

# Vers un raisonnement innovant de la fertilisation phosphatée *... les premières suites d'un projet CASDAR*

**DENOROY Pascal** <sup>(1)</sup>, **BUTLER Fabienne**, **FOURRIE Laetitia**, **RABOURDIN Nina** <sup>(2)</sup>,  
**CASTILLON Pierre** <sup>(3)</sup>, **CHAMPOLIVIER Luc** <sup>(4)</sup>, **DUVAL Remy** <sup>(5)</sup>, **HANOCQ Daniel** <sup>(6)</sup>,  
**KOUASSI Anne-Sophie** <sup>(7)</sup>, **SOUPLET Nicolas**, **METRAILLE Matthieu** <sup>(8)</sup>, **MOREL**  
**Christian** <sup>(1)</sup>, **RAYNAL Christiane** <sup>(9)</sup>, **SAVOIE Thierry** <sup>(10)</sup>

<sup>(1)</sup>INRA UMR TCEM, <sup>(2)</sup>ACTA, <sup>(3)</sup>Arvalis, <sup>(4)</sup>CETIOM, <sup>(5)</sup>ITB, <sup>(6)</sup>Chambre d'Agriculture de Bretagne, <sup>(7)</sup>UNILET,  
<sup>(8)</sup>CETA de Romilly, <sup>(9)</sup>CTIFL, <sup>(10)</sup>Chambre d'Agriculture d'Eure et Loir





# Le mode de raisonnement actuel de la fertilisation phosphatée ... et ses limites

# Les questions autour d'un référentiel d'interprétation

Perte de rendement : quelle dose apporter pour "corriger" ?

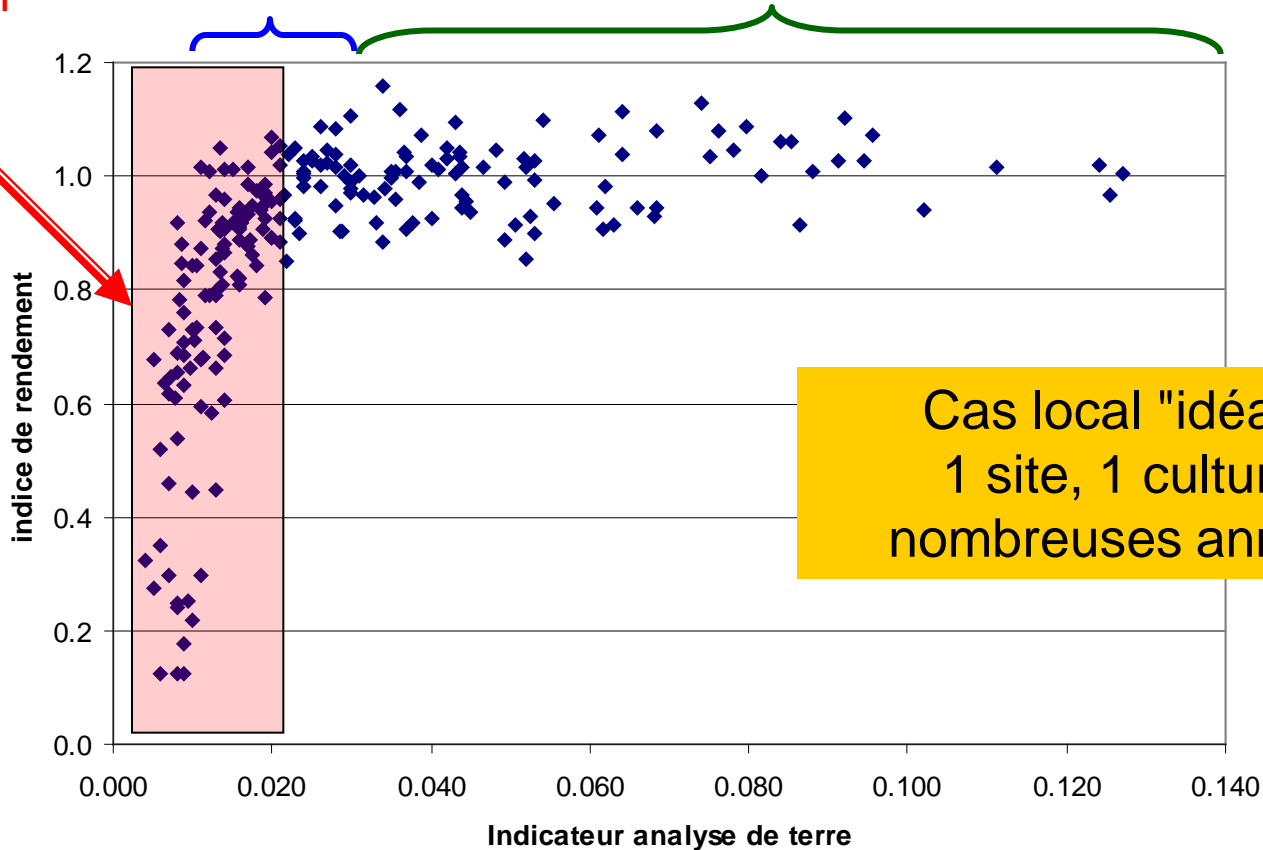
Assez & pas trop

"Seuil d'impasse"

