

& CHOISIR & DÉCIDER

SYNTHÈSE
NATIONALE
2020



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
Choisir une variété de maïs en AB.....	3
Résultats du réseau Nord et Centre.....	4
Résultats du réseau Sud et Alsace.....	8
Fertilisation azotée du maïs en AB.....	12
Gérer l'azote en raisonnant a la rotation.....	12
Ne pas négliger les apports d'engrais organiques.....	13
Les essais engrais azotés organiques.....	13
Engrais à base de sous-produits animaux : origine des matières premières et disponibilité de l'azote.....	14
Comparaison d'engrais azotés organiques et de stratégies d'apports.....	15
Effet de la fertilisation starter en AB.....	16
Rentabilité économique des apports d'engrais.....	19
Fertilisation du maïs en AB : Préconisations.....	22

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 des réseaux de criblage variétal maïs en AB Sud + Alsace et Nord + Centre, vous aideront à choisir ou recommander une variété en AB adaptée à vos objectifs.
- **Fertilisation organique** : Les résultats du réseau d'essais fertilisation 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, Agnès TREGUIER (ARVALIS)
	Analyse de données et réalisation de la synthèse	Nathalie MANGEL, Agnès TREGUIER et Bruno MARTIN (ARVALIS)
	Partenaires	CA24, CA40, CAR IDF, CA HDF, CAPROGA La Meunière, CAUSSADE Semences, CERESIA BIO, EURALIS Groupe Coopératif, EURALIS Semences, NATUP, OXYANE, SCAEL, VAL'EPI, VALFRANCE, VALSOLEIL
FERTILISATION ORGANIQUE	Animation du réseau d'essais	Grégory VERICEL (ARVALIS)
	Analyse de données et réalisation de la synthèse	Grégory VERICEL et Clémence ALIAGA (ARVALIS)
	Partenaires expérimentateurs	ARVALIS, CA24, CA40

ARVALIS REMERCIE VIVEMENT LES PARTENAIRES EXPERIMENTATEURS POUR LA FOURNITURE DES DONNEES, LES OBTENEURS 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 de maïs grain en agriculture biologique (AB) dans le sud de la France et l'Alsace, en collaboration avec des agriculteurs, des coopératives, des négoce, des Chambres d'Agriculture et des établissements de semences. En 2020, ce screening s'élargit avec le lancement d'un réseau complémentaire dans la moitié nord de la France, toujours en étroite collaboration avec des partenaires.

Ce chapitre présente les résultats des variétés expérimentées en tronc commun entre les essais 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.

Le développement de la surface de production de maïs en agriculture biologique a entraîné une augmentation de l'offre des variétés. En considérant les deux réseaux, Sud+Alsace et Nord+Centre, la gamme de précocité des

variétés comparées en 2020 par ARVALIS et ses partenaires est vaste puisqu'elle s'étend des groupes G0 à G5, avec les variétés très précoces (G0) à demi-tardives (G2) au nord et les demi-précoces (G2) à tardives (G5) au sud et en Alsace. 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.

CHOISIR UNE VARIETE DE MAÏS EN AB

Le choix des variétés de maïs en bio tient compte de critères courants tels que la précocité, la régularité de rendement entre les essais et les années, le rendement et la tenue de tige.

La vigueur au départ est un critère apprécié. Des variétés avec un bon démarrage sont préférées pour, entre autres, limiter le développement des adventices (effet d'ombrage plus rapide) et mieux esquiver les dégâts de ravageurs de début de cycle.

La tolérance à la fonte des semis, à l'helminthosporiose et aux fusarioses des épis sont des attentes, comme en

cultures conventionnelles ; les conditions climatiques de 2020 n'ont pas été propices à l'observation de ces phénomènes.

Le choix de la précocité est à adapter aux dates de semis, souvent plus tardives en bio qu'en conventionnel, afin de favoriser le démarrage de la culture dans des conditions poussantes et de multiplier en amont les faux semis. Si la date de semis est reculée (ex : 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.

RESULTATS DU RESEAU NORD ET CENTRE

3 essais parmi les 9 mis en place, comprenant 12 variétés communes, ont été retenus pour la synthèse sur la base de leur validité agronomique et statistique. 2 d'entre eux ont été irrigués. En moyenne, les rendements des trois groupes de précocité (G0, G1 et G2), toutes variétés confondues, sont peu discriminants. Les humidités à la récolte sont cohérentes entre groupes de précocité. Dans certains essais (non retenus dans cette synthèse), le potentiel des variétés a été très impacté par un stress hydrique prononcé et des

températures élevées. La perte de rendement était d'autant plus importante que ces conditions stressantes coïncidaient avec leur date de floraison femelle. La difficulté de gestion des adventices (chénopodes) et/ou des ravageurs (corbeaux, sangliers) sont également à l'origine de l'abandon ou de la non-validation de certains essais. **A noter que ces résultats sont à confirmer car peu de données étaient disponibles pour effectuer cette synthèse.**

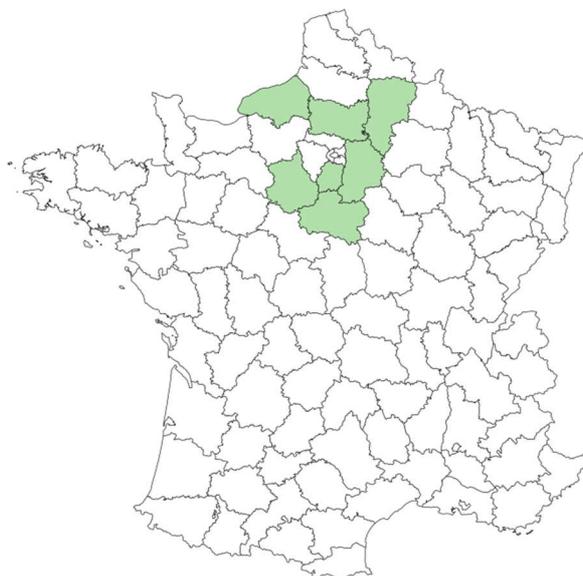
Les partenaires du Réseau Nord et Centre en 2020 :



Tableau 1 : Description des essais variétés maïs en AB retenus – Réseau Nord+Centre (campagne 2020)

Site d'essai	Dép.	Organismes expérimentateurs	Date de semis	Date de récolte	Type de sol	Profondeur exploitable par les racines (cm)	Précédent	Irrigation
GOUILLONS	28	SCAEL	16/04/2020	21/10/2020	ARGILO-CALCAIRE PROFOND	120	/	Oui / 140mm
PATAY	45	ARVALIS	11/04/2020	08/10/2020	LIMON ARGILEUX	120	BLE TENDRE	Oui / 270mm
LA NEUVILLE SUR OUDEUIL	60	CA60	15/05/2020	07/10/2020	LIMON BATTANT SAIN	150	POIS D'HIVER + TRITICALE	Non

Figure 1 : Localisation des essais de criblage variétal maïs bio – Réseau Nord+Centre (campagne 2020)



Rendements et précocités

Figure 2 : Rendement des variétés de maïs (q/ha) : moyenne et écart type sur les 3 sites expérimentaux – Réseau Nord+Centre (Récolte 2020)

