

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), Philippe Eveillard (UNIFA)

I) Contexte et Objectifs :

La profession agricole a été tentée ces dernières années de réduire fortement la fertilisation de fond dans un souci d'optimisation du résultat économique sur le court terme en diminuant les charges.

Or, la décapitalisation en phosphore et en potassium constatée dans certains sols français engendre aujourd'hui des baisses de rendements, souvent insoupçonnées.

Aussi, dans le contexte réglementaire actuel où l'utilisation des engrais azotés et les produits phytosanitaires doit être vu à la baisse, l'état de fertilité des sols est un levier central pour le maintien d'un revenu agricole durable.

Pour mettre en évidence la rentabilité d'un apport raisonné d'engrais phosphaté et potassique, un réseau d'essais longue durée a été mis en place à l'initiative de l'UNIFA et d'InVivoAgrosolutions en 2010.

II) Matériel et Méthode :

Un réseau de 17 essais pluriannuels en système de grandes cultures a permis d'évaluer le gain de rendement que permet des apports en phosphore et potassium suivant les principes de la méthode COMIFER par rapport à l'absence prolongée d'apports dans des sols à teneur initialement plutôt faible en phosphore assimilable et moyenne en potassium échangeable.

a. Localisation des essais

Les coopératives contributrices sont les suivantes : Arterris, Axereal, Cavac, Dijon Céréales, Terrena, Vivescia auxquelles s'ajoute la SADEF. Les sites d'expérimentation sont détaillés dans la tableau 1 ci-dessous.

Tableau 1 : Liste des sites d'expérimentations

Lieux essais et types de sols	Expérimentateurs	Nb d'années depuis la mise en place de l'essai
Seuil (08) - Craie	Vivescia	4
Lucenay-Le-Duc (21) – Argilo calcaire superficiel	Dijon Céréales	7
Bligny-Le-Sec (21) - Argilo Calcaire profond	Dijon Céréales	10
Is-Sur-Tille (21) - Limon Argileux	Dijon Céréales	8 (arrêté en 2013)
Cessey-Sur-Tille (21) - Argile	Dijon Céréales	2006 à 2009 (arrêté en 2009)
Liesle sur le Doubs (21) – Argilo-Limoneux	Dijon Céréales	6 (non récolté en 2012)
Cornusse (18) - Argilo Limoneux	Axereal	2010 et 2011 (arrêté en 2012)
Groises (18) - Argilo Calcaire profond	Axereal	5
Colombé Le Sec (10) - Argilo Calcaire	Vivescia	2009 à 2012 (arrêté en 2012)

Maizière La Gde P. (10) - Craie	Vivescia	5 (arrêté en 2013)
Plessis St Jean (89) - Limon	Vivescia	2009 à 2012 (arrêté en 2012)
Eclance (10) - Limon	Vivescia	5 (arrêté en 2013)
Aspach Le Bas (68) - Limon	SADEF	4
Les Trois Moutiers (86) - Aubue	Terrena	14
St Félix Du Lauragais (31) - Argile	Arterris	2011 et 2012 (arrêté en 2012)
St Aubin La Plaine (85) – Limon Argileux	Cavac	4 (arrêté en 2013)
Montesquieu Lauragais (31) - Argile	Arterris	2



Les sites d'expérimentation sont localisés sur la carte suivante (Figure 1). Beaucoup sont situés sur les sols argilo-calcaires avec une teneur faible en phosphore en début d'essai.

Figure 1 : Localisation des sites d'expérimentation

b. Etat de fertilité initial des essais

L'état de fertilité initial des sites d'expérimentations est globalement déficitaire comme l'indique la Figure 2 ci-dessous. Les teneurs initiales en phosphore échangeables sont faibles à très faibles alors que les teneurs en potassium échangeable sont plutôt correctes.



Figure 2 : Etat de Fertilité initial des sites d'expérimentation

c. Protocoles testés

Les protocoles testés présentent des variantes mais possèdent aussi des traitements communs. En effet chacune des coopératives ne cherche pas forcément à répondre à la même question. Les modalités testées sont listées dans la Tableau 2 ci-dessous.

Les doses de phosphore et de potassium appliquées sont définies via différents outils qui suivent tous le raisonnement COMIFER¹ : méthode COMIFER, REGIFERT ou EPICLES.

