



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

Ça phosphore aussi sous les tropiques !

C. NOBILE, M. MIRALLES-BRUNEAU, R. CONROZIER,
A. FEVRIER, E. LEGENDRE et M. N. BRAVIN



Introduction

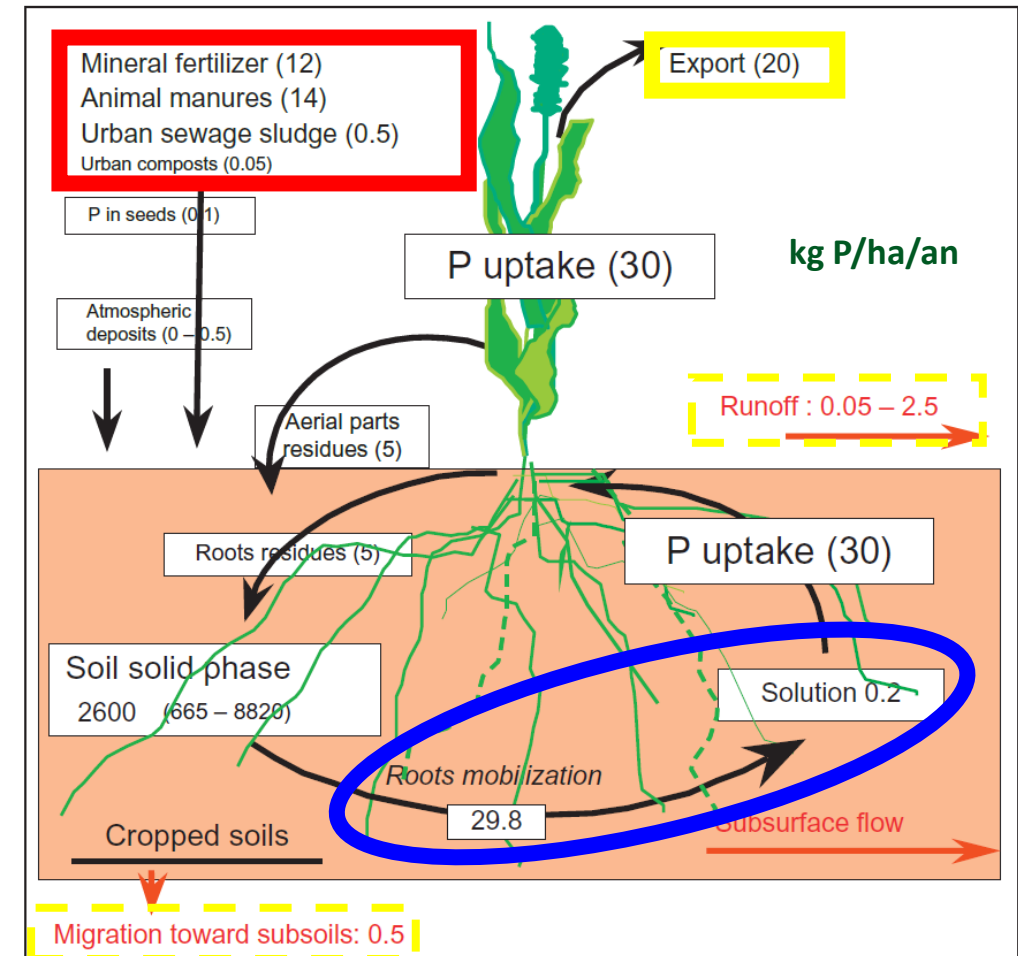
30 ans



comifer Gemas

De la biogéochimie de P au raisonnement de la fertilisation

- Satisfaire besoins de la culture
- Entretenir disponibilité P dans le sol
- Réduire pertes et risque d'eutrophisation



Ziadi et al. (2013) *Adv. Agron.*, 122, 85-126

Introduction

30 ans



comifer Gemas

Principe du raisonnement : la méthode Comifer

■ Détermination des **exportations** par la culture

- Moyenne UE = 14 kg P ha⁻¹ an⁻¹

Panagos et al. (2022) J. Consum. Prot. Food Saf.

■ Choix d'un **coefficient multiplicateur**

- **Disponibilité P dans le sol**
- Exigence de la culture
- Historique de fertilisation

■ Références pour la **France hexagonale**

⇒ Applicable en zones tropicales de l'outre-mer français ?

$$\text{Dose } P_2O_5 \text{ ou } K_2O \text{ conseillée (en kg/ha)} = \text{Coefficient multiplicatif des exportations} \times \text{Rendement prévu (unité de rendement aux normes)} \times \text{Teneur en } P_2O_5 \text{ ou } K_2O \text{ dans les exportations (kg } P_2O_5 \text{ ou } K_2O \text{ par unité de rendement aux normes)}$$

avec un supplément éventuel dû aux exportations de résidus du précédent

P ₂ O ₅	Nb. d'années sans apport depuis la dernière fertilisation	Teneur du sol Positionner la teneur par rapport aux seuils						
		Tenf.	Timp. -10%	Timp.	Timp. +10%	2x Timp.	3x Timp.	
Cultures très exigeantes 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

