

& CHOISIR & DÉCIDER

SYNTHÈSE
NATIONALE
2019

Maïs : variétés et fertilisation en agriculture biologique

ARVALIS
Institut du végétal

SOMMAIRE

Avant-propos	2
Qui a fait quoi ?	2
Variétés de maïs en AB	3
Le réseau de criblage variétal maïs en AB	3
Les essais de la campagne 2019	4
Rendements et précocités	5
Caractéristiques agronomiques	7
Choisir une variété de maïs en AB	9
Fertilisation azotée du maïs en AB	10
Gérer l'azote en raisonnant a la rotation	10
Ne pas négliger les apports d'engrais organiques	10
Les essais engrais azotés organiques	11
Engrais à base de sous-produits animaux : origine des matières premières et disponibilité de l'azote	12
Comparaison de différents engrais azotés organiques	12
Comparaison de différentes stratégies d'apports	14
Rentabilité économique des apports d'engrais	16

Avant-propos

Cette édition nationale du « Choisir et décider – Maïs en agriculture biologique » rassemble des résultats opérationnels afin de vous guider dans la conduite d'un système de culture en agriculture biologique (AB). Deux thématiques sont ici abordées :

- **Variétés de maïs** : Les résultats du réseau de criblage variétal maïs bio pour la Zone Sud, et les préconisations de nos experts vous aideront à choisir ou recommander une variété en AB adaptée à vos objectifs.
- **Fertilisation organique** : Les résultats du réseau d'essais fertilisation azotée maïs bio vous seront présentés et vous orienteront sur la meilleure stratégie de fertilisation à mettre en place.

QUI A FAIT QUOI ?

Coordination générale et montage du document : Amélie CARRIERE (ARVALIS)

CHAPITRES	IMPLICATIONS	
VARIETES DE MAÏS	Animation du réseau d'essais	Nathalie MANGEL (ARVALIS)
	Analyse de données et réalisation de la synthèse	Nathalie MANGEL et Bruno MARTIN (ARVALIS)
	Partenaires expérimentateurs	ARVALIS, CA24, CA40, CA85, CA Alsace, CAUSSADE Semences, EURALIS COOP, OXYANE, Terres du Sud
	Préconisations variétés	Thibaut RAY et Clémence ALIAGA (ARVALIS)
FERTILISATION ORGANIQUE	Animation du réseau d'essais	Grégory VERICEL (ARVALIS)
	Analyse de données et réalisation de la synthèse	Grégory VERICEL et Sophie CHAU (ARVALIS)
	Partenaires expérimentateurs	ARVALIS, CA24

ARVALIS REMERCIE VIVEMENT LES PARTENAIRES EXPERIMENTATEURS POUR LA FOURNITURE DES DONNEES, LES OBTENTEURS ET LEURS REPRESENTANTS POUR LA FOURNITURE DES SEMENCES, AINSI QUE LES AGRICULTEURS CHEZ QUI LES ESSAIS ONT ETE REALISES.

MERCI EGALEMENT A TOUTES LES EQUIPES REGIONALES D'ARVALIS – INSTITUT DU VEGETAL, AINSI QUE LES INGENIEURS SPECIALISTES QUI ONT CONTRIBUE A LA SYNTHESE DES ESSAIS ET A LA REDACTION DE CE DOCUMENT.

Ce document est disponible uniquement sous format numérique en téléchargement gratuit via le site internet ARVALIS-Infos, rubrique BIO – Maïs/Sorgho : www.arvalis-infos.fr

Variétés de maïs en AB

ARVALIS a étoffé en 2019 le réseau de screening des variétés Post-inscription de maïs grain en agriculture biologique (AB) dans le Sud de la France, en collaboration avec des agriculteurs biologiques, coopératives, négoce, Chambres d'Agriculture et établissements de semences. Ce chapitre présente les résultats des variétés expérimentées en tronc commun entre les essais, et des préconisations qui vous

guideront à choisir ou recommander les variétés de maïs adaptées à une conduite en AB.

Le maïs est classé hors dérogation. Ce qui signifie que l'agriculteur est dans l'obligation d'utiliser des semences issues de l'AB. La disponibilité en semences bio des variétés est accessible sur le site : www.semences-biologiques.org

LE RESEAU DE CRIBLAGE VARIETAL MAÏS EN AB

Le réseau d'essais variétés en Post-Inscription de maïs grain a pour objectif de préciser et comparer les caractéristiques agronomiques, de précocité, de rendement, de tenue de tige et de résistance aux maladies des variétés de maïs disponibles pour l'AB.

L'offre des variétés de maïs en AB a augmenté ces dernières années avec celle des surfaces. De ce fait, plusieurs partenaires ont convenu de mutualiser des moyens pour comparer quelques nouveautés avec des variétés de référence sur les principaux critères de choix en maïs grain. La gamme de précocité des variétés

comparées en 2019 est étendue pour renseigner sur le type de précocité à cultiver, notamment dans des contextes de dates de semis un peu plus tardives qu'en systèmes conventionnels. Elle couvre les groupes demi-précoces à tardifs (G2 à G5). Les variétés expérimentées ont fait l'objet d'un consensus entre les expérimentateurs sur la base de résultats antérieurs, de critères d'intention de développement et d'effectifs compatibles avec la réussite des essais en micro et moyennes parcelles. Les résultats présentés ci-après portent sur les 11 variétés communes entre essais (25 variétés expérimentées au total).

LES ESSAIS DE LA CAMPAGNE 2019

En 2019, 11 essais de variétés de maïs ont été conduits en AB (Tableau 1 et Figure 1). Au regard des analyses statistiques des 11 essais, seuls 7 ont été jugés pertinents pour une valorisation des caractères observés au champ. Sur ces 7 sites, les semis ont été réalisés au mois de mai, avec des pertes de plantes plus ou moins

variables. Le site de Bergheim en Alsace fait partie du réseau Sud des essais de criblage variétal maïs car les conditions climatiques sont comparables avec les autres sites ; les groupes de précocité des variétés de maïs mise en œuvre dans cette région sont similaires à ceux utilisés dans le Sud.

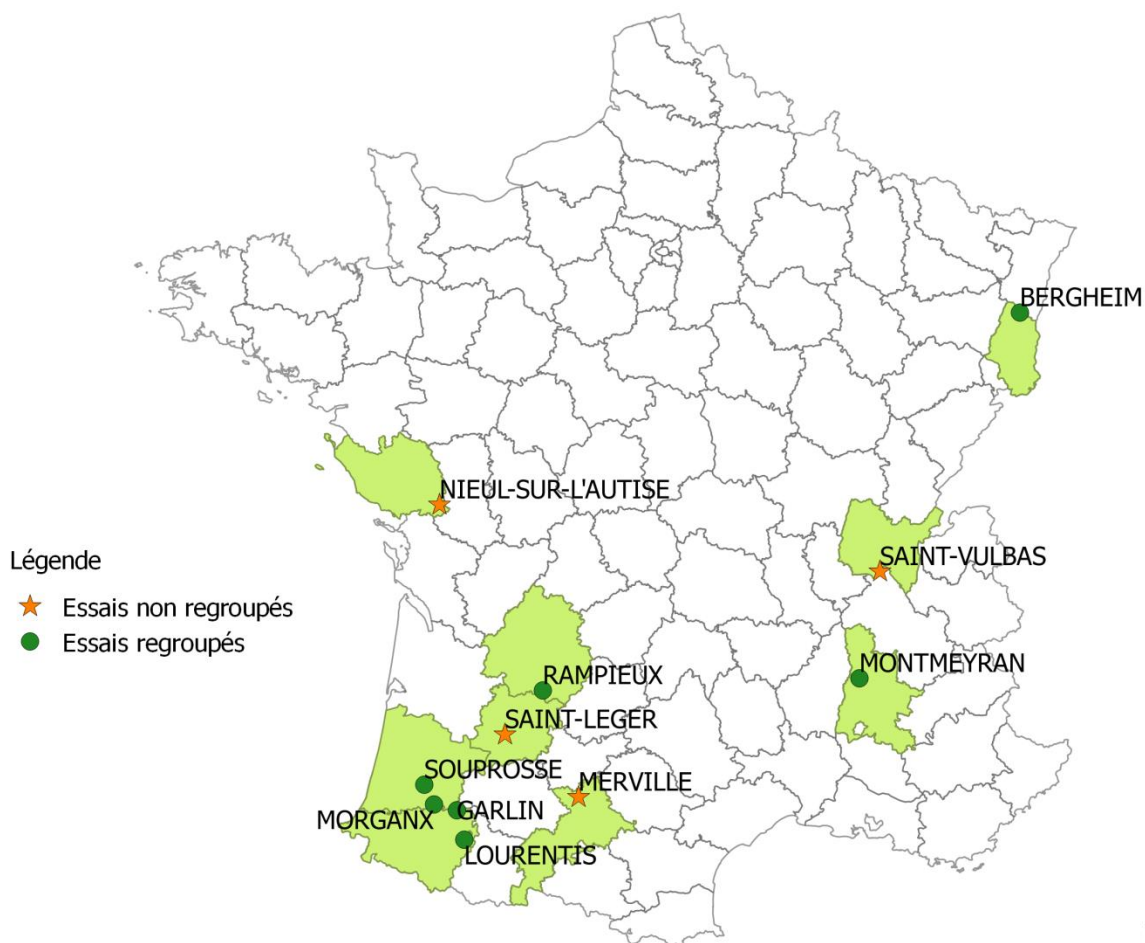
Tableau 1 : Description des essais variétés maïs en AB (campagne 2019)

