



**CAP
PROTÉINES**
innovons pour notre
souveraineté protéique

Salon
de
l'herbe
et des fourrages



Maïs fourrage : les facteurs clés de l'itinéraire pour concilier rendement et qualité



ARVALIS
Institut du végétal

Michel MOQUET
m.moquet@arvalis.fr


INSTITUT DE
L'ELEVAGE **idele**


**Terres
Inovia**
l'agronomie en mouvement

ARVALIS
Institut du végétal

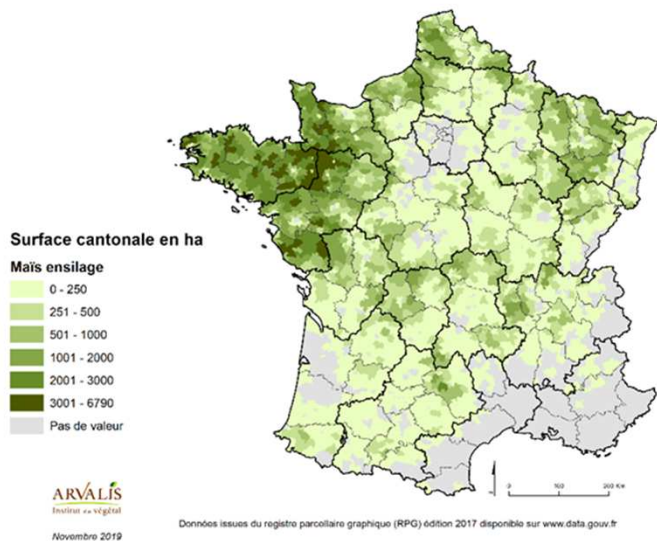

**MINISTÈRE
DE L'AGRICULTURE
ET DE L'ALIMENTATION**
*Liberté
Égalité
Fraternité*



1^{er} et 2 juin 2022, Villefranche-d'Allier (03)

Le maïs fourrage en France

Des surfaces stable, un rendement qui progresse toujours



Répartition des
surfaces
de maïs fourrage
en France

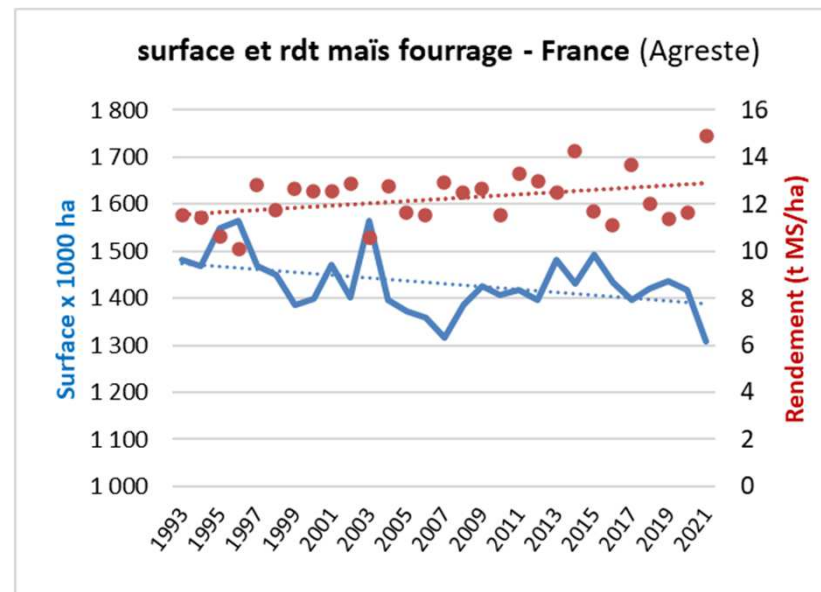
Source RPG 2017

Moyenne 2017-2021

1,4 Mha
12,7 t MS/ha

Evolution des surfaces
et des rendements
du maïs fourrage
en France depuis 2000

Source Agreste



Mais fourrage : les facteurs clés de l'itinéraire pour concilier rendement et qualité



