



**HAL**  
open science

## Rapport final scientifique et technique du projet SAFARI

Antoine Marin, Véronique Chable

► **To cite this version:**

Antoine Marin, Véronique Chable. Rapport final scientifique et technique du projet SAFARI: Agro-diversités génétique et spécifique pour la Santé des plantes, la Fertilité des sols, l'Adaptation et la Résilience des systèmes de culture. [Contrat] INRAE. 2018. hal-02936012

**HAL Id: hal-02936012**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02936012>**

Submitted on 10 Sep 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Public Domain

# RAPPORT FINAL SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

## SAFARI

Agro-diversités génétique et spécifique  
pour la **S**anté des plantes, la **F**ertilité des  
sols, l'**A**daptation et la **R**ésilience des  
systèmes de culture

## SYNTHÈSE SP2

### *Performances agronomiques et santé des cultures en lien avec différents niveaux de biodiversité*

**Nom du responsable de SP2 : Véronique Chable (INRA)**

**Liste des partenaires du SP2 : INRA UMR BAGAP et la ferme de Thorigné d'Anjou**

#### *Rappel succinct des objectifs du SP2*

Notre objectif est de quantifier les apports de la diversité pour une agriculture réduisant ses intrants tout en visant le maintien de productivité et des plantes en bonne santé.

À partir d'une expérimentation impliquant en parallèle des variétés lignées modernes (1 seul génotype constituant la variété), un mélange de 3 variétés modernes (3 génotypes dans le peuplement), des variétés de pays (n génotypes) et une population dynamique avec 3 populations (3 x n génotypes), nous cherchons à mesurer l'intérêt de la diversité en condition « zéro intrant » et de répondre aux questions suivantes :

- Quel est l'impact du niveau de diversité génétique sur l'expression des phénomènes de complémentarité et synergie pour améliorer l'adaptation à un environnement fluctuant et la stabilité des performances ?
- Comment les complémentarités évoluent-elles lorsqu'on resème le mélange d'une année sur l'autre ?
- Est-il possible d'optimiser le gain assuré par le mélange et d'affiner l'adaptation du couvert végétal issu de resemis successifs ?
- Quel est l'impact de l'association d'espèces (blé/légumineuse) par rapport à une culture mono-spécifique de blé et en fonction du niveau de diversité génétique du blé ?

Le SP2 bénéficie de deux formes d'expérimentation du dispositif expérimental : (1) sur la Ferme expérimentale de Thorigné d'Anjou et (2) un dispositif expérimental mis en place chez des agriculteurs dans des conditions réelles de la ferme avec leurs environnements contrastés et pendant trois années successives.

#### *Mise en œuvre des essais par les partenaires du SP*

**TODO Thorigné**

Les expérimentations à la ferme ont été menées selon les objectifs fixés. Nous visions 3 expérimentations réussies sur 3 années consécutives sur au moins 3 fermes sur 4 prévues au départ. Nous avons gardé l'intégralité des 4 fermes pour les lignées modernes, et 3 fermes pour les variétés populations (une ferme ayant quitté l'expérimentation). Les semis se sont déroulés dans de bonnes conditions pour la dernière année pour tous les sites restant.

REMARQUES GÉNÉRALES SUR LE DÉROULEMENT DU SP2
---

Les objectifs du projet sur les trois premières années ont-ils été atteints ?

Les essais sur le réseau de ferme ont été menés comme prévu. Un seul site a été perdu mais ce risque avait été géré dès le départ avec le choix de 4 fermes par groupe de variétés pour viser 3 jeux de données complets.

Quelles ont été les modifications par rapport à ce qui était initialement prévu ?

La première année du projet menée dans le SP1 a cadré le protocole, donc quelques modifications ont été apportées pour améliorer la précision du dispositif (essai à 3 répétitions au lieu de 2). Le dispositif de la troisième année a été aussi allégé (les semences initiales ne sont que sur 2 sites) pour l'adapter aux moyens disponibles. Les surfaces demandées aux agriculteurs était trop grande et le temps de Simon Rousselot (Assistant-ingénieur en charge du dispositif) pas suffisant pour le suivi de l'ensemble (d'autant plus que le dispositif est passé à 3 répétitions).

Quelle a été la diffusion de ces résultats ?

- *auprès des agriculteurs/éleveurs de l'Ouest ? (liste des productions)*

Une réunion en salle et une réunion de terrain ont été organisées avec les agriculteurs expérimentateurs presque chaque année.

- *vers la recherche/expérimentation ? (liste des productions)*

Deux articles sont prévu : un data-paper sur l'ensemble des données en collaboration avec le LEVA et un article de fond sur les résultats de l'expérimentation en fermes.

- *vers les acteurs économiques ? (liste des productions)*

Rapport final.

## SP2.1 – ACTIVITÉS DE LA FERME EXPÉRIMENTALE DE THORIGNÉ

Nom du responsable de cette partie du projet : Jean-Paul COUTARD

Coordonnées : Ferme expérimentale de Thorigné d'Anjou  
« La garenne de la Cheminée » - 49220 - Thorigné d'Anjou

TODO Thorigné

EXÉCUTION TECHNIQUE DU PROJET

RÉSULTATS

INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

PERSPECTIVES

## SP2.2 – EXÉCUTION TECHNIQUE DU PROJET POUR LE RÉSEAU DE FERMES

**Nom du responsable de cette partie du projet : Véronique Chable et Antoine Marin.**  
**Coordonnées : INRA UMR BAGAP, 65 rue de Saint-Brieuc, 35042 Rennes.**

### Contexte environnemental du réseau de ferme

Il est attendu que l'analyse des observations sur les plantes en culture soit faite en fonction des données concernant les environnements dans lesquels les variétés ont été cultivées. Les critères suivants sont présentés :

- Caractéristiques physiques et chimiques des sols ;
- Caractéristiques biologiques des sols ;
- Pratiques des agriculteurs ;
- Climats.

### Abréviations / acronymes / symboles

AD : André Despinasse (chef de cultures, lycée agricole du Rheu)

Ca : calcium

Cec : capacité d'échange cationique

FM : Florent Mercier (agriculteur)

GS : Gilles Simoneau (agriculteur)

K : potassium

LM : Laurent Marteau (agriculteur)

Mg : magnésium

MK : Michel Kervarec (agriculteur)

MO : matière organique

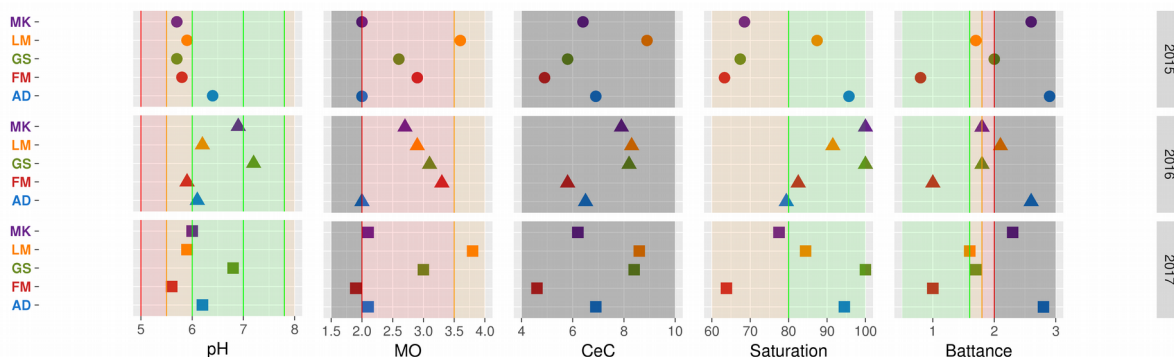
O : oxygène

P : phosphore

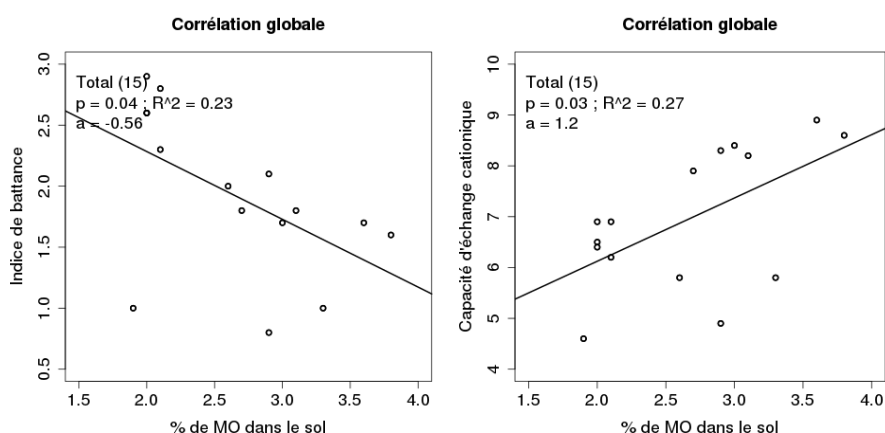
pH : potentiel hydrogène (mesure de l'acidité d'un milieu aqueux)