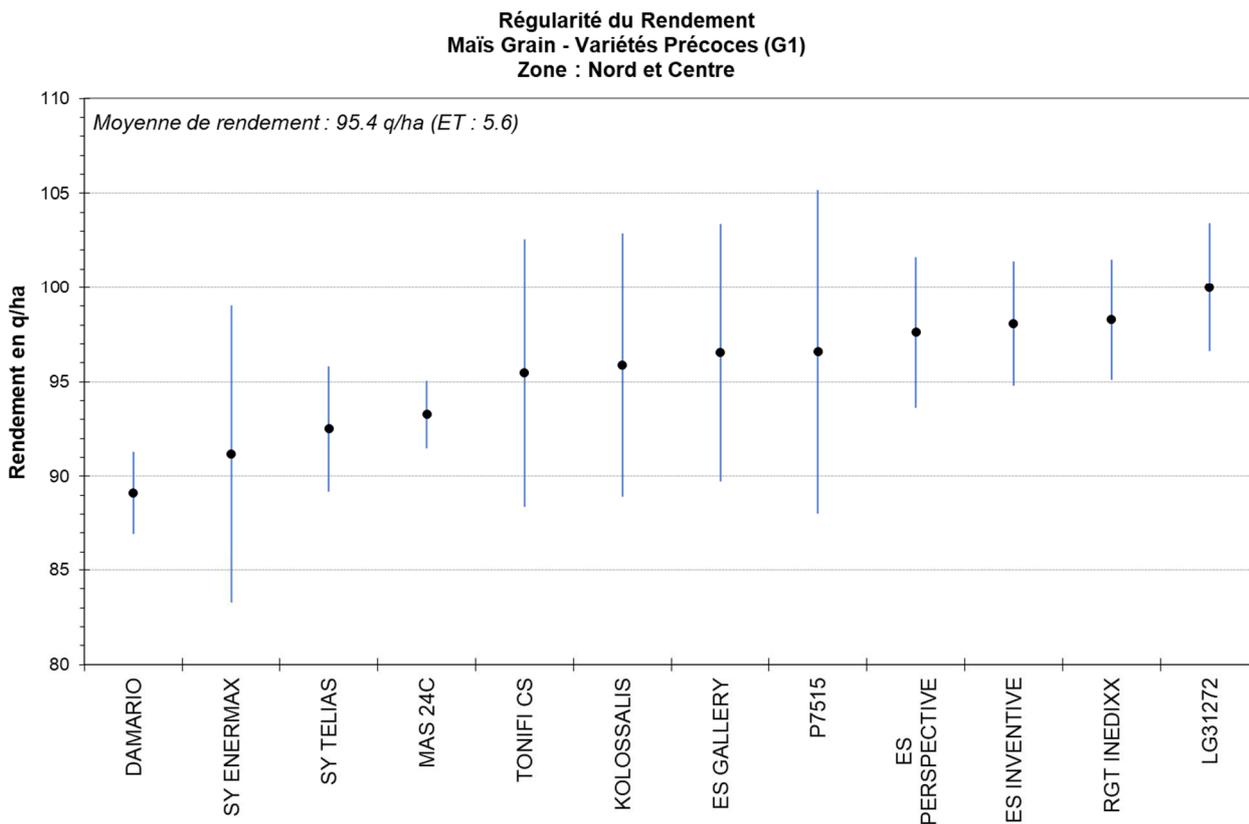
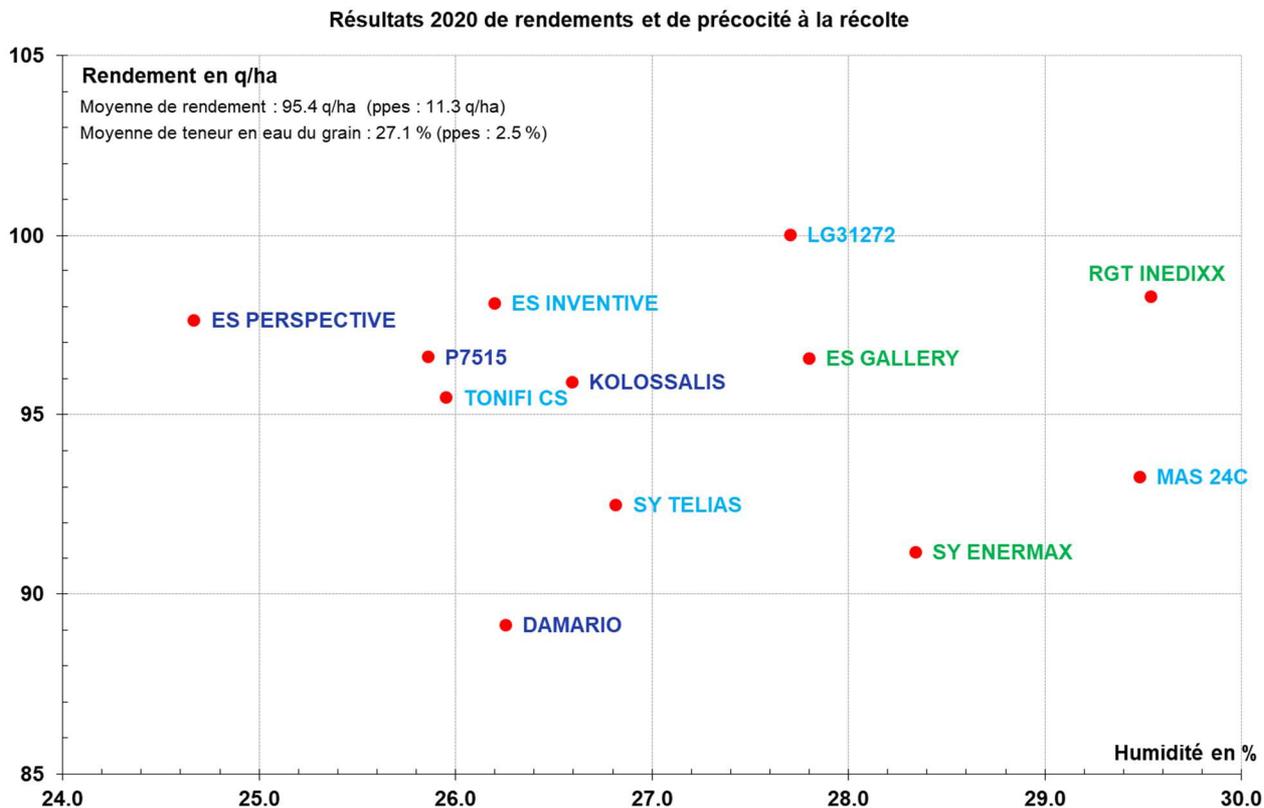


Figure 3 : Relation rendement (q/ha)– précocité à la récolte (taux d’humidité) – Réseau Nord+Centre (Récolte 2020)



Caractéristiques agronomiques

Le tableau ci-dessous présente les résultats des variétés communes aux essais retenus pour leur précision agronomique et statistique. Au sein des groupes de précocité, des différences de performances sont constatées en matière de vigueur au

départ, de rendement et de régularité de rendement entre les lieux d'essais, et parfois de tenue de tige. De faibles valeurs d'écart-type (E.T.) entre les essais sont des points forts.

Tableau 2 : Résultats des variétés expérimentées en tronc commun entre les essais – Réseau Nord+Centre (Récolte 2020)

VARIETES Très précoces à Demi-précoces G0-G2 Variétés en étude	Groupe de précocité	Inscription	Représentant de la variété	Année d'inscription	Type d'hybride	Type de grain	Rendement et Régularité en % de la moyenne des essais			Humidité récolte en %	Verse récolte en %	Vigueur au départ (note)	PMG	Ecart de date de floraison en jours
							Densité 1000 / ha							
							2020	2020	E.T. 2020					
ES PERSPECTIVE	G0	g	Euralis Semences/Euralis Sem.	2017	HS	cd	93.3	102.4	4.2	24.7	-	6.6	-	0.8
P7515	G0	c	Pioneer Semences	DE-2017	HS	cd	88.4	101.3	9.0	25.9	-	5.4	-	1.1
KOLOSSALIS	G0	g	KWS Maïs France	2015	HTV	cc	90.4	100.5	7.3	26.6	-	6.8	-	3.1
DAMARIO	G0	f	Semences de France	2019	TV	cd	85.3	93.4	2.3	26.3	-	6.2	-	3.4
LG31272	G1	g	LG/Limagrain Europe	2020	HS	cd	94.6	104.9	3.6	27.7	-	7.6	-	0.8
ES INVENTIVE	G1	g	Euralis Semences/Euralis Sem.	2017	HS	cd	90.8	102.8	3.5	26.2	-	6.3	-	1.6
TONIFI CS	G1	g	Caussade Semences	2017	HS	c.cd	87.9	100.1	7.4	26.0	-	6.2	-	0.4
MAS 24C	G1	g	MAS Seeds	2017	HS	cd	87.3	97.8	1.9	29.5	-	6.5	-	0.4
SY TELIAS	G1	g	Syngenta France SAS	2017	HS	cd.d	90.5	97.0	3.5	26.8	-	7.0	-	0.4
RGT INEDIXX	G2	g	RAGT Semences	2019	HS	cd.d	77.1	103.0	3.4	29.5	-	5.9	-	4.2
ES GALLERY	G2	g	Euralis Semences/Euralis Sem.	2012	HS	cd	88.5	101.2	7.2	27.8	-	5.9	-	3.2
SY ENERMAX	G2	g	Syngenta France SAS	2018	HS	d	90.0	95.6	8.3	28.3	-	6.5	-	1.2
Moyenne des essais							-	100 = 95.4 q/ha		27.1%	di	6.4	di	19/7
Nombre d'essais							3	3		3	di	2	di	3
Analyse statistique P.P.E.S.							-	11.9%	-	2.5%	-	1.3	-	3.3

