



Le phosphore dans le sol: comprendre comment ça fonctionne

Louis Robert, agr.

MAPAQ Chaudière-Appalaches

Beaupré, 24 février 2011

*Agriculture, Pêches
et Alimentation*

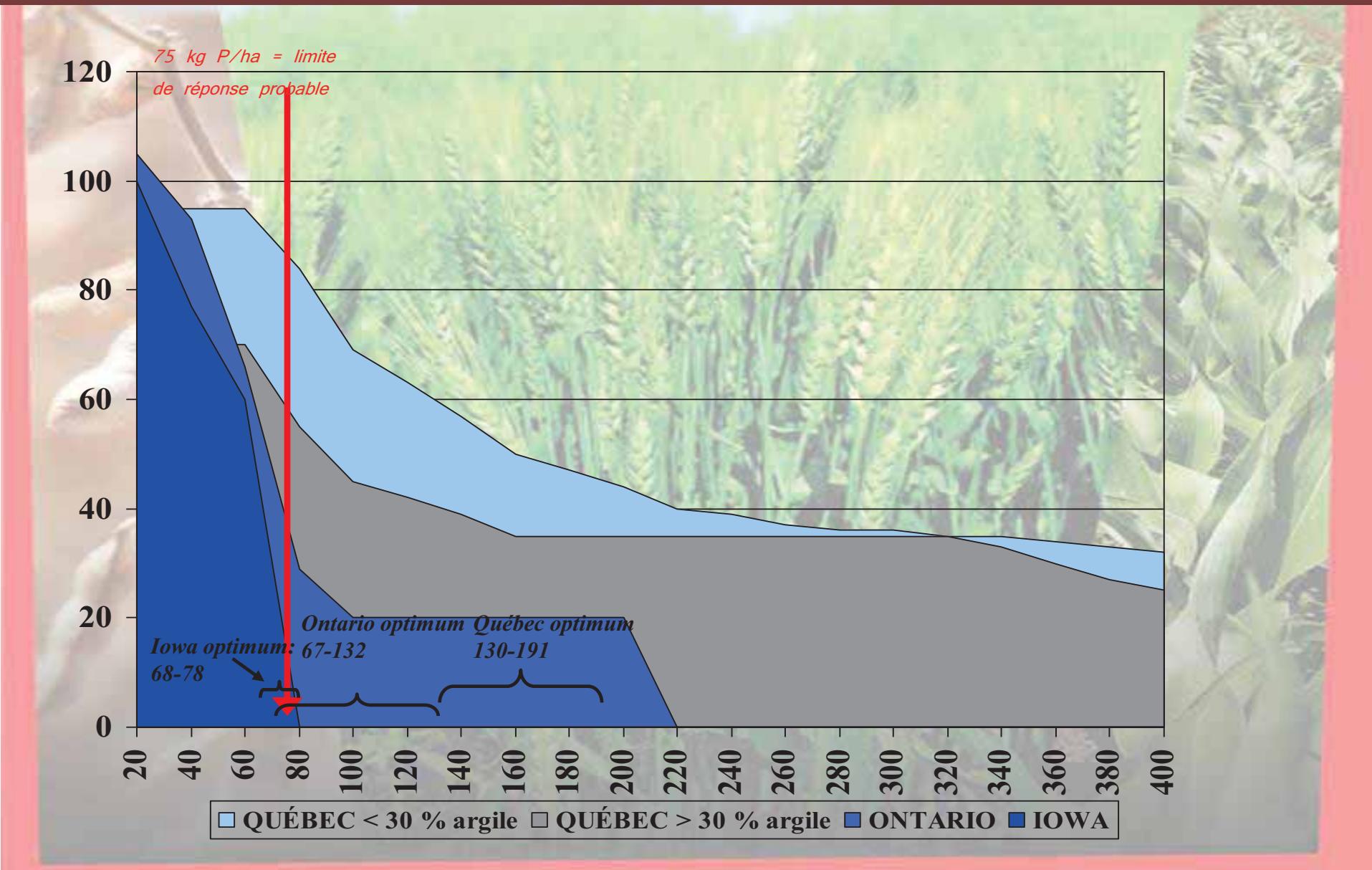
Québec

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 engrains (minéraux et organiques) repose de moins en moins sur l'agronomie : équilibre cheptel / superficies, P dans l'alimentation animale, besoins des cultures.

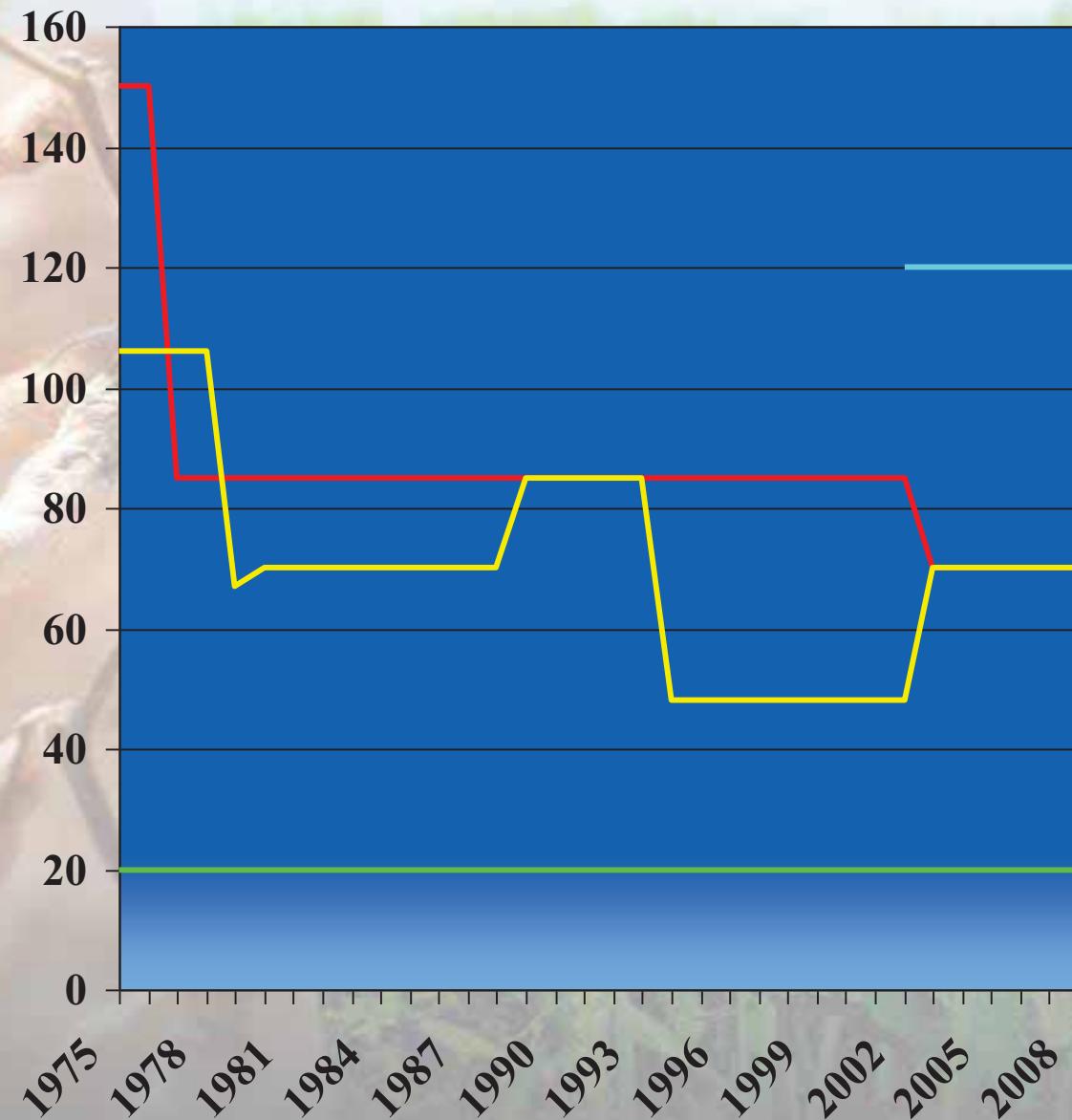
<i>Sources de P_2O_5</i>	<i>Références agronomiques</i>
Aliments pour animaux	Ratio cheptel/superficie; % P (NRC); REA; besoins des cultures (CRAAQ); etc
Engrais minéraux	Guide CRAAQ

