

# Vers une révision du raisonnement de la dose d'apport en phosphore des prairies à La Réunion ?

Cécile Nobile, Maëva Miralles-Bruneau, Matthieu Bravin

Présentation des résultats du groupe P - 11/09/2023

# Déroulé de la présentation

1. Contexte
2. Exportations et nutrition en P des prairies
3. Principe de raisonnement de la dose d'apport en P
4. Conclusion

# 1. CONTEXTE

# L'origine des interrogations

## ■ Références historiques

Issues du Cirad (Chabalier et al. 2006)

- Exportations : 26-79 kg P/ha/an

=> Tables de Ferti-Run

- "Besoins" = 2-3 × Exportations
  - Soit 79 à 196 kg/P/ha/an (180 à 445 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) pour 10 à 25 t MS/ha/an
  - Besoins = doses conseillées

## ■ Dernières références proposées

Issues du travail de l'ARP (2020)

Rdt (t MS/ha/an)	Exploitation rapide		Exploitation lente	
	Tempérées	Tropicales	Tempérées	Tropicales
<b>PATURAGE</b>				
10	35	30	30	30
15	50	45	50	45
20	70	60	65	60
<b>ENSILAGE ET ENRUBANNAGE</b>				
10	30	25	30	25
15	45	40	45	40
20	60	55	55	50
25	80	70	70	65
<b>FOIN</b>				
10	30	30	25	25
15	40	40	40	40
20	55	55	50	50
25	70	70	65	65
30	85	80	75	75

Exportations

- 25 à 85 kg/P/ha/an

Comparable

Non comparable

# Le mode de raisonnement de référence en France

- Principes énoncés dès 1952 (Demolon, Dynamique du sol)

Exportations

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

Coefficients multiplicateurs définis à partir des seuils de disponibilité de P dans le sol



# Objectifs du groupe P

- Faire un état des lieux des connaissances réunionnaises
  - Niveaux d'exportations de P par les Cultures
  - Disponibilités de P dans les sols
  - Focaliser sur prairie, en comparaison avec autres cultures (canne)
- Proposer une opérationnalisation de ces connaissances
  - Mode de raisonnement de référence en France
- Eclairer les débats sur les conséquences d'une évolution des références
  - Lors de la mise en œuvre d'un nouveau mode de raisonnement
  - Face aux enjeux associés au raisonnement de la fertilisation en P des cultures

## **2. EXPORTATIONS ET NUTRITION EN P DES PRAIRIES**

# Les exportations en P des prairies



# Evaluation des exportations par le groupe P

- Objectifs :

Définir la gamme d'exportations en phosphore des prairies réunionnaises dans l'optique de définir de nouvelles références d'exportation

- Approche utilisée :

- Synthèse bibliographique des travaux antérieurs ;
- Test en parallèle de deux méthodologies de calcul des exportations ;
- Validation d'une méthode et d'une grille.

# Méthode de calcul des exportations en P des prairies

- Définition :

Quantité de phosphore sortie de la parcelle, à travers le fourrage récolté, par la récolte mécanique ou l'ingestion des animaux

- Méthode de calcul :

$$\text{Exportation (kg N/ha)} = \text{Rendement (t MS/ha)} \times \text{Teneur en P (g/kg MS)}$$

Le calcul peut se faire à l'échelle de la récolte, de la saison, ou de l'année.

# Synthèse bibliographique des travaux antérieurs

- Valeurs d'exportations en P mesurées et communiquées :

Synthèse des essais IRAT, CIRAD, ARP entre 1970-2020 :

Exportations en P : 10 à 130 kg P/ha/an

=> Peu d'études, qui ne portaient pas spécifiquement sur le P, ce qui ne permet pas d'avoir des éléments explicatifs (couvert, pédoclimatique, gestion) de ces niveaux d'exportation.

# Comparaison aux valeurs communiquées

## ■ Valeurs d'exportations en P mesurées et communiquées :

Grille 2020 de l'ARP :

-Grilles basées sur des cas type

-Valeurs calculées à partir des équations de dilution en N et P :

$$\%N_{C3} = 4,8 \times Rdt^{-0,32} \text{ (Blanfort, 1998)}$$

$$\%N_{C4} = 3,6 \times Rdt^{-0,34} \text{ (Blanfort, 1998)}$$

$$P\% = 0,15 + 0,065 \%N \text{ (Jouany et al., 2021)}$$

Rdt (t MS/ha/an)	Exploitation rapide		Exploitation lente	
	Tempérées	Tropicales	Tempérées	Tropicales
<b>PATURAGE</b>				
10	35	30	30	30
15	50	45	50	45
20	70	60	65	60
<b>ENSILAGE ET ENRUBANNAGE</b>				
10	30	25	30	25
15	45	40	45	40
20	60	55	55	50
25	80	70	70	65
<b>FOIN</b>				
10	30	30	25	25
15	40	40	40	40
20	55	55	50	50
25	70	70	65	65
30	85	80	75	75

=> Gamme moins large que les résultats antérieurs, qui ne prend en compte que des situations optimums de nutrition de la prairie.

=> Valeurs qui sont du même ordre que les communications antérieures du CIRAD et de la Chambre d'Agriculture

# Comparaison aux valeurs communiquées

- Valeurs de doses fertilisantes en P communiquées :

- Les doses fertilisantes préconisées ont varié de 20 à 220 kg P/ha/an.

Dose fertilisante = Exportation P x Coef. Fixation du sol

- Prise en compte de la faible disponibilité du P dans les sols grâce à des coef. multiplicateurs variants de 2 à 3 (travaux de l'IRAT et du Cirad réalisés dans les années 70 et 90.).

