



30 ans

16^e Rencontres

DE LA FERTILISATION RAISONNÉE ET DE L'ANALYSE

21, 22 et 23 novembre 2023

Palais des congrès de Tours

30 ans

16^e Rencontres

DE LA FERTILISATION RAISONNÉE ET DE L'ANALYSE

Actualiser l'estimation des seuils d'impasse P en France : des propositions opérationnelles

Pascal DENOROY *et al*



Comité Français d'Étude et de Développement
de la Fertilisation Raisonnée

INRAE-Bordeaux Sc Agro UMR ISPA



Groupement d'études méthodologiques pour l'analyse des sols

Actualiser l'estimation des seuils d'impasse P



P.Denoroy ⁽¹⁾, A.Mollier ⁽¹⁾, C.Jouany ⁽²⁾, C.Montagnier ⁽³⁾, P.Castillon ⁽⁴⁾ †, R.Duval ⁽⁵⁾, L.Champolivier ⁽⁶⁾, D.Hanocq ⁽⁷⁾, J.-B.Gratecap ⁽⁸⁾, F.Thiebault ⁽⁹⁾, P.Gérard ⁽¹⁰⁾, C.Dizien ⁽¹¹⁾, L.Jordan-Meille ⁽¹⁾

⁽¹⁾ UMR INRAE Bordeaux Science Agro ISPA, ⁽²⁾ UMR INRAE- INPT Toulouse AGIR, ⁽³⁾ INRAE AgroParisTech Université Paris-Saclay UMR ECOSYS Palaiseau, ⁽⁴⁾ Arvalis, ⁽⁵⁾ ITB, ⁽⁶⁾ Terre-Inovia, ⁽⁷⁾ Chambre d'Agriculture de Bretagne, ⁽⁸⁾ Chambre d'Agriculture d'Eure et Loir, ⁽⁹⁾ CETA de Romilly, ⁽¹⁰⁾ Cooperative Vivescia, ⁽¹¹⁾ Groupe In-Vivo

Actualiser l'estimation des seuils d'impasse P

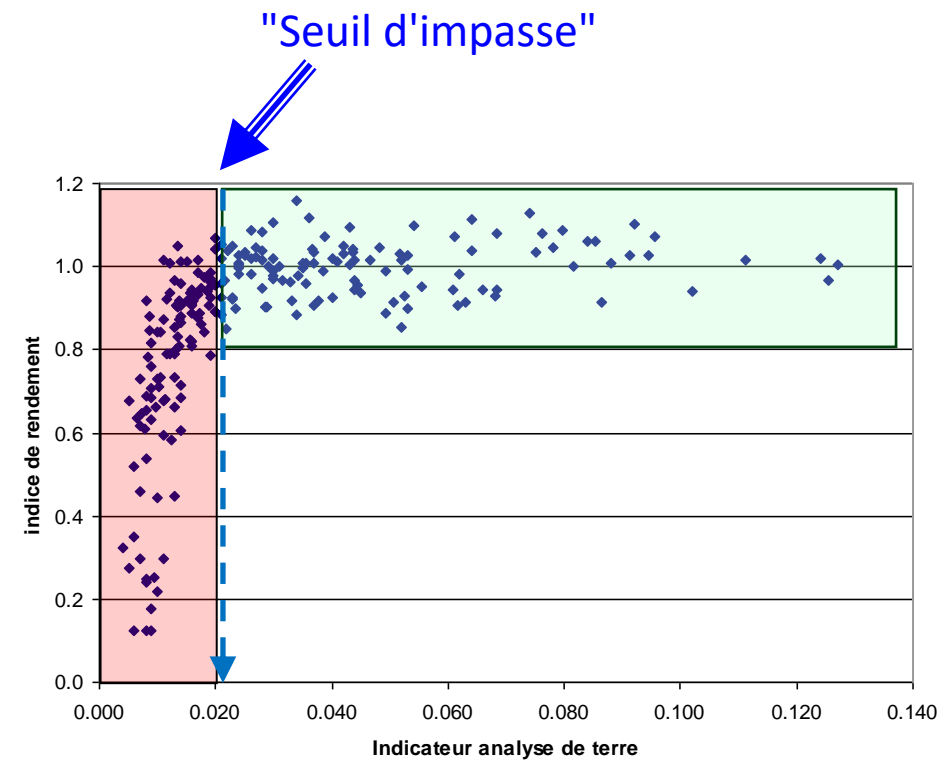
30 ans



comifer Gemas

Pourquoi cette actualisation ?