Lieux retenus pour rendement et précocité : GOUILLONS - 28. PATAY - 45. LA NEUVILLE SUR OUDEUIL - 60

Résultats définitifs du Réseau de variétés de maïs Post-Inscription 2020

Légende des données des tableaux:

- 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.
- Représentant de la variété : Etablissement de semences qui représente la variété en 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 2020.
 - + E.T. : indicateur de variabilité des rendements entre les essais de la synthèse 2020. Il est exprimé en % de la moyenne des rendements.
Plus il est faible, plus la variété présente des résultats stables entre essais.
- 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.
- PMG : Poids de mille grains moyen à la récolte à densité de référence
- Ecart de date de floraison en jours : écart de date de floraison avec la moyenne des variétés en jours.

di : données insuffisantes pour effectuer une synthèse.

Lieux retenus : sont précisées les communes (départements) des essais retenus dans les synthèses pour (i) les rendements, teneurs en eau du grain à la récolte et densités de culture, (ii) la verse.

Les lieux retenus pour les synthèses sur les autres caractères ne sont pas précisés dans ce document.

RESULTATS DU RESEAU SUD ET ALSACE

6 essais parmi les 10 mis en place, comprenant 14 variétés communes, ont été retenus pour la synthèse sur la base de leur validité agronomique et statistique. Les rendements moyens des deux groupes de précocité (G4 et G5), toutes variétés confondues, sont peu discriminants. Les humidités à la récolte sont cohérentes

avec ces groupes de précocité. Certains secteurs de cette zone d'étude ont été marqués par une sécheresse et des températures estivales importantes en 2020 (en Rhône-Alpes par exemple). L'irrigation des essais a bien souvent permis de compenser le stress engendré.

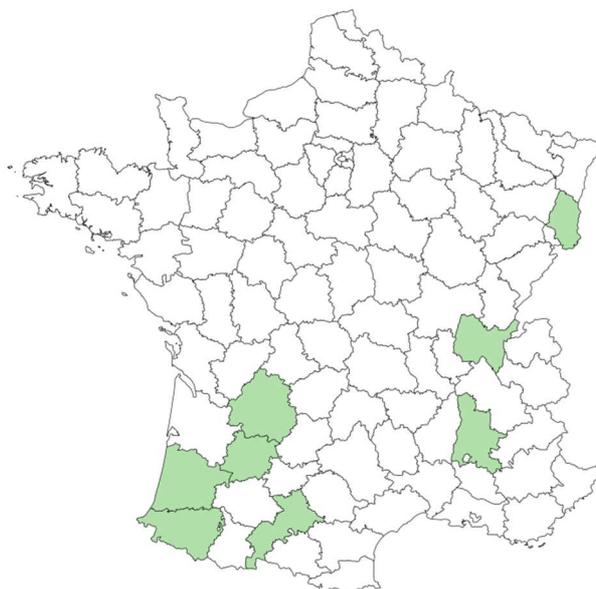
Les partenaires du réseau Sud et Alsace en 2020 :



Tableau 3 : Description des essais variétés maïs en AB retenus – Réseau Sud+Alsace (campagne 2020)

Site d'essai	Dép.	Organismes expérimentateurs	Date de semis	Date de récolte	Type de sol	Profondeur exploitable par les racines (cm)	Précédent	Irrigation
PIZAY	1	ARVALIS / OXYANE	19/05/2020	02/11/2020	GRAVIERS PROFONDS	130	SOJA	Oui / 100mm
MONTMEYRAN	26	ARVALIS	08/05/2020	01/10/2020	LIMON BATTANT SAIN	150	LUZERNE	Oui / 307mm
MERVILLE	31	CAUSSADE	20/05/2020	02/11/2020	BOULBENES SUPERFICIELLES	75	POIS PROTEAGINEUX	Oui / 300mm
SAINT-LEGER	47	ARVALIS	07/05/2020	29/09/2020	ALLUVIONS LIMONO ARGILEUSES	150	FEVEROLE	Oui / 132mm
GARLIN	64	EURALIS	20/05/2020	21/10/2020	TOUYAS (<18% ARGILE)	120	PRAIRIE PERMANENTE	Oui / 90mm
LOURENTIS	64	ARVALIS	05/05/2020	30/09/2020	LIMON ARGILEUX PROFOND	120	SOJA	Non

Figure 4 : Localisation des essais de criblage variétal maïs bio – Réseau Sud+Alsace (campagne 2020)



Rendements et précocités

Figure 5 : Rendement des variétés de maïs (q/ha) : moyenne et écart type sur les 3 sites expérimentaux – Réseau Sud+Alsace (Récolte 2020)

