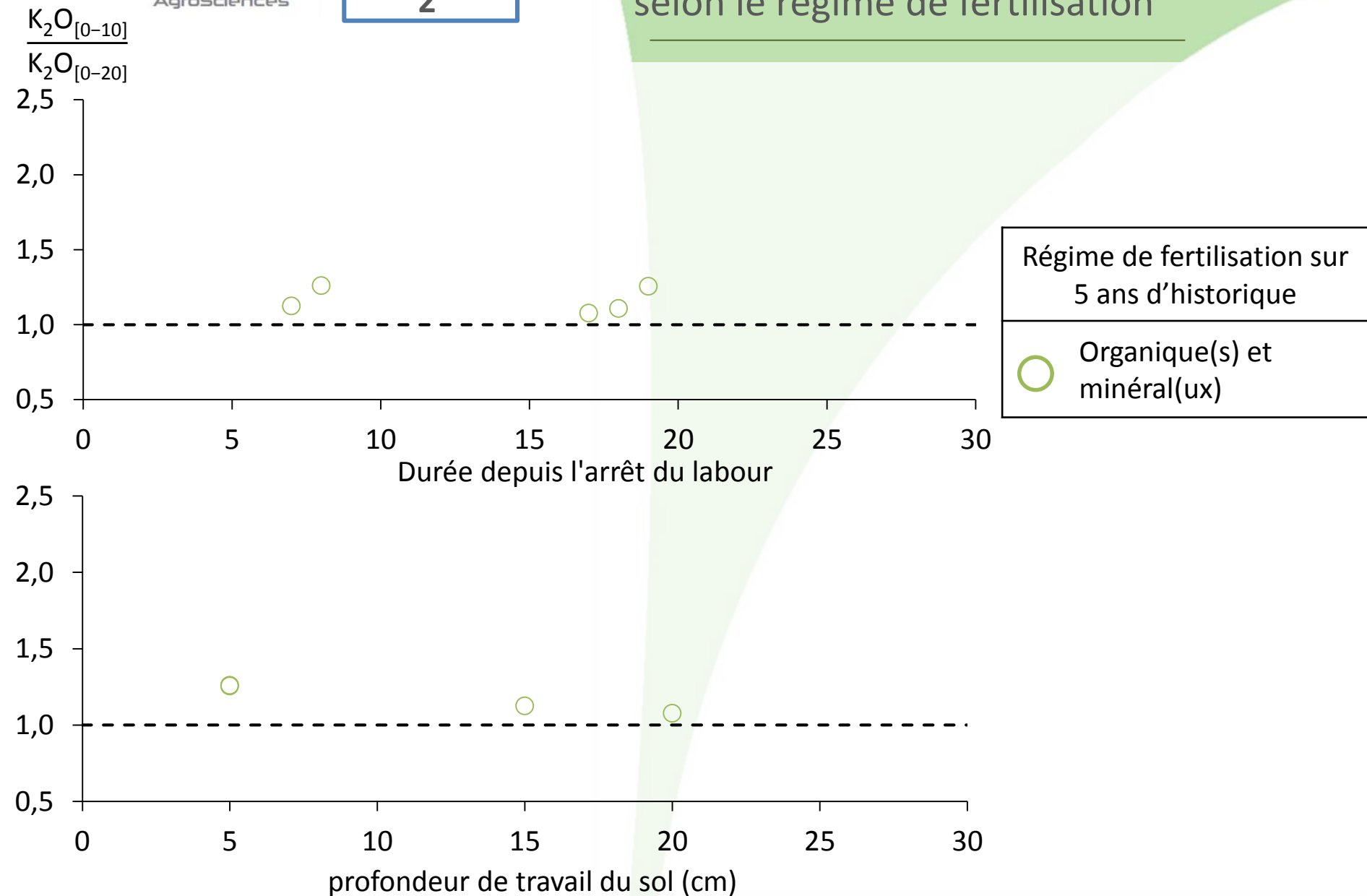
Régime de fertilisation sur 5 ans d'historique

 Organique(s) et minéral(ux)





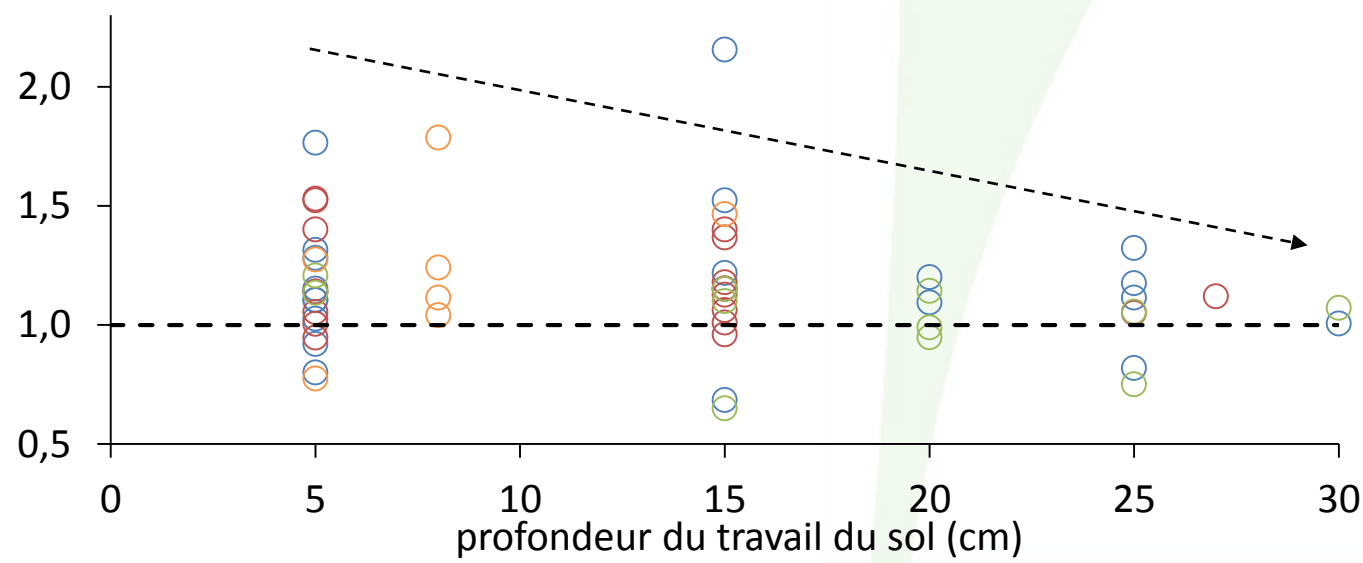
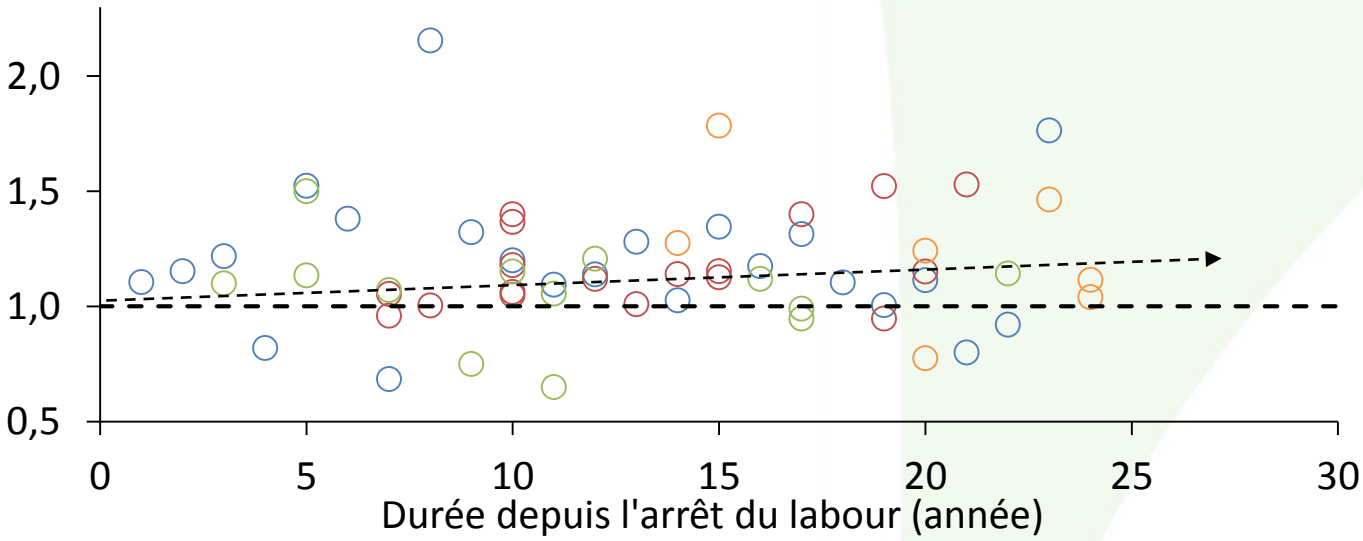
Différence de teneur en K<sub>2</sub>O 0-10/0-20 selon le régime de fertilisation





