



Fertilisation PK

Le marché des engrais est en pleine évolution et les tensions sur les prix sont fortes. Même si la consommation des engrais a chuté dans les pays développés, elle devrait augmenter au niveau mondial avec la demande des pays émergents.

Les réserves en phosphore sont estimées à 67 000 millions de tonnes (source : US Geological Survey – 2014). Elles sont facilement accessibles mais concentrées dans 5 pays (Maroc, Chine, Afrique du Sud, Jordanie et Etats Unis). Par le jeu des tensions politiques, des évolutions démographiques et des besoins alimentaires en forte croissance dans les pays en développement, le risque de pénurie est réel. Le phosphore est principalement utilisé comme fertilisant. Il est aussi employé en nutrition animale et dans la fabrication des lessives et autres détergents.

Les réserves en potassium ne manquent pas (6 000 millions de tonnes en 2014) mais le marché est détenu par quelques vendeurs basés au Canada, en Russie et en Biélorussie. La demande en potassium devrait également augmenter avec la forte croissance des pays en voie de développement. Le potassium sert à la fabrication d'engrais et, en petites quantités, à la fabrication de détergents, savons et verre.

Par rapport à l'environnement, le potassium ne présente pas de risque alors que le phosphore, en excès, peut avoir des impacts négatifs. En effet, lorsqu'il se retrouve dans l'eau, il peut provoquer un dérèglement des écosystèmes aquatiques conduisant à la prolifération d'algues (phénomènes d'eutrophisation). Les eaux deviennent alors impropres aux usages habituels (captage d'eau potable, pêche, tourisme). Le raisonnement de la fertilisation peut contribuer à limiter les transferts de phosphore des parcelles vers les milieux aquatiques.

Glossaire

Le phosphore (sources : Unifa et Arvalis-Institut du végétal)

> Rôles

Le phosphore est un élément indispensable à la vie.

Il participe à de nombreuses réactions biochimiques : il favorise le métabolisme des glucides et des protéides et leur transport dans la plante.

C'est un constituant cellulaire participant au démarrage des cultures et à la croissance de la plante, notamment au développement du système racinaire.

> Le phosphore dans le sol

Il est présent pour 2/3 sous forme minérale ou associée aux minéraux (fer, aluminium, calcium) et pour 1/3 sous forme organique. Moins de 0,1 % du P total est libre dans la solution du sol et absorbable par les racines de la plante. De plus, le phosphore étant peu mobile, la capacité des racines à le capter est limitée.

Le potassium (sources : Unifa et Arvalis-Institut du végétal)

> Rôles

Le potassium est un élément déterminant dans la qualité des récoltes.



Il intervient dans la construction des parois pecto-cellulosiques des cellules dont il augmente la résistance, réduisant ainsi la pénétration de certains champignons et la verse.

Il améliore la résistance des végétaux à la sécheresse. La concentration en potassium dans les cellules contrôle



le mécanisme de fermeture et d'ouverture des stomates. Dès que la transpiration est trop élevée, la teneur en potassium baisse et les stomates se ferment pour économiser l'eau.

Il favorise également la formation, le transfert et l'accumulation des assimilats (sucres et acides aminés) vers les organes de réserve.

> **Le potassium dans le sol**

Les formes disponibles pour les plantes sont celles en solution dans le sol et sur le complexe argilo-humique. Mais cela ne représente que 1 à 5 % du potassium contenu dans les sols. Les argiles ont aussi tendance à fixer trop fortement le potassium quand le sol est sec.

L'autre forme assimilable est celle issue des résidus végétaux et des apports organiques et libérée par les micro-organismes du sol.

La fertilisation PK raisonnée

En 1980 a été créé le COMIFER (Comité Français d'Etude et de Développement de la Fertilisation Raisonnée). C'est un pôle de rencontre et de dialogue autour des activités liées aux sciences et techniques de la fertilisation raisonnée. En 1993, le COMIFER a redéfini les règles de raisonnement de la fertilisation phosphatée et potassique sur la base des avancées de la recherche et des enseignements de nombreux essais de longue durée.

Les grands principes de la fertilisation PK

Les 4 critères de raisonnement de la fertilisation PK

La fertilisation PK se raisonne selon le niveau d'exigence de la culture, la teneur en PK dans le sol, le passé récent de fertilisation et la restitution ou non des résidus de culture du précédent.

> **Le niveau d'exigence de la culture** (sources : Comifer et Arvalis-Institut du végétal)

Les cultures ont des niveaux d'exigence différents (voir tableau 1) qui seraient liés, entre autres, aux caractéristiques du système racinaire (mode de fonctionnement, aptitude des racines à prélever l'élément dans le sol en fonction de sa biodisponibilité) et à l'influence de l'état de nutrition de la plante sur le mode d'élaboration de son rendement. L'exigence peut se définir comme la sensibilité d'une culture vis-à-vis d'une faible teneur du sol en P ou en K.

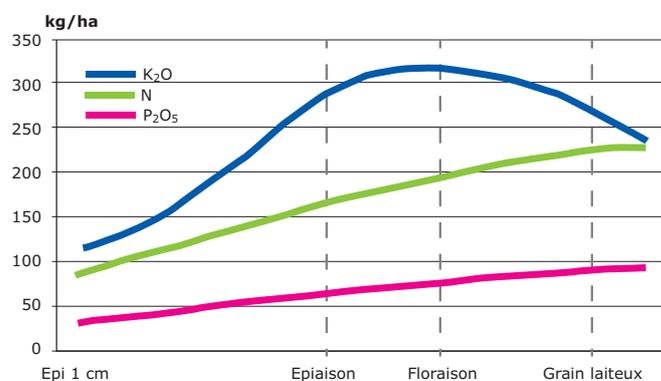
Tableau 1 : classement des cultures selon leurs exigences en P et en K (source : Comifer)

Exigence	Phosphore	Potassium
Forte	Betterave Colza Luzerne Pomme de terre	Betterave Pomme de terre
Moyenne	Blé suivant un blé Blé dur Maïs ensilage Orge Pois Ray-grass Sorgho	Colza Luzerne Maïs Pois Ray-grass Soja Tournesol
Faible	Avoine Blé tendre Maïs grain Seigle Soja Tournesol	Avoine Blé dur Blé tendre Orge Seigle Sorgho

Pour une culture exigeante, l'impasse sur la fertilisation en P ou en K conduira à des pertes de production alors qu'une culture peu exigeante verra sa production peu pénalisée.

Il ne faut pas confondre exigences et besoins. Une culture exigeante n'exporte pas systématiquement plus de P ou de K qu'une culture qui l'est moins.

Courbes d'absorption en P₂O₅ et en K₂O du blé
(source : Centre de recherche d'Aspach, Ministère de l'agriculture)



Jusqu'en sortie d'hiver, les quantités extraites du sol par le blé sont faibles. Au printemps, le blé prélève jusqu'à 6 kg de potassium et 1 kg de phosphore par hectare et par jour. A cette période de croissance, il doit donc trouver dans le sol une quantité suffisante de l'élément nutritif.

> **La teneur en PK dans le sol**

L'analyse de terre permet de connaître la teneur en P₂O₅ et K₂O du sol.

Pour le phosphore, il existe 3 méthodes d'analyses qui se distinguent par leur différence d'agressivité vis-à-vis du phosphore du sol : la méthode Joret-Hébert (réactif : oxalate d'ammonium) pour les sols neutres ou alcalins, la méthode Dyer (réactif : acide citrique) pour les sols acides et la méthode Olsen (réactif : bicarbonate de sodium), valable quel que soit le pH du sol.