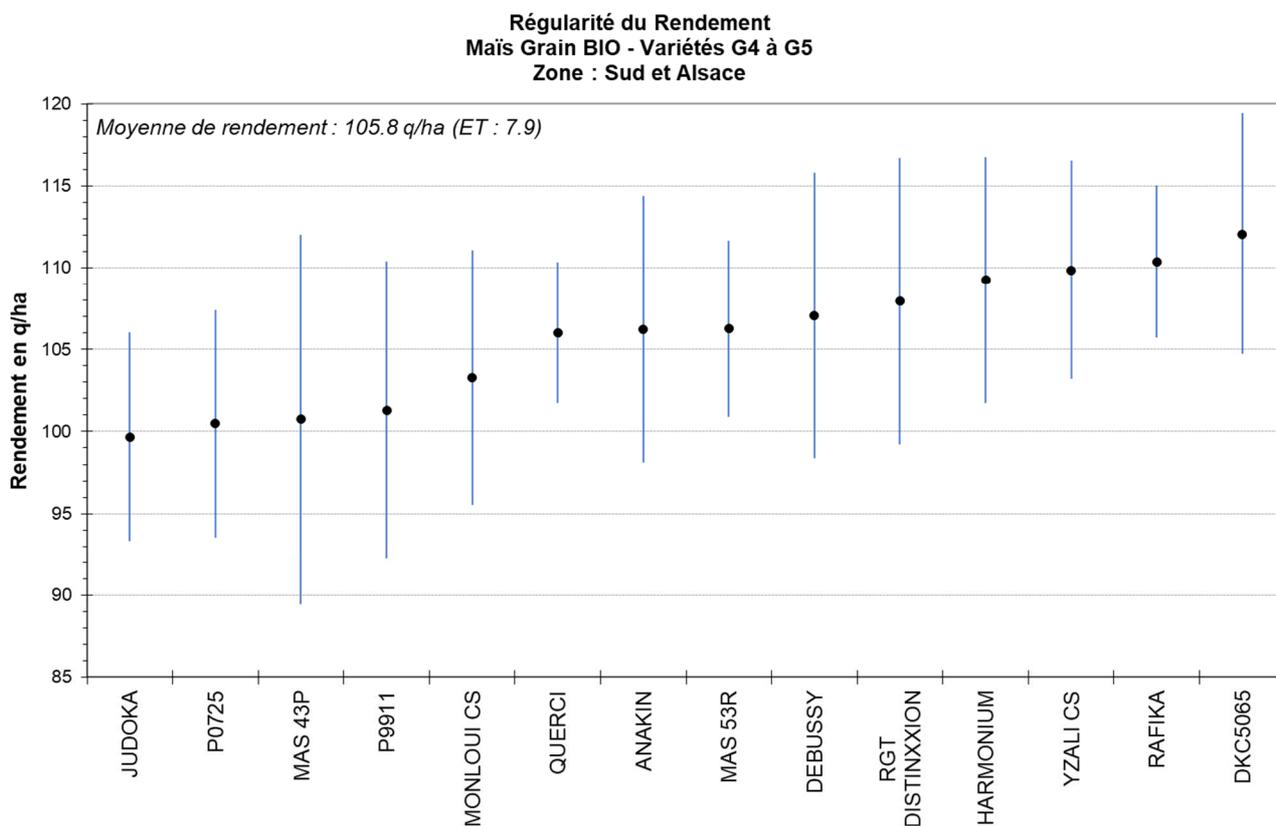
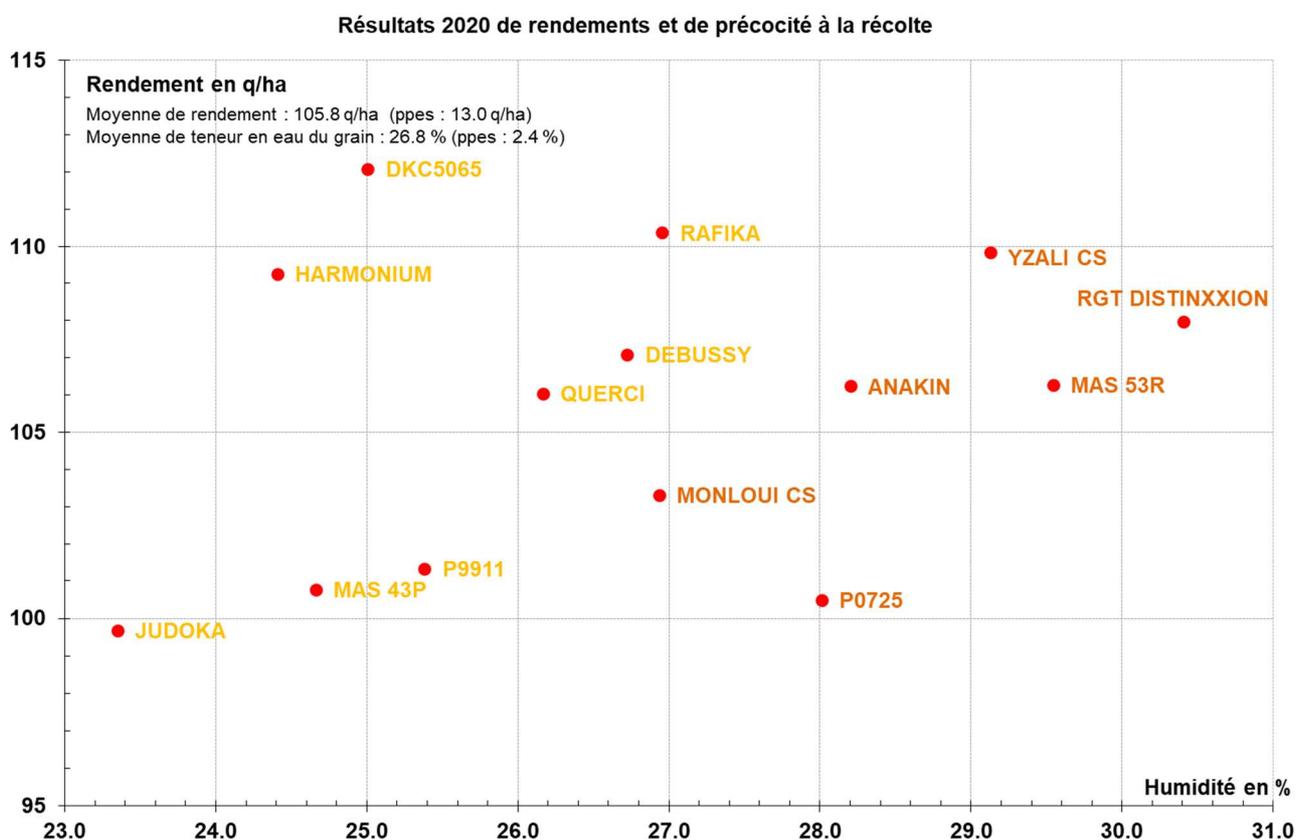


Figure 6 : Relation rendement (q/ha)– précocité à la récolte (taux d'humidité) – Réseau Sud+Alsace (Récolte 2020)



Caractéristiques agronomiques

Le tableau ci-dessous présente les résultats des variétés communes aux essais retenus pour leur précision agronomique et statistique. Au sein des groupes de précocité, des différences de performances sont constatées en matière de vigueur au

départ, de rendement et de régularité de rendement entre les lieux d'essais, et parfois de tenue de tige. De faibles valeurs d'écart-type (E.T.) entre les essais sont des points forts.

Tableau 4 : Résultats des variétés expérimentées en tronc commun entre les essais – Réseau Sud+Alsace (Récolte 2020)

VARIETES Maïs BIO Demi-Tardives à Tardives G4-G5 Variétés en étude	Groupe de précocité	Inscription	Représentant de la variété	Année inscription	Type d'hybride	Type de grain	Rendement et Régularité en % de la moyenne des essais			Humidité récolte en %	Verse Récolte en %	Vigueur au départ (note)	PMG	Ecart de date de floraison en jours
							Densité 1000/ha	E.T.		2020	2020	2020	2020	2020
							2020	2020	2020	2020	2020	2020	2020	
JUDOKA	G4	c	Semences de France	PT-2017	HS	d	71.2	94.2	6.0	23.4	11.7	6.1	361.7	-1.1
HARMONIUM	G4	g	Euralis Semences/Euralis Sem.	2015	HS	cd.d	76.8	103.3	7.1	24.4	7.6	6.6	349.8	-1.4
MAS 43P	G4	c	MAS Seeds	IT-2017	-	d	78.9	95.3	10.7	24.7	8.5	7.1	353.9	-4.1
DKC5065	G4	c	Semences Dekalb/Monsanto	IT-2015	HS	d	82.8	106.0	7.0	25.0	7.9	7.5	362.7	-1.9
P9911	G4	c	Pioneer Semences	IT-2013	HS	d	80.4	95.8	8.6	25.4	8.8	6.8	325.9	-0.1
QUERCI	G4	c	Caussade Semences	IT-2017	HS	d	79.6	100.3	4.1	26.2	7.0	6.3	347.8	0.1
DEBUSSY	G4	c	Euralis Semences/Euralis Sem.	IT-2016	HS	d	79.1	101.3	8.3	26.7	7.2	6.3	350.9	-0.6
RAFIKA	G4	c	Semences de France	PT-2017	HS	d	78.0	104.4	4.4	27.0	7.5	6.2	348.6	0.4
MONLOUI CS	G5	c	Caussade Semences	IT-2014	HS	d	77.4	97.7	7.4	26.9	7.3	6.5	348.1	0.4
P0725	G5	c	Pioneer Semences	IT-2011	HS	d	80.4	95.0	6.6	28.0	12.2	7.3	322.9	4.4
ANAKIN	G5	g	Euralis Semences/Euralis Sem.	2018	HS	cd.d	74.7	100.4	7.7	28.2	7.8	5.9	358.9	1.4
YZALI CS	G5	c	Caussade Semences	IT-2018	HS	d	78.9	103.9	6.3	29.1	8.0	6.5	380.5	0.6
MAS 53R	G5	c	MAS Seeds	IT-2016	HS	d	78.5	100.5	5.1	29.5	7.1	6.6	345.6	2.1
RGT DISTINXXION	G5	c	RAGT Semences	IT-2017	HS	d	77.5	102.1	8.3	30.4	8.1	6.6	351.3	-0.4
Moyenne des essais							-	100 = 105.8 q/ha		26.8%	8.3	6.6	350.6	21/7
Nombre d'essais							6	6		6	3	4	4	4
Analyse statistique P.P.E.S.							-	12.3%	-	2.4%	5.8	1.4	23.4	2.1

Lieux retenus pour rendement et précocité : PIZAY - 01, MONTMEYRAN - 26, MERVILLE - 31, LOURENTIES - 64, GARLIN - 64, ST LEGER – 47

Lieux retenus pour verse : MERVILLE - 31. LOURENTIES - 64. GARLIN - 64

Résultats définitifs du Réseau de variétés de maïs Post-Inscription 2020

Légende des données des tableaux:

- 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.
- Représentant de la variété : Etablissement de semences qui représente la variété en 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 2020.
 - + E.T. : indicateur de variabilité des rendements entre les essais de la synthèse 2020. Il est exprimé en % de la moyenne des rendements.
Plus il est faible, plus la variété présente des résultats stables entre essais.
- 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.
- PMG : Poids de mille grains moyen à la récolte à densité de référence
- Ecart de date de floraison en jours : écart de date de floraison avec la moyenne des variétés en jours.

di : données insuffisantes pour effectuer une synthèse.

