

# Raisonner la fertilisation phosphatée : une méthode innovante appliquée aux cultures de carotte

**Christiane RAYNAL-LACROIX (Ctifl)**  
**Pascal DENOROY (INRA-ENITAB-UMR-TCEM)**

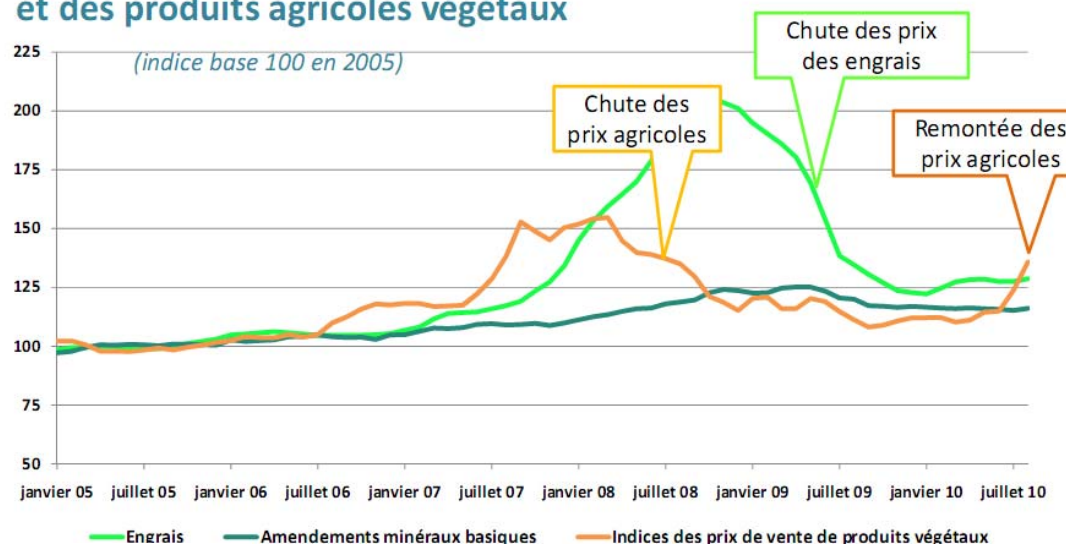
## Le contexte de la fertilisation phosphatée

Le phosphore (P) : élément nutritif indispensable et irremplaçable dans la nutrition des végétaux

... mais

\* des tensions sur le marché des fertilisants (fluctuation des prix), liées au caractère non renouvelable de la ressource et à l'augmentation de la demande mondiale

Evolution des prix de vente des fertilisants aux agriculteurs et des produits agricoles végétaux



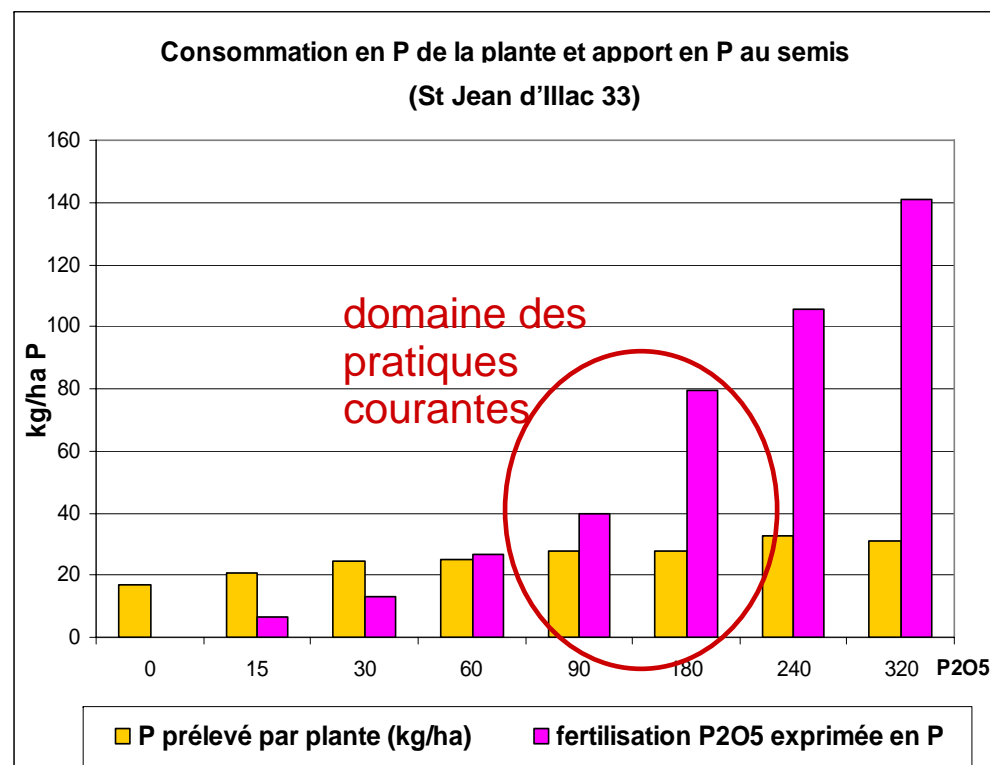
Source : Agreste

\* des risques environnementaux (eutrophisation) pouvant conduire à des durcissements réglementaires

## Peut-on améliorer les pratiques pour limiter le risque environnemental et réduire le coût des intrants ?

Des fertilisations de l'ordre de 100-150 kg  $P_2O_5$  (44-66 kg P), apportent 2 à 3 fois les prélèvements

(exportations par les racines : 80 – 90 % des prélèvements par la culture)