### Caractéristiques physiques et chimiques des sols

*Figure 1 : Caractéristiques physiques et chimiques des sols. ATTENTION : les parcelles ne sont pas les mêmes chaque année. Chaque point correspond à une analyse. Les unités sont les suivantes : pH : pas d'unité ; MO : % de sol ; Cec : meq/100g de sol ; Saturation : % de la CeC ; Battance : pas d'unité. Code des plages de couleur : vert = favorable, orange = moyen, rouge = défavorable, gris = très défavorable.*



On peut remarquer que l'indice de battance a tendance à diminuer et que la capacité d'échange cationique a tendance à augmenter lorsque le taux de matières organiques augmente dans le sol (Figure 2). On peut noter que, dans l'ensemble, les taux des matières organiques (MO) sont compris entre 2 et 3,5 %, ce qui constitue des sols pauvres en MO (Tableau 3). Le taux de saturation en bases est un concept de plus en plus délaissé (Doucet 2006) au profit d'une analyse plus fine des différents éléments et des rapports entre eux (Tableaux 5 et 6).



**Figure 2: Corrélation entre le pourcentage de matière organique dans le sol, l'indice de battance et la capacité d'échange cationique.  $p$  = probabilité que les variables ne soient pas corrélées,  $R^2$  = qualité de l'ajustement,  $a$  = pente de la droite d'ajustement.**

< 1,4	Non battant
1,4 à 1,6	Peu battant
1,6 à 1,8	Assez battant
1,8 à 2	Battant
> 2	Très battant

**Tableau 1 : Indice de battance.**

< 4,5	Extrêmement acide
4,5 – 5	Très fortement acide
5 – 5,5	Fortement acide
5,5 – 6	Moyennement acide
6 – 6,5	Faiblement acide
6,5 – 7,3	Neutre
7,4 – 7,8	Faiblement alcalin
7,9 – 8,5	Moyennement alcalin
8,5 – 9	Fortement alcalin
> 9,0	Très fortement alcalin

**Tableau 2 : pH.**

Richesse en MO	Types de sols	
	Légers à francs <sup>1</sup>	Francs-argileux à lourds
Très pauvre	0 - 2	0 - 2
Pauvre	2 - 3,5	2 - 4,5
Moyen	3,5 - 6,5	4,5 - 10
Riche	6,5 - 8	10 - 13
Très riche	> 8	> 13

**Tableau 3 : Richesse des sols en % de matières organiques.**

Catégories de sols	Fertilité des sols				
	Très faible	Faible	Moyenne	Elevée	Très élevée
	Cec (meq / 100g de sol)				
Légers	< 4	4 – 6	6 – 8	8 – 10	> 10
Francs	< 10	10 - 15	15 - 20	20 - 25	> 25
Lourds	< 25	25 - 30	30 - 35	35 - 40	> 40
Organiques	< 50	50 - 100	100 - 150	150 - 200	> 200

**Tableau 4 : Rapport entre Cec et fertilité des sols<sup>2</sup>.**

Dans l'ensemble, les sols sont de type « franc » (à part chez Florent où le sol est plus sableux). Les Cec correspondantes sont comprises entre 4 et 10, valeurs associées à une très faible fertilité. On voit bien dans le Tableau, l'intérêt de la matière organique dans la fertilité des sols.

### Equilibre entre les éléments

1 Sol franc = 40% sables, 40% limons, 20% argiles.

2 Doucet, 2006 : Le climat et les sols agricoles. ed. Berger, Eastman, Québec.



	Insuffisant	Acceptable	Optimal	Fort	Trop fort
<b>Ca/Mg</b>	< 1	1 - 2	2 - 9	10 - 30	> 30
<b>K/Mg</b>	< 0,05	0,05 - 0,1	0,1 - 0,5	0,5 - 1	> 1

**Tableau 5 : Barème d'appréciation de l'équilibre entre les cations Ca, Mg et K (Doucet, 2006. p.332)**

	AD			FM			GS			LM			MK		
	2015	2016	2017	2015	2016	2017	2015	2016	2017	2015	2016	2017	2015	2016	2017
<b>Ca/Mg</b>	5.9	5.8	5.6	4.9	6.1	5.1	6.8	7.7	5.8	8.7	5.4	7.9	5.2	16.3	7.1
<b>K/Mg</b>	0.32	0.25	0.21	0.24	0.14	0.22	0.29	0.69	0.52	0.26	0.75	0.33	0.37	0.46	0.49

**Tableau 6 : Equilibre entre les cations Ca, Mg et K sur les différents sites.**

Les sols des différents sites sont en général bien équilibrés pour les cations Ca, Mg et K.

### Caractéristiques biologiques des sols

L'analyse des taux de mycorhization sera faite plus loin dans le document.

### Pratiques des agriculteurs

Pour rappel, les trois variétés (lignées pures) de blés que nous appellerons « modernes » sont : Chevalier, Renan et Pireneo et les trois variétés populations de blés que nous appellerons « de pays » sont : Bladette de Provence, Redon Roux Pâle 1.13 et Saint Priest le Vernois Rouge.

Les cultures sont implantées après labour et semis dans la foulée avec – en général – un semoir combiné avec une herse rotative.

Il y a éventuellement un ou deux passages de herse étrille dans l'hiver.

D'après les caractéristiques phénotypiques, les blés de Redon roux pâle 1.13 et Saint Priest le Vernois rouge sont apparentés à la variété "Progress" (Suède 1942) largement utilisée dans les campagnes françaises à l'époque.

Agriculteur	Type de blé	Date de semis	Densité de blé (gr./m <sup>2</sup> ) semée/observée	Légumineuse	Densité de lég. (gr./m <sup>2</sup> ) semée/observée	Précédent cultural
André D.	Moderne	4 Nov.	350 / 230	Féverole	8.3 / 7.9	Maïs
André D.	De pays	4 Nov.	260 / 222	Féverole	8.3 / 8.9	Maïs
Florent M.	De pays	20 Nov.	400 / 270	Tr. + lotier	? / ?	Prairie
Gilles S.	Moderne	6 Nov.	350 / 179	Féverole	8.3 / 9.9	Prairie/Maïs
Gilles S.	De pays	6 Nov.	260 / 161	Féverole	8.3 / 7.6	Prairie/Maïs
Laurent M.	Moderne	31 Oct.	350 / 216	Féverole	8.3 / 7.9	Prairie
Michel K.	Moderne	21 Oct.	250 / 217	Trèfle blanc	? / ?	Maïs

**Tableau 7 : implantations 2014**

Agriculteur	Type de blé	Date de semis	Densité de blé (gr./m <sup>2</sup> ) semée/observée	Légumineuse	Densité de lég. (gr./m <sup>2</sup> ) semée/observée	Précédent cultural
-------------	-------------	---------------	---	-------------	--	--------------------

André D.	Moderne	10 Nov.	380 / 331	Féverole	6.2 / 7.2	Maïs
André D.	De pays	10 Nov.	350 / 282	Féverole	8.3 / 8.4	Maïs
Florent M.	De pays	9 Nov.	350 / 238	Tr. + lotier	? / ?	Prairie
Gilles S.	Moderne	5 Nov.	380 / 167	Féverole	6.2 / 7.7	Maïs
Gilles S.	De pays	4 Nov.	350 / 136	Féverole	8.3 / 4.4	Maïs
Laurent M.	Moderne	31 Oct.	380 / 197	Féverole	6.2 / 5.6	Prairie
Michel K.	Moderne	20 Oct.	275 / 225	Trèfle blanc	? / ?	Maïs

Tableau 8 : implantations 2015

Agriculteur	Type de blé	Date de semis	Densité de blé (gr./m <sup>2</sup> ) semée/observée	Légumineuse	Densité de lég. (gr./m <sup>2</sup> ) semée/observée	Précédent cultural
André D.	Moderne	28 Oct.	380 / 296	Féverole	6.2 / 6.9	?
André D.	De pays	28 Oct.	350 / 273	Féverole	8.3 / 8.9	?
Florent M.	De pays	2 Déc.	400 / 281	Tr. + lotier	? / 163	?
Gilles S.	Moderne	29 Nov.	380 / 123	Féverole	6.2 / 0.5	?
Gilles S.	De pays	29 Nov.	350 / 127	Féverole	8.3 / 3.9	?
Laurent M.	Moderne	30 Oct.	380 / 244	Féverole	6.2 / 4.1	?
Michel K.	Moderne	2 Nov.	275 / ?	Trèfle blanc	? / ?	?