Lieux retenus : sont précisées les communes (départements) des essais retenus dans les synthèses pour (i) les rendements, teneurs en eau du grain à la récolte et densités de culture, (ii) la verse.

Les lieux retenus pour les synthèses sur les autres caractères ne sont pas précisés dans ce document.

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 réalisés, 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 Nitrate), 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.

ESTIMER L'AZOTE RESTITUE PAR LES COUVERTS AVEC LA METHODE MERCI

Pour apprécier plus précisément l'effet fertilisant des couverts végétaux, il est possible, juste avant leur destruction, d'utiliser la méthode MERCI (Méthode d'Estimation des Restitutions par les Cultures Intermédiaires). A partir d'une simple mesure de biomasse fraîche, elle permet d'estimer les restitutions en N, P, K et S et Mg des couverts à la culture suivante.

Simple à mettre en œuvre, cette méthode repose sur le couplage entre des références « terrain » permettant d'estimer les quantités d'éléments minéraux accumulées dans la biomasse des couverts pour la majorité des espèces utilisées comme cultures intermédiaires et des références obtenues par simulation avec le modèle de culture STICS de l'INRAE pour définir, après destruction, la quantité d'azote disponible pour la culture suivante dans différents contextes pédoclimatiques de France Métropolitaine.

L'utilisateur procède en 2 étapes :

- réalisation et pesée d'un prélèvement au champ
- saisie des informations dans l'application internet pour obtenir les résultats



<https://methode-merci.fr/>

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.

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 5 essais entre 2018 et 2020, en partenariat avec la Chambre d'agriculture de Dordogne et la Chambre d'agriculture des Landes. Les principales caractéristiques de ces quatre sites d'essais sont décrites dans le tableau 1, ci-après.

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. Différents engrais ont été utilisés comme référence de 2018 à

2020 selon leur disponibilité. En **2018**, il s'agissait d'un **engrais 10-2-2**, principalement composé de farines de sous-produits animaux qui 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. Enfin, en 2020, la courbe de réponse à l'azote a été construite avec un troisième engrais (formule 9-6-10) à base de farine de viande et d'os également appliqué à 6F.

En 2018 et 2019, 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).

A partir de 2019 et en 2020, des stratégies de fertilisation avec utilisation d'engrais starter au semis ont été comparées à la référence.

¹ Le règlement européen de l'agriculture biologique exclue l'utilisation en agriculture biologique d'effluents provenant d'élevages "industriel". La définition de ce terme a été précisée en 2019 par le CNAB : sont concernés les effluents provenant d'élevages en cage, système caillebotis ou grilles intégral et dépassant les seuils de 60 000 poules pondeuses, 85 000 poulets, 3000 porcs (> 30 kg) et 900 emplacements truies. La majorité des engrais du commerce utilisables en AB contenant des fientes de volailles séchées ou du lisier de porc déshydraté sont donc considérés, d'après cette nouvelle définition, comme effluents d'élevages industriels. Cette nouvelle définition est entrée en application depuis le 1er janvier 2021.

Tableau 5 : Caractéristiques principales des expérimentations engrais organiques 2018 et 2019

ESSAIS	SAINT ETIENNE DE VILLEREAL – 2018 (ARVALIS – CA 24)	SOUPROSSE – 2018 (ARVALIS – CA 40)	SOUPROSSE – 2019 (ARVALIS – CA 40)	RAMPIEUX – 2019 (ARVALIS – CA 24)	SOUPROSSE – 2020 (ARVALIS – CA 40)
Année	2018	2018	2019	2019	2020
Commune (département)	SAINT ETIENNE DE VILLEREAL (47)	SOUPROSSE (40)	SOUPROSSE (40)	RAMPIEUX (24)	SOUPROSSE (40)
Type de sol	Terrefort moyen	Sable limoneux Marsan	Alluvions limono-sableuses profondes	Alluvions limono-argileux	Sable limoneux Marsan
% MO	NA	1.41	1.38	NA	
pH eau	8.4	7	6.5	7.2	
P₂O₅ Olsen (ppm)	17	22	87	21	87
Reliquat au semis (kg N/ha)	75	204	113	118	81
Précédent	Haricot sec	Soja	Soja	Orge + pois	Maïs grain
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	Maïs grain / P0725
Date de semis	19/04/2018	25/04/2018	01/06/2019	29/05/2019	08/05/2020
Date de récolte	11/09/2018	03/10/2018	01/10/2019	30/10/2019	19/20/2020
Dose d'azote (kg N/ha)	150	110	150	150	
Irrigation (mm)	145	75	200	125	175
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 q/ha	12.42 q/ha

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 D'ENGRAIS AZOTES ORGANIQUES ET DE STRATEGIES D'APPORTS

Les **essais 2019** ont permis de **comparer l'effet de la fertilisation de différents engrais azotés à base de sous-produits animaux**.

Un gain de rendement d'environ 20% (de 3% à 31%) est observé pour toutes les situations fertilisées à une dose de 150 kg N/ha par rapport au témoin non fertilisé. En revanche, peu de différences de rendement ont été observées entre les formes de PAT apportées, avec des écarts de 0 à 2%.

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).

Dans 3 des 4 essais, une **stratégie d'anticipation de l'apport vers 2-3 F** avait 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.

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.

Pour plus de détail sur les résultats, vous pouvez consulter le [Choisir et décider maïs en AB - Synthèse 2019](#)

→ 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.

EFFET DE LA FERTILISATION STARTER EN AB

L'essai de Souprosse en 2020 a permis de comparer différentes stratégies de fertilisation dans l'objectif d'évaluer l'intérêt des engrais starter en AB. Plusieurs modalités détaillées dans le tableau 2, ont été testées et

comparées à la stratégie de référence avec un apport de 150 kg N/ha de 9-6-0 à 6 feuilles et aux trois autres modalités de la courbe de réponse à l'azote (témoin non fertilisé et 9-6-0 à deux autres doses).

Tableau 6 : Modalités mises en place dans l'essai de Souprosse 2020

Traitement	N Total (kgN/ha)	Apport Semis (08/05/2020)			Apport 6F (03/06/2020)		
		Dose N (kg N/ha)	Produit	Modalité d'apport	Dose N (kg N/ha)	Produit	Modalité d'apport
Témoin 0N	0						
Engrais 9-6-0/X-80	70				70	Farine de viande 9-6-0	en surface
Engrais 9-6-0/X	150				150	Farine de viande 9-6-0	en surface
Engrais 9-6-0/X+80	230				230	Farine de viande 9-6-0	en surface
Engrais 9-6-0_Starter	150	20	Farine de viande 9-6-0	Localisé	130	Farine de viande 9-6-0	en surface
AZOPRIL N13_Starter	150	20	Azopril	Localisé	130	Azopril	en surface
LABINOR 6-12-0_Starter	150	20	LABINOR 6-12-0	Localisé	130	Farine de viande 9-6-0	en surface
MICROSYR	130.8	0.8	MICROSYR	Localisé (27 kg/ha)	130	Farine de viande 9-6-0	en surface
SOLIZER GR	133.2	3.2	SOLIZER GR	Localisé (80 kg/ha)	130	Farine de viande 9-6-0	en surface

Azopril, (3-1-2 + 20 à 25% de SO₃) a été appliqué en 2 passages avec 20 kg N/ha localisé au semis puis 130 kg N/ha à 6 feuilles. Ce nouvel engrais d'origine végétale est un coproduit issu de résidus de fermentation bactérienne de mélasse de canne à sucre obtenu après extraction de sels organiques destinés à l'alimentation humaine. Il contient 50% d'azote sous forme ammoniacale très rapidement disponible pour la culture à condition que le risque de perte par volatilisation soit maîtrisé et 50% d'azote sous forme organique disponible de manière plus progressive.

