

Projet CASDAR PhosphoBio

**Le Phosphore comme élément clé de la fertilité des sols en Agriculture Biologique :
conception d'outils de diagnostic et évaluation de leviers d'action
pour l'améliorer et la gérer durablement**

Projet CASDAR IP - 1er octobre 2020 – 31 mars 2024
Grégory Véricel (Arvalis)

Avec
la contribution
financière du compte
d'affectation spéciale
développement
agricole et rural
CASDAR



**MINISTÈRE
DE L'AGRICULTURE
ET DE L'ALIMENTATION**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

ARVALIS

INRAE

la science pour la vie, l'humain, la terre



auréa

AgroSciences



**BORDEAUX
SCIENCES
AGRO**



**AGRICULTURES
& TERRITOIRES**
CHAMBRES D'AGRICULTURE
PAYS DE LA LOIRE



**AGRICULTURES
& TERRITOIRES**
CHAMBRE D'AGRICULTURE
DE RÉGION
ILE-DE-FRANCE



Chartres



La Saussaye
Lycée-CFA-CFPPA-Exploitation



**AGRICULTURES
& TERRITOIRES**
CHAMBRE D'AGRICULTURE
AVEYRON



**AGRICULTURES
& TERRITOIRES**
CHAMBRE D'AGRICULTURE
DRÔME



**Terres
Inovia**
l'agronomie en mouvement



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



BOUCLAGE
Recyclage, Fertilisation,
Impacts Environnementaux

Contexte

- **Augmentation des surfaces AB et raréfaction des sources de P utilisables** (faible efficacité des roches phosphatées, coût élevé des engrais organiques, évolution de la réglementation : fientes de volailles et lisiers de porcs issus d'élevage industriels non utilisables en AB)
 - Des exploitations en AB qui fonctionnent en « autonomie » sans (ou très peu) d'apports organiques : autonomie N assurée par les légumineuses, quid de P ?
- ➔ **Bilans P déficitaires : risque de baisse de fertilité P y compris dans certaines exploitations d'élevage où les quantités d'engrais de ferme produites ne couvrent pas entièrement les besoins => enjeu montant pour l'AB**

Projet PhosphoBio : objectifs et organisation

Action 1. : Caractérisation de l'état de fertilité P des sols en AB => Etat des lieux

- Etablir liens entre teneurs et pratiques agricoles, identifier les situations à risque -> **Mise en place d'un observatoire national de 200 parcelles bio** : 1 analyse de terre + 1 enquête pratiques culturales par parcelle

Action 2. Estimation de l'effet du statut P des sols sur la productivité des cultures et mise au point d'outils de diagnostic de la fertilité P en AB => Diagnostic

- Evaluer effet du P du sol sur rendement des cultures AB -> **Essais courbe de réponse au P (blé et maïs)** en cours
- Mettre au point et/ou adapter **indices de nutrition** aux grandes cultures AB -> **essais Soja et Luzerne** en cours
- Tester ces indices sur **parcelles de l'observatoire** et hiérarchisation des éléments limitant la croissance à venir

Action 3. Prévision de l'évolution du statut P des sols en fonction des pratiques agricoles => Pronostic

- Acquérir références adaptées à l'AB pour le calcul de bilan Fertilisation – Exportations -> **BDD**
- Evaluer impact des pratiques agricoles sur disponibilité du P des sols -> **réseau d'essais longue durée AB** en cours
- Simuler impacts sur disponibilité du P et production de différents scénarios d'expansion de l'AB à l'échelle de France -> **Thèse Joséphine Demay (BSA-INRAE)** à venir

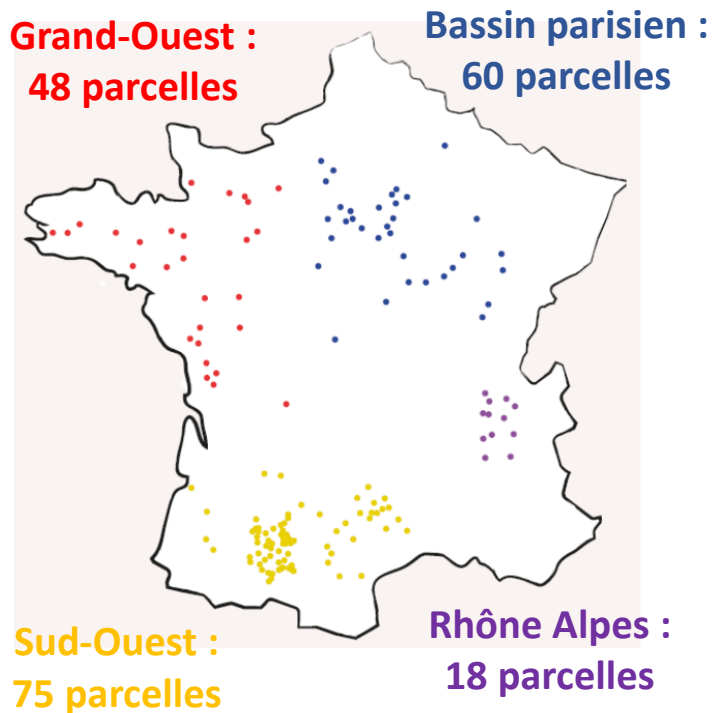
Action 4. Valorisation et transfert des résultats

- Construction d'une **calculatrice de bilan Fertilisation – Exportations** adaptée à l'AB
- Mise au point d'un **guide de gestion de la fertilité P des sols en AB**
- Communication et transfert des résultats

à venir

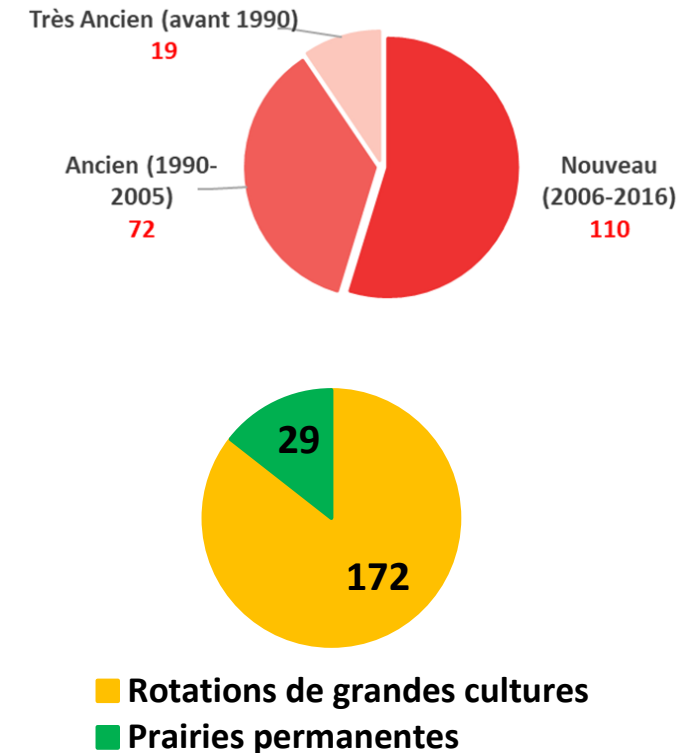
Action 1 : Caractérisation de l'état de fertilité P des sols en AB

- 201 parcelles sélectionnées chez 158 agriculteurs
- Campagne d'analyse de terre sur toutes les parcelles (AUREA, hiver 2021/2022)
- Enquêtes pratiques culturelles auprès de 152 agriculteurs, portant sur 191 parcelles (projets tuteurés étudiants Bordeaux Sciences Agro et ISARA, hivers 2021/2022 et 2022/2023)

