



# *Le phosphore dans le sol: comprendre comment ça fonctionne*

**Louis Robert, agr.**

**MAPAQ Chaudière-Appalaches**

**Beaupré, 24 février 2011**

**Agriculture, Pêcheries  
et Alimentation**

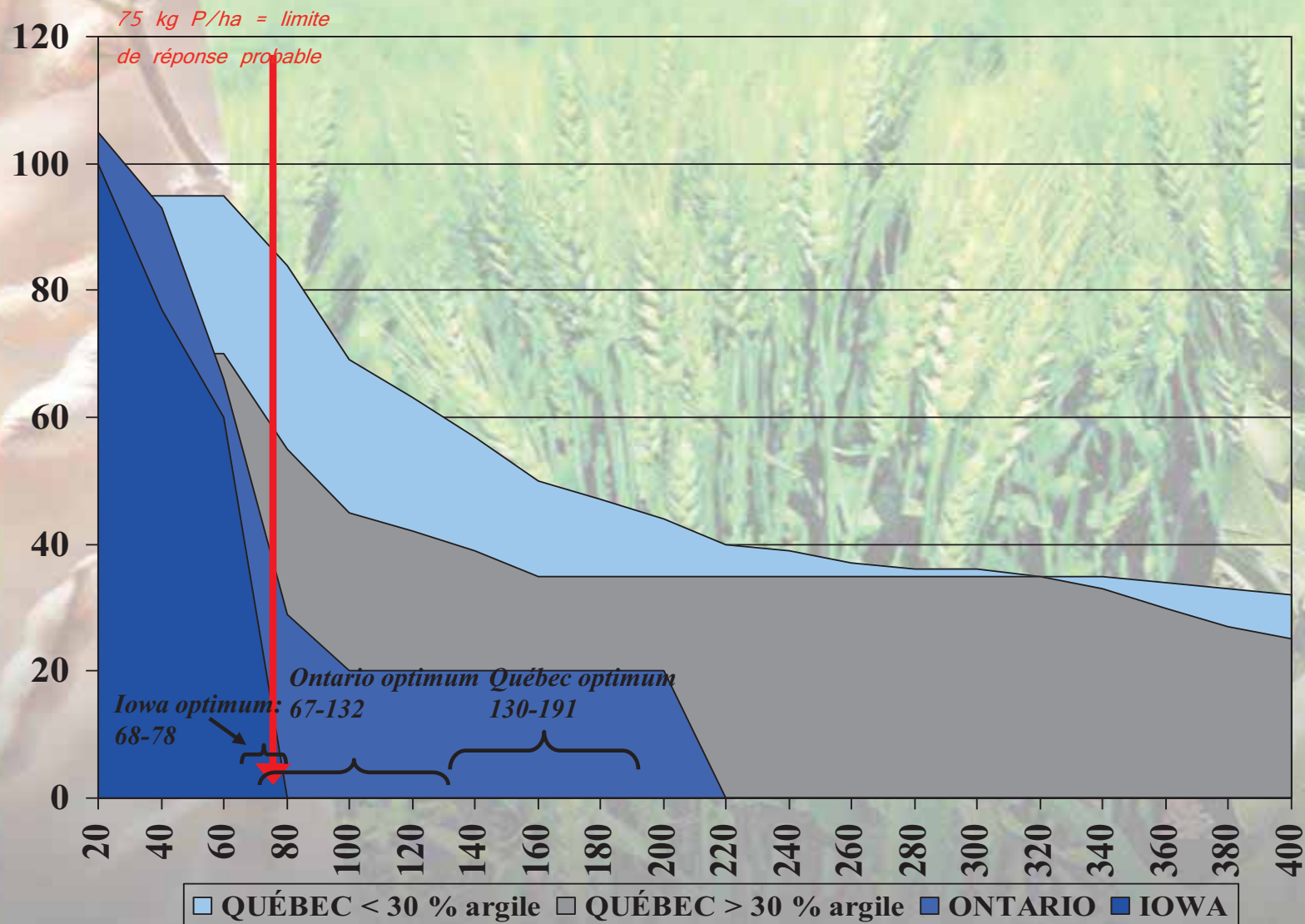
**Québec** 

## Approches environnementale et agronomique de la gestion du P

- De Duluth MN à Cornwall Ont (1550 km):  $8 \mu\text{g P L}^{-1}$ ; de Cornwall à Québec (450 km):  $36 \mu\text{g P L}^{-1}$  (CRAAQ/IRDA- Hudon, C., 2008)
- RRPOA, REA, Plan d'action gouvernemental sur les algues bleu-vert : \$145M/10 ans sur bandes riveraines, etc.
- En fertilisation des sols, on n'observe les impacts environnementaux que lorsque les seuils agronomiques sont dépassés (A.F. MacKenzie)
- La gestion des engrais (minéraux et organiques) repose de moins en moins sur l'agronomie : équilibre cheptel / superficies, P dans l'alimentation animale, besoins des cultures.

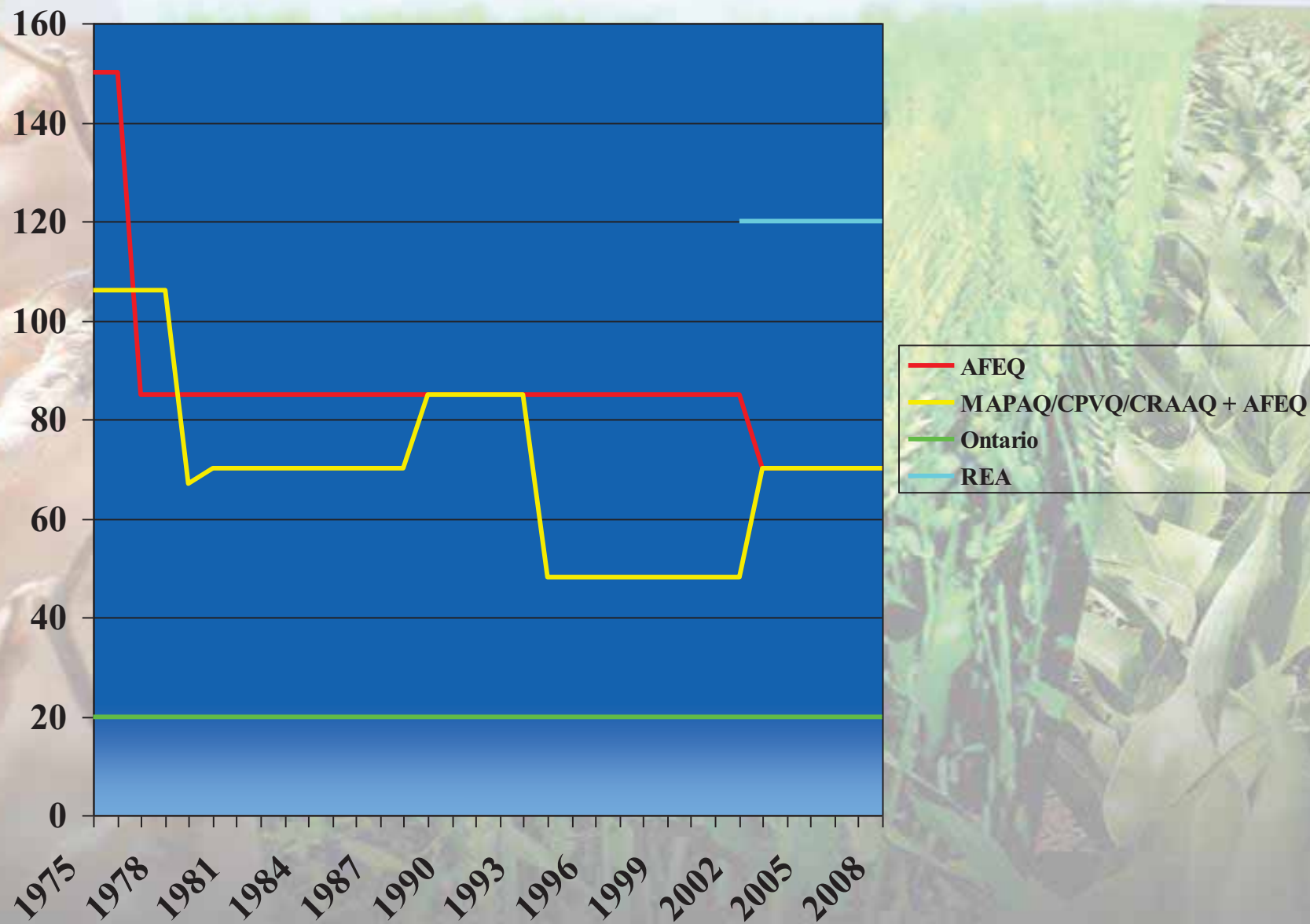
<i>Sources de <math>P_2O_5</math></i>	<i>Références agronomiques</i>
Aliments pour animaux	Ratio cheptel/superficie; % P (NRC); REA; besoins des cultures (CRAAQ); etc
Engrais minéraux	Guide CRAAQ

# Recommandation $P_2O_5$ pour maïs-grain selon teneur du sol en P (kg/ha)



# Évolution de la recommandation

(110 kg P/ha, 4,3 % sat.)