Différence de teneur en  $P_2O_5$  0-10/0-20 selon le régime de fertilisation

$P_2O_5$ <sub>[0-10]</sub>  
 $P_2O_5$ <sub>[0-20]</sub>

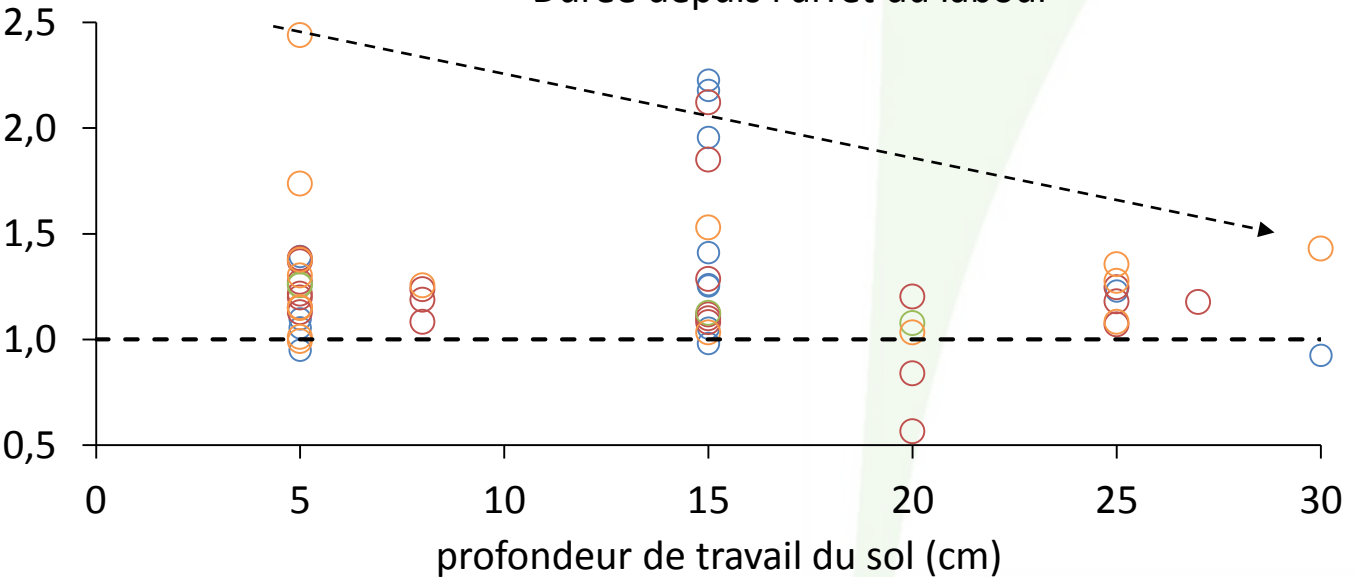
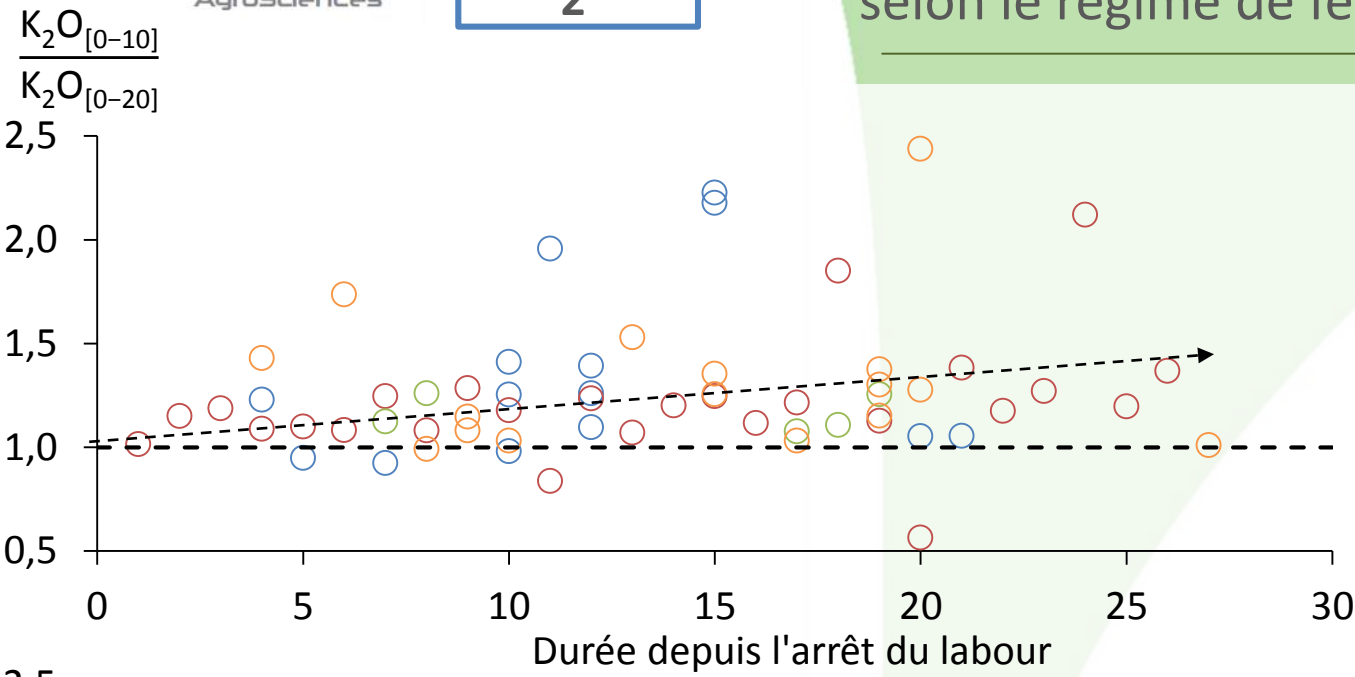


Régime de fertilisation sur 5 ans d'historique

- Engrais phosphaté(s) minéral(ux)
- Amendement(s) organique(s)
- Organique(s) et minéral(ux)
- Pas d'apport

**K<sub>2</sub>O**

Différence de teneur en K<sub>2</sub>O 0-10/0-20 selon le régime de fertilisation



Régime de fertilisation sur 5 ans d'historique

- Engrais phosphaté(s) minéral(ux)
- Amendement(s) organique(s)
- Organique(s) et minéral(ux)
- Pas d'apport

## Jeu de données

- Système ancien en non labour, peu de récent, tout type de profondeur dont 50% à 15 cm
- P : teneur « normale » ; K et Mg : riche ; pH : sol plutôt basique en moyenne