Réponse sans fertilisation



ARVALIS Institut du végétal

TENEURS-SEUILS PK PAR TYPE DE SOL
Compléments au recueil de fiches "Les doses et les teneurs-seuils par région" (1995)
(teneurs-seuils régionalisés par ARVALIS - Institut du Végétal)
Unités : mg/kg (ou ppm) de terre fine

Exigence de la culture -->	Seuils P ₂ O ₅ en mg/kg - Méthode Olsen						
	Forte exigence		Moyenne exigence		Faible exigence		
	Trenforcé	Timpasse	Trenforcé	Timpasse	Trenforcé	Timpasse	
Nord-Picardie	Limons battants	50	80	50	80	20	70
Nord-Picardie	Limons argileux	50	80	50	80	20	70
Nord-Picardie	Argiles	50	80	50	80	20	70
Nord-Picardie	Cranettes	145	210	130	150	60	135
Champagne Ardenne	Crails	145	210	130	150	60	135
Champagne Ardenne	Limons	50	80	50	80	20	70
Champagne Ardenne	Limons argileux	50	80	50	80	20	70
Champagne Ardenne	Argilo-calcaire superf	60	90	60	90	30	80
Champagne Ardenne	Argilo-calcaire prof	60	90	60	90	30	80
Champagne Ardenne	Sable	50	80	50	80	20	70
Lorraine	Argilo-calcaires profonds (Barrois, Haye), argiles calcaires du plateau lorrain	60	90	60	90	30	80
Lorraine	Argilo-calcaire superficiels (prof<=40cm)	60	90	60	90	30	80
Lorraine	Limons	50	80	50	80	20	70
Lorraine	Limons argileux	50	80	50	80	20	70
Lorraine	Argiles lourdes	50	80	50	80	20	70
Alsace	Limons loess	50	80	50	80	20	70
Alsace	Alluvions de fill	50	80	50	80	20	70
Alsace	Limons léhm	50	80	50	80	20	70
Alsace	Hardit superficielle, Ried brun callouteux	60	90	60	90	30	80
Alsace	Hardt profonde, Ried brun profond, basse plaine rhénane	60	90	60	90	30	80
Alsace	Argilo-calcaires profonds Alsace bossue, basse plaine sous-vosgienne	60	90	60	90	30	80
Alsace	Argilo-calcaires callouteux Alsace bossue, basse plaine sous-vosgienne	60	90	60	90	30	80
Franche Comté	Limons (A%<20%)	50	80	50	80	20	70

Actualiser l'estimation des seuils d'impasse P

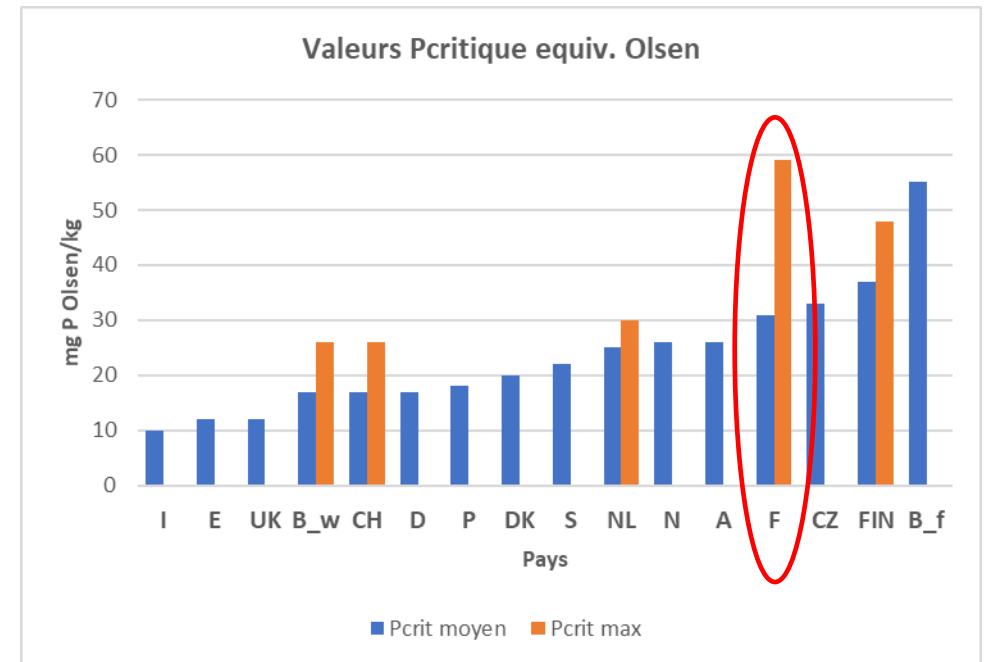
30 ans



comifer Gemas

Pourquoi cette actualisation ?