# Disponibilité du P des engrais de ferme: la confusion

- Jusqu'en 2003, le CRAAQ accordait au P des engrais de ferme une efficacité relative de 24 %
- Aujourd'hui, la référence proposée par le CRAAQ, et utilisée par les agronomes dans leurs PAEF varie de 40 % (fumiers de bovins, automne) à 80 % (autres engrais de ferme, printemps)
- Correspond à ce qui est proposé par l'industrie: 24 à 80 % (AFEQ, 1999)
- Résultats de recherche unanimes: P engrais de ferme > P engrais minéraux (MacLean et al., 1983; Barnett, 1988; Zhang et al., 1995)



# P de l'alimentation animale: exemple laitier

- La teneur moyenne en P des rations laitières au Québec = 0,45 % (Brisson et Lefebvre, 2004)
- Cette teneur pourrait être réduit à 0,33 à 0,39 % sans impact sur la production (NRC, 2001)
- L'effet sur les rejets en P: baisse de 25 % suite à changement de rations 0,48 à 0,38 % P (Cotanch et al., 2003)
- Au-dessus de 0,38 % P dans la ration, forte augmentation de la proportion de P soluble/P total dans les déjections (Ebeling et al., 2002)
- Les rations fortes en P entraînent des pertes P par ruissellement au champ de 4 à 5 fois plus élevées que les rations ajustées en P (Powell et al., 2002)

# La fertilisation et ses mythes...

- ☐ « *Plus t'en mets, plus t'as du rendement* »
- ☐ « *Plus t'as du rendement, plus faut t'en mettes* »
- ☐ « *Plus t'es riche [sur l'analyse], mieux c'est* »
- ☐ *Analyse de sol [P]= outil infaillible*
- ☐ « *Nos rendements baissent depuis qu'on suit les recommandations des agronomes* »

# La fertilisation: l'heure juste

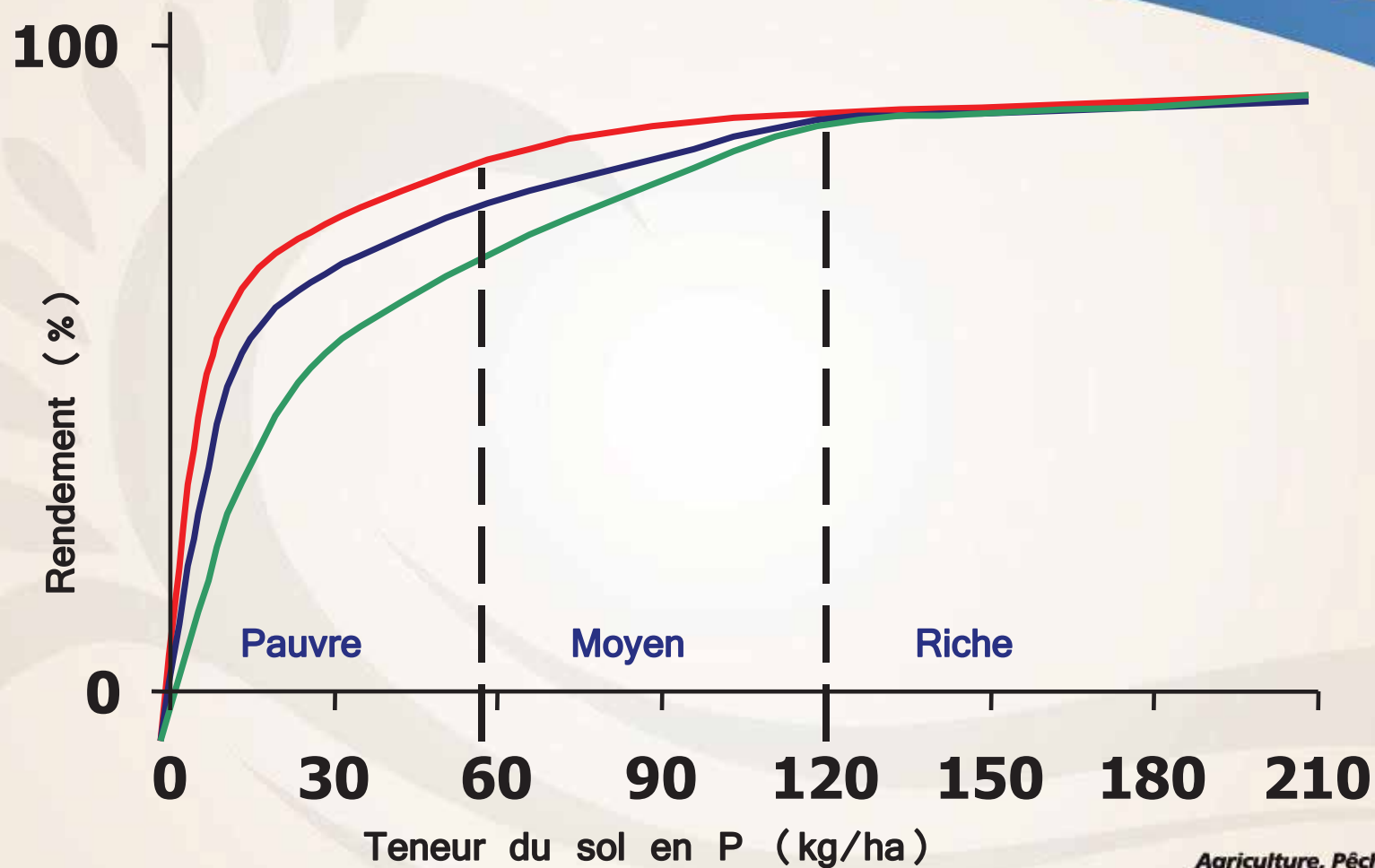
- Le rendement des cultures obéit à la loi des niveaux de suffisance
- L'analyse chimique du sol est un outil fiable à 40 %
- Même en sol pauvre, le sol fournit plus d'éléments à la culture que l'engrais
- Lien entre « exportations » et besoins des cultures ?
- Fertilité et fertilisation ne sont pas synonymes;
- La carence la plus fréquente:  $O_2$
- Dans le contexte actuel, la fertilisation minérale a moins d'effet sur les rendements que sur la rentabilité des cultures;



# Enrichissement et entretien <sup>(1)</sup>

- Enrichir le sol ↑ riche, remplacer les exportations des récoltes;
- Aucune référence scientifique n'a établi de lien de cause à effet entre exportations et besoins des cultures (Blackmer, 1997)
- Sol = banque, stratégie non rentable pour le producteur (Thomas, 1989);
- Rendement visé: relation statistique non-significative avec les besoins en N et P (Beauchamp, 1991);
- Démentie même par les résultats de l'AFEQ (Bruulsema, 1997)