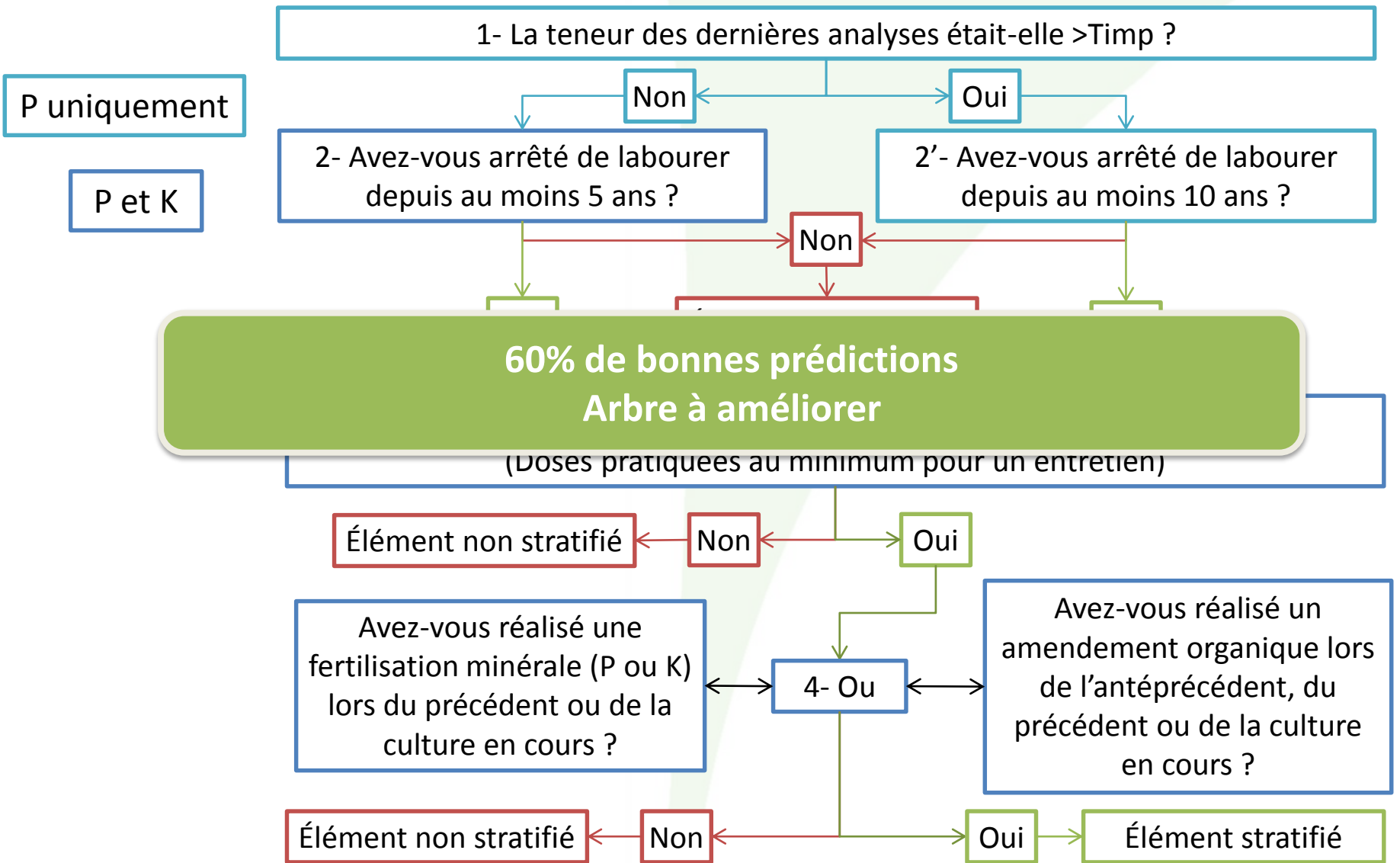
## Gradient (P, K, Mg)

- P et K :
  - durée de formation du gradient variable selon la teneur initiale du sol, plus marqué pour le P que le K
  - Effet peu marqué de la fertilisation, plus marqué pour le P
  - Effet profondeur de travail du sol visible notamment pour le P, moins précis pour le K
- Mg : faible enrichissement de surface par rapport à l'horizon en profondeur

## La surface et l'horizon « classique »

- Enrichissement moins marqué par rapport à la différence surface/profondeur
- Le P semble être l'élément le plus impacté par un arrêt du labour

# Arbre d'aide à la détermination de sol avec gradient





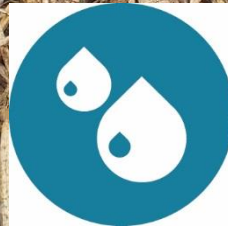
## Établissement et détermination du gradient

- **Étendre le jeu de données** avec : des parcelles en TCS récent, riches en P ou encore non fertilisées
- **Améliorer les informations** des cas déjà prélevés (historique de ferti, ...)
- **Approfondir l'étude** sur les autres paramètres physico-chimiques (pH, MO)

## Profondeur de prélèvement et interprétation

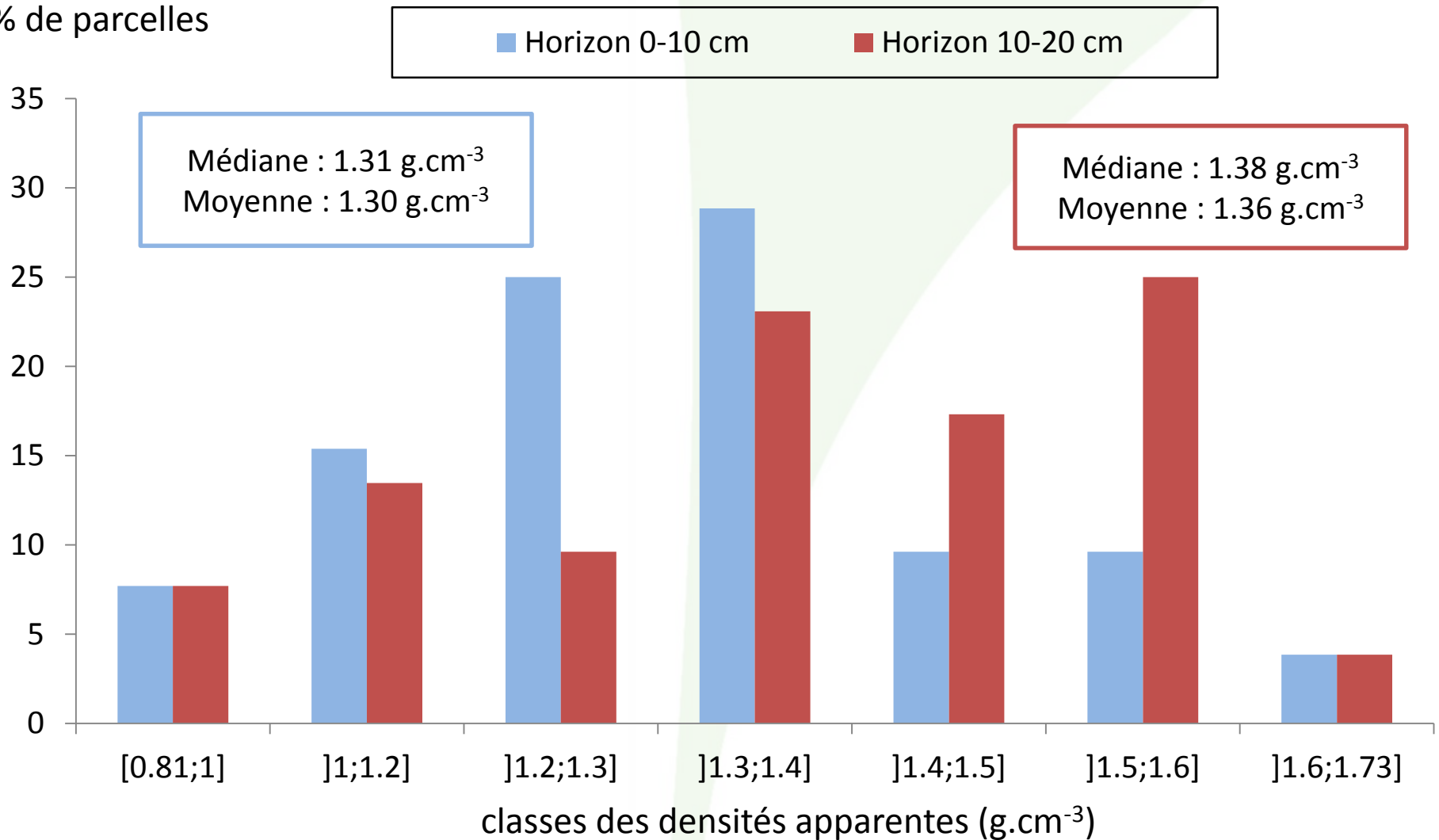
- Étude du **changement de profondeur de prélèvement** sur l'interprétation à réaliser (prélèvement de surface -> teneur plus élevée -> conseil plus faible ? )
- Besoin de recherches à partir de modèles de simulations et d'expérimentations pour déterminer les **effets d'une dose conseillée plus faible** sur :
  - **l'évolution de la richesse** en P et en K
  - **la nutrition des plantes**