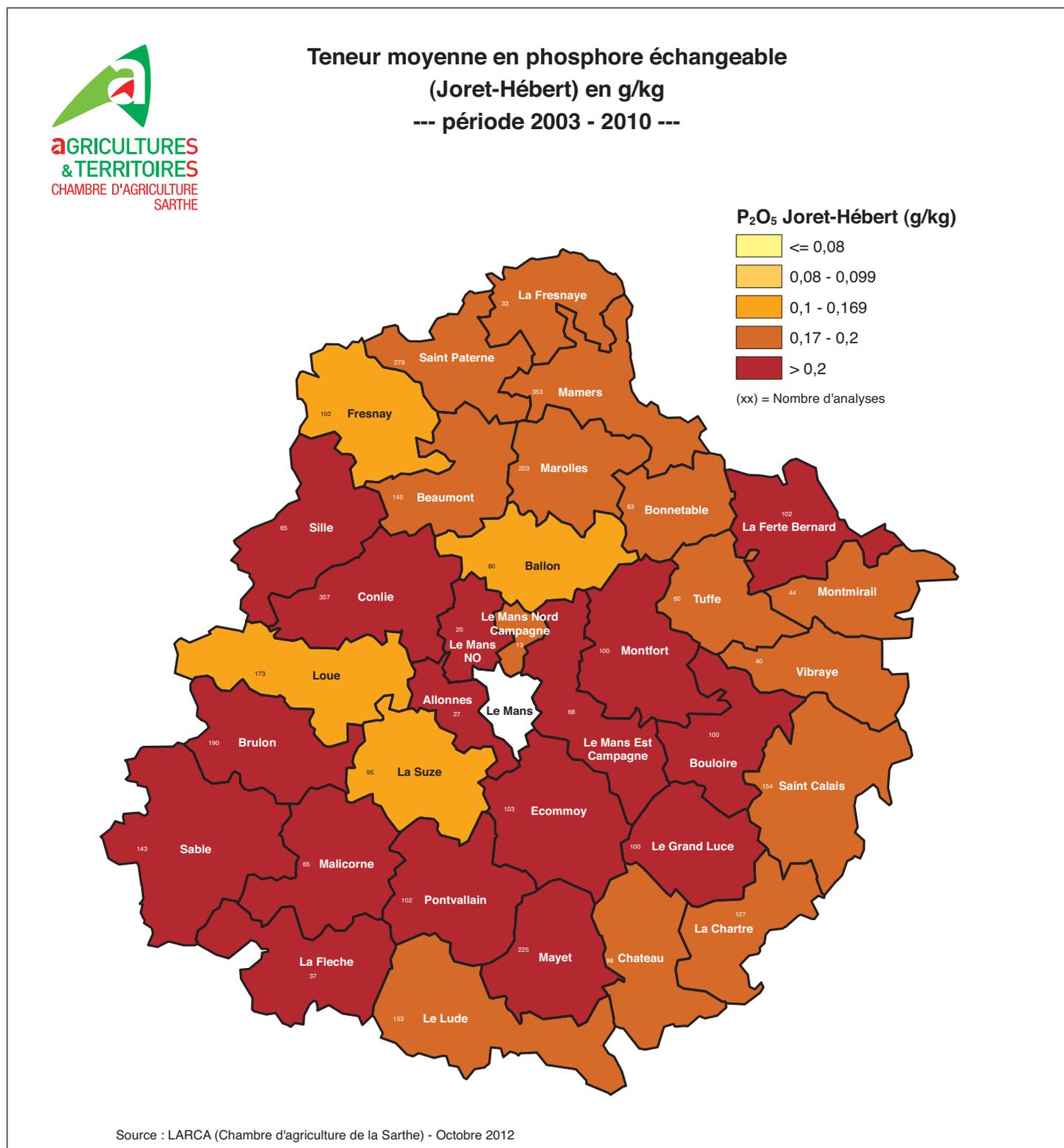
Pour le potassium, il n'y a qu'une méthode qui mesure la teneur en potassium échangeable (réactif : acétate d'ammonium).

Les cartes présentées indiquent les teneurs en phosphore et en potassium des sols de la Sarthe et de la Mayenne (voir cartes). Sur ces 2 départements, les sols sont dans l'ensemble bien pourvus en P et en K. Une bonne partie

de ces sols recevant des apports organiques, cela permet de répondre en partie aux besoins des plantes.

En Sarthe (carte ci-dessous), les teneurs en phosphore ont été mesurées par la méthode Joret-Hébert (4 019 analyses). Sur 34 cantons, 16 ont des teneurs supérieures à 0,2 g P₂O₅/kg et 14 ont des teneurs entre 0,17 et 0,2 g, traduisant un niveau normal à très élevé.

Cartes des teneurs en P₂O₅ et en K₂O des sols sarthois (étude portant sur les analyses réalisées entre 2003 et 2010)