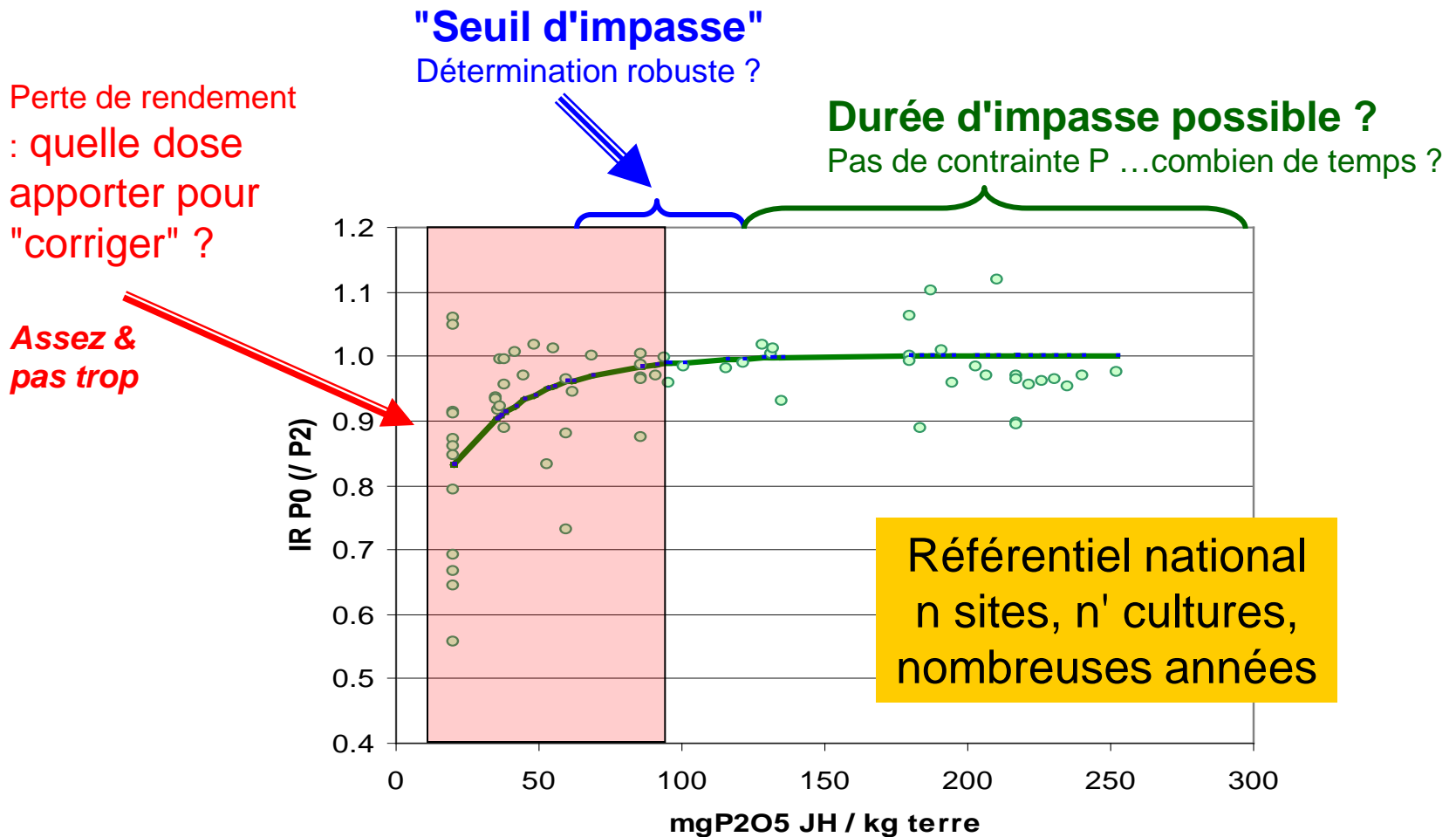
Détermination robuste ?

Durée d'impasse possible ?

Pas de contrainte P ... combien de temps ?



# Les questions autour d'un référentiel d'interprétation



**Base des essais longue durée ; sol Argilo-calcaire ;**  
ajustement du modèle Mitscherlich pour espèces d'exigence faible selon "Comifer-1995"



## Les extractions chimiques :

l'avantage de la normalisation analytique, mais une interprétation problématique surtout par difficulté à transposer les références entre sites

*Les extractants réagissent de façon variable avec la terre*

Tableau 3 : Variation de la médiane des rapports J/O (a) et D/O (b) avec le pH<sub>eau</sub> et la CEC (en haut à gauche de chaque cellule est noté le nombre de résultats correspondant)

a : J/O	pH 7,5		pH 8,0	
CEC	3588	908	1135	3,03
	1,89	2,28	2,21	
9,0	4093	1,78	1261	1716
13,0	1,67	2,15	2,69	2,18
	3990	6059	5671	
		1,24	1,77	

Médiane  
Joret-Hebert  
/ Olsen

b : D/O	pH 5,9		pH 6,5	
CEC	3606	6700	3608	3,80
	2,74	3,39	3,65	
9,0	4429	2,84	8719	4131
12,0	2,93	3,66	3,94	4,30
	4005	7054	2351	
	3,23	4,02		

Médiane  
Dyer / Olsen

Schvartz & Julien, 2009 (Comifer)





# Calcul de dose de fertilisant : opérationnel, mais pas vraiment validé (nécessaire ? suffisant ?)

## Coefficients de la Grille COMIFER 2009 (multiplicateur de l'exportation minérale prévue)

### Grille de calcul des doses de phosphore ( $P_2O_5$ ) à apporter

Grille de coefficients multiplicatifs des exportations, appliqué à la récolte principale (grains le plus souvent)

$P_2O_5$	Nb. d'années sans apport depuis la dernière fertilisation	Teneur du sol Positionner la teneur par rapport aux seuils						
		Teneur faible	Teneur élevée					
		Trenf.	Timp. -10%	Timp.	Timp. +10%	2x Timp.	3x Timp.	
<b>Cultures très exigeantes</b> Betterave sucrière Colza - Luzerne Pomme de terre	0	2.2	1.5	1.2	1.0	0.8	0	0
	1 an	3.3	2.0	1.5	1.2	1.0	0	0
	2 ans ou +	3.7	2.7	2.0	1.5	1.2	0.8	0
<b>Moyennement exigeantes</b> Blé / Blé - Blé dur Maïs fourrage - Pois Orge - R.G. - Sorgho	0	1.6	1.0	1.0	0	0	0	0
	1 an	1.8	1.2	1.0	1.0	0.8	0	0
	2 ans ou +	2.0	1.7	1.5	1.2	1.0	0.6	0
<b>Cultures peu exigeantes</b> Avoine - Blé tendre Maïs grain - Seigle Soja - Tournesol	0	1.3	1.0	0.8	0	0	0	0
	1 an	1.6	1.0	1.0	0	0	0	0
	2 ans ou +	1.6	1.2	1.0	1.0	0.8	0	0

► Cette grille P s'applique à toutes les cultures y compris fourragères, à leur récolte principale, mais ne s'applique pas aux résidus à enlèvement facultatif (pailles).

► Si les résidus de la culture précédente sont récoltés (paille, fanes...), un supplément de dose est proposé selon la règle suivante :

- pas de supplément en cas de sol à teneur élevée (teneur > Timp) qu'il y ait un conseil de dose nulle ou non d'après la grille ;
- le supplément correspond à l'exportation de  $P_2O_5$  des pailles sur la culture qui suit dans les autres cas (teneur < Timp).