Tableau 9: Implantations 2016

On remarque que la levée est systématiquement faible chez Gilles alors même que les rendements semblent peu affectés (figure 3).

## Climats

Saisons 2014-2015, 2015-2016 et 2016-2017 : températures et pluviométrie de septembre à août par rapport aux normales saisonnières pour 3 stations

météorologiques. Les trois stations sont : Le Rheu (station 35240002) pour André D., Gilles S. et Michel K. (normales saisonnières de Rennes), La Pouèze (station 49249001) à environ 40km de chez Laurent M. (normales saisonnières de Laval) et Beaucouzé (station 49020001) à environ 5 km de chez Florent M. (normales saisonnières d'Angers).

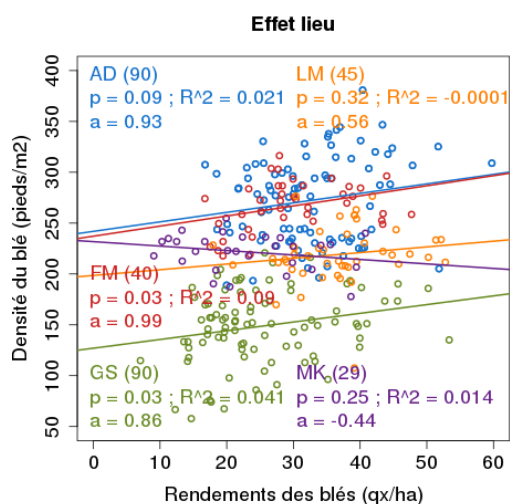
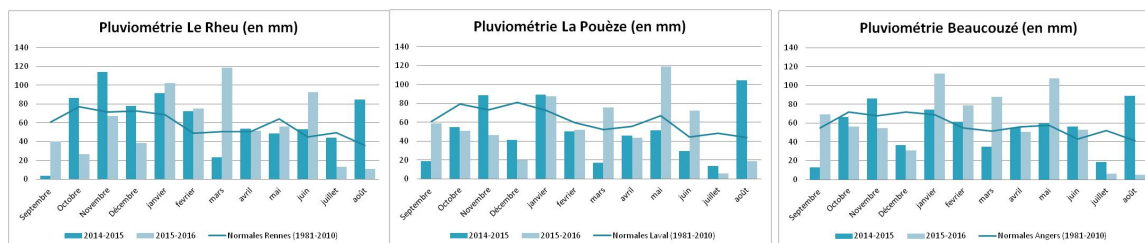
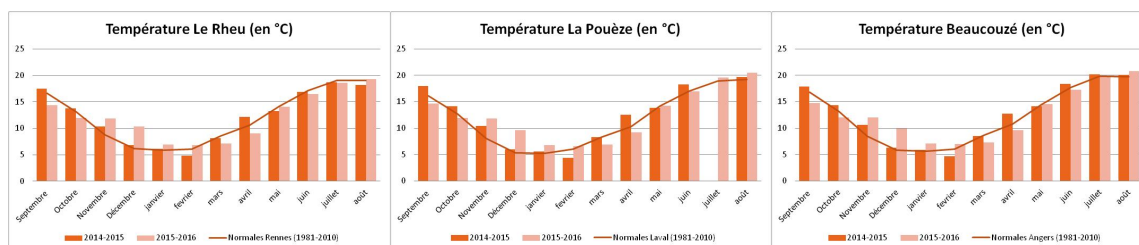


Figure 3: Corrélation entre le rendement et la densité observé des blés selon les différents sites



**Figure 4 : Pluviométrie des différents sites.**

La figure 2 indique les tendances générales pour la pluviométrie. Les mois de septembre 2014, mars 2015, octobre 2015, décembre 2015 et juillet/août 2016 sont très secs. Les mois de novembre 2014, août 2015 et janvier, mars, mai/juin 2016 très pluvieux. On peut aussi noter des différences entre les sites comme décembre 2014 sec à la Pouèze et à Beaucouzé mais normal au Rheu, de même pour juillet 2015. Ou encore septembre/octobre 2015 sec au Rheu, mais pas à la Pouèze ni à Beaucouzé. De même que le décalage mai/juin 2016 pour la forte pluviométrie entre le Rheu et la Pouèze/Beaucouzé.



**Figure 5 : Température des différents sites<sup>3</sup>.**

Pour les températures, les mois marquants sont : le mois d'avril chaud de 2015, le mois de septembre 2015 frais, les mois de novembre/décembre 2015 et janvier 2016 très doux, ainsi que les mois d'avril et de mai 2016 frais qui ont suivi.

### Contexte expérimental du réseau de ferme

Le réseau de ferme a évolué pendant les trois premières années. Nous avons commencé avec 4 sites pour chacune des deux formes de variétés, les modernes et les « de pays », dont deux sites avec les deux modalités.

Fermes	Site	Variétés modernes	Variétés de pays
André Despinasse (AD)	Le Rheu (35)	X	X
Florent Mercier (FM)	Bouchemaine (49)	X	X
Gilles Simonneaux (GS)	Chavagne (35)	X	X
Laurent Marteau (LM)	Laigné (53)	X	
Michel Kervarec (MK)	Chavagne (35)	Pas de récolte en 2017	
Pierre Tranchant (PT)	St Dolay (56)		Semis 2014 et 2015

**Tableau 10 : Qui cultive quoi et où ?**

<sup>3</sup> Donnée manquante pour la Pouèze en juillet 2015.

Les résultats chez Pierre Tranchant ayant été très aléatoires ne sont pas pris en compte dans cette étude. L'essai chez Michel Kervarec ayant été « envahi » par du ray-grass en 2017, la récolte n'a pas été faite et certaines données sont donc indisponibles pour ce site cette année là.

Le dispositif à la ferme a aussi évolué : le nombre de répétitions est passé de deux à trois entre les semis de 2013 et ceux d'après (2014 à 2016).

### SP2.2.1 - Critères synthétiques pour décrire la diversité

Dans un premier temps, nous avons essayé de décrire la diversité observée au sein des peuplements de blés dans les champs, en mesurant individuellement chaque plante sur les critères suivants :