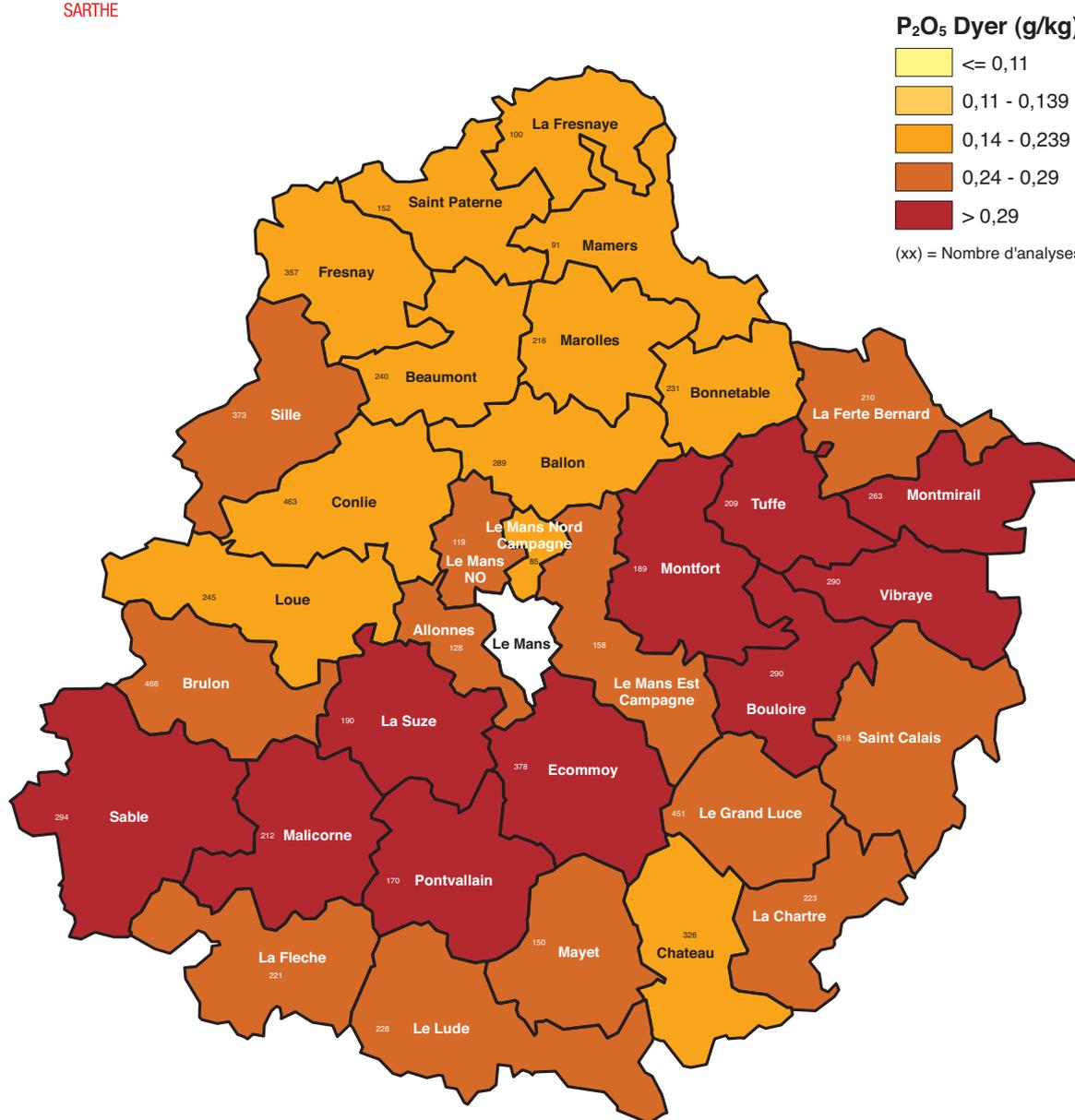


Avec la méthode Dyer, dans la Sarthe (voir carte ci-dessous, pour 8 525 analyses), les teneurs varient entre 0,14 et 0,239 g P₂O₅/kg dans le nord. Elles sont supé-

rieures à 0,29 dans l'est et le sud-ouest. Dans le sud, elles sont comprises entre 0,24 et 0,29. Là-aussi, ces teneurs sont bonnes, voire élevées.



Teneur moyenne en phosphore échangeable (Dyer) en g/kg --- période 2003 - 2010 ---



Source : LARCA (Chambre d'agriculture de la Sarthe) - Octobre 2012

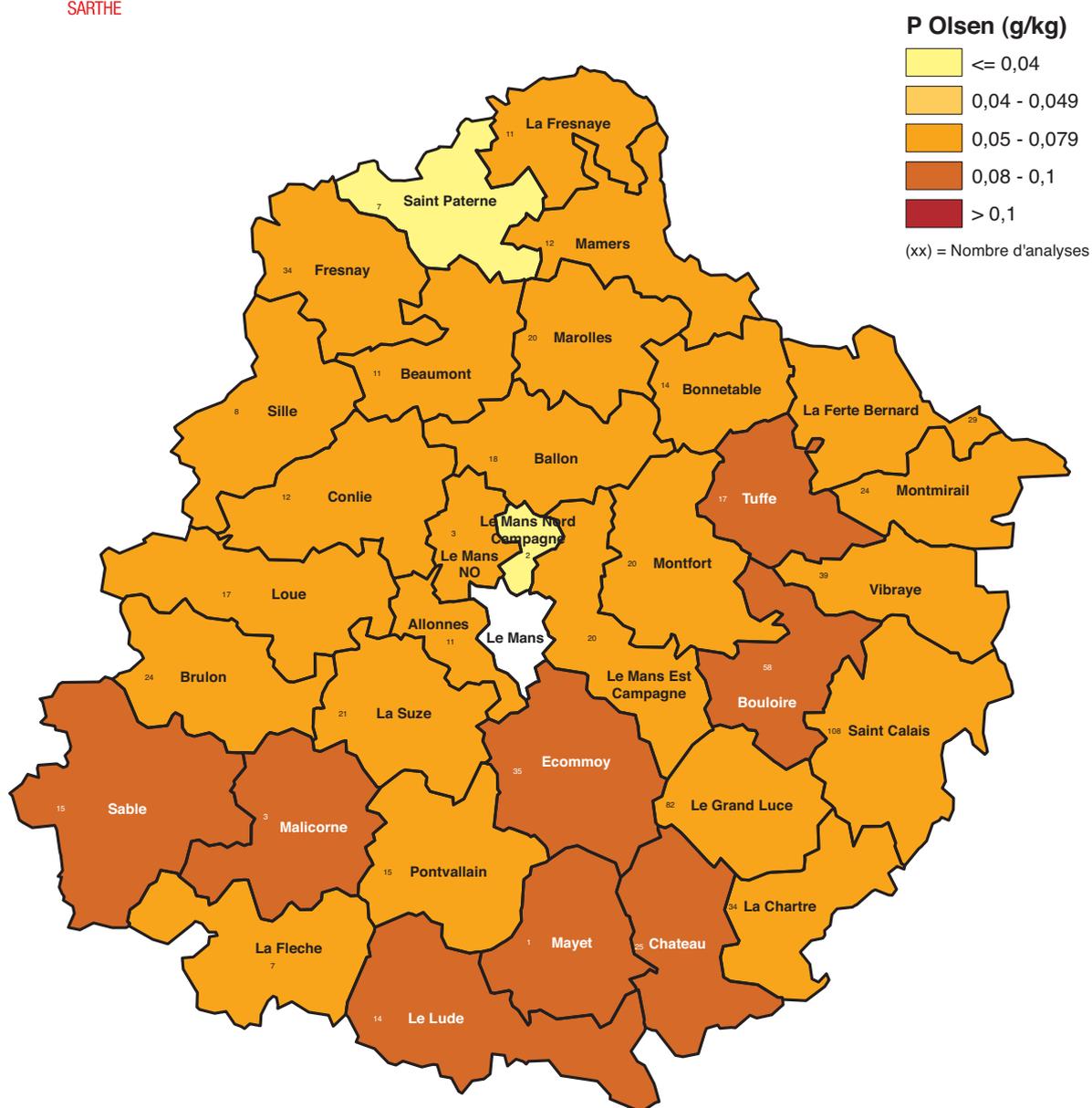


Avec la méthode Olsen (voir carte ci-dessous, pour 771 analyses), 24 cantons ont des teneurs entre 0,05 et 0,079 g P₂O₅/kg et 8 cantons sont entre 0,08 et 0,1.

Ces valeurs révèlent des teneurs normales à élevées dans les sols sarthois.



Teneur moyenne en phosphore échangeable (Olsen) en g/kg --- période 2003 - 2010 ---



Source : LARCA (Chambre d'agriculture de la Sarthe) - Octobre 2012



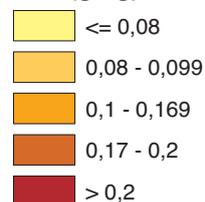
En potassium (voir carte ci-dessous, pour 13 222 analyses), la majorité des cantons a des teneurs normales en

potassium entre 0,17 et 0,2 g K₂O/kg. Dans le nord, les teneurs sont plus élevées.