L'**engrais 9-6-0** a été également testé selon ce positionnement (localisateur d'engrais à coutre, à 5 cm sous et à côté de la ligne de semis)

Enfin, trois autres produits, le Labinor 6-12-0, le Microsyr et le Solizer GR ont été appliqués en fertilisation starter selon les recommandations du fabricant puis la fertilisation a été complétée avec 130 kg N/ha sous forme de 9-6-0.

Tout comme le 9-6-0, le **Labinor 6-12-0** est un sous-produit d'origine animale mais sa composition est différente. En plus de la farine de viande, il contient également de la farine de sang et surtout d'avantage de

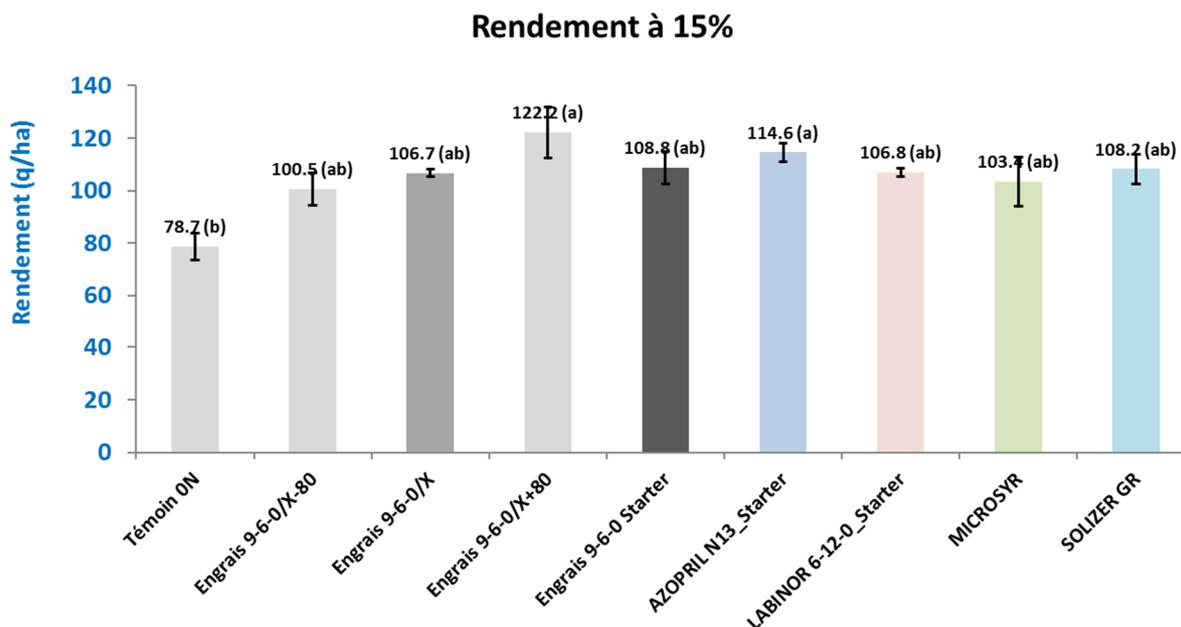
farine d'os que le 9-6-0 ce qui permet de localiser davantage de phosphore au semis du maïs.

Microsyr et Solizer GR sont deux engrais organiques additionnés d'Osy® (10% de la masse totale), un stimulateur de croissance racinaire à base de lignosulfonate. Selon le fabricant cette substance assure un rôle de protection des auxines (hormones de croissance) et intervient dans les processus de lignification qui contribue à l'épaississement des parois cellulaires et favoriserait la cicatrisation.

Microsyr se présente sous forme de microgranulés de 1 à 2 mm à appliquer à 20 ou 25 kg /ha et contient 3% d'azote, 8.5 de P₂O₅, 6% de SO₃, 2% de MgO et du Zinc. Contrairement aux autres produits, appliqués avec le localisateur d'engrais du semoir, Microsyr a été positionné directement dans la raie de semis appliqué avec le microgranulateur.

Hormis l'azote (4%), **Solizer GR** a la même composition mais est formulé en pellets de 3-4 mm et s'applique à 60 à 80 kg /ha. Solizer GR a été apporté en localisé au semis, avec un complément de 130UN de 9-6-0 à 6-8 feuilles. Le Solizer ne contenant que 4% d'azote total, cette stratégie apporte 20 unités d'azote en moins que l'apport de référence.

Figure 7: Rendement du maïs en 2020 pour différentes stratégies de fertilisation starter versus une stratégie d'apport de 9-6-0 à 6F



La réponse à l'azote est bien marquée dans cet essai avec un accroissement du rendement du maïs lorsque les doses d'azote augmentent pour l'engrais de référence (en gris sur la figure 7 ci-dessous).

Cependant, en raison d'une forte variabilité au sein de l'essai entre répétitions, les différences de rendement pour les modalités de la courbe de réponse ne sont significatives qu'entre le témoin non fertilisé et la modalité X+80 (230 kg N/ha).

Parmi les autres modalités, seul Azopril N13 affiche un gain de rendement statistiquement significatif par rapport au témoin non fertilisé. Cette modalité est la seule à véritablement se détacher avec un écart de + 7.8 q/ha par rapport à la référence 9-6-0 à la même dose d'azote mais cet écart, pourtant conséquent n'est pas significatif du point de vue statistique en raison de la faible précision de cet essai.

Les modalités 9-6-0 starter et Solizer GR présentent un rendement légèrement supérieur à la référence 9-6-0 mais, compte tenu de la forte variabilité de l'essai, il est hasardeux d'y voir une tendance.

En revanche, il convient de rappeler que les modalités Microsyr et Solizer GR ont reçu environ 20 kg N/ha de moins que les autres modalités. Le rendement de Solizer GR ne s'en trouve pas pénalisé et celui de Microsyr ne l'est pas de manière significative.

Solizer GR (noté NX 6 sur la figure 8 ci-après) avait déjà été testé en 2019, en comparaison non pas à du 9-6-0 comme en 2020 mais à du 10-6-0 apporté soit à 6F, soit en deux fois (20 kg N/ha localisé au semis puis 130 kg N/ha à 6F). Dans cet essai non plus la différence de rendement, bien qu'à l'avantage du Solizer GR n'était pas significative.

Figure 8 : Rendement du maïs en 2019 avec la stratégie d'apport de Solizer GR au semis et un complément à 6F versus une stratégie d'apport de 10-6-0 à 6F