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.)



— AFEQ
— MAPAQ/CPVQ/CRAAQ + AFEQ
— Ontario
— REA

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 réduite 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* »

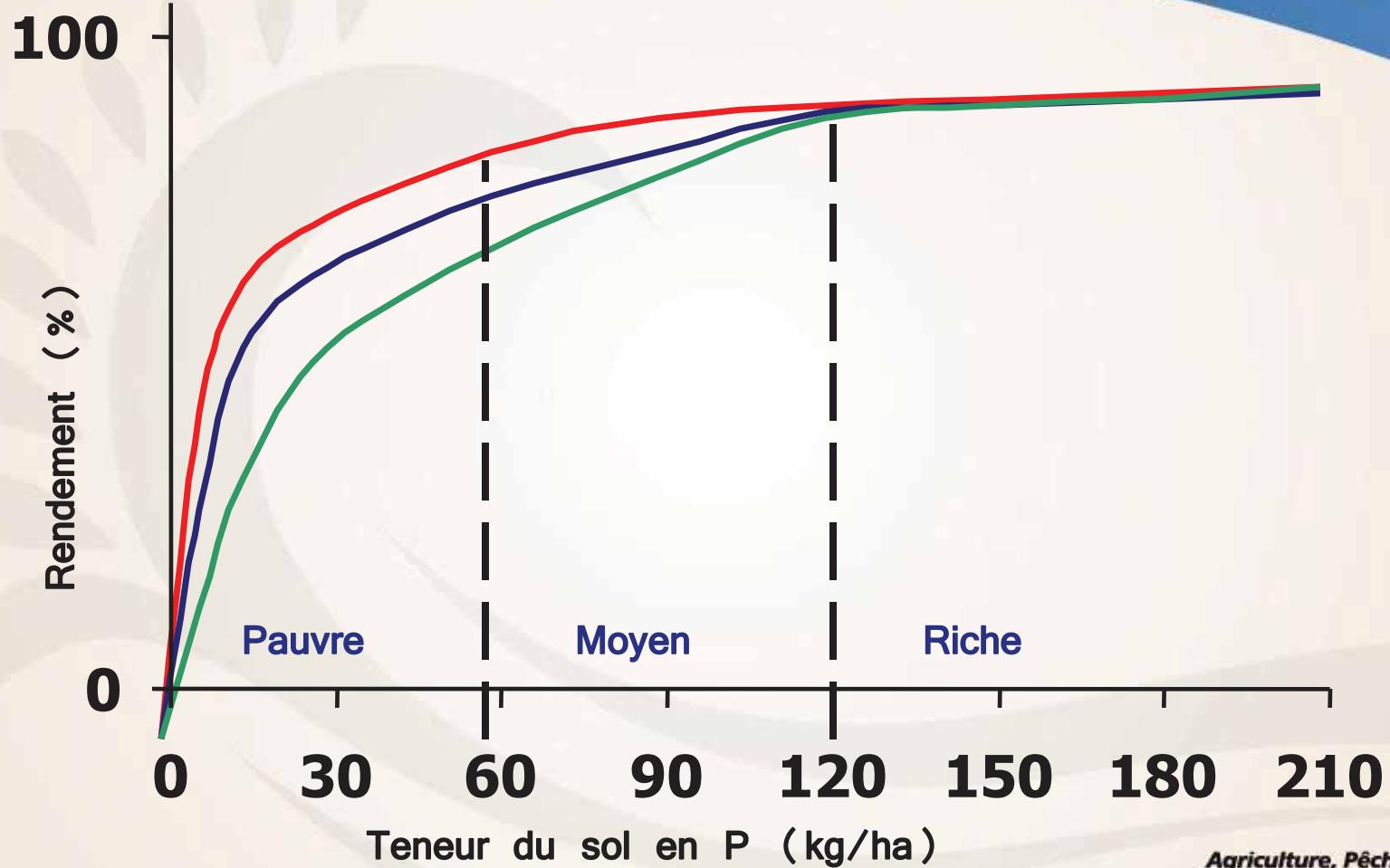
La fertilisation: l'heure juste

- 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: O₂
- Dans le contexte actuel, la fertilisation minérale a moins d'effet sur les rendements que sur la rentabilité des cultures;

Enrichissement et entretien (1)