**MERCI DE VOTRE ATTENTION**



# Densités apparentes selon l'horizon prélevé

% de parcelles

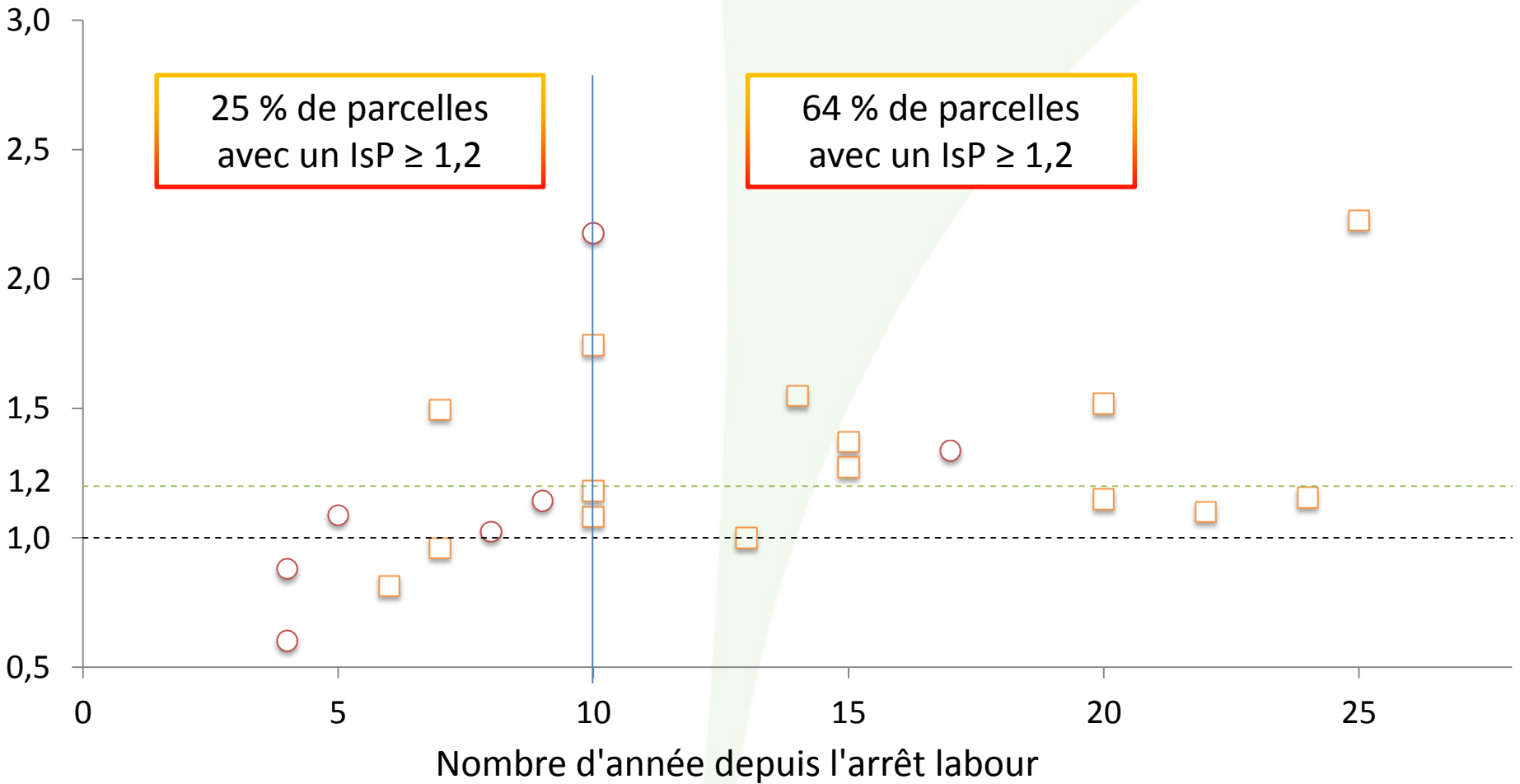


# Évolution de l'IsP selon la richesse en $P_2O_5$ du sol et l'âge du système

Teneur ( $x$ )

□  $T_{imp} < x < 2xT_{imp}$ 
○  $2xT_{imp} < x$

Indice de Stratification P



25 % de parcelles avec un IsP  $\geq 1,2$

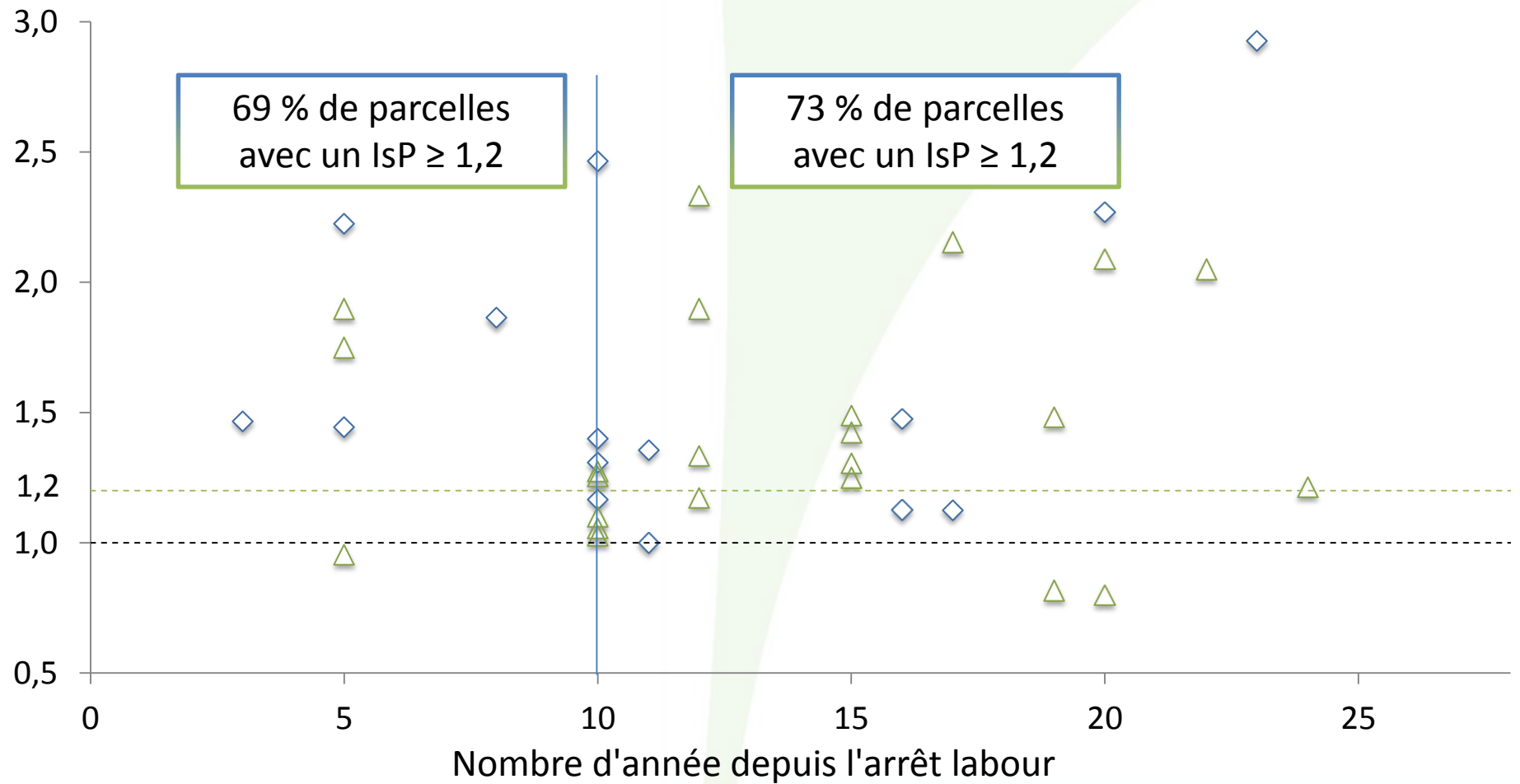
64 % de parcelles avec un IsP  $\geq 1,2$