Denoroy et al. (2019) Comifer

Introduction

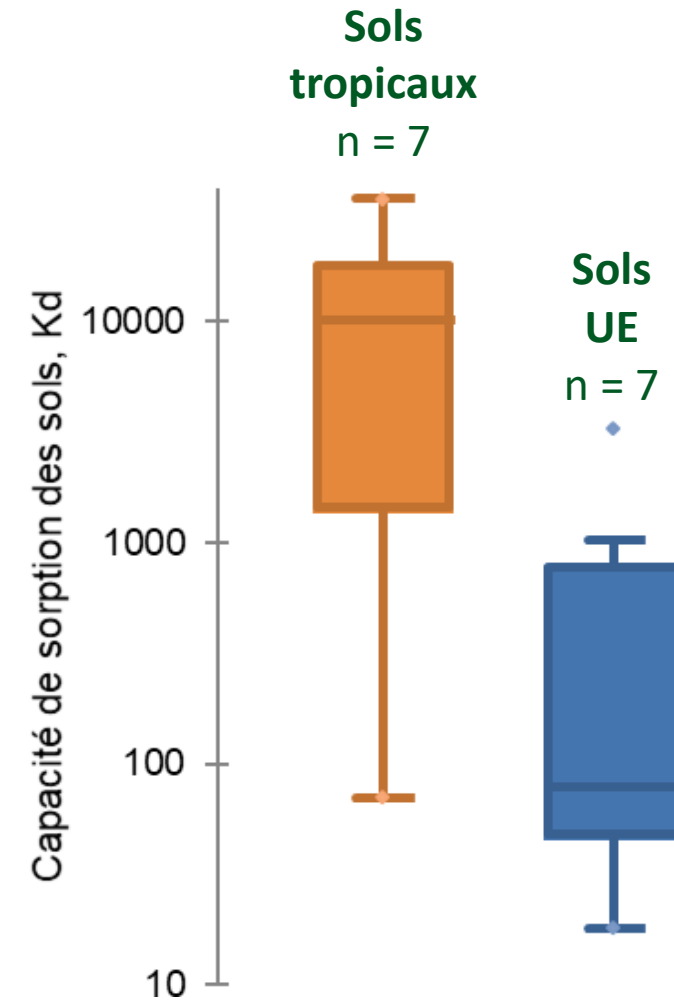
30 ans



comifer Gemas

Objectifs

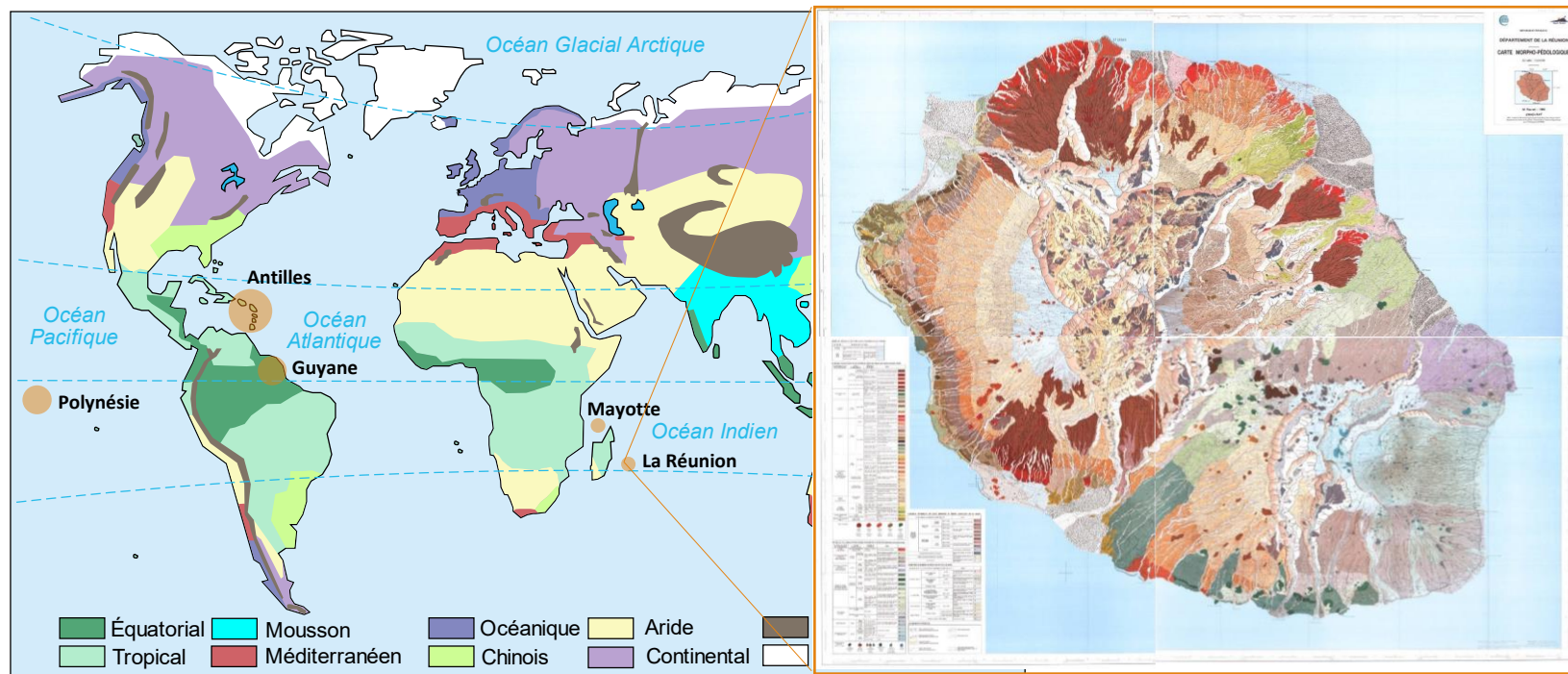
- Estimer **exportations des cultures tropicales**
 - Plus élevées qu'en milieux tempérés ?
- Caractériser **disponibilité de P dans les sols tropicaux**
 - Plus faible qu'en milieux tempérés ?
- Perspectives pour la **mise en œuvre de l'approche Comifer**
 - Comparaison avec les outils existants