# Niveaux de suffisance



# LA FERTILISATION C'EST ...

## AMÉLIORER OU ENTRETENIR LES


Propriétés physiques

Propriétés biologiques

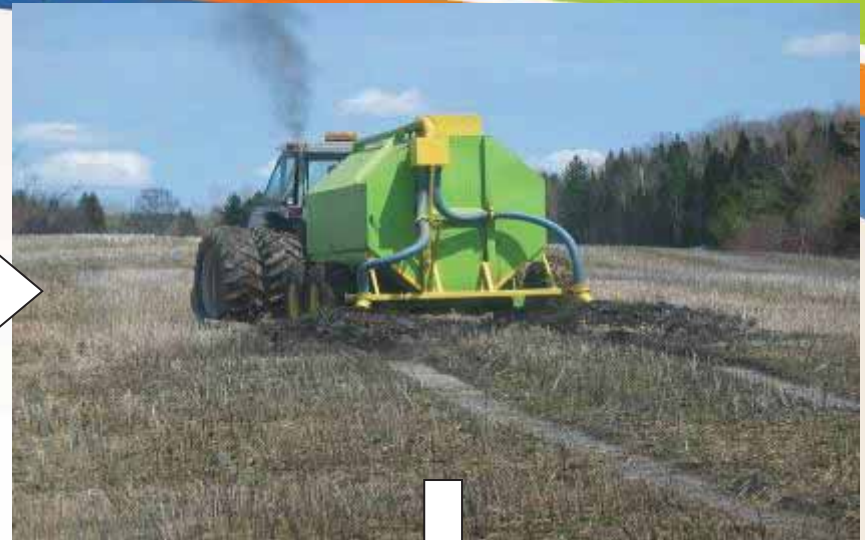
Propriétés chimiques

## DU SOL QUE L'ON CULTIVE

Agriculture, Pêcheries  
et Alimentation

Québec 

## Endommager la structure: exemple







Qui cherche des raisons pour des rendements décevants ?



# Effet de la compaction sur maïs: 77 % de réduction de la masse racinaire (St-Isidore, 5 juillet 2010)





# Pulvérisation de la structure: 60-97 % moins de racines de blé (Ste-Hénédine, 5 juin 2009)





# Les éléments essentiels (16), absorption par les racines

C

H

O

K

Ca

Mg

Nourriture (Éléments minéraux)

Eau

Air

N

P

S

B Cl Cu Fe Mn Mo Zn

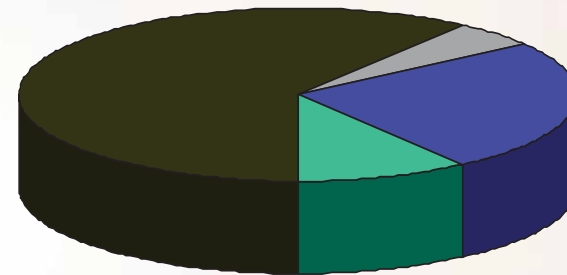
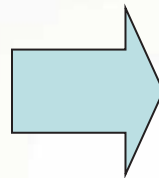
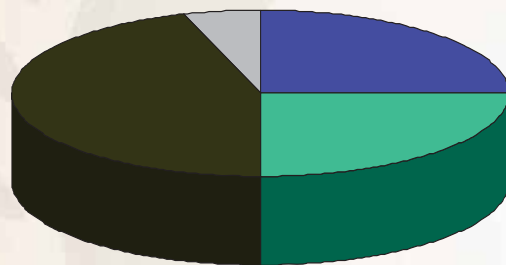
*Quelle est la carence la plus fréquente  
???*

## L'air dans le sol est essentiel

Sol bien structuré

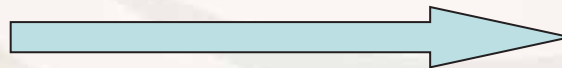


Structure endommagée



Air : 25 %

% !



10

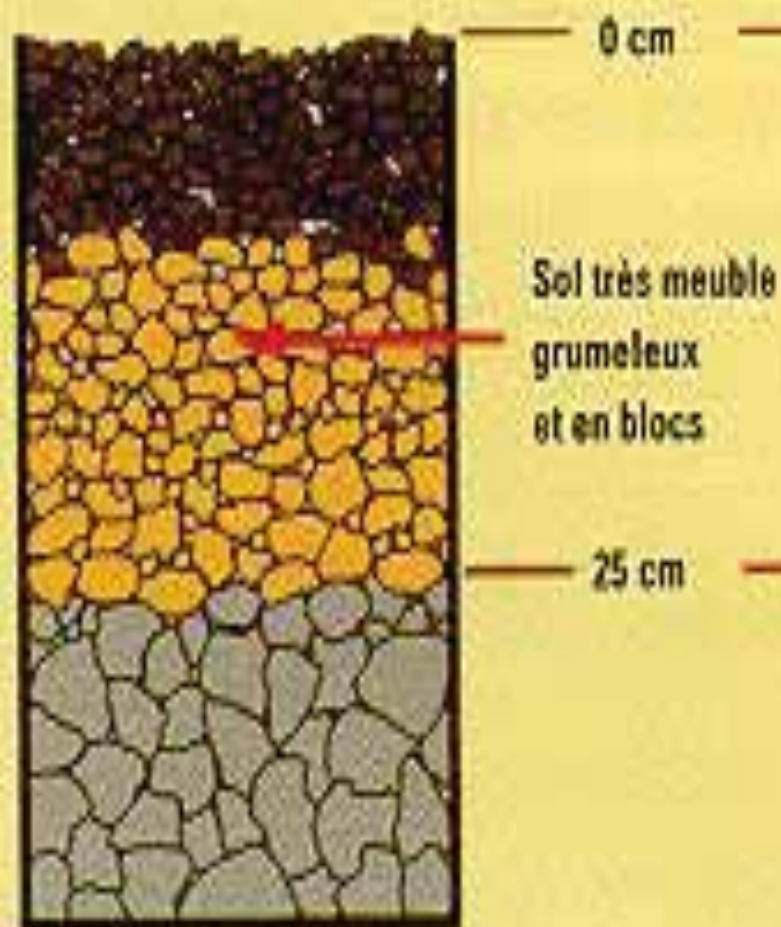


- Sans aération, pas de vie microbienne
- Pas de vie microbienne, pas de minéralisation
- Sol friable, aéré, bonne rétention d'eau =  
enracinement développé et fin, accès au P  
amélioré.

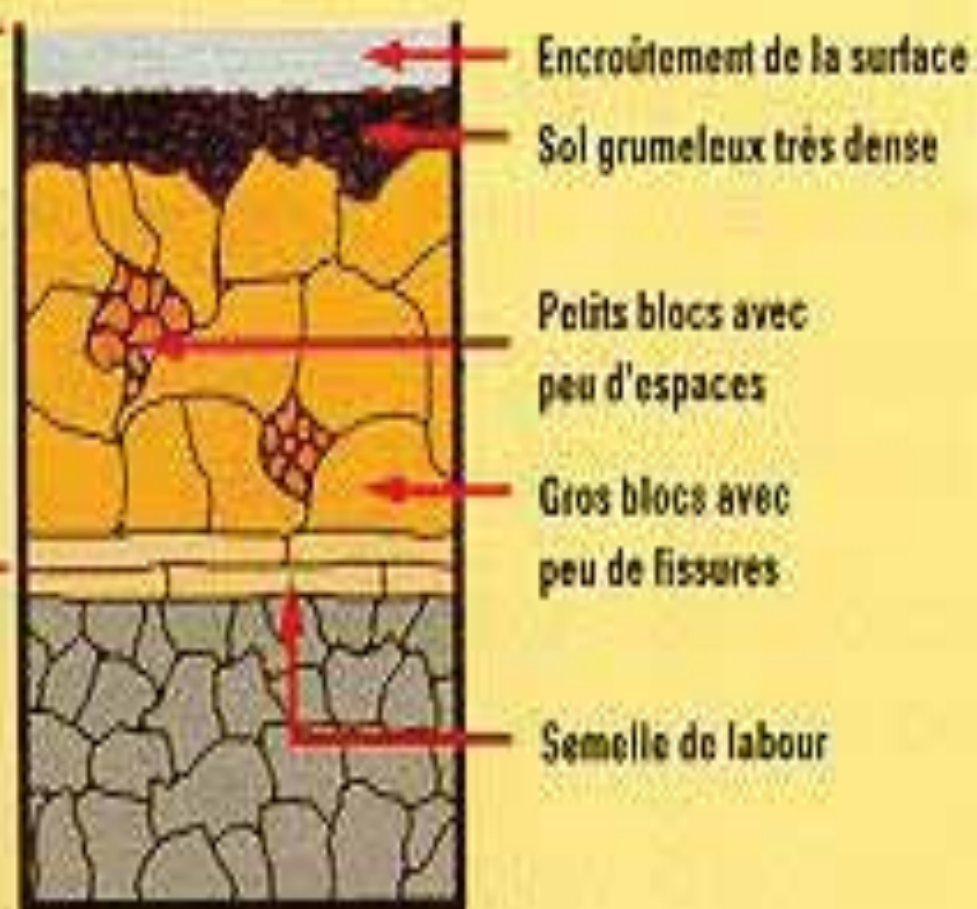
## STRUCTURE DU SOL

(2)