Implantation
 & choix variétal



Fertilisation

Protection



Récolte &
 conservation



**Mais fourrage : les facteurs clés de l'itinéraire
pour concilier rendement et qualité**

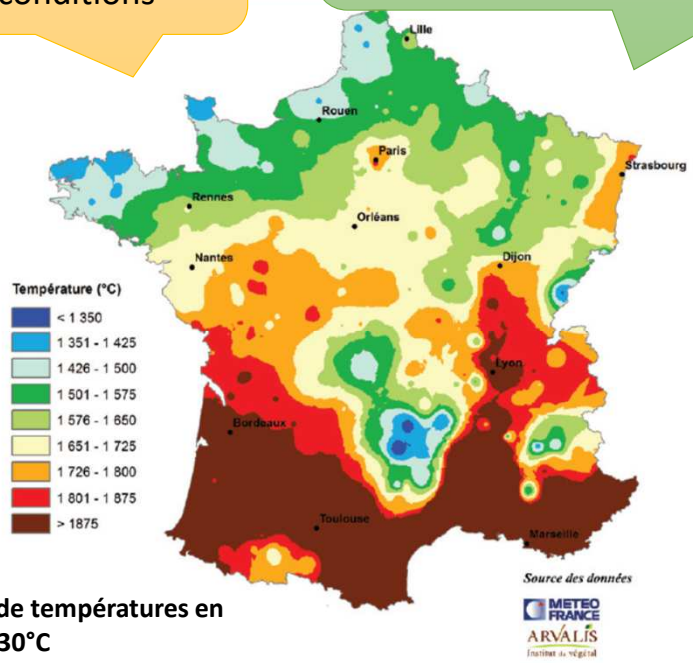
Implantation

Choix variétal : le compromis précocité - productivité

Groupe de précocité adapté
pour une récolte à 32%MS,
en bonnes conditions

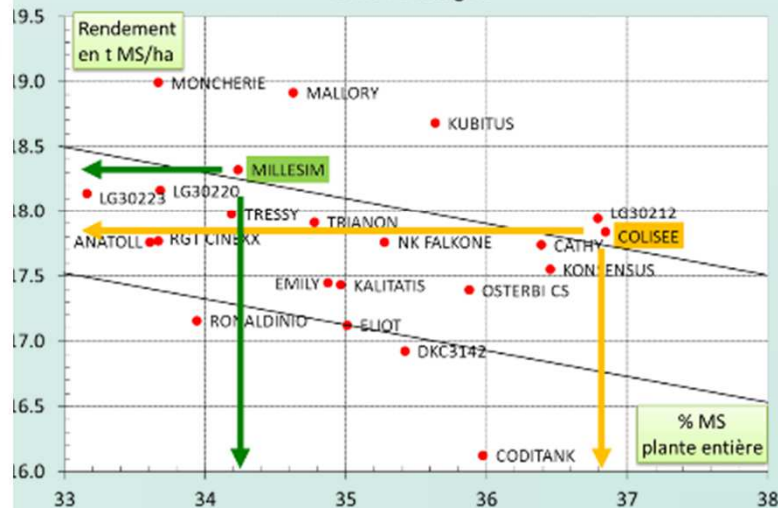
La disponibilité en temp.
conditionne le choix
de la précocité variétale

+ 0.2 t MS pour
un écart d'un point MS
à la récolte



Cumul de températures en
base 6-30°C
du 10 mai au 30 septembre,
médiane 1997 - 2017

Rendement et Précocité
Maïs Fourrage - Variétés Très Précoces (SA)
Zone : Bretagne



Précocité des variétés de maïs et besoins en Températures (base 6 – 30°C)

→ maïs fourrage

1 groupe de précocité : environ 70°C (base 6)

Arvalis, MAJ 2020

Groupe de précocité	Code	Semis à floraison femelle	Floraison femelle à 32 % MS	Semis à 32 % MS	Indices FAO (estimation)
Très Précoces	S0	790 à 850	560 à 620	1350 à 1425	150 - 250
Précoces	S1	850 à 885	580 à 640	1430 à 1525	240 - 290
Demi-Précoces	S2	865 à 930	600 à 660	1465 à 1590	280 - 330
Demi-Précoces à Demi-Tardives	S3	930 à 985	620 à 680	1570 à 1675	310 - 400
Demi-Tardives	S4	975 à 1030	640 à 670	1615 à 1730	390 - 480
Tardives et Très Tardives		1020 à 1070	680 à 750	1700 à 1785	450 - 570