- Enrichir le sol \uparrow 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

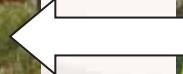
Propriétés physiques

Propriétés biologiques

Propriétés chimiques

DU SOL QUE L'ON CULTIVE

Endommager la structure: exemple





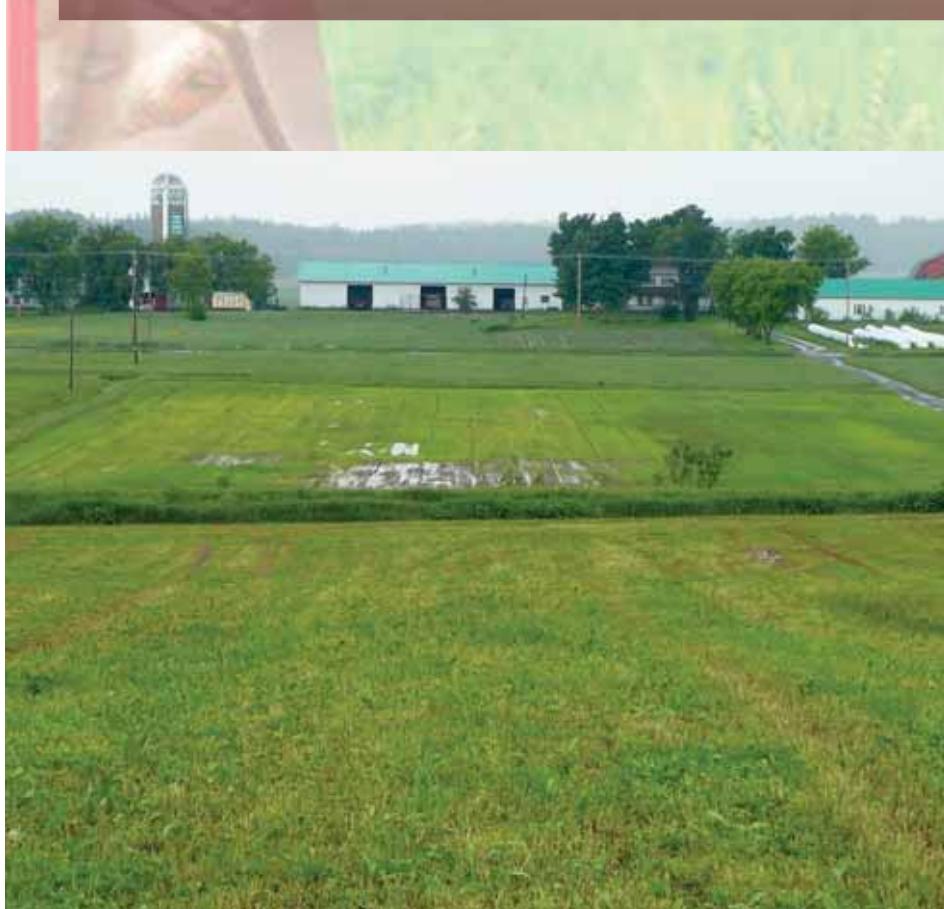
Qui cherche des raisons pour des rendements décevants ?

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)





Québec 



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
???*

Agriculture, Pêcheries
et Alimentation

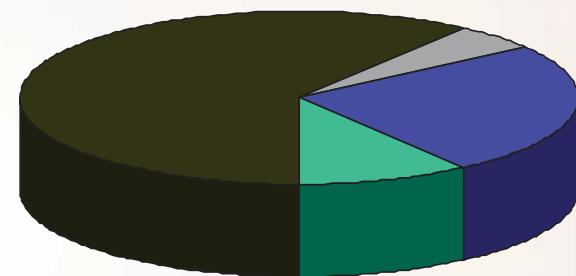
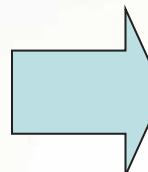
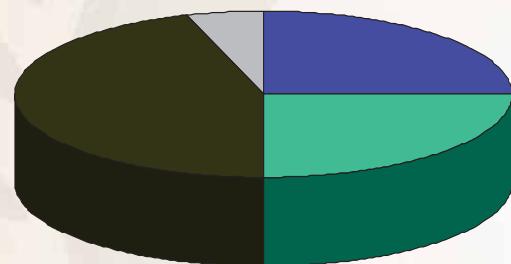
Québec

L'air dans le sol est essentiel

Sol bien structuré



Structure endommagée



- Matière minérale
- Matière organique
- Eau
- Air

Air : 25 %



10

% !

Importance de la structure de sol

(2)

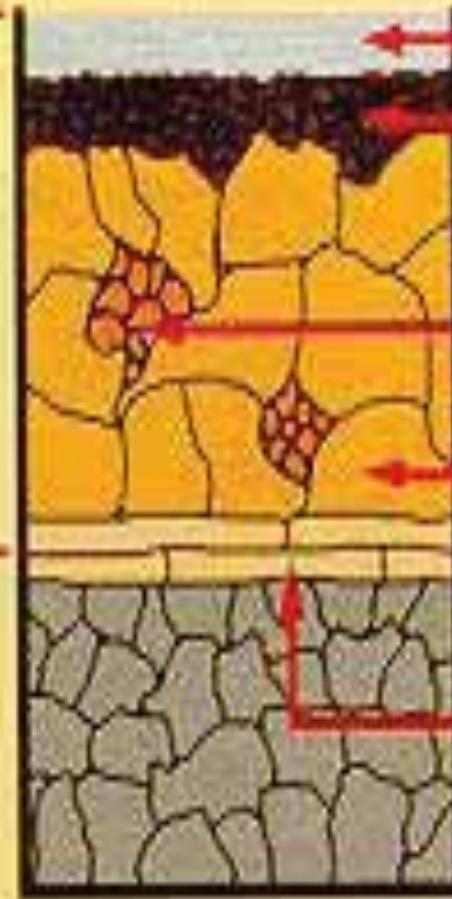
- Sans aération, pas de vie microbienne
- Pas de vie microbienne, pas de minéralisation
- Sol friable, aéré, bonne rétention d'eau =
enracinement développé et fin, accès au P
amélioré.