Site d'essai	Dép.	Organismes expérimentateurs	Date de semis	Date de récolte	Type de sol	Profondeur exploitable par les racines (cm)	Précédent
SAINT-LEGER ★	47	Terres du Sud / ARVALIS	18/04/2019	Non récolté (verse)	LIMON ARGILEUX PROFOND	120	FEVEROLE
NIEUL-SUR-L'AUTISE ★	85	CA85	12/04/2019	11/10/2019	ARGILO-CALCAIRE - GROIE	105	MAÏS GRAIN
MERVILLE ★	31	CAUSSADE Semences	16/05/2019	18/10/2019	ALLUVIONS LIMONO-SABLO-ARGILEUSES CAILLOUTTEUSES	180	LIN OLEAGINEUX
MORGANX	40	EURALIS COOP	01/05/2019	07/10/2019	TOUYAS (<15% argile) - TERRE NOIRE	120	MAÏS GRAIN
GARLIN	64	EURALIS COOP	31/05/2019	22/11/2019	TOUYAS (>30% argile)	120	
LOURENTIS	64	ARVALIS	14/05/2019	30/10/2019	LIMON ARGILEUX PROFOND	120	TOURNESOL
BERGHEIM	68	CA Alsace / ARVALIS	13/05/2019	07/11/2019	ALLUVIONS SABLO-ARGILEUSES PROFONDES	60	MAÏS GRAIN
MONTMEYRAN	26	ARVALIS	03/05/2019	03/10/2019	LIMON BATTANT SAIN	150	BLE TENDRE
RAMPIEUX	24	CA24 / ARVALIS	29/05/2019	30/10/2019	LIMON ARGILEUX PROFOND	120	ORGE + POIS
SOUPROSSE	40	CA40 / ARVALIS	06/05/2019	01/10/2019	ALLUVIONS LIMONO-SABLEUSES PROFONDES	90	SOJA
SAINT-VULBAS ★	01	OXYANE	06/05/2019	16/10/2019	GRAVIERS PROFONDS	130	SOJA

★ Essais non intégrés aux regroupements (hétérogénéité, verse, essai non récolté, etc.)

Dép. : Département

Figure 1 : Localisation des essais de criblage variétal maïs bio (campagne 2019)



RENDEMENTS ET PRECOCITES

Les variétés les plus tardives des groupes G4 et G5 ressortent globalement avec des rendements supérieurs aux variétés des groupes G2, y compris en rendement net de frais de séchage. Les disponibilités en températures élevées du Sud de la France en 2019, ainsi que les potentiels de rendement des essais (de 106 à 127.9 q/ha) ont été favorables aux variétés à cycle long (Figures 2 et 3).

La précocité à la récolte est évaluée à partir de l'humidité du grain à la récolte (% d'eau dans le grain).

La pente des isocourbes présentées dans la Figure 3 a été calculée pour un paiement de 30€/q et un coût de séchage au barème. Les trois isocourbes ont été placées sur le graphique selon le niveau de rendement des variétés. Ainsi, par exemple, DKC5065 et ANAKIN ont les plus hauts rendements, leur écart à la courbe est quasi-identique, le coût de revient sera quasi-similaire car même si ANAKIN fait plus de rendement, les frais de séchage seront plus élevés étant donné que le taux d'humidité du grain à la récolte est plus élevé.

Figure 2 : Rendement des variétés de maïs (q/ha) : moyenne et écart type sur les 7 sites expérimentaux (Récolte 2019)

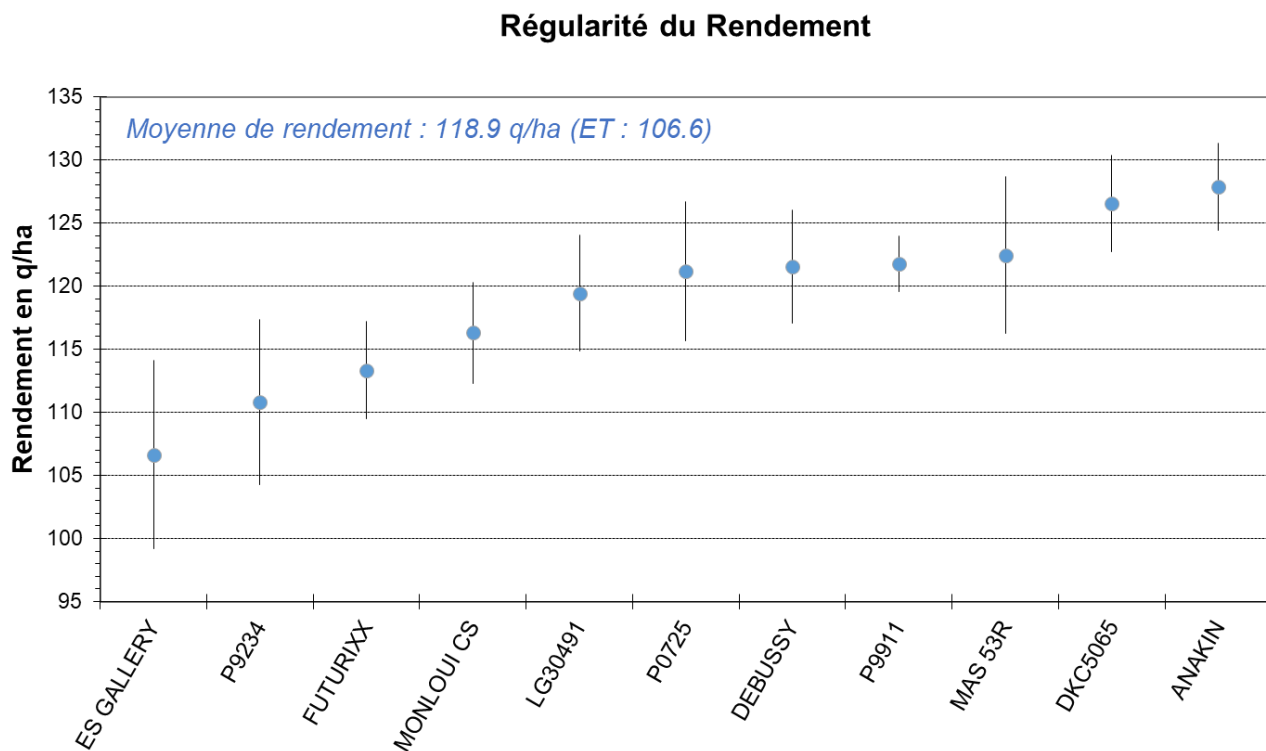
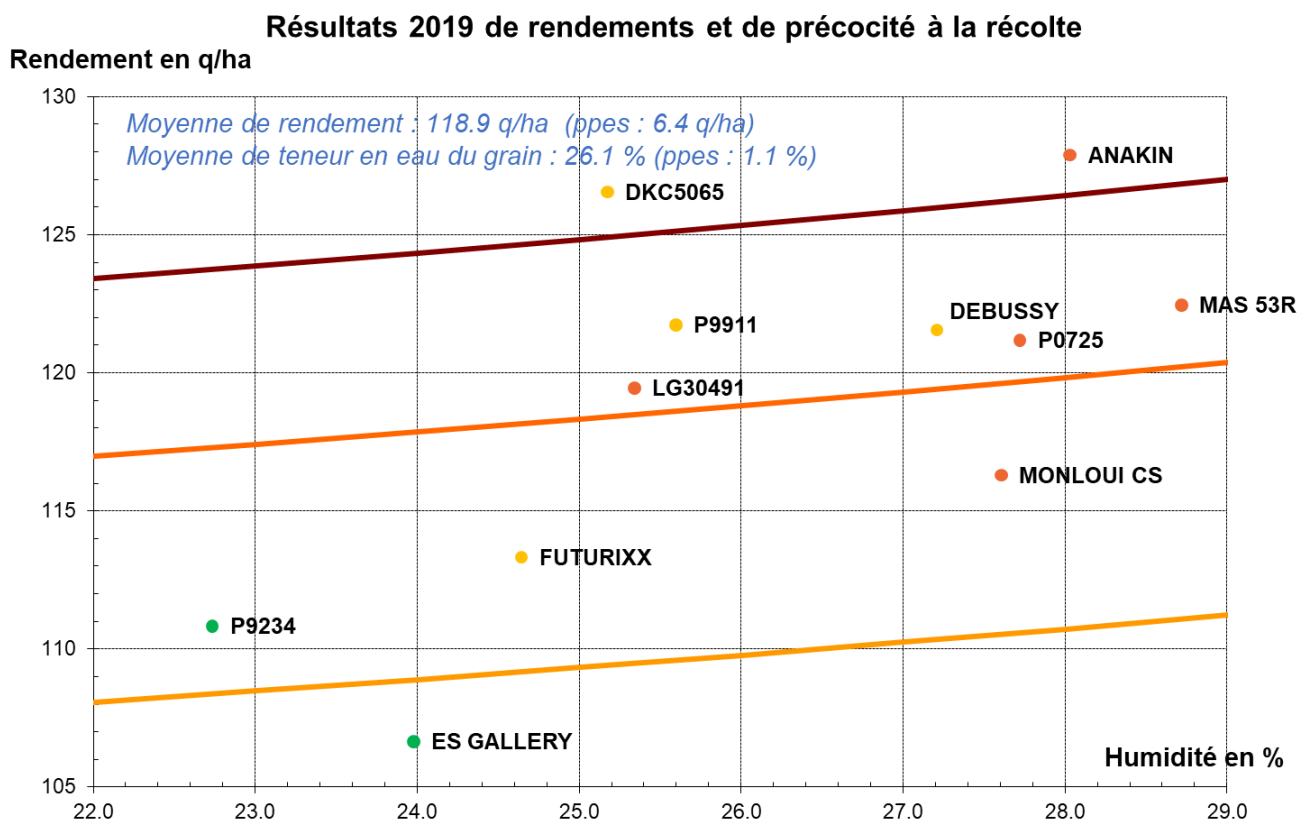