Maertens et al. (2004) *Eur. J. Soil Sci.* 55



Caractéristiques du territoire d'étude : La Réunion



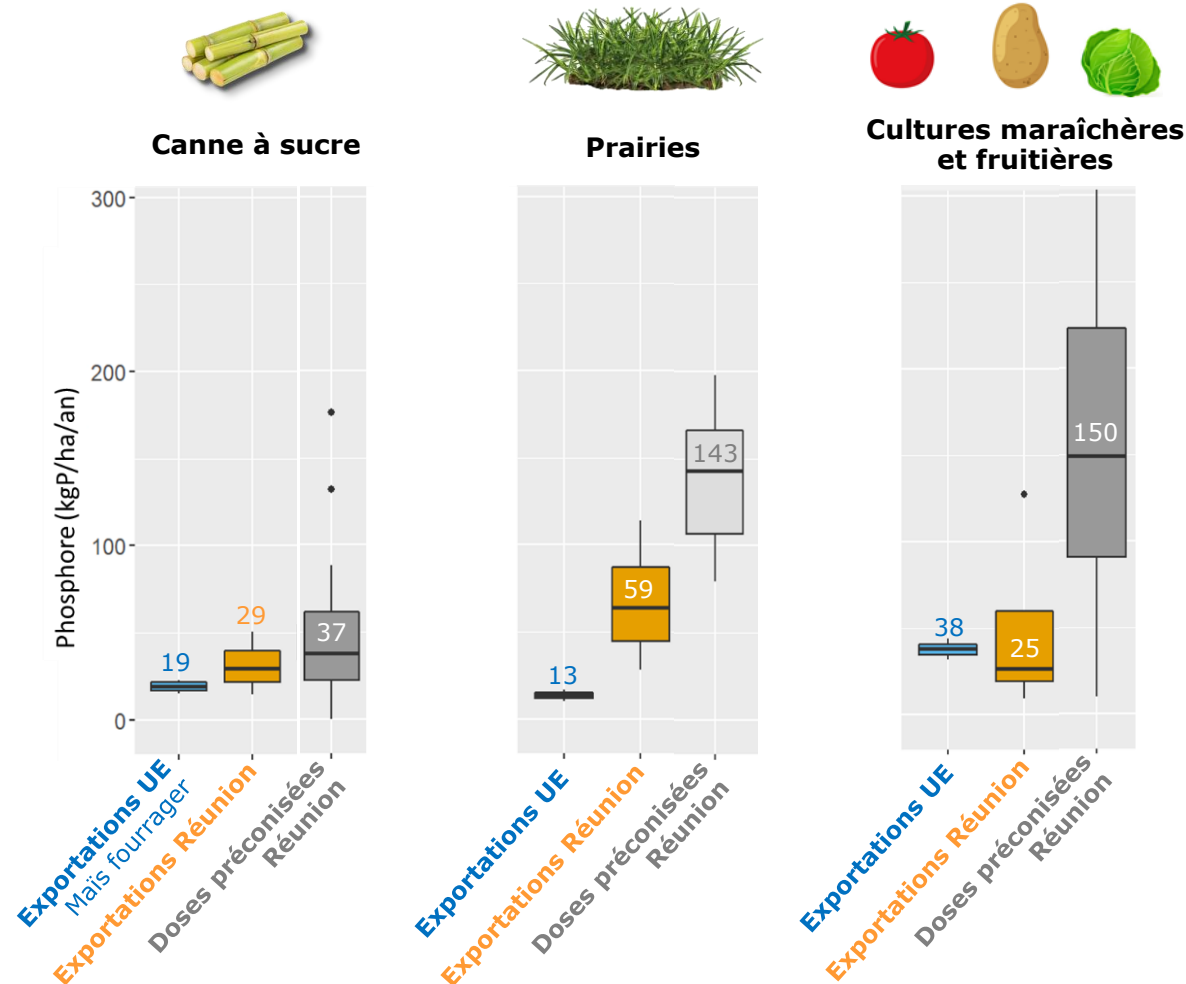
Raunet (1991) Cirad

- Diversité **climatique**
- Diversité **pédologique**
- Diversité **agricole**
- **Flux de P** importants
Fertilisants importés vs. Mafor locales
- **Outils** d'aide à la décision



Exportations de P : La Réunion vs. UE

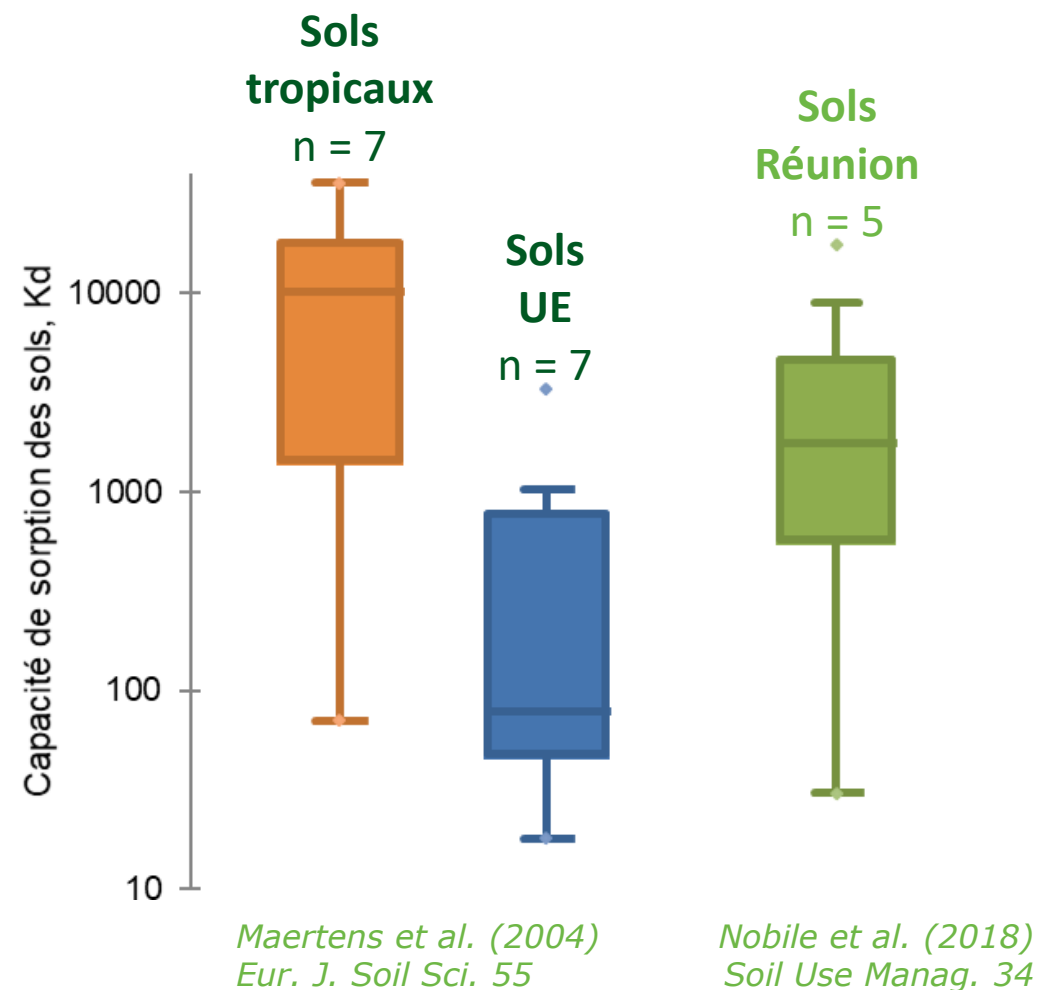
- **Méthodologie** d'estimation
 - Références locales
→ canne à sucre, prairies et ananas
 - Références nationales et dires d'experts
→ cultures maraîchères
- **Exportations** pour la **canne à sucre** et les **prairies** supérieures à cultures équivalentes UE
- **Doses d'apport préconisées** pour **prairies** et **cultures maraîchère et fruitières** très supérieures aux exportations