Choix variétal : un progrès génétique constant

Progrès génétique en maïs fourrage de 1998 à 2017

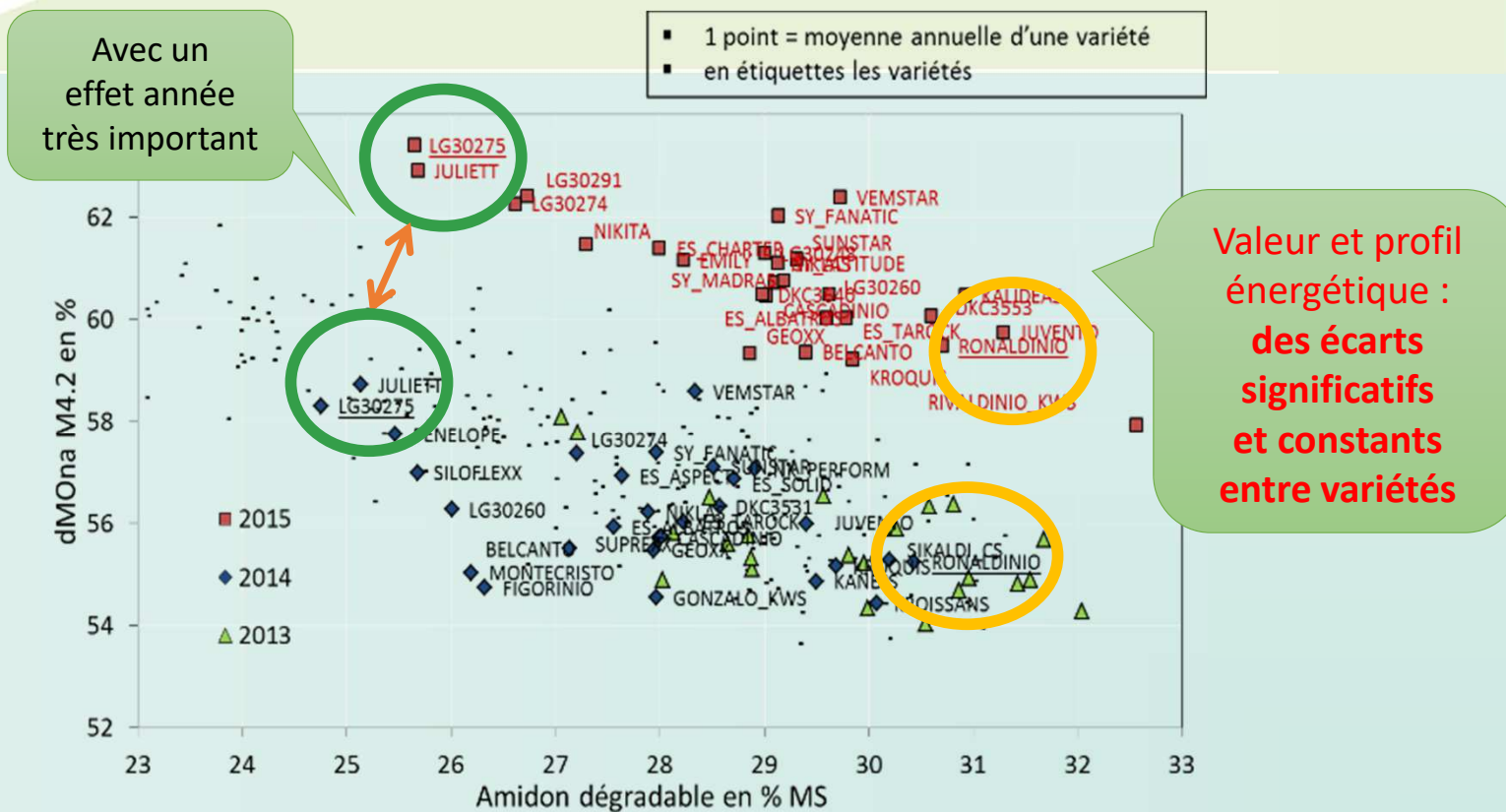
Groupes de précocité Nom, Degrés-Jours et FAO			Nb variétés	Rdt en t MS/ha /an	100*UFL /kg MS/an		% MS /an	% Verse /an
					Toutes variétés	f-fg FR*		
S0 :Très Précoce	< 1425	150 - 250	189	+ 0,18	+0,017	+0,04	-0,01	-0,01
S1 : Précoce	1415 à 1500	240 - 290	208	+ 0,15	+0,04	+0,07	-0,01	-0,01
S2 : ½ Précoce	1490 à 1570	280 - 330	148	+ 0,13	+0,02	+0,10	-0,06	+0,03