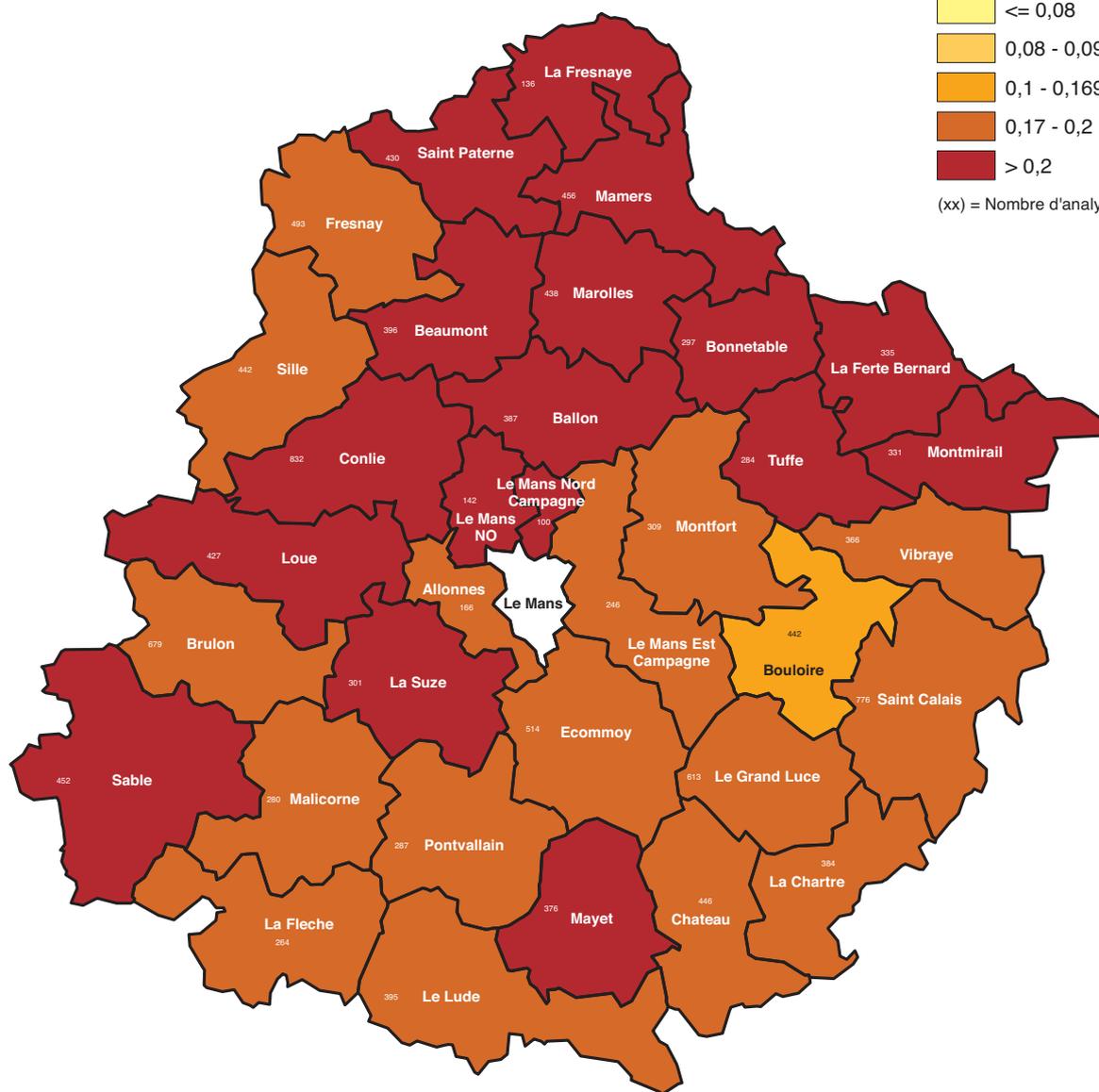


Teneur moyenne en potasse échangeable en g/kg --- période 2003 - 2010 ---

K₂O (g/kg)



(xx) = Nombre d'analyses



Source : LARCA (Chambre d'agriculture de la Sarthe) - Octobre 2012



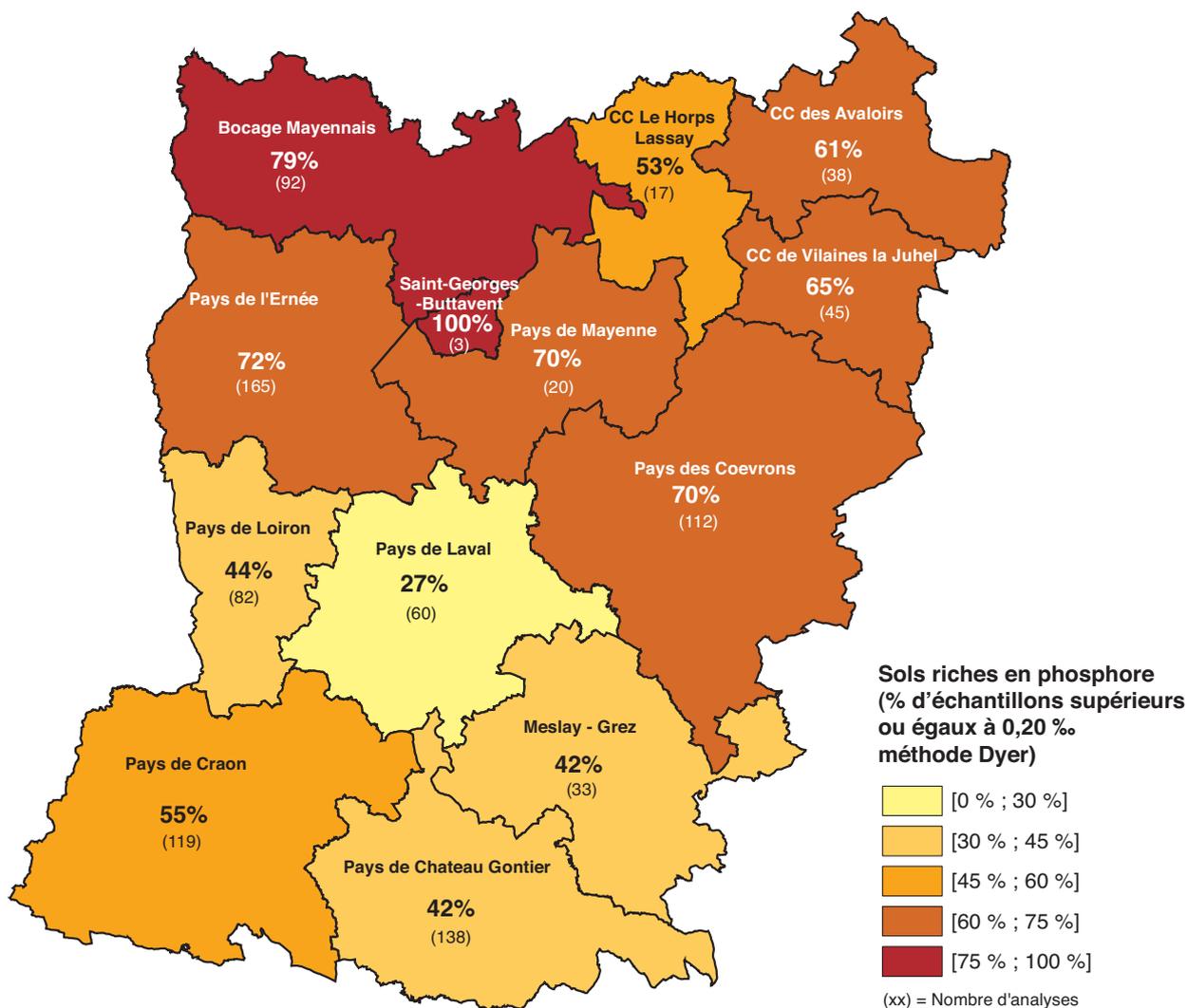
Cartes des teneurs en P₂O₅ et en K₂O des sols mayennais (étude portant sur 924 analyses réalisées entre 2007 et 2010)

Pour le phosphore (voir carte ci-dessous), 60 % des échantillons analysés montrent une teneur élevée en phosphore. Ce chiffre est stable par rapport à une étude faite en 2000. Les sols les plus riches se concentrent sur

le nord et la frange ouest de la Mayenne ce qui est très lié à la présence plus importante d'élevages de bovins et de monogastriques. Le quart sud-est est historiquement plus céréalier et moins dense en animaux.



