

La teneur en minéraux des récoltes est un facteur déterminant du bilan en phosphore à la parcelle, à égalité avec le rendement. La teneur en P des grains varie suivant l'offre P du sol (Colomb *et al.*, 2007, Denoroy *et al.*, 2015), quoique cette dernière variable n'explique qu'une partie de la variabilité rencontrée.

On cite souvent une diminution de la teneur minérale des grains quand leur biomasse - donc le rendement - augmente (Rose & Wissuwa, 2012), et elle est attribuée à une dilution des minéraux dans les composés carbonés.

*Cette dilution du phosphore existe-telle sous une large gamme d'offre en P du sol qui conduirait à même offre P du sol, à une diminution de la teneur en P des grains quand le rendement augmente ? Pour le calcul de l'exportation de P, cette diminution de teneur des récoltes compense-t-elle l'augmentation du rendement ?*

## Matériel & méthode

Pour isoler - à côté de la disponibilité en P du sol - le facteur rendement des autres facteurs souvent cités comme participant à la définition de la teneur minérale de récoltes (conditions expérimentales, espèce et variété), on a considéré des couples d'années d'essais où dans un site, la même variété d'une même espèce a donné des rendements les plus contrastés possibles lors d'années climatiques différentes. On fait ainsi l'hypothèse que - hormis la nutrition P - seul le potentiel de photosynthèse a été discriminant pour définir la fixation de C et donc le rendement (autres facteurs nutritionnels ou sanitaires non limitants ni discriminants).

Pour sélectionner ces essais on considère le rendement potentiel annuel évalué par la moyenne des rendements des parcelles à nutrition P non limitante et on traite ici les années à rendements potentiels extrêmes.

La comparaison des essais pour la relation entre teneur P des grains et teneur P<sub>Olsen</sub> du sol est faite en utilisant le modèle de Mitscherlich (Denoroy *et al.*, 2015) :

$$P_{\text{grain}} = \text{asymptote} * (1 - \exp(-(P_{\text{Olsen}} - a)/b))$$

Les ajustements sont réalisés en utilisant la fonction nls du logiciel R.

Les sites d'essais et couples de cultures traités sont décrits dans les tableaux 1 et 2 (où on a reporté le niveau de signification des différences de rendements potentiels dans chaque couple de cultures). Les données traitées sont relatives à chaque parcelle individuelle. : rendement (qx/ha aux normes), teneur en P des grains notée P<sub>grain</sub> (g P / kg MS), analyse P<sub>Olsen</sub> (mg P/kg terre).

On teste dans chaque couple (années) de cultures la significativité :

- de la différence de teneur P des grains, pour le traitement le plus fertilisé.
- de la différence de paramétrage du modèle de Mitscherlich, qui indiquerait des réponses différentes de la teneur P des grains.

## Résultats et discussion :

On constate (tableau 3, première colonne) que les paramétrages sont souvent significativement différents dans un couple d'essais, ce qui indique bien des rôles conjoints de l'offre du sol et des conditions climatiques annuelles (↔ rendement potentiel) sur la détermination de la teneur en P des grains. Ceci apparaît aussi dans la figure 1 qui est un exemple des différences entre essais comparés, pour les données et les modèles ajustés.

Des 3 paramètres du modèle de Mitscherlich, seul l'« asymptote » est d'interprétation aisée : sa valeur indique la valeur maximale de teneur en P des grains sous forte disponibilité en P. Dans ces conditions où la disponibilité du P ne limite pas le rendement, il n'y a pas d'interférence avec la réponse du rendement à la carence en P dans l'expression de la différence de teneur des grains entre année.

Ainsi, (tableau 3 colonne 2), la teneur en P de grains diminue par dilution dans la biomasse quand le rendement augmente pour le blé tendre, le blé dur ou l'orge. Mais pour le maïs, les différences sont non significatives, voire inverses à l'attente (problème de remobilisation du phosphore dans les cultures de faible rendement ?). Ce constat est cohérent avec les valeurs estimées de l'asymptote qui sont très proches (cf. l'erreur-type) dans le cas du maïs. Pour le maïs, les différences de paramétrages du modèle entre essais (cf. tableau 3 colonne 1) s'exprimeraient davantage dans les autres paramètres du modèle.

La confrontation figure 2, pour les situations à nutrition P élevée (P3), du rapport des rendements au rapport inverse des teneurs des récoltes montre une moindre variabilité des teneurs P des grains que dans le cas d'une stricte dilution du P, ce qui laisse penser que d'autres mécanismes conditionnent la teneur des grains et tempèrent la simple dilution.