+ 3,0 t MS/ha
en 20 ans

Source : Arvalis 2018, à partir des essais VPI Arvalis-UFS de 1998 à 2017 et CTPS de 2003 à 2016

*F-fg-FR : variétés inscrites en France en maïs fourrage

Impact du choix variétal sur la valeur énergétique



Source : réseau variétés Post-Inscription

VARMAÏS : l'outil en ligne pour le choix des variétés de maïs

varmais.fr
En accès libre

Synthèses pluriannuelles :
tous les résultats
Inscription et
Post-Inscription

Fiche d'identité :
caractéristiques complètes
de **plus de 550 variétés**

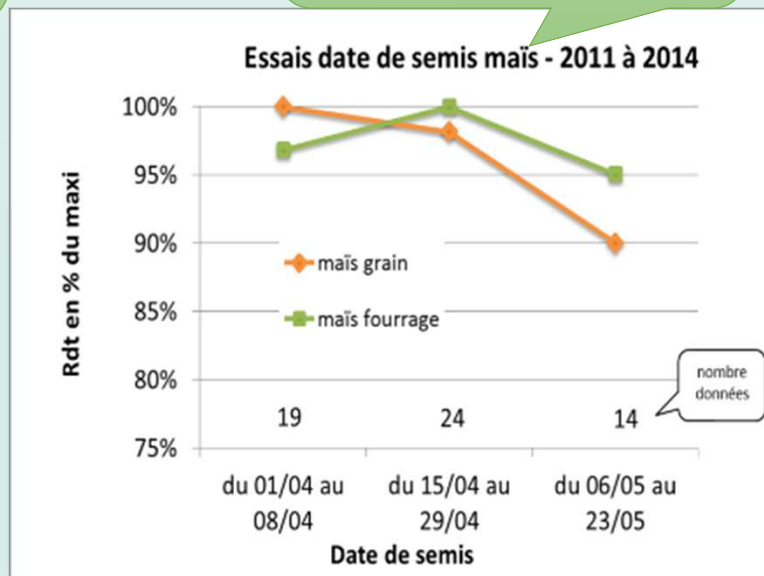
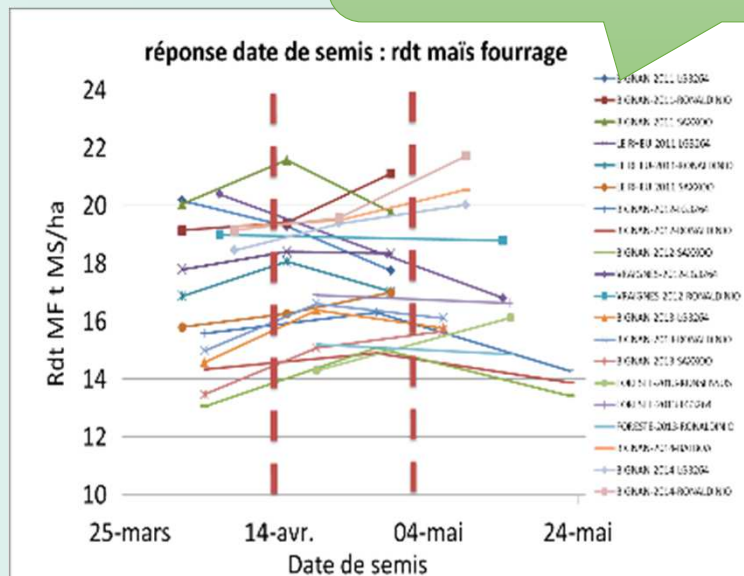
Choisir une variété
à partir d'une
liste de critères