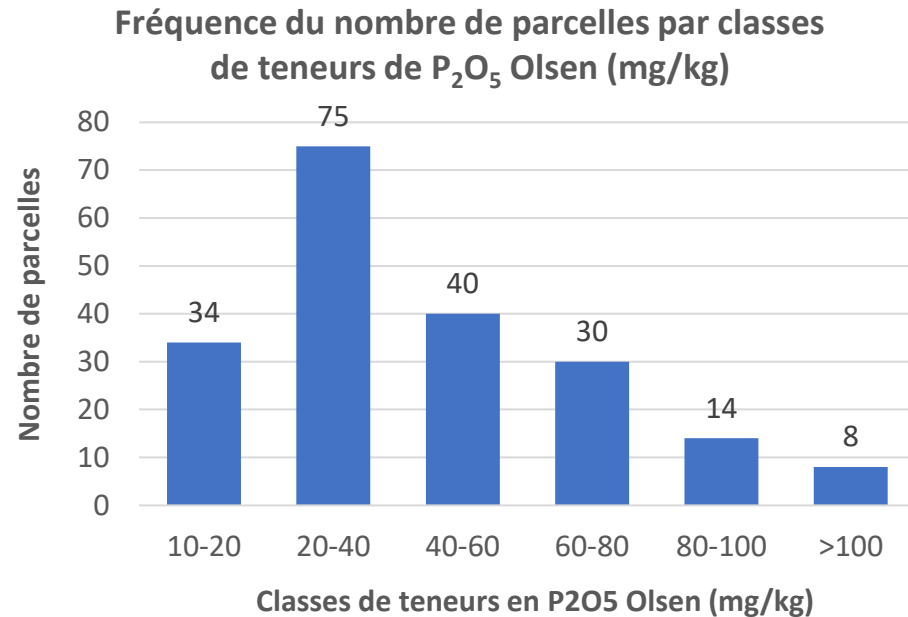


Critères de sélection des parcelles :

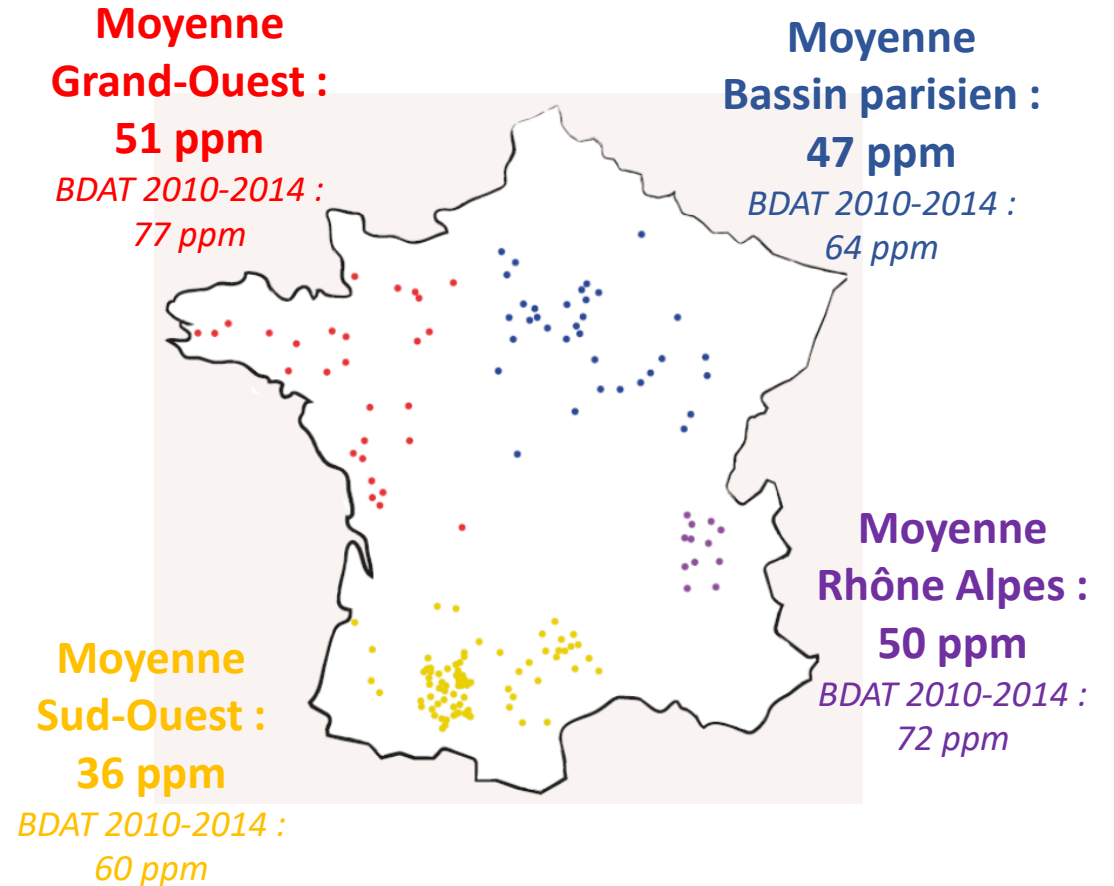
- 4 territoires offrant modes de production et contextes pédoclimatiques contrastés
- Parcelles converties avant 2016
- Mobilisation de 44 parcelles rattachées à un observatoire de la fertilité des sols préexistant en Midi-Pyrénées + parcelles suivies par les chambres d'agriculture → 85 parcelles disposant d'analyse de terre antérieure
- Parcelle homogène, type de sol et système de culture représentatif de l'exploitation et de sa région



Action 1 : Caractérisation de l'état de fertilité P des sols en AB



Moyenne 45 ppm,
min : 10 ppm, max : 164 ppm



➔ Des bassins de production plus confrontés que d'autres aux faibles teneurs en P

Action 1 : Caractérisation de l'état de fertilité P des sols en AB

Comparaison de la teneur en P Olsen des parcelles de l'Observatoire aux seuils d'impasse et de renforcement COMIFER

Cultures à faible exigence

(blé tendre, maïs grain, tournesol, soja ,...)

Cultures à moyenne exigence

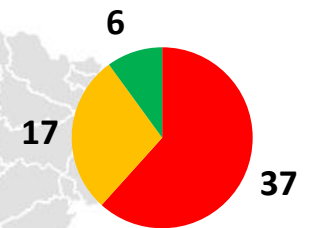
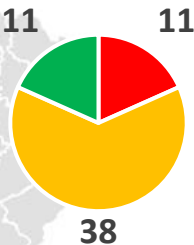
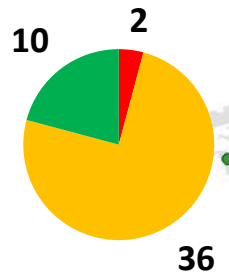
(maïs fourrage, orge, pois, ray-grass,...)

Grand Ouest

Bassin Parisien

Grand Ouest

Bassin Parisien

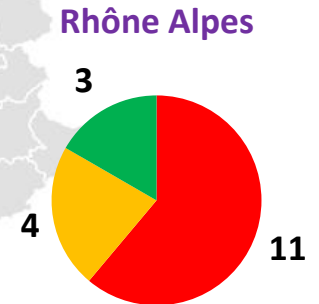
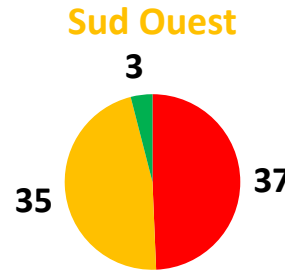
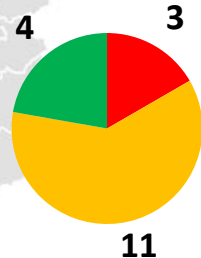
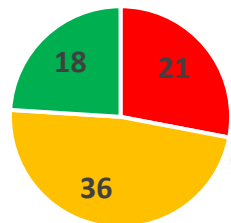


Sud Ouest

Rhône Alpes

Sud Ouest

Rhône Alpes



■ Inférieur au T renf ■ Compris entre T renf et T imp ■ Supérieur au T imp

➔ Des bassins de production plus confrontés que d'autres aux faibles teneurs en P