Figure 3 : Relation rendement (q/ha)– précocité à la récolte (taux d’humidité) – Récolte 2019



CARACTERISTIQUES AGRONOMIQUES

Réseau 2019 du screening de variétés de maïs grain des groupes de précocité G2 à G5 en agriculture biologique Résultats des variétés expérimentées en tronc commun entre les essais

VARIETES Demi-Précoces à Tardives G2-G5	Groupe de précocité	Inscription	Représentant de la variété	Année inscription	Type d'hy- bride	Type de grain	Densité	Rendement et Régularité			Humidité	Verse	Vigueur	Ecart de
							1000 / Ha	en % de la moyenne des essais			récolte	Récolte	au départ	date de
							2019	2019	E.T.	RDT Net	en %	en %	(note)	floraison
							2019	2019	2019	2019	2019	2019	2019	2019
Variétés en étude (*)														
P9234	G2	c	Pioneer Semences	IT-2014	HS	d	78.6	93.2	5.5	94.5	22.7	6.3	6.7	-2.9
ES GALLERY	G2	g	Euralis Semences	2012	HS	cd	86.2	89.7	6.3	90.5	24.0	14.6	8.1	-1.9
FUTURIXX	G4	g	R.A.G.T. Semences	2010	HS	d	77.5	95.3	3.2	95.9	24.6	12.4	6.6	-0.9
DKC5065	G4	c	Dekalb/Monsanto	IT-2015	HS	d	80.3	106.4	3.2	106.9	25.2	5.7	6.6	-0.9
P9911	G4	c	Pioneer Semences	HU-2015	HS	d	84.1	102.4	1.9	102.6	25.6	11.0	7.3	-0.1
DEBUSSY	G4	c	Euralis Semences	IT-2016	HS	d	84.5	102.2	3.8	101.8	27.2	6.9	6.8	-0.1
LG30491	G5	g	LG/Limagrain Europe	2011	HS	d	83.4	100.5	3.9	100.8	25.3	12.5	7.8	0.7
MONLOUI CS	G5	c	Caussade Semences	IT-2014	HS	d	75.6	97.8	3.4	97.2	27.6	13.1	5.9	0.3
P0725	G5	c	Pioneer Semences	IT-2011	HS	d	86.2	101.9	4.7	101.3	27.7	7.5	7.7	2.9
ANAKIN	G5	g	Euralis Semences	2018	HS	cd.d	88.3	107.6	2.9	106.7	28.0	8.8	7.4	1.9
MAS 53R	G5	c	Mas Seeds	IT-2016	HS	d	80.8	103.0	5.2	101.9	28.7	10.6	6.3	1.3
Moyenne des essais							-	100 = 118.9 q/ha			26.1%	10.0%	7	24-juil.
Nombre d'essais							7	7			7	4	5	5
Analyse statistique P.P.E.S.							-	5.4%	-	-	1.1%	9.9%	0.9	1.1%

(*) La liste des variétés présentées dans le tableau est non exhaustive et porte sur les 11 variétés communes entre les essais.

Lieux retenus en rendement : RAMPIEUX (24), MONTMEYRAN (26), MORGANX (40), SOUPROSSE (40), GARLIN (64), LOURENTIES (64), BERGHEIM (68)

Lieux retenus pour verse : MONTMEYRAN (26), MORGANX (40), GARLIN (64), LOURENTIES (64)

Intra groupes de précocité, des différences de performances sont constatées en matière de vigueur au départ, de tenue de tige, de rendement et de régularité de rendement entre les lieux d'essais. De petites valeurs d'ET (écart type) entre essai sont des points forts. D'une façon générale, il est intéressant de noter le gain à la

tardiveté jusqu'à un plateau. Les variétés très tardives, bien que bénéficiant d'un très bon potentiel génétique ont du mal à l'exprimer pleinement au regard des dates de semis.

Réseau 2019 du screening de variétés de maïs grain des groupes de précocité G2 à G5 en agriculture biologique

Légende des données du tableau

- Inscription : catégorie d'inscription des variétés :
 - + g : variétés ayant satisfait avec succès uniquement les épreuves grain en France.
 - + f : variétés ayant satisfait avec succès uniquement les épreuves fourrage en France.
 - + gf : variétés ayant satisfait avec succès les épreuves grain et fourrage en France.
 - + c : variétés issues d'une inscription sur le catalogue européen dans un pays autre que la France.
- Année d'inscription au catalogue officiel français, ou pays et année d'inscription en Europe.
- Type d'hybride :
 - + HS = hybride simple
 - + HTV = hybride trois voies
- Type de grain :
 - + cc = cornée
 - + c.cd = corné à corné denté
 - + cd = corné denté
 - + cd.d = corné denté à denté
 - + d = denté
- Rendement et Régularité en % de la moyenne des essais :
 - + Rendement exprimé en % de la moyenne des variétés, synthèse 2019.
 - + E.T. : indicateur de variabilité des rendements entre les essais de la synthèse 2019. Il est exprimé en % de la moyenne des rendements.
Plus il est faible, plus la variété présente des résultats stables entre essais.
 - + Rendement net : rendement après déduction des coûts de séchage et freintes.
- Humidité récolte en % : teneur en eau du grain à la récolte en %.
- Verse récolte en % : % de plantes versées à la récolte des essais avec symptômes de verse.
- Vigueur au départ exprimée en notes avec note de 1= très faible et de 10=très bonne.
- Ecart de date de floraison en jours : écart de date de floraison avec la moyenne des variétés en jours.

Lieux retenus en rendement : sont précisées les communes (départements) des essais retenues dans les synthèses pour les rendements, la teneur en eau du grain à la récolte ainsi que les densités de culture.

Les lieux utilisés pour les synthèses sur les caractères autres que la verse ne sont pas précisés dans ce document.

CHOISIR UNE VARIÉTÉ DE MAÏS EN AB

Le choix des variétés de maïs en AB tient compte de critères courants tels que la précocité, la régularité de rendement entre essais et années, le rendement et la tenue de tige. La vigueur au départ est un critère particulièrement regardé en AB. Des variétés avec un bon démarrage sont en général préférées pour limiter les dégâts de ravageurs de début de cycle. La tolérance à la fonte des semis, à l'helminthosporiose et aux fusarioses des épis est une attente comme en culture conventionnelle, mais les conditions climatiques de 2019 n'ont pas été propices à l'observation de ces phénomènes.