Lit de semence dans un loam limoneux bien structuré



Sol très meuble
grumeleux
et en blocs

Lit de semence dans un loam limoneux à mauvaise structure



Encroûtement de la surface
Sol grumeleux très dense
Petits blocs avec
peu d'espaces
Gros blocs avec
peu de fissures
Semelle de labour

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 => radicelles
- 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



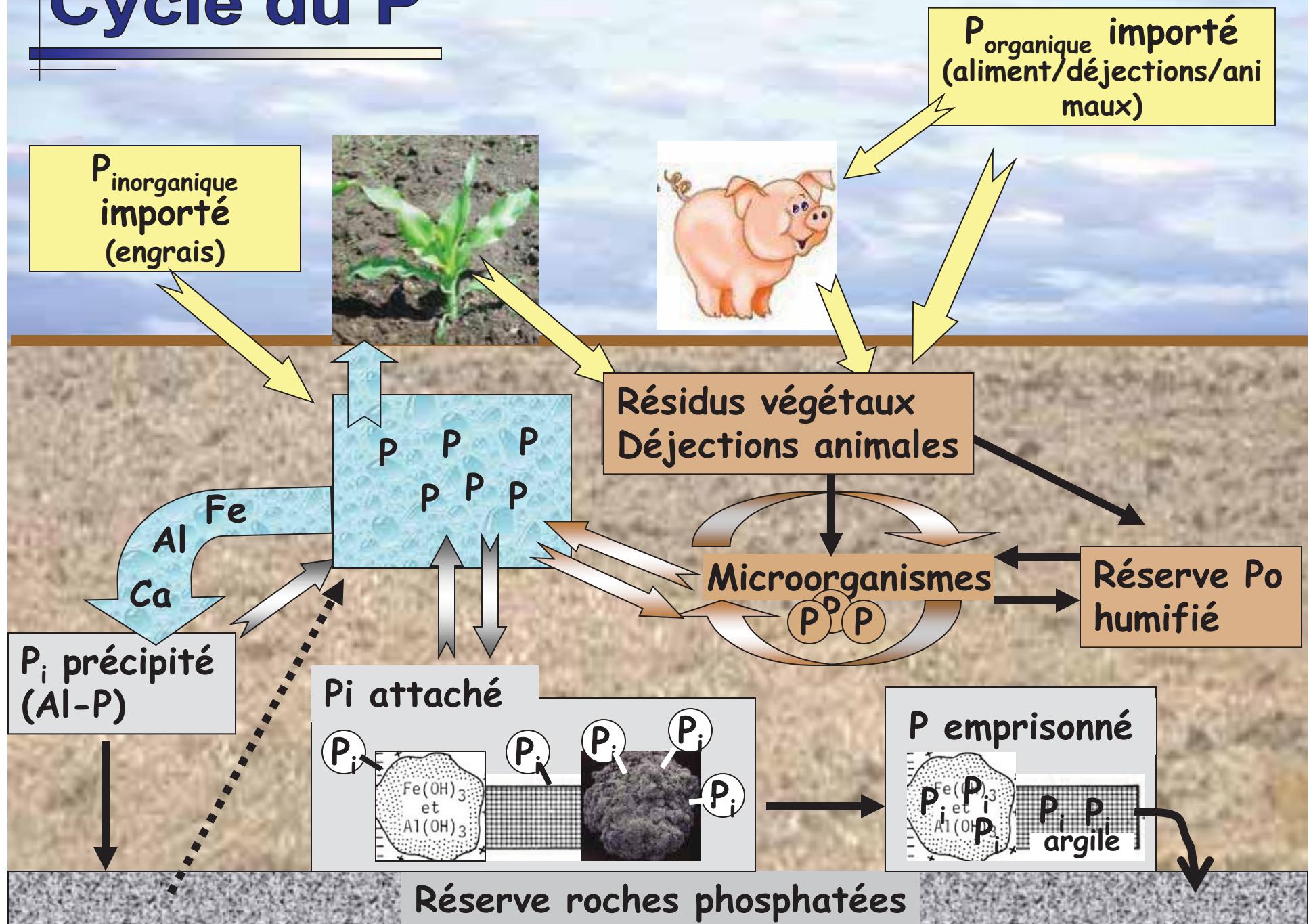
Sources et méthodes d'apport du P₂O₅

<i>Pour 100 kg P₂O₅/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 ₂ O ₅	K ₂ 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