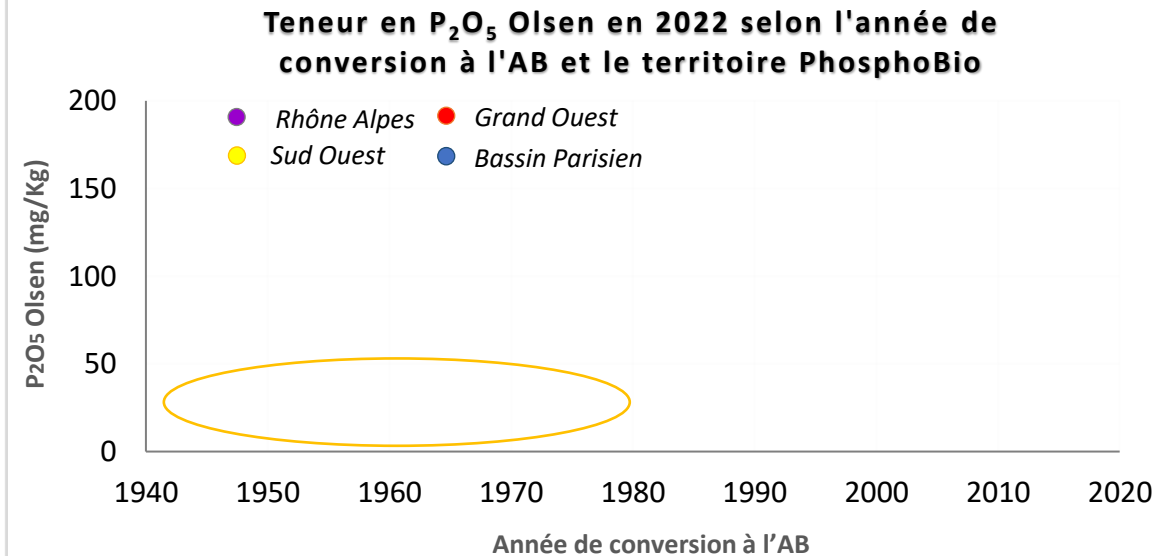
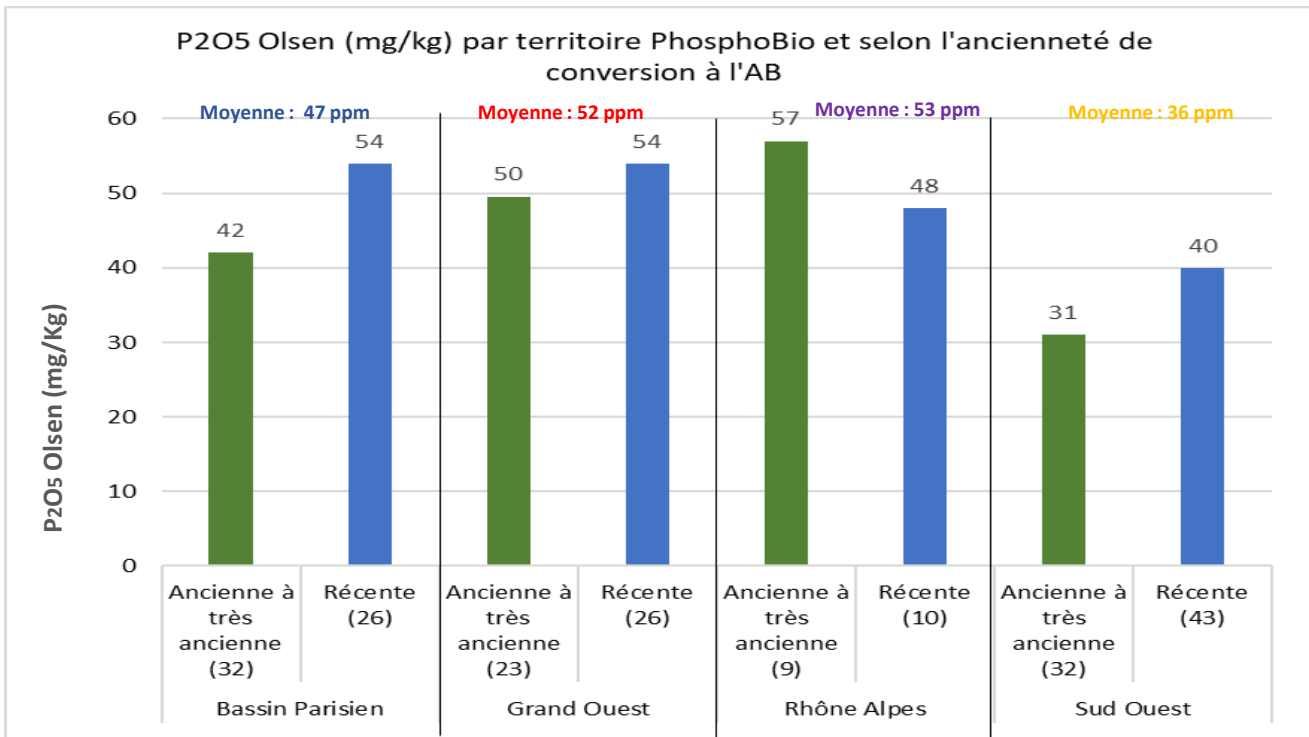
➔ Attention au niveau d'exigence des cultures !

Action 1 : Caractérisation de l'état de fertilité P des sols en AB

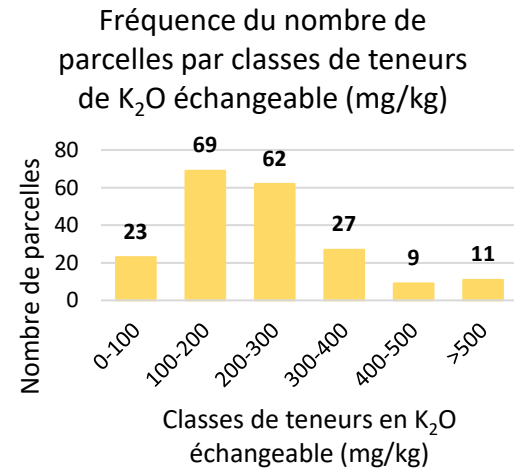
Hypothèse : « Les parcelles anciennes ne bénéficiant plus de l'effet des pratiques conventionnelles antérieures à leur conversion en AB ont des stocks de P plus faibles que les parcelles plus récemment converties »