# Comparaison aux valeurs communiquées

- Valeurs de doses fertilisantes en P communiquées :

Exemple du logiciel Ferti-Run (2006) :

Valeurs d'exportations issues des travaux du Cirad auxquelles on a affecté un coef. prenant en compte la faible disponibilité du P dans les andosols



Rendement (tMS/ha)	10	12	15	18	20	22	25
Besoins en P (kgP/ha)	78	94	118	141	157	173	196

$$\text{Besoin en P} = \text{Exportation P} \times 3$$

# Définition d'une nouvelle gamme d'exportation en P des prairies

- Méthodologie :

1. Définition d'une **typologie de prairies** représentative des milieux, des pratiques, des niveaux de **rendements** et nutritifs rencontrés,
2. Test en parallèle de deux approches pour définir des teneurs en P pour chaque type de prairie définie :
  - a) Sur la base d'analyses de laboratoire (approche classique)
  - b) Sur la base des équations de dilution en N et P (approche ARP)
3. Calcul des exportations :

$$\text{Exportation (kg N/ha)} = \text{Rendement (t MS/ha)} \times \text{Teneur en P (g/kg MS)}$$

# Définition d'une nouvelle gamme d'exportation en P des prairies

## 1) Typologie de prairies :

12 cas types

### – 3 zones :

- littorale (0 – 500 m)
- mi-pente (500 – 1000 m)
- Hauts (1000 – 2000 m)

### – 4 niveaux de productivité :

- Maximum
- Raisonnable
- Semi-extensif
- Extensif

Zone d'étude	ITK	Nombre de coupes		Rendement (t MS/ha)		
		Sai. Pluies	Sai. Sèche	Annuel	Sai. Pluies	Sai. Sèche
Littoral (0-500 m)	Maximum	4	4	40	5,5	4,5
	Optimisé	4	4	30	4,1	3,4
	Semi-extensif	4	3	17	2,3	2,6
	Extensif	3	2	13	2,4	2,9
Mi-pente (500-1000 m)	Maximum	4	3	30	4,5	4,0
	Optimisé	4	3	25	3,8	3,3
	Semi-extensif	3	3	15	3,0	2,0
	Extensif	3	2	8	1,6	1,6
Hauts (1000-2000 m)	Maximum	4	2	25	3,8	5,0
	Optimisé	4	2	20	3,0	4,0
	Semi-extensif	3	2	12	2,4	2,4
	Extensif	3	1	7,5	1,5	3,0

# Définition d'une nouvelle gamme d'exportation en P des prairies

## ■ 2.b) Estimation de la teneur en P par les équations de dilution en N et P :

Equations de dilution en N et P :

Teneur en N :  $\%N_{C3} = 4,8 \times Rdt^{0,32}$  (Blanfort, 1998)

ou  $\%N_{C4} = 3,6 \times Rdt^{0,34}$  (Blanfort, 1998)

Teneur en P :  $\%P = 0,15 + 0,065 \%N$  (Jouany et al., 2021)

Zone d'étude	ITK	Teneur N (% MS)		teneur P (g/kg MS)	
		Sai. Pluies	Sai. Sèche	Sai. Pluies	Sai. Sèche
Littoral (0-500 m)	Maximum	2,02	2,16	2,81	2,90
	Optimisé	2,22	2,38	2,95	3,05
	Semi-extensif	2,7	2,62	3,25	3,20
	Extensif	2,68	2,5	3,24	3,12
Mi-pente (500-1000 m)	Maximum	2,16	2,25	2,90	2,96
	Optimisé	2,3	2,39	2,99	3,05
	Semi-extensif	2,48	2,84	3,11	3,35
	Extensif	3,07	3,07	3,49	3,49
Hauts (1000-2000 m)	Maximum	3,14	2,87	3,54	3,36
	Optimisé	3,38	3,08	3,70	3,50
	Semi-extensif	3,63	3,63	3,86	3,86
	Extensif	4,22	3,38	4,24	3,70

3 hypothèses de niveau de nutrition des prairies :

- **Sous-nutrition** : 80 % des besoins en P couverts
- **Optimale** : 100 % des besoins en P couverts
- **Surconsommation** : 110 % des besoins en P couverts

# Définition d'une nouvelle gamme d'exportation en P des prairies

## ■ 3) Calcul des exportations :

- ⇒ Gamme équivalente aux références biblio.
- ⇒ Gamme plus large que pour l'approche par les analyses labo
- ⇒ Gamme de situations nutrition en P représentées
- ⇒ Niveaux de sous et sur nutrition qui pourraient être redéfinis en fonction du niveau de productivité

Zone d'étude	ITK	Exportation P (kg P/ha/an)		
		<i>iP = 80</i>	<i>iP = 100</i>	<i>iP = 110</i>
Littoral (0-500 m)	Maximum	91	<b>114</b>	126
	Optimisé	72	<b>90</b>	99
	Semi-extensif	44	<b>55</b>	60
	Extensif	33	<b>41</b>	46
Mi-pente (500-1000 m)	Maximum	70	<b>88</b>	97
	Optimisé	60	<b>75</b>	83
	Semi-extensif	38	<b>48</b>	53
	Extensif	22	<b>28</b>	31
Hauts (1000-2000 m)	Maximum	69	<b>87</b>	95
	Optimisé	58	<b>72</b>	80
	Semi-extensif	37	<b>46</b>	51
	Extensif	24	<b>30</b>	33