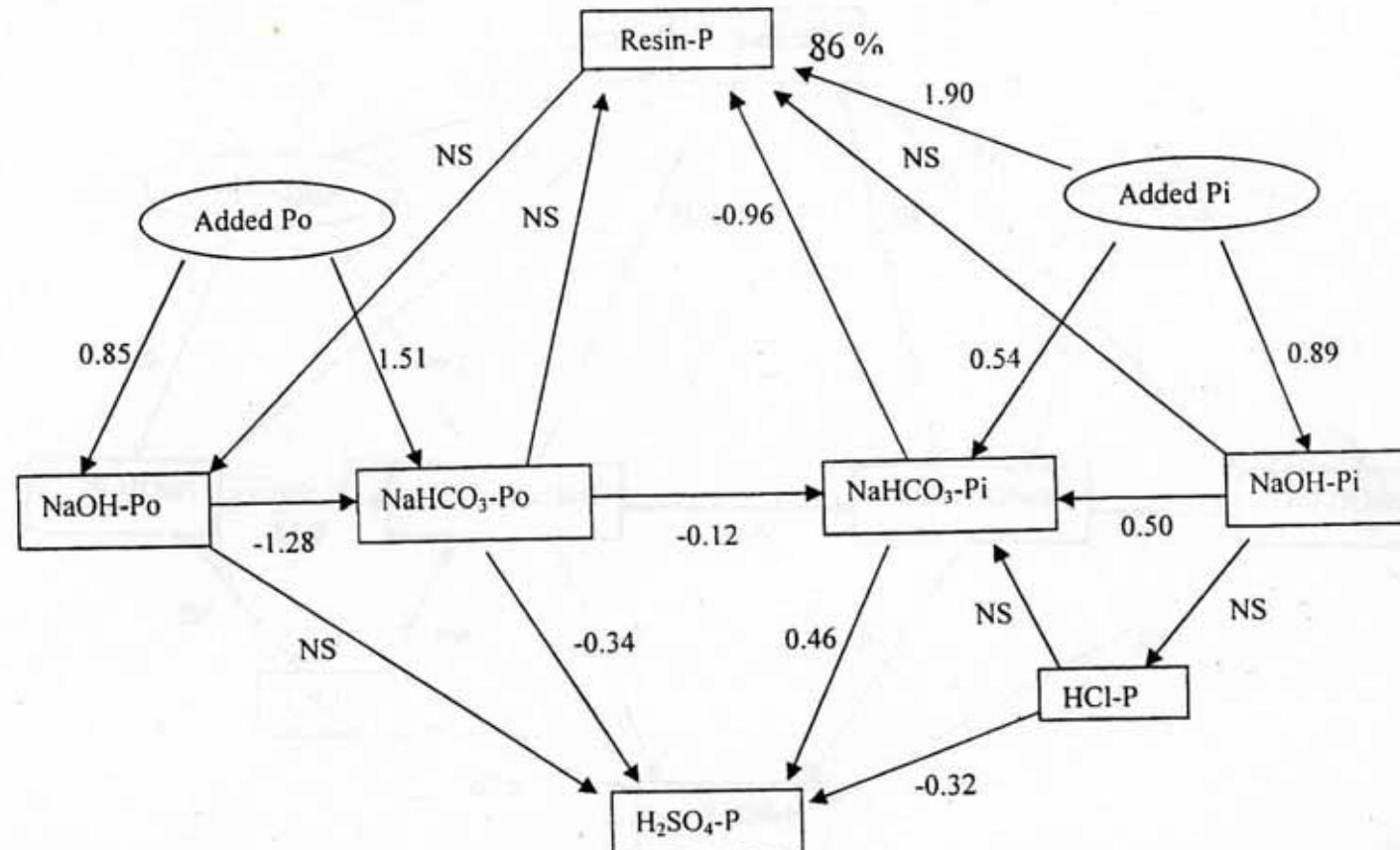
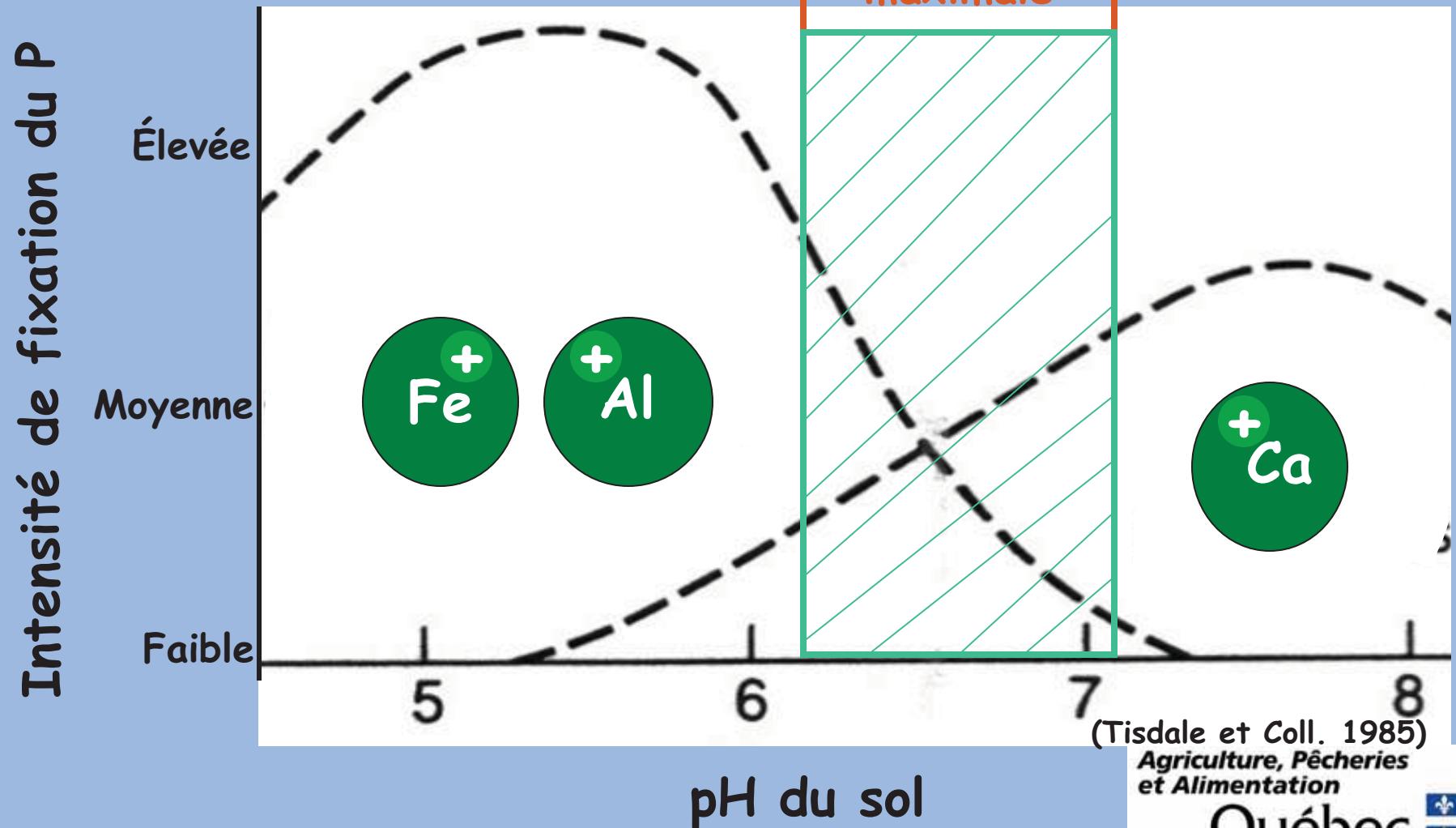