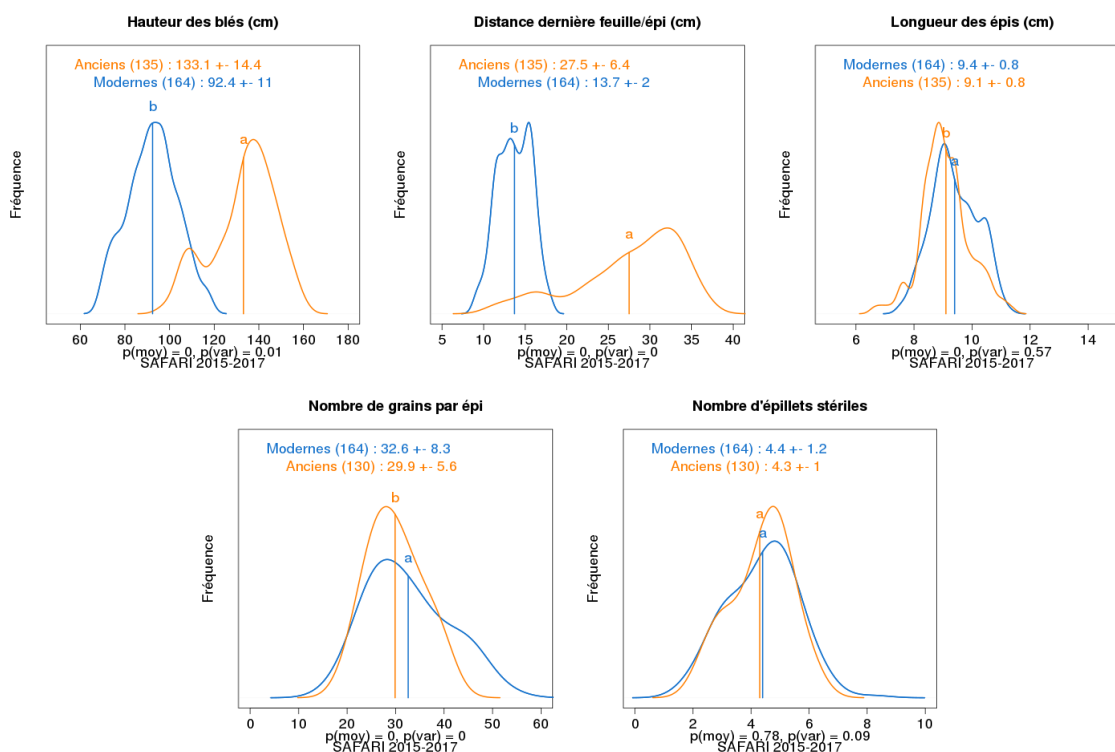
1. Hauteur totale de la plante ;
2. LLSD<sup>4</sup> = distance entre la dernière feuille et la base de l'épis ;
3. Longueur de l'épi ;
4. Nombre de grains par épi ;
5. Nombre d'épillets stériles par épi.

La figure 6 montre les distributions des valeurs de ces différents descripteurs. Il est clair que la hauteur des plantes, ainsi que les LLSD sont plus élevées chez les blés de pays que chez les blés modernes. On remarque également que l'étalement des valeurs de LLSD est plus grand chez les variétés de pays que chez les variétés modernes. Il est remarquable de noter que le nombre d'épillets stériles semble être très peu variable. Quant au nombre de grains et à la longueur des épis, les variétés modernes montrent un léger avantage par rapport aux variétés de pays dans ces conditions de culture. On peut remarquer que l'allure des courbes pour le nombre de grains par épi est différente entre variétés modernes et de pays. Alors que pour les variétés modernes, la distribution semble présenter une bimodalité avec une sous population présentant un nombre significativement plus grand de grains, on constate, pour les variétés de pays, un resserment autour de la moyenne.

NOTE : pour l'ensemble des graphiques présentant les distributions des descripteurs étudiés, le nombre d'observations est mis entre parenthèses et la valeur de la moyenne est donnée après les deux points ainsi que l'écart-type. La moyenne est également représentée par une barre verticale. Sous le graphique nous trouvons les probabilités que les moyennes ( $p(\text{moy})$ ) soient identiques de proche en proche de la moyenne la plus élevée vers la moyenne la plus basse. Il y a également la probabilité que l'ensemble des variances soient identiques ( $p(\text{var})$ ). Sur les graphiques on trouve aussi des lettres minuscules qui représentent les groupes significativement différents selon le test de Tuckey HSD.

---

<sup>4</sup> Last Leaf Spike Distance.



**Figure 6 : Distributions des caractères étudiés pour calculer la diversité.**

Il existe plusieurs indices calculés à partir de ces valeurs permettant une « mesure » de la diversité d'un caractère : variance, espace interquartiles, indices de Nei ou de Simpson, de Shannon, etc. Ce n'est pas le sujet ici de comparer et de choisir le critère le plus pertinent. Une étude de 2014 compare différents indices pour améliorer la pertinence de leur utilisation<sup>5</sup>. L'indice de Nei (normalisé) a été choisi pour cette étude et c'est celui que nous utiliserons jusqu'à la fin de cette étude. Cet indice est compris entre 0 et 1, 0 représentant le minimum de diversité et 1 le maximum.

Ces indices sont sensibles aux valeurs extrêmes, elles ont donc été enlevées à plus et moins deux fois l'écart-type de la moyenne. Les distributions ne sont pas des distributions normales (bien que pas très éloignées), le but est d'utiliser un maximum de valeurs (environ 95 %), sans avoir une trop forte sensibilité aux imprécisions et erreurs potentielles.

**Tableau 11 : Indices de diversité calculés sur les descripteurs de la colonne de gauche<sup>6</sup>. La colonne 'moyenne' représente la moyenne calculée sur les trois variétés pures. La ligne 'moyenne' représente la moyenne de la colonne correspondante. Le tableau du haut représente les données relatives aux variétés modernes et le tableau du bas celles relatives aux variétés de pays.**

	Chevalier	Pireneo	Renan	Moyenne	Mélange	Mélange+lég.
Hauteur totale	0.82	0.82	0.88	0.84	0.89	0.84
LLSD	0.63	0.67	0.74	0.68	0.70	0.68
Longueur épi	0.90	0.84	0.86	0.87	0.85	0.86
Nb. grains / épi	0.94	0.94	0.92	0.93	0.92	0.93

<sup>5</sup> E. Kathryn Morris *et al* : Choosing and using diversity indices: insights for ecological applications from the German Biodiversity Exploratories, Ecology and Evolution 2014; 4(18): 3514–3524.

<sup>6</sup> Les indices ne sont comparables que pour un même descripteur.

Nb. Épillets stériles	0.87	0.80	0.86	0.84	0.78	0.86
Moyenne	0.83	0.81	0.85	0.83	0.83	0.83
	Bladette	Redon	St Priest	Moyenne	Mélange	Mélange+lég.
Hauteur totale	0.91	0.86	0.87	0.88	0.89	0.93
LLSD	0.91	0.80	0.80	0.83	0.92	0.92
Longueur épi	0.79	0.86	0.87	0.84	0.81	0.87
Nb. grains / épi	0.84	0.88	0.91	0.88	0.82	0.88
Nb. Épillets stériles	0.83	0.88	0.87	0.86	0.81	0.86
Moyenne	0.86	0.86	0.86	0.86	0.85	0.89
Code couleur	<0,76	0,76-0,82	0,82-0,88	0,88-0,94	0,94-1	

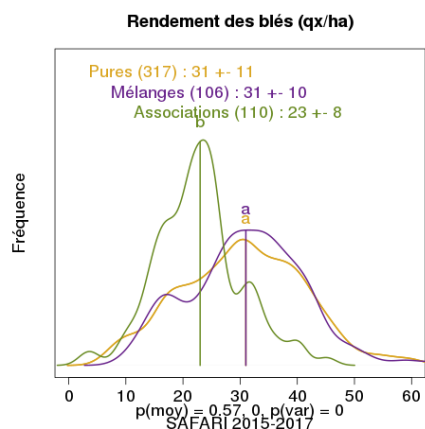
On remarque tout de suite la distribution plus étroite des valeurs de LLSD avec des indices de diversité plus faibles chez les variétés modernes. On remarque également l'étalement plus important du nombre de grains par épi des variétés modernes. La variété Pireneo se démarque par une relativement faible diversité des caractères étudiés. Il est notable aussi que les valeurs de diversité pour les variétés modernes varient peu, qu'elles soient en monocultures (moyenne), en mélange, ou en mélange et en association avec une légumineuse. Par contre, pour les variétés de pays, l'effet du mélange entraîne des variations positives (pour la hauteur et la LLSD), mais aussi négatives (pour les 3 autres caractères). Enfin, la diversité des caractères augmente sensiblement pour tous les caractères avec l'ajout d'une légumineuse.