Sur les 201 parcelles

Ancienne / très ancienne : 42 ppm, Récente : 48 ppm

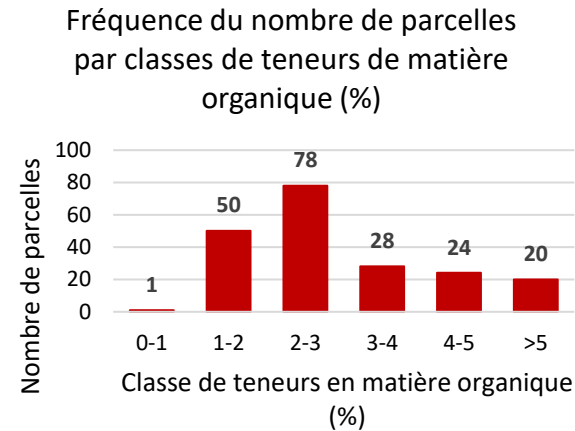


Action 1 : Caractérisation de l'état de fertilité P des sols en AB



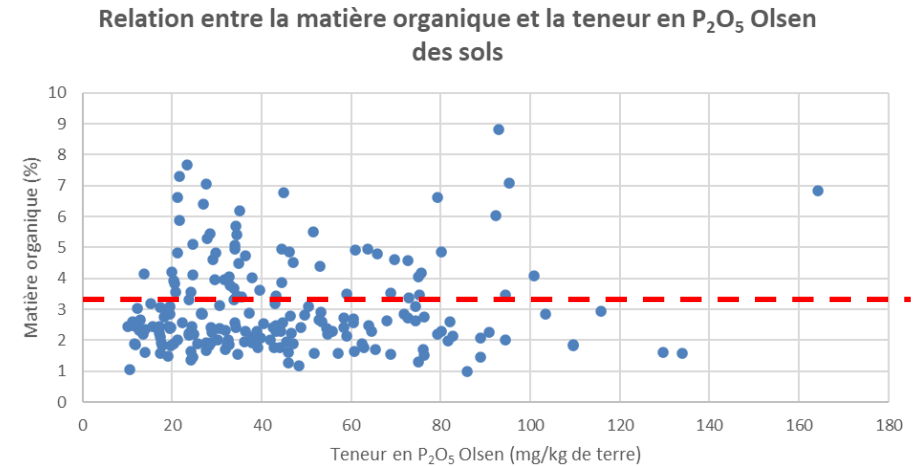
Moyenne 243 ppm

min : 34 ppm, max : 891 ppm



Moyenne : 3.0%

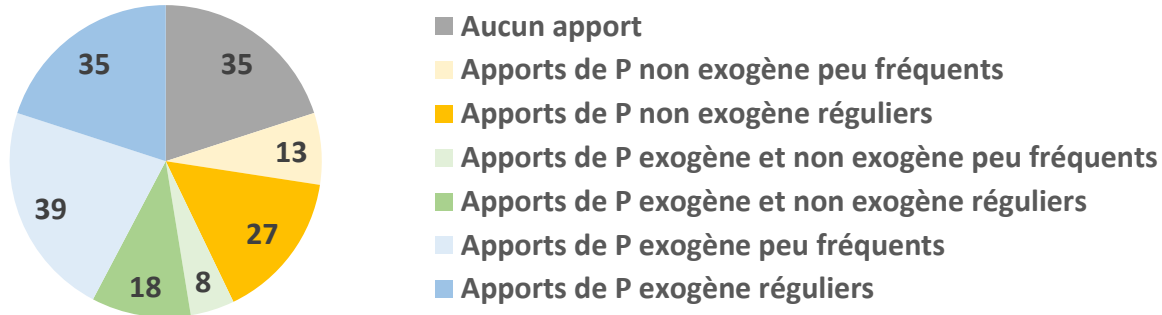
min 0.99%, max : 8.8%



Des valeurs de MO élevées associées aussi bien à de faibles valeurs en P qu'à des valeurs élevées

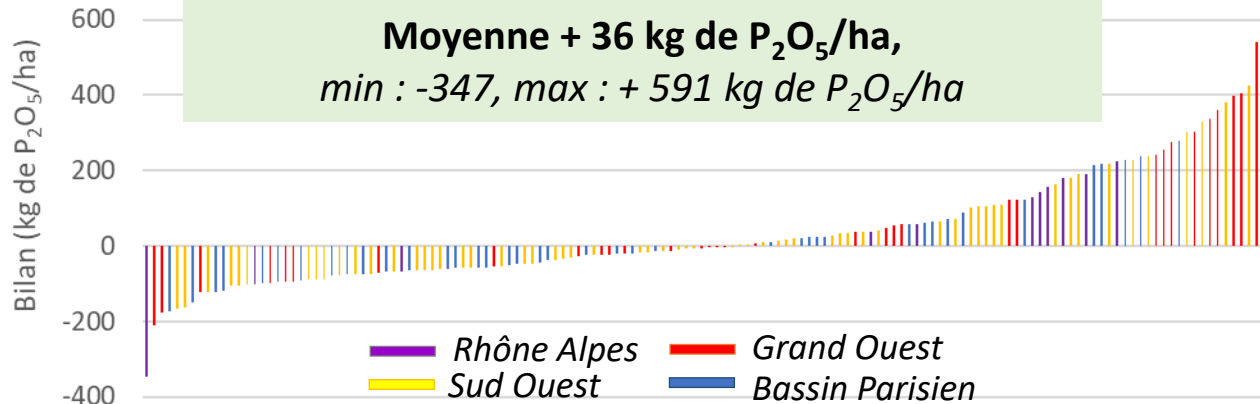
Action 1 : Caractérisation de l'état de fertilité P des sols en AB

Répartition des parcelles selon les apports en P
(175 parcelles, sur la période 2017-2021)

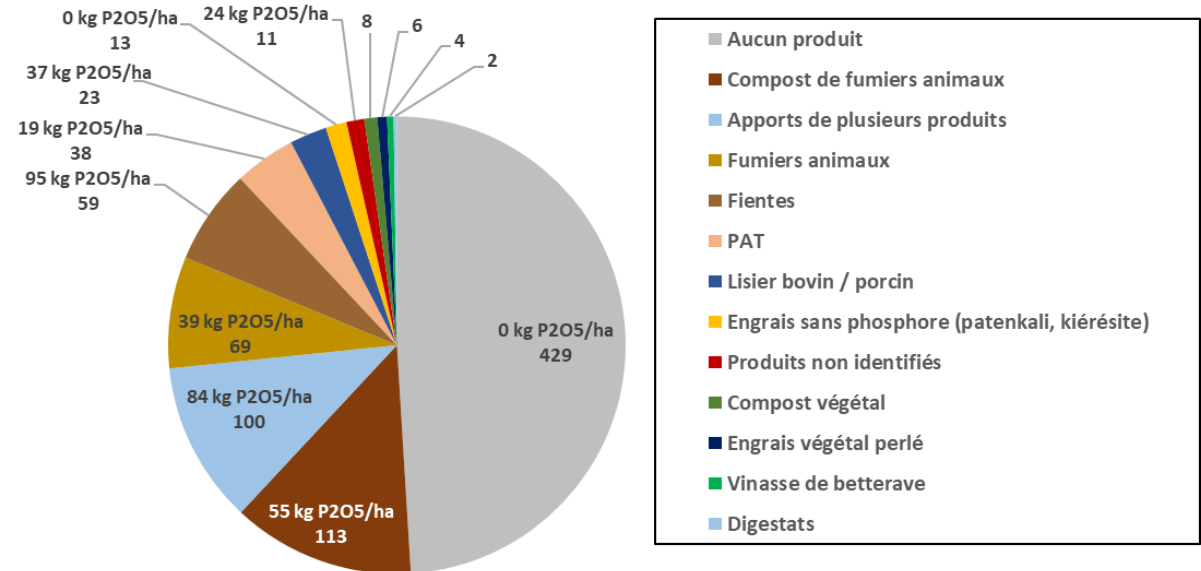


Bilan fertilisation – exportations de P de 2017 à 2021

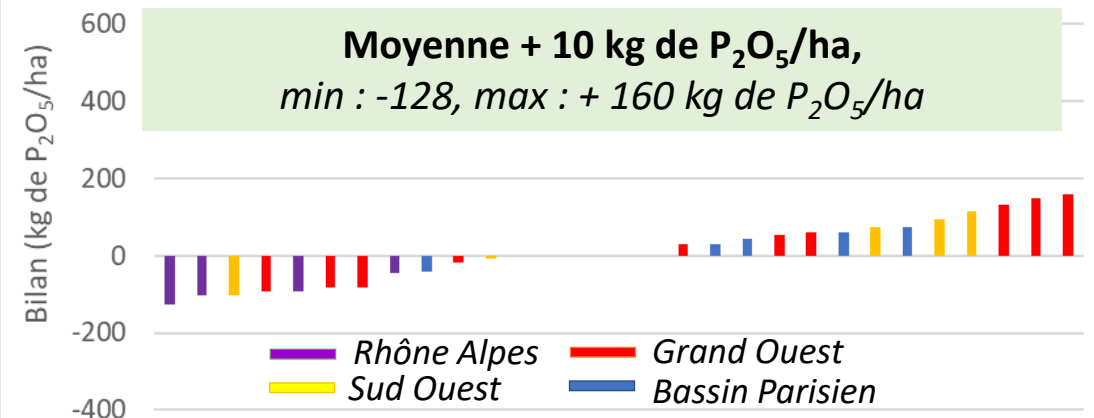
Distribution des Bilans fertilisation - exportation de P
Parcelles de grandes cultures



Apports de fertilisants sur les 175 parcelles de l'observatoire entre 2017 et 2021 (866 données, 1 donnée = apports sur une parcelle sur une année)