Le Phosphore (% d'échantillons supérieurs ou égaux à 0,2 ‰ méthode Dyer) --- période 2007 - 2010 ---



Analyses du Laboratoire Vétérinaire Départemental
Sources : BD Carto IGN, 2006 ; CA / Laboratoire Vétérinaire Départemental, 2011
Cartographie : Chambre d'Agriculture de la Mayenne - Octobre 2013



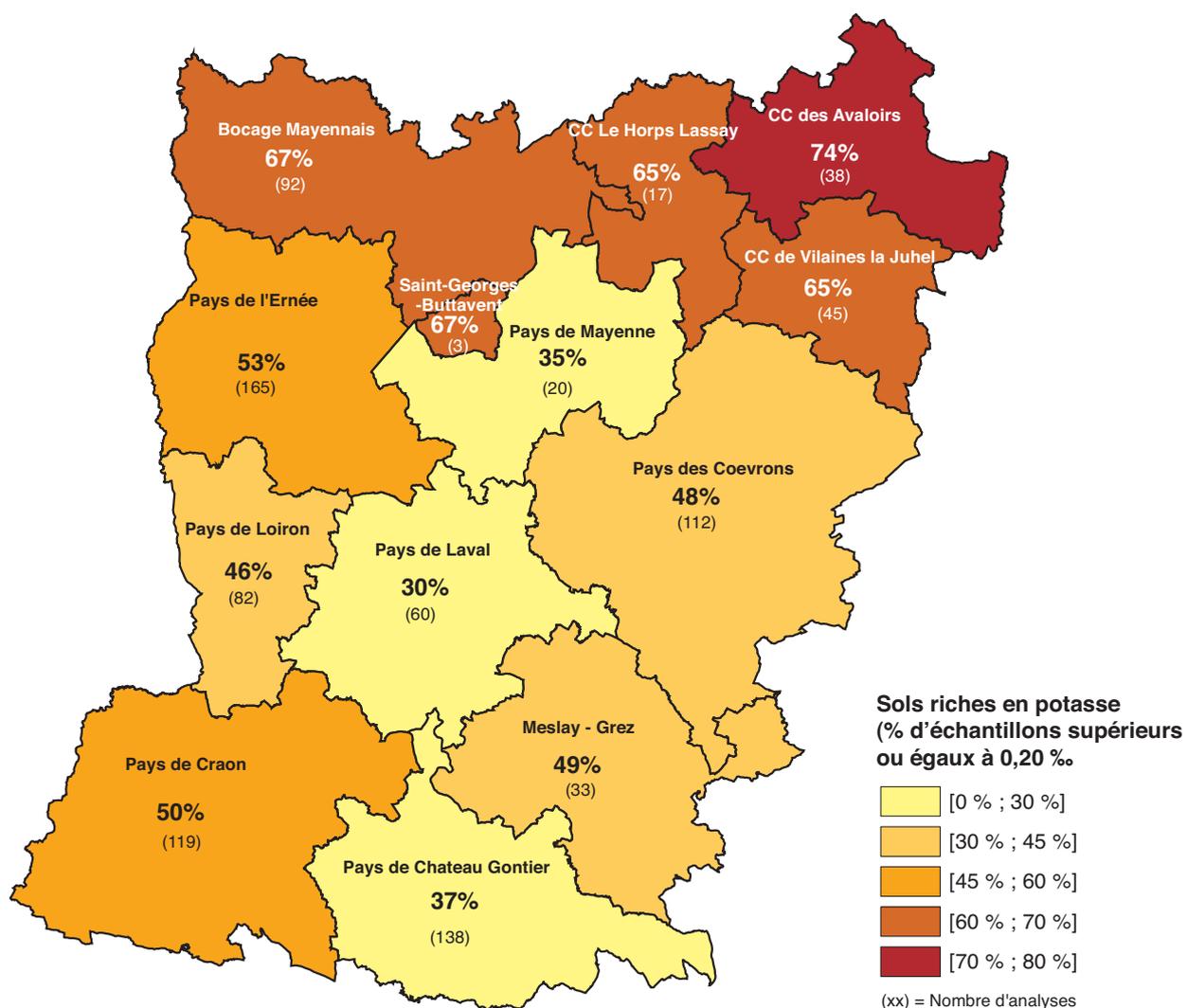
Pour le potassium, 53 % des sols ont des teneurs supérieures ou égales à 0,20 ‰. La répartition géographique

suit celle du phosphore avec une concentration des sols riches au nord et à l'ouest de la Mayenne.



La Potasse (% d'échantillons supérieurs ou égaux à 0,2 ‰)

--- période 2007 - 2010 ---



Analyses du Laboratoire Vétérinaire Départemental
Sources : BD Carto IGN, 2006 ; CA / Laboratoire Vétérinaire Départemental, 2011
Cartographie : Chambre d'Agriculture de la Mayenne - Octobre 2013



Tableau 2 : teneurs seuils PK (mg/kg ou ppm)

Région Bretagne-Pays de la Loire par type de sol et niveau d'exigence des cultures.
 Pour le phosphore, les seuils existent pour les 3 méthodes d'analyses (source : www.arvalis-infos.fr)

	Exigence de la culture	Seuils	Limons sains et limons sableux	Limons caillouteux superficiels	Sables	Argilo-calcaires profonds sur marne	Argilo-calcaires superficiels
P₂O₅ Joret-Hébert	Forte	T renforcé	100	120	60	120	140
		T impasse	160	180	160	180	200
	Moyenne	T renforcé	100	120	60	80	80
		T impasse	160	180	160	120	180
	Faible	T renforcé	70	90	40	50	70
		T impasse	150	170	130	120	150
P₂O₅ Olsen	Forte	T renforcé	50	50	50	60	60
		T impasse	80	80	80	90	90
	Moyenne	T renforcé	50	50	50	60	60
		T impasse	80	80	80	90	90
	Faible	T renforcé	20	20	20	30	30
		T impasse	70	70	70	80	80
P₂O₅ Dyer	Forte	T renforcé	160	190	100		
		T impasse	220	250	280		
	Moyenne	T renforcé	140	170	100		
		T impasse	220	250	280		
	Faible	T renforcé	110	140	70		
		T impasse	210	240	200		
K₂O	Forte	T renforcé	170	190	100	250	400
		T impasse	300	320	150	300	450
	Moyenne	T renforcé	120	140	70	200	300
		T impasse	180	200	100	300	400
	Faible	T renforcé	80	100	50	100	150
		T impasse	150	170	100	180	300



Des valeurs seuils ont été établies par le COMIFER (voir tableau 2):

T_{renforcé} marque la limite entre le renforcement et l'entretien.

T_{impasse} marque la limite entre la fumure d'entretien et l'impasse.

Pour les cultures exigeantes (voir tableau 3), l'impasse n'est jamais proposée. En fumure d'entretien, on compense les exportations. En renforcement, on apporte plus que les exportations.

Pour les cultures moyennement exigeantes :

- Si le sol est riche, l'apport d'engrais peut être inutile.
- Sur sol très pauvre, il peut être nécessaire d'apporter de fortes doses d'engrais.

Pour les cultures peu exigeantes, il n'y aura pas de réponse au renforcement de fumure. Seront proposées des fumures d'entretien ou des impasses.