- * Un référentiel ancien (1993)
- * Nombre d'essais plus récents qui estiment le seuil à un niveau plus bas
- * Des références Françaises élevées par rapport à l'international
- * Une méthode de fixation du seuil améliorable



Steinfurth *et al* 2022

Actualiser l'estimation des seuils d'impasse P

30 ans



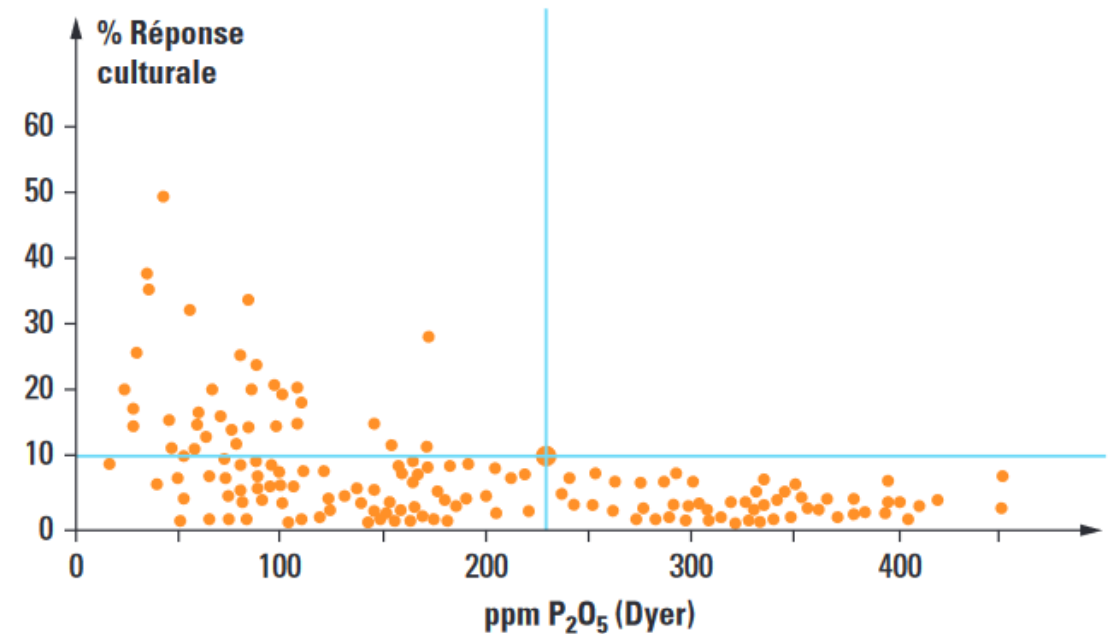
comifer Gemas

Fixation du seuil d'impasse COMIFER 1993

(cf. archives groupe PKMg COMIFER)

- calcul de « réponse culturale » (RC) = % de perte de rendement relativement au traitement de plus fort rendement de l'année (ou = 100-indice rdt)
- seuil = valeur de la plus forte analyse terre pour laquelle RC = 10%

➔ Dépendance du résultat à une (seule) situation expérimentale



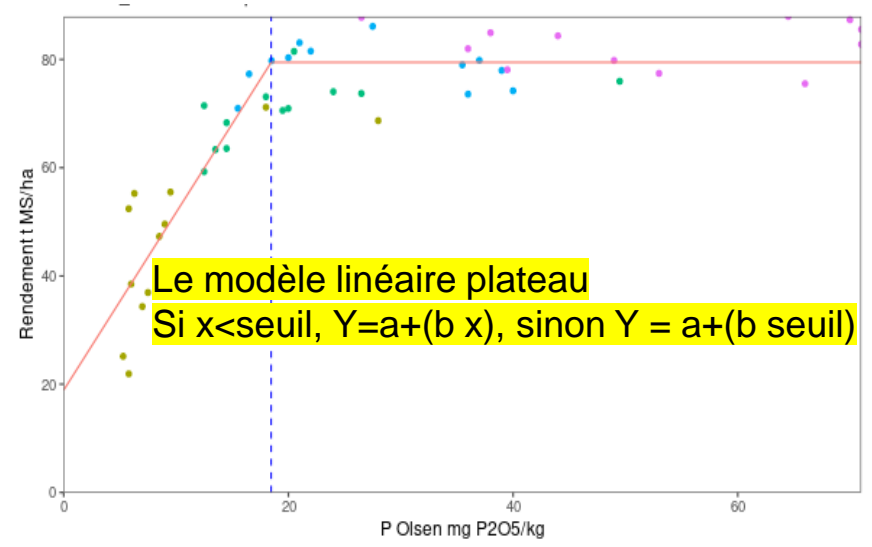
COMIFER, Guide de la fertilisation raisonnée

Actualiser l'estimation des seuils d'impassé P



comifer Gemas

Méthode pour calcul de seuil : modèle Linéaire-Plateau



Le modèle linéaire plateau
Si $x < \text{seuil}$, $Y = a + (b \cdot x)$, sinon $Y = a + (b \cdot \text{seuil})$

- linplat
- P0
- P1
- P2
- P4

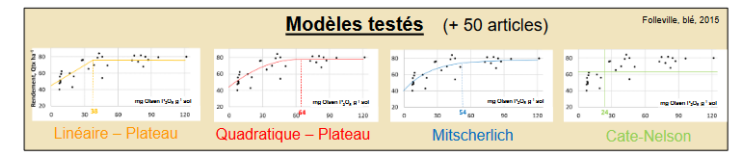
Quelle méthode pour calculer les seuils d'impassé en P ?