## SP2.2.2 – Effets des mélanges intra et inter-spécifiques

### RÉSULTATS

#### Rendements

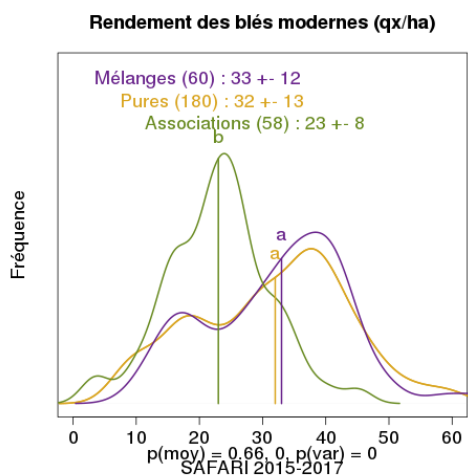
Les rendements sont calculés sur les grains secs, la valeur est divisée par 0,85 pour obtenir la valeur à 15 % d'humidité.



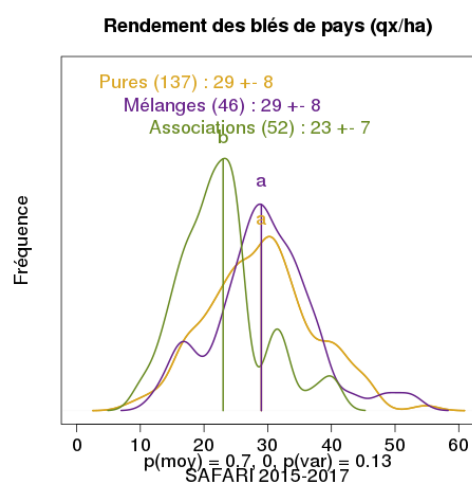
**Figure 7: Différences de rendements entre monocultures, mélanges et associations.**

L'interprétation direct de la figure 7 est que le mélange n'affecte pas les rendements alors que l'ajout d'une légumineuse (en sursemis) fait chuter les rendements, en moyenne de 25 %. On peut noter également que la courbe des associations est moins dispersée, ce qui montre une stabilisation des rendements lors de l'association interspécifique.

Les figures 8 et 9 montrent que les blés modernes sont plus sensibles à l'ajout d'une légumineuse (-30 %) que les blés de pays (-21 %).



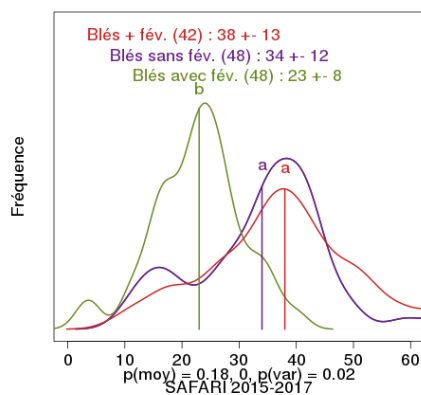
**Figure 8: Différences de rendements pour les blés modernes**



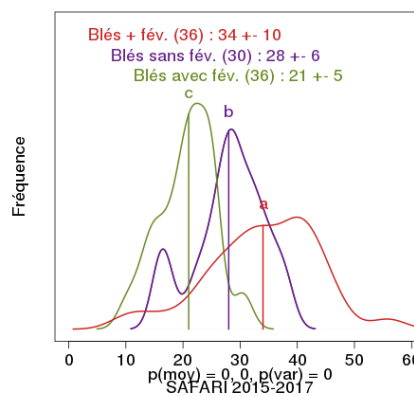
**Figure 9: Différences de rendements pour les blés de pays**

Les deux figures suivantes montrent que non seulement les blés modernes sont plus affectés par l'ajout d'une légumineuse, mais également que la production conjointe de la légumineuse (ici une féverole) et des blés ne produit pas autant parmi les blés modernes (+12 % par rapport au mélange de blés) que parmi les blés de pays (+21 %).

**Rendements grains des blés modernes (qx/ha)**

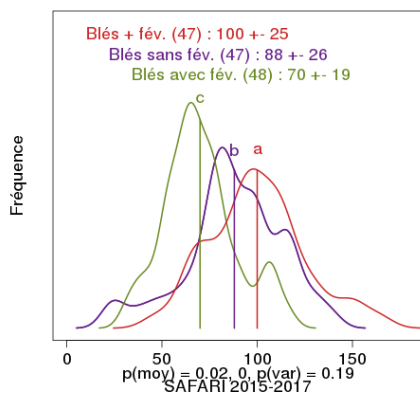


**Rendements grains des blés de pays (qx/ha)**

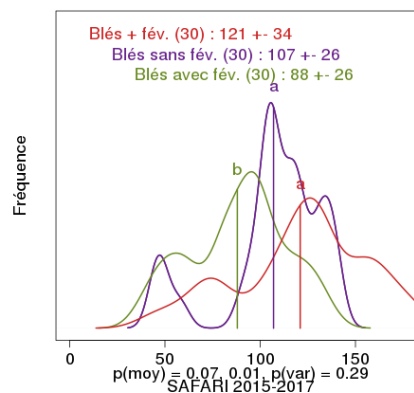


Si l'on prend en compte maintenant la production de paille également, on note un rendement total supérieur avec les blés de pays qu'avec les blés modernes.

**Rendements totaux des blés modernes (qx/ha)**



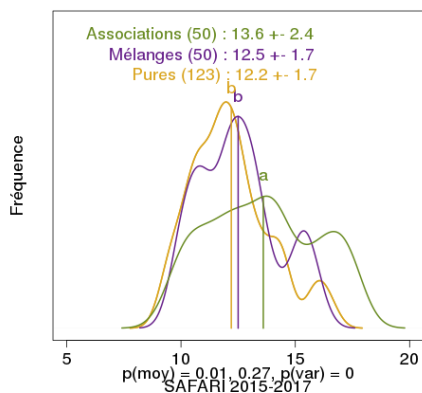
**Rendements totaux des blés de pays (qx/ha)**



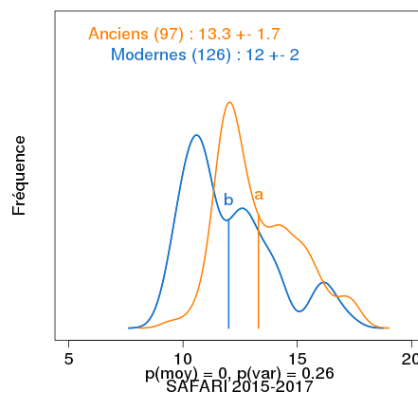
## Matière azotée totale (MAT)

La matière azotée totale représente le pourcentage d'azote par rapport au poids total des grains secs.

**Taux de protéines (% de la MS)**



**Taux de protéines (% de la MS)**



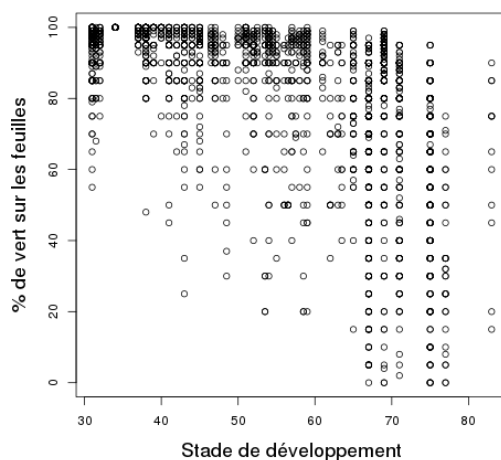


Il est clair que la culture en association avec une légumineuse favorise un taux de protéines élevé (+11 %). Nous retrouvons également le fait que les variétés de pays sont plus riches en protéines que les variétés modernes. On observe également que les variétés modernes sont moins sensibles à cette augmentation (+9 %) que les variétés de pays (+12 %) (graphiques non montrés).

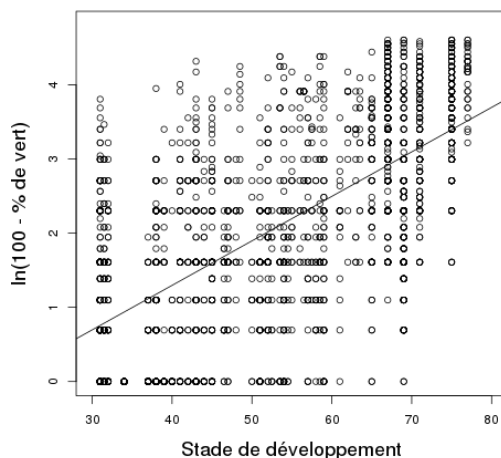
## Santé des plantes

La santé des plantes est représentée par le pourcentage de vert sur les dernière feuilles (les plus hautes).