Tableau 3 : conseils de fumure de base pour P et K

	Teneur sol < T _{renforcé}	T _{renforcé} < Teneur sol < T _{impasse}	Teneur sol > T _{impasse}
Culture exigeante	Renforcement Plus que les exportations	Entretien Exportations compensées	-
Culture moyennement exigeante	Renforcement Plus que les exportations	Entretien Exportations compensées	Impasse Pas d'engrais
Culture peu exigeante	-	Entretien Exportations compensées	Impasse Pas d'engrais



➤ Le passé récent de fertilisation

Si la parcelle est fertilisée régulièrement (apports sous forme minérale ou organique) tous les ans, voire tous les 2 ans, le passé de fertilisation est considéré comme favorable. Au-delà de 2 années successives d'impasse, le passé de fertilisation est considéré comme défavorable. Le risque de pénalisation de la production augmente car une partie des éléments a pu rejoindre des compartiments moins accessibles.

➤ La restitution ou non des résidus de culture du précédent

Les résidus de récolte (voir tableau 4) contiennent peu de phosphore. L'essentiel du phosphore est présent dans le grain et se retrouve donc exporté à la récolte : un blé à 80 q/ha exporte 52 kg P₂O₅/ha par les grains et 8 kg P₂O₅/ha par les pailles.

Pour le potassium, il est majoritairement présent dans les tiges et les feuilles et sera libéré en quantité importante au cours des premières phases de décomposition des résidus. Chaque fois que des résidus de récolte sont enfouis dans le sol, ils apportent du potassium à la culture qui suit. Par exemple, un blé de 80 q/ha restitue 55 kg de K₂O par les pailles. Il faut en tenir compte dans le calcul de la dose d'engrais à apporter. Dans le cas de cultures sans résidus comme le maïs ensilé ou les

céréales dont les pailles sont enlevées, les restitutions dans le sol sont faibles. L'impasse sur la fertilisation potassique est risquée dans ces situations.

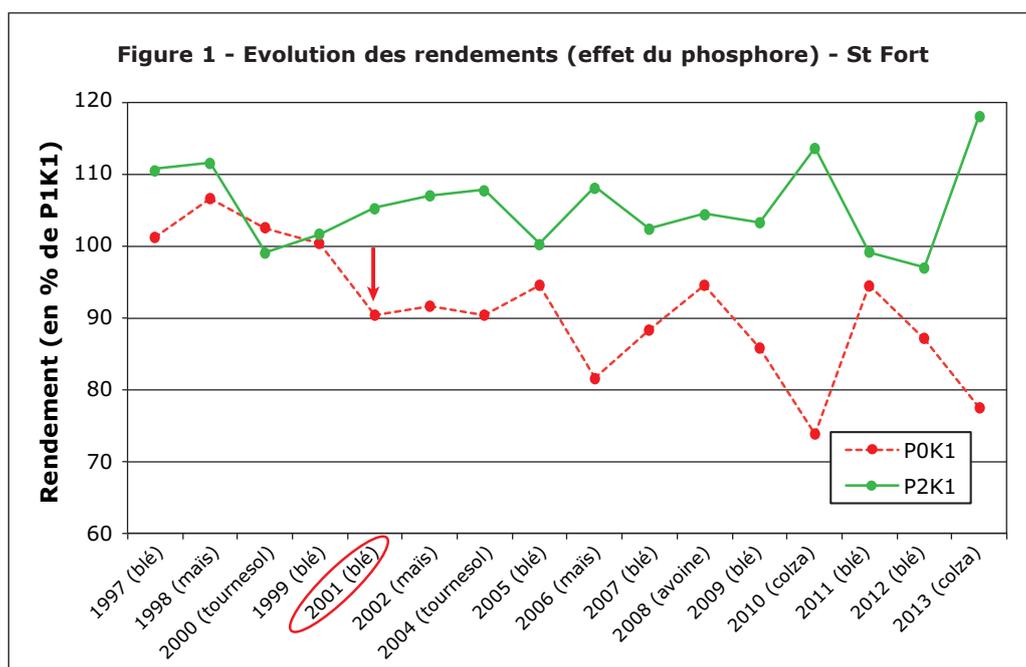
Tableau 4 : teneurs en P₂O₅ et en K₂O des organes végétaux récoltés pour quelques cultures
(source : Comifer)

Cultures	Organe	% MS	Unité récolte	Teneur P ₂ O ₅ kg par unité de récolte	Teneur K ₂ O kg par unité de récolte
Blé tendre	Grain	85	q/ha	0,65	0,50
	Paille	88	t/ha	1,70	12,30
Colza	Grain	91	q/ha	1,25	0,85
	Paille	88	t/ha	1,70	14,50
Féverole	Grain	86	q/ha	1,20	1,30
Maïs	Grain	85	q/ha	0,60	0,55
	Plante entière ensilée	100	t/ha	4,20	11,90
Orge	Grain	85	q/ha	0,65	0,55
	Paille	88	t/ha	1,00	12,90
Pois	Grain	86	q/ha	0,80	1,15
	Paille	88	t/ha	2,10	19,00
Tournesol	Grain	91	q/ha	1,20	1,05
Triticale	Grain	85	q/ha	0,65	0,50
	Paille	88	t/ha	2,00	10,00

Nos références

Des essais longue durée sur la fertilisation phosphatée et potassique ont été mis en place à partir de 1975, dans un contexte où l'agriculteur cherchait déjà à limiter les coûts de production tout en étant rentable économiquement.

Ils ont servi de base pour établir le raisonnement de la fertilisation PK. Ces essais ont permis de mesurer l'incidence de la fertilisation sur le rendement et l'évolution des teneurs en P et en K du sol par rapport aux teneurs initiales.



Ils ont été réalisés par différents organismes (INRA, SCPA, Grande Paroisse, instituts techniques, chambres d'agriculture, CETA, laboratoires d'analyse de terre...). Ces essais comprennent 3 niveaux de fertilisation :

- pas d'engrais (P0 ou K0),
- une dose d'engrais proche des exportations de la culture (P1 sous forme de Super 45 ou K1 sous forme de Chlorure de potassium),
- une dose d'engrais proche de deux fois les exportations de la culture (P2 ou K2).

Synthèse de l'essai PK longue durée en Mayenne

C'est sur l'espace de recherche de St Fort que cet essai est réalisé depuis 1997.

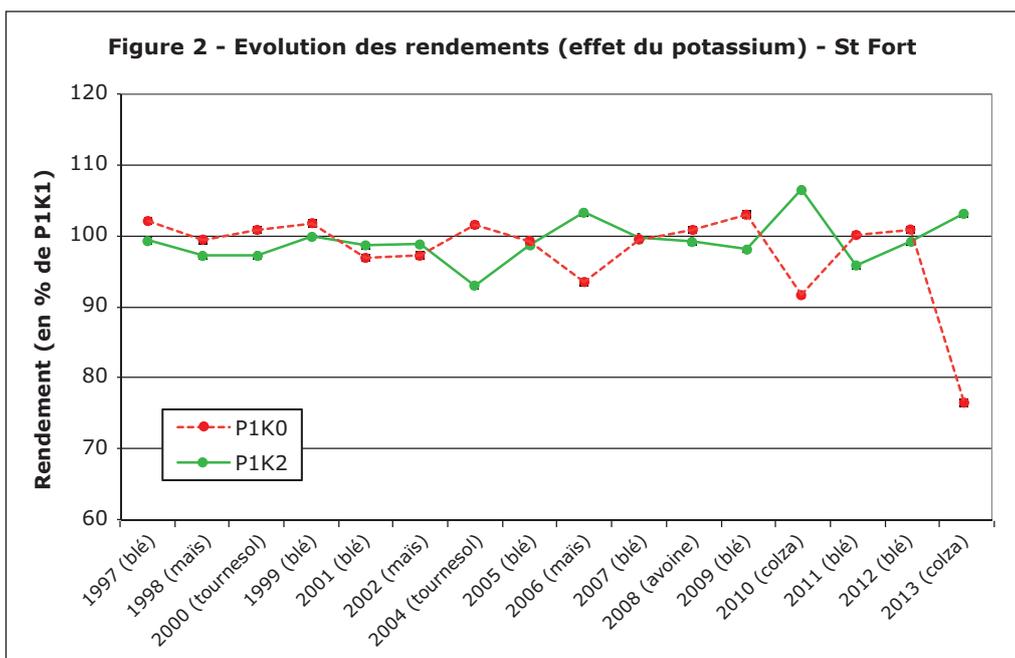
Caractéristiques de l'essai :

- sol : limon moyen sableux sur altérite de schiste, sol pauvre en P et bien pourvu en K.