Disponibilité de P dans les sols La Réunion vs. zones tropicales/tempérées

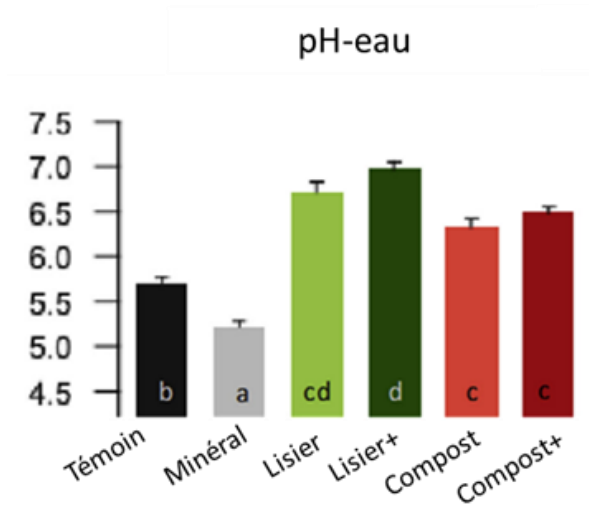
- **Sorption de P** dans les sols réunionnais intermédiaire entre sols tropicaux et tempérées
- Liée au **types de sol**, relativement jeunes et naturellement riches en P
- **Ne justifie pas** les très fortes doses d'apport préconisées



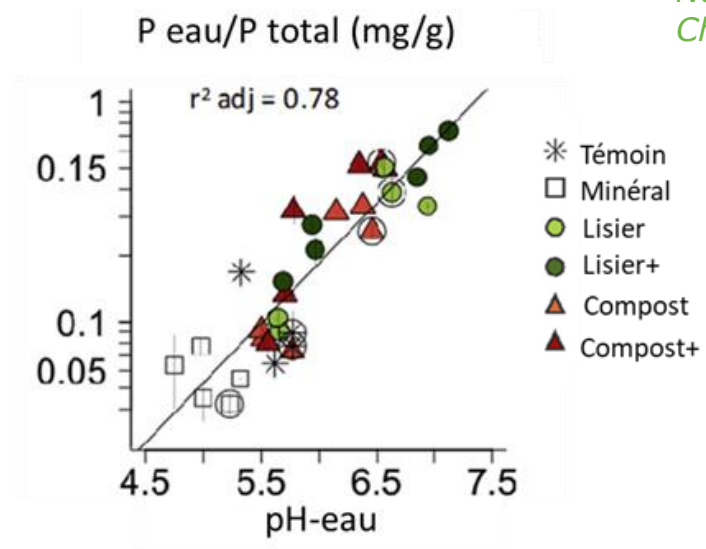


Disponibilité de P et statut acido-basique des sols

- Sols de La Réunion sont **naturellement acides**
 - 50 % sols canniers avec $pH_{eau} \leq 5,5$
 - Acidité aggravée par des **pratiques insuffisantes de chaulage**
- ⇒ **↘ disponibilité de P** dans le sols et **efficacité utilisation engrais P**
- Fort **potentiel alcalinisant des Mafor** (cendres et Pro)



*Nobile et al. (2020)
Chemosphere 239*



Résultats

30 ans



comifer Gemas

Perspectives pour le raisonnement Canne à sucre



- Système expert réunionnais d'aide à la fertilisation : **Serdaf**
- Estimation de **coefficients multiplicateurs** cohérents avec les références Comifer pour cultures peu/moyennement exigeantes
- **Vérification au champ** nécessaire de la gamme des coefficients

Dose P (kg/ha/an) préconisée pour 100 t/ha en repousse

Pouvoir fixateur \ Teneur P	Teneur P				
	Très faible	Faible	Moyen	Fort	Très fort
Faible	44	31	22	0	0
Moyen	62	44	31	22	0
Fort	62	62	44	31	22

Disponibilité P sol

Borot et al. (2010) Cirad

Très faible	Faible	Moyen	Fort	Très fort
-------------	--------	-------	------	-----------