Exportation de 24 à 126 kg P/ha/an

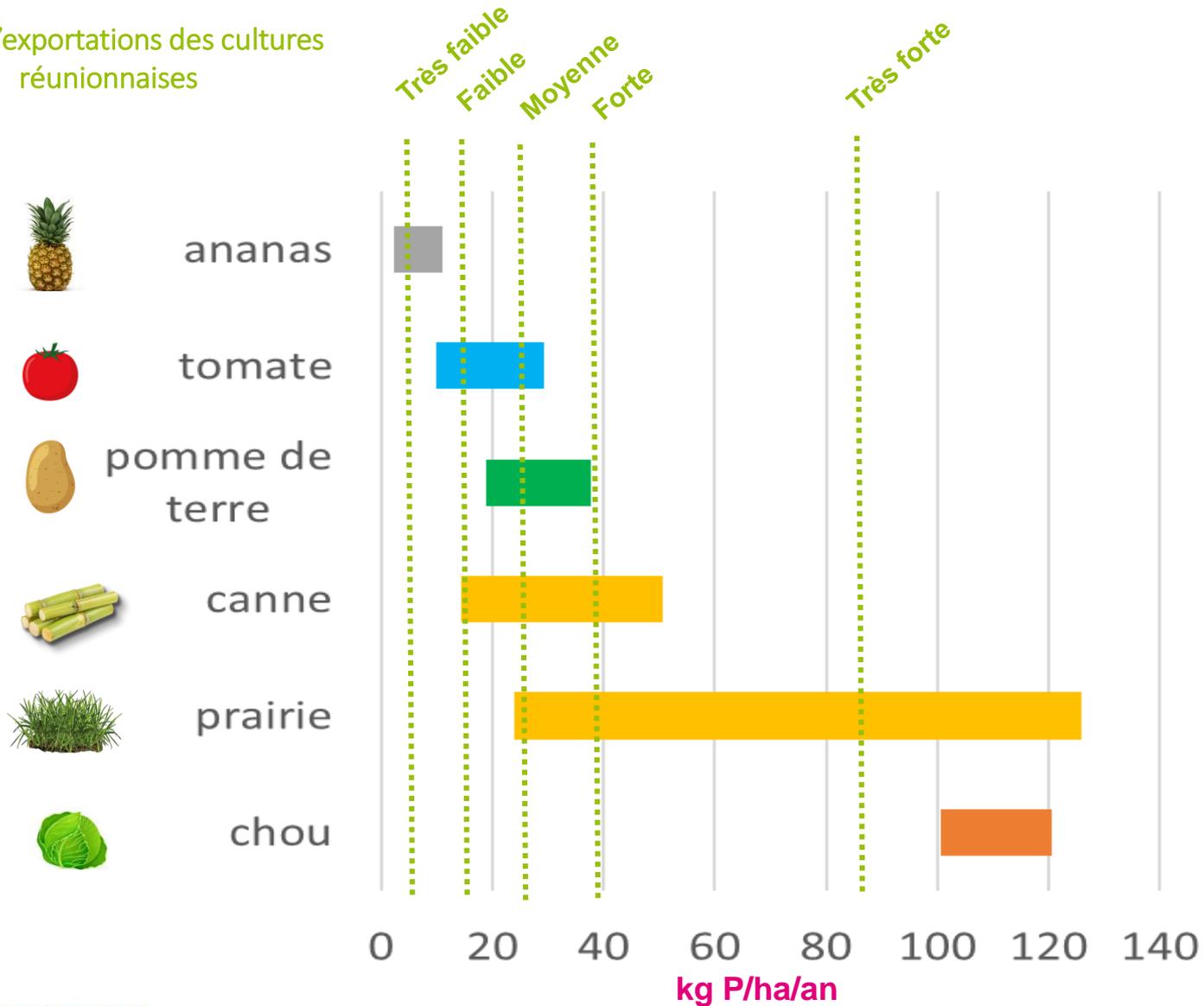
# Nouvelle grille d'exportations des prairies

Zone d'étude	ITK	Exportation P (kg P/ha/an)		
		<i>iP = 80</i>	<i>iP = 100</i>	<i>iP = 110</i>
Littoral (0-500 m)	Maximum	91	<b>114</b>	126
	Optimisé	72	<b>90</b>	99
	Semi-extensif	44	<b>55</b>	60
	Extensif	33	<b>41</b>	46
Mi-pente (500-1000 m)	Maximum	70	<b>88</b>	97
	Optimisé	60	<b>75</b>	83
	Semi-extensif	38	<b>48</b>	53
	Extensif	22	<b>28</b>	31
Hauts (1000-2000 m)	Maximum	69	<b>87</b>	95
	Optimisé	58	<b>72</b>	80
	Semi-extensif	37	<b>46</b>	51
	Extensif	24	<b>30</b>	33

- Gamme d'exportation validée par la biblio et une approche par des teneurs de laboratoire.
- Grille qui pourrait être améliorée en prenant en compte des niveaux de nutrition min et max différenciés selon le niveau de productivité.
- Référentiel qui ne peut pas être utilisé tel quel pour du conseil. L'approche doit être adaptée.