Lit de semence dans un loam  
limoneux bien structuré



Lit de semence dans un loam  
limoneux à mauvaise structure



# Formes chimiques

- Azote N: atmosphérique  $N_2$  ; organique  $N_{org}$  ; minérales **nitrates**  $NO_3^-$  **ammoniac**  $NH_4^+$
- Phosphore P; organique  $P_{org}$  ; minérales **phosphates**  $H_2PO_4^-$  et  $HPO_4^{2-}$
- Dans le sol: exprimé en kg P/ha; dans les engrais, en phosphate  $P_2O_5$ ;  $P \times 2,29 = P_2O_5$
- Potassium K; toujours minéral  **$K^+$** ; dans les engrais, en potasse  $K_2O$ ;  $K \times 1,2 = K_2O$

# Le phosphore dans la plante

- Transporteur d'énergie
- Fait partie de plusieurs substances essentielles: gènes, enzymes, etc
- Essentiel à la formation des grains et fruits en général: c'est là qu'on le retrouve

## Comment le P entre dans la plante

- Sites d'échange => solution du sol => racinelles
- Peu de P disponible dans la solution
- Voyage peu
- Demande de l'énergie à la plante
- Le N et le K: par l'entrée d'eau (« paille »); le P: faut aller le chercher
- La culture en absorbe tout au long de la saison



# Phosphore: signes de carence

- Mauvais enracinement, racines faibles
- Ralentissement de la croissance
- Retards dans le bourgeonnement, la floraison, la maturité
- Le feuillage prend une coloration violette



## Sources et méthodes d'apport du $P_2O_5$

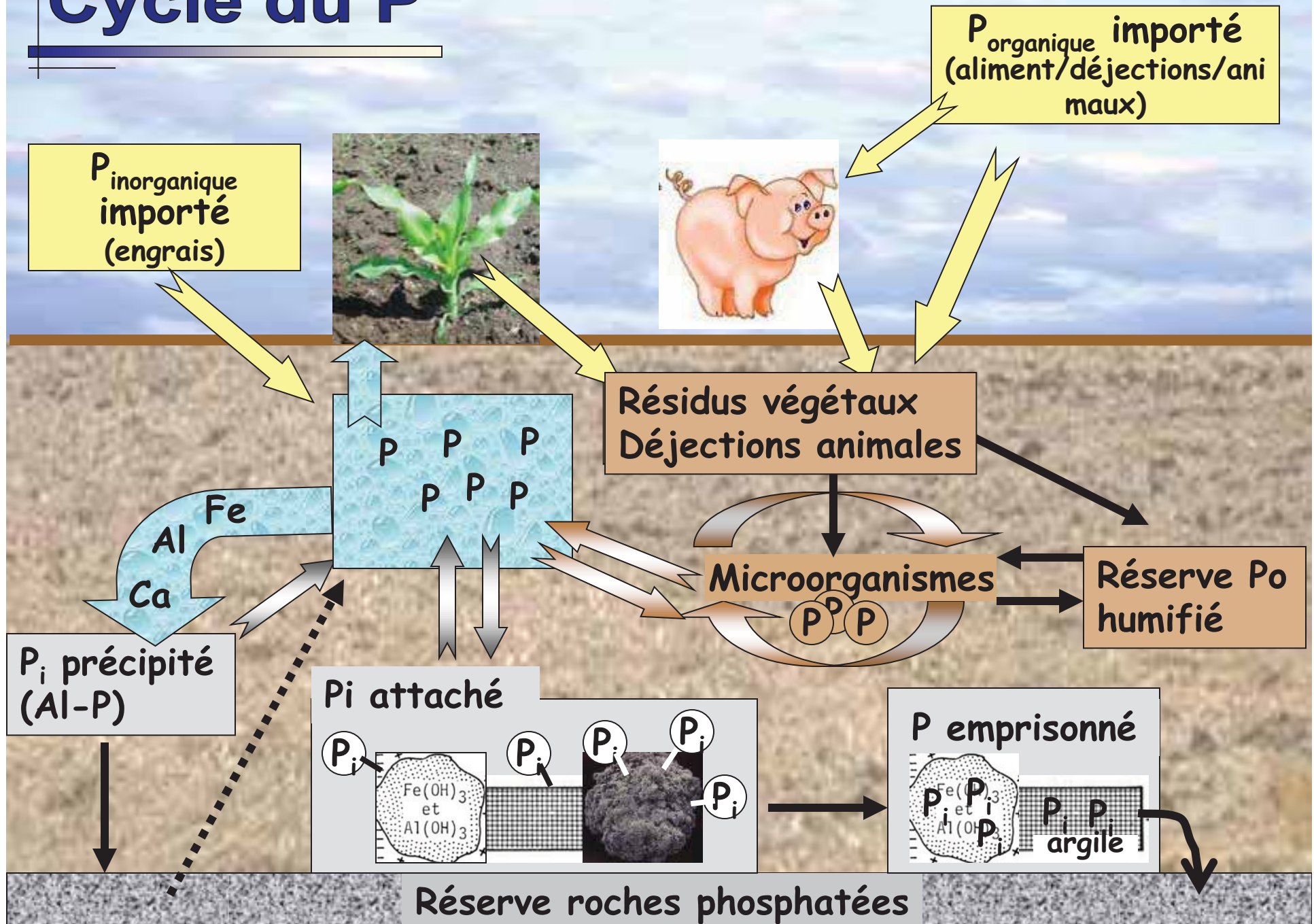
<i>Pour 100 kg <math>P_2O_5</math>/ha</i>	18-46-0 à la volée	18-46-0 2" X 2"	Fumier de bovins
Dosage requis	212 kg /ha	212 kg/ha	25 T/ha
Absorption (kg/ha)	25	10	10
Augmentation P disponible (analyse)	3	3	12
Résiduel	72	87	78

## Compositions moyennes de différents engrais de ferme

	M.S.	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	C/N
	(%)	(kg/T)	(kg/T)	(kg/T)	
Fumier de bovins laitiers	21	6	4	6	17
Lisier de bovins laitiers	7	3	2	4	11
Lisier de porcs	3	3	3	2	4
Fumier de poulets à griller	70	26	25	16	15