Tableau 2 : Liste des modalités testées

Modalités testées	Dose P2O5	Dose K2O
Témoin	0	0
P seul	Dose X	0
K seul	0	Dose X
P + K	Dose X	Dose X
P + K réduit	Dose X – 50	Dose X - 50
P + K renforcé	Dose X + 50 ou 2X ou 3X	Dose X + 50 ou 2X ou 3X

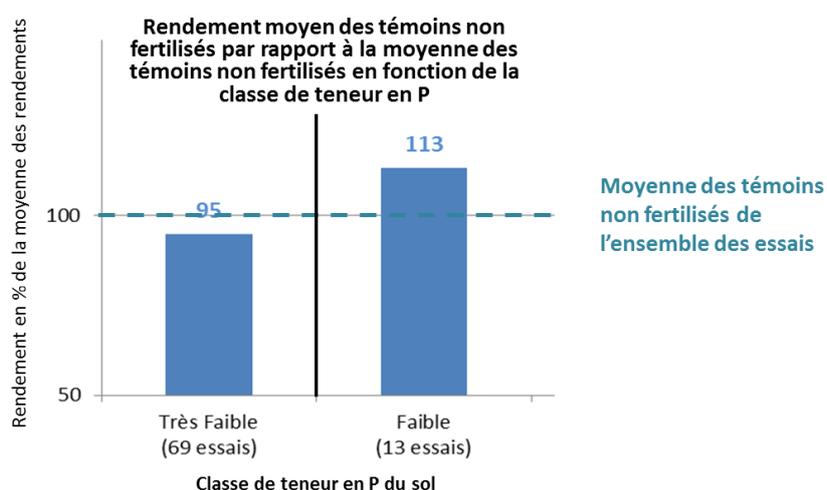
d. Analyses de terre

Des analyses de terre sont régulièrement faites sur chacune des micro-parcelles. Elles sont en moyenne faites tous les 3 ans ce qui permet de suivre l'évolution de l'état de fertilité de chacune des micro-parcelles.

Les interprétations des teneurs en phosphore et en potassium et les calculs d'apport à la dose X sont produits par les laboratoires travaillant en étroite collaboration avec chacune des coopératives.

III) Résultats

a. Etat de fertilité de la parcelle et potentiels de rendement



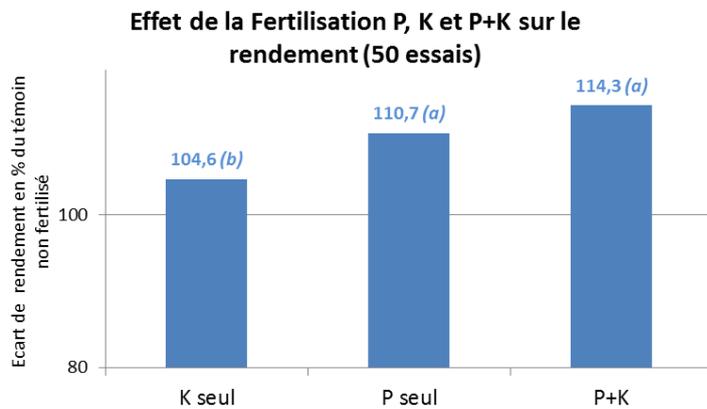
La moyenne des témoins non fertilisés a été calculée par culture. Cette moyenne a ensuite été comparée à la moyenne calculée pour chacune des classes d'état de fertilité des sols en phosphore.

On note que les rendements moyens des parcelles présentes sur des sols à teneur faible en phosphore sont supérieurs aux rendements moyens des parcelles localisées sur des sols très déficitaires en phosphore.

¹ COMIFER 1995 Aide au diagnostic et à la prescription de la fertilisation phosphatée et potassique

Le potentiel de rendement d'une parcelle semble en partie lié à son état de fertilité en phosphore. L'état de fertilité des parcelles en phosphore pourrait constituer un facteur limitant du rendement.

b. Effet de la fertilisation phospho-potassique sur les cultures en fonction du type d'apport



Un apport de phosphore et de potassium fait mieux qu'un apport de potassium seul (statistiquement significatif) ou de phosphore seul (non significatif). Comme les situations sont majoritairement déficitaires en phosphore, il est logique que l'effet phosphore soit significatif.

c. Effet de la fertilisation phospho-potassique sur les cultures en fonction de l'état de fertilité du sol

En fonction de l'état de fertilité des micro-parcelles en phosphore et en potasse des classes ont été créées comme indiqué dans la figure 3.