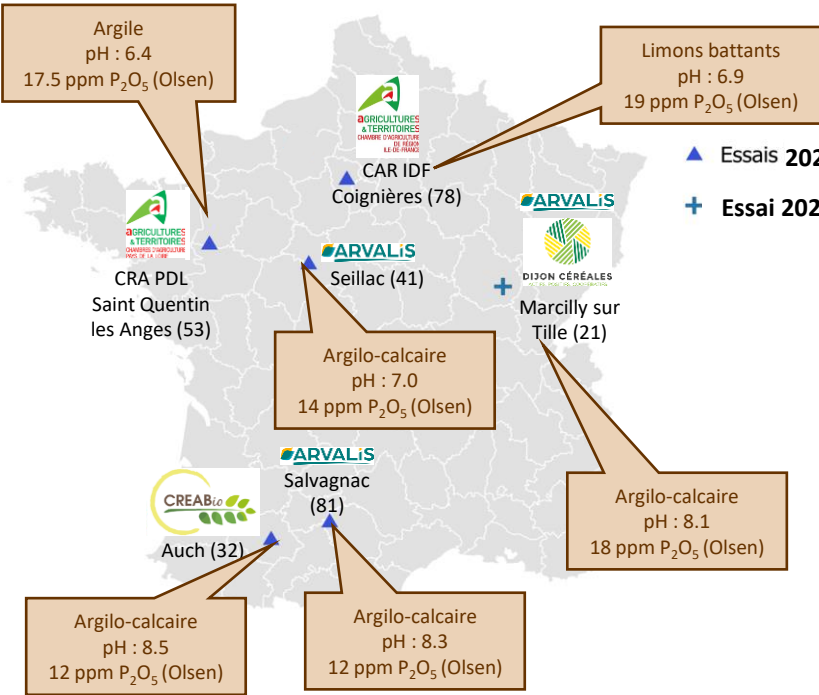
Parcelles de prairies permanentes



Action 2 : Estimation de l'effet du statut P des sols sur les cultures

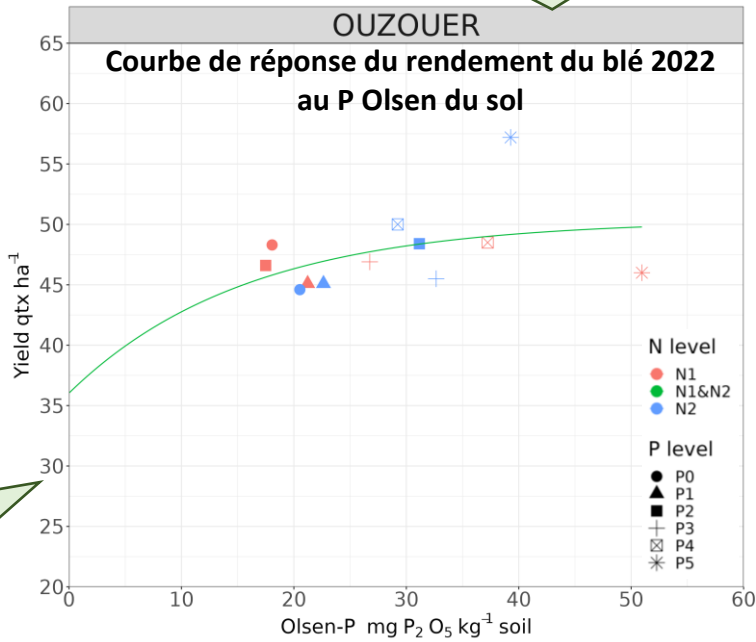
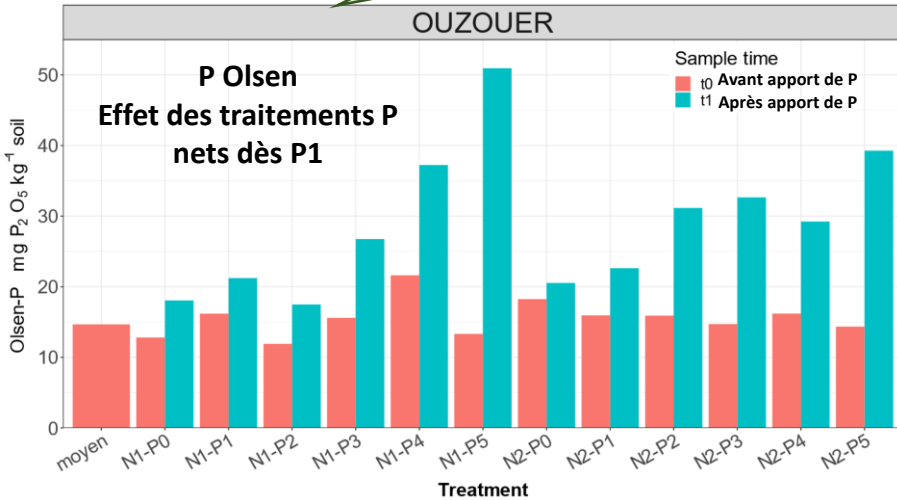
Objectifs :

- Etablir seuils de réponse au statut P des sols en AB et les comparer à ceux établis en conventionnel (« impasse » COMIFER)
- Tester si ces seuils dépendent du niveau de nutrition N



Création d'un gradient de teneurs en P₂O₅

Absence de réponse du blé à ce gradient de teneurs en P₂O₅ lorsque N est limitant



Traitements :
6 doses de P (0, 10, 20, 40, 80 et 120 kg P₂O₅/ha)
x 2 doses de N (56 et 120 kg N/ha)

Début de réponse du blé à ce gradient de teneurs en P₂O₅ lorsque N est peu limitant

Action 2 : Mise au point d'outils de diagnostic de la fertilité P en AB

Hypothèse : Les analyses de végétaux reflètent mieux la disponibilité du P du sol que l'analyse de terre et permettent de mieux discriminer les carences en cas de co-limitations

Objectifs :

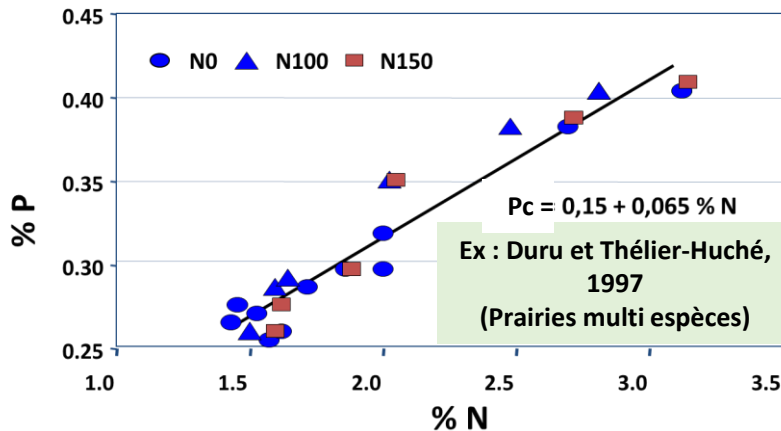
- Adaptation des **indices de nutrition** au contexte des grandes cultures AB
- Acquisition de références pour de nouvelles cultures

Phosphore	Indice	Potasse
Impasse possible 2 à 3 ans	Excédentaire 120	Impasse possible 1 à 2 ans
Impasse possible 1 à 2 ans	Très satisfaisant 100	Réduire les apports habituels
Maintenir les apports actuels	Satisfaisant 80	Maintenir les apports actuels
Majorer les apports de 30 unités	Insuffisant 60	Majorer les apports de 60 unités
Apporter 60 unités	Très insuffisant	Apporter 120 unités

Source :
Chambre d'Agriculture
des Pays de la Loire)