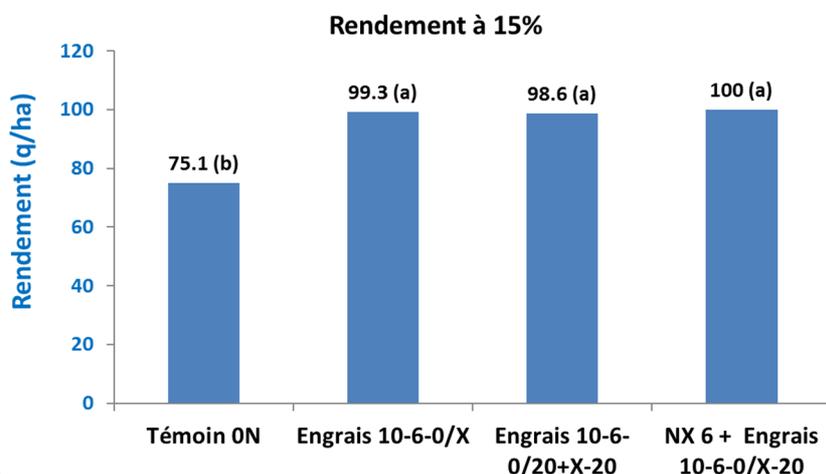
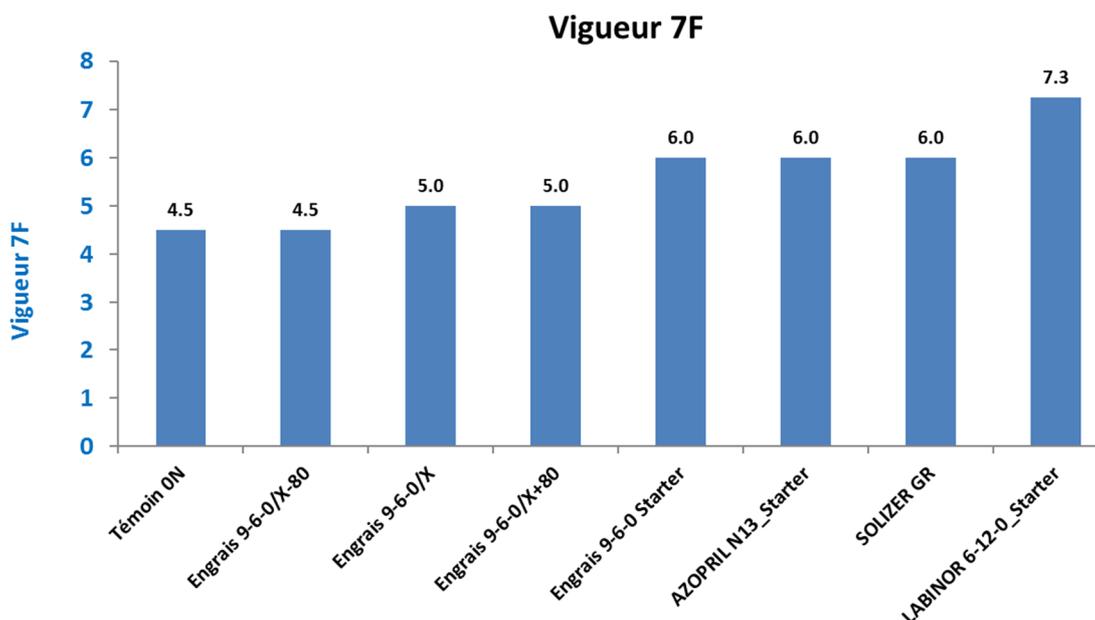


Figure 9 : Effet de la fertilisation starter sur la vigueur à 7 feuilles



Dans l'essai 2020 de Souprosse, une notation de vigueur a été réalisée au stade 7F du maïs. La figure 9 montre l'effet de la fertilisation starter des modalités Engrais 9-6-0 starter, Azopril, Solizer GR et Labinor 6-12-0 sur la vigueur. Les conditions climatiques défavorables de début de cycle ont très probablement contribué à exacerber l'expression de l'effet de la

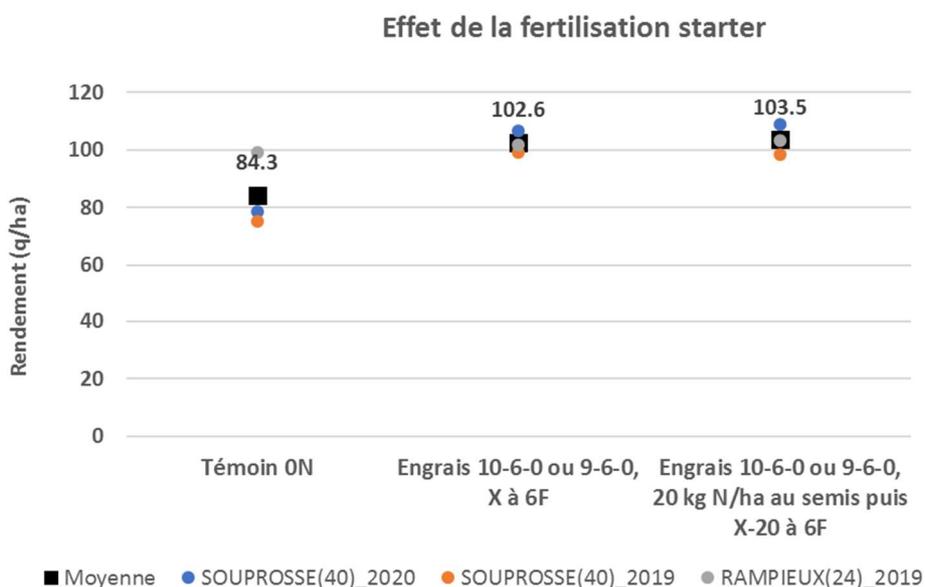
fertilisation starter sur la vigueur, jusqu'alors inobservé en AB dans nos essais. Les stratégies avec engrais starter ont cette année eu un effet positif sur la vigueur ce qui peut conférer un intérêt pour le maïs afin d'esquiver les attaques de ravageurs tels que les nématodes et les taupins.

Synthèse des essais starter en AB en 2019 et 2020

La fertilisation starter avait déjà été testée dans 2 essais en 2019 (Rampieux en Dordogne et Souprosse dans les Landes) avec l'engrais 10-6-0, apporté comme le 9-6-0 dans l'essai de Souprosse 2020, soit à 6F, soit en deux

fois (20 kg N/ha localisé au semis puis 130 kg N/ha à 6F). En moyenne, sur ces 3 essais, la stratégie starter permet un gain de rendement de 0.9 q/ha par rapport à la stratégie tout à 6F (figure 10).

Figure 10 : Rendements 2019 et 2020 de maïs obtenus pour une stratégie d'apport de fertilisation starter au semis en comparaison à une stratégie d'apport à 6 feuilles, et au témoin 0 apport



Le gain de rendement de cette stratégie « starter », qui consiste à fractionner la dose d'azote totale en positionnant une petite quantité d'azote dès le semis à 5 cm sous et à côté de la ligne de semis, est faible. Cependant, si le semoir est déjà équipé d'un localisateur

d'engrais, ceci n'engendre ni d'investissement ni de passage ou de coût supplémentaire et cette stratégie peut s'avérer payante avec gain de marge de l'ordre de 20 à 30 €/ha (tableau 7).

Tableau 7 : Gain économique d'une stratégie starter selon différents scénarios de prix de vente du maïs

Scénario prix de vente maïs conso	Bas	Médian	Haut
Maïs conso bio (€/t)	280	300	330
Gain (€/ha)	25	27	30

RENTABILITE ECONOMIQUE DES APPORTS D'ENGRAIS

Dans les 5 essais du réseau 2018-2020, l'apport d'engrais organique à hauteur de 150 kg N/ha se traduit toujours par un gain de rendement, de + 2.7 à + 28.0 q/ha (moyenne + 16.3 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 8 ont été comparées.

Tableau 8 : Scénarios de prix de vente du maïs bio et des prix d'achat des engrais organiques étudiés

Scénarios prix de vente du maïs consommation bio	Prix maïs (€/t)	Scénario coût des engrais	Prix d'achat des engrais (€/kg N)
Scénario de prix bas	260	Coût faible	2.8
Scénario de prix médian	300		
Scénario de prix élevé	330	Coût élevé	4.2

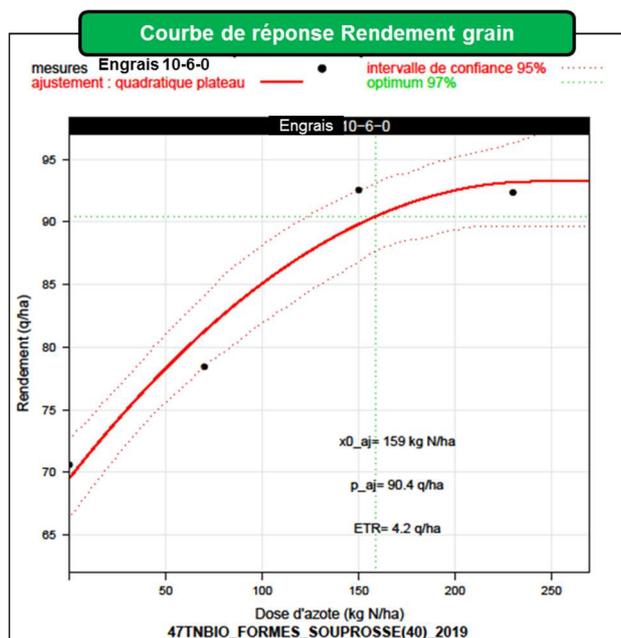
Pour chaque essai et pour chaque scénario de prix, des courbes de réponses à l'azote du rendement économique ont été ajustées afin de **déterminer la dose d'azote optimale à apporter au maïs**.