---

# Raisonner la fertilisation phosphatée : de nouvelles bases

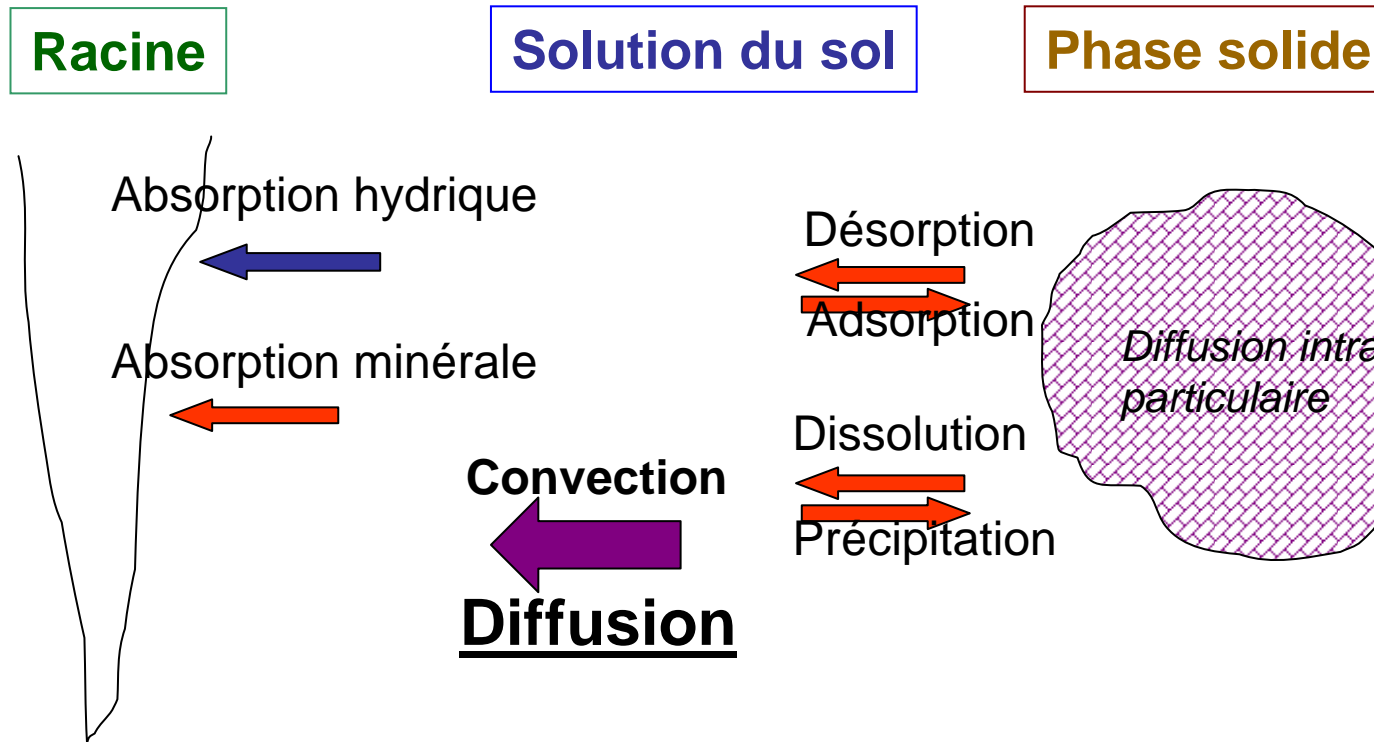
***Un point de 3 ans collaboration Ctifl-INRA, dans le cadre d'un projet inter-organismes\* co-financé par le ministère de l'Agriculture (Casdar).***

**Projet "Raisonnement Innovant de la fertilisation Phosphatée"  
(RIP ; 2007-2010)**

\* ACTA; ARVALIS – Institut du végétal; CA Bretagne; CA Eure-et-Loir; C.E.T.A. de Romilly-sur-Seine; CETIOM; Ctifl; INRA; ITB; UNILET.

# Biodisponibilité du P et réponse des cultures

## Éléments de connaissance



- La nutrition P des plantes se fait à partir d'ions phosphate puisés dans la solution du sol
- La solution du sol est un compartiment transitoire, le stock est dans la phase solide
- Le réapprovisionnement du milieu nutritif est assuré par la diffusion des ions de la phase solide vers la solution (gradient de concentration induit par l'absorption racinaire des ions phosphate).

# Biodisponibilité du P et réponse des cultures

## Éléments de connaissance

Offre  $H_xPO_4$  du sol :  
 $\Sigma$  des ions en solution (ions solubles) et des ions susceptibles de passer en solution (ions diffusibles)

Identité entre

**L** = ions du sol disponibles pour la plante &

**E** = somme ions solubles + diffusibles

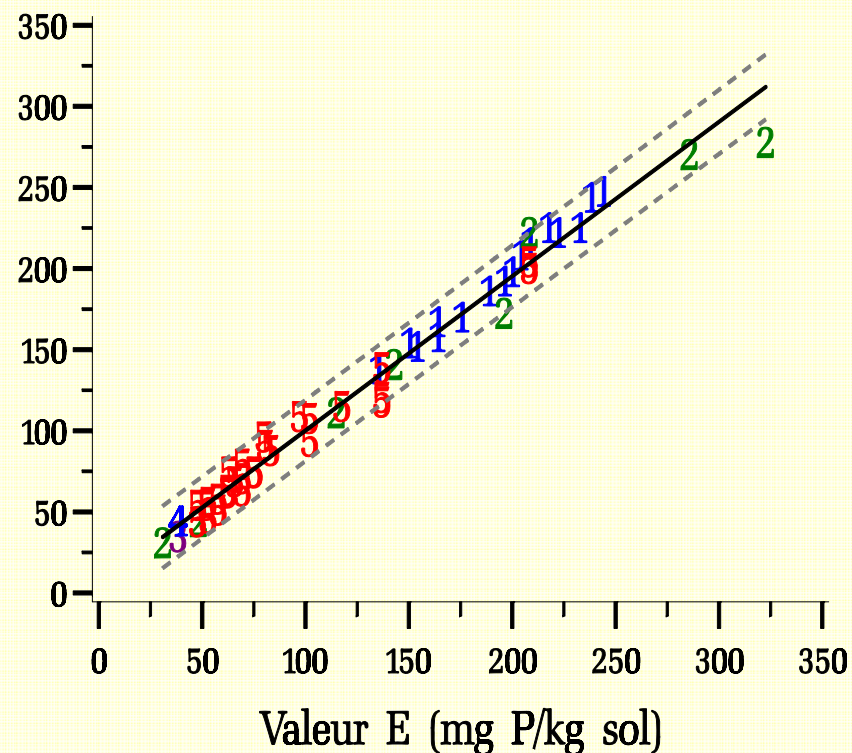
↑

$$Q_w = C_p \cdot \text{vol.}$$

↑

$$P_r$$

Valeur L (mg P/kg sol)



(Morel, 2002)

- P soluble : concentration en P mesurée sur échantillon de terre  
 $CP \text{ (mg P/L)} \times 10 = Qw \text{ (mg P/kg terre)}$
- P diffusibles: ions phosphate diffusibles à l'interface solide-solution