Exportations
34 kg P/ha/an

Coefficients multiplicateurs

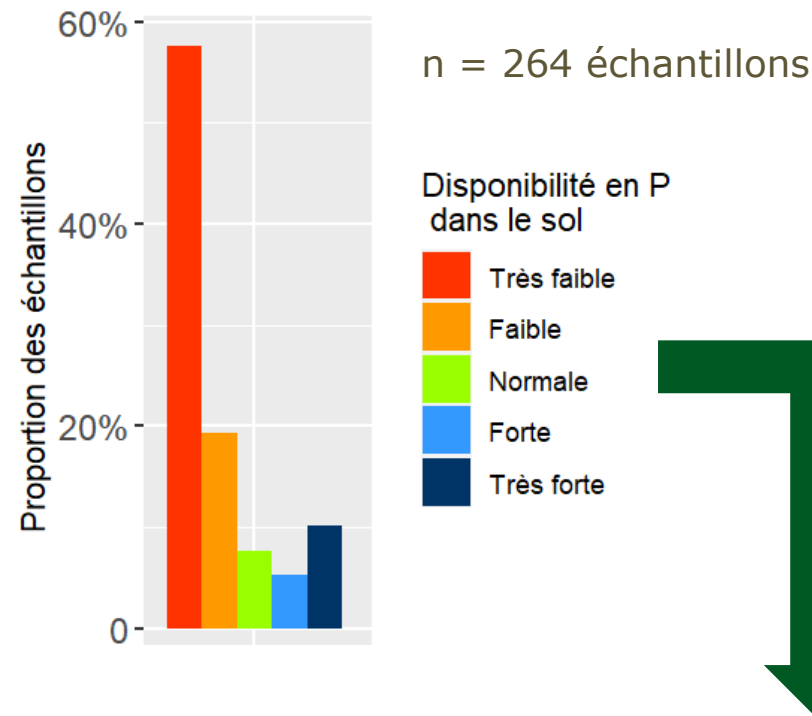
Pouvoir fixateur \ Teneur P	Teneur P				
	Très faible	Faible	Moyen	Fort	Très fort
Faible	1,3	0,9	0,7	0	0
Moyen	1,8	1,3	0,9	0,7	0
Fort	1,8	1,8	1,3	1,4	0,7



Perspectives pour le raisonnement Prairies



- **FertiRun** : doses préconisées $\approx 2-3 \times$ Exportations
- **Table ARP-Idele** : doses préconisées \approx Exportations
 - Méthode des indices de nutrition
- 75 % sols avec **faible disponibilité en P**
- Estimation de **coefficients multiplicateurs** cohérents avec les références Comifer pour cultures très exigeantes



Coefficients multiplicateurs

Teneur p / Pouvoir fixateur	Très faible	Faible	Moyen	Fort	Très fort
Faible	2	1,5	1	0,5	0
Moyen	2,5	2	1,5	1	0,5
Fort	3	2,5	2	1,5	1

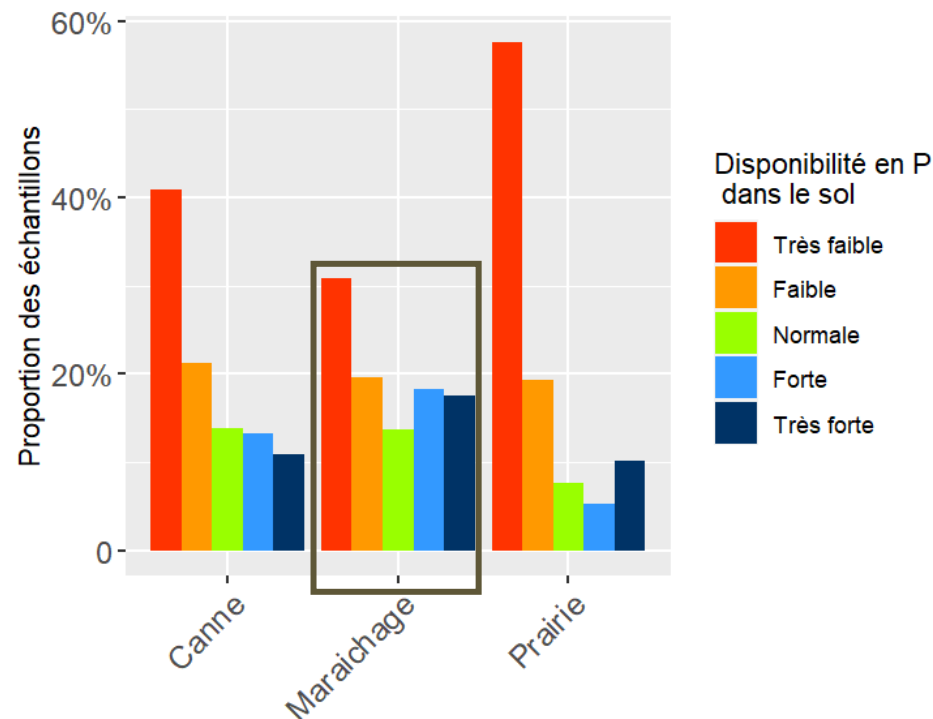


Perspectives pour le raisonnement Cultures maraîchères et fruitières



- **FertiRun** : doses préconisées $\approx 6 \times$ Exportations
- **Très forte variabilité exportation P**
5 à 30 kg P/ha/cycle
- **% faible disponibilité P inférieur**
aux sols canniers et sous prairies

⇒ Estimation de **coefficients multiplicateurs** en fonction des cultures et en cohérence avec les références CTIFL



Laitue

	Teneurs en P ₂ O ₅ (ou P) dans le sol			
	T renforcé	T réduit	T impasse	
	60 ppm (26 ppm)	90 ppm (39 ppm)	180 ppm (78 ppm)	
Apports de P ₂ O ₅ (u/ha)	2 x Exp° (environ 70 u)	1 x Exp° (environ 35 u)	0,5 x Exp° (environ 15 u)	0

Lecompte et al. (2022) Infos CTIFL, 384

Conclusion

30 ans



comifer Gemas

Processus biogéochimiques similaires \Rightarrow **Application possible de la méthode Comifer**

- **Gamme d'exportations P plus large** qu'en France hexagonale
- **Gamme de disponibilité P intermédiaire** entre sols tempérés et tropicaux
- **Correction de l'acidité des sols pour \nearrow disponibilité P** indépendamment de la fertilisation
- **Validation des coefficients multiplicateurs et des seuils** (impasse et renforcement) au champ

30 ans

16^e Rencontres

DE LA FERTILISATION RAISONNÉE ET DE L'ANALYSE

Ça phosphore aussi
sous les tropiques !