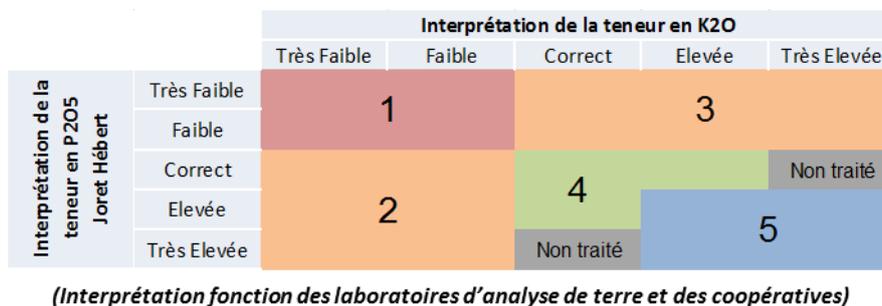


Figure 3 : Réalisation de classes d'état de fertilité en phosphore et en potassium

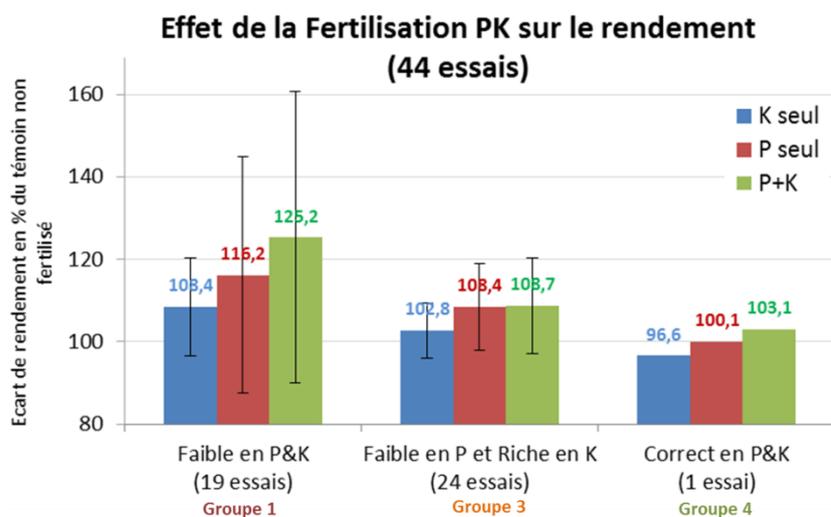
Les classes sont les suivantes :

- La classe 1 correspond à des teneurs en phosphore et en potassium faible et très faible.
- La classe 4 correspond à des teneurs en correcte et élevée en phosphore et en potassium.
- La classe 5 correspond aux teneurs en phosphore et en potassium élevées et très élevées.
- Les classes 2 et 3 sont des classes intermédiaires qui comprennent un des deux éléments (phosphore ou potassium) limitant. La classe 2 présente des teneurs en potassium faibles mais des teneurs en phosphore élevées alors que la classe 3 présente des teneurs en potassium riches mais des teneurs en phosphore faibles.

Les gains de rendement apportés par des apports d'engrais phosphatés et ou potassiques ont ensuite été observés en fonction de ces classes. Les sites expérimentaux sont positionnés sur des situations représentant uniquement les groupes 1, 3 et 4.

En classant les situations de la même façon que précédemment, on regarde les effets des différents types d'apports.

Sur les sols déficitaires en phosphore et en potassium, on note une réponse à l'apport de