# Cycle du P





# P dans le sol: un système dynamique

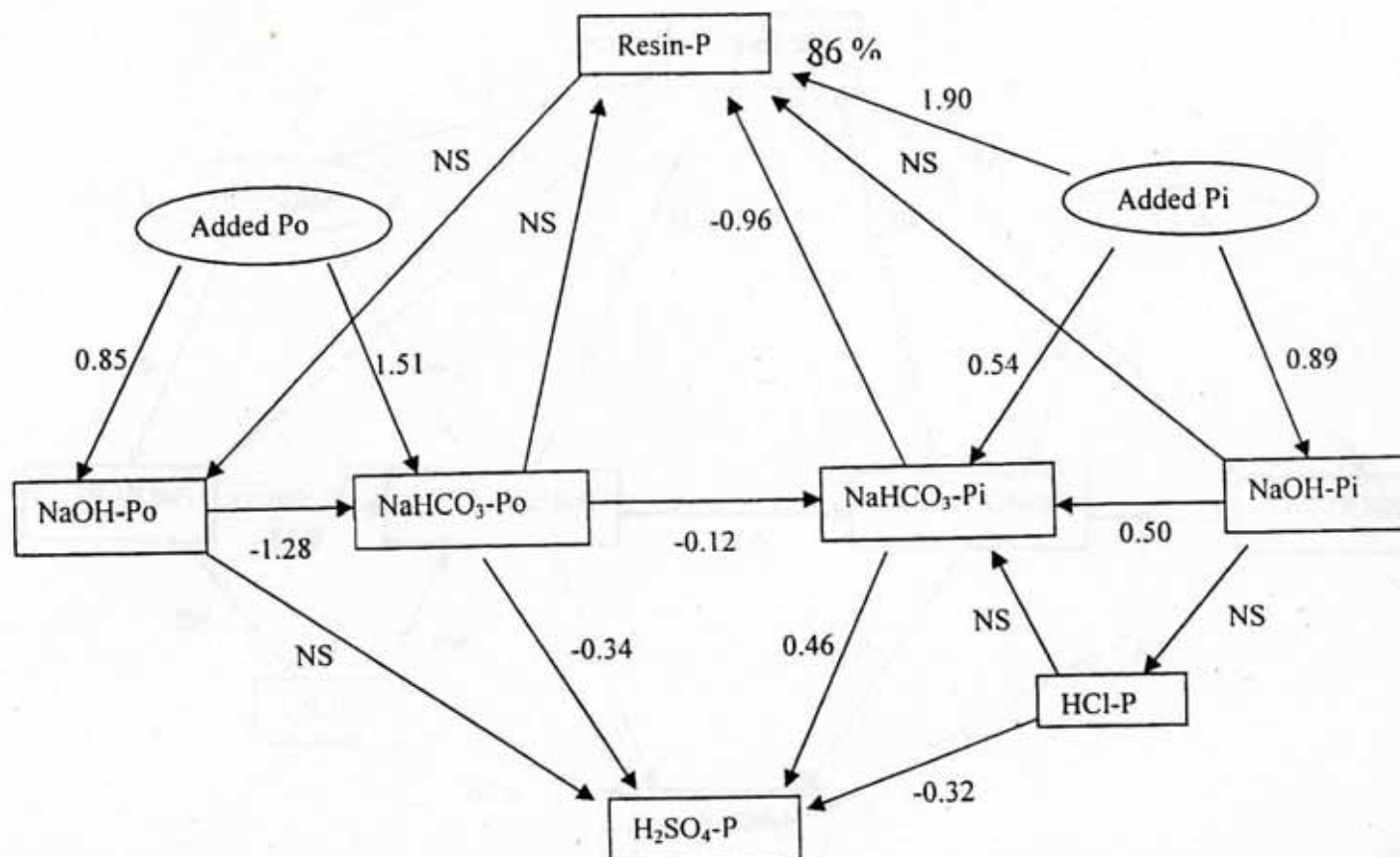
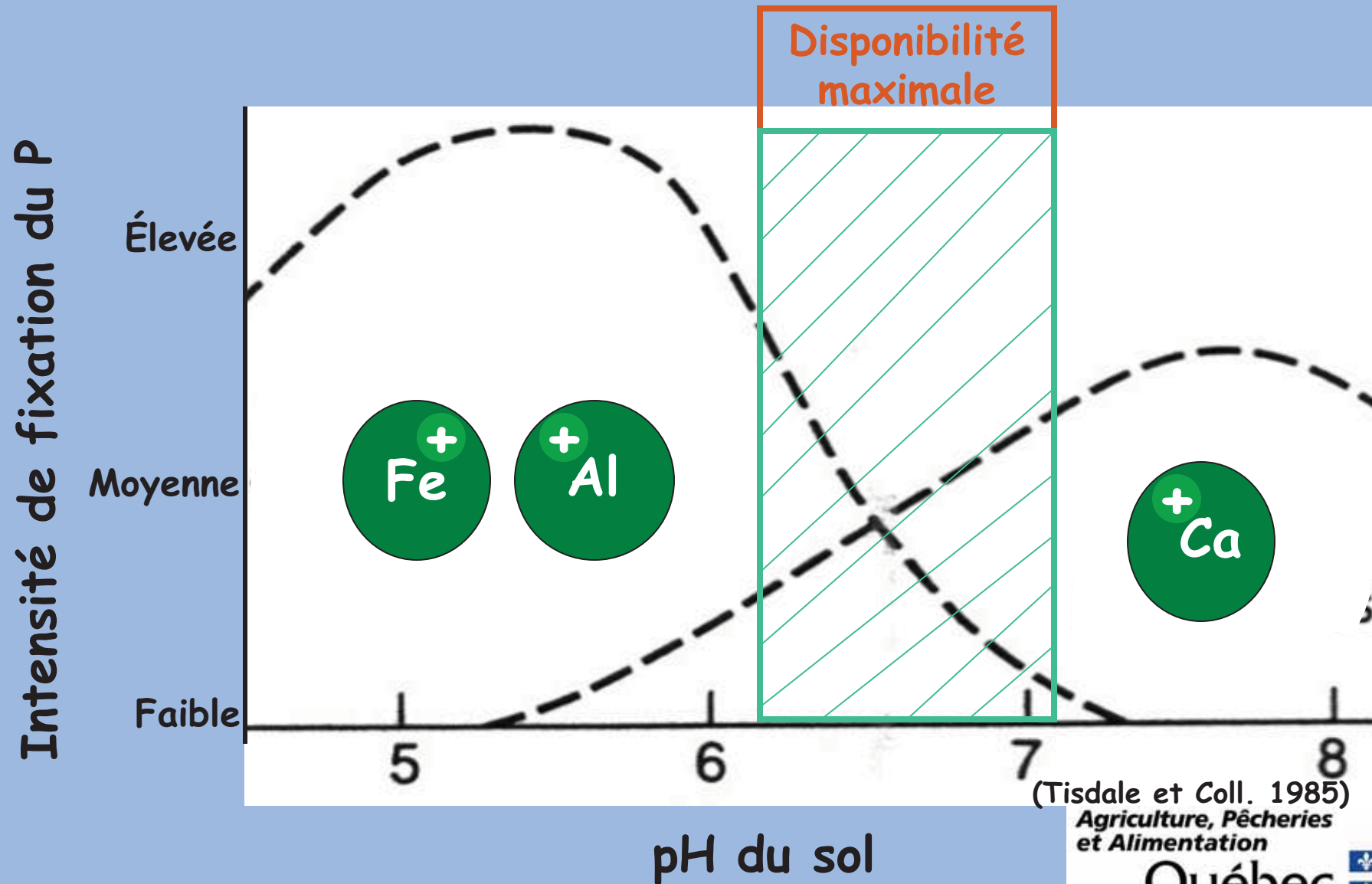


Fig. 2. Relationships between P pools in the 0- to 30-cm soil layer under dairy manure systems (M-LDM), shown as non-normalized path coefficients on a Labarre silty clay. (The percentage value indicates the partial correlation between added  $P_i$  and resin-P. NS, not significant at  $P \leq 0.05$ ).