Définir la courbe d'équilibre  $PO_4$  diffusible /  $PO_4$  en solution

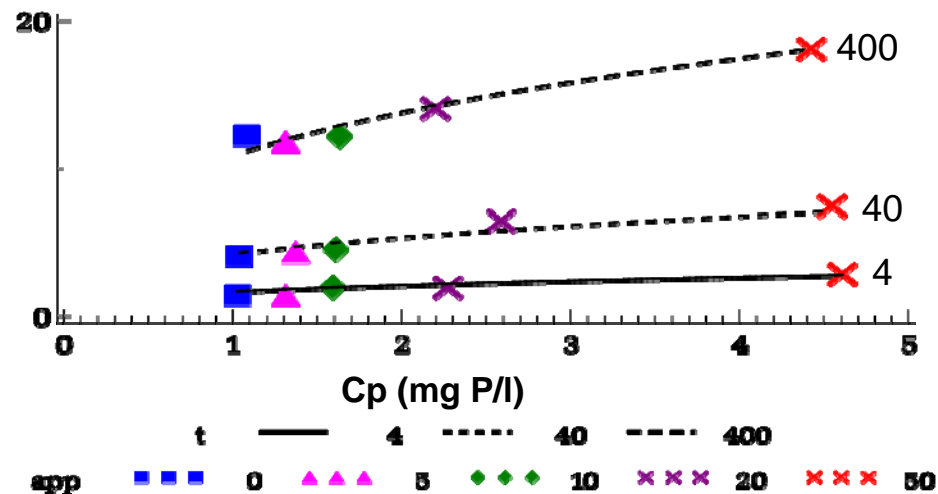
$$Pr = v Cp^w t^p \text{ (fonction cinétique de Freundlich)}$$

$Pr = P$  diffusible

$Cp = P$  en solution

$v, w, p =$  paramètres dépendants du sol

$Pr =$  ions diffusibles (mg P/kg)



Carotte / St Jean d'Ilac 2009 :

$$v = 0.203$$

$$w = 0.838$$

$$p = 0.334$$

- Paramétrage : requiert le traçage isotopique et l'analyse par dilution isotopique  
 → exclu des analyses de routine

- Nécessité d'établir des fonctions de pédotransfert pour déterminer les indicateurs du P phytodisponible à partir des caractéristiques physico-chimiques des sols (pH, texture, MO, CEC,...)

# Application aux cultures de carotte des nouveaux indicateurs de biodisponibilité



## Les essais

Objectif : Estimer l'offre du sol lors de la phase juvénile de la culture (phase sensible), et la rapprocher du résultat final (rendement ; qualité)

2008 : \* Lagnereau (Belin-Beliet ; 33)

2009 : \* L'Ombrière (StJean d'Ilac ; 33) – Parcelle 1

2010 : \* L'Ombrière (StJean d'Ilac ; 33) – Parcelle 2

\* Pierroton (Cestas ; 33)

Tous ces essais sont en podzol landais

Essais annuels avec une large gamme de doses de fertilisants (sans répétition) à traiter en régression, sauf Pierroton : essai P de longue durée depuis 1995.

## Quelques caractéristiques des sites expérimentaux (1)

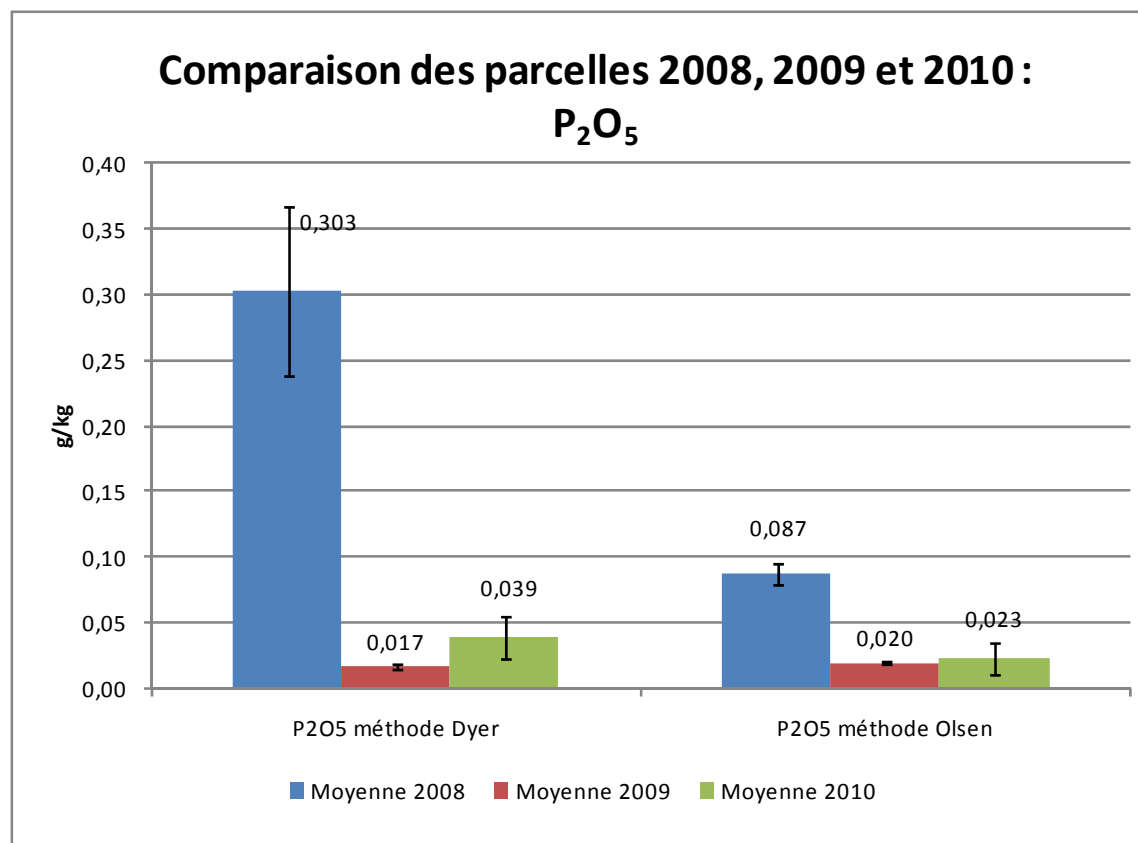
### Exemple de dispositif expérimental

	<b>0<sub>x</sub></b>				<b>60</b>
	<b>180</b>				<b>15</b>
	<b>90</b>				<b>240</b>
	<b>45</b>				<b>0<sub>1</sub></b>
	<b>320</b>				<b>30</b>
	<b>0<sub>2</sub></b>				<b>130</b>

x = dose P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (kg/ha)