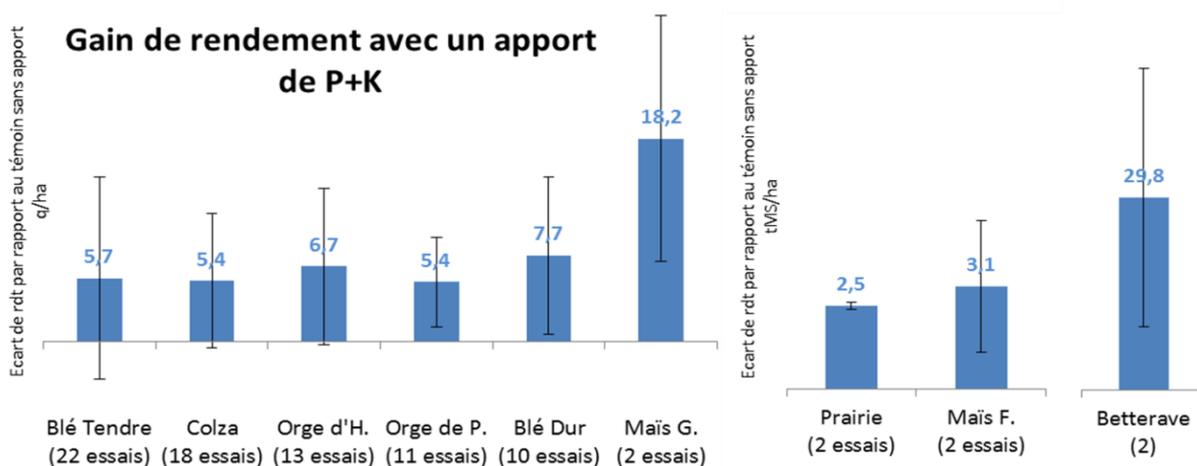


phosphore seul, une réponse à l'apport de potassium seul et une réponse à l'apport couplé de phosphore et de potassium. Dans cette situation, on note que la réponse à l'apport couplé de phosphore et potassium est équivalente à la réponse de l'apport de phosphore seul cumulée avec la réponse de l'apport de potasse seul (8,4 + 16,2 = 24,6 comparé à 25,2).

Dans les sols déficitaires en phosphore et bien pourvus en potassium, on note une réponse à l'apport de phosphore seul équivalente à l'apport de phosphore et potassium. Cependant, un apport de potassium seul n'a pas d'effet sur le rendement. Cela peut s'expliquer par le fait que le sol soit déjà correctement pourvu en potasse.

Dans les sols correctement pourvus en phosphore et en potassium, on note qu'il n'y a pas d'effet de l'apport de phosphore seul ni de l'apport de potassium seul mais un effet de l'apport couplé de phosphore et de potassium.

d. Effet de la fertilisation phospho-potassique sur le rendement des cultures

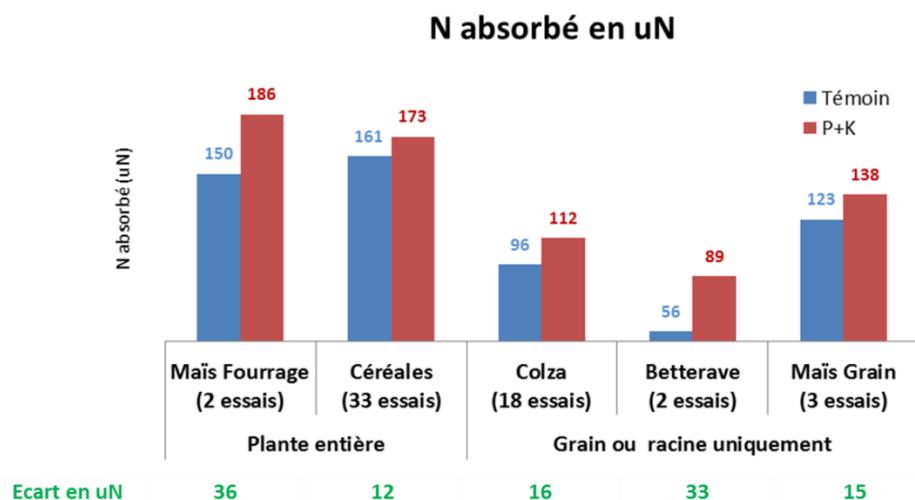


Les gains de rendements moyens par rapport au témoin sans apport ont été calculés. Pour toutes les cultures, les écarts sont différents statistiquement selon le test de de Mann-Whitney.

Les barres noires représentent les écarts types.

On note que les gains de rendements avec des apports phospho-potassiques sont plus élevés pour les cultures les plus exigeantes en phosphore et en potassium. La hausse de rendement n'est pas accompagnée d'une baisse de la teneur en protéine.

e. Effet de la fertilisation phospho-potassique sur l'azote absorbé par les cultures



Le tableau de référence 2013 COMIFER « Teneur en azote des organes végétaux » a été utilisé pour évaluer la quantité d'azote absorbé par les végétaux. Ainsi le calcul est le suivant pour chacune des cultures.