## Conclusion :

*Pour le blé tendre, le blé dur et l'orge, la teneur en P des grains dépend clairement du rendement en sus de dépendre de l'offre en P du sol, et la dilution du P dans la biomasse s'exprime nettement, sans toutefois rendre compte de toute la variation de teneur. Pour le maïs, la teneur en P des grains dépend de l'offre en P du sol mais moins nettement du rendement.*

*Un modèle de prévision de la teneur en P des récoltes devra prendre en compte ces deux variables d'effets antagonistes : niveau d'offre en P du sol et rendement et rendre compte d'une variabilité observée sur tous les paramètres du modèle de Mitscherlich.*

*Ces résultats acquis dans un nombre limité de sites doivent encore être validés dans davantage de situations*

## Références bibliographiques :

- Colomb B, Debaeke P, Jouany C, Nolot JM., 2007, Phosphorus management in low input stockless cropping systems: Crop and soil responses to contrasting P regimes in a 36-year experiment in southern France. Eur J Agron 26:154-165. doi: 10.1016/j.eja.2006.09.004
- Denoroy P, Montagnier C., Gavaland A., 2015 La teneur en phosphore des grains dépend fortement de l'offre en phosphate du sol ; Comment formaliser cette relation ? COMIFER-GEMAS, 12èmes rencontres de la fertilisation raisonnée et de l'analyse - COMIFER- GEMAS Lyon 18 et 19 novembre 2015
- Rose T.J. & Wissuwa M., 2012, Rethinking internal phosphorus utilization efficiency : a new approach is needed to improve PUE in grain crops. Advances in Agronomy, 116, 185-268

Tableau 1: Les sites expérimentaux

Site	Latitude & longitude	Type de sol	Gamme P Olsen (mg P/kg)	Nombre de traitements P	Nombre de répétitions
Grignon-Folleville (78)	N 48° 50' 30" ; E 1° 56' 12"	luvisol	4 à 87	5	4
Cestas Pierroton (33)	N 44° 44' 30" ; O 0° 46' 59"	sable (podzol)	2 à 66	5	4
Carcarès Ste Croix (40)	N 43° 51' 54" ; O 0° 43' 45"	sable	20 à 69	3	4

Tableau 2: Les couples de cultures étudiés

Signification des codes (probabilités) : 0 \*\*\*\* 0,001 \*\*\* 0,01 \*\* 0,05 \* NS

Espèces & variété	Site	Rendement minimum		Rendement maximum		Rapport Rdt potentiel Maximum / minimum	
		Année	Rendement potentiel (qx aux normes)	Année	Rendement potentiel (qx aux normes)		
Blé tendre Isengrain	5	2014	73.1	6	2011	95.9	1.31 ***
		7	2010	50.2	6	2009	74.1
Blé dur Pescadou	7	2013	53.9	7	2011	92	1.71 ***
Orge hiver Cervoise	2	2009	82.2	4	2010	104.1	1.27 **
Maïs Troubadour	2	2014	105.7	4	2014	124.2	1.18 *

Autres sites maïs

Site maïs et variété	Rendement minimum		Rendement maximum		Rapport Rdt potentiel Maximum / minimum
	Année	Rendement potentiel (qx aux normes)	Année	Rendement potentiel (qx aux normes)	
Carcarès Volga	1997	122	1995	140	1.15 ***
Carcarès Cecilia	1999	128	2003	158	1.23 ***
Pierroton Cecilia	2002	123	2005	144	1.17 ***
Pierroton DKC5783	2008	132	2009	151	1.14 *
Pierroton DKC5783	2014	101 (sous-irrigué)	2009	151	1.5 ***

Tableau 3: Différences entre paramétrages du modèle et entre teneur P maxima

Signification des codes (probabilités) : 0 \*\*\*\* 0,001 \*\*\* 0,01 \*\* 0,05 \* NS

Site, Espèces & variété	différence des paramétrages du modèle entre essais	signification de delta % P grain entre années pour traitement P maxi	Asymptote du modèle Mitscherlich			
			cas rendement min.		cas rendement max.	
			estimée	erreur type	estimée	erreur type
Folleville Blé tendre Isengrain	***	**	3.292	0.046	2.575	0.062
Folleville Blé dur Pescadou	***	***	4.323	0.060	3.462	0.068
Folleville Orge hiver Cervoise	**	**	4.317	0.136	3.793	0.086
Folleville Maïs Troubadour	**	NS (< 5 %)	2.569	0.059	2.435	0.141
Folleville Maïs Koherens	***	NS (< 5 %)	2.430	0.033	2.372	0.061
Carcarès Maïs Volga	NS	NS (< 5 %)	4.571	4.827	3.168	0.127
Carcarès Maïs Cecilia	*	*(tendance inverse)	3.436	0.396	3.044	0.289
Pierroton Maïs Cecilia	*	NS (< 5 %)	2.495	0.160	2.423	0.199
Pierroton Maïs DKC5783	NS	*(tendance inverse)	2.722	0.169	3.110	0.343
Pierroton Maïs DKC5783 "sec"	NS	NS (< 5 %)	3.103	0.239	3.110	0.343

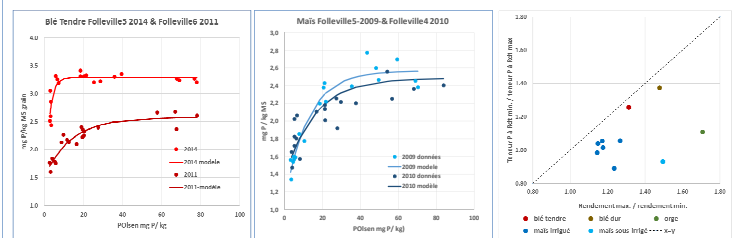


Figure 1 : exemple de réponses et ajustement des modèles

Figure 2 : variation de teneur moindre que la variation de rendement pour les traitements les plus fertilisés