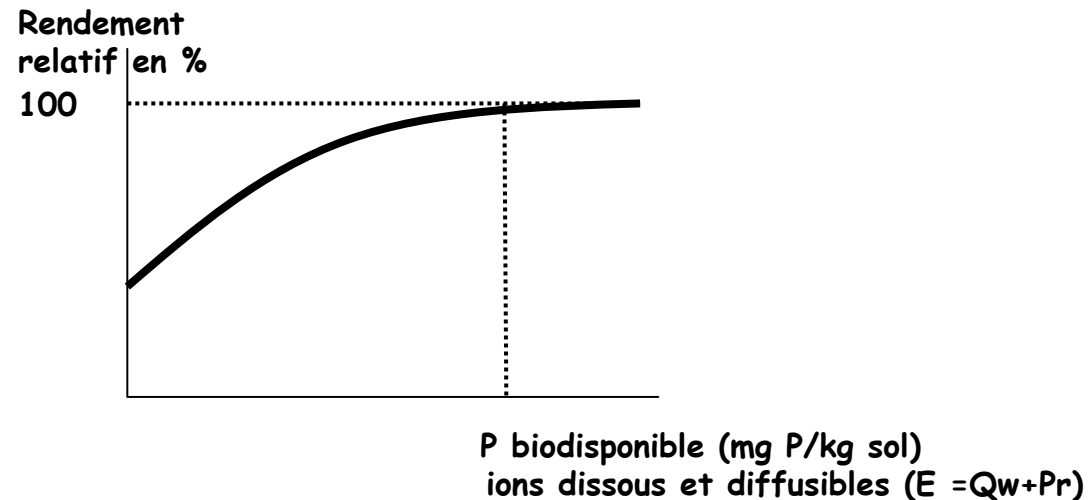
Site	Sable g/kg	CEC Metson cmol+/kg	C organique g/kg	pH eau / pH KCl
Lagnereau 2008	910	2,6	8,61	5,67 / 4,88
Ombriere1 2009	950	5,5	25	5,13 / 4,21
Ombriere2 2010	880	8,1	43	5,04 / 4,07
Pierroton 2010	930	6,0		

## Quelques caractéristiques des sites expérimentaux (2)



## Analyses de terre et traitement des résultats expérimentaux :

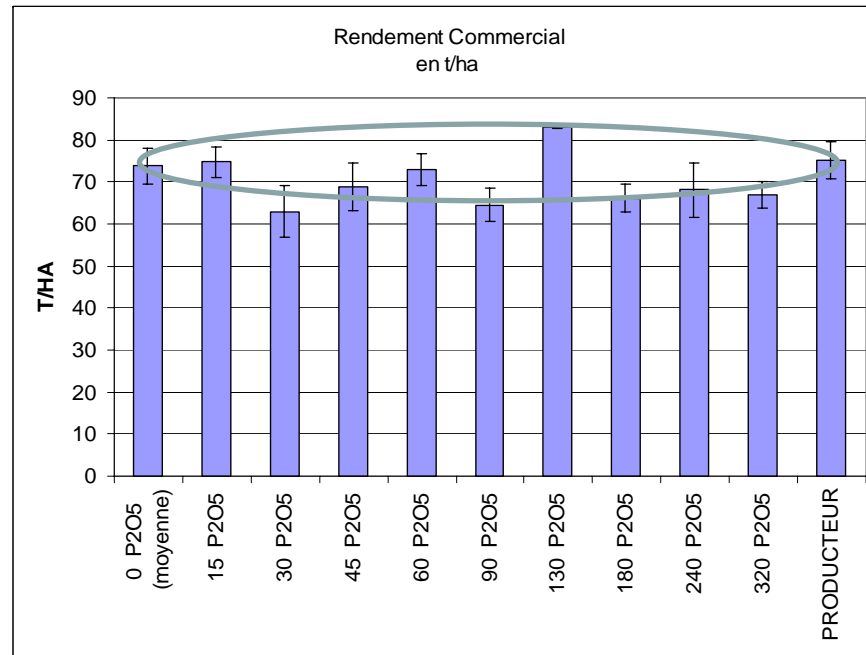
- 1) Analyse  $C_p$  (sol prélevé sous jeune culture) et détermination des paramètres de l'équilibre solide/solution des ions phosphate ( $Pr = v C_p^w t^p$ )
- 2) Récolte → Rendement → Calcul de l'Indice de Rendement (IR) sur la base des parcelles au rendement non impacté par la carence en P  
Etude qualitative des récoltes (calibres) ; bilans minéraux
- 3) Etude de la relation entre offre du sol ( $C_p, E$ ) et Indice de Rendement (IR)



# Rendements IR et valeurs des indicateurs

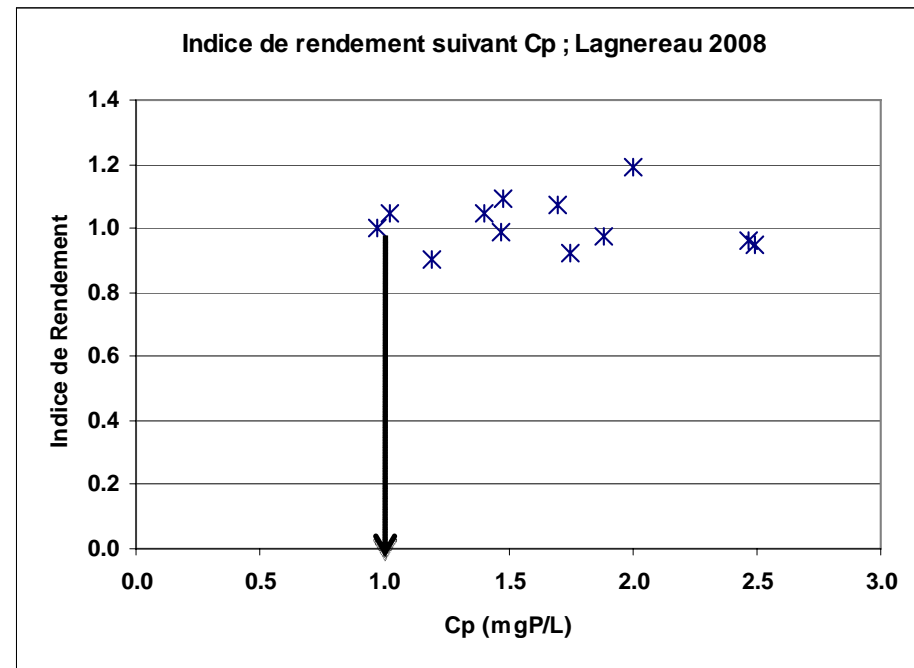
dans tous les cas, des rendements représentatifs de cultures "normales "