L. Jordan-Meille¹, A. Mollier¹, P. Poulton², M. Glendining², C. Jouany³, J.-B. Gratecap⁴, D. Hanocq⁵, C. Montagnier⁶, P. Denoroy¹

¹ UMR ISPA Bdr Sc Agro – INRAE, ² Rothamsted Research, ³ UMR AGIR INRAE, ⁴ CA 28, ⁵ CRA Bretagne, ⁶ UMR ECOSYS INRAE

Le raisonnement de la fertilisation P se base sur un diagnostic, comparant une valeur de $P_{\text{disponible}}$ du sol (e.g. P_{Olsen}) à une valeur critique, dite « seuil d'impassé » (P_{imp}). Le calcul de P_{imp} se base sur des couples de données « Rendement - $P_{\text{disponible}}$ », généralement issues d'essais de longue durée.

L'objectif de cette étude est de choisir une méthode de traitement des données d'essais de fertilisation pour calculer des seuils d'impassé, en s'appuyant sur des critères de robustesse et de qualité d'ajustement.



Critères retenus pour comparer les modèles

- Qualité de l'ajustement (RMSE = écart quadratique moyen)
- Variabilité inter-annuelle (Coef. Var.)
- Capacité à converger dans procédure ajustement non linéaire
- Risque valeurs aberrantes : Si - de 10% de données < ou > au seuil, alors donnée non retenue

Données utilisées pour les tests

	Auzeville France (Dpt 33)	Grignon-Folleville France (Dpt 78)	Kerguelennec France (Dpt 56)	Miermagne France (Dpt 28)	Exhaustion Land England (Dth Res 1)	Saxmundham R2 England (Dth Res 2)
Dates démarrage - fin	1969 - 2009	1988 - 2021	1985 - 2008	1976 - 2019	1956 - 1998	1979 - 1986
Période utilisée	1991 - 2020	2008 - 2021	1987 - 2021	1978 - 2021	1976 - 2008	1977 - 1986
Argile (%)	26	30	20	17	20	25
pH	7,8	8,2	6,5	6,6	7 - 8	6,4 - 7,1
CEC (cmol kg ⁻¹)	15,6	15	14	7,2	NA	20,5
CaCO ₃ %	2	1,8	0	0	0	0,6
Type sol	Sol brun lessivé	Débris limoneux	Débris limoneux	Sol brun lessivé	Sol brun lessivé	Argile hydromorphe

Résultats

Critère	Indicateur	Lin.-Plateau	Quadrat.-Plateau	Mitscherlich	Cate-Nelson
Qualité de l'ajustement	RMSE	—	—	—	non pertinent
Minimiser variabilité interannuelle	CV	(NS)	(NS)	(NS)	(NS)
Minimiser valeur aberrante	> or < decile	+	-	-	+
Convergence	plantage	+	-	-	+
Signification agronomique du seuil		+	+	+	-
Classement des seuils (1, faible, 4 haut)		2	4	3	1

→ La méthode Linéaire-Plateau est conseillée pour le traitement des données des essais de fertilisation pour le calcul de P_{imp} du fait de sa supériorité sur les critères de robustesse et de simplicité de calcul.

Actualiser l'estimation des seuils d'impasse P

30 ans



comifer Gemas

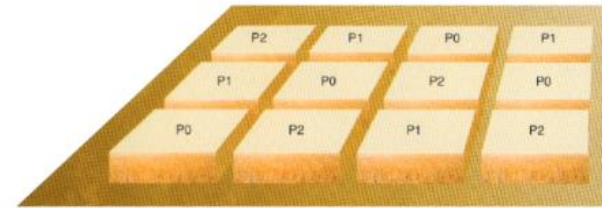
Application : Les sources de données (France)

- Les essais « historiques » (1993) compilés par P.Castillon (2002)
- Les essais de longue durée actifs après 1993 (Folleville-78-, Auzeville -31-, Pierroton -33-, Carcares Ste Croix -40-, St Félix -17-, Miermaigne -28-, Kerguehenec -56-, Feuges -10-)
- Les essais InVivo-Unifa (cf. Comifer-Gemas 2015)
- Les essais CASDAR-RIP (2007-2010)

Pas d'a priori sur typologie sol & culture

↔ ajustement modèle LP par site & culture

Pour exprimer tous les résultats en P Olsen : Schwartz & Julien (Comifer 2009)



Un réseau d'essais pluriannuels pour évaluer l'effet d'un apport raisonné de P et de K sur grandes cultures

Claire Aumond (InVivoAgrosolutions)
Philippe Gérard (Vivescia)
En partenariat avec l'UNIFA



comifer

Avec la participation de

Peut-on établir une correspondance entre les teneurs P Olsen et Joret-Hébert ou Dyer à partir de la BDAT ?