C. NOBILE, M. MIRALLES-BRUNEAU, R. CONROZIER,
A. FEVRIER, E. LEGENDRE et M. N. BRAVIN



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

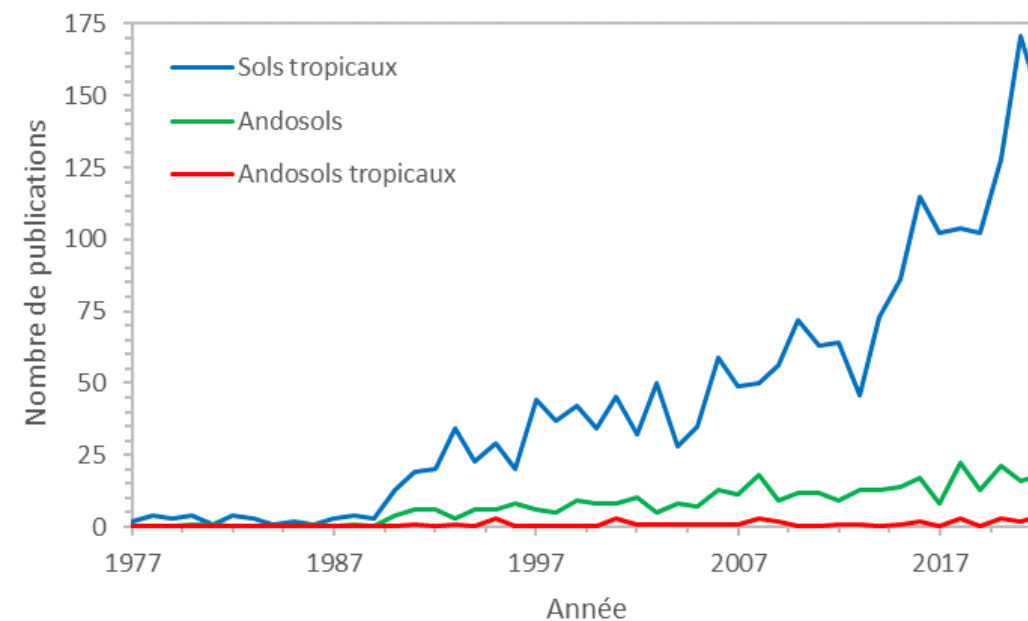




Les sols tropicaux et volcaniques sont peu étudiés

Requêtes Web of Science

- **Sols tropicaux**
soil* and phosph* and trop* and fertili* not forest*
- **Andosols**
soil* and phosph* and (volc* or andosol* or andisol* or andic) and fertili* not forest*
- **Andosols tropicaux**
soil* and phosph* and (volc* or andosol* or andisol* or andic) and trop* and fertili* not forest*



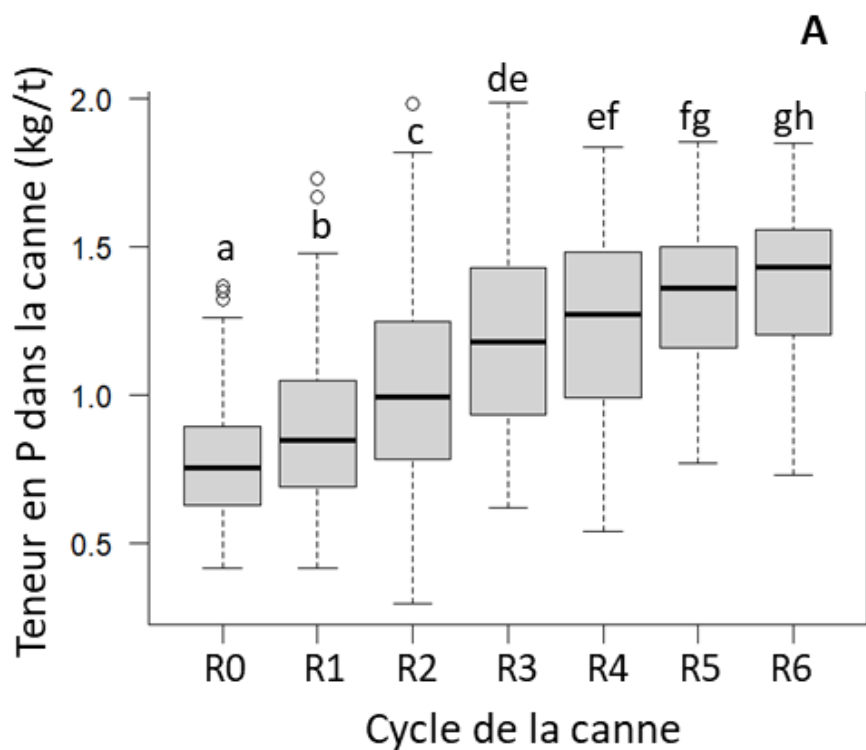
Résultats

30 ans



comifer Gemas

Estimations de l'exportation de P par la canne à sucre



Compartiment	Unité	Cycle R0-R2		Cycle R3 et +	
		non irriguée	irriguée	non irriguée	irriguée
Partie aérienne récoltée	Teneur	0,91 ± 0,19		1,19 ± 0,25	
	Biomasse	23,8 (20,8-29,7)	32,7 (26,7-35,6)	23,8 (20,8-29,7)	32,7 (26,7-35,6)
	Exportations	21,6 (14,4-31,5)	29,7 (18,1-38,6)	28,3 (18,8-41,3)	38,9 (23,6-50,6)
Paillis	Teneur	0,97			
	Biomasse			2,9 (2,5 - 3,6)	4,0 (3,2 - 4,3)
	Prélèvement			2,8 (2,4 - 3,5)	3,9 (3,1 - 4,2)
Racines	Teneur	0,98 ± 0,07			
	Biomasse	7,4 ± 3,0			
	Prélèvement	7,3 ± 3,5			
Tous	Besoins			38,4 (25-55,6)	49 (30,5-65,8)