Pour les céréales et le maïs fourrage, ce sont les quantités d'azote de la plante entière qui ont été calculées. Pour le colza, la betterave et le maïs grain, il s'agit uniquement de l'azote des organes récoltés.

Plante entière :

- Céréales : $(\text{Rendement} * \text{taux de protéine mesuré}) / 5,7 * 0,85 + 0,567 * \text{Rendement}$
- Maïs Fourrage : $\text{Rendement} * 11,5$

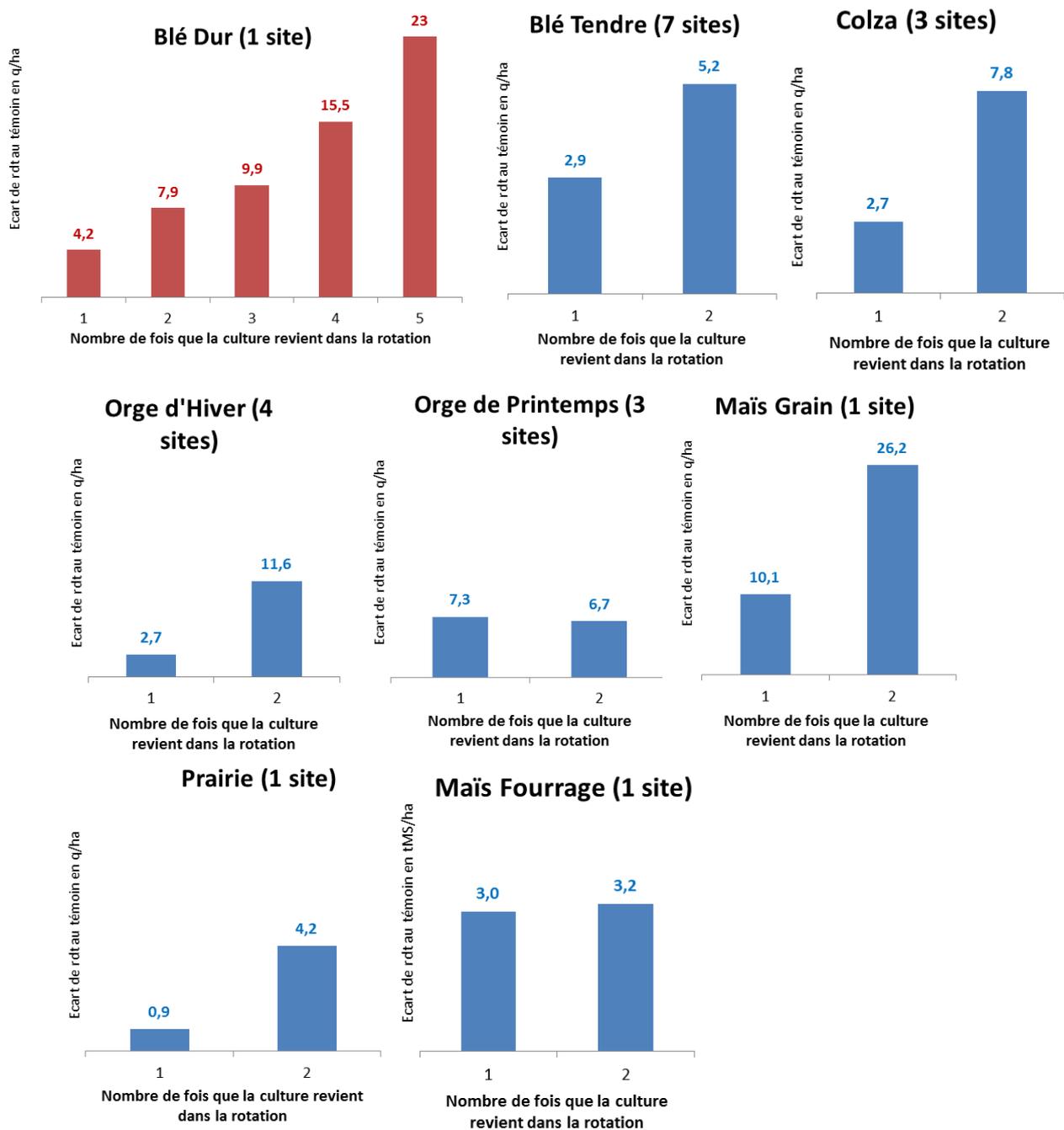
Organes végétaux récoltés :