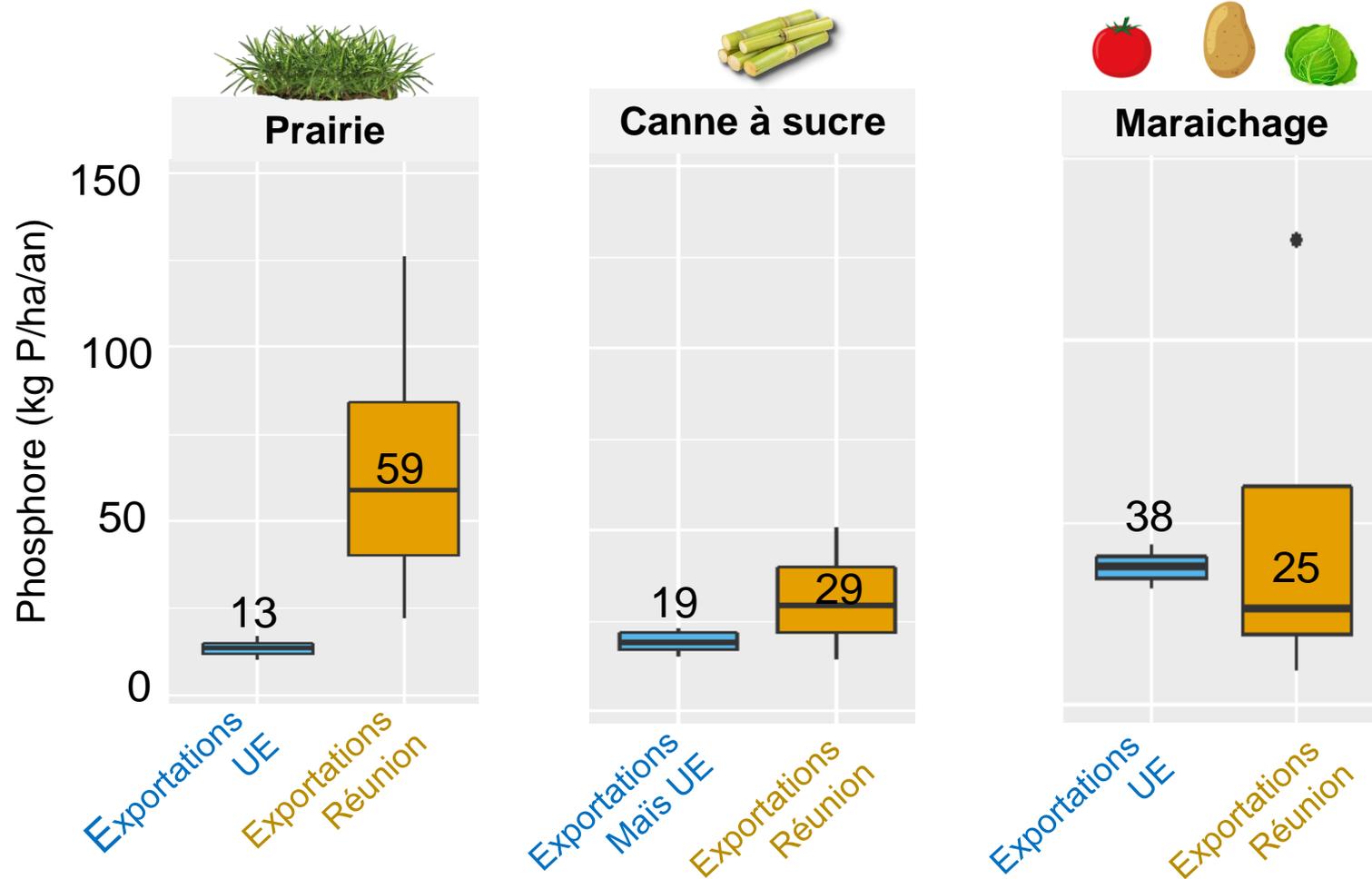
# Comparaison avec les autres cultures

Classe d'exportations des cultures  
réunionnaises



# Comparaison avec les autres cultures

- Les exportations des prairies de la Réunion sont largement supérieures à celles d'Europe : valorisation toute l'année des prairies



# Le niveau de nutrition en P des prairies

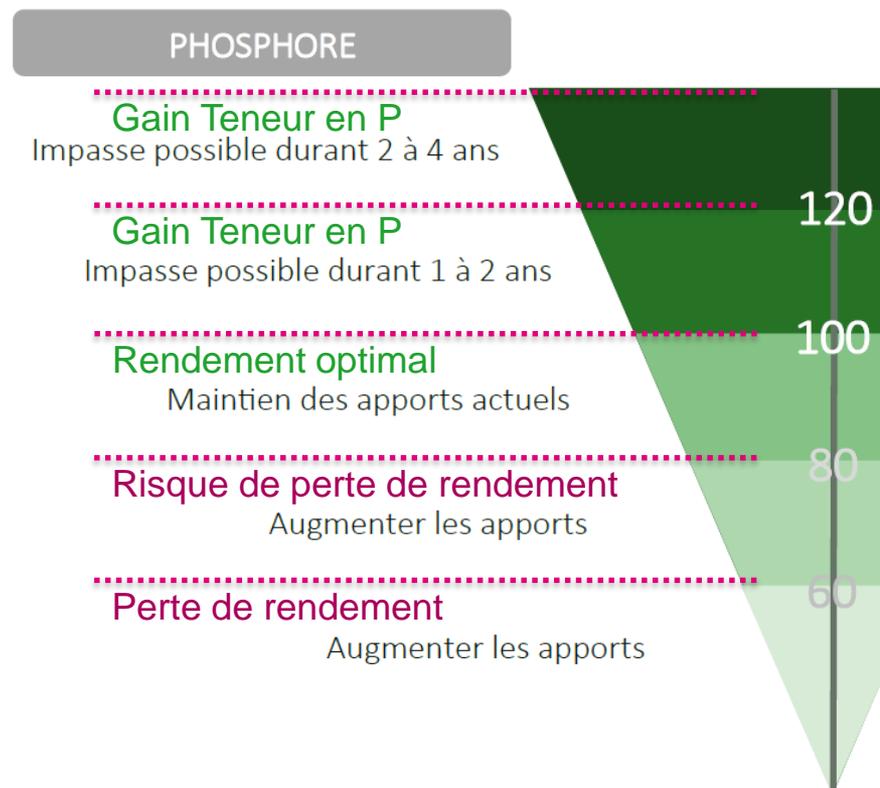


# Quel indicateur pour le suivi de la nutrition en P des prairies ?

- L'indice de nutrition phosphaté des prairies (iP) :

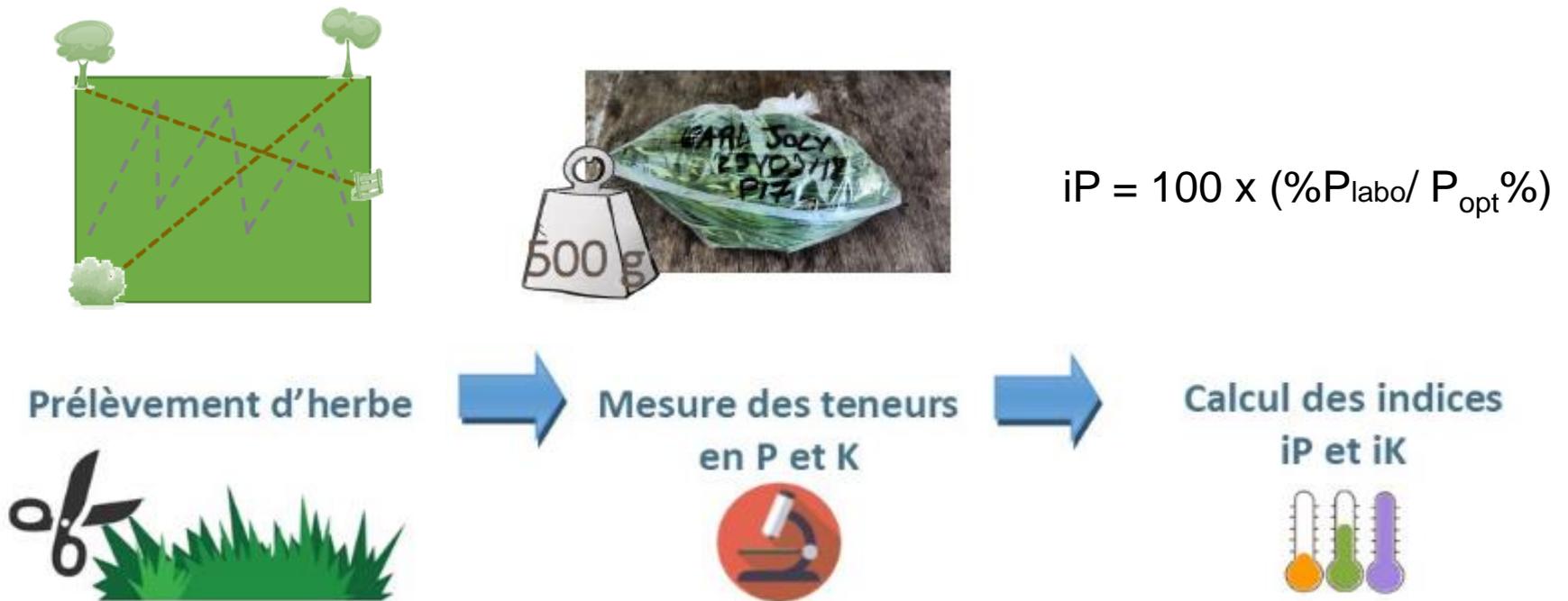
Un indicateur du niveau de nutrition en P de la plante par rapport à un optimum de croissance