Supplément de  $kg P_2O_5/ha$  sur la culture qui suit = Masse de résidus récoltés (t/ha) x teneur en  $kg P_2O_5/t$



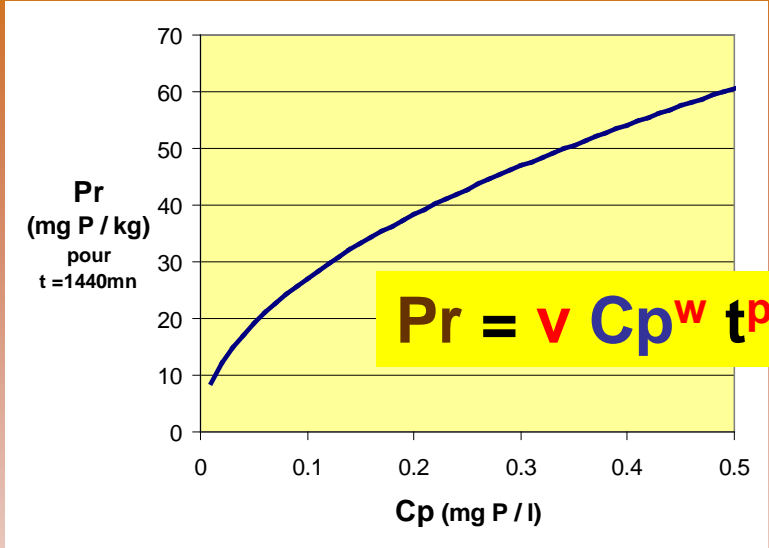
# Les connaissances disponibles pour une rénovation opérationnelle



Racine

Solution de sol

Phase solide



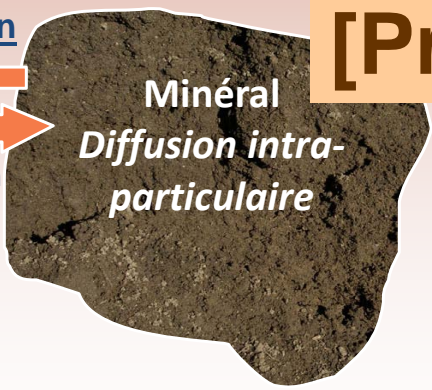
$H_2O$   
Absorption  
hydrique

[Cp]

Desorption

[Pr]