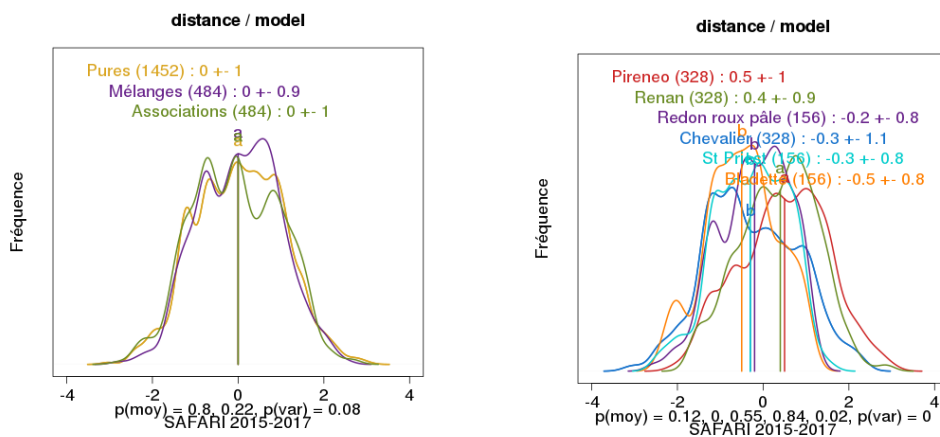
Les résultats ne sont pas comparables directement car les relevés n'ont pas été fait aux mêmes dates. Pour remédier à cela nous avons d'abord observé la corrélation entre le stade de développement (échelle BBCH) de la plante et le pourcentage de vert. On obtient le graphique suivant :



Comme cela ressemble à une exponentielle décroissante, nous avons fait un modèle linéaire sur le log des valeurs du % de vert (en fait  $100 - \%$  ces valeurs pour linéariser une exponentielle) et nous avons obtenu le modèle suivant ( $p$ -value:  $< 2.2e-16$ ,  $R^2 = 0.46$ ) :



Il est alors possible de calculer une distance à ce modèle et de lui affecter un signe : si le point est au dessus de la droite, alors il y a moins de vert sur les feuilles (100 moins le % de vert est supérieur) que le développement moyen de la maladie (modélisé par cette droite) nous lui avons donc affecté le signe '+' pour signifier que cette donnée est 'plus' malade que le modèle moyen. Et inversement pour les points au dessous de cette droite. Nous regardons ensuite comment l'ensemble des points se distancie par rapport à ce modèle moyen et nous obtenons les graphiques suivants :



Nous voyons que globalement, les mélanges et les associations ne semblent pas avoir d'effet sur la moyenne de la distributions des valeurs de % de vert par rapport au modèle moyen.

Cependant, nous pouvons noter que si l'on regarde ces distributions en fonction des variétés, il est notable d'observer que les variétés de pays sont systématiquement moins atteintes que ce modèle (distance négative = plus de vert = moins malade) alors que ce n'est le cas que pour la variété moderne Chevalier.

Nous avons alors voulu voir si ces deux types de variétés réagissaient de la même manière aux mélanges et aux associations.

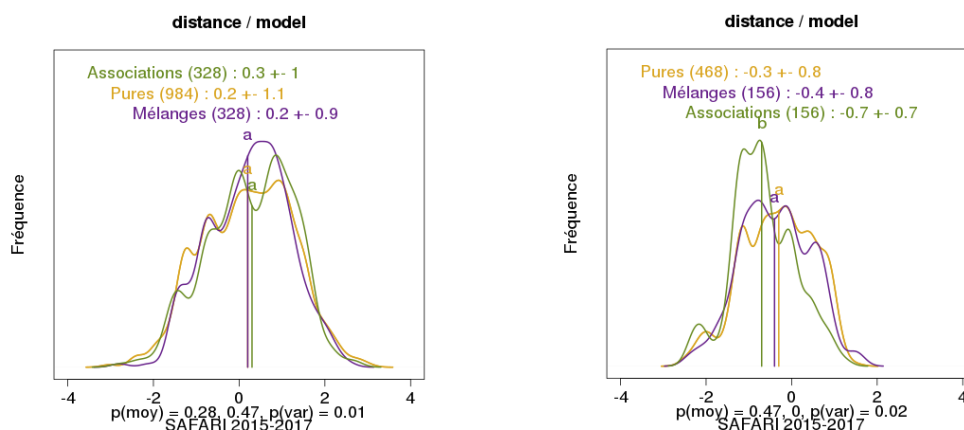


Figure 11 : blés modernes

Figure 10 : blés de pays

Nous observons ici un phénomène caractéristique d'une synergie entre plantes, différenciant les comportements des variétés modernes des variétés de pays. En effet, alors que la culture en mélange ou en association ne semble pas affecter les performances des variétés modernes, la culture en association influence sensiblement le comportement des variétés de pays.

## PERSPECTIVES

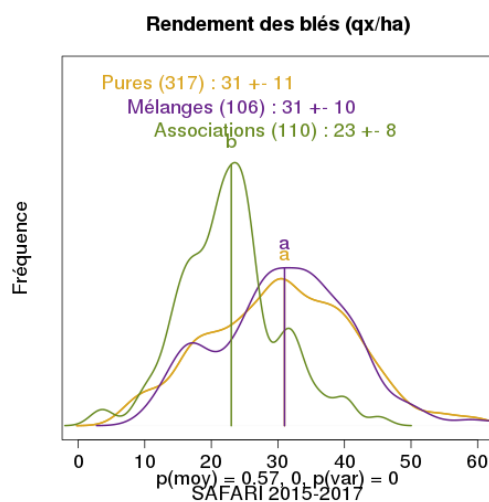
Est-on capable de trouver des itinéraires techniques qui conviennent mieux aux variétés de pays puisqu'elles ont l'air de mieux répondre aux variations de l'environnement, aux associations végétales et aux conditions à faibles intrants ?

### SP2.2.3 – Stabilité et résilience des paramètres agronomiques

Dans un premier temps, nous utilisons la probabilité d'identité des variances du test de Levene pour nous permettre de mesurer la stabilité de différents paramètres agronomiques.

## RÉSULTATS

### Rendements

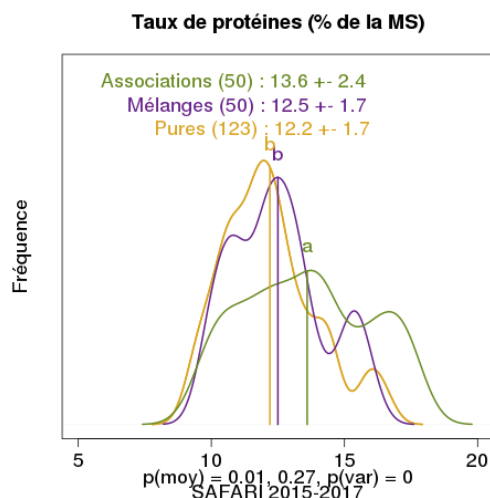


$p\text{-value}(\text{pures} / \text{mélange}) = 0.32$  (donc les variances sont similaires)

$p\text{-value}(\text{mélange} / \text{association}) = 0.0025$  (donc les variances sont différentes)

On en déduit que l'association – plus que le mélange – est un facteur de stabilité pour les rendements du blé.

### Matière azotée totale (MAT)



$p\text{-value}(\text{pures} / \text{mélange}) = 0.93$  (donc les variances sont similaires)

$p\text{-value}(\text{mélange} / \text{association}) = 0.011$  (donc les variances sont différentes)

On en déduit que l'association avec une légumineuse entraîne une plus grande instabilité dans la production de protéines, même si celle-ci est augmentée en moyenne.

Mais la question pourrait être creusée : est-ce que cette instabilité est observée sur l'ensemble des sites (distribution multimodale) ou bien une stabilité est observée sur chaque site ?

### Santé des plantes

De la même façon, on peut regarder comment réagissent les variétés modernes et les variétés de pays vis-à-vis des mélanges et des associations sur la santé des plantes (cf figures 10 et 11). La probabilité que les variances soient identiques pour les mélanges et les associations des variétés modernes est égale à 0.1 alors qu'elle est de 0.05 pour les variétés de pays. On en conclue que les variétés de pays améliorent la stabilité de la résistance aux maladies dans les mélanges blés/légumineuses par rapport aux variétés modernes.