Courbes de teneur critique en Phosphore

Relation teneur en P en fonction de la teneur en N

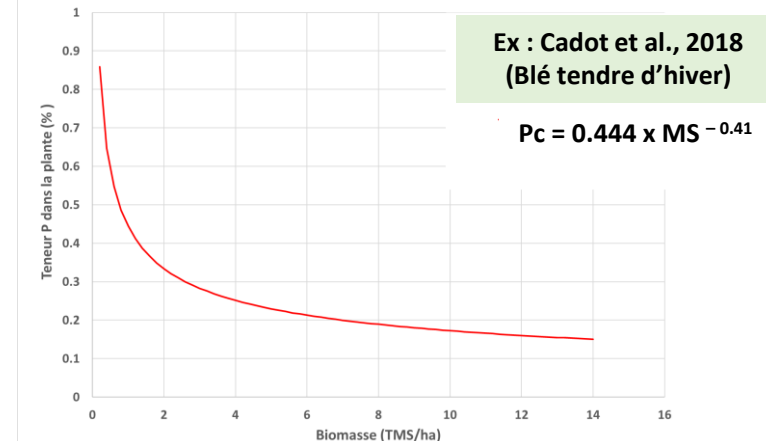


$$INP = \frac{100 \times \% P}{0,15 + 0,065 \% N}$$

Indices de nutrition phosphatée

$$INP = \frac{100 \times \% P}{Pc}$$

Relation teneur en P en fonction de la Biomasse



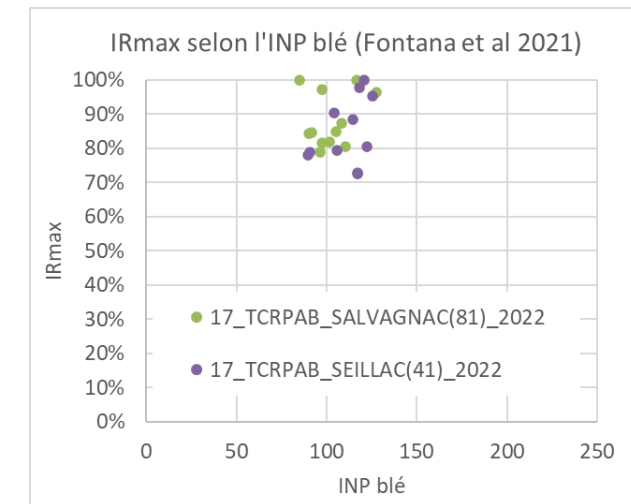
$$INP = \frac{100 \times \% P}{0.444 \times MS^{-0.41}}$$

Action 2 : Mise au point d'outils de diagnostic de la fertilité P en AB

➤ Inventaire des courbes critiques du phosphore déjà existantes pour les grandes cultures

Espèce	a	b	c	Modèle	Référence biblio	Origine
Prairies multi-espèces	0.065	0.15	/	$P_c (\%) = a \times N (\%) + b$	Duru et Thélier-Huché 1997	France
Blé tendre de printemps	0.094	0.107	/	$P_c (\%) = a \times N (\%) + b$	Ziadi et al 2008	Canada
Blé tendre d'hiver	0.083	0.088	/	$P_c (\%) = a \times N (\%) + b$	Cadot et al 2018	Suisse
Blé tendre d'hiver	0.15	0.029	/	$P_c (\%) = a \times N (\%) + b$	Essai Arvalis 2019	France
Blé tendre d'hiver	0.061	0.11	/	$P_c (\%) = a \times N (\%) + b$	Fontana et al 2021	Suisse
Blé tendre de printemps	0.221	-0.0677	-0.0292	$P_c = a \times N + b + c \times N^2$	Bélangier et al 2015	Canada
Blé tendre d'hiver	0.444	0.41	/	$P_c = a \times \text{Biomasse}^{-b}$	Cadot et al 2018	Suisse
Blé tendre d'hiver	0.456	0.279	/	$P_c = a \times \text{Biomasse}^{-b}$	Fontana et al 2021	Suisse

➤ + 9 relations pour le maïs



Tests des références biblio (blé et maïs) sur [essais courbe de réponse au P en AB](#)

Action 2 : Mise au point d'outils de diagnostic de la fertilité P en AB

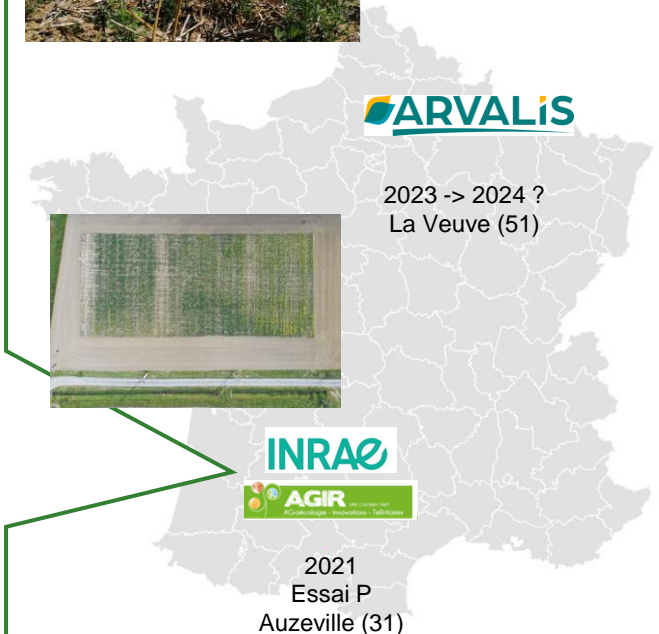
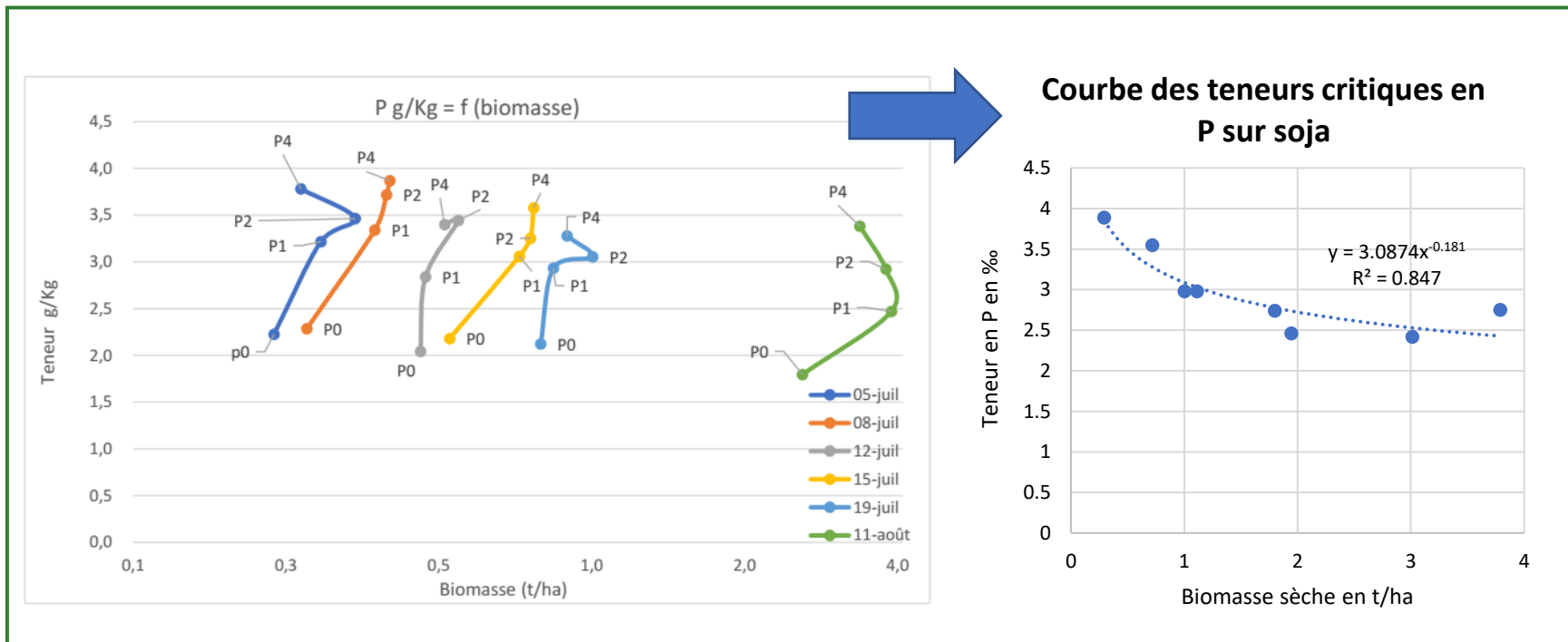
- Elaboration de références sur légumineuses à graines (soja) et légumineuses fourragères (luzerne)