Résultats

30 ans



comifer Gemas

Estimations de l'exportation de P par les prairies

Zone d'étude	ITK	Rendement (t MS/ha)			Teneur N (% MS)		teneur P (kg/t MS)		Exportation P (kg/ha/an)
		Annuel	Sai. Pluies	Sai. Sèche	Sai. Pluies	Sai. Sèche	Sai. Pluies	Sai. Sèche	
Littoral (0-500 m)	Maximum ¹	40	5,5	4,5	2,02	2,16	2,81	2,90	114
	Optimisé ²	30	4,1	3,4	2,22	2,38	2,95	3,05	90
	Semi-extensif ³	17	2,3	2,6	2,7	2,62	3,25	3,20	55
	Extensif ⁴	13	2,4	2,9	2,68	2,5	3,24	3,12	41
Mi-pente (500-1000 m)	Maximum ¹	30	4,5	4	2,16	2,25	2,90	2,96	88
	Optimisé ²	25	3,8	3,3	2,3	2,39	2,99	3,05	75
	Semi-extensif ³	15	3	2	2,48	2,84	3,11	3,35	48
	Extensif ⁴	8	1,6	1,6	3,07	3,07	3,49	3,49	28
Hauts (1000-2000 m)	Maximum ¹	25	3,8	5	3,14	2,87	3,54	3,36	87
	Optimisé ²	20	3	4	3,38	3,08	3,70	3,50	72
	Semi-extensif ³	12	2,4	2,4	3,63	3,63	3,86	3,86	46
	Extensif ⁴	7,5	1,5	3	4,22	3,38	4,24	3,70	30

Résultats

30 ans



comifer Gemas

Estimations de l'exportation de P par les cultures maraîchères

Culture	Organe	Teneur en P (kgP/tMS)	Mat. Sèche %	Référence ^a	Rendement (tMB/ha/cycle)	P exporté par cycle (kgP/ha/cycle)	Durée du cycle (jours)	P exporté annuel ^b (kgP/ha/an)
ail	tête	17,18	11	Generalitat de Catalunya, Departament d'Agricultura, 2012	10 (8-12)	18,9	150	37,8
						(15,1-22,7)		
ananas	fruit	1,28	16	Darnaudery et al., 2018	25 (15-35)	5,1 (3,1-7,2)	686 (610-763)	2,2 (2,4-3,2)
	fruit + feuilles basses	2,68	7		110 (85-135)	20,59 (15,8-25,4)		9,0 (6,9-11,1)
artichaud	tête	3,35	17	Comifer, 2019	21 (18-24)	12,0 (10,3-13,7)	240	15,0 (12,9-17,1)
aubergine	fruit	6,29	7	Raynal-Lacroix, CTIFL, 1999	45 (30-60)	19,8 (13,2-26,4)	90	66,0 (44-88)
carotte ^c	racine	2,89	9	Comifer, 2019	20 (15-25)	5,2 (3,9-6,5)	100 (90-110)	15,6 (11,7-19,5)
					55	24,2	85	85,4
chou-fleur ^d	tête	4,89	9	Comifer, 2019	55 (50-60)	31,4 (22-26,4)	85 (70-100)	110,6 (77,7-93,2)
chou pommé	tête	4,75	12	Comifer, 2019	55 (50-60)	31,4 (28,5-34,2)	85 (70-100)	110,6 (100,6-120,7)
concombre	fruit	6,29	7	Guide bio	30 (20-50)	13,2 (8,8-22)	65 (60-70)	60,9 (40,6-101,5)
courgette	fruit	4,00	7	Comifer, 2019	30 (25-40)	8,4 (7-11,2)	65 (60-70)	38,8 (32,3-51,7)
					9	4,1	65	19,1
haricot vert	gousse	4,60	10	Comifer, 2019	7 (7-12)	4,1 (3,2-5,5)	65 (60-70)	19,1 (14,8-25,4)
laitue	feuille	4,80	5	Comifer, 2019	40 (30-50)	9,6 (7,2-12)	50 (40-60)	57,6 (43,2-72)
melon ^e	fruit	5,57	7	Comifer, 2019	30 (20-40)	11,7 (7,8-15,6)	157,5 (75-240)	22,3 (14,9-29,7)
navet	racine	5,17	6	Comifer, 2019	25 (15-35)	7,8 (4,7-10,9)	150	15,5 (9,4-21,8)
					28	11,5	135	25,5
oignon	bulbe	3,73	11	CA Finistère, 2002	20 (20-35)	11,5 (8,2-14,4)	135 (120-150)	25,5 (18,2-32)
					30	10,5		13,1
poireau	fût et feuille	3,18	11	Comifer, 2019	20 (20-40)	10,5 (7-14)	240	13,1 (8,8-17,5)
poivron	fruit	6,11	9	Raynal-Lacroix, CTIFL, 1999	30 (20-40)	16,5 (11-22)	180	27,5 (18,3-36,7)
					20	8,8	105	25,1
pomme de terre	tubercule	2,20	20	Comifer, 2019	15 (15-30)	8,8 (6,6-13,2)	105 (90-120)	25,1 (18,9-37,7)
					21	9,2	28	99,0
radis	tubercule	7,33	6	Raynal-Lacroix, CTIFL, 1999	15 (15-27)	9,2 (6,6-11,9)	28 (21-35)	99,0 (70,7-127,5)
tomate	fruit	3,67	6	Comifer, 2019	40 (20-60)	8,8 (4,4-13,2)	135 (120-150)	19,6 (9,8-29,3)