Duel : comparer
les performances
des variétés

Impact de la date de semis sur le rendement

Environ 600 kg MS/ha
par semaine de retard
après le 20-25 avril

La réponse du maïs
fourrage est différente
de celle du maïs grain

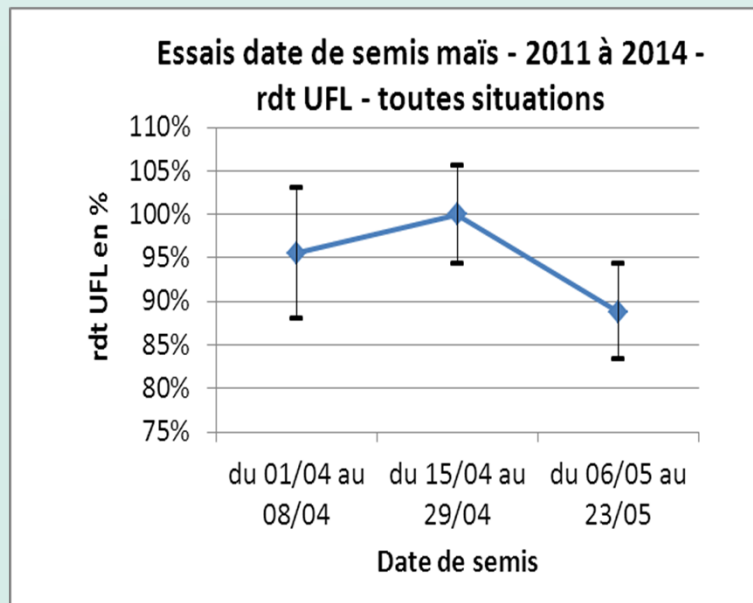
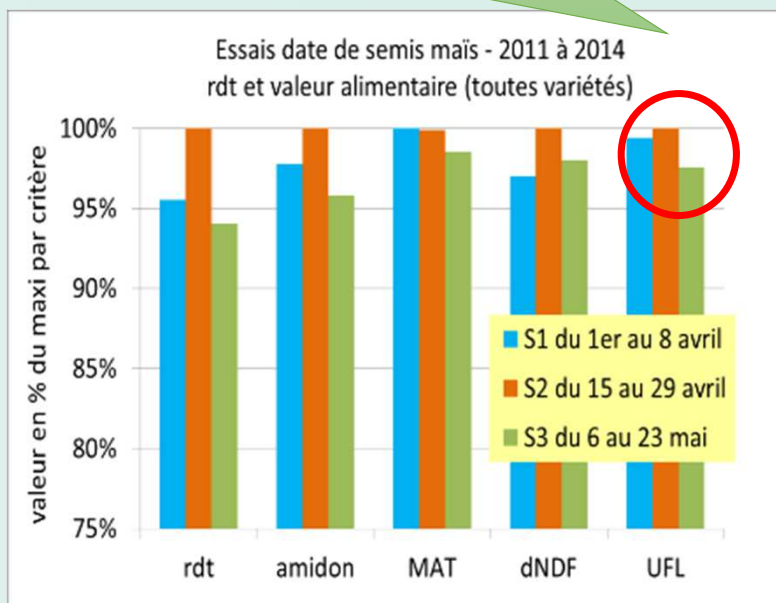


Essais Arvalis - Bretagne et Picardie,
2011 – 2014, 20 situations
(année x site x variété)

En semis précoce, les conditions climatiques
sont primordiales.
Avant le 15 avril, le rendement
n'est pas amélioré (MF) et la variabilité augmente.

Impact de la date de semis sur la valeur alimentaire

Les meilleures valeurs alimentaires
sont observées sur les semis d'avril...
mais attention à la date de récolte !