## Résultats 2008 :



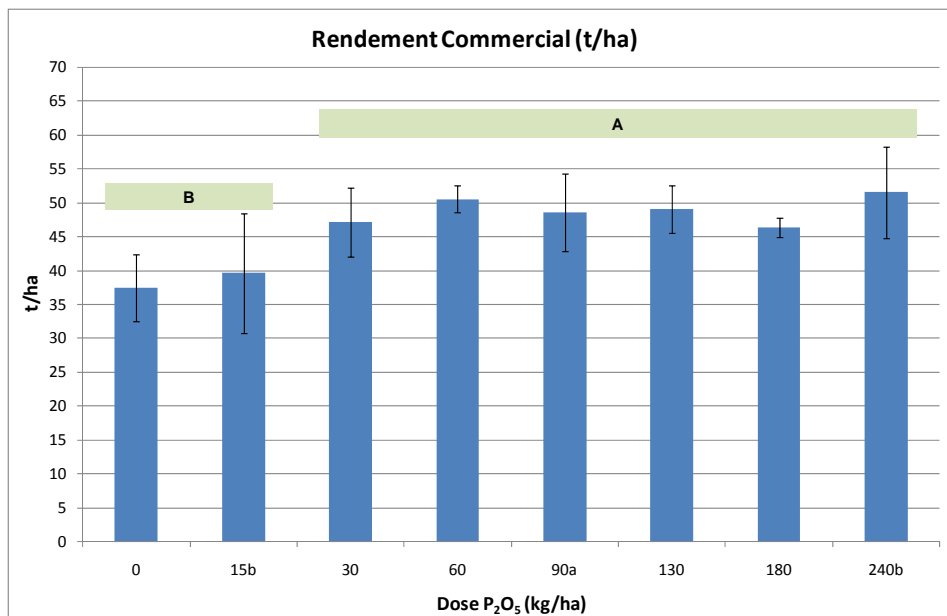
### Lagnereau (Belin-Beliet) 2008

- Semis : 9 juin
- Récolte : 6 octobre (119 JAS)



(rendement "de référence" base de calcul IR : 71 T/ha)

## Résultats 2009 :

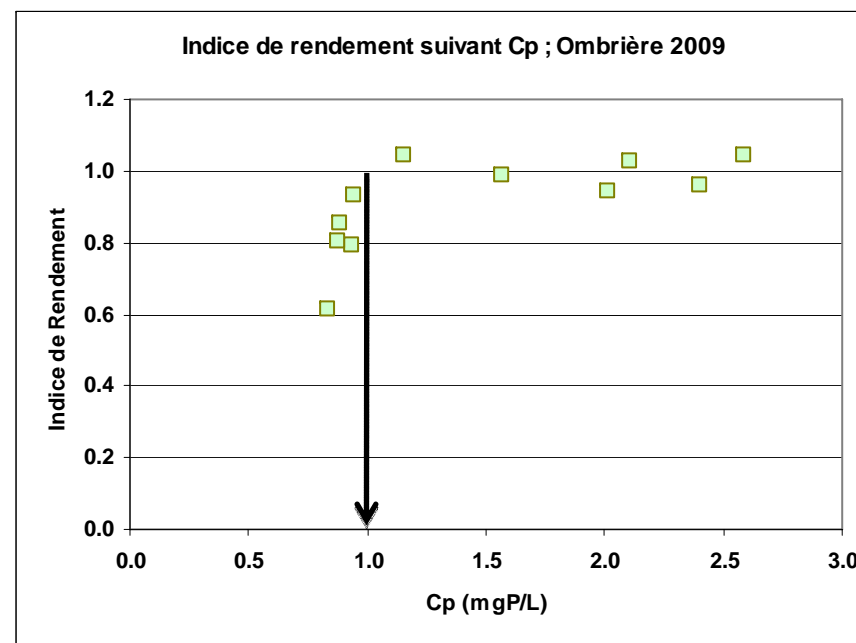


A et B groupes homogènes: test de Newman-Keuls

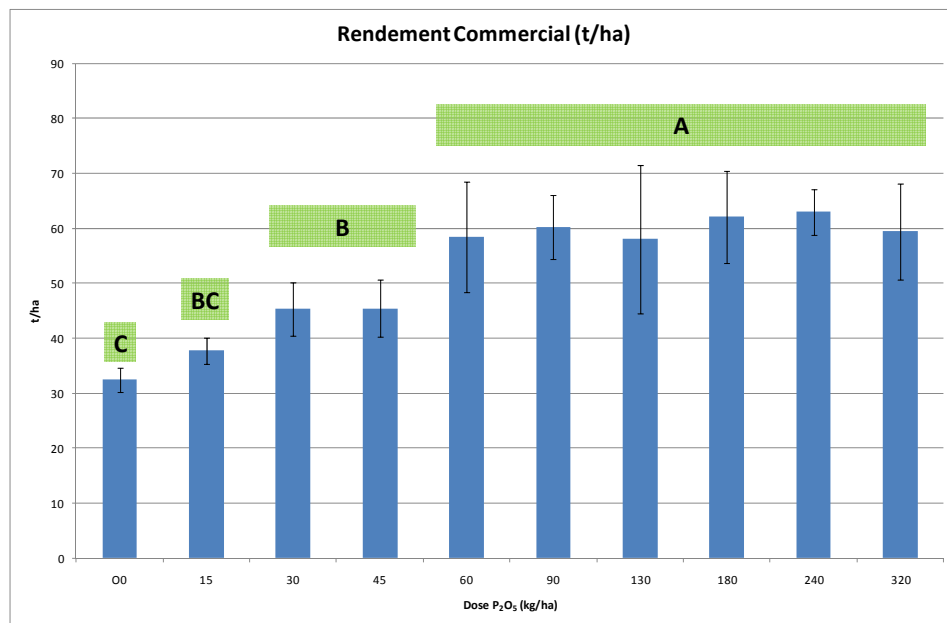
(base de calcul IR : 51 T/ha)