Préconisations pour le choix des variétés

Demi-précoce corné-denté

ES GALLERY (Euralis, 2012) fait son rendement par un nombre de grains important. Grande taille et port dressé. Elle reste un bon compromis précocité/potentiel.

P9234 (Pioneer, IT-2014), est une variété leader dans ce groupe de précocité. Bonne tenue de tige. Attention à ne pas trop tarder à la récolte, les pédoncules peuvent être fragiles à surmaturité.

RGT LIPEXX (Ragt, HU-2016), est un maïs précoce assez rustique. Peut être très intéressante pour les semis tardifs, dans un grand nombre de secteurs.

Demi-précoce denté

KAMPONI CS (Caussade, 2015) est une variété à port dressé, affiche un ratio rendement/précocité correct.

CODIVOIR ET CODIGRAIN, sont deux variétés proposées par Codisem. Elles sont un peu dépassées par les autres hybrides.

Demi-tardive

FUTURIXX (Ragt, 2010), est une valeur sûre depuis de nombreuses années, mais elle commence à décrocher face au renouvellement des variétés.

ES HARMONIUM (Euralis, 2015) est un petit maïs assez rustique. Depuis 3 ans, elle est précoce et productive. Elle confirme son intérêt pour l'AB.

P9911 (Pioneer, HU-2015) est testée depuis 3 ans. Elle confirme ses performances. Une valeur sûre. Son gabarit luxuriant lui permet de bien ombrager l'inter-rang.

DEBUSSY (Euralis, IT-2016) est une variété de fin de groupe avec un bon potentiel. Assez tardive. Grand maïs avec un feuillage important.

Le choix de la précocité est à adapter aux dates de semis souvent plus tardives en bio qu'en conventionnel pour favoriser le démarrage de la culture dans des conditions poussantes en permettant également de multiplier les faux semis. Si la date de semis est franchement reculée, notamment en cas de semis après une légumineuse implantée en septembre, le choix d'une variété plus précoce s'impose, ce qui présente l'intérêt aussi de diminuer les frais de séchage.

RGT LEXXTOUR (Ragt, 2014), confirme ses performances de l'année passée. C'est une variété régulière avec un bon potentiel. Un peu de verse à confirmer.

DKC5065 (Dekalb, PT-2017) variété plus précoce, est intéressante en AB de par son grand gabarit et son port retombant qui permet de limiter les levées d'adventices. A noter toutefois une vigueur de départ en retrait et une sensibilité à la verse en végétation.

LG 30491 (Limagrain, 2011) offre un rendement technico-économique intéressant, et une très bonne vigueur de départ.

Tardive

ROBERI CS (Caussade, IT-2013), est toujours parmi les plus productives des variétés testées. Une valeur sûre très régulière.

MONLOUI CS (Caussade, IT-2014) présente une bonne productivité, mais elle fait partie des plus tardives.

MAS 53R (Maïsadour, inscription européenne), productivité élevée avec une bonne tenue de tige. Gros feuillage.

P0725 (Pioneer, IT-2011), une référence en conventionnel, elle l'est également en bio. Sa bonne vigueur au départ est un de ses points forts et son gros gabarit participe à la bonne gestion des adventices.

ANAKIN (Euralis, 2018) présente une bonne vigueur de départ et tenue de tige correcte. Un bel avenir lui est promis en bio.

YZALI CS (Caussade, IT-2018), très productive mais également très tardive. Attention elle est à positionner dans les zones où l'offre climatique est conséquente.

Fertilisation azotée du maïs en AB

En l'absence de recours aux engrais minéraux de synthèse, la nutrition des cultures en agriculture biologique (AB) repose principalement sur une approche système afin de maximiser les processus naturels tels que la fixation symbiotique d'azote atmosphérique par les légumineuses, et la minéralisation des matières organiques du sol susceptibles de leur fournir de l'azote

et d'autres éléments minéraux sous une forme qu'elles sont capable d'assimiler. Des apports de fertilisants organiques peuvent également être faits, lorsque, malgré une optimisation du système de culture, les besoins de la plantes en éléments nutritifs ne sont pas couverts, et que la fertilité à long terme du système est mise en péril.

GERER L'AZOTE EN RAISONNANT A LA ROTATION

L'insertion de légumineuses dans les rotations demeure le principal levier mobilisable en AB pour introduire de l'azote dans les systèmes de culture d'autant plus qu'il provient d'une source gratuite et inépuisable : l'azote atmosphérique.

Les légumineuses pluriannuelles telles que les luzernes et certains trèfles sont les plus efficaces pour capter de grandes quantités d'azote de l'air grâce à leur symbiose avec les bactéries rhizobium présentes dans leurs nodosités racinaires, puis pour le restituer aux cultures suivantes après destruction. Toutefois, ces espèces consomment aussi des nutriments, notamment du potassium qu'elles exportent en grandes quantités lorsqu'elles sont récoltées en fourrage. De plus, en l'absence d'élevage ou de filière de déshydratation locale, leur valorisation économique n'est pas toujours possible.

Les légumineuses à graines telles que le pois, la féverole, le soja ou le haricot peuvent également constituer de bons précédents pour le maïs à condition

d'implanter une culture intermédiaire dès leur récolte pour éviter que l'azote minéral issu de la dégradation de leurs résidus ne soit perdu par lixiviation durant l'hiver.

Enfin, les cultures intermédiaires peuvent elles-mêmes représenter une bonne opportunité pour insérer des légumineuses dans la rotation d'autant plus que la longue période d'interculture qui précède le semis du maïs se prête bien à des productions de biomasses et des absorptions d'azote conséquentes. Pour les couverts végétaux composés de légumineuses pures (autorisés en AB dans la plupart des programmes d'actions régionaux de la Directive Nitrates), une destruction tardive en mars – avril est doublement recommandée : tout d'abord pour maximiser l'absorption d'azote par le couvert puis pour faire coïncider au mieux la minéralisation des résidus avec la période de forte absorption d'azote par le maïs. Toutefois, une destruction trop tardive peut s'avérer préjudiciable à la reconstitution de la réserve en eau du sol et à l'alimentation hydrique du maïs en particuliers sur les sols superficiels ou lors de printemps secs.

NE PAS NEGLIGER LES APPORTS D'ENGRAIS ORGANIQUES

En dehors des exploitations disposant d'un atelier d'élevage, la disponibilité des fertilisants organiques est souvent limitée et leur coût élevé. Cette tendance pourrait s'accroître dans les années à venir en raison des précisions apportées à la définition du terme « élevage industriel » du règlement de l'AB¹ et du développement des surfaces certifiées en AB. Pour autant, leur utilisation ne doit pas être négligée. En effet, s'il est relativement aisé d'augmenter les fournitures d'azote du sol en introduisant des légumineuses dans les rotations, il est plus difficile voire impossible de

maintenir à moyen et long terme un niveau de fertilité à même de satisfaire les besoins des cultures pour les autres nutriments sans avoir recours à des apports de matières fertilisantes. C'est le cas notamment du phosphore pour lequel des teneurs très faibles à l'analyse de sol sont fréquemment observées en AB, notamment en raison d'une compensation insuffisante des exportations de cet élément par les cultures.

De plus, les apports de matières organiques (engrais et amendements organiques, restitution des résidus de culture de vente et de couverts végétaux) contribuent à l'entretien du stock de matière organique du sol et permettent, entre autres, de maximiser la minéralisation.

¹ Le règlement européen RCE n° 889/2008 de l'agriculture biologique exclue l'utilisation en AB d'effluents provenant d'élevages "industriels". La définition de ce terme a été précisée en juillet 2019 par le CNAB et a été inscrite à l'annexe I de la directive n°2011/92/UE, elle entrera en application à partir du 1^{er} janvier 2021 : sont concernés les effluents provenant d'élevages en cages, en système caillebotis ou grilles intégral et dépassant les seuils de 60 000 poules pondeuses, 3000 porcs (> 30 kg) et 900 emplacements truies.

LES ESSAIS ENGRAIS AZOTES ORGANIQUES

L'utilisation des engrais organiques du commerce n'est pas aisée : en effet, l'azote qu'ils contiennent, principalement sous forme organique, doit d'abord être minéralisé avant d'être accessible à la plante. Plusieurs facteurs tels que la nature des produits, leur période d'apport ou la stratégie de fractionnement, en interaction avec les conditions de l'année, peuvent déterminer à partir de quand et à quelle vitesse va se produire cette minéralisation. La stratégie de fertilisation doit être, autant que possible, raisonnée de manière à ce que

l'azote minéralisé soit disponible lorsque le maïs en a le plus besoin.