- Construction de la courbe critique %P pour le soja (essai conventionnel)

- Essai INP en Luzerne en Champagne (conventionnel)

Modalités : 4 doses de P (0, 40, 80 et 120 kg P₂O₅ / ha)



Action 2 : Mise au point d'outils de diagnostic de la fertilité P en AB

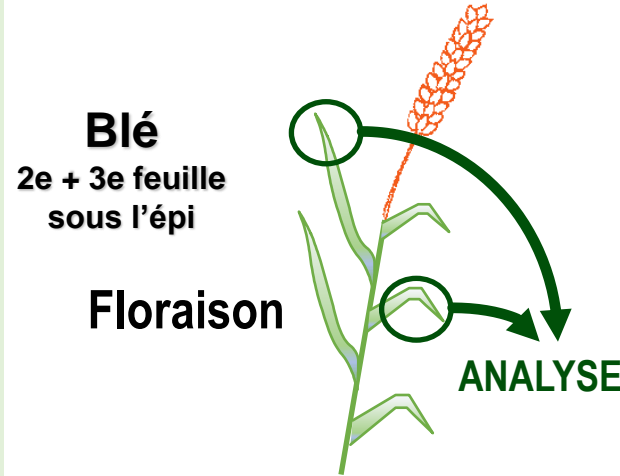
- **Campagne de prélèvements de végétaux 2022 sur les parcelles de l'observatoire** (printemps/été 2022)

=> **66 parcelles prélevées :**

- Blé : 32 parcelles (dont 2 de printemps)
- Luzerne : 9 parcelles
- Soja : 10 parcelles
- Graminées de prairies temporaires : 6 parcelles
- Graminées de prairies permanentes : 9 parcelles

- **Mesures de biomasse + analyses de végétaux :**

- Analyse plante entière => indices de nutrition
- **Analyse foliaire**
- Extrait de végétaux

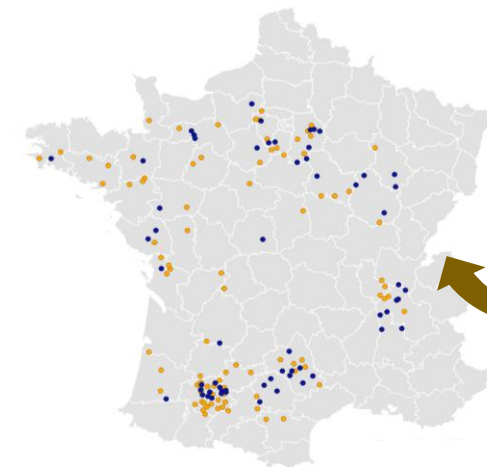


		Insuffisant	Un peu faible	Correct	Excessif
Elements majeurs et secondaires (en %)	N	< 1.9	1.90-2.40	2.40-3.20	
	P	< 0.2	0.20-0.25	0.25-0.35	
	K	< 1.6	1.60-1.90	1.90-2.50	
	Mg	< 0.1	0.10-0.13	0.13-0.18	
	S	< 0.2	0.20-0.25	0.25-0.35	
Oligo-éléments en partie par million (ppm)	Mn	< 20	20-25	25-100	> 1000
	Cu	< 3	3-6	6-15	
	Zn	< 15	15-25	25-150	

Eléments minéraux	Insuffisant	Un peu faible	Correct voire excessif
Azote (N)	8	10	14
Phosphore (P)	4	7	21
Potassium (K)	2	4	26
Magnésium (Mg)	5	8	19
Manganèse (Mn)	1	2	29
Cuivre (Cu)	0	7	25
Zinc (Zn)	10	16	6

Rarement limitant d'après le diagnostic foliaire

Comparaison des résultats de diagnostic foliaire aux résultats d'analyses de terre sur les parcelles de l'Observatoire



● Parcelles échantillonnées lors de la campagne d'analyse de végétaux 2022 (prairies, blé, maïs, soja et luzerne)

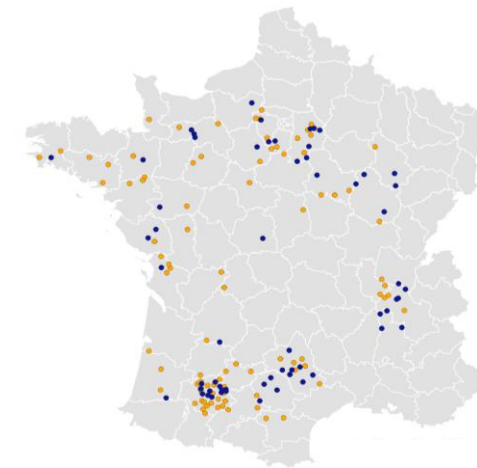
Action 2 : Mise au point d'outils de diagnostic de la fertilité P en AB

- **Campagne de prélèvements de végétaux 2022 sur les parcelles de l'observatoire** (printemps/été 2022)
=> 66 parcelles prélevées :
 - Blé : 32 parcelles (dont 2 de printemps)
 - Luzerne : 9 parcelles
 - Soja : 10 parcelles
 - **Graminées de prairies temporaires : 6 parcelles**
 - **Graminées de prairies permanentes : 9 parcelles**
- **Mesures de biomasse + analyses de végétaux :**
 - **Analyse plante entière => indices de nutrition**
 - Analyse foliaire
 - Extrait de végétaux

Parcelles de prairies de l'observatoire échantillonnées en 2022 Nombre de parcelles par classe de valeurs d'indices de nutrition

Etat de nutrition	Classe d'indice de nutrition (x 100 pour l'INN)	INN	INP	INK
Excédentaire	> 120	0	1	1
Très satisfaisant	100-120	0	4	5
Satisfaisant	80-100	1	7	6
Insuffisant	60-80	5	1	1
Très insuffisant	40-60	7	0	0

Comparaison des indices de nutrition aux résultats d'analyses de terre **sur les parcelles de l'Observatoire**



- Parcelles échantillonnées lors de la campagne d'analyse de végétaux 2022 (prairies, blé, maïs, soja et luzerne)

Action 3 : Prédiction de l'évolution du P des sols en fonction des pratiques

→ **Élaboration de références adaptées à l'AB pour le calcul de bilan Fertilisation – Exportations**

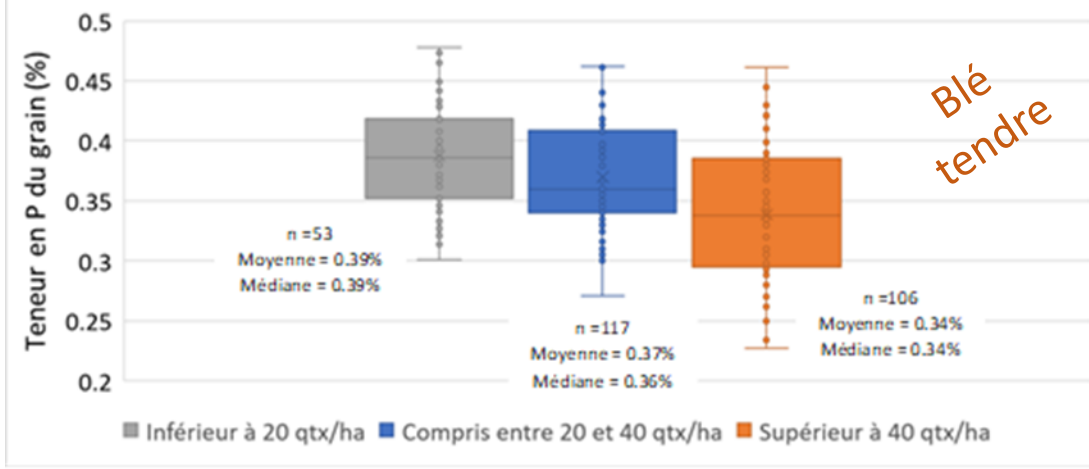
Base de données d'analyses de teneurs en P des grains et pailles
(environ 900 données issues de 6 essais longue durée en AB + essais annuels de 2000 à 2021 sur 16 espèces)