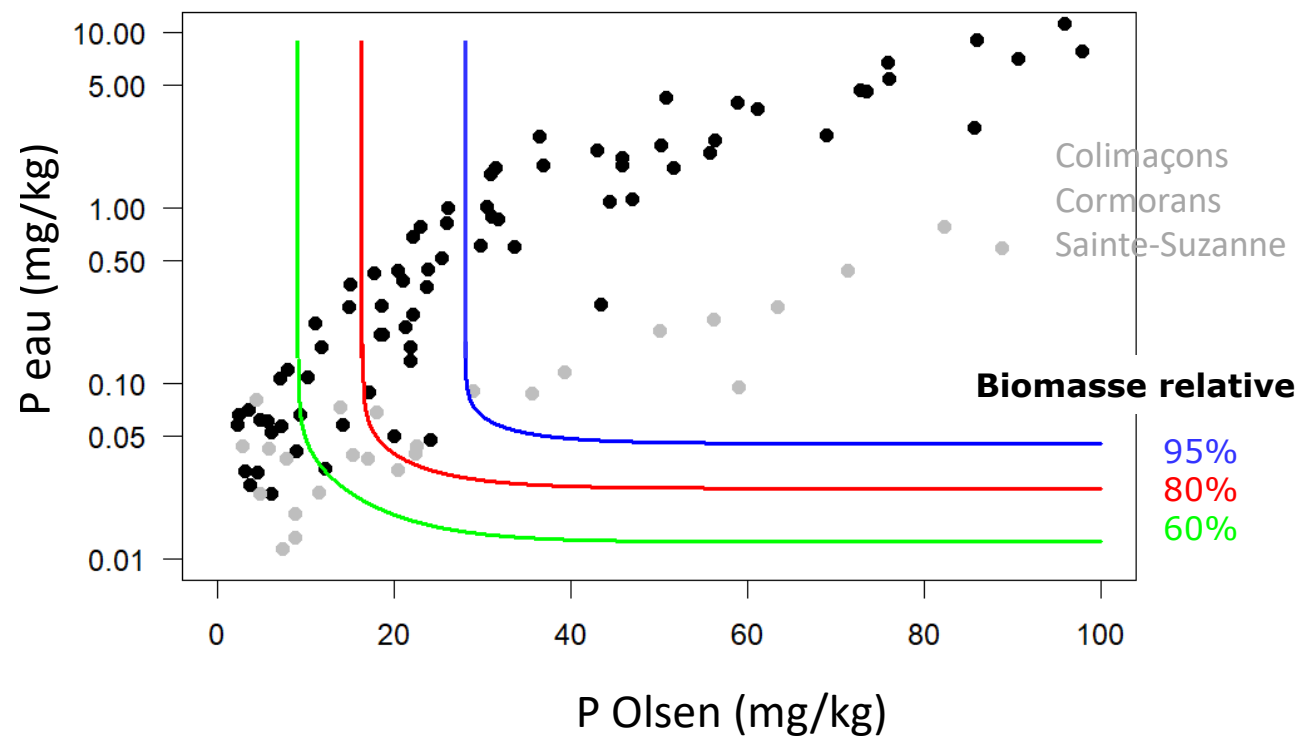
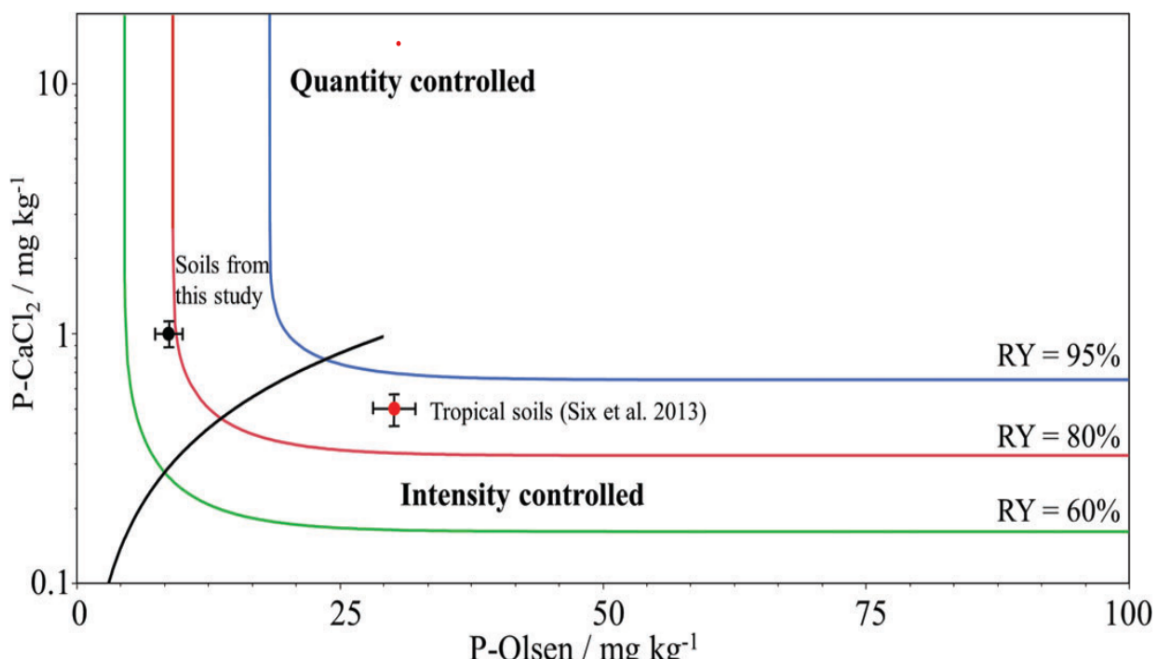
Résultats

30 ans



comifer Gemas

Contrôle quantitatif vs. intensif de la disponibilité de P dans les sols réunionnais



Nawara et al. (2017) Eur. J. Soil Sci., 68