Une information sur la disponibilité du P dans le sol, et de l'aptitude de la prairie à le prélever



# L'indice de nutrition phosphaté des prairies

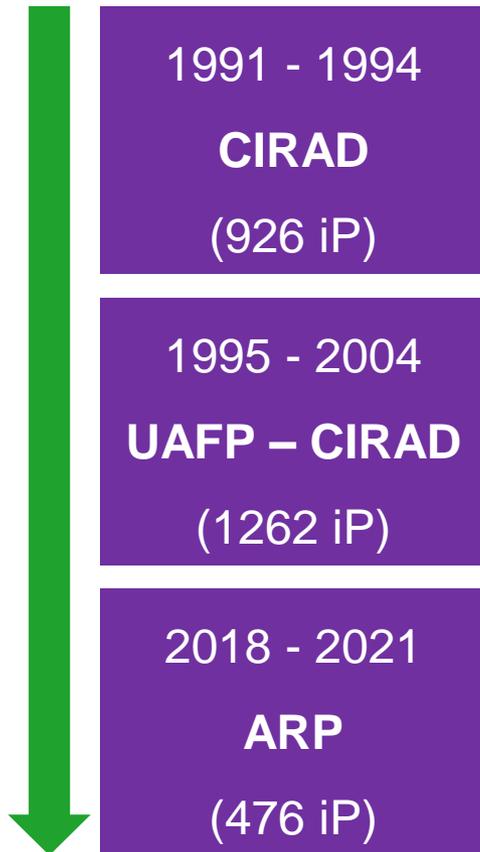
- Détermination de l'indice de nutrition :



# Historique de l'indice à la Réunion

- **1994** : Le CIRAD – Pôle élevage teste et valide l'indicateur à la Réunion (thèse V. Blanfort)
- **1995 – 2004** : l'UAFP et le CIRAD suivent 30, puis 60 exploitations deux fois par an
- **2005- 2016** : Arrêt des suivis et du conseil en iP
- **2017 à aujourd'hui** :
  - l'ARP remet en place le diagnostic pour 1) ses essais, et 2) du conseil (campagne annuelle de janvier à avril)
  - Le Cirad – Selmet développe une calibration SPIR, pour permettre un conseil en routine

# Evolution de l'indice à la Réunion

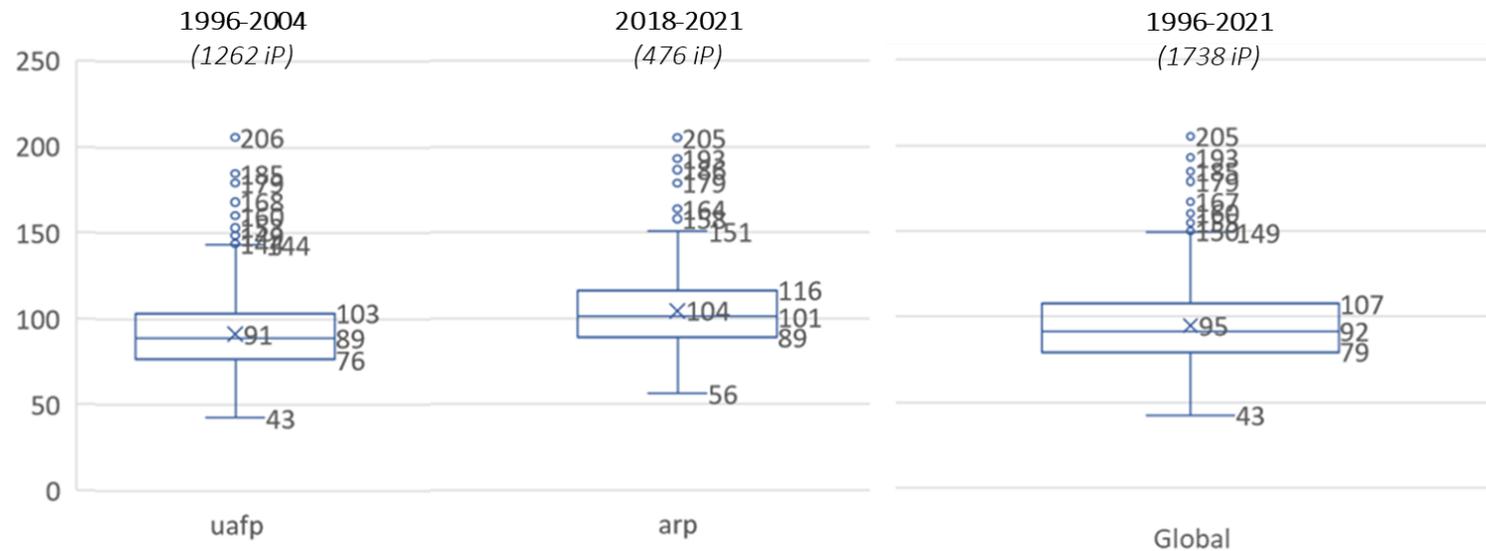


- **iP** : 50 à 90, avec une grande part < 80, pour des apports de 38 à 149 kg P/ha/an, forte indisponibilité du P confirmée dans 70 % des parcelles.
- **iP** : 43 à 206, moy : 91, amélioration des iP suite à un conseil rapproché.
- **iP** : 56 à 205, moy : 104, public apriori intéressé par la fertilisation

=> Nutrition en P faible dans les années 90, qui s'est améliorée, et apriori stabilisée

# Evolution de l'indice à la Réunion

- Bilan des campagnes de mesure menées par l'UAFP, puis l'ARP, entre 1996 et 2021 :



⇒ 75 % des IP  $\geq$  80 : niveau de nutrition satisfaisante

⇒ iP > 120 : n'est pas forcément problématique. Teneur en P plus élevée = fourrage plus nutritif