Afin d'évaluer l'efficacité de quelques engrais organiques du commerce et de savoir à quelles périodes les apporter sur maïs pour une valorisation optimale de l'azote, ARVALIS a mis en place un réseau de 4 essais en 2018 et 2019, dont un en partenariat avec la Chambre d'agriculture de Dordogne. Les principales caractéristiques de ces quatre sites d'essais sont décrites dans le tableau 2, ci-dessous.

Tableau 2 : Caractéristiques principales des expérimentations engrais organiques 2018 et 2019

ESSAI	SAINT ETIENNE DE VILLEREAL - 2018	SOUPROSSE - 2018	SOUPROSSE - 2019	RAMPIEUX – 2019*
Année	2018	2018	2019	2019
Commune (département)	SAINT ETIENNE DE VILLEREAL (47)	SOUPROSSE (40)	SOUPROSSE (40)	RAMPIEUX (24)
Type de sol	Terrefort moyen	Sable limoneux Marsan	Alluvions limono-sableuses profondes	Alluvions limono- argileux
% MO	NA	1.41	1.38	NA
pH eau	8.4	7	6.5	7.2
P ₂ O ₅ Olsen (ppm)	17	22	87	21
Reliquat au semis (kg N/ha)	75	204	113	118
Précédent	Haricot sec	Soja	Soja	Orge + pois
Culture Intermédiaire	Féverole de printemps	Trèfle incarnat	Féverole de printemps	Mélange – Graminées - légumineuses dominantes
Travail du sol	Superficiel	Profond avec Retournement	Profond avec Retournement	Superficiel
Espèce / variété	Maïs grain / ROBERI	Maïs grain / MAS 55N	Maïs grain / P0725	Maïs grain / FUTURIXX
Date de semis	19/04/2018	25/04/2018	01/06/2019	29/05/2019
Date de récolte	11/09/2018	03/10/2018	01/10/2019	30/10/2019
Dose d'azote (kg N/ha)	150	110	150	150
Irrigation (mm)	145	75	200	125
Rendement du témoin non fertilisé	57.5 q/ha	83.0 q/ha	70.6 q/ha	99.2 q/ha
ETR	7.21 q/ha	8.76 q/ha	4.69 q/ha	9.98 /ha

* Partenariat Arvalis – Chambre d'agriculture de la Dordogne

Dans tous les essais, une courbe de réponse à l'azote a été mise en place avec les doses d'azote croissantes suivantes : 0, 70, 150 et 230 kg de N/ha. En **2018**, l'**engrais utilisé comme référence** (formule **10-2-2**) était principalement composé de farines de sous-produits animaux et a été appliqué au stade 8-10 F du maïs. En **2019**, c'est un autre engrais, de composition **10-6-0**, déjà testé en 2018, qui a été utilisé comme référence ; l'apport a été réalisé plus tôt, vers 6 F.

Différents engrais du commerce, tous à base de sous-produits animaux, mais dont les compositions varient, ont été testés et comparés à ces références, à la dose de **150 kg N/ha**.

De même, **différentes stratégies d'apport** ont également pu être éprouvées (toujours à la dose de 150 kg N/ha) : **apport anticipé** au stade 2-3 F, ou **apport fractionné** en 2 apports avec 50% de la dose totale à 2-3 F et le reste à 8-10 F (2018) ou 6F (2019).

ENGRAIS A BASE DE SOUS-PRODUITS ANIMAUX : ORIGINE DES MATIERES PREMIERES ET DISPONIBILITE DE L'AZOTE

Les matières premières entrant dans la composition des engrais organiques à base de sous-produits animaux proviennent essentiellement de farines de sang, de plumes, de viande et d'os issus d'abattoirs ou d'équarrissage. Tous les sous-produits animaux sont soumis au règlement européen (CE) n°1069/2009 qui les classe en trois catégories selon leur risque potentiel pour la santé humaine et animale et l'environnement. Les matières de la catégorie 1 sont celles qui présentent le risque le plus important pour la santé publique (produits d'équarrissage provenant de cadavres d'animaux malades ou abattus à la ferme pour lesquels un risque de transmission de maladie contagieuse est suspecté). Les matières de la catégorie 2 comprennent les sous-produits issus d'animaux trouvés morts en élevage présentant un risque sanitaire faible ainsi que des produits d'origine animale contenant des résidus de médicaments vétérinaires. Enfin, les matières de catégorie 3, provenant d'abattoirs ou d'industries agro-alimentaires, ne présentent pas de risque sanitaire pour la santé animale ou la santé publique et sont les seules qui peuvent être valorisées en alimentation animale. Seuls les produits des catégories les moins à risque (catégories 2 et 3) peuvent être utilisés dans la fabrication d'engrais organiques après avoir subi un procédé d'hygiénisation (stérilisation à 120°C sous 3 bars de pression). Ceux de la catégorie 1, classés « Matières à Risque Sanitaire » (MSR), sont obligatoirement détruits par incinération.

Les engrais testés dans nos essais (engrais organiques 8-12-0, 9-6-0, 10-2-2, 10-6-0 et 13-2-0), tous composés exclusivement ou en grande partie de sous-produits animaux, se différencient principalement par la proportion dans chacun d'entre eux des matières premières qui les composent et l'équilibre entre les éléments N, P et K qui en découle. Cette composition n'est pas sans incidence sur la disponibilité de l'azote pour la culture. Ainsi, les farines de sang et les farines de plumes se caractérisent par des teneurs en azote élevées (13 à 14%) rapidement mis à disposition des plantes. A contrario, l'azote contenu dans les farines de viande et d'os nécessite plus de temps pour être minéralisé, et donc assimilé par les plantes. De plus, ces dernières ont des teneurs en azote plus faibles que les farines de sang et de plumes mais leurs teneurs en phosphore sont plus élevées.

La vitesse et le taux de minéralisation d'un engrais organique sont souvent assez bien corrélés à sa teneur en azote : plus cette teneur augmente et plus l'azote est rapidement accessible pour les plantes. Cependant, ce n'est pas toujours le cas : d'autres facteurs comme la finesse de mouture des matières premières qui composent l'engrais ainsi que la granulométrie et la dureté des granulés ou des bouchons peuvent également avoir une incidence sur la disponibilité de l'azote.

COMPARAISON DE DIFFERENTS ENGRAIS AZOTES ORGANIQUES

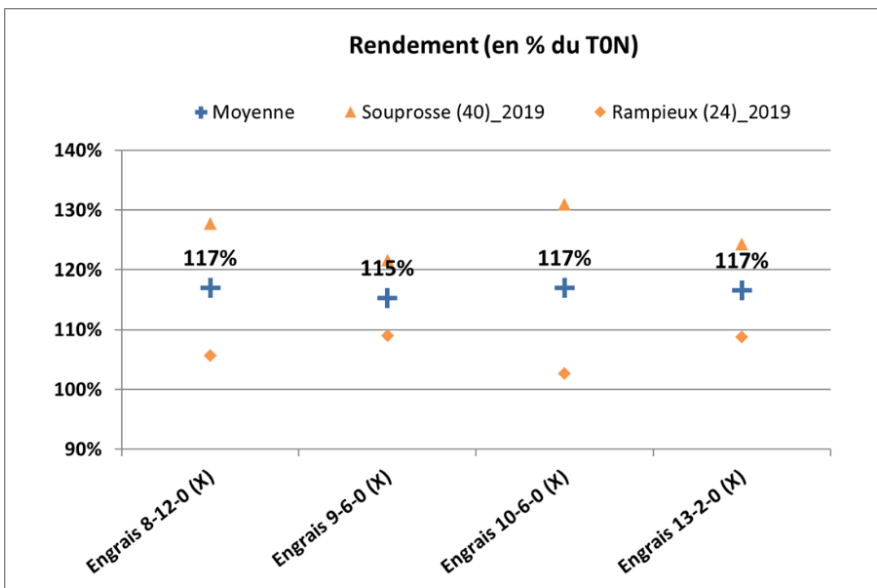
Les **essais 2019** ont permis de **comparer l'effet de la fertilisation de différents engrais azotés à base de sous-produits animaux**. Les résultats de rendement sont exprimés en pourcentage par rapport au rendement du témoin non fertilisé de l'essai.

Un gain de rendement est observé pour toutes les situations fertilisées (dose N = 150 kg N/ha) par rapport au témoin non fertilisé. Ce gain de rendement est compris entre 3 et 31% suivant les essais et les produits utilisés. En outre, la réponse à l'azote a été plus marquée dans l'essai de Souprosse (40) sur alluvions

limono-sableuses avec un gain de rendement moyen de + 26% (22 à 31% suivant la forme) que dans l'essai de Rampieux (24) sur sol d'alluvions limono-argileuses (gain de rendement de + 7% en moyenne, de 3 à 9% suivant la forme).