- Colza : $\text{Rendement} * 2,9$
- Betterave : $\text{Rendement} * 1,1$
- Maïs Grain : $\text{Rendement} * 1,2$

L'écart d'azote absorbé varie de 12 à 36 unités d'azote pour la plante entière et de 15 à 33 unités d'azote pour les organes récoltés. Ainsi, pour un même apport d'azote, le gain de rendement moyen obtenu avec un apport de phosphore et de potassium augmente la quantité d'azote absorbé par les plantes.

f. Effet de la fertilisation phospho-potassique sur le long terme

En fonction du nombre de fois que la culture revient dans la rotation, les écarts de rendements moyens par rapport au témoin ont été calculés.



Les évolutions moyennes des écarts de rendement sont présentées ci-dessus par culture. Les écarts sont statistiquement significatifs sur Blé tendre, Blé dur, Orge d'hiver, Orge de printemps et Colza. On note que l'écart de rendement par rapport au témoin sur les parcelles avec apports de phosphore et de potassium augmente au cours du temps. On peut supposer que l'état de fertilité s'améliore dans le traitement recevant l'apport de phosphore et potassium tandis qu'il continue de se dégrader dans le témoin.

g. Identification des situations dans lesquelles la fertilisation est la mieux valorisée

Une analyse des correspondances multiples (ACM) a été réalisée ainsi qu'une analyse de partition pour identifier et hiérarchiser les facteurs expliquant les effets suite à l'apport de phosphore et de potassium.

Les écarts de rendement ont donc été étudiés en fonction des facteurs suivants :

- Le type d'apport (phosphore seul, potassium seul ou phosphore et potassium en combiné)
- L'année par rapport au début de l'essai
- La culture (classement selon exigence phosphore et en potasse selon les règles du COMIFER)
- Le type de Sol. Des regroupements ont été effectués de la façon suivante :
 - o Les sols calcaires : argilo-calcaire superficiel, argilo-calcaire moyen, argilo-calcaire profonds, calcaire limoneux et craie
 - o Les sols limoneux : argile et argilo-limoneux
 - o Les sols argileux : limon et limon-argileux
- La région de la France (voir la figure 4)
- Le contexte climatique de l'année correspondant à une note de caractérisation établie en fonction de l'écart à la moyenne de la pluviométrie et de la température (voir la figure 5). Cette note peut refléter la capacité des sols à minéraliser et des cultures à pousser. La note de 1 correspond au contexte climatique le plus favorable pour le développement végétatif des cultures et le fonctionnement biologique des sols. La note de 0 est la moins favorable alors que la note de 0,5 est intermédiaire.
- La teneur en phosphore et en potasse du sol, résultats de l'analyse de terre la plus récemment faite
- Le pouvoir fixateur en phosphore et en potasse du sol
- Le pH et la teneur en matière organique du sol
- La dose d'apport en phosphore et/ou potasse



Figure 4 : Grande région climatiques définies pour l'ACM

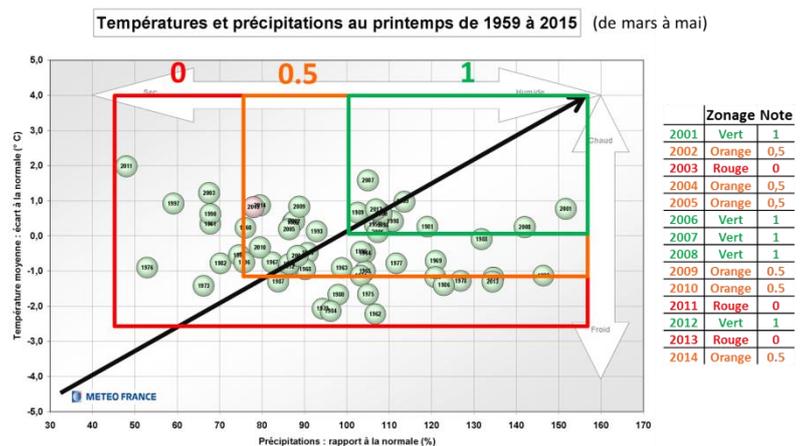


Figure 5 : Caractérisation du contexte climatique de l'année

Les résultats de l'ACM effectuée sur 143 observations permettent de distinguer deux groupes homogènes qui sont les suivants :