# 3. PRINCIPE DE RAISONNEMENT DE LA DOSE D'APPORT EN PHOSPHORE

# Dose optimale de P à apporter sur une parcelle

## Objectifs

- Atteindre le rendement visé
- Obtenir une teneur en P dans les fourrages élevés
- Limiter les pertes vers l'environnement

## Exportations en P de la culture

- Rendement
- Teneur en P



## Sol

- Pouvoir fixateur en P  
Lié au type de sol et au pH
- Teneur en P disponible  
Lié à l'historique de fertilisation

# Dose optimale de P à apporter sur une parcelle

$$\text{Dose de P} = \text{Coefficient} \times \text{Exportations en P}$$

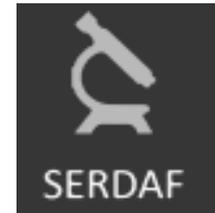
**Sol**

Pouvoir fixateur  
Teneur en P



Nécessite une analyse de sol et son interprétation

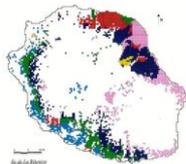
⇒ Raisonnement utilisé dans l'outil Serdaf



Prélèvement  
de sol



Géo  
localisation



*Pouzet et  
al. 1997*

Analyse au  
laboratoire

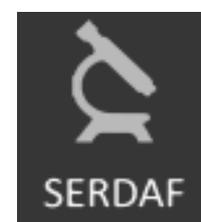


Teneur en P  
pH

Rendement  
visé



**Dose d'apport  
pour la canne**



Canne en repousse  
Rendement 100 t/ha

## Dose de P conseillée (kg P/ha)

Pouvoir fixateur	Teneur en 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

Classe de teneur en P :

- P Olsen-Dabin
- Type de sol

Classe de pouvoir fixateur :

- pH
- Type de sol

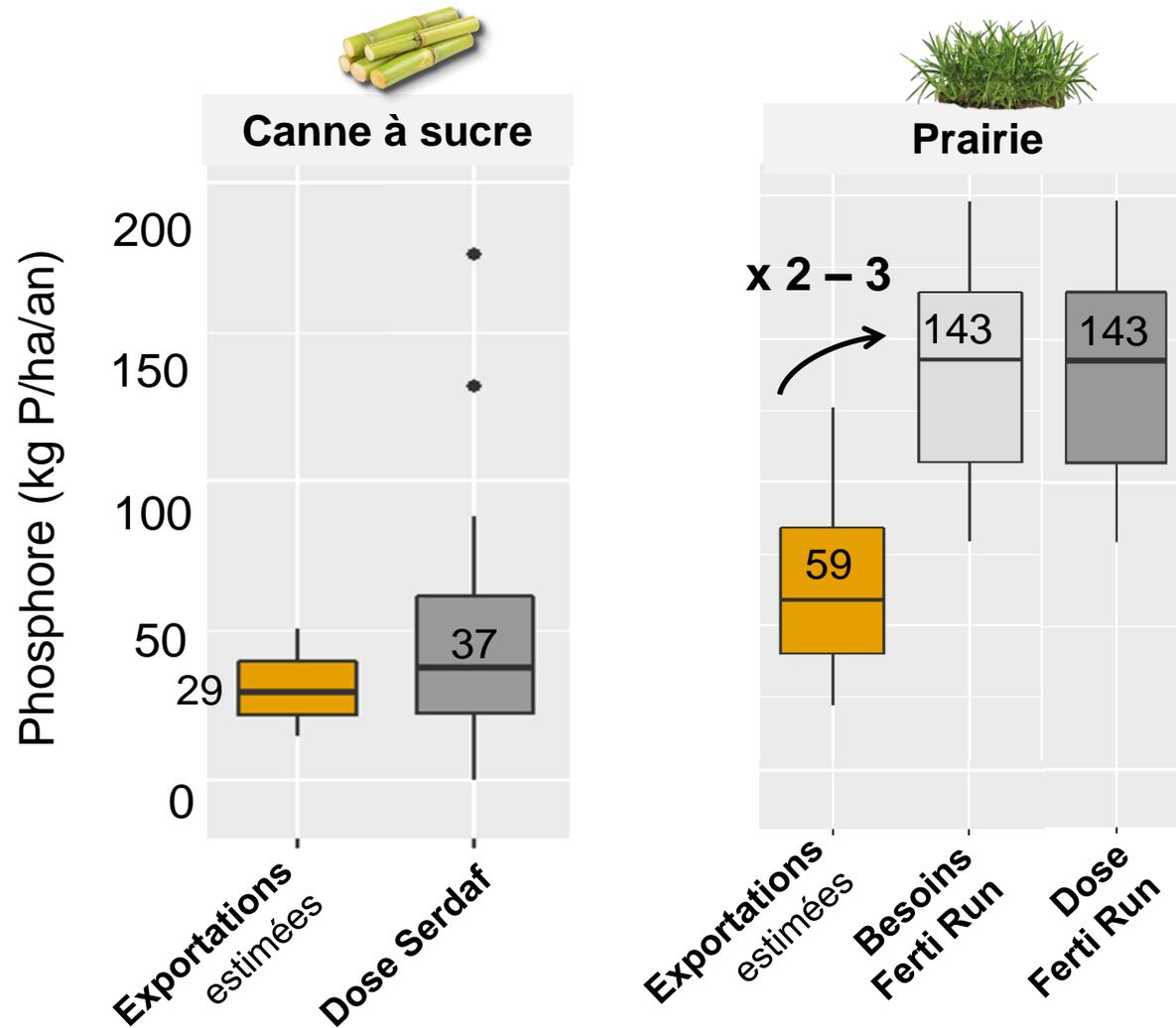
$$\text{Dose de P} = \text{Coefficient} \times \text{Exportations en P}$$