- rotation : blé tous les 2 ans en alternance avec du maïs grain, du tournesol, de l'avoine ou du colza. Aucun apport d'effluents d'élevage. Pailles restituées.

- rendements : **effet du phosphore depuis 2001** (voir figure 1 page précédente). En situation d'impasse en phosphore, les rendements ont baissé comparés aux apports équivalents aux exportations ou équivalents à 2 fois les exportations.

Peu d'effet du potassium (voir figure 2). Les rendements sont équivalents quel que soit le niveau d'apport. Cela s'explique par une teneur du sol satisfaisante au départ et un niveau d'exportation faible.



St Fort	Teneurs initiales 1997 ‰	Teneurs en 2011 ‰		
		Impasse	1 x les exportations	2 x les exportations
P ₂ O ₅ (Dyer)	0,09	0,03	0,09	0,19
K ₂ O	0,19	0,09	0,15	0,21

En situation d'impasse, les teneurs ont baissé mais cette évolution est lente.

Synthèse des essais PK longue durée en Sarthe

Plusieurs sites ont été suivis à Degré, Nogent-le-Bernard, Tennie et Torcé-en-Vallée.

	Degré 1991-1998				Nogent-le-Bernard 1986-2000				Tennie 1979-1996				Torcé-en-Vallée 1990-1998			
Type de sol	Sable limoneux sur argile sableuse				Limon battant épais drainé				Limon profond				Sable grossier à faible réserve hydrique			
Richesse en PK du sol	Pauvre en P et en K				Moyennement pourvu en P et bien pourvu en K				Riche en P et en K				Riche en P et pauvre en K			
Rotation	Blé pailles enlevées et maïs fourrage				Blé pailles enfouies et maïs grain				Blé pailles enlevées et maïs grain				Monoculture de maïs grain irrigué			
Effluents d'élevage*	Oui				Non				Oui				Oui			
Rendements	Effet du phosphore depuis 1994. En situation d'impasse en phosphore, les rendements ont baissé comparés aux modalités avec apports. Peu d'effet du potassium				Effet du phosphore depuis 1994. En situation d'impasse en phosphore, les rendements ont baissé comparés aux apports équivalents à 2 fois les exportations. Peu d'effet du potassium.				Pas d'effet du phosphore ni du potassium.				Effet du phosphore depuis 1992. En situation d'impasse en phosphore, les rendements ont baissé comparés aux modalités avec apports. Peu d'effet du potassium.			
Teneurs dans le sol	Elles suivent les niveaux des apports. En situation d'impasse, les teneurs ont baissé mais cette évolution est lente.				Elles suivent les niveaux des apports. En situation d'impasse, les teneurs ont baissé mais cette évolution est lente.				En situation d'impasse, les teneurs ont rapidement chuté au départ puis cette évolution a été plus lente. Au final, les teneurs ont baissé de moitié mais se maintiennent à des niveaux satisfaisants.				Elles suivent les niveaux des apports. En situation d'impasse en phosphore, les teneurs ont baissé mais cette évolution est lente. En situation d'impasse en potassium, les teneurs restent stables.			
P ₂ O ₅ ‰ (Dyer)	Ti	Timp	T1x	T2x	Ti	Timp	T1x	T2x	Ti	Timp	T1x	T2x	Ti	Timp	T1x	T2x
	0,10	0,08	0,09	0,18	0,21	0,12	0,24	0,33	0,34	0,17	0,23	0,35	0,25	0,19	0,19	0,39
K ₂ O ‰	0,09	0,06	0,10	0,18	0,16	0,08	0,11	0,20	0,23	0,14	0,18	0,23	0,05	0,04	0,10	0,12

Ti : teneurs initiales - Timp : teneurs de la dernière année en situation d'impasse - T1x : teneurs de la dernière année en situation avec apports équivalents à 1 fois les exportations - T2x : teneurs de la dernière année en situation avec apports équivalents à 2 fois les exportations.

*Les parcelles à Degré, Tennie et Torcé en Vallée recevaient régulièrement des effluents d'élevage sauf pendant la durée des essais.

L'avis de nos spécialistes

En régime d'impasse, les baisses des teneurs du sol sont très lentes. Le renforcement de la fumure n'est nécessaire que pour des cultures très exigeantes et en sols insuffisamment pourvus.

Les régimes où la fumure équivaut aux exportations permettent de maintenir les teneurs du sol d'une façon générale.

Dans les sols ayant déjà des niveaux élevés en P et en K, acquis par de nombreuses années d'enrichissement, il faut surveiller son capital sol de telle sorte que les réserves ne passent pas en dessous des normes.

Les points à ne pas négliger

> L'analyse de terre

La fertilisation PK doit se raisonner sur le long terme. Cela passe par l'établissement d'un plan de fumure qui doit être validé régulièrement grâce aux analyses de terre. Les prélèvements sont à réaliser à la même période de l'année, derrière la même culture et au même endroit pour vérifier l'évolution des teneurs. Ces analyses sont à faire au minimum tous les 5 ans.

En situation de pH faible (< 5,8), la priorité est de remonter le pH. L'apport de phosphore ne sera jamais bénéfique à la plante si ce pH reste bas.

En cours de végétation, il est aussi possible de vérifier si l'alimentation des végétaux est correcte, déficitaire ou en excès par des analyses de plantes.

> Tenir compte des effluents d'élevage

Ce sont de véritables engrais de fond. Par exemple, 40 t de fumier de bovins (voir tableau 5) ont la même efficacité qu'un apport de 185 kg de Super 45 (45 % P₂O₅) et de 480 kg de Chlorure de potassium (60 % K₂O).

Pour le phosphore, certaines formes organiques sont difficilement dégradables à court terme. Un coefficient est alors appliqué. Il représente la fraction de l'effluent qui a le même effet sur la culture qu'un engrais minéral soluble dans l'eau et le citrate d'ammonium neutre.

Pour le potassium, il est entièrement sous forme de sels minéraux, solubles à plus de 80 % dans l'eau. La disponibilité est donc très bonne pour les cultures, comparable à celle d'un engrais minéral. Le coefficient d'équivalence est donc égal à 1.

Tableau 5 : teneurs moyennes de quelques effluents d'élevage
(source : Chambre d'agriculture Sarthe - analyses 2006)

Produits	Unité	Teneur P ₂ O ₅ Kg par unité	Coefficient d'équivalence d'engrais P ₂ O ₅	Teneur K ₂ O Kg par unité	Coefficient d'équivalence d'engrais K ₂ O
Fumier bovins	t	2,6	0,80	7,2	1
Lisier bovins dilué	m ³	0,8	0,95	2,4	1
Lisier porcs	m ³	3,8	0,95	2,6	1
Fientes poules pondeuses humides	t	20	0,85	12	1
Compost fumier bovins	t	5	0,70	14	1

> La rentabilité économique

Sur l'essai de St Fort, les marges ont été analysées. Les 8 premières années, les économies d'engrais compensaient les pertes de rendement dans les parcelles sans phosphore. Après, cela n'est plus le cas (voir tableau 6) : les apports de phosphore se révèlent

indispensables pour assurer le rendement (105,7 % de P1K1) et améliorer la marge (+15 euros/ha comparés à P1K1). En potassium, les impasses permettent encore de compenser les pertes de rendement sans affecter la marge.