### PERSPECTIVES

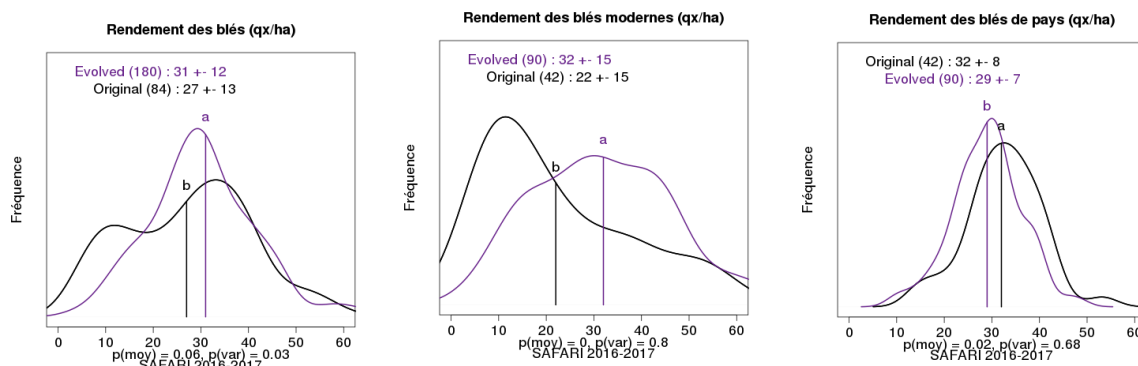
Étudier la stabilité d'autres caractères agronomiques.

### SP2.2.3 – Effets de l'évolution des semences d'origine

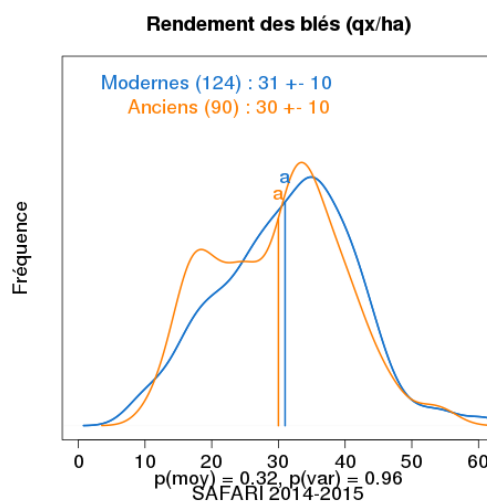
Les semences du début du projet (3 ans auparavant) ont été stockées en chambre froide. Pour la dernière année, elles ont été resemées pour voir s'il y avait un effet, une évolution, des plantes issues de ces re-semis successifs pendant 3 ans.

### RÉSULTATS

## Rendements

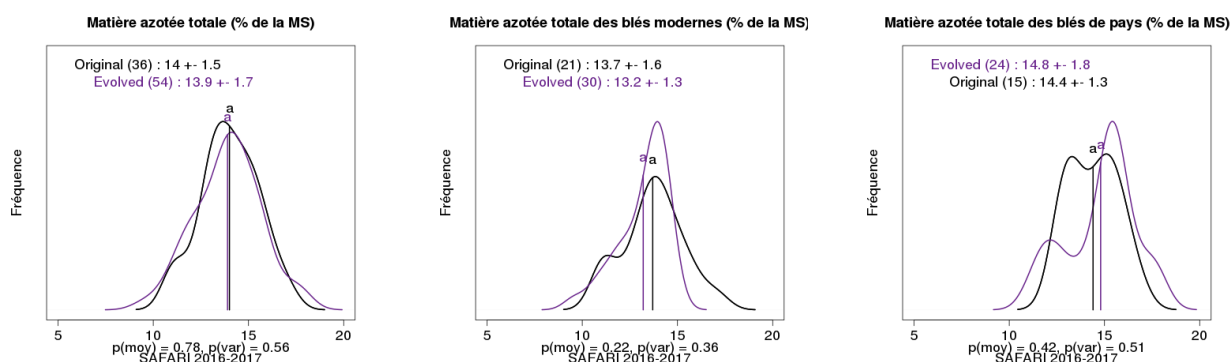


D'une manière générale on observe que les rendements diminuent sensiblement lorsque l'on utilise les semences d'origine. Ce phénomène est nettement visible avec les semences de variétés modernes, ce qui semble être le contraire dans le cas des semences de variétés de pays. Pour les variétés modernes, est-ce dû à l'évolution des semences où à la faculté germinative ou végétative qui pourrait diminuer avec le temps ? Pour essayer de répondre à cette question on peut comparer ces rendements aux rendements de la première année des semis des semences « originales ».



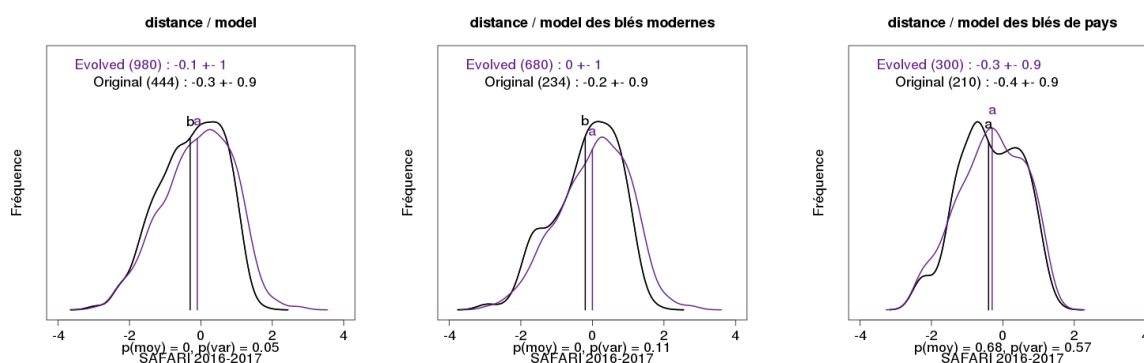
À la vue de ce graphique, il est probable que la diminution des rendements visibles la dernière année avec les semences d'origine serait liée à une perte de vigueur (ou de capacité germinative) des plantes issues des variétés modernes après 3 ans de stockage. Quand à l'augmentation observée pour les variétés de pays, elle est pour le moment inexpliquée. Est-ce lié à la maturation des grains ?

## Matière azotée totale (MAT)



On remarque ici que le taux de protéine ne semble pas affecté par l'évolution des semences dans le temps.

## Santé des plantes



On remarque ici une petite détérioration de la santé des plantes avec les semences qui ont évoluées dans les champs, en particulier pour les variétés modernes. Il est délicat de tirer des conclusions car la plus grande résistance aux maladies du mélange d'origine (pour les variétés modernes) pourrait être dû à l'espacement des pieds (germination [-22 %], densité des épis [-28 %, graphiques non montrés]). Il n'y a pas d'effet notable pour les variétés de pays.

## PERSPECTIVES

Étudier d'autres caractères agronomiques.

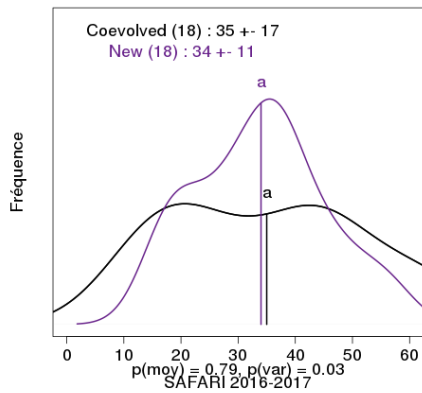
### SP2.2.4 – Effets de la coévolution des blés avec les légumineuses

La dernière année, les blés ayant coévolué avec les légumineuses ont été séparés de leur(s) légumineuse(s), d'une part, et d'autre part, une légumineuse (féverole) a été ajoutée aux blés ayant coévolué seuls pour voir si un effet de coévolution pouvait être visible.