Exportations  
34 kg P/ha

## Coefficients

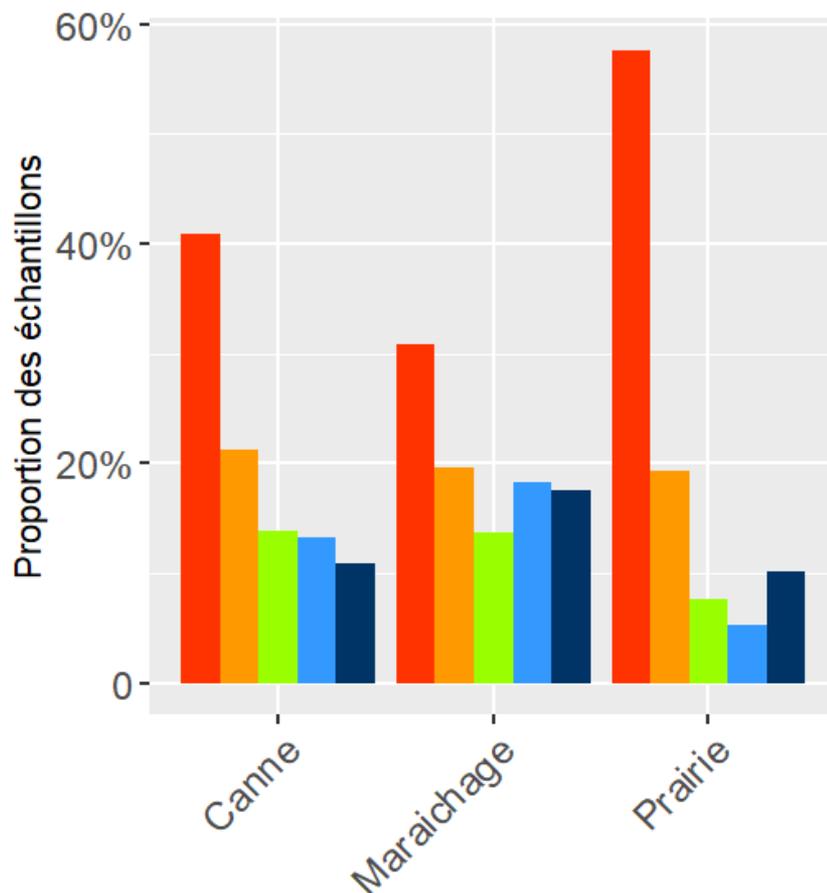
Pouvoir fixateur	Teneur en P	Très faible	Faible	Moyen	Fort	Très fort
Faible		1,3	0,9	0,7	0	0
Moyen		1,8	1,3	0,9	0,7	0
Fort		1,8	1,8	1,3	0,9	0,7

# Exportations et doses recommandées par les outils réunionnais



# Disponibilité en P dans les sols par type de culture

Echantillons analysés au laboratoire du Cirad entre 2008 et 2020



Disponibilité en P :  
 - Teneur en P  
 - Pouvoir fixateur

Disponibilité en P dans le sol



Canne : 7794 échantillons  
 Maraichage : 606 échantillons  
 Prairie : 264 échantillons

**La majorité des sols de La Réunion a une teneur en P disponible faible**

$$\text{Dose de P} = \text{Coefficient} \times \text{Exportations en P}$$

### Proposition d'une grille de coefficient pour les prairies

Dose optimale d'un point de vue agronomique pour le P, permettant le juste apport de P pour la plante

À partir de l'analyse de sol

Pouvoir fixateur \ Teneur en P	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

⇒ Dans les sols ayant une très faible teneur en P disponible, la dose conseillée serait proche de celle de Ferti Run



**Valeur des coefficients en discussion**

$$\text{Dose de P} = \text{Coefficient} \times \text{Exportations en P}$$

## Exemples de calcul

*À partir de l'analyse de sol*

Pouvoir fixateur \ Teneur en P	Teneur en P				
	Très faible	Faible	Moyen	Fort	Très fort
Faible	2	1,5	<b>1</b>	0,5	0
Moyen	2,5	2	1,5	1	0,5
Fort	3	2,5	2	1,5	1

### Exemple 1

Dose P = 1 x 55  
55 kg P/ha

Zone d'étude	ITK	Exportation P (kg P/ha/an)		
		<i>iP</i> = 80	<i>iP</i> = 100	<i>iP</i> = 110
Littoral (0-500 m)	Maximum	91	114	126
	Optimisé	72	90	99
	Semi-extensif	44	<b>55</b>	60
	Extensif	33	41	46
Mi-pente (500-1000 m)	Maximum	70	88	97
	Optimisé	60	75	83
	Semi-extensif	38	48	53
	Extensif	22	28	31
Hauts (1000-2000 m)	Maximum	69	87	95
	Optimisé	58	72	80
	Semi-extensif	37	46	51
	Extensif	24	30	33

$$\text{Dose de P} = \text{Coefficient} \times \text{Exportations en P}$$

## Exemples de calcul

À partir de l'analyse de sol

Pouvoir fixateur \ Teneur en P	Teneur en P				
	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	<b>2,5</b>	2	1,5	1

Exemple 2  
 Dose P = 2,5 x 72  
 180 kg P/ha

Zone d'étude	ITK	Exportation P (kg P/ha/an)		
		iP = 80	iP = 100	iP = 110
Littoral (0-500 m)	Maximum	91	114	126
	Optimisé	72	90	99
	Semi-extensif	44	55	60
	Extensif	33	41	46
Mi-pente (500-1000 m)	Maximum	70	88	97
	Optimisé	60	75	83
	Semi-extensif	38	48	53
	Extensif	22	28	31
Hauts (1000-2000 m)	Maximum	69	87	95
	Optimisé	58	<b>72</b>	80
	Semi-extensif	37	46	51
	Extensif	24	30	33

$$\text{Dose de P} = \text{Coefficient} \times \text{Exportations en P}$$

## Exemples de calcul

À partir de l'analyse de sol

Teneur en P Pouvoir fixateur	Teneur en P				
	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

### Exemple 1

Dose P = 1 x 55  
55 kg P/ha

### Ferti Run

130 kg P/ha

### Exemple 2

Dose P = 2,5 x 72  
180 kg P/ha

### Ferti Run

160 kg P/ha

Zone d'étude	ITK	Exportation P (kg P/ha/an)		
		<i>iP</i> = 80	<i>iP</i> = 100	<i>iP</i> = 110
Littoral (0-500 m)	Maximum	91	114	126
	Optimisé	72	90	99
	Semi-extensif	44	55	60
	Extensif	33	41	46
Mi-pente (500-1000 m)	Maximum	70	88	97
	Optimisé	60	75	83
	Semi-extensif	38	48	53
	Extensif	22	28	31
Hauts (1000-2000 m)	Maximum	69	87	95
	Optimisé	58	72	80
	Semi-extensif	37	46	51
	Extensif	24	30	33