En revanche, l'écart de rendement entre produits au sein d'un même essai est faible et leur classement diffère dans chacun des deux essais (figure 4). **En moyenne sur les deux essais 2019, l'effet sur le rendement du maïs est pratiquement le même quel que soit l'engrais organique.**

Figure 4 : Rendements 2019 du maïs pour différents engrais organiques (en % du témoin non fertilisé)



ARVALIS
Institut du végétal

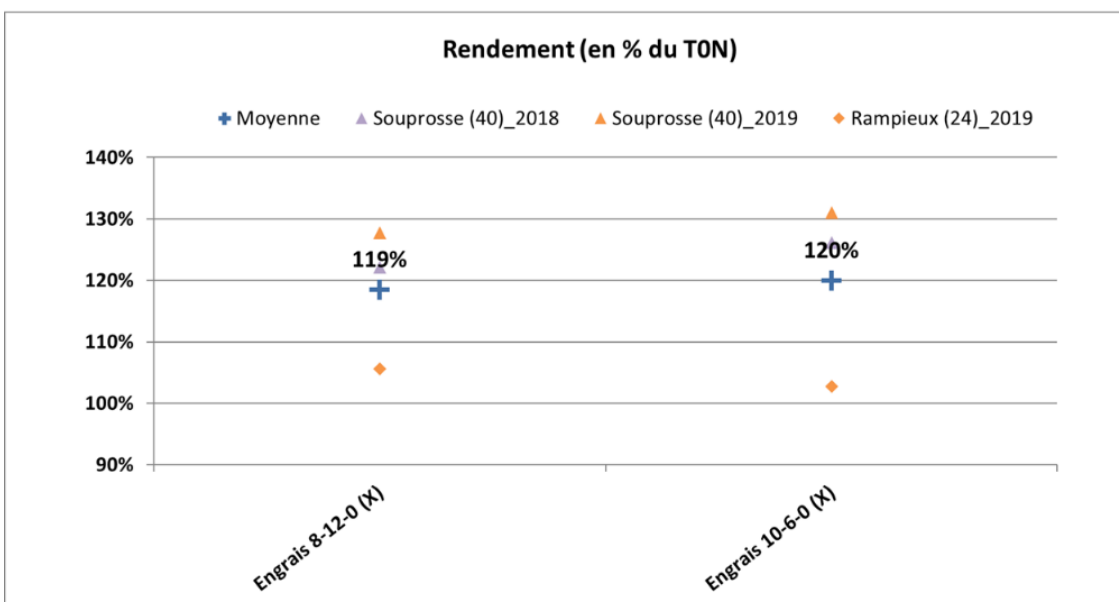


Dose X = 150 kg N/ha, Rendement du témoin non fertilisé : Souprosse_2019 : 70,6 q/ha, Rampieux_2019 : 99.2 q/ha

Les engrais 8-12-0 et 10-6-0 avaient déjà été testés en 2018 dans l'essai de Souprosse. En ajoutant cet essai (figure 5), le gain de rendement moyen obtenu pour ces

deux produits reste du même ordre de grandeur et la conclusion demeure identique.

Figure 5 : Rendements du maïs obtenus pour les engrais organiques 8-12-0 et 10-6-0 dans les essais 2018 et 2019 (en % du témoin non fertilisé)



ARVALIS
Institut du végétal

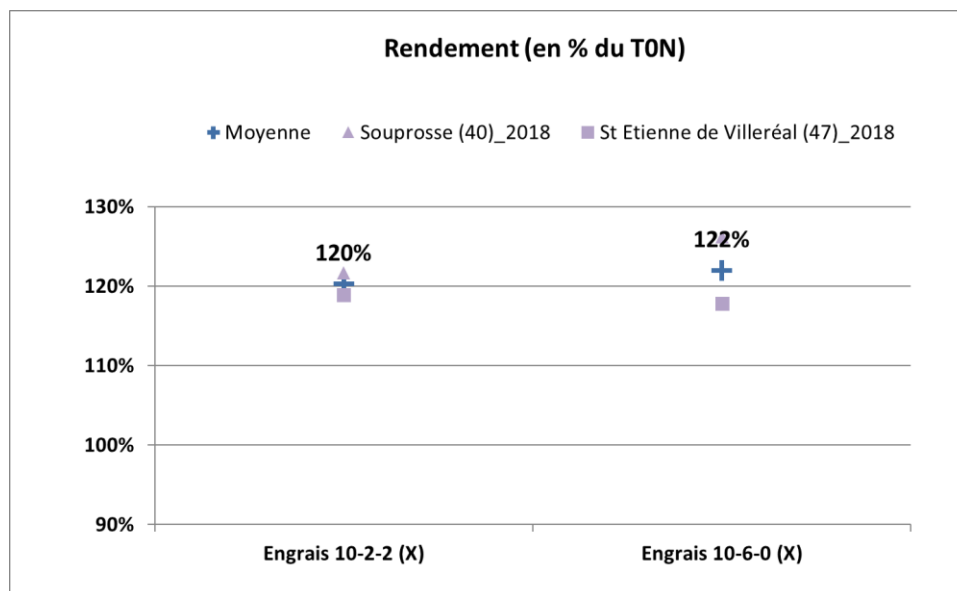


Dose X = 150 kg N/ha, Rendement du témoin non fertilisé : Souprosse_2018 : 83,0 q/ha, Souprosse_2019 : 70,6 q/ha, Rampieux_2019 : 99.2 q/ha

Enfin, un cinquième engrais, de formule 10-2-2, non testé en 2019 avait été évalué dans les deux essais 2018 dans lesquels sont rendement a pu être comparé à celui de l'engrais 10-6-0 (figure 6). Là encore, l'apport de 150 kg de N/ha sous forme organique permet un gain de

rendement de l'ordre de 20% par rapport à une situation non fertilisée mais l'écart entre produit demeure assez faible (avantage de +2% de rendement pour l'engrais 10-6-0).

Figure 6 : Rendements du maïs obtenus pour les engrais organiques 10-2-2 et 10-6-0 dans les essais 2018 (en % du témoin non fertilisé)



Dose X = 150 kg N/ha, Rendement du témoin non fertilisé : Souprosse_2018 : 83,0 q/ha, Saint Etienne de Villeréal : 57.5 q/ha

Malgré des compositions en N, P, K différentes et des vitesses de minéralisation de l'azote qui, a priori, ne sont pas les mêmes d'un produit à l'autre, **le choix d'un engrais organique plutôt qu'un autre ne semble pas avoir beaucoup d'effet sur le rendement du maïs dans nos essais.**

Cela peut s'expliquer par les conditions initiales des essais dans lesquelles l'azote ne semble pas être très limitant (valeurs de reliquats élevées au semis du maïs et fourniture d'azote par la minéralisation des résidus de

cultures potentiellement importante du fait de la présence de légumineuses à la fois en culture précédente puis en culture intermédiaire avant le maïs). De plus, contrairement aux apports de produits organiques sur blé qui ont lieu plus tôt, les apports sur maïs sont réalisés à une période de l'année durant laquelle la minéralisation est intense. Quel que soit le produit, l'azote qu'il contient est donc rapidement disponible pour la culture ce qui peut avoir pour conséquence de minimiser les différences entre produits.

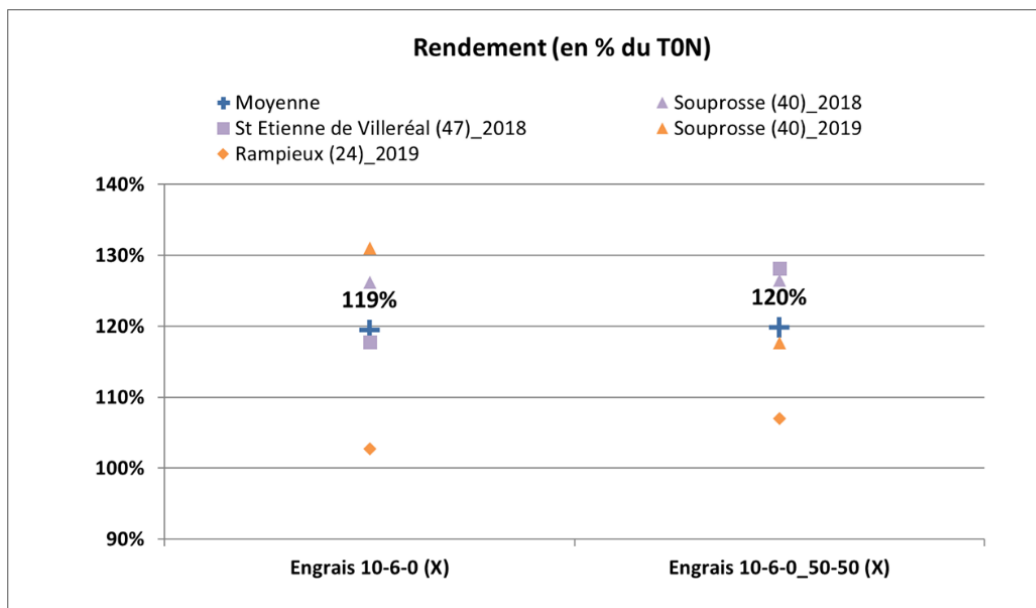
COMPARAISON DE DIFFERENTES STRATEGIES D'APPORTS

Différentes modalités d'apport ont également été testées dans les essais 2018 et 2019 afin de **déterminer à quel stade il est préférable d'apporter les engrais organiques sur maïs** et s'il est **utile ou non de fractionner** les apports.