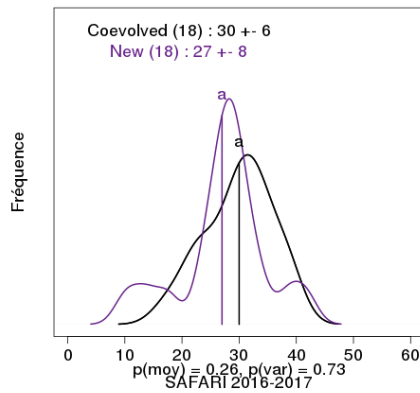
## RÉSULTATS

## Rendements

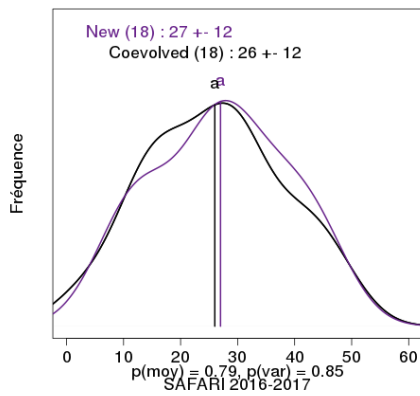
**Rendement des blés modernes en mélange (qx/ha)**



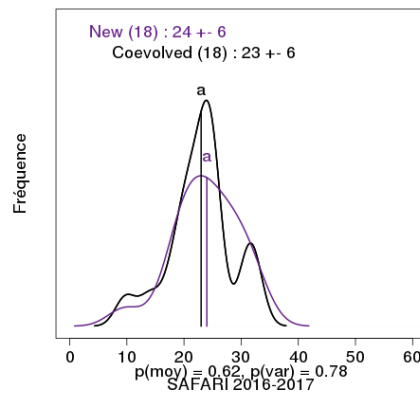
**Rendement des blés de pays en mélange (qx/ha)**



**Rendement des blés modernes associés (qx/ha)**

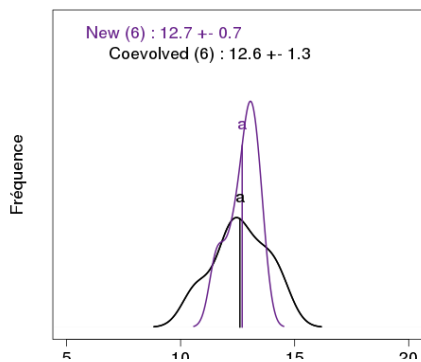


**Rendement des blés de pays associés (qx/ha)**

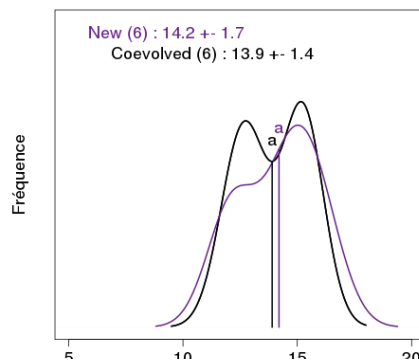


## Matière azotée totale (MAT)

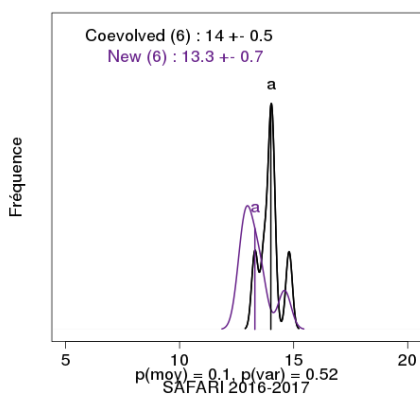
**MAT des blés modernes en mélange (% de la MS)**



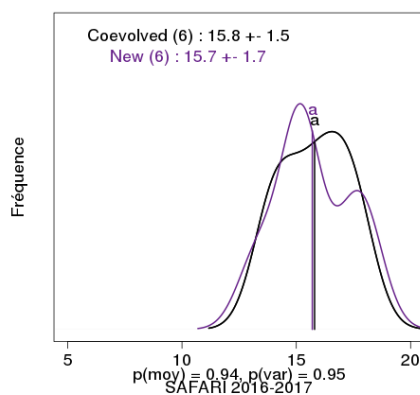
**MAT des blés de pays en mélange (% de la MS)**



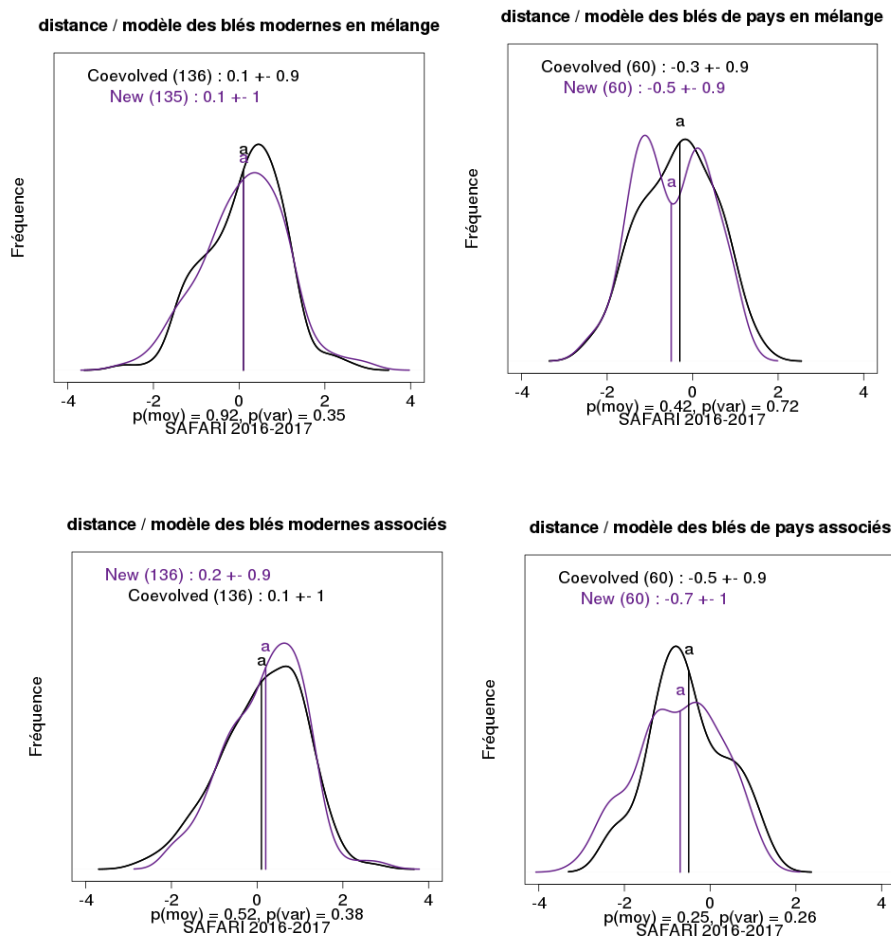
**MAT des blés modernes associés (% de la MS)**



**MAT des blés de pays associés (% de la MS)**



## Santé des plantes



Bien que des différences de comportement s'expriment sur ces graphiques entre variétés modernes et variétés de pays, il n'est pas possible d'y voir, dans ces conditions, sur ce laps de temps et ces caractères, une évolution dont les caractéristiques soient visibles.

### PERSPECTIVES

Utiliser des mélanges plus sensibles à l'évolution, comme par exemple des mélanges contenant plus de variétés et également des légumineuses « de pays » ayant elles aussi probablement un meilleur potentiel d'évolution dans les champs des agriculteurs.

### OBSERVATIONS GÉNÉRALES

Notons que la verse reste un problème significatif pour l'utilisation des variétés de pays (40 % de verse en moyenne) mais que celle-ci est multifactorielle, elle ne dépend pas que de la



variété, mais également (mais pas uniquement), de la densité de semis (un semis moins dense diminue le risque de verse) et de la fertilité de la terre (une terre moins fertile diminue le risque de verse).

## SP 2.3 – INTÉGRATION DES RÉSULTATS THORIGNÉ / RÉSEAU DE FERMES

Nom du responsable de cette partie du projet pour : Véronique Chable (?)

Coordonnées : INRA UMR BAGAP, 65 rue de Saint-Brieuc, 35042 Rennes

### RÉSULTATS

**TODO**

### INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

### PERSPECTIVES