Tableau 6 : différences de marge par rapport à P1K1 (St Fort – 1997-2013).

Modalités	Apports moyens (unités/ha/an)		Rendement moyen (en % de P1K1)	Différences de marge (€/ha)		
	P ₂ O ₅	K ₂ O		≠ produit	≠ engrais	≠ Marge brute
P0K0	0	0	89,8	- 124	+ 68	- 57
P0K1	0	45	91,4	- 103	+ 45	- 58
P1K1	68	45	100 (réf.)	réf.	réf.	réf.
P2K1	135	45	105,7	+ 59	- 45	+ 15
P1K0	68	0	97,8	- 27	+ 23	-4
P1K1	68	45	100 (réf.)	réf.	réf.	réf.
P1K2	68	90	99,3	- 3	- 23	- 26

Marges calculées en fonction des prix des produits et des engrais de chaque année.



➤ Le choix des engrais minéraux

Il faut connaître le dosage et le prix de l'unité d'élément fertilisant. Cela servira de base dans la comparaison du prix des engrais de même nature.

Les qualités chimiques d'un engrais (voir tableaux 7 et 8) dépendent de la forme chimique de l'élément fertilisant, de sa solubilité ou non dans l'eau, de son association avec d'autres éléments au moment de l'apport et de sa teneur dans l'engrais utilisé.

Tableau 7 : formes de phosphore selon les réactifs

Réactifs	Formes du phosphore
Citrate d'ammonium neutre et eau	Phosphate d'ammoniaque Superphosphate
Citrate d'ammonium alcalin (Peterman)	Phosphate bicalcique
Citrate d'ammonium alcalin (Joulié)	Phosphate alumino-calcique (Phosphal)
Acide citrique	Scories Thomas
Acide formique	Phosphate naturel tendre
Acide fort	Phosphate naturel dur, pur ou en mélange

D'une manière générale, on préférera les formes d'engrais simples solubles dans l'eau (Super 45 en engrais phosphaté et Chlorure de potassium en engrais potassique).

Les engrais solubles dans l'eau et le citrate d'ammonium sont utilisables dans tous les sols. Ceux solubles dans les acides sont à réserver aux sols acides.

Tableau 8 : principaux engrais potassiques

Engrais potassiques	% K ₂ O
Chlorure de potassium	60
Sulfate de potassium	50
Nitrate de potassium	44

Pour les engrais potassiques, toutes les formes ont une efficacité équivalente. Le choix se fera en fonction du prix et de l'élément accompagnateur (chlorure, sulfate ou nitrate).

Les doses élevées sont à privilégier sur la culture la plus exigeante de la rotation.

En sol faiblement pourvu, l'apport doit être réalisé le plus près possible du semis.

Perspectives

Pour établir un plan de fertilisation, de nombreux critères sont à intégrer dans les calculs de doses. Plusieurs outils ont été développés pour faciliter cette tâche. Les Chambres d'agriculture des Pays de la Loire proposent l'outil Mes P@rcelles. Il permet de réaliser un plan de fumure complet N, P et K pour chacune des parcelles de l'exploitation, en fonction de leur potentiel et de leur historique. Il offre aussi d'autres services comme l'enregistrement des pratiques phytosanitaires, la cartographie du parcellaire, etc.

En matière de fertilisation PK, les besoins de recherche sont encore importants. Les méthodes d'analyses pourraient évoluer pour mieux estimer la disponibilité des éléments : d'autres paramètres pourraient être pris en compte comme le dosage du phosphore soluble ou la mesure du pouvoir tampon du sol.

D'autres pistes sont étudiées pour diversifier les sources de phosphore comme la réutilisation des déchets produits par la société (déchets humains, boues d'épuration, cendres d'incinération). L'amélioration des plantes au niveau de leurs racines est aussi une voie à explorer. Les mycorhizes, par exemple, sont des associations symbiotiques contractées par les racines des végétaux avec certains champignons du sol. Elles favorisent l'absorption par les racines des éléments minéraux de la rhizosphère et du sol et améliorent ainsi la nutrition de la plupart des espèces végétales. Elles pourraient être utilisées pour une meilleure valorisation du phosphore disponible dans le sol.





Paroles d'agriculteurs : témoignage de Pierre ALLANEAU, agriculteur ayant reçu les essais en Sarthe, à Nogent le Bernard (1986-2000)



Pierre ALLANEAU s'est installé en 1989 en individuel sur une exploitation où il n'y avait que des cultures (135 ha en blé, maïs, colza et pois de printemps). Il a accepté de poursuivre les essais mis en place par son prédécesseur avec la Chambre d'agriculture parce que le thème l'intéressait. Après 14 années d'expérimentations, il a pu

constater que les impasses en potassium ont fait diminuer les teneurs de la parcelle mais n'ont pas affecté les rendements. Les impasses en phosphore ont aussi entraîné une baisse des teneurs dans le sol mais d'une manière lente. Ce n'est qu'au bout de 8 ans que l'effet phosphore a été observé avec une baisse des rendements sur blé et maïs : la modalité P0 (pas d'engrais) avait un rendement inférieur aux modalités P1 (dose d'engrais proche des exportations de la culture) et P2 (dose d'engrais proche de deux fois des exportations de la culture). A la suite de ces essais, il a estimé qu'il pouvait réduire ses apports d'engrais : il est passé de 25 tonnes en moyenne pour les 135 ha à 10 tonnes. Ces apports sont réalisés de préférence sur les cultures en tête d'assolement.

Depuis 10 ans, Pierre ALLANEAU a un atelier de poules pondeuses et valorise les effluents de cet élevage sur ses terres. Cela lui permet de faire encore des économies d'engrais. Pour apporter au plus juste ce qu'il faut pour maintenir ses sols à un niveau correct et satisfaire les besoins des cultures, il utilise un outil informatique lui permettant d'établir son plan de fumure.

Références bibliographiques

- Agri 72, Vendredi 31 octobre 2008, *Fertilisation P-K : les fumiers et les lisiers suffisent.*
- Arvalis – Institut du végétal, 2011, *Fertilisation P-K. Raisonner pour agir.*
- Chambre d'agriculture de la Mayenne, Octobre 2013, *L'essai PK de St Fort (1997-2013). Raisonner la fertilisation PK.*
- Chambre d'agriculture de la Sarthe, Juillet-Août 1998, *Fertilisation PK : 19 années d'expérimentations à Tennie, La lettre du développement N° 103.*
- Chambres d'agriculture de Bretagne, Mars 2013, *Le phosphore. Comprendre, maîtriser, valoriser.*
- Chambres d'agriculture des Pays de la Loire, 1991, *Fertilisation PK en Pays de la Loire : des économies possibles.*
- Cultivar, Septembre 2007, *Phosphore et potassium.*
- La lettre de l'Unifa, Juillet 2002, *Le phosphore : élément fondamental de la vie, N° 7.*
- La lettre de l'Unifa, Novembre 2003, *Le potassium : l'élément qualité et sécurité des récoltes, N° 10.*

Coordination du dossier : Hervé FRANÇOIS

Rédaction : Laetitia TEMEN

Contributeurs : Marc CHEREAU, Fabien GUERIN, Christophe LE GALL, Florence LEON et les agronomes des Chambres d'agriculture des Pays de la Loire.