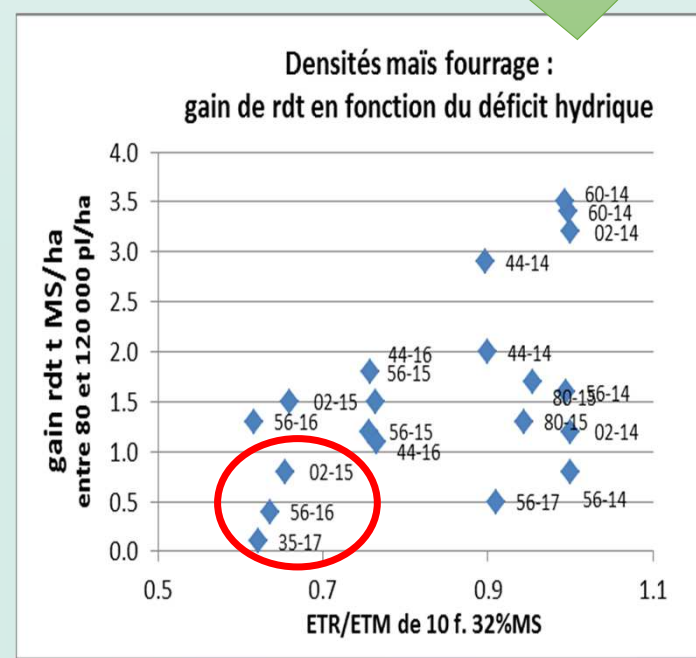
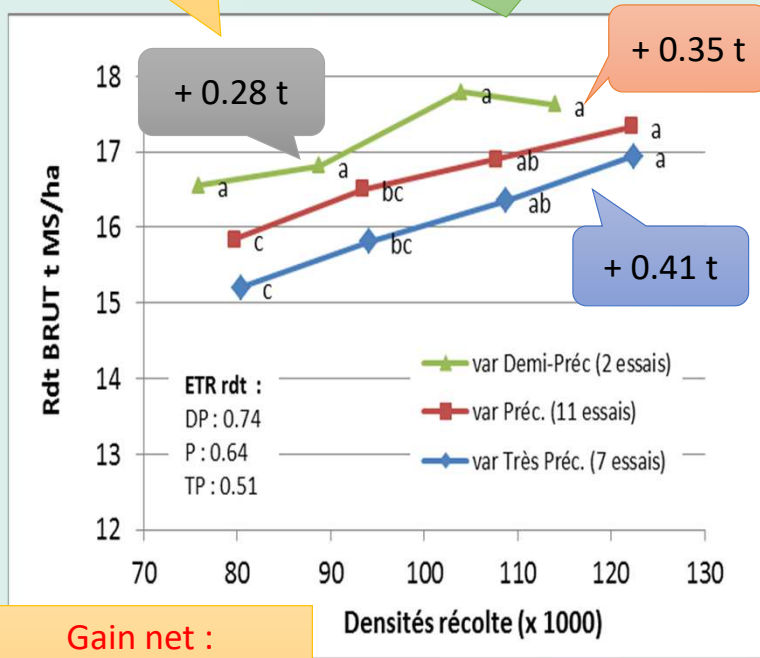
Essais Arvalis - Bretagne et Picardie, 2011 – 2014, 20 situations
(année x site x variété)