Adsorption



Minéral  
Diffusion intra-particulaire

Poils racinaires

Absorption  
 $HPO_4^{2-}, H_2PO_4^-$

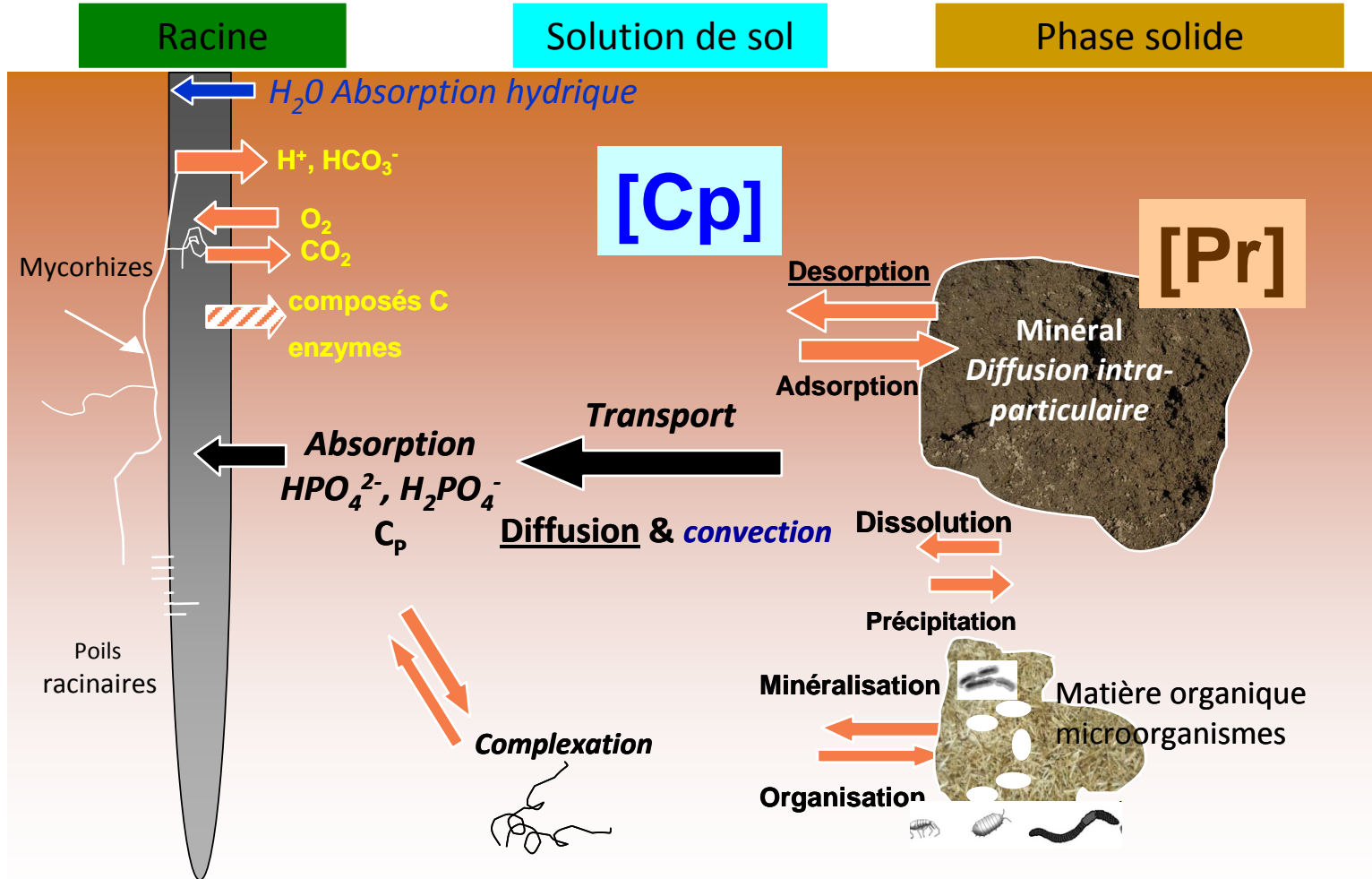
Transport

Diffusion & convection





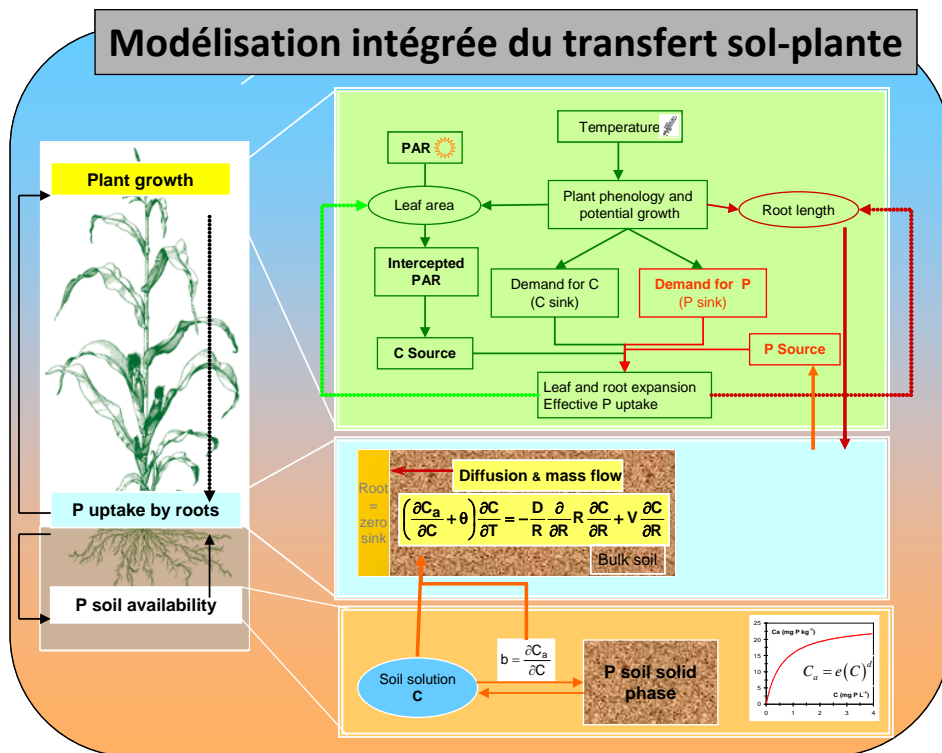
# Fonctionnement de la rhizosphère



# L'ouverture vers la modélisation de la dynamique du P dans le système sol-plante grâce aux variables mécanistes

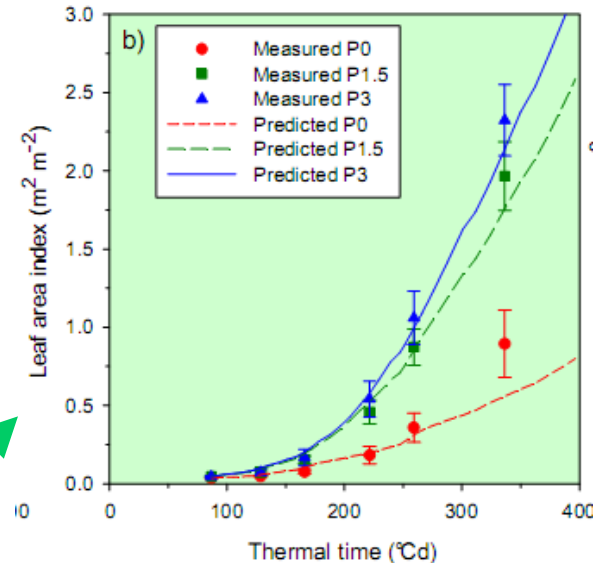
## Modélisation intégrée du transfert sol-plante

Integration and feedback

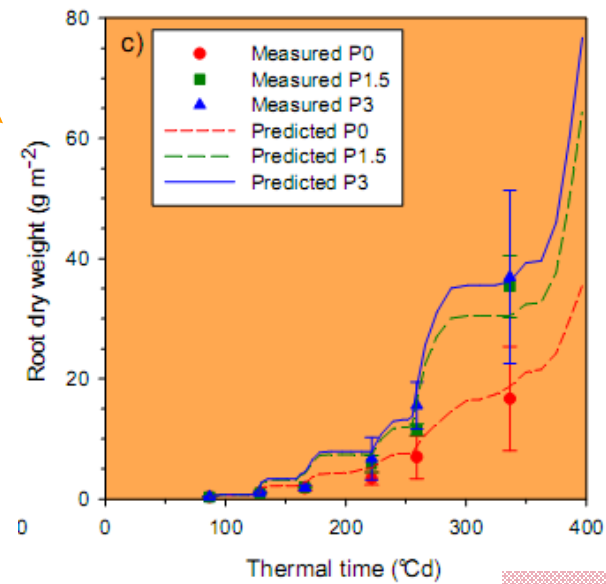


(Mollier *et al.*, 2008; Faget, 2006; Maire, 2005)