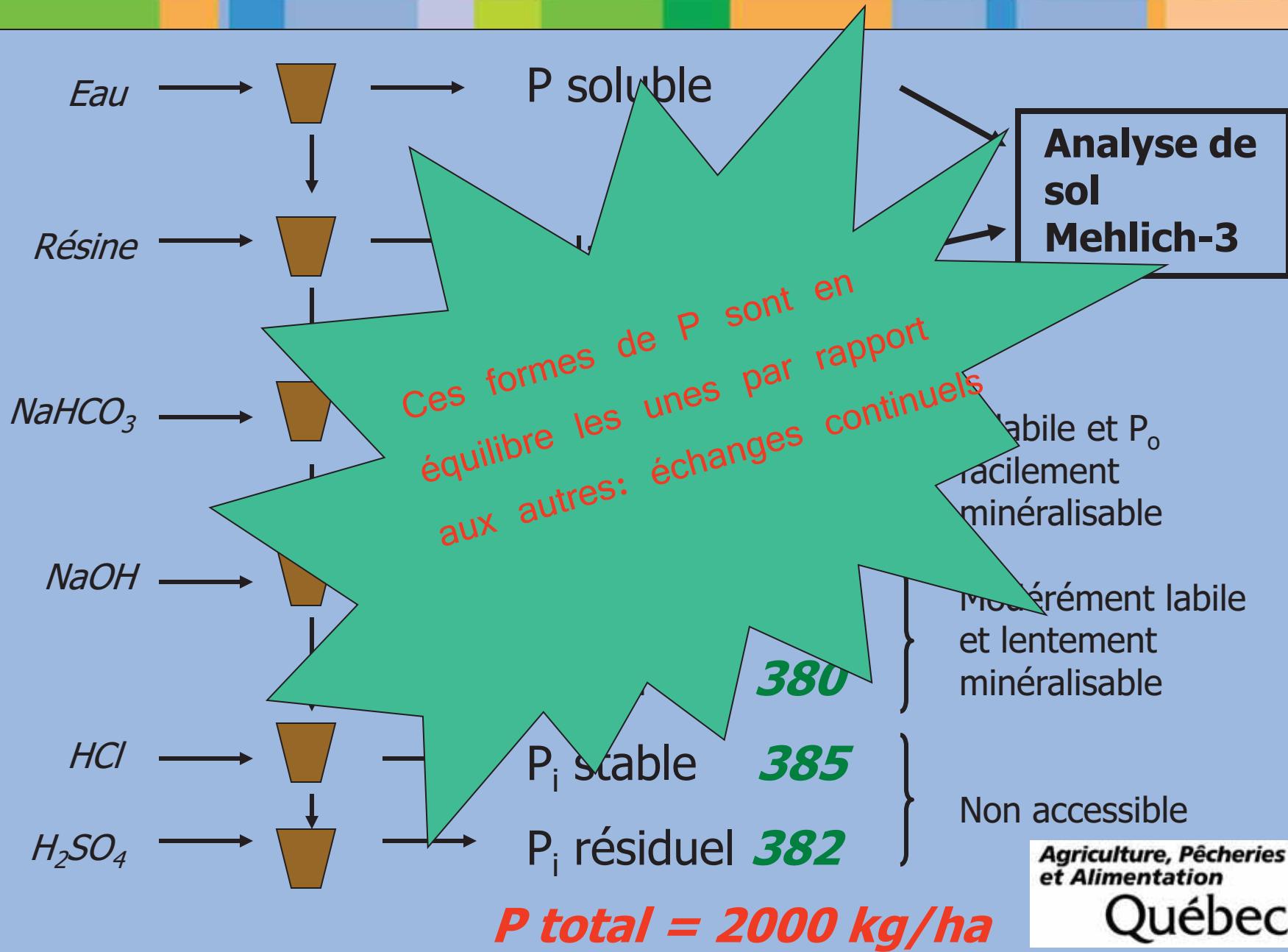
Fig. 2. Relationships between P pools in the 0- to 30-cm soil layer under dairy manure systems (M-LDM), shown as non-normalized path coefficients on a Labarre silty clay. (The percentage value indicates the partial correlation between added P_i and resin-P. NS, not significant at $P \leq 0.05$).