En moyenne, sur les 4 essais, la stratégie de **fractionnement en deux apports** (un premier vers 2-3 F et le second entre 6 et 10 F) ne permet pas d'amélioration sensible du rendement par rapport à la

stratégie de fertilisation plus classique en un seul apport d'engrais organique entre 6 et 10 F (respectivement 120% et 119% du rendement du témoin non fertilisé, figure 7). De plus, des tendances contradictoires ont pu être observées d'un essai à l'autre : gain de rendement en 2018 à St Etienne de Villeréal et en 2019 à Rampieux (+ 10% et + 4%), pas de différence à Souprosse en 2018 et perte de rendement à Souprosse en 2019 (-13%).

Figure 7 : Rendements du maïs obtenus pour une stratégie de fertilisation en un seul apport versus une stratégie en deux apports dans les essais 2018 et 2019 (en % du témoin non fertilisé)



ARVALIS
Institut du végétal

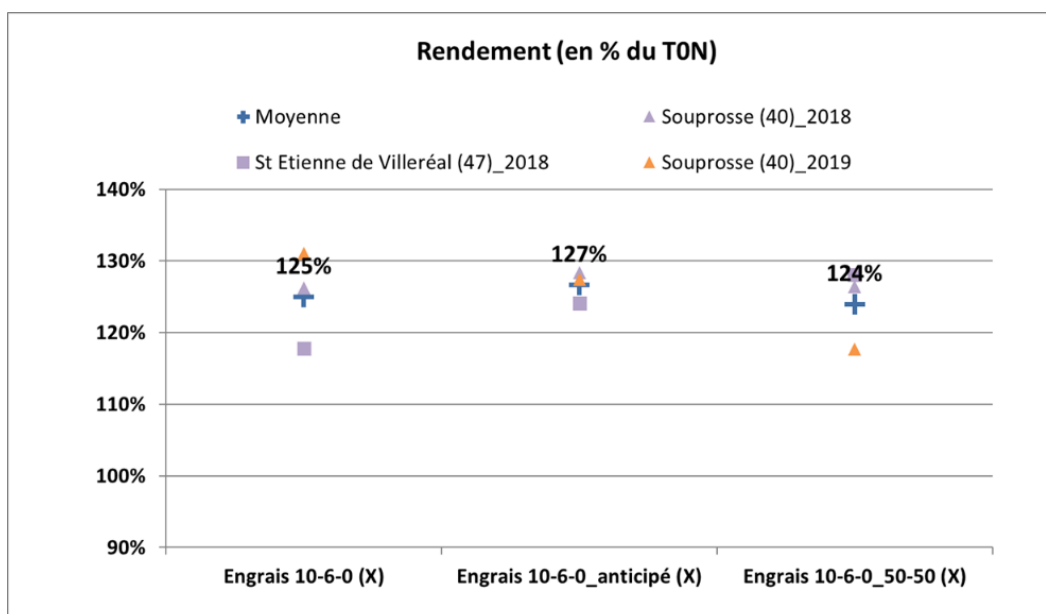


Dose X = 150 kg N/ha, Rendement témoin non fertilisé : Souprosse_2018 : 83,0 q/ha, St Etienne de Villeréal_2018 : 57,5 q/ha, Souprosse_2019 : 70,6 q/ha, Rampieux_2019 : 99.2 q/ha

Dans 3 des 4 essais, une **stratégie d'anticipation de l'apport vers 2-3 F** a également été évaluée et comparée aux stratégies « 1 seul apport tardif » et « 2 apports » (figure 8). Les écarts moyens de rendement entre ces 3 stratégies restent assez faibles et aucun

classement n'apparaît de manière évidente. Ainsi, à Saint Etienne de Villeréal, l'apport anticipé semblait être plus performant que l'apport « classique » mais moins intéressant que la stratégie en 2 apports alors que l'on observe le classement inverse à Souprosse en 2019.

Figure 8 : Comparaison des rendements du maïs obtenus pour différentes stratégies de fertilisation (1 seul apport tardif, 1 seul apport précoce, 2 apports) dans les essais 2018 et 2019 (en % du témoin non fertilisé)



ARVALIS
Institut du végétal



Tout comme la nature de l'engrais organique utilisé, son mode de fractionnement et sa période d'apport semblent avoir assez peu d'incidence sur le rendement du maïs dans nos essais.

En AB, lorsque les fournitures d'azote par le sol (minéralisation de l'humus et des résidus de culture) sont déjà importantes, les modalités d'apports des produits organiques sur maïs (choix d'une forme d'engrais par rapport à une autre, date et nombre d'apports) ne semblent pas être aussi déterminantes qu'en conventionnel. La stratégie de fertilisation du maïs bio peut-être raisonnée de manière plus globale, en tenant compte d'autres facteurs que la seule nutrition azotée de la plante. **Le choix de la forme d'engrais sera avant tout dicté par son coût et les contraintes d'approvisionnement** telles que sa disponibilité locale. La **facilité d'épandage** (granulométrie) est également un facteur important.

Enfin, bien que la **teneur en phosphore des engrais** ne présente pas d'effet sur le rendement dans nos essais

annuels, elle peut constituer un critère dans le choix des produits afin d'entretenir la fertilité des sols à moyen et long terme vis-à-vis de cet élément.

Le fractionnement des apports organiques sur maïs ne semble pas présenter d'intérêt et n'est donc pas recommandé puisqu'il constitue un passage supplémentaire à moins d'être couplé à une autre opération culturale (binage par exemple). Il semble d'ailleurs judicieux de réaliser les apports d'engrais organiques juste avant un binage. Cette opération permettra d'une part de détruire les adventices et d'éviter qu'elles n'absorbent les éléments nutritifs de l'engrais destinés au maïs. D'autre part, le binage assurera une incorporation partielle de l'engrais et favorisera ainsi sa minéralisation. A l'inverse, les apports d'engrais dans des situations où la pression d'adventices est déjà forte sont à proscrire. En effet, cela risque de favoriser leur développement et d'accroître leur pouvoir compétitif sur le maïs.

RENTABILITE ECONOMIQUE DES APPORTS D'ENGRAIS

Dans les 4 essais du réseau 2018-2019, l'apport d'engrais organique à hauteur de 150 kg N/ha se traduit toujours par un gain de rendement, de + 2.7 à + 21.9 q/ha (moyenne + 13.4 q/ha). Les courbes de réponse à l'azote mises en place ont également permis d'estimer le rendement optimal et la dose d'azote correspondante (optimum technique). Cependant, **la rentabilité de cet apport d'azote est très variable : elle dépend du gain de rendement** (plus ou moins important d'une situation à l'autre) mais aussi **du coût des engrais et de la valorisation économique du maïs.**

Pour chaque essai, un « **rendement économique** » a été calculé en déduisant du rendement aux normes obtenu pour l'essai, la part de rendement qui permettrait de compenser le coût des engrais organiques :

$$\text{Rendement économique} = \text{Rendement aux normes} - (\text{coût engrais} / \text{prix de vente maïs})$$

Différentes hypothèses de prix de vente du maïs et de prix d'achat des engrais organiques détaillées dans le tableau 3 ont été comparées.