### Ombrière (St Jean d'Illac) 2009

- Semis: 16 janvier
- Débâchage: 6 avril (80 JAS)
- Récolte: 3 juin (138 JAS / 58 JAD)



## Résultats 2010 :

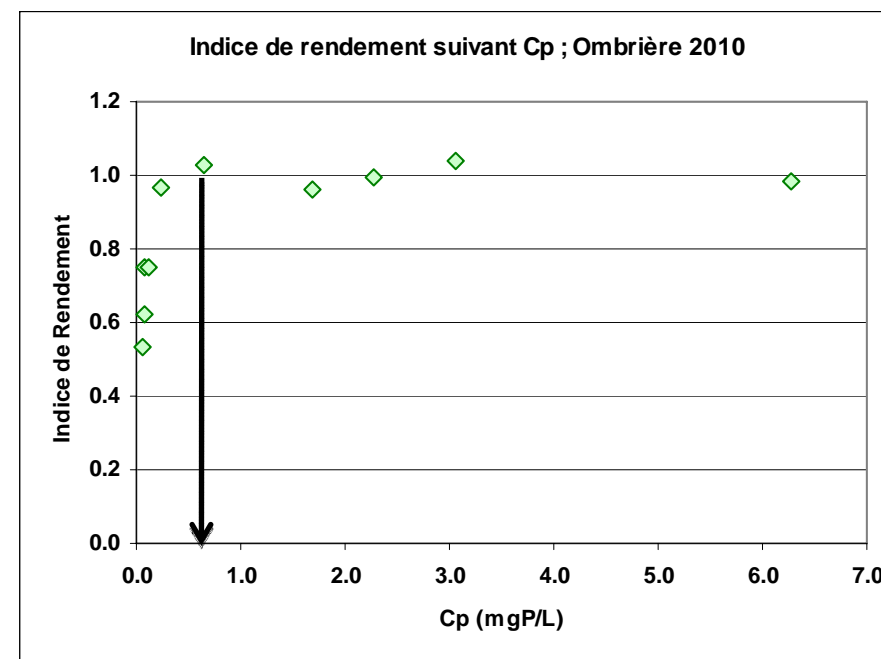


A, B et C groupes homogènes: test de Newman-Keuls

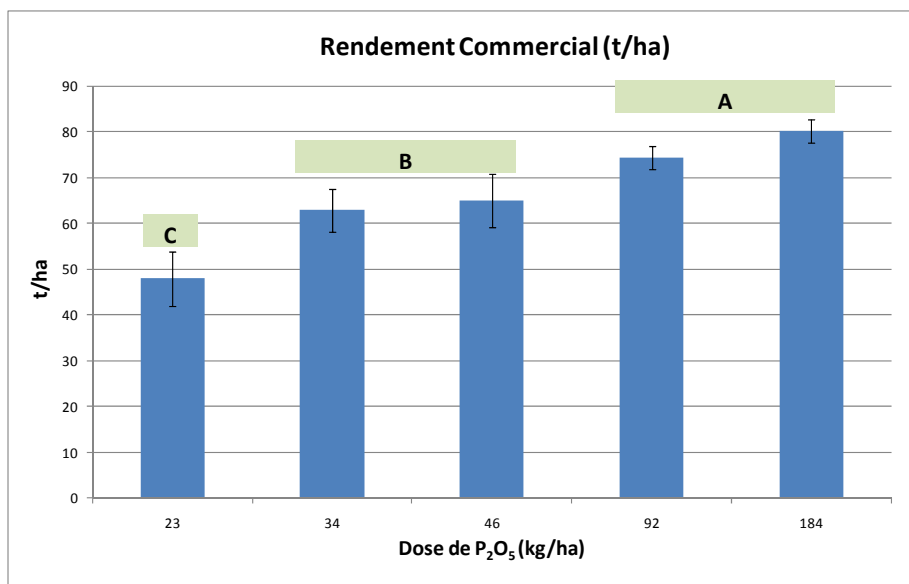
**(base de calcul IR : 60 T/ha)**

### Ombrière 2010

- Semis: 2 février
- Débâchage: 12 avril (69 JAS)
- Récolte: 6 juillet (154 JAS / 85 JAD)



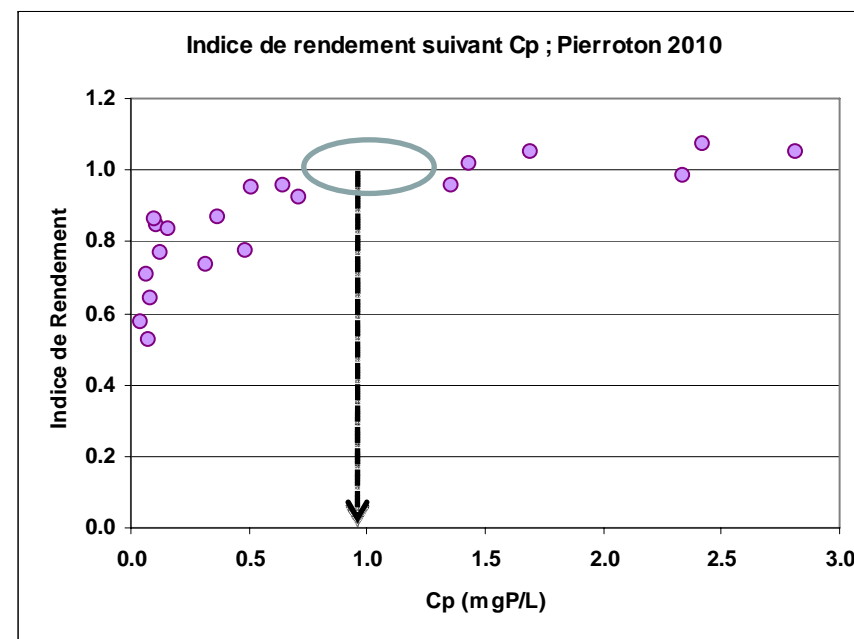
## Résultats 2010 :