Culture (organe)	Coefficient multiplicateur (en P2O5)		
	Coefficient d'exportation (kg de P ₂ O ₅ / unité de rendement)*	Nombre d'analyses	Valeur exprimée en pourcentage de la référence COMIFER
Blé tendre (grain)	0.83	221	128
Blé tendre (paille)	2.19	201	129
Féverole (grain)	1.37	51	114
Maïs grain (grain)	0.68	111	113
Orge (grain)	0.97	32	149
Orge (paille)	2.53	24	253
Soja (grain)	1.14	21	114
Tournesol (grain)	1.10	43	92

* rendement à l'humidité aux normes

Pas d'effet de la teneur en P₂O₅ du sol sur %P des grains mais diminution quand rendement augmente => **Dilution ?**



Action 3 : Prédiction de l'évolution du P des sols en fonction des pratiques

→ Evaluer l'impact des pratiques de fertilisation sur la disponibilité du P des sols



P - : systèmes « autonomes » (pas d'apports de P)
 P + : systèmes avec apports de P mais déficitaires
 P + + : systèmes avec apports de P visant à compenser les exportations

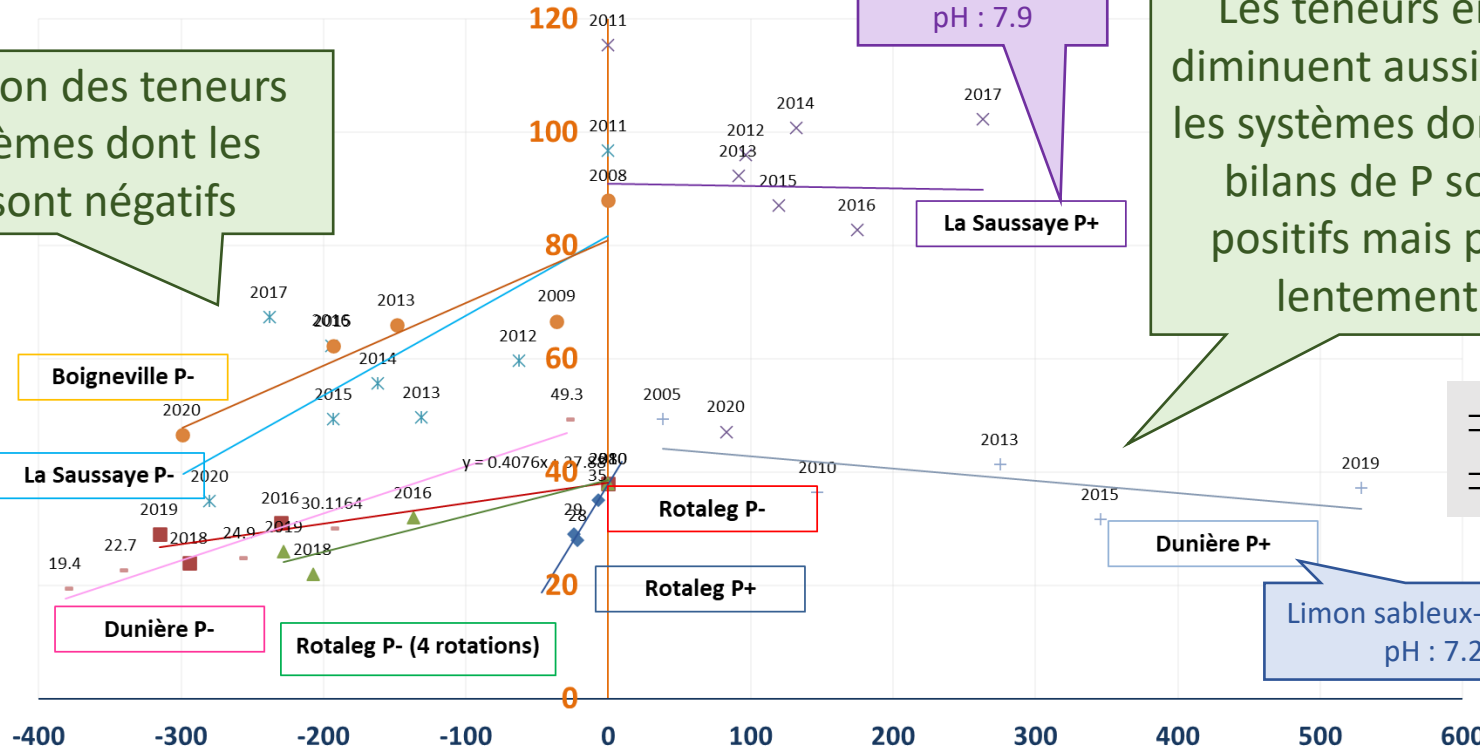
Site	Type de sol	Régime de fertilisation	Types de produits	Période
La Hourre	Argilo-calcaire	P+	Fientes, Farines de plume et de viande	1999-2017
Dunière	Limonosableux	P++	2009-2014 : Farine de plume 2015-2020 : Farine de sang	2005 - 2020
		P-	2006-2007 : Farine de poissons 2009-2014 : Farine de plume 2015-2020 : Farine de viande 2012-2020 : Guanito	
Boigneville	Limonosableux	P-	Aucun	2008-2020
La Saussaye	Limons	P++	Compost de déchets verts, Fumier de cheval composté AxeN 12	2011-2020
		P-	Aucun	
Rotaleg	Limon sablo-argileux	P+ (1 rotation avec apports)	Farine de plumes Farine de sang Poudre de viande mélangée à du sang / fiente / guano	2010-2019
		P- (1 rotation identique à la rotation P+ sans apports)	Aucun	
		P- (3 rotations)	Aucun	
Système AB Ferme des Bordes Jeu-Les-Bois	Sablo-limoneux	P++ (système Polyculture -élevage)	Compost et fumiers de bovins + fientes de volailles et lisiers de porc depuis 2016	2002-2021

Action 3 : Prédiction de l'évolution du P des sols en fonction des pratiques

→ Evaluer l'impact des pratiques de fertilisation sur la disponibilité du P des sols

Relation entre Bilans Fertilisation – Exportations P et évolutions des teneurs en P

Analyse de sol (0-30 cm) P_2O_5 Olsen ($mg.kg^{-1}$)



Bilan cumulé de phosphore : Fumure - Exportations ($kg P_2O_5 / ha$)

(Références exportations REEL)

Action 3 : Pr evision de l'évolution du P des sols en fonction des pratiques

→ Evaluer l'impact des pratiques de fertilisation sur la disponibilité du P des sols

Relation entre Bilans Fertilisation – Exportations P et évolutions des teneurs en P

X = Bilan cumulé de P (kg de P₂O₅/ha)
Y = teneur en P Olsen du sol (kg de P₂O₅/ha)

Site	Type de sol	Régime de fertilisation	Période	Equation	R ²
Duni�re	Limono-sableux	P+	2005 - 2020	$y = -0.0217x + 44.272$	0.3901
		P-		$y = 0.0804x + 46.507$	0.9382
Boigneville	Limono-sableux	P-	2008-2020	$y = 0.1103x + 80.815$	0.8098
La Saussaye	Limons	P+	2011-2020	$y = -0.004x + 90.909$	0.0002
			2011-2017	$y = -0.051x + 103.01$	0.1448
		P-	2011-2020	$y = 0.1409x + 81.658$	0.5126
Rotaleg	Limon sablo-argileux	P+ (1 rotation sur 5 avec apports)	2010-2019	$y = 0.4327x + 38.295$	0.9792
		P- (rotation identique � la rotation P+)		$y = 0.1133x + 33.65$	0.9819
		P- (4 rotations sur 5)		$y = 0.0644x + 38.801$	0.8946

Merci pour votre attention !

Avec la contribution financière du compte d'affectation spéciale développement agricole et rural CASDAR