# Évolution de l'IsP selon la richesse en $P_2O_5$ du sol et l'âge du système

Indice de Stratification P

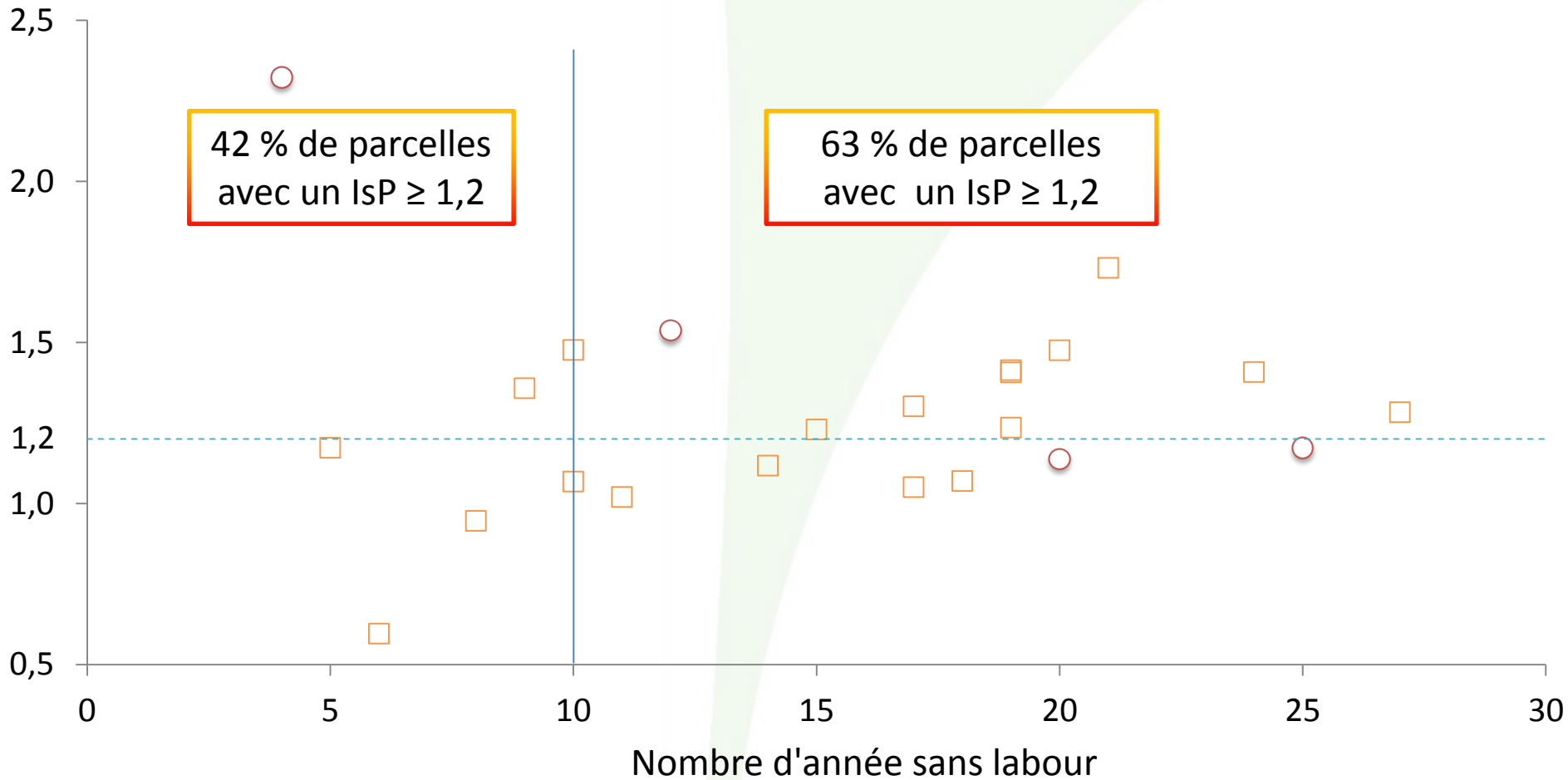
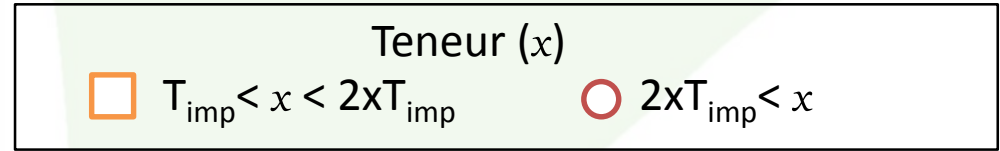
Teneur ( $x$ )

◇  $x < T_{renf}$ 
△  $T_{renf} < x < T_{imp}$



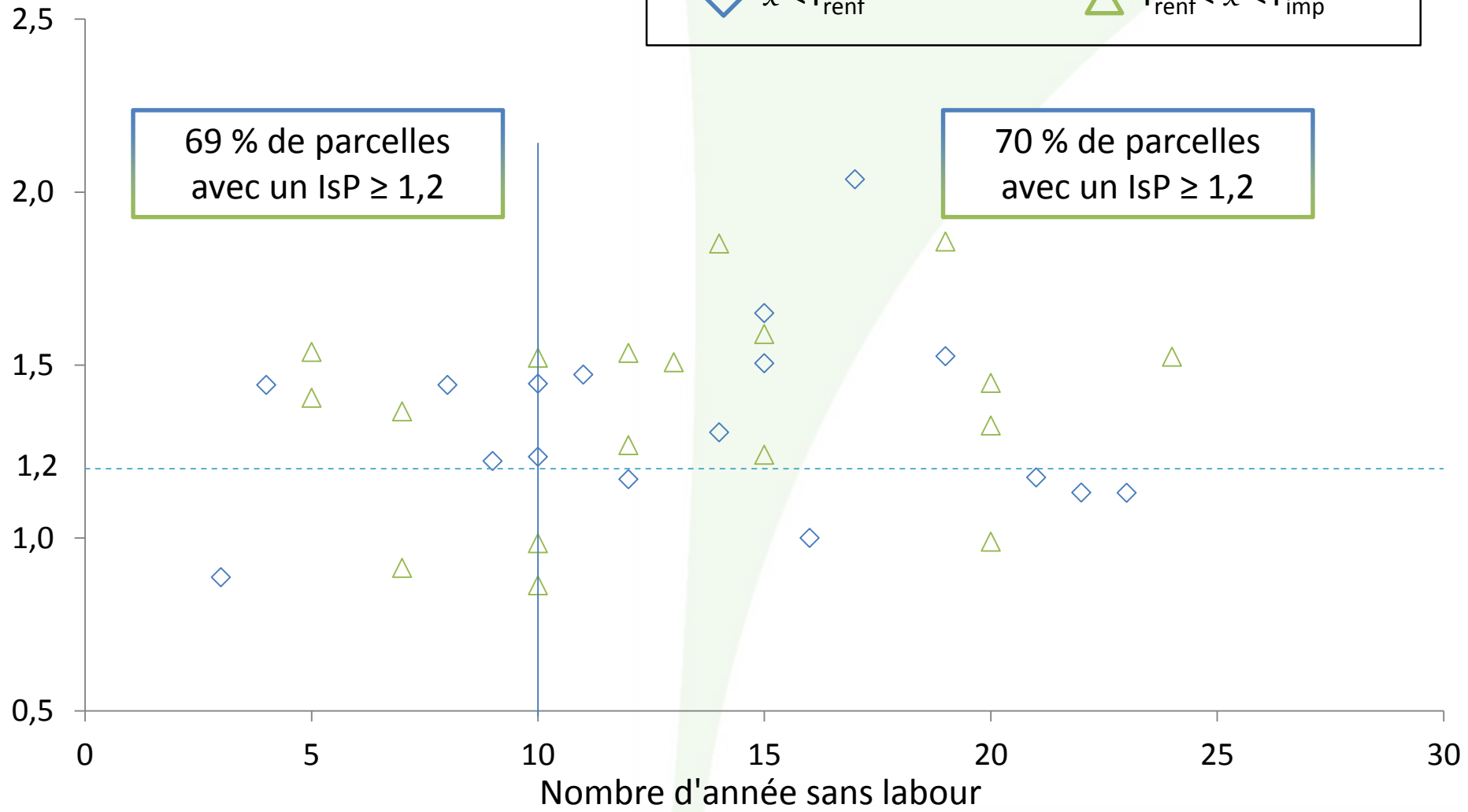
# Évolution de l'IsK selon la richesse en $K_2O$ du sol et l'âge du système