Ch. SCHVARTZ, J.L. JULIEN, Groupe PK du COMIFER

INRA

AGROcampus LORRAINE

Rencontres de Blois : les 25 et 26 novembre 2009
« Fertilisation raisonnée et analyse de terre : Quoi de neuf en 2009 ? »

▲ Incertitude labo P_2O_5 Olsen \approx 5 ppm



Résultats vs références

Traitement des données par **site * culture**

=> 235 cas utilisables

Typologies sol et culture Comifer93 :

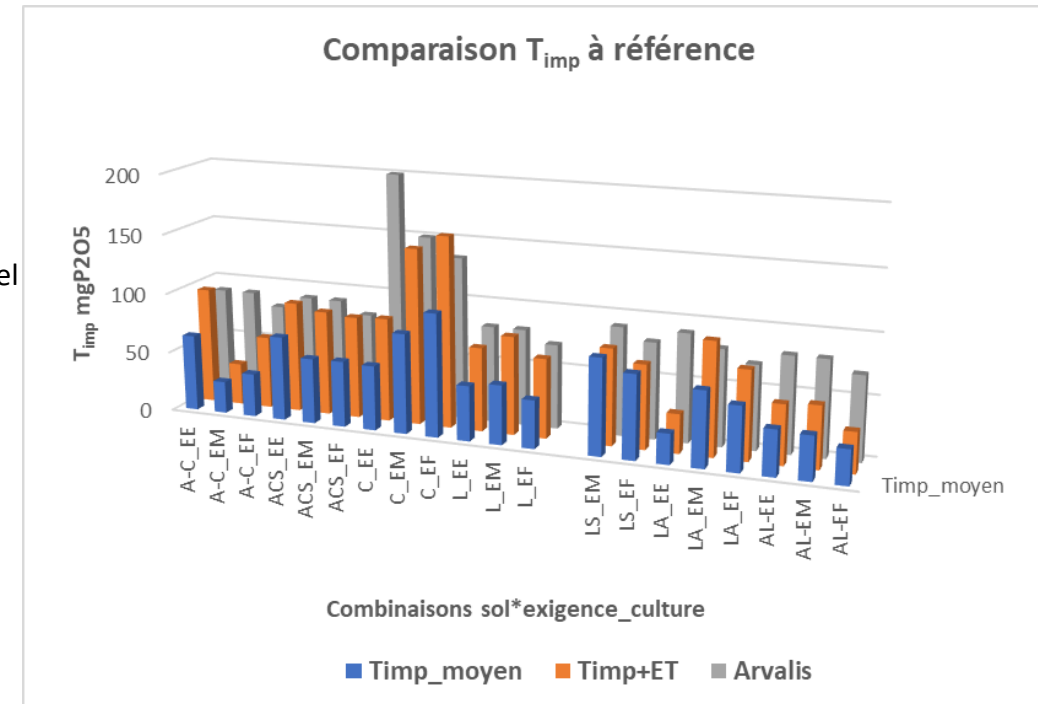
- Typologie sols & fréquence dans les résultats :
limon, craie, argilo-calcaire superficiel, argilo-calcaire, argile lourde, limon argileux, sable, limon superficiel ou caillouteux
- Typologie des culture : classes d'exigence.
Fréquence décroissante : BTH, maïs grain, orge hiver, colza, bett.sucre, ...

Catégories de sols

AC=argilo-calcaire
ACS = argilo-calcaire superficiel
C= craie
L = limon
LS = limon superficiel
LA = limon argileux
AL = argile lourde

Classes d'exigence

EE = exigence élevée
EM = exigence moyenne
EF = exigence faible



En moyenne la valeur des $T_{imp\ moyen}$ calculés est 60 % des T_{imp} Arvalis (28 à 89% suivant cas sol*classe_culture).

$T_{imp} + \text{Ecart-type}$: 84 %

Coefficient de variation moyen $T_{imp} = 44\%$ (16 à 76 %)