Impact de la densité de semis sur le rendement

Gain moyen de rendement par tranche de 10 000 plantes/ha

La réponse à la densité est plus forte pour les variétés précoces

La réponse à la densité peut être faible en situation de stress hydrique



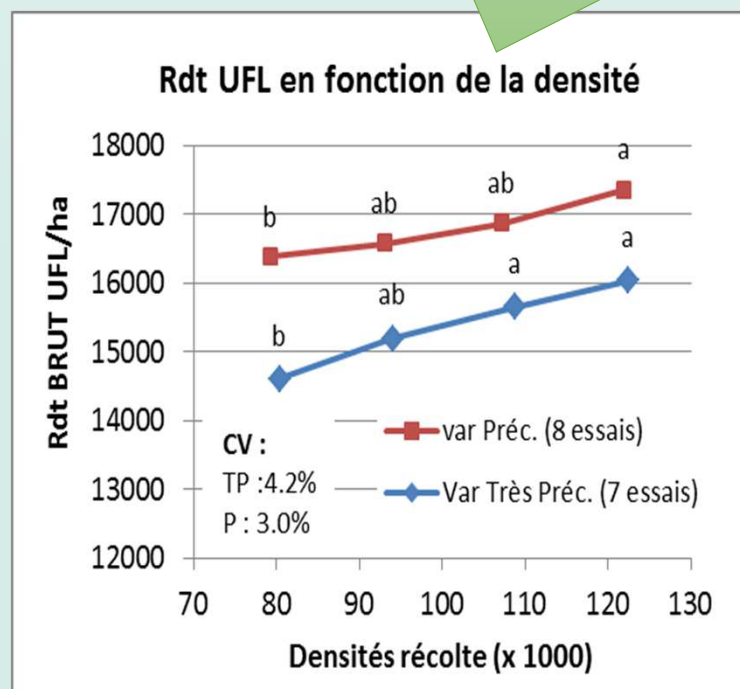
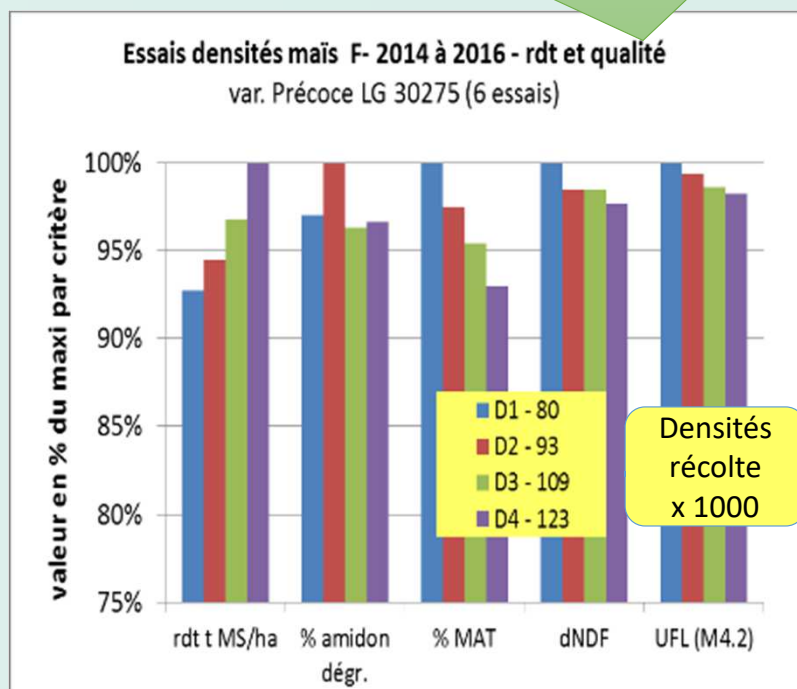
Gain net : retirer 0.18 t MS pour 10 000 grains

Essais Arvalis Bretagne – Pays de la Loire – Picardie - 2014 - 2017

Impact de la densité de semis sur la valeur alimentaire

L'augmentation de la densité entraîne une légère baisse de la valeur alimentaire

Mais augmentation constante de la quantité d'UFL avec la densité



Essais Arvalis Bretagne – Pays de la Loire – Picardie - 2014 - 2017

Densités recommandées en maïs fourrage nombre de plantes/ha à la récolte*

*à majorer par les pertes en culture

Précocité de la variété	Indice FAO (estimation)	Rendement moyen	Bon rendement
Très précoces (S0)	150 – 250	105 000	115 000
Précoces (S1)	240 - 290	100 000	110 000
Demi-Précoces (S2)	280 - 330	90 000	100 000
Demi-Précoces à Demi-Tardives (S3)	310 – 400	85 000	95 000
Demi-tardives à Tardives (S4)	390 - 570	80 000	90 000

Environ + 5000 plantes/ha qu'en maïs grain

Techniques d'implantation du maïs

Mécanisation :
1/3 du coût de
production du
maïs fourrage

→ Une culture adaptée au travail simplifié (voire au semis direct), avec quelques précautions pour obtenir le peuplement objectif !



Situations où le travail profond* est obligatoire

- Culture récoltée en automne avec tassement (ex: maïs ensilage, légumes)
- Tassement important au printemps (ex: apport fumier, lisier sur sol humide)
- Sol se reprenant en masse en hiver avant culture de printemps (certains limons hydromorphes, limons sableux...)