## Croissance aérienne



## Croissance racinaire

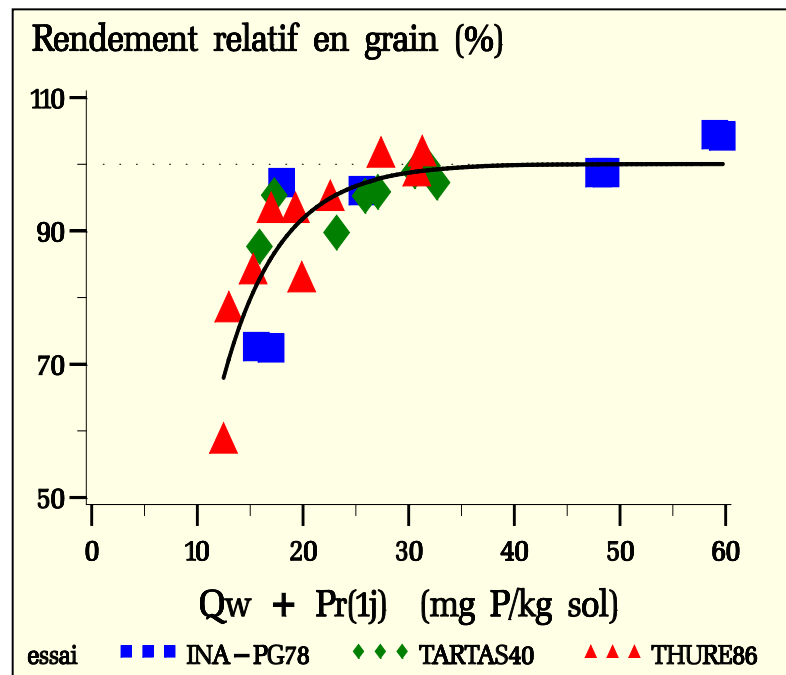
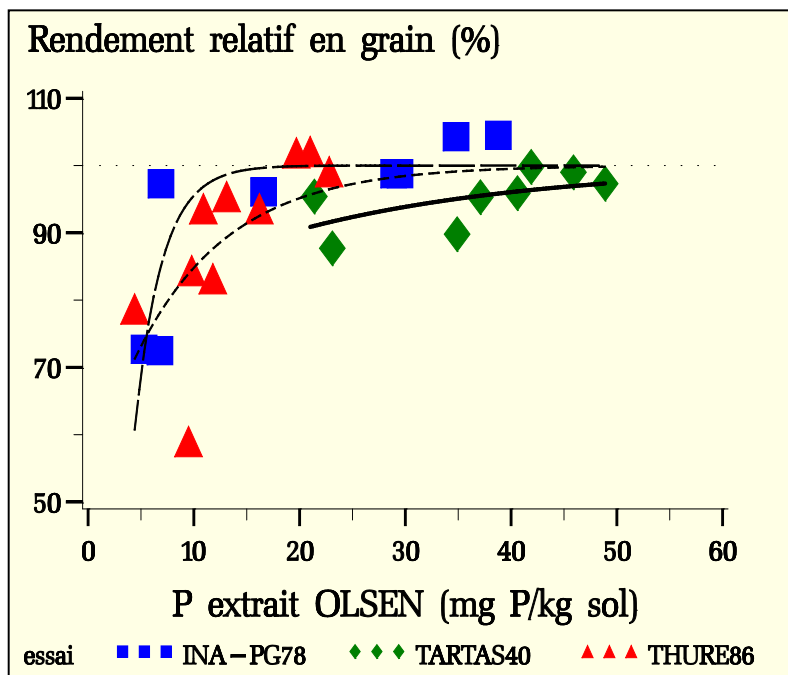


Le modèle simple a déjà donné des résultats préliminaires positifs

$E = Qw + Pr$  : un indicateur "universel", valide quel que soit le sol ?

(le "pouvoir tampon" du sol intègre les différences de comportement du sol dans dynamique P)

Pour une culture, on devrait avoir la même réponse  $IR = f(E)$  pour tous sols



(Morel et al, 2000)



# Le projet "Raisonnement Innovant de la fertilisation phosphatée basée sur de nouveaux indicateurs ..." (fin 2007- début 2011)



Avec la contribution financière  
du compte d'affectation spéciale  
«Développement agricole et rural»

CasDAR-RIP






(COMIFER & GEMAS, Reims, 23 novembre 2011)



10<sup>ÈMES</sup> RENCONTRES DE LA FERTILISATION RAISONNÉE ET DE L'ANALYSE \* 23 ET 24 NOVEMBRE 2011 - COMIFER - GEMAS

## GESTION À LONG TERME DE LA DYNAMIQUE DU PHOSPHORE DANS LES SOLS CULTIVÉS

CHRISTIAN MOREL, PASCAL DENOROY (INRA, UMR TCEM, BORDEAUX) 

FABIENNE BUTLER, PIERRE CASTILLON, LUC CHAMPOLIVIER, RÉMY DUVAL,  
ANNE SOPHIE KOUASSI, DANIEL HANOCQ, MATHIEU MÉTRAILLE, NINA  
RABOURDIN, CHRISTIANE RAYNAL, THIERRY SAVOIE (programme CasDAR)



ELIZABETH KVARNSTRÖM, AIMÉ MESSIGA, LILIA RABEHARISOA, SOKRAT SINAJ,  
NOURA ZIADI (programmes internationaux)



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Département fédéral de l'économie DFE  
Station de recherche Agroscope Changins-Wädenswil ACW



Agriculture et  
Agroalimentaire Canada

Agriculture and  
Agri-Food Canada





## Essai-culture suivis

Panel initial	Cultures	Nombre d'essais	Essais avec réponse au phosphore
X	Maïs	13 (2 fourrages)	12
X	Blé dur	12	8
X	Betterave sucrière	10	8
X	Colza	9	8
X	Orge	8 (4 printemps)	5 (3 printemps)
X	Haricot vert	5	5
X	Carotte	5	4
	Blé tendre	2	2
	<i>Sorgho</i>	1	1
	<i>Tournesol</i>	3	2
	<i>Lin oléagineux</i>	1	1
	<b>TOTAL</b>	<b>69</b>	<b>56</b>

Chacune sur un seul site

Pour des résultats détaillés ...