(base de calcul IR : 77 T/ha)

### Pierroton 2010

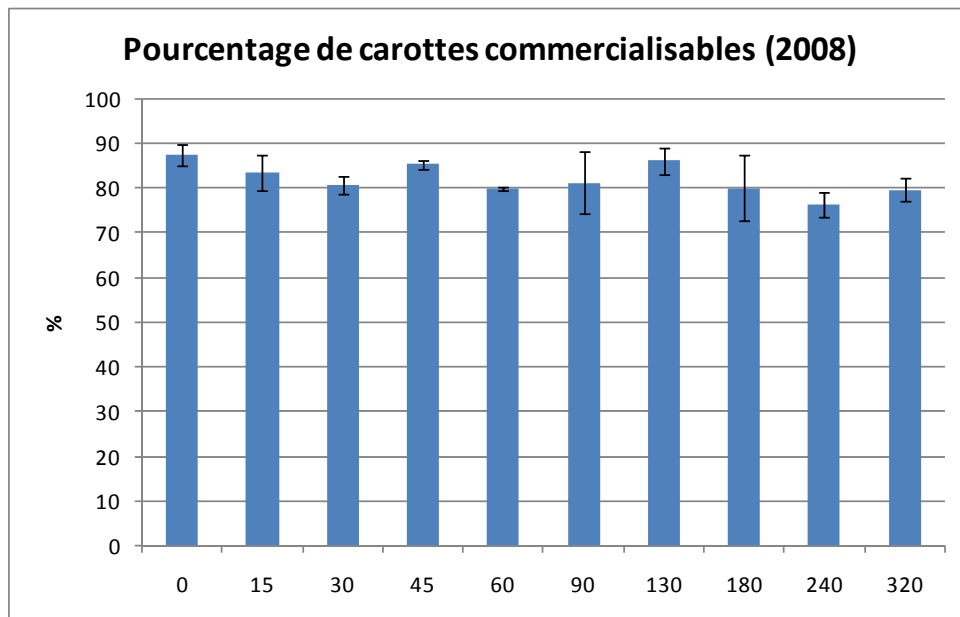
- Semis: 15 juin
- Récolte: 6 octobre (113 JAS)



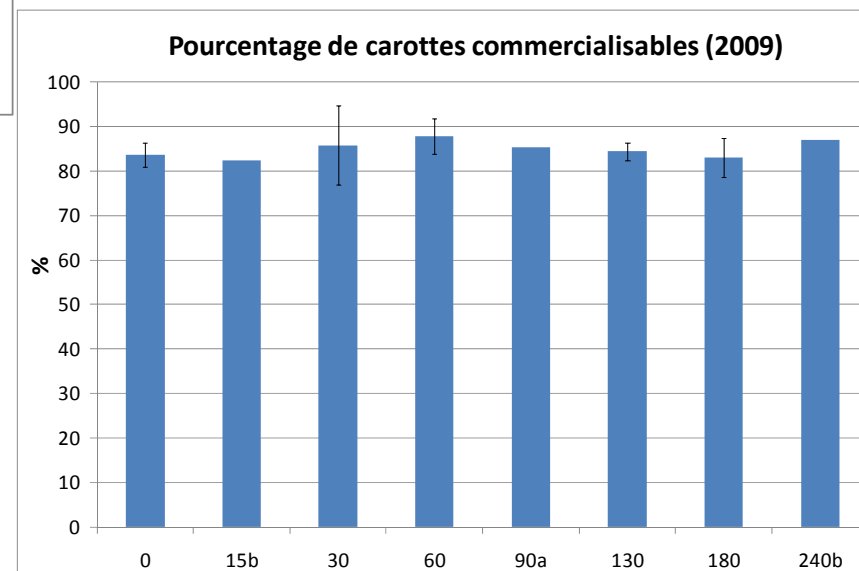


# Qualité des produits récoltés

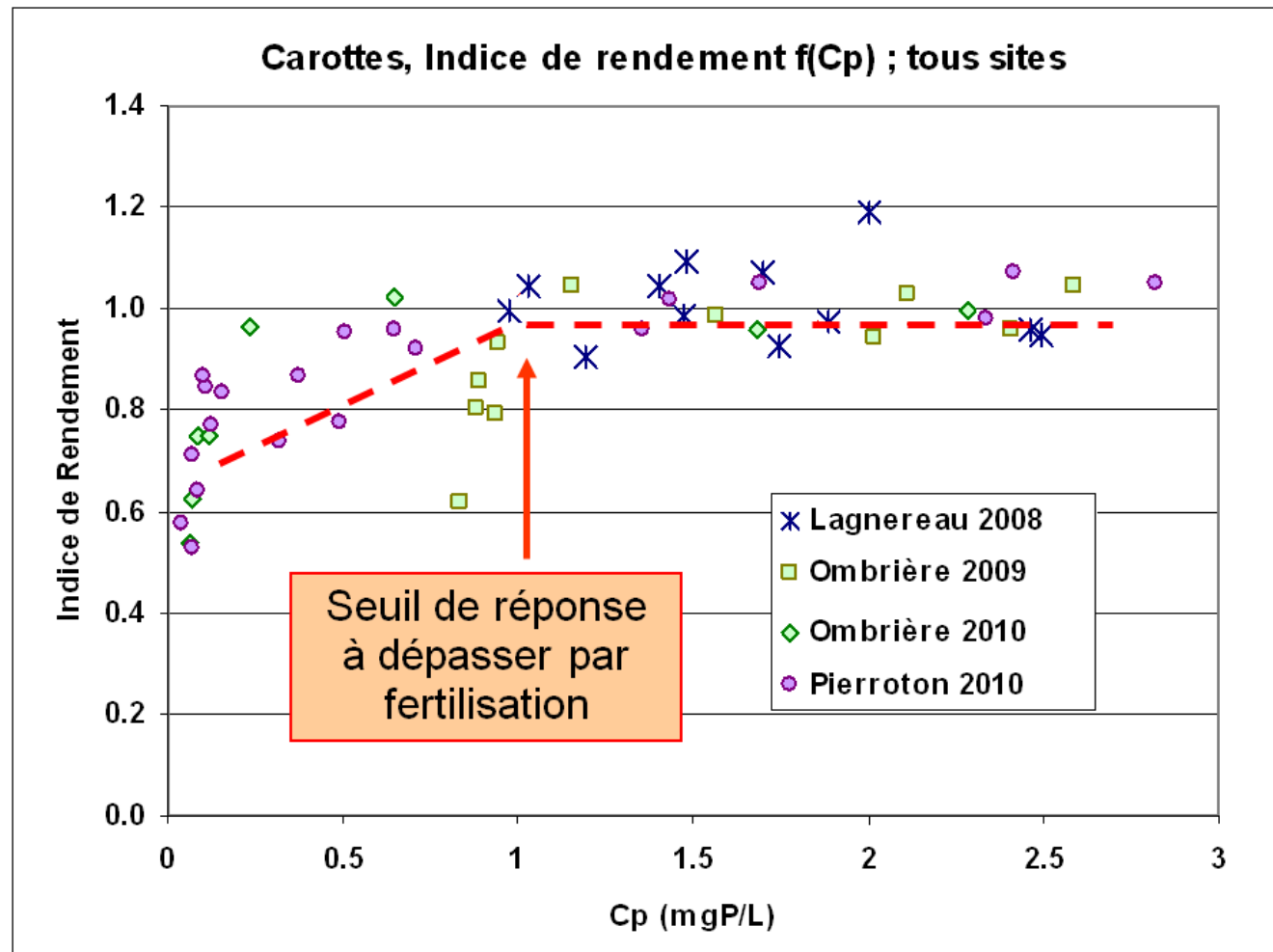
**Pourcentage de carottes commercialisables (2008)**