Zheng, Z., Simard, R. R., Lafond, J. and Parent, L. E. 2002. Pathways of soil phosphorus transformations after 8 years of cultivation under contrasting cropping practices. Soil Sci. Soc. Am. J. 66 : 99-1007

# Facteur déterminant: pH



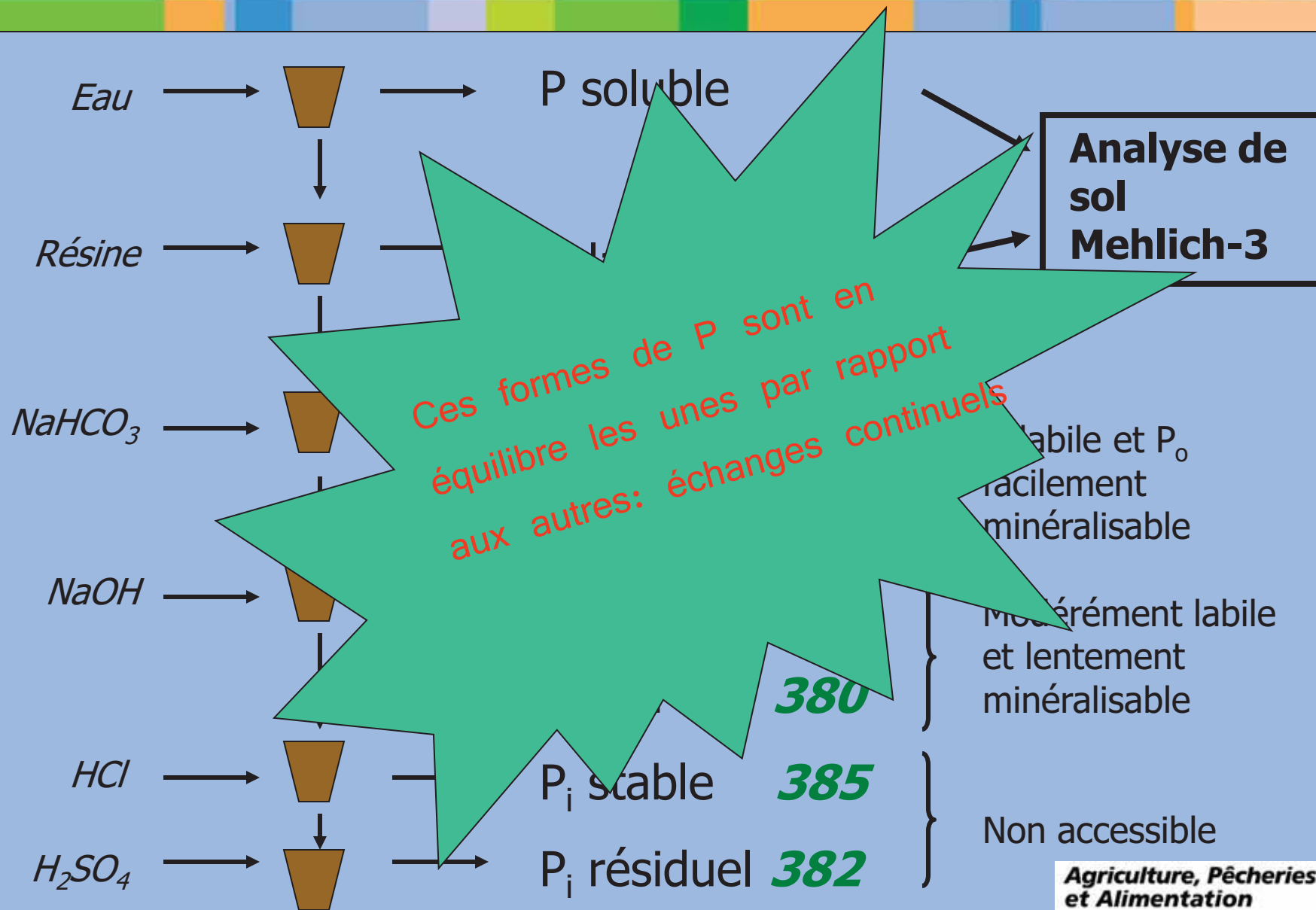
(Tisdale et Coll. 1985)