Actualiser l'estimation des seuils d'impasse P

30 ans



comifer Gemas

Typologie des cultures

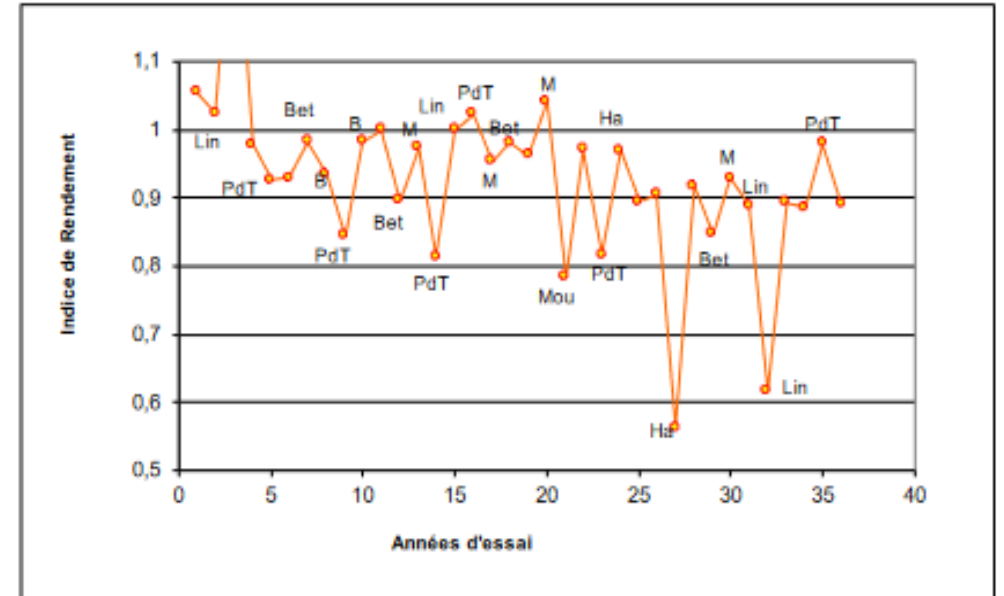
Pourquoi : →

Exigence élevée	Betterave à sucre, colza, luzerne, pomme de terre
Exigence moyenne	Blé dur, maïs fourrage, orge, pois, ray-grass, sorgho, blé de blé
Exigence faible	Avoine, blé tendre, maïs grain, soja, tournesol

← comment

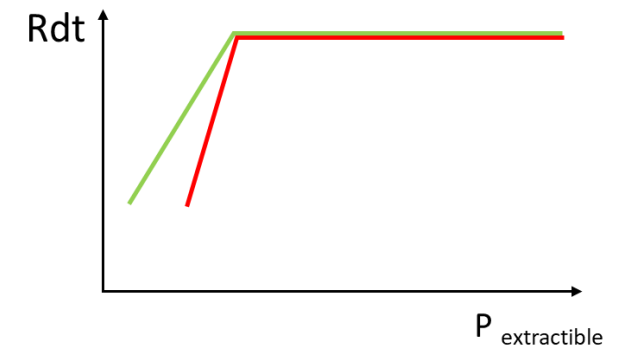
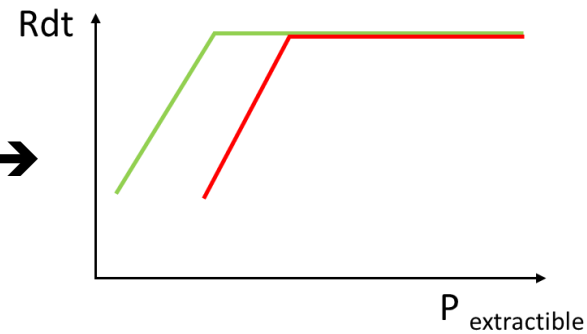
Tableau 2 : Classement des cultures selon leur exigence vis-à-vis du phosphore, proposé par le COMIFER (1995)

COMIFER, Guide de la fertilisation raisonnée



Essai P Versailles; traitement P0

Question : →



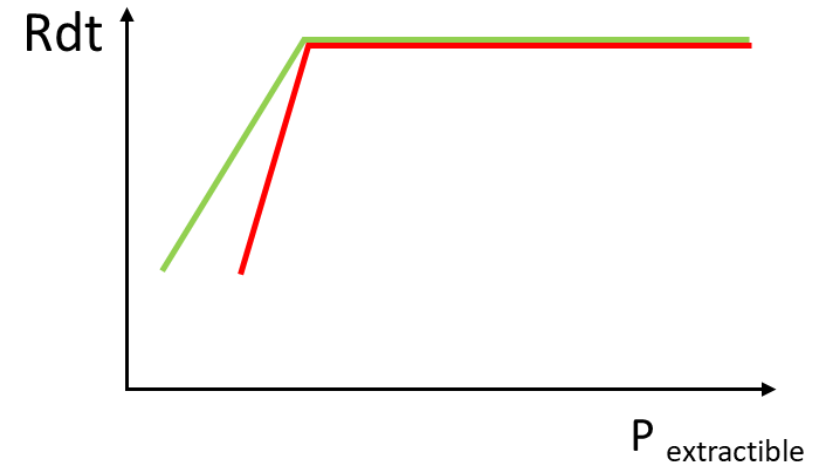
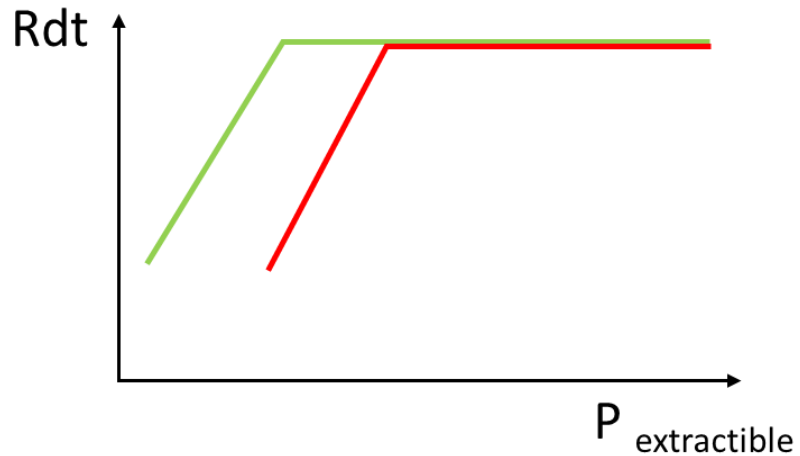
Actualiser l'estimation des seuils d'impasse P