Indice de Stratification K



# Évolution de l'IsK selon la richesse en $K_2O$ du sol et l'âge du système

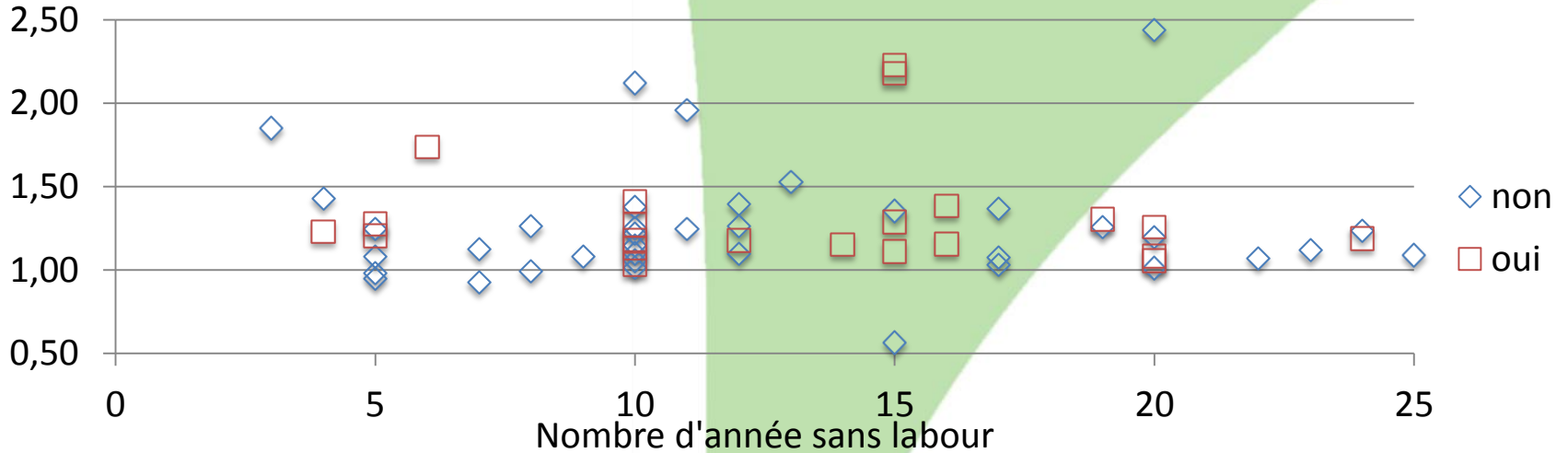
Indice de Stratification K



### Différence de conseil K pour une culture d'exigence forte

0-10/0-20

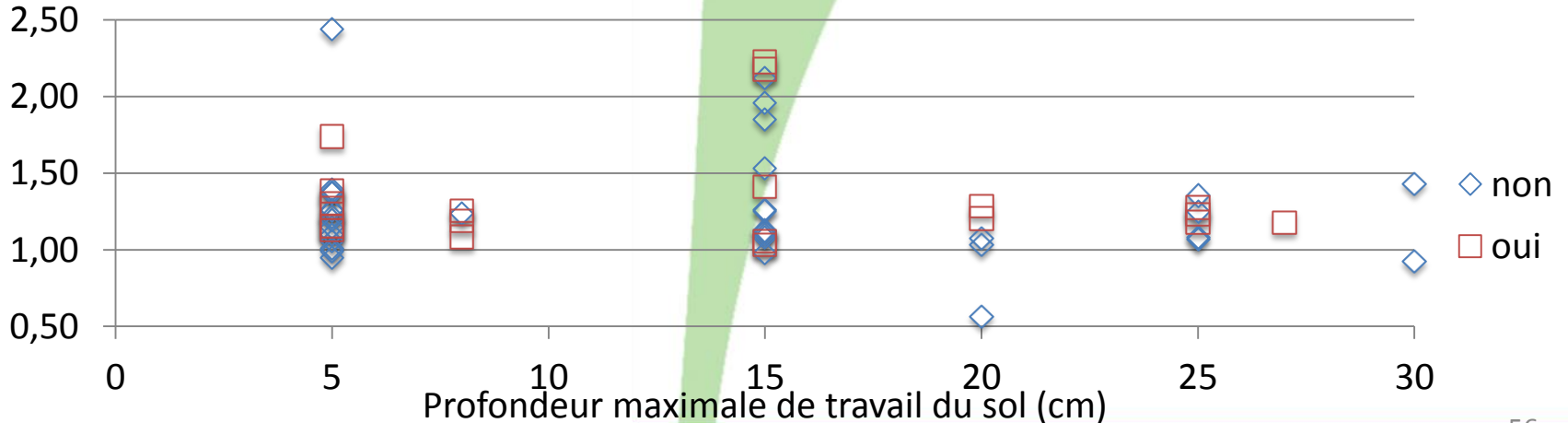
$$f(\text{NbAnnee}) = \text{IsK}$$



### Différence de conseil K pour une culture d'exigence forte

0-10/0-20

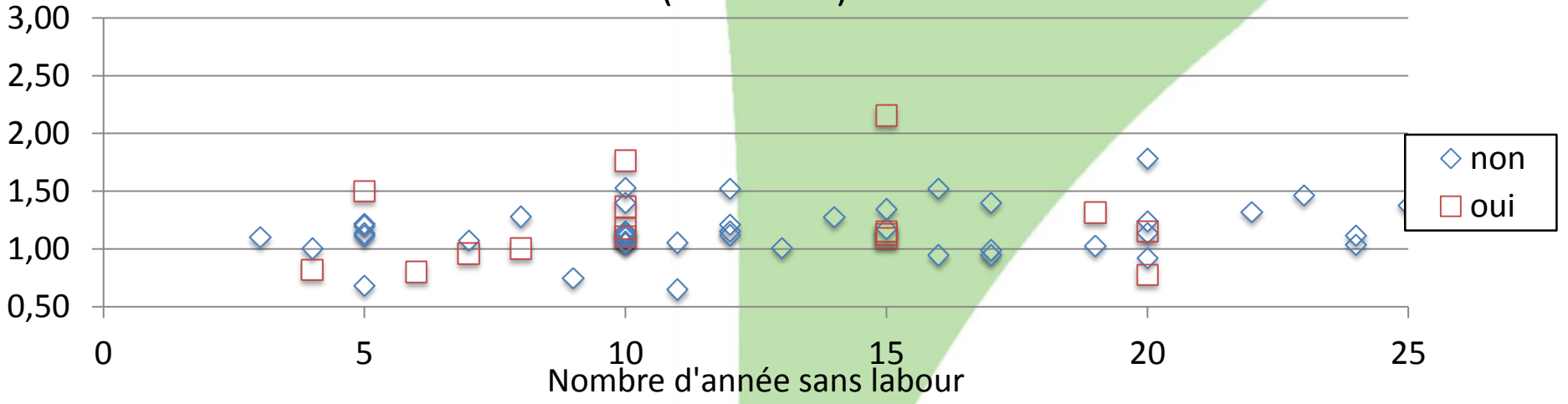
$$f(\text{ProfMaxTrav}) = \text{IsK}$$





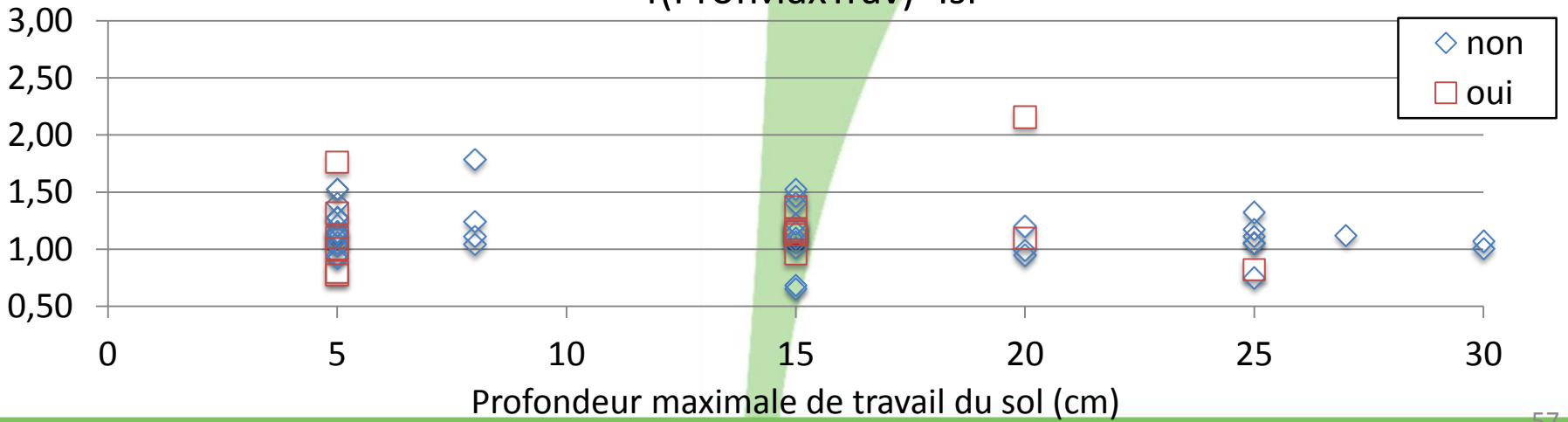