Agriculture, Pêcheries  
et Alimentation

Québec



# P du sol: extraction séquentielle de Hedley

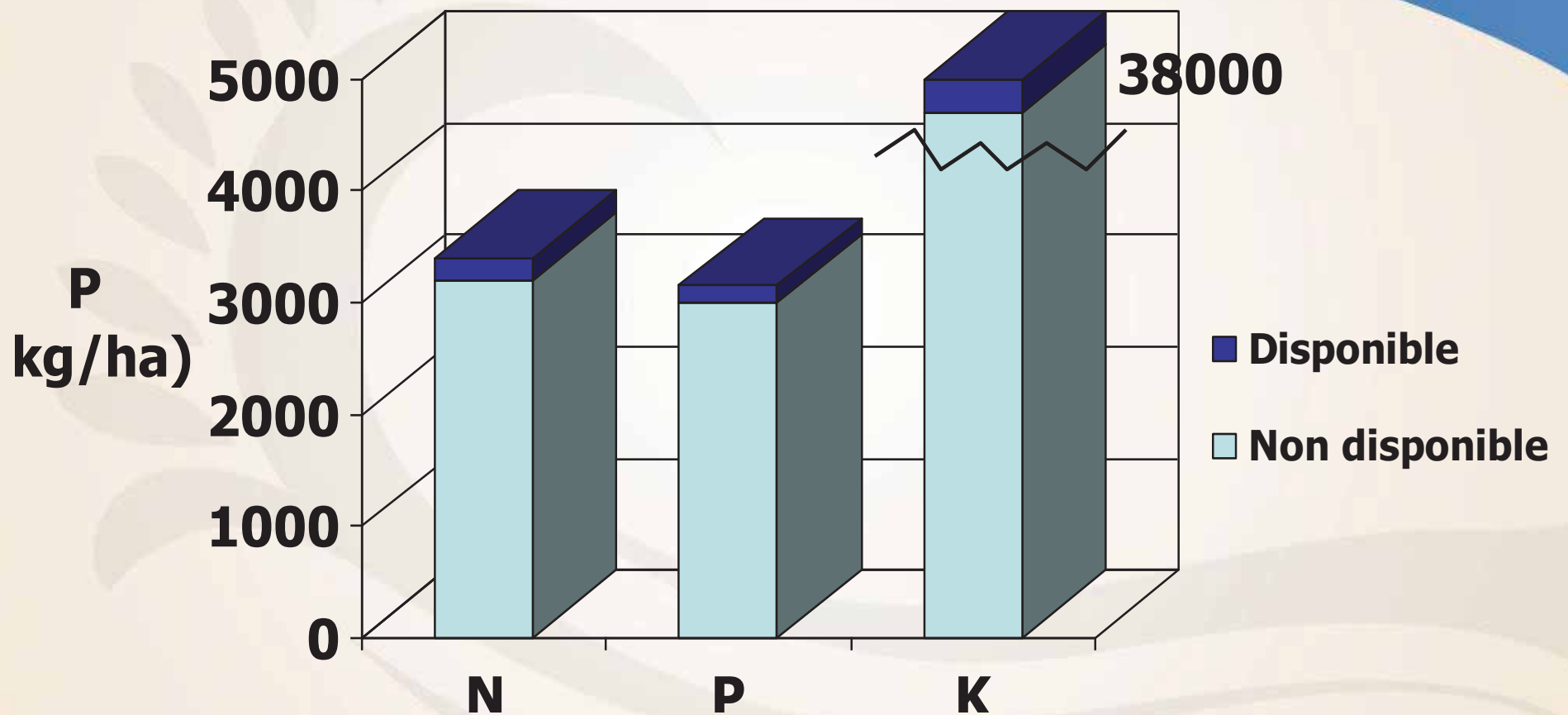


***P total = 2000 kg/ha***

Agriculture, Pêcheries  
et Alimentation

Québec

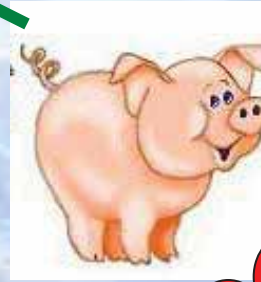
# Disponible vs total





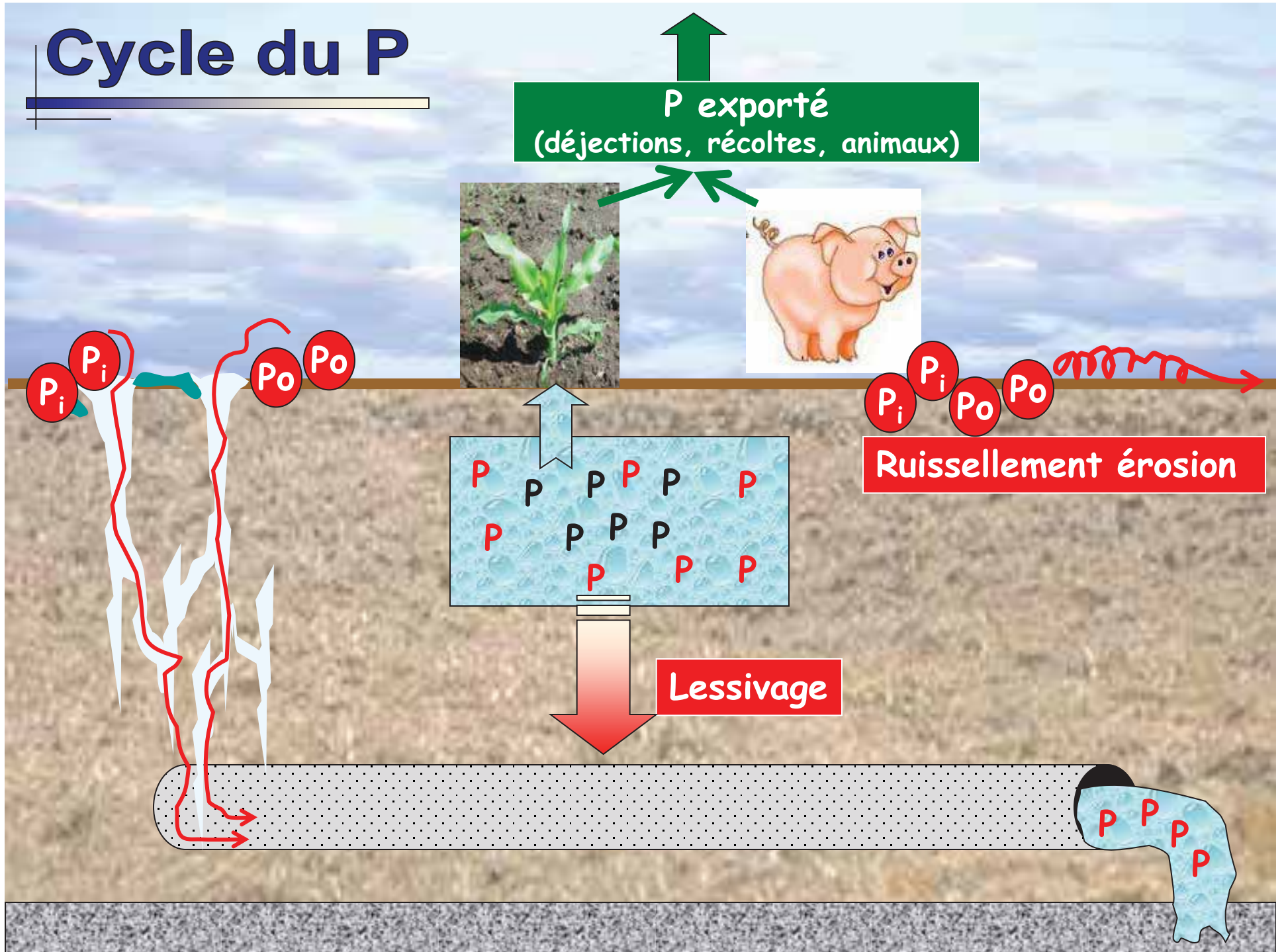
# Cycle du P

P exporté  
(déjections, récoltes, animaux)

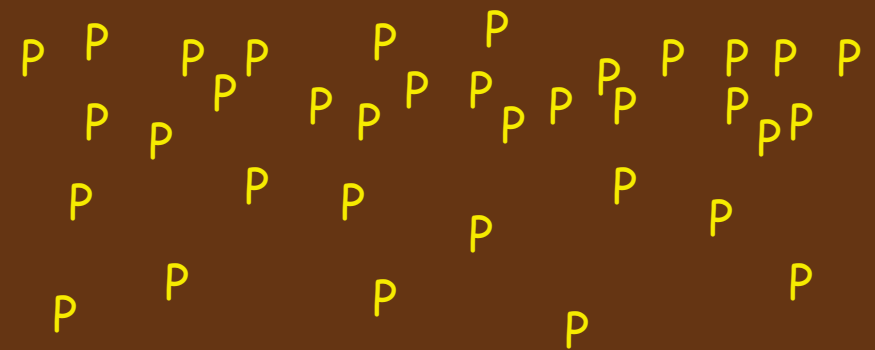
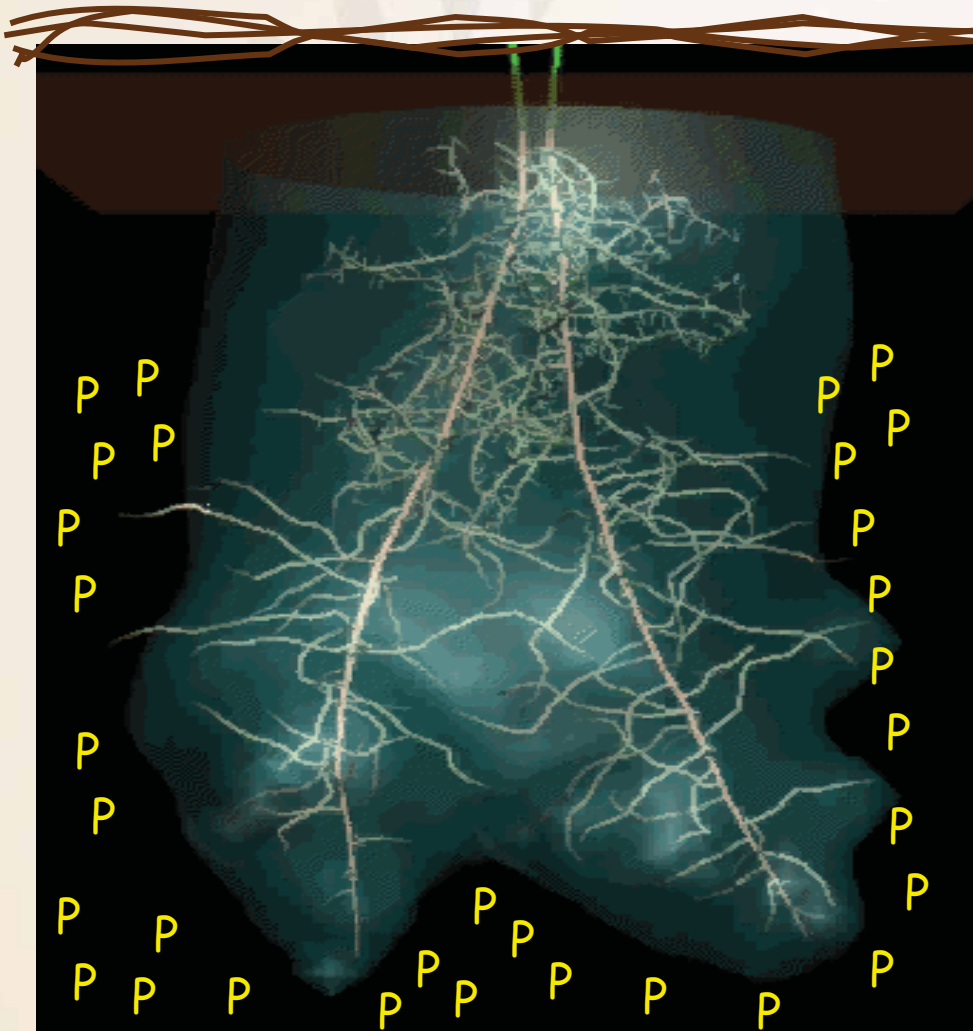


Ruissellement érosion

Lessivage



# Immobilité du P



- ❖ Zone dépourvue de P (vidée)
- ❖ En strates

# Le P du sol, comme l'eau d'un puits



Réserve au 1er janvier 2004	1000 gallons	1000 gallons
Consommation sur 7 jours	500 gallons	300 gallons
Réserve au 8 janvier 2004	500 gallons ?	700 gallons ?