**\*\* ACTES DE LA JOURNÉE TECHNIQUE "FERTILISATION PHOSPHATÉE : VERS UN NOUVEAU RAISONNEMENT ?" (16/06/2011)**

<http://www.acta.asso.fr/apps/accueil/autodefaut.asp?d=7732>

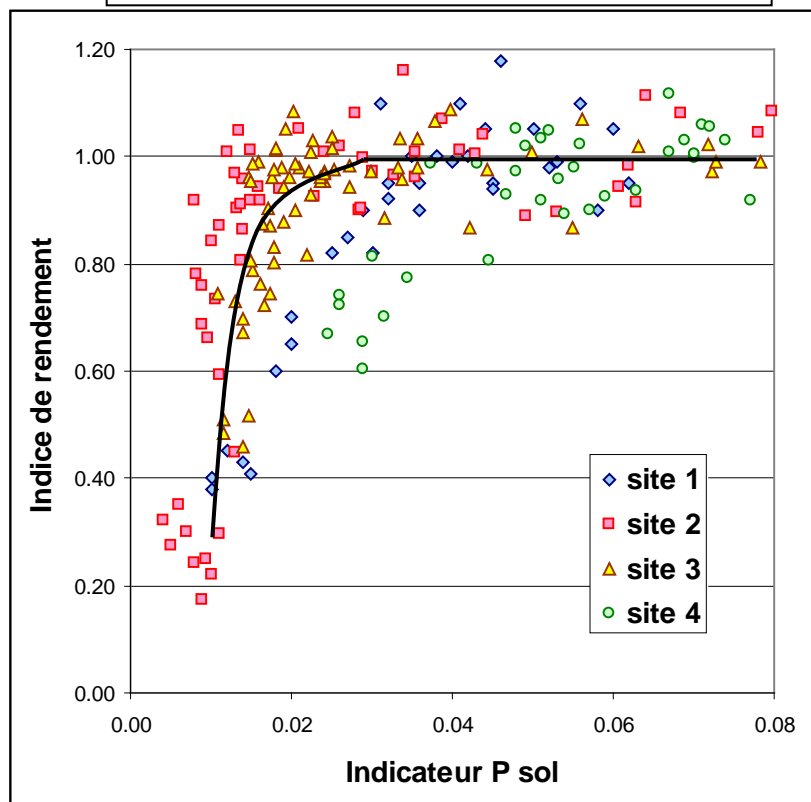


**\*\* POSTER PRESENTES DURANT CES JOURNEES COMIFER-GEMAS :**

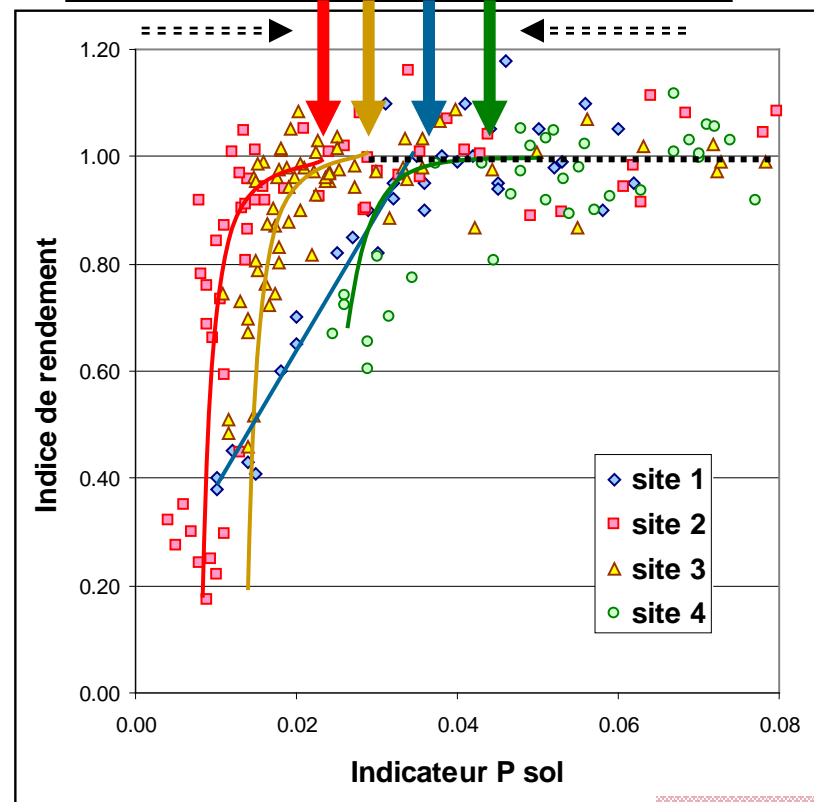
- L. Champolivier *et al.* :  
EVALUATION D'UN NOUVEL INDICATEUR DE LA PHYTODISPONIBILITE DU PHOSPHORE DANS LE SOL POUR LA CULTURE DU COLZA D'HIVER
- A.-S. Kouassi *et al.* :  
EVALUATION DE NOUVEAUX INDICATEURS DE LA PHYTODISPONIBILITE DU PHOSPHORE DANS LE SOL POUR LA CULTURE DU HARICOT VERT
- R. Duval : Remise en question du caractère exigeant de la betterave sucrière vis-à-vis du Phosphore. Acquisitions nouvelles dans le cadre de l'étude Casdar

Des critères pour évaluer les indicateurs de disponibilité du P  
Sur la base de l'ajustement de tous les résultats expérimentaux à une courbe de  
réponse unique par culture

Qualité de l'ajustement  
global



Minimisation de la variabilité  
du seuil de réponse



Sur l'ensemble des résultats, l'indicateur E est plus performant que P\_Olsen  
(*E = somme des ions phosphate solubles et diffusibles*)

Comparaison des performance de E / Olsen, tous sites confondus

<u>Espèces</u>	Ajustement général modèle de réponse de culture	Moindre variabilité du seuil
Blé (dur ; tendre)	=	
Orge	+	
Maïs	=	+
Colza	+	+
Betterave sucrière	=	=
Haricot vert	+	+
Carotte	+	+