30 ans



comifer Gemas

Révision de la typologie des cultures



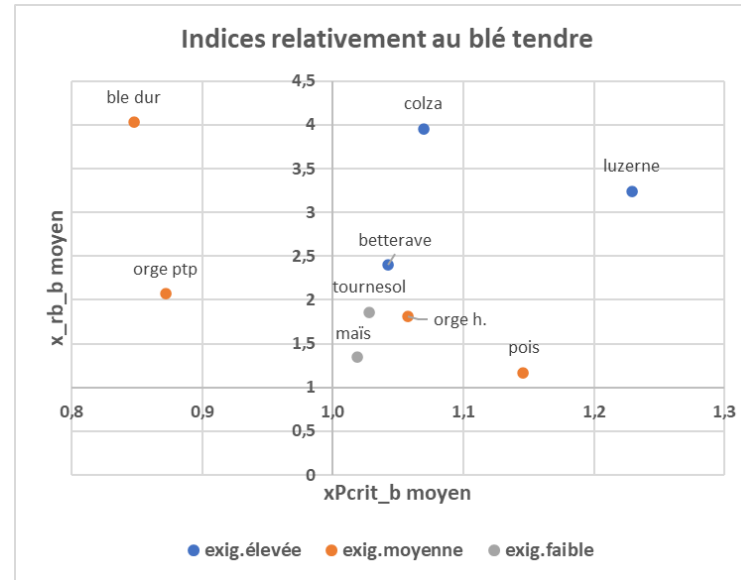
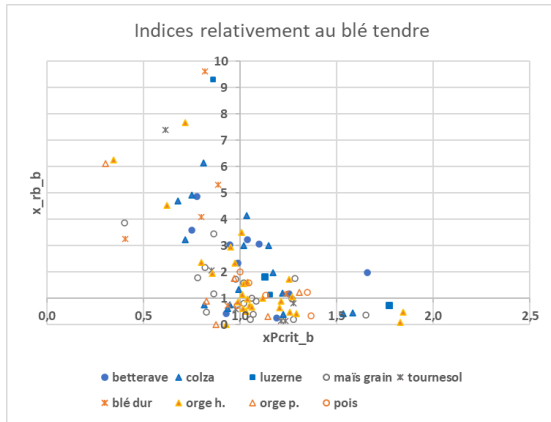
Comparaison des cultures au blé

indice de seuil :
 $T_{\text{imp_culture}} / T_{\text{imp_blé}}$

indice de pente :
pente réponse _culture / pente réponse _blé

Actualiser l'estimation des seuils d'impasse P

30 ans



→ Proposition

- Exigence faible (EF) ou « **sensibilité faible** » (SF) : blé tendre, maïs, maïs fourrage, sorgho grain, auxquels on ajoute avoine, prairie permanente, ray-grass
- Exigence élevée (EE) ou « **sensibilité élevée** » (SE) : orge (h & ptp), tournesol, blé dur, betterave, colza, pois, luzerne, colza printemps, luzerne-dactyle, pomme de terre, féverole, soja auxquels on ajoute haricot, luzerne-dactyle, moutarde,

L'« exigence » (sensibilité) serait davantage affaire de pente de réponse que de seuil
... mais la traduire en seuil (marge de sécurité) est plus pratique

Actualiser l'estimation des seuils d'impasse P

30 ans



comifer Gemas

Typologie des sols

	Arg.Calc .Sup.	Craie	Limon	limon+ argileux	argile lourde	sable
Arg.Calc.	0,63	0,14	0,21	0,69	0,25	
Arg.Calc.Sup.		0,23	0,1	0,84	0,19	
Craie			0,2	0,1	0,19	0,002
Limon				0,42	0,8	0,23
limon+-argileux					0,09	0,51

Avec les principales cultures, concernées par plusieurs sols, ANOVA sur les « sols » → tableau des *p-value*

Typologie de sols Comifer 93

AC=argilo-calcaire
 ACS = argilo-calcaire superficiel
 C= craie
 L = limon
 LS = limon superficiel
 LA = limon argileux
 AL = argile lourde
 S = sable

Proposition de typologie de sols

AC=argilo-calcaires

C= craie

L = limons & argiles

S = sable

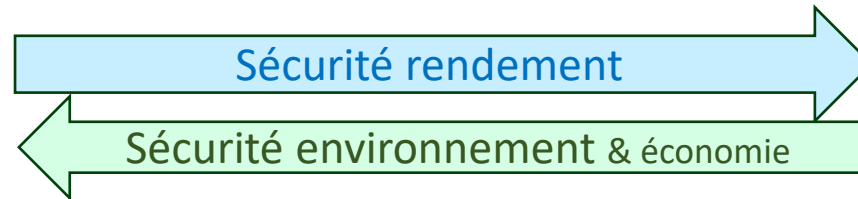
Actualiser l'estimation des seuils d'impasse P