0-10/0-20

Différence de conseil P  
 $f(\text{NbAnnee})=\text{IsP}$



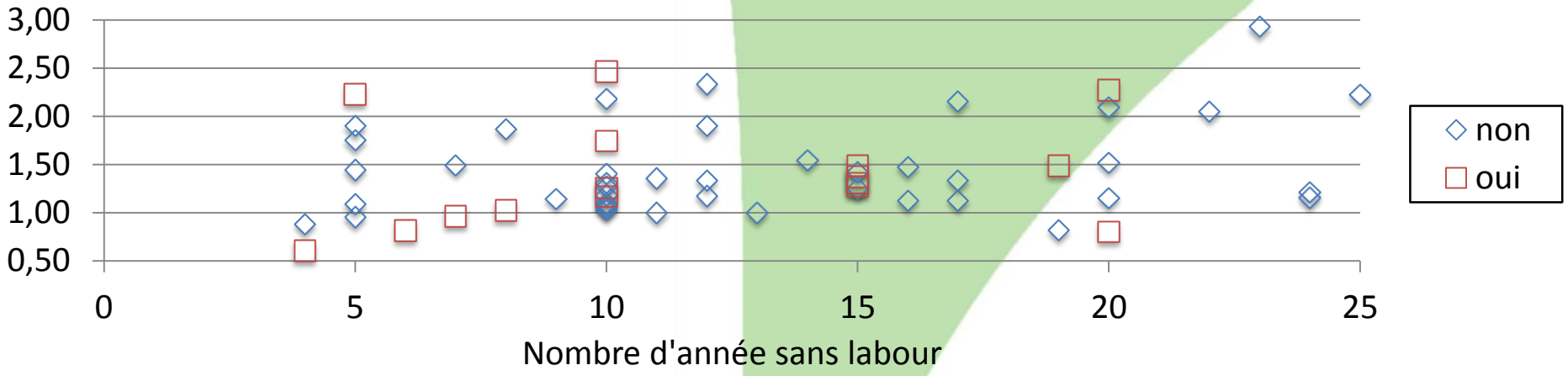
0-10/0-20

Différence de conseil P  
 $f(\text{ProfMaxTrav})=\text{IsP}$



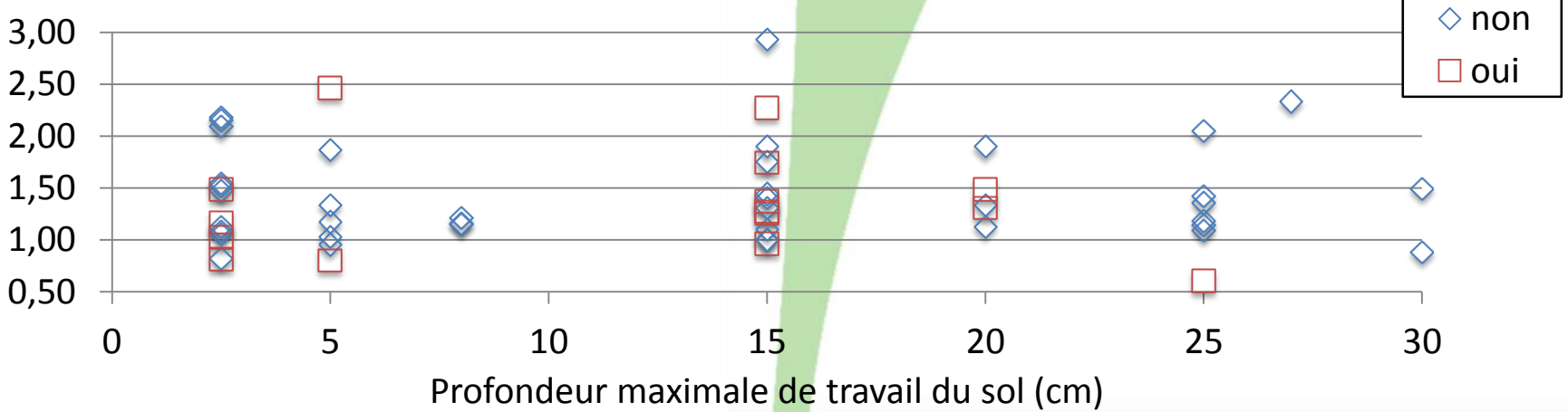
Indice de Stratification P

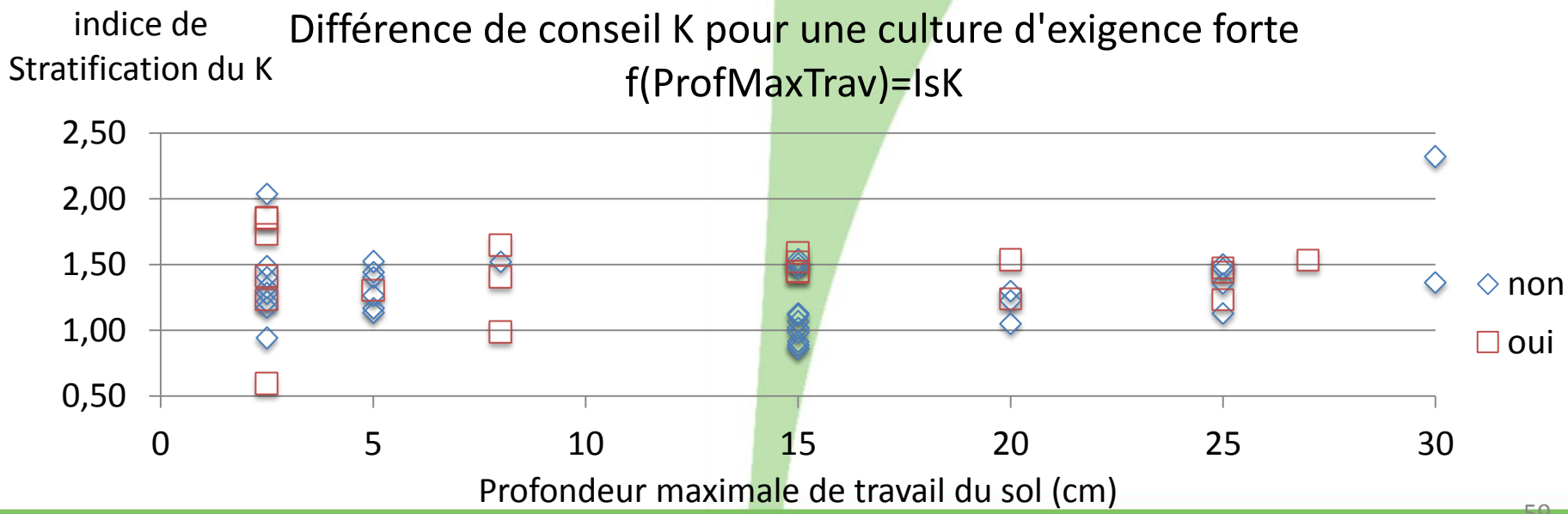
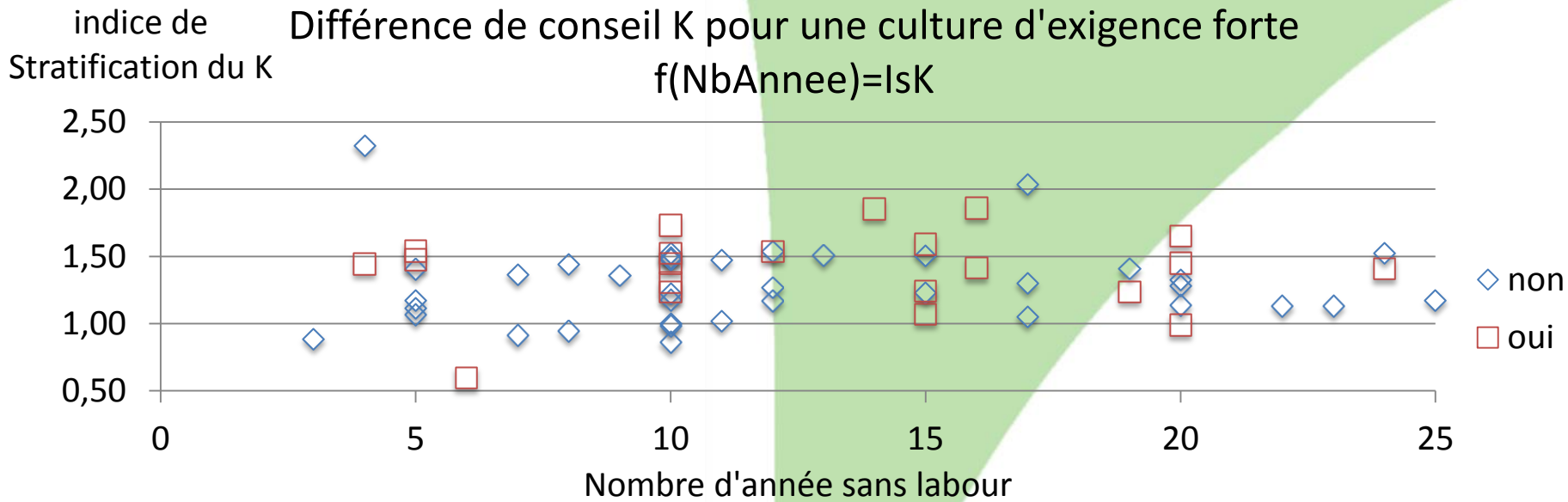
Différence de conseil P  
 $f(\text{NbAnnee})=I_sP$



Indice de Stratification P

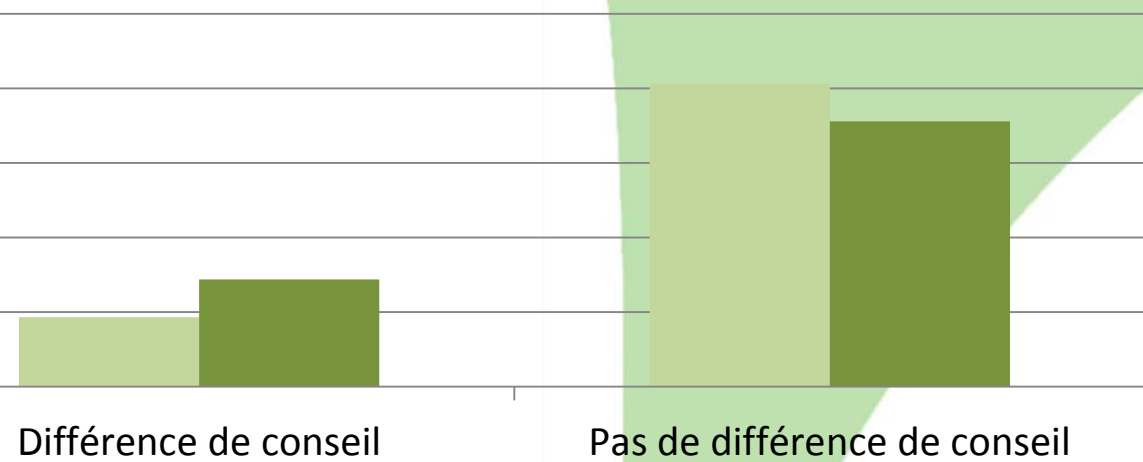
Différence de conseil P  