Tableau 3 : Scénarios de prix de vente du maïs bio et des prix d'achat des engrais organiques étudiés dans

Scénarios prix de vente du maïs consommation bio	Prix maïs (€/t)	Scénario coût des engrais	Prix d'achat des engrais (€/t)
Scénario de prix bas	280	Coût faible	310
Scénario de prix médian	300		
Scénario de prix élevé	330	Coût élevé	410

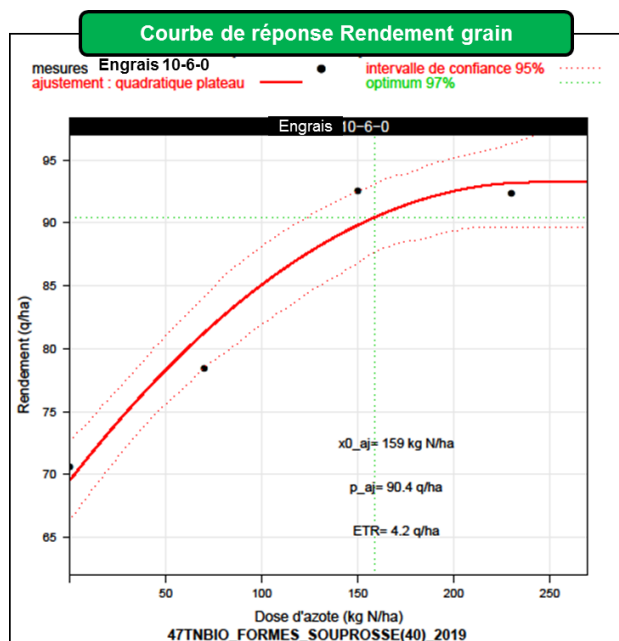
Pour chaque essai et pour chaque scénario de prix, des courbes de réponses à l'azote du rendement économique ont été ajustées afin de **déterminer la dose d'azote optimale à apporter au maïs.**

Cette approche est illustrée pour l'essai de Souprosse 2019 avec l'ajustement de l'optimum technique (Figure 9.a) et de l'optimum économique, pour un scénario de

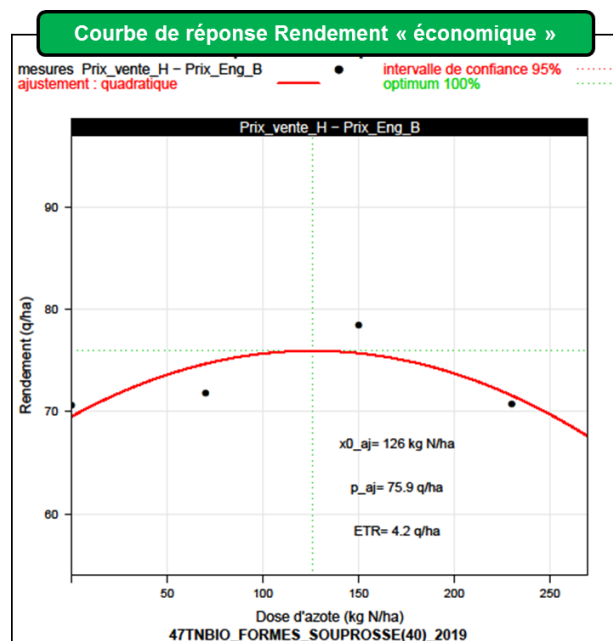
prix de vente élevé du maïs et de coût faible des engrais organiques (Figure 9. b). Dans cet exemple, la dose d'azote de 159 kg N/ha à l'optimum technique permet d'obtenir un rendement de 90.4 q/ha. L'optimum économique, quant à lui, est atteint dès 126 kg de N/ha et permet d'atteindre un rendement « économique » de 75.9 q/ha (soit un rendement technique correspondant de 87.8 q/ha).

Figure 9 : Estimation de la dose d'azote optimale de l'essai de Souprosse 2019 par ajustement de courbes de réponse à l'azote

a) Estimation de la dose d'azote à l'optimum technique



b) Estimation de la dose d'azote à l'optimum économique



L'ensemble des situations évaluées sont détaillées dans le tableau 4.

Dans les **essais de St Etienne de Villeréal et de Rampieux**, quel que soit le scénario de prix, la dose d'azote à l'optimum économique est nulle. De plus, la dose d'azote et le rendement à l'optimum technique n'ont pas pu être déterminés avec exactitude car le rendement du maïs, ajusté à l'aide de la courbe de réponse à l'azote, ne plafonne pas mais continue de progresser avec l'augmentation de la dose d'azote au-delà de la dose maximale de 230 kg N/ha apportée dans les essais. Cependant, dans ces deux essais, cette réponse positive du rendement à la dose d'azote est trop faible pour rentabiliser les charges liées à l'achat d'engrais. Cette mauvaise valorisation de l'azote se traduit d'ailleurs, dans ces deux essais, par un faible coefficient apparent d'utilisation de l'azote. La valeur de cet indicateur est de 24% pour l'engrais 10-6-0 dans les deux essais ce qui signifie que seulement 24% de l'azote apporté par l'engrais a été absorbé par le maïs.

En revanche, dans les deux **essais de Souprosse (2018 et 2019)**, les apports d'engrais azotés organiques sont mieux valorisés (CAU respectifs de 30 et 44%) et restent rentables dans les différents scénarios testés. La dose d'azote optimale varie entre 11 kg N/ha dans le

contexte le plus défavorable (prix des engrais élevé et faible valorisation du maïs) et 126 kg de N/ha lorsque le coût des engrais est faible et le prix de vente du maïs est élevé. **Dans le contexte actuel** (prix de vente du maïs bio de l'ordre de 330 €/t et coût des engrais azotés organiques élevé), **des doses d'azote comprises entre 60 et 90 kg N/ha semblent bien adaptés au contexte des sols sablo-limoneux ou limono-sableux des Landes** où les apports d'azote sur maïs sont généralement bien valorisés par cette culture.

Il est important de préciser que dans les 4 essais, l'azote n'est pas un facteur très limitant. En effet, les valeurs de reliquats azotés au semis du maïs sont élevées (75 à 204 kg N/ha) et les précédents du maïs sont des légumineuses (aussi bien la culture principale que la culture intermédiaire qui précède le maïs). Ceci peut en partie expliquer la mauvaise valorisation des apports d'engrais dans les essais de Saint Etienne de Villeréal et de Rampieux. De plus, l'essai de Rampieux a également été pénalisé par des conditions hydromorphes durant une partie du printemps. Cependant, les deux essais de Souprosse montrent aussi que le maïs peut très bien valoriser des apports d'engrais organiques, y compris dans des situations où, initialement, l'azote est déjà peu limitant.

Tableau 4 : Dose d'azote optimale selon différents scénarios de prix de vente du maïs et des engrais organiques

Essai	Rendement obtenu pour la dose de 150 kg N/ha ¹	Optimum technique		Scénario économique		Optimum économique		
		Dose N optimale (kg N/ha)	Rendement à la dose optimale (q/ha) ³	Coût engrais	Prix de vente maïs	Dose N optimale (kg N/ha)	Rendement économique à la dose optimale (q/ha) ³	Rendement technique à la dose optimale (q/ha) ³
SAINT ETIENNE DE VILLEREAL - 2018	68.4	> 230 ²	72.1 (pour la dose de 230 kg N/ha)	Faible	Médian	0	57.5	57.5
					Bas	0	57.5	57.5
					Haut	0	57.5	57.5
				Elevé	Médian	0	57.5	57.5
					Bas	0	57.5	57.5
					Haut	0	57.5	57.5
SOUPROSSE - 2018	101.0	209	104.0	Faible	Médian	102	85.0	95.6
					Bas	87	84.3	93.9
					Haut	122	86.2	97.5
				Elevé	Médian	30	82.8	86.9
					Bas	11	82.6	84.2
					Haut	58	83.4	90.5
SOUPROSSE - 2019	92.5	159	90.4	Faible	Médian	114	74.9	86.6
					Bas	104	74.1	85.6
					Haut	126	75.9	87.8
				Elevé	Médian	73	71.7	81.7
					Bas	61	71.1	80.0
					Haut	88	72.7	83.7
RAMPIEUX - 2019	101.9	> 230 ²	109.7 (pour la dose de 230 kg N/ha)	Faible	Médian	0	99.2	99.2
					Bas	0	99.2	99.2
					Haut	0	99.2	99.2
				Elevé	Médian	0	99.2	99.2
					Bas	0	99.2	99.2
					Haut	0	99.2	99.2

¹ Valeur de rendement mesurée dans les essais

² Plateau de la courbe de réponse non atteint pour la dose d'azote de 300 kg N/ha

³ Valeur de rendement estimée à partir des courbes de réponse (sauf lorsque la dose optimale = 0 kg N/ha ou > 230 kg N/ha, dans ce cas, la valeur de rendement est celle mesurée dans l'essai)

Enfin, dans des situations qui, a priori, valorisent davantage les apports organiques (par exemple : précédent non légumineuse, stock d'azote minéral au

semis du maïs plus faible), la dose d'azote optimale serait probablement plus élevée que celles calculées dans nos essais.

ARVALIS
Institut du végétal

3 rue Joseph et Marie Hackin
75116 Paris
Tél. 01 44 31 10 00
Fax 01 44 31 10 10
www.arvalisinstitutduvegetal.fr

Membre de :



Partenaire technique **ACTIA**