30 ans



comifer Gemas

Une nouvelle grille après révisions des typologies



Type sol revu	Sensibilité culture	Nombre de données	Médiane	Moyenne	Ecart-type ET	Moyenne + ET	Quantile 80 %	Quantile 90 %	Approx seuil actuel
Argilo-calcaire	SE	43	51.6	55.8	29.9	85.7	86.8	98.7	90
Argilo-calcaire	SF	24	35.3	41.8	26.9	68.7	61	67	80
Craie	SE	28	50.8	71.7	53	124.7	113.9	121	180
Craie	SF	15	122.8	99.4	57	156.4	151	165	135
Limon-argile	SE	60	66.6	43.6	24.9	68.5	58	81	80
Limon-argile	SF	60	75	44	25.5	69.5	63	77.8	70
Sable	SF	6	69	67.6	32.9	100.5	90	104	80

*Il reste des incohérences entre classes de sensibilité et seuils réels !
Des coefficients de variation souvent > 50 % !*

sensibilité culture à déficience P : SE = sensibilité élevée ; SF = sensibilité faible ; unité : mg P₂O₅ Olsen / sol sec

Comparaison UK : T_{imp} pour Rothamsted (limon) : 36 mg P₂O₅ ; pour Saxmundham (argile) : 22 mg P₂O₅

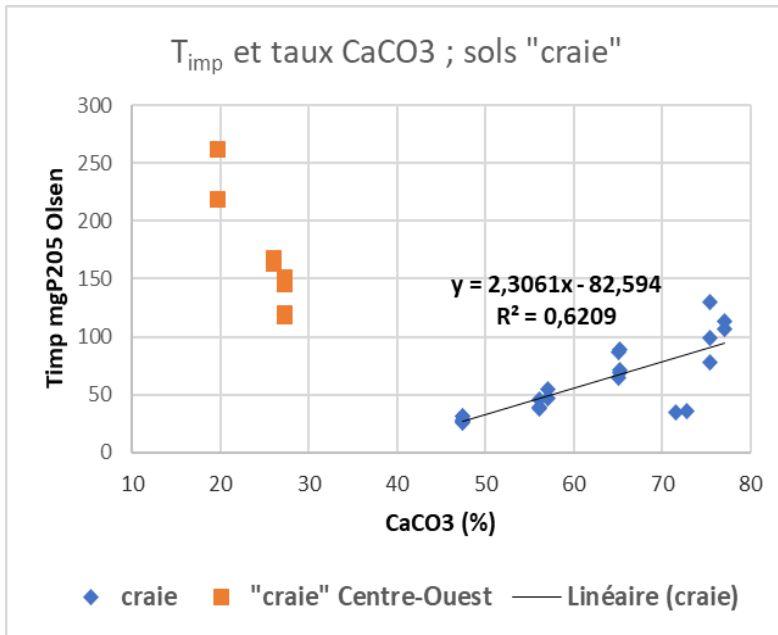
Actualiser l'estimation des seuils d'impasse P

30 ans

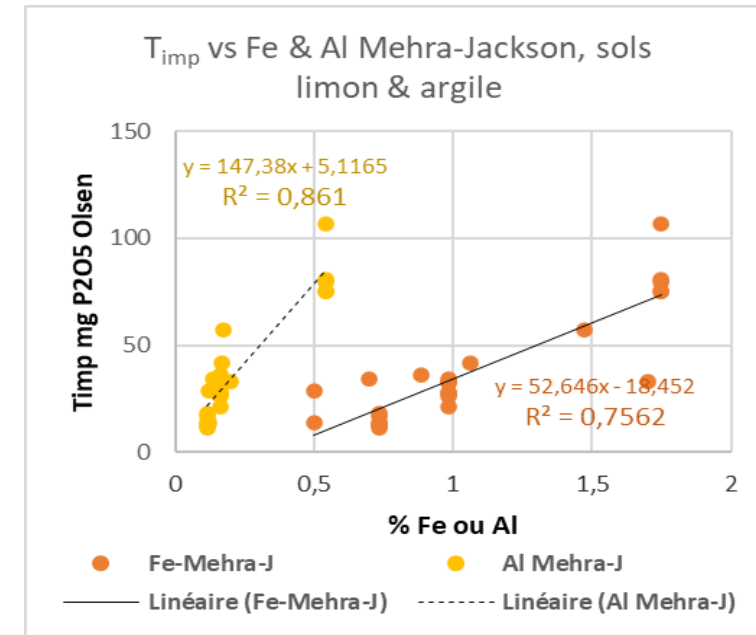


comifer Gemas

Améliorer la typologie-sol en intégrant des indicateurs analytiques



Sol de craie



Sols limoneux et argileux
« Fer libre » (cf.RMQS)



A suivre dans le groupe PKMg COMIFER ...