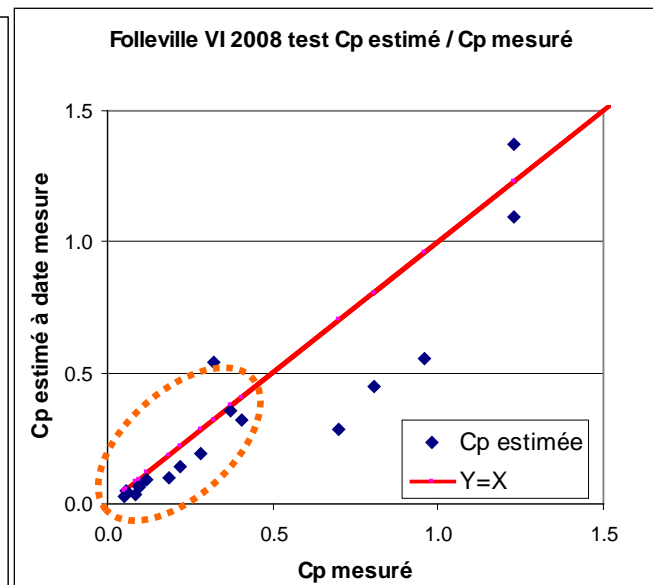
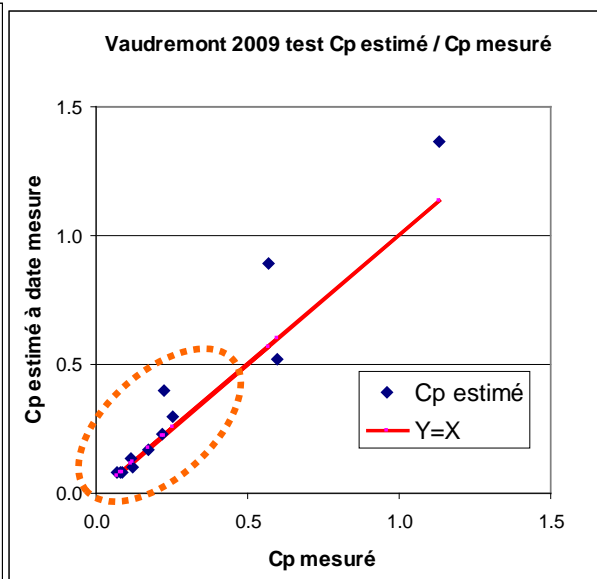
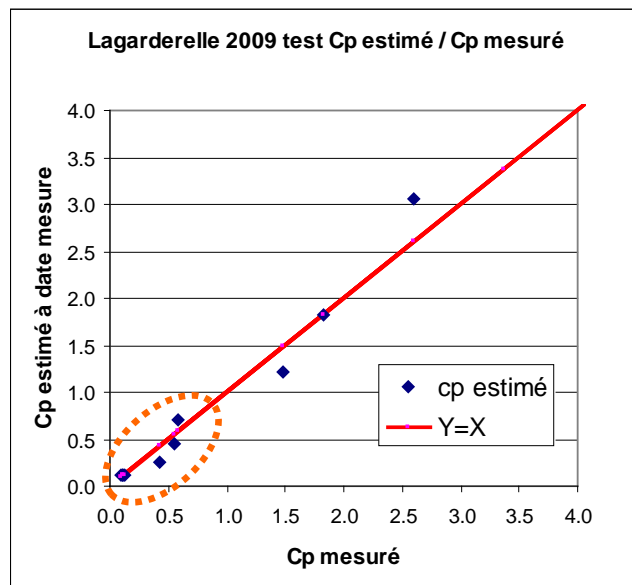


## Défauts d'unicité de réponse entre sites : des pistes d'explication

- Méthodologie expérimentale : difficulté à bien maîtriser les profondeurs d'enfouissement d'engrais et prélèvement de terre à analyse en cas (fréquent) de non-labour
- Modèle trop simple : néglige d'autres déterminants de la biodisponibilité du P (MOS...) ou co-déterminants de réponse de culture à P


# Le modèle de biodisponibilité du P rend compte des évolutions de Cp constatées après fertilisation

*Surtout pour des Cp < 0.5 mg P/L ordre de grandeur "normal"*



Ce modèle permet donc de calculer la dose d'engrais nécessaire pour atteindre un objectif d'offre P





## En résumé ... pourquoi persister à s'intéresser à de nouveaux indicateurs de la biodisponibilité du P ?

- Globalement, l'indicateur E s'avère plus performant et universel que P\_Olsen
- L'application du modèle de dynamique du phosphate permet un calcul mécaniste de la dose d'engrais à apporter quand nécessaire
- on est "condamné" à établir des références par simulation puisqu'on ne peut expérimenter au champ en longue durée toutes les combinaisons < sol \* culture \* pratiques > souhaitées.  
Il faut pour cela un modèle mécaniste de biodisponibilité du P.



# Un raisonnement innovant de la gestion de la fertilité phosphatée

# Un schéma de raisonnement rénové

## ETAPES

Analyse  
de terre



Prelevement, preparation (cf.actuel)

Mesure  $C_p$

## PARCELLE

Données  
collectées  
spécifiques : sol,  
cultures,  
pratiques ...

## REFERENCES

SOLS :  
Base de données  
ou analyse terre +  
fonction  
pédotransfert  
paramètres  
équilibre  $Pr/C_p$

CULTURES :  
\* Niveau critique  
d'offre du sol  
( $E_{rc}$ )  
\* Exportation

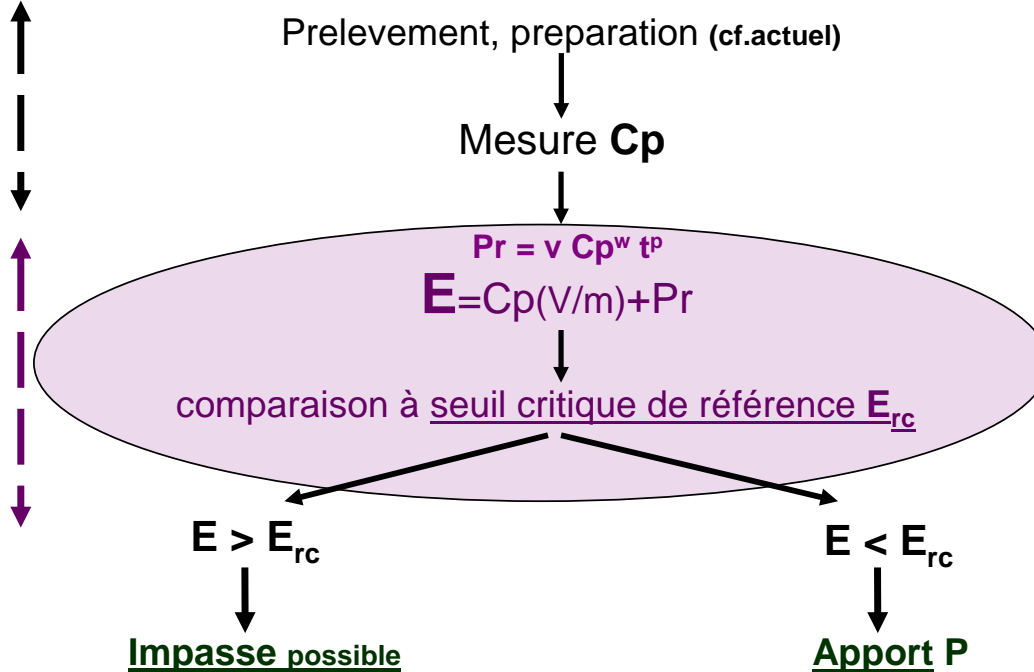
CONTEXTE &  
PRATIQUES

# Un schéma de raisonnement rénové

## ETAPES

Analyse de terre

Phase 1 :  
Diagnostic



## PARCELLE

Données collectées  
spécifiques : sol,  
cultures,  
pratiques ...