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

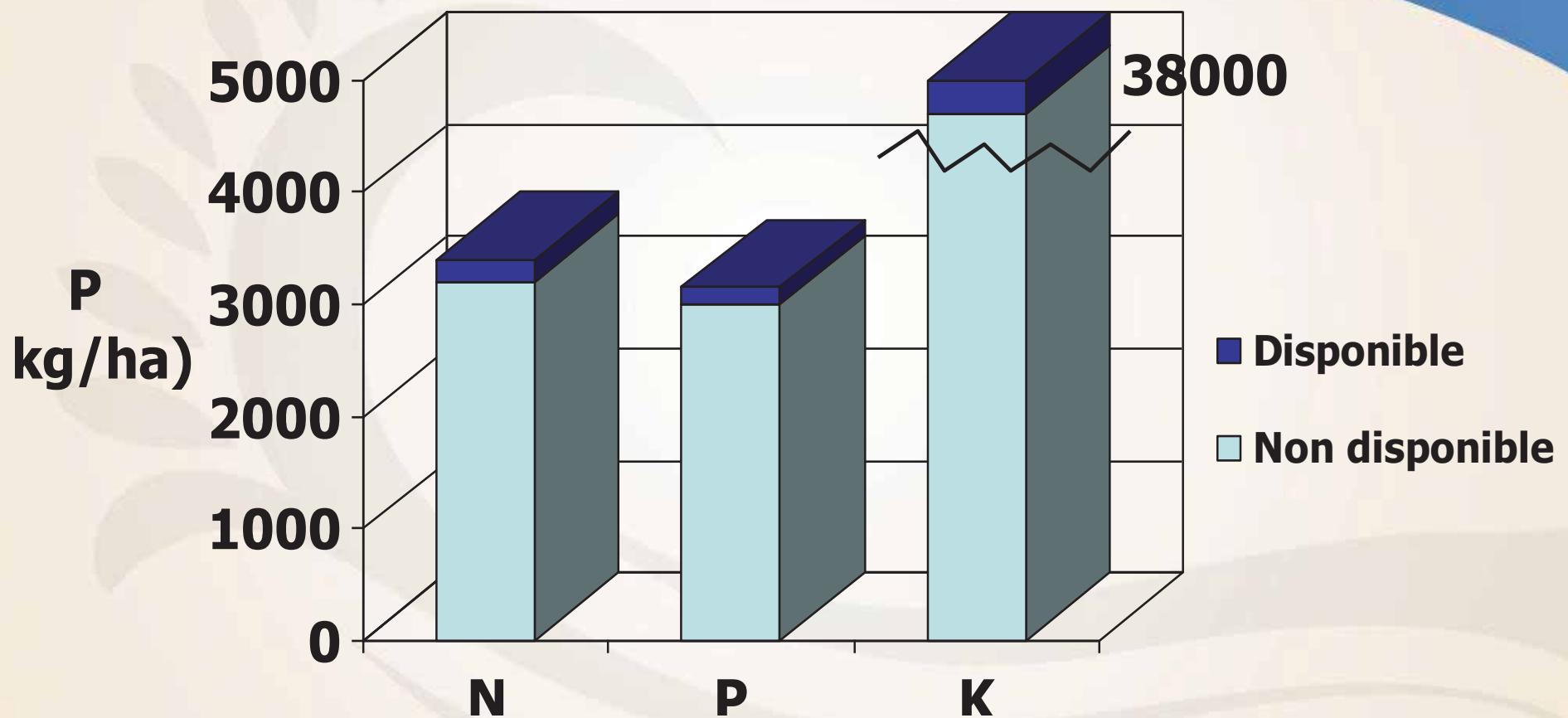
Facteur déterminant: pH



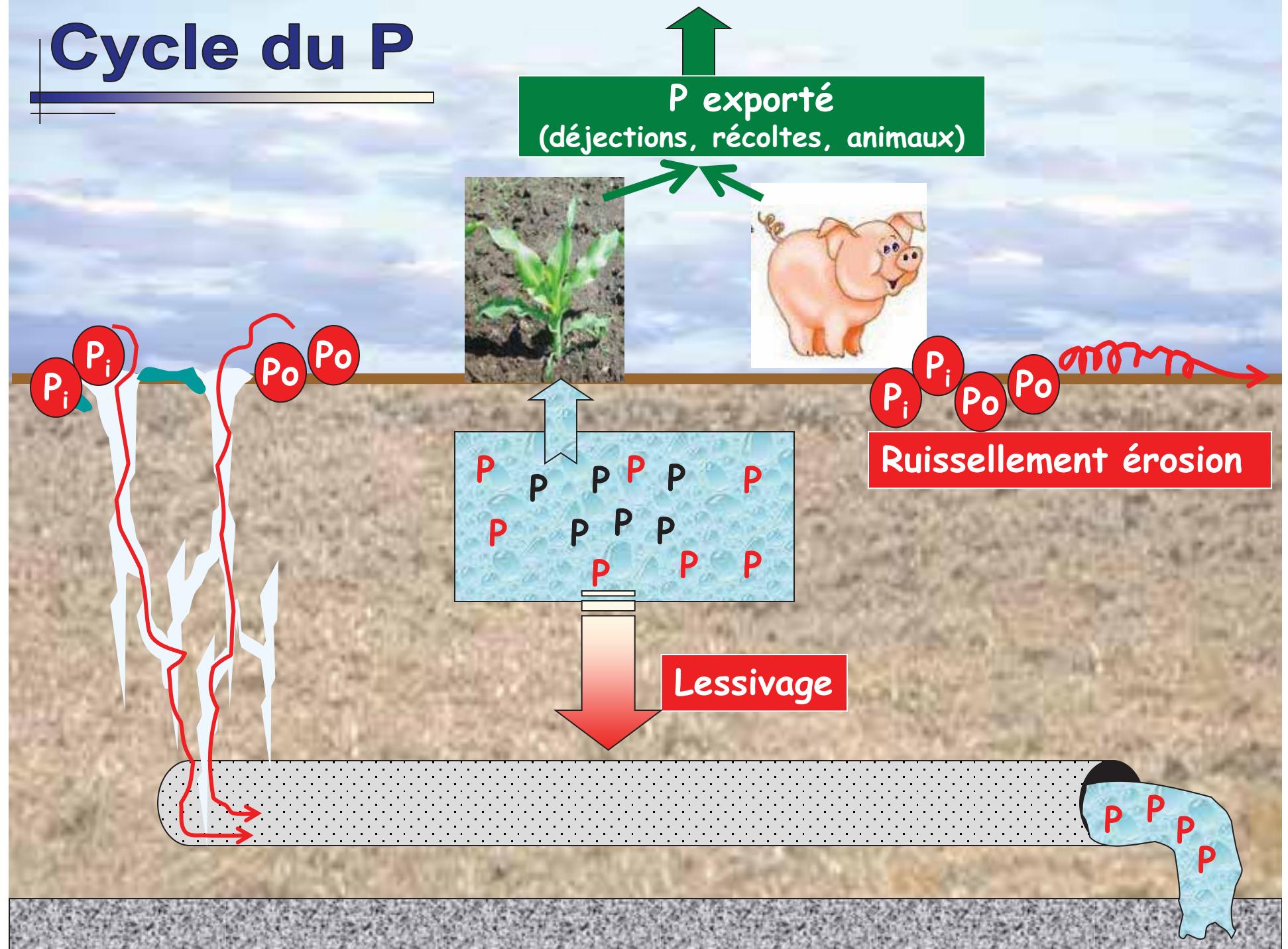
P du sol: extraction séquentielle de Hedley



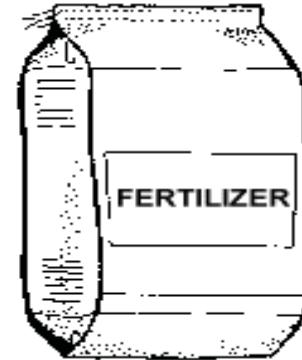
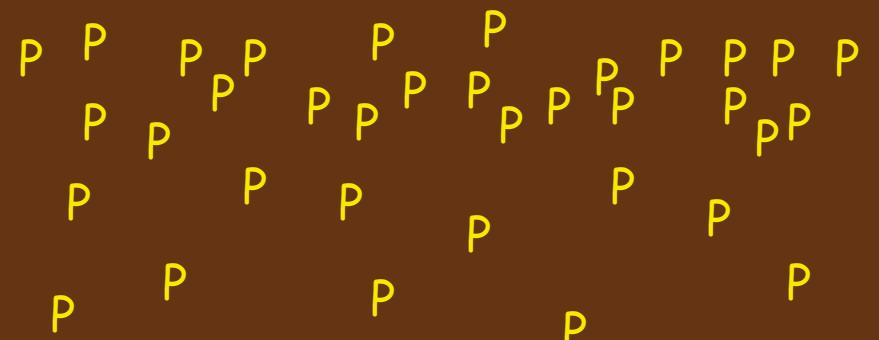
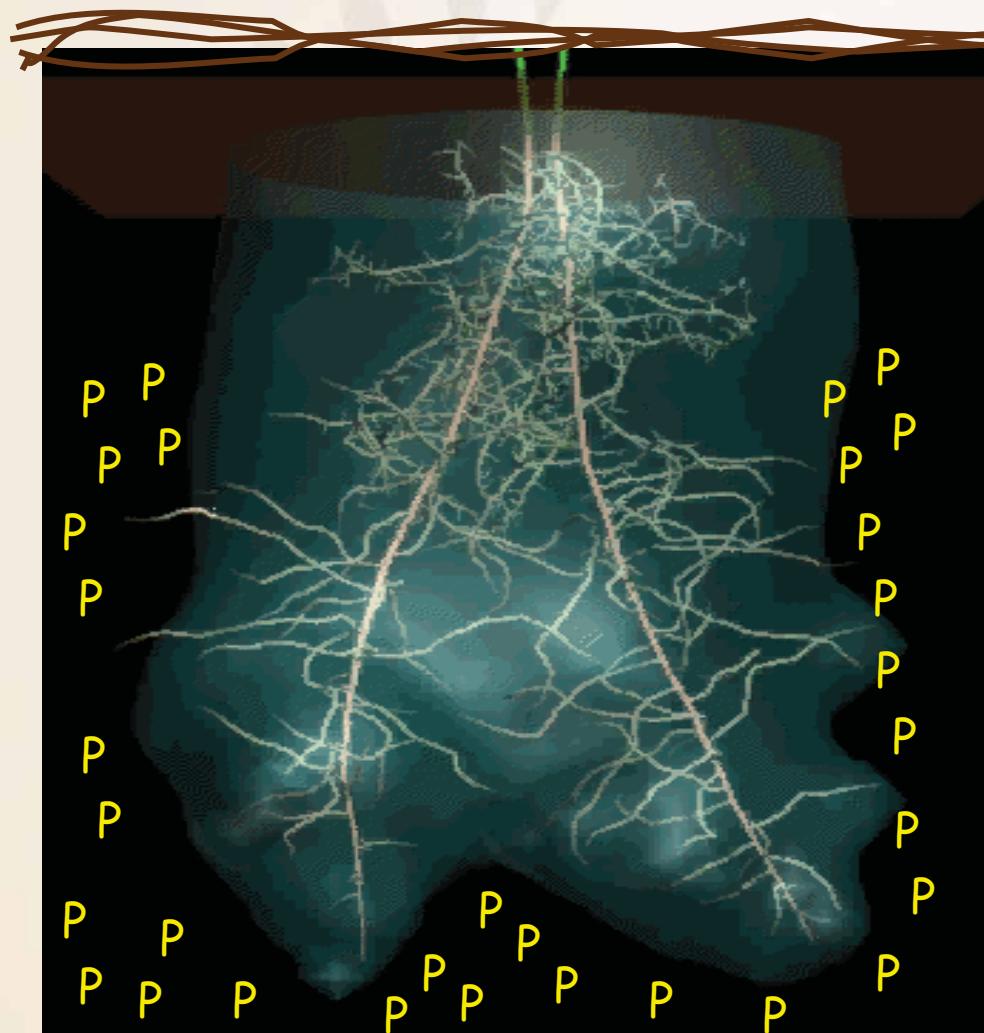
Disposable vs total