***NON ! Ça dépend du débit...***



# Efficacité et absorption

➤ Absorption: % (kg absorbé/kg appliqué):

N	10 à 50 %
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	5 à 30 %
K <sub>2</sub> O	20 à 50 %


➤ Efficacité : valeur fertilisante par rapport à...

Exemple: si ça prend 100 kg N/ha d'engrais pour 8 t/ha de foin et que, pour le même rendement, ça prend 150 kg N/ha sous forme de fumier, efficacité N du fumier = 66 % (100/150)

<i>Engrais de ferme</i>	vs	<i>Engrais minéraux</i>
N	<	N
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
K <sub>2</sub> O	=	K <sub>2</sub> O



# Phosphore et travail réduit (5)

- ❖ Fixation  : effet protecteur de la m.o.
- ❖  $P_{org}$  plus mobile
- ❖ Lien rapide avec les mycorhizes
- ❖ Minéralisation nette accrue
- ❖ Enracinement plus fin
- ❖ Effet travail du sol sur  $[P-M3]_{sol} \gg$  effet  
« exportations » : Zheng et al., 2001
- ❖ *Le sol fournira davantage de P*

## Qu'est-ce qui affecte l'évolution du P-M3 dans le sol ? (2)

1. La teneur initiale en P-M3 (et P total)
2. Les apports
3. Le pH
4. La fixation (Al, Fe) et la rétrogradation (Ca)
5. La qualité de la structure
6. L'activité microbienne: minéralisation du Porg
7. La rotation et son effet sur les mycorhizes
8. Le travail du sol
9. Les propriétés du sous-sol
10. Les exportations

90	}	Septembre 2005	$[P]_{\text{sol}}$ kg/ha	90
0		Apports $P_2O_5$		0
0		Récolte : exportations kg $P_2O_5$ /ha		40
80		Septembre 2006	$[P]_{\text{sol}}$ kg/ha	76
+ 105		Mai 2007 Épandage 35 m <sup>3</sup> /ha		+105
100		Juillet 2007	$[P]_{\text{sol}}$ kg/ha	96

Solubilisation	+ 53	Fixation	- 68
Mycorhizes	+ 45	Immobilisation	- 46
Minéralisation	+ 28	Rétrogradation	- 27
Sous-sol	+ 15	Lessivage	- 10

# Besoin en phosphore d'un plant de maïs au cours de saison



Symptômes de carence  
plus probables en  
début de croissance

Croix

Soies

P

Matière sèche

% du P total absorbé

0 25 50 75 100 115

Jours après semis





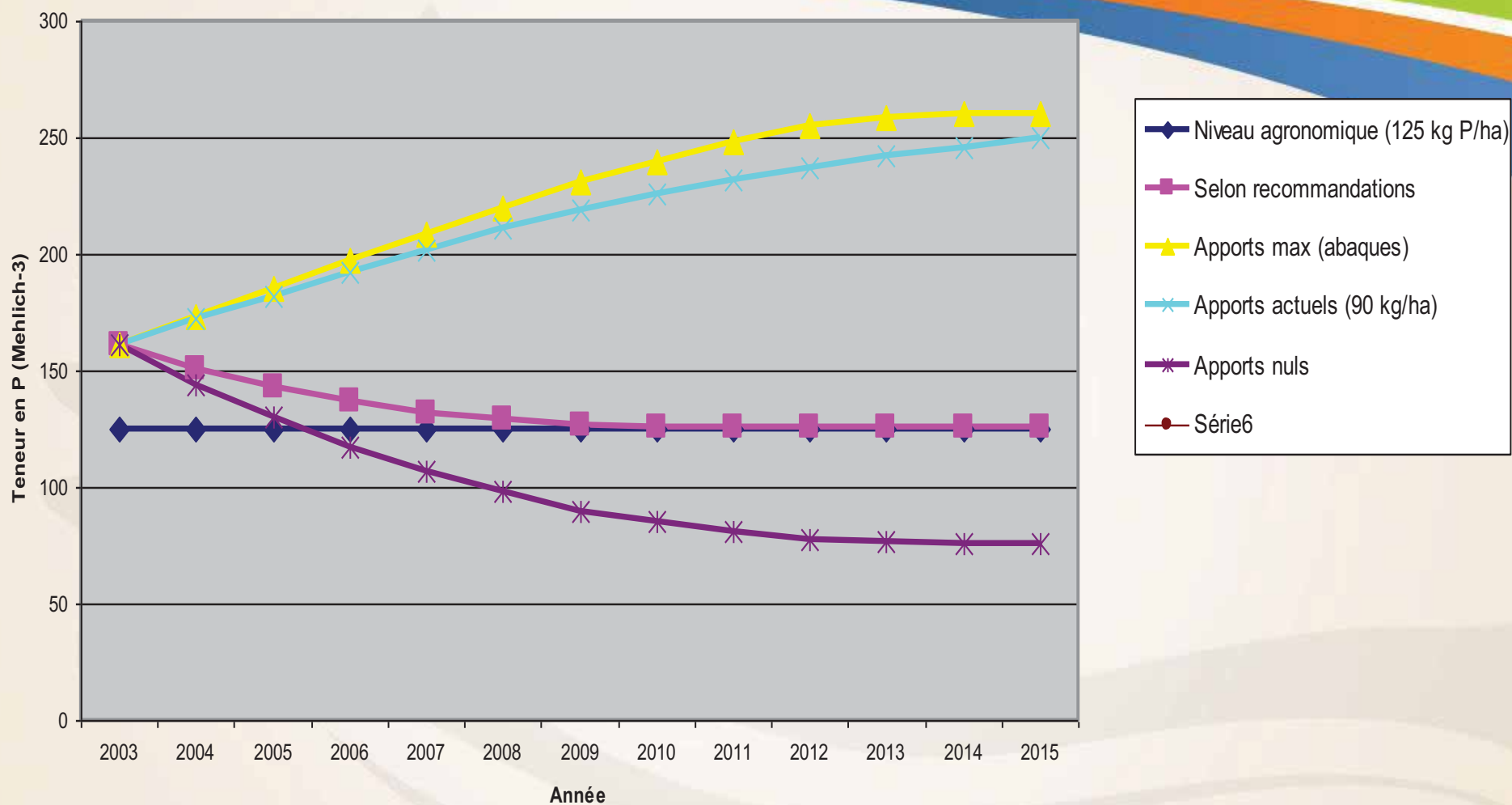
# Évolution de la $[P]_{\text{sol}}$ suite à des cultures successives sans apports $P_2O_5$

Série de sol	P initial	P/orge	P/maïs	P/dactyle	Diminution P
----- kg P/ha-----					
Pontiac	116	103	94	90	26
Rideau	132	116	105	95	37
Ste-Rosalie	157	148	123	121	36
St-Urbain	213	188	175	164	49
Achigan	401	376	361	358	43
Lanoraie	513	475	470	448	65

Baisse/culture	21	13	9
Prélèvement	33	58	50

***Tiré de Giroux, M. 2002. Présentation au Colloque sur le phosphore,  
Ordre des Agronomes du Québec***

# Évolution hypothétique de la teneur en P du sol selon différents scénarios



# Conclusion

- La fertilité de nos sols est limitée la plupart du temps par ce qu'il y a sous la surface, les propriétés physiques invisibles sur l'analyse de sol;
- Le sol est un organisme vivant, et on est responsable de sa santé; quel est l'état de santé de vos sols ? Sont-ils en bonne condition physique ?
- Il faut relativiser l'importance des différents facteurs, dont la richesse du sol: la chimie n'explique pas tout (= « prise de sang » en médecine);
- Des apports modérés et réguliers d'amendements organiques peuvent fournir suffisamment de  $P_2O_5$  pour maintenir la fertilité des sols au niveau optimal (35-45 kg  $P_2O_5$ /ha/an)