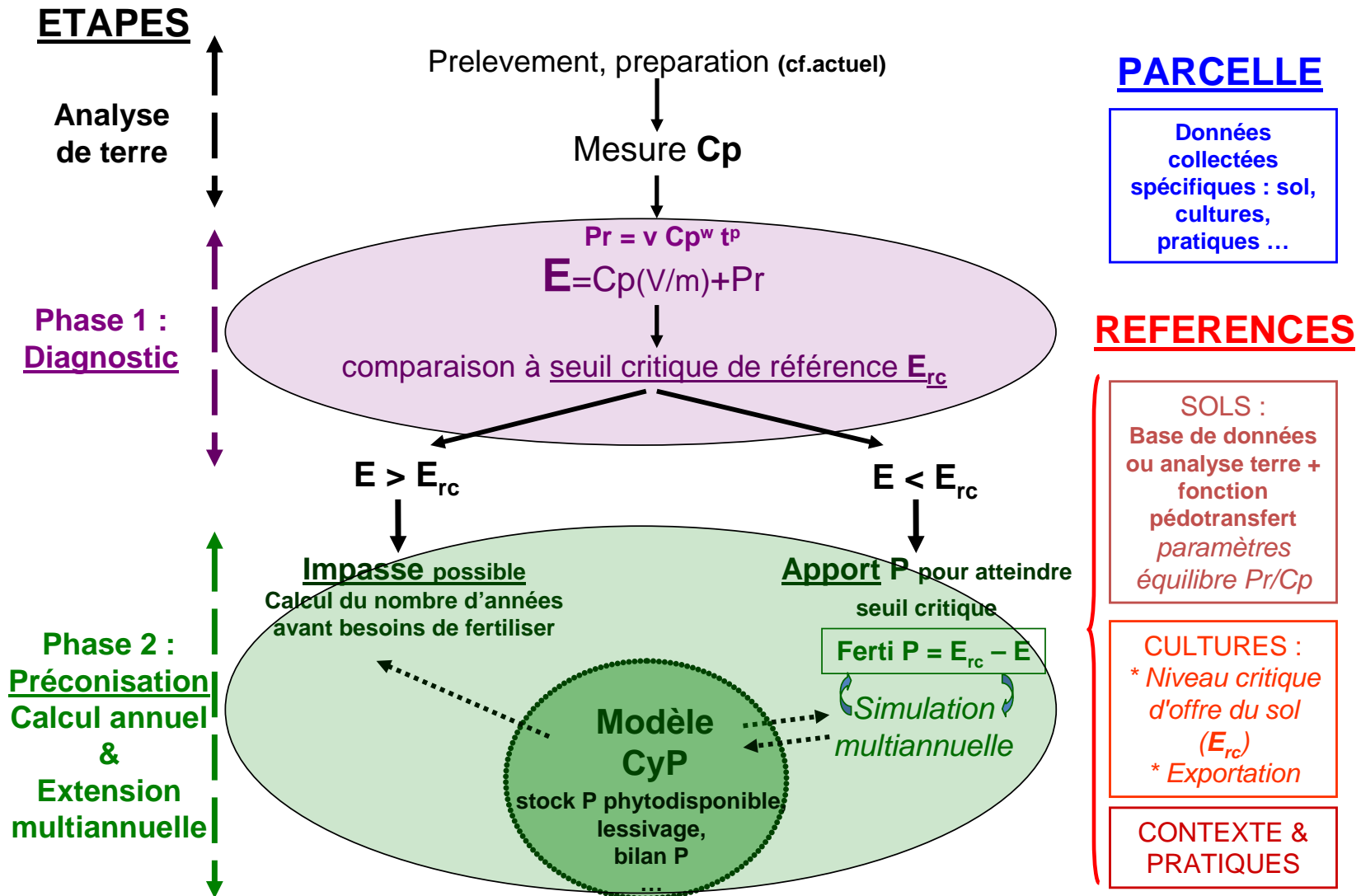
## REFERENCES

SOLS :  
Base de données  
ou analyse terre +  
fonction  
pédotransfert  
paramètres  
équilibre Pr/Cp

CULTURES :  
\* Niveau critique  
d'offre du sol  
( $E_{rc}$ )  
\* Exportation

CONTEXTE &  
PRATIQUES

# Un schéma de raisonnement rénové





## Les perspectives ...

Un ensemble d'acquis prometteurs  
malgré les difficultés méthodologiques en non-labour

### Des obstacles à surmonter

- Passage en routine de la mesure du phosphate soluble (Cp) : question ouverte au GEMAS
- l'adaptation simple du modèle CyP aux sols carbonatés

Un modèle de raisonnement à développer





# Remerciements

De

DENOROY Pascal <sup>(1)</sup>, BUTLER Fabienne, FOURRIE Laetitia, RABOURDIN Nina <sup>(2)</sup>, CASTILLON Pierre <sup>(3)</sup>,  
CHAMPOLIVIER Luc <sup>(4)</sup>, DUVAL Remy <sup>(5)</sup>, HANOCQ Daniel <sup>(6)</sup>, KOUASSI Anne-Sophie <sup>(7)</sup>, SOUPLET  
Nicolas, METRAILLE Matthieu <sup>(8)</sup>, MOREL Christian <sup>(1)</sup>, RAYNAL Christiane <sup>(9)</sup>, SAVOIE Thierry <sup>(10)</sup>

<sup>(1)</sup>INRA UMR TCEM, <sup>(2)</sup>ACTA, <sup>(3)</sup>Arvalis, <sup>(4)</sup>CETIOM, <sup>(5)</sup>ITB, <sup>(6)</sup>Chambre d'Agriculture de Bretagne, <sup>(7)</sup>UNILET, <sup>(8)</sup>CETA de Romilly, <sup>(9)</sup>CTIFL, <sup>(10)</sup>Chambre  
d'Agriculture d'Eure et Loir

à ....

les agriculteurs, les personnels des fermes expérimentales des Chambres  
d'Agriculture et Instituts, les équipes régionales des ITA, les personnels des  
Unités Expérimentales INRA,  
*... qui ont assuré les essais ...*

Arnaud Schneider, Romain Naturel, Iven Cheenacunan, Aimé Messiga  
*... qui ont assuré les analyses spécifiques ...*

...

Le COMIFER (groupe PKMg) qui a été "incubateur" du projet



Merci de votre attention