Cette approche est illustrée pour l'essai de Souprosse 2019 avec l'ajustement de l'optimum technique (Figure 11.a) et de l'optimum économique, pour un scénario de

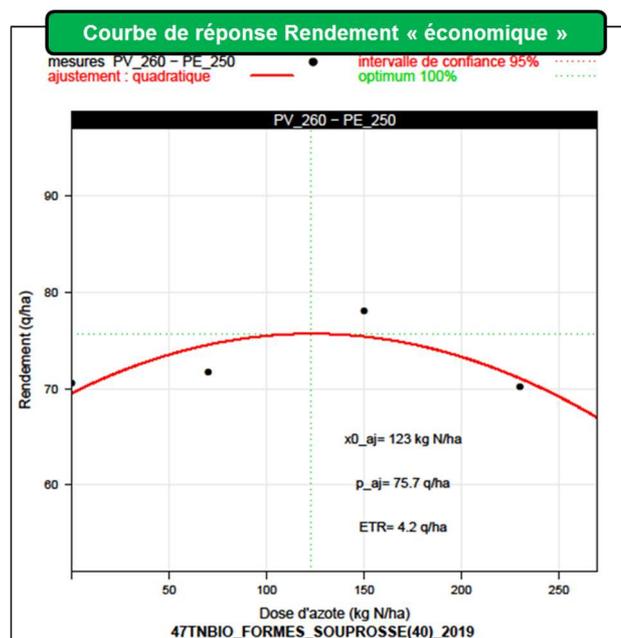
prix de vente élevé du maïs et de coût faible des engrais organiques (Figure 11. b). Dans cet exemple, la dose d'azote de 159 kg N/ha à l'optimum technique permet d'obtenir un rendement de 90.4 q/ha. L'optimum économique, quant à lui, est atteint dès 123 kg de N/ha et permet d'atteindre un rendement « économique » de 75.7 q/ha (soit un rendement technique correspondant de 87.5 q/ha).

Figure 11 : 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 9.

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 trois **essais de Souprosse (2018, 2019 et 2020)**, les apports d'engrais azotés organiques sont mieux valorisés (CAU respectifs de 30, 44% et 55%) 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 de l'azote par le maïs) et 266 kg de N/ha lorsque le coût des engrais est faible et le prix de vente du maïs est élevé.

Il est difficile de mettre en évidence les facteurs qui ont un effet sur la rentabilité des apports organiques dans ce réseau. Néanmoins, sur les sols sablo-limoneux du Marsan où les rendements sont assez élevés et stables, on observe que la dose optimale technico-économique est en partie liée au reliquat au semis. Cela semble être une première piste de modulation de la dose optimale dans ce contexte pédo-climatique.

Tableau 9 : 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	145	87.5	99.6
					Bas	118	85.83	97.2
					Haut	161	88.7	100.9
				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	138	77.	88.9
					Bas	123	75.7	87.5
					Haut	148	78.5	89.7
				Elevé	Médian	73	71.7	81.7
					Bas	47	70.4	77.9
					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
SOUPROSSE 2020	106.7	338	132.5	Faible	Médian	254	102	123.1
					Bas	235	98.8	121.4
					Haut	266	103.9	124.0
				Elevée	Médian	157	89.9	111.3
					Bas	143	87.2	109.7
					Haut	193	92.8	116.8

¹ Valeur de rendement mesurée dans les essais

² Plateau de la courbe de réponse non atteint pour la dose d'azote de 230 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

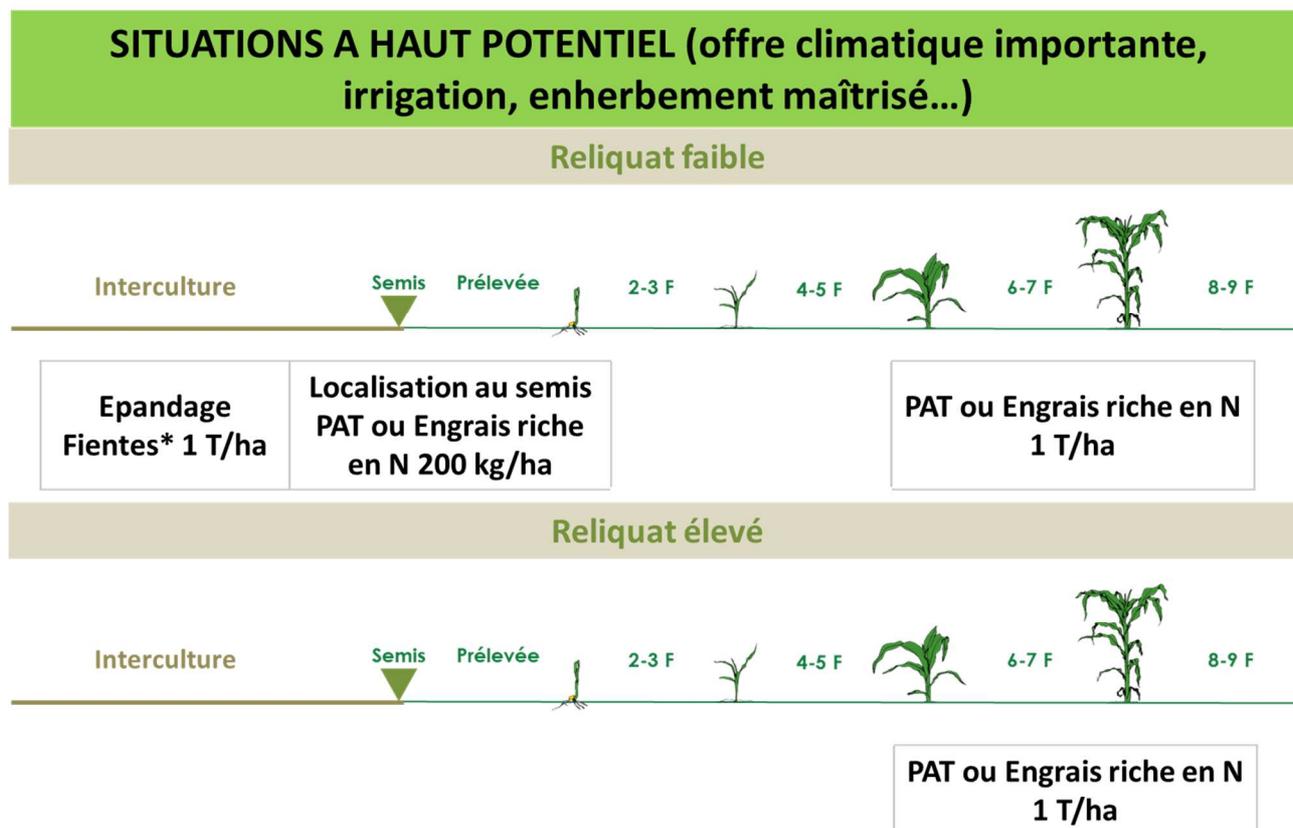
serait probablement plus élevée que celles calculées dans nos essais.

FERTILISATION DU MAÏS EN AB : PRECONISATIONS

La figure 12 illustre les préconisations d'apports sur maïs en AB pour des situations à haut potentiel comparables à celles rencontrées dans nos essais en fonction du reliquat d'azote minéral au semis (situation à faible reliquat / à reliquat élevée).

La dose d'azote apportée par les PAT entre 4 et 8 F est indicative et peut être adaptée en fonction du potentiel de la parcelle.

■ **Figure 12 : Préconisations de fertilisation en AB**



* Fientes hors élevages industriels

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**