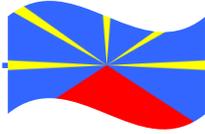
# 4. CONCLUSION

# Maintenir, voire augmenter les productions végétales et animales

- Améliorer quantitativement et qualitativement l'autonomie alimentaire et fourragère à La Réunion
  - Soutenir l'augmentation des cheptels
  - Augmenter la part des fourrages dans les rations
- Soutenir la productivité et la santé financière des exploitations
  - ↗ Prix des engrais => baisse des achats => des apports => des rendements
- Préserver le rôle économique et social des activités agricoles

Exemple de Grand Ilet

# Améliorer la circularité du P à l'échelle du territoire



## Situation Mondiale des gisements miniers de P:

Réserves minières en phosphate estimées à 70,000,000 tonnes. Ressource exploitée à hauteur de 270 000 t/an, qui pourrait être épuisée en 2100

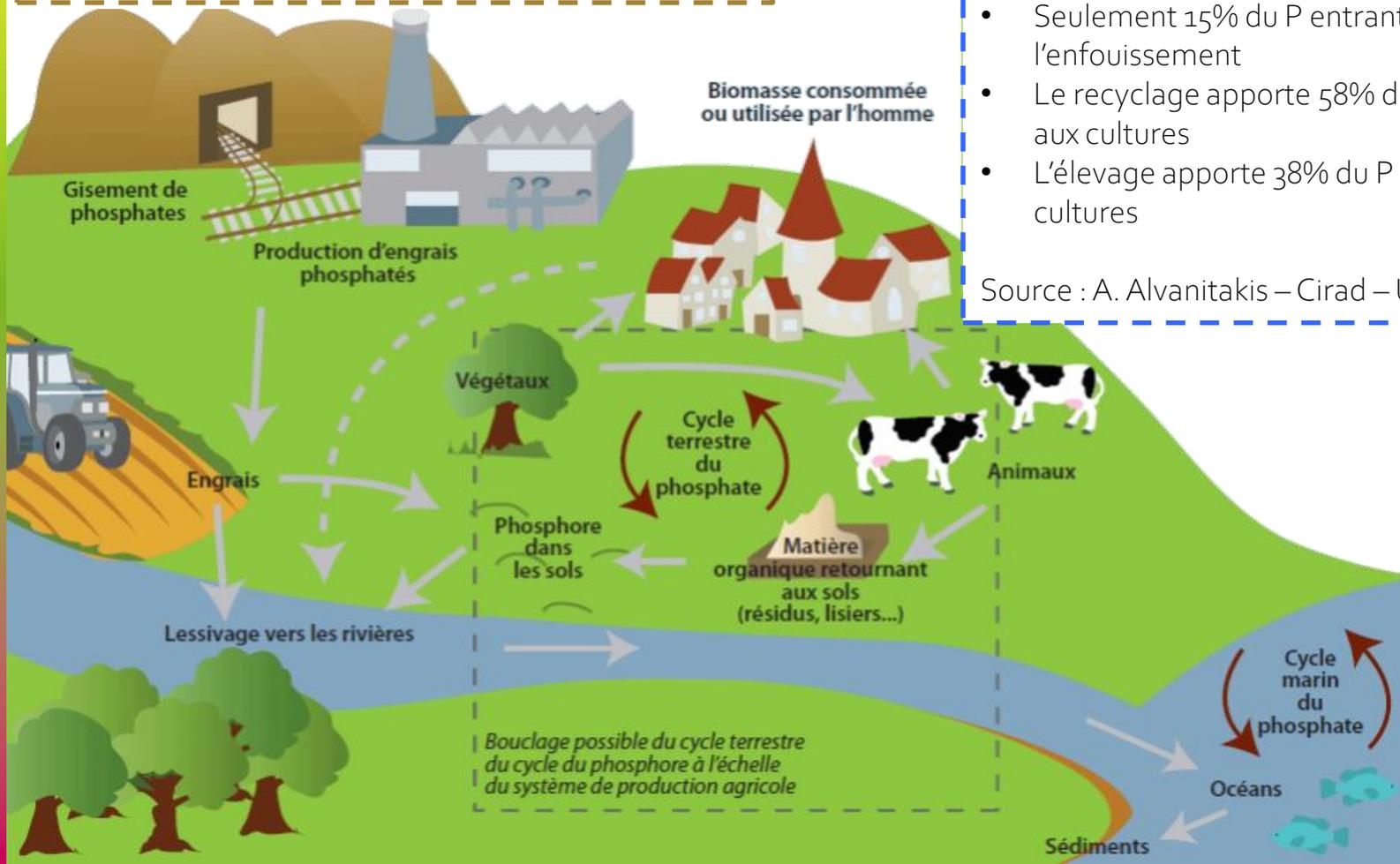
## Importations de P:

- Engrais : 972 tonne/an
- Concentré animal : 1 181 tonne/an

## Forte circularité:

- Seulement 15% du P entrant est perdu à l'enfouissement
- Le recyclage apporte 58% du P brut apporté aux cultures
- L'élevage apporte 38% du P brut apporté aux cultures

Source : A. Alvanitakis – Cirad – UMR SELMET



# Limiter les pertes de P dans l'environnement et le risque d'eutrophisation

**1/ Création de stocks de P mobilisables dans le sol**  
Associée au cycle biogéochimique et à la fertilisation

**2/ Fonctionnement hydrique à la surface du sol**  
Transfert initial sol -> eau ; ≠ natures écoulements

**3/ Transport via le réseau hydrographique**  
Baisse ou augmentation de la charge de P dans l'eau

P exporté P apporté  
↑ ↓  
**Sols agricoles**  
Stock P

ruissellement  
subsurface  
lessivage

**Berge**  
érosion

**Zone tampon**  
zone enherbée, forêt

**A La Réunion**, évidence d'**excès d'apports** avec accumulation en profondeur dans le sol mais **pas d'étude** sur le lien entre les pertes agricoles de **P** et le **risque d'eutrophisation**

# Rôle de la recherche scientifique et technique

- Vous informer sur l'état des connaissances
  - Exhaustivité, niveau d'incertitude, manque de connaissance et de degré d'opérationnalisation
- Eclairer votre prise de décision
  - Participer à la recherche des compromis à trouver
  - Être force de proposition
  - Evaluer les conséquences des scénarios envisagés

**Merci !**