Le Groupe 1
est constitué des parcelles qui ont

→ Des rendement inférieurs ou équivalents au témoin

- Des apports de P seul ou K seul
- Sur des parcelles à pouvoirs fixateurs faibles à moyens
- Avec des cultures faiblement exigeantes en P et/ou K
- Sur des sols limoneux
- Avec des conditions de minéralisation de l'année faibles
- Sur des essais récents (< 3ans)

Le Groupe 2
est constitué des parcelles qui ont

→ Des rendement supérieurs au témoin

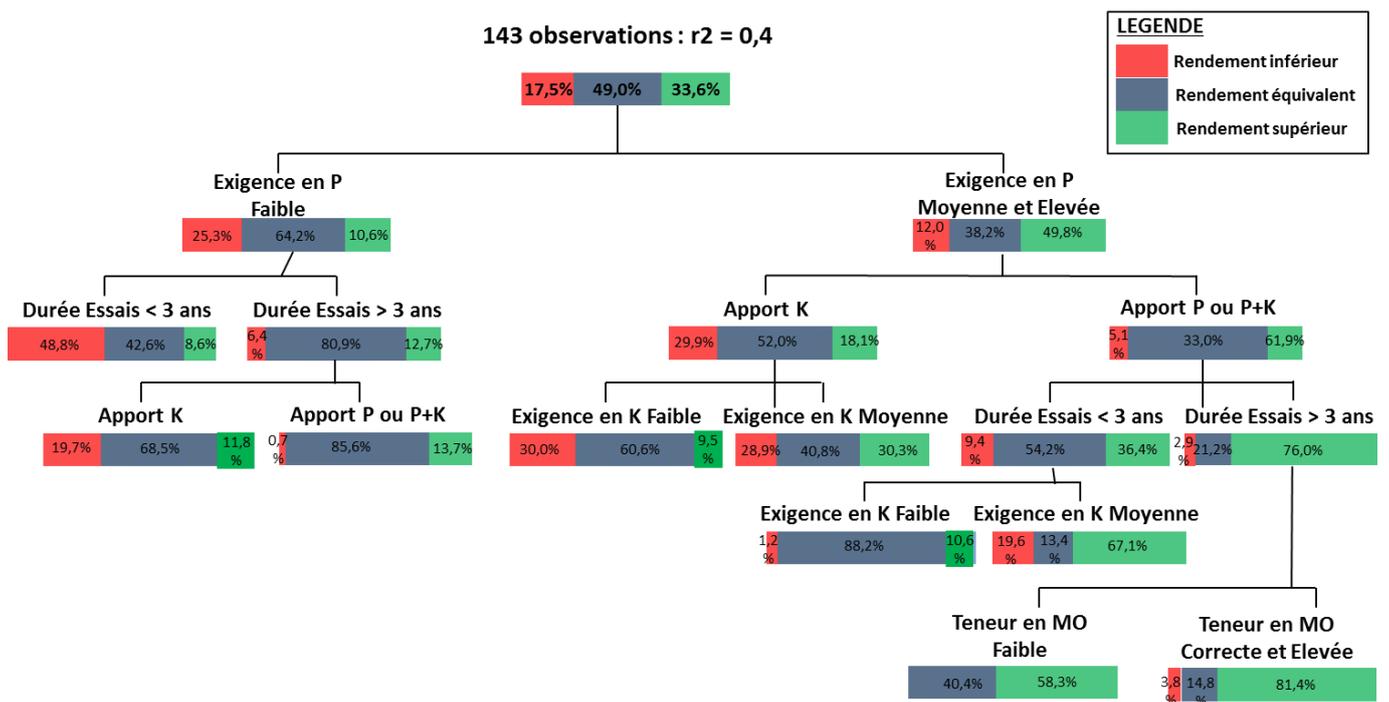
- Des apports de P+K en combiné
- Sur des parcelles à pouvoirs fixateurs élevés
- Avec des cultures moyennes à fortement exigeantes en P et/ou K
- Dans la région Centre et Centre Ouest
- Avec des conditions de minéralisation de l'année moyennes et élevées
- Sur des essais anciens (de 3 à 7 ans)

On constate que les apports phospho-potassiques sont mieux valorisés dans les sols à forts pouvoirs fixateurs, sur des cultures exigeantes et les années favorables à la minéralisation des sols. On notera que le pH ne ressort pas de l'analyse alors qu'on attendait à ce qu'il y ait un effet. Les essais les plus anciens sont aussi ceux qui permettent le plus de mettre en évidence les effets d'un apport.