**Pourcentage de carottes commercialisables (2009)**



## L'ensemble des résultats $IR=f(Cp)$ :



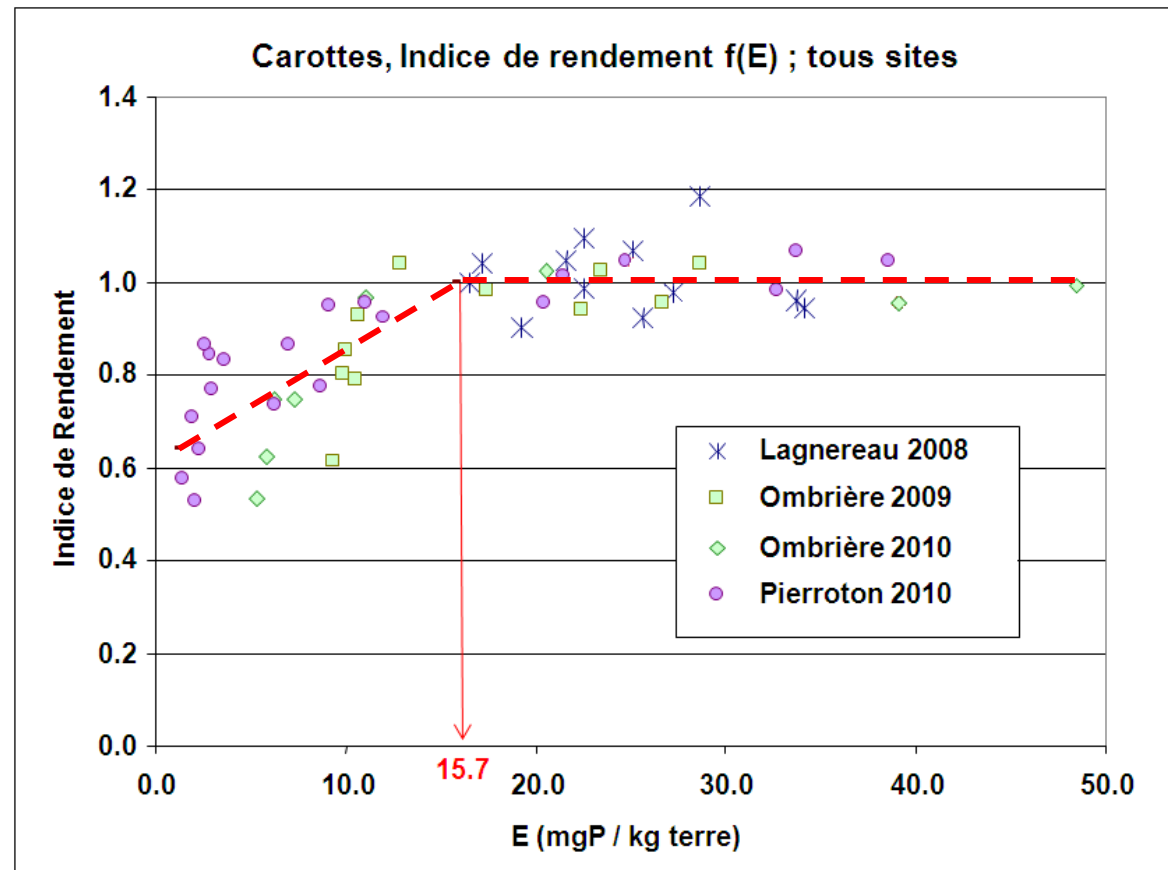
$Cp = 1 \text{ mg P/L}$   
 $\Leftrightarrow \text{env. } 41 \text{ mg}$   
 $P_2O_5 \text{ Olsen / kg terre}$

## Résultats provisoires

Offre P du sol :  
P soluble + P  
diffusible

$$E = Pr + Qw$$

Paramètres du  
modèle de réponse :  
Seuil = 15.7 mg  
P/kg terre  
t = 122 mn  
Pente = 0.0245



Ctifl INRA 2008-2010

## Conclusion :

Des économies sont possibles en matière de fertilisation P par rapport aux pratiques moyennes actuelles

- sans dégrader les rendements (des impasses sont possibles)
- sans conséquence sur les calibres récoltés

Avec des bénéfices économiques et environnementaux

- apports en culture non nécessaires
- ~~fertilisation d'assurance~~ → moins d'impact environnemental

## En perspective

- Valider la méthode en termes de diagnostic et de préconisation
  - $E > \text{seuil}$  : impasse
  - $E < \text{seuil}$  : calcul de l'apport P pour atteindre le seuil
  - $\text{Ferti P} = E \text{ seuil} - E \text{ mesuré}$
- Etendre la démarche à d'autres espèces légumières / acquisition de nouvelles références
- Mettre à profit l'approche pour améliorer les pratiques de gestion potassique des cultures légumières