 $f(\text{ProfMaxTrav})=I_sP$





Nombre de parcelles par différences de conseils P pour une culture d'exigence faible ou forte entre les couches 0-10 et 0-20 cm

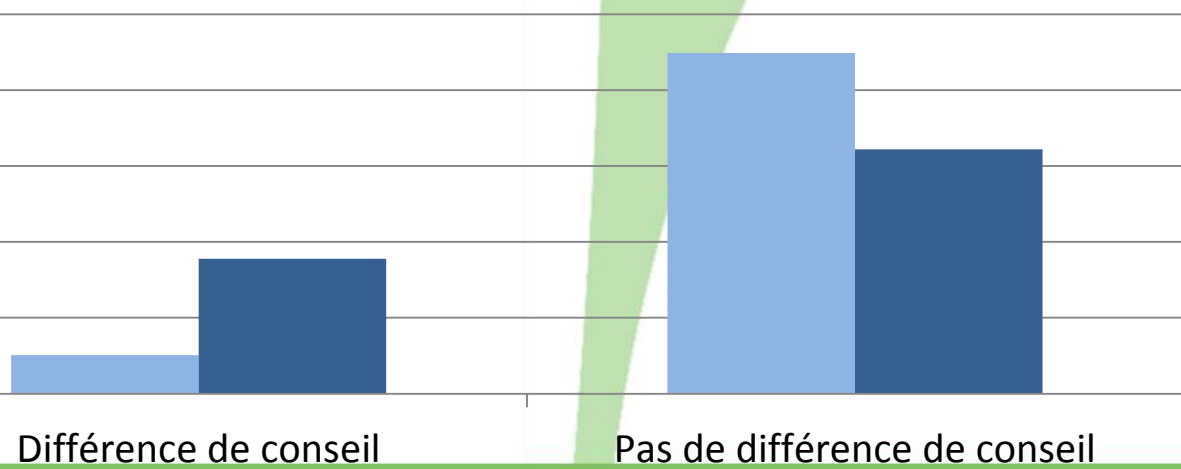
Nombre de parcelles  
100  
80  
60  
40  
20  
0



■ Conseil de fumure P exigence faible

Nombre de parcelles par différences de conseils K pour une culture d'exigence faible ou forte entre les couches 0-10 et 0-20 cm

Nombre de parcelles  
100  
80  
60  
40  
20  
0



■ Conseil de fumure K exigence faible