Afin de hiérarchiser ces facteurs, un arbre de partition a été réalisé.

Les différentes classes de rendements ont été effectuées en utilisant un seuil de 3% d'écart :

- Rendement inférieur → Rendement de la parcelle fertilisée < Rendement de la parcelle du témoin sans apport – 3%
- Rendement équivalent → Rendement de la parcelle du témoin sans apport – 3% ≤ Rendement de la parcelle fertilisée ≤ Rendement de la parcelle du témoin sans apport + 3%
- Rendement supérieur → Rendement de la parcelle fertilisée > Rendement de la parcelle du témoin sans apport + 3%



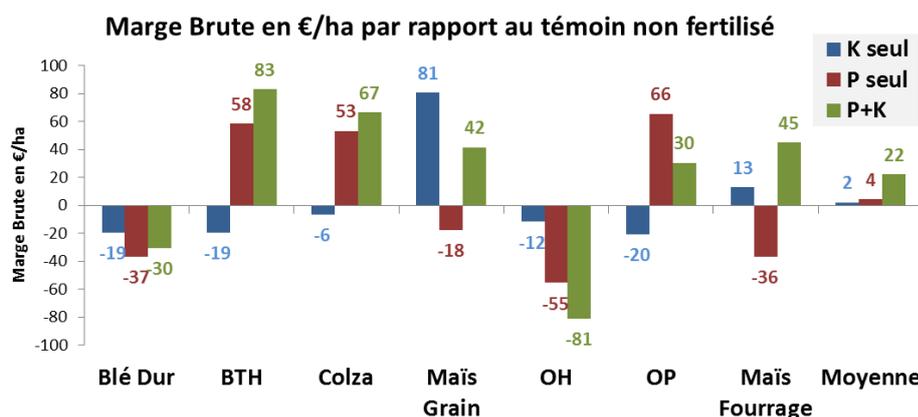
Ainsi, dans les conditions de ces essais un apport de phosphore et/ou potassium est mieux valorisé lorsque (les facteurs sont hiérarchisés par importance) :

- la culture est exigeante
- l'apport est composé de phosphore seul ou combiné à du potassium
- l'essai est ancien
- la teneur en matière organique est correcte à élevée

Ces deux analyses complémentaires revalident donc certaines bases du raisonnement COMIFER. La teneur en matière organique est un facteur qui ne ressort pas habituellement. Une teneur en matière faible réduit en effet la fréquence d'apparition des gains de rendement par rapport au témoin. Elle apparait alors comme un facteur limitant ou révèle un état de fertilité du sol médiocre ?

IV) Conclusions et Perspectives

Une analyse économique a été effectuée à partir des prix actuels des cultures et du coût moyen des engrais phosphatés et potassiques indiqués en Figure 6.



PRIX de la FUMURE et des CULTURES	
Prix du P (€/uP)	0,95
Prix du K (€/uK)	0,6
Prix Blé Dur (€/q)	31
Prix Blé Tendre (€/q)	16,5
Prix Orge d'Hiver (€/q)	15,8
Prix Orge de Printemps (€/q)	19
Prix Colza (€/q)	38
Prix Maïs Grain (€/q)	15
Prix Maïs Fourrage (€/tMS)	100
Coût d'un passage supplémentaire (€/ha)	10

Figure 6 : Hypothèses de prix

On note que les apports ne sont pas valorisés économiquement sur toutes les cultures mais en moyenne, qu'ils soient potassiques uniquement, phosphatés uniquement ou combinant phosphore et potassium, les apports sont rentabilisés. Pour le potassium seul, on est à l'équilibre : 2 €/ha ; pour du phosphore seul, on note un gain économique moyen de 4 €/ha ; et pour l'apport combiné de phosphore et de potassium, le gain est de 22 €/ha/an sur la succession de cultures.

L'analyse de ce réseau d'essais pluriannuel revalide ainsi certaines bases du raisonnement COMIFER comme le classement d'exigence des cultures pour le phosphore et conclut sur l'intérêt de la fertilisation phospho-potassique sur le court terme pour le revenu de l'agriculteur et sur le long terme pour le maintien de l'état de fertilité du sol et son aptitude à continuer de produire dans le cadre d'une agriculture durable.