Cycle du P



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 ₂ O ₅	5 à 30 %
K ₂ 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)

Engrais de ferme vs *Engrais minéraux*

N	<	N
P ₂ O ₅	>	P ₂ O ₅
K ₂ O	=	K ₂ O

- ❖ 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 $[P-M3]_{sol} >>$ 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	$[P]_{sol}$ kg/ha	90
0	Apports P_2O_5		0
0	Récolte : exportations P_2O_5 /ha		40
80	Septembre 2006	$[P]_{sol}$ kg/ha	76
+ 105	Mai 2007 Épandage 35 m^3/ha		+105
100	Juillet 2007	$[P]_{sol}$ 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

% du P total absorbé

P

Soies

Croix

Matière sèche

0

25

50

75

100

115

Jours après semis

100

80

60

40

20

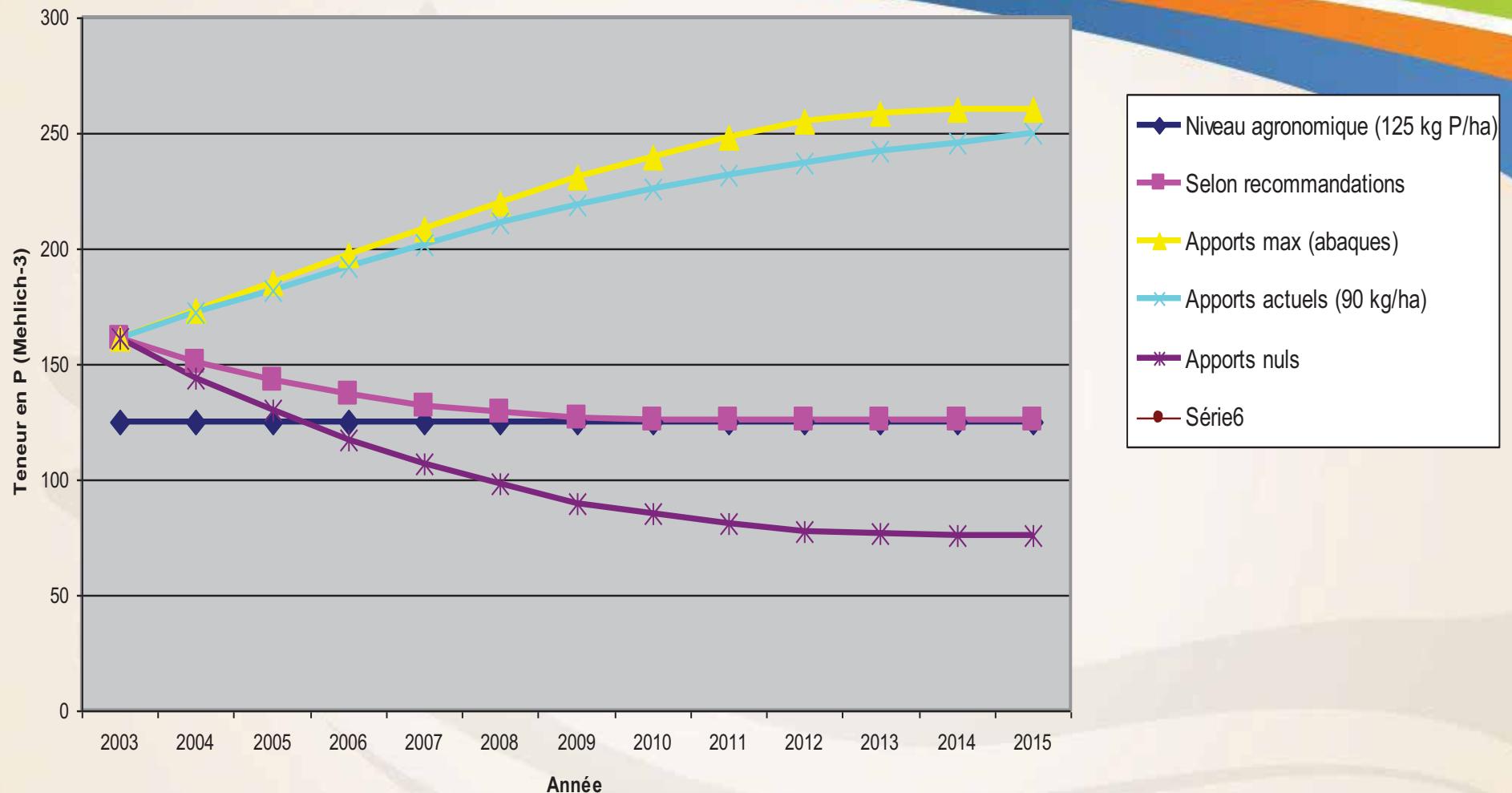
Évolution de la $[P]_{sol}$ suite à des cultures successives sans apports P_2O_5

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 $P_2O_5/ha/an$)