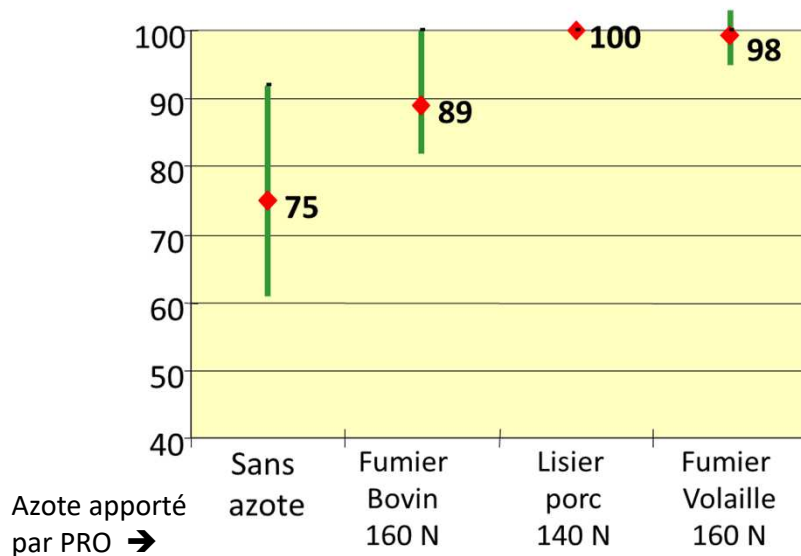
* *labour, décompactage ou pseudo labour à 15-20 cm mini*

**Mais fourrage : les facteurs clés de l'itinéraire
pour concilier rendement et qualité**

Fertilisation



Le maïs fourrage valorise bien l'azote du sol et des produits organiques



Besoins complémentaire en azote minéral avec apports PRO :

- 40-50 N/ha avec fumier de bovins,
- 0 N après lisier de porcs
- 0 N après fumier de volailles

Rendement du maïs fourrage, en % du maxi, avec différentes sources de fertilisation organique
CRAB – ARVALIS, 1988 – 2006 : 18 ans d'essais

Avec quelques précautions à prendre :

- apporter les fumiers au moins 1,5 mois avant le semis
- Enfouir les lisiers et fumiers de volailles rapidement après épandage

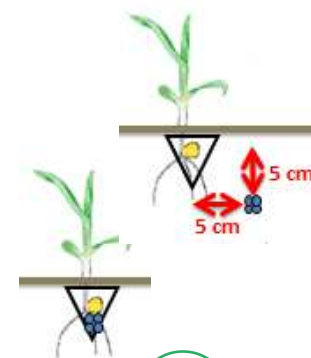
Engrais starter sur maïs : en fonction des conditions de culture

Disponibilité du phosphore dans le sol	Conditions difficiles	Conditions favorables,
Très faible	Recommandée (à compléter avec un apport en plein)	Recommandée (à compléter avec un apport en plein)
Faible à moyen	Recommandée	Recommandée
Elevée	Recommandée	Apport de P inutile

Gain de précocité
(floraison, +1 pt %MS
réc.), faible gain de
rendement

Engrais DAP : en sol bien pourvu 25 unités P/ha suffisent pour assurer une réponse (précocité floraison, précocité récolte), sinon 45 P/ha

Microgranulés : apportent une dose faible de P/ha : 10 unités maxi, identiques à forme DAP apportée à 25 P/ha , mais plus chers



Attention aux carences en potasse dans les rotations fourragères

Exportations P et K des cultures fourragères (Comifer 2007)

	P ₂ O ₅ (kg/t)	K ₂ O (kg/t)	P ₂ O ₅ (kg/ha)	K ₂ O (kg/ha)
Maïs fourrage 14 t/ha	4.2	11.9	59	167
RGA (foin) 7 t/ha	6.7	28.6	47	200
Luzerne (foin) 10 t/ha	6.3	26.2	63	262



Symptômes de carence en potasse sur maïs

Dose d'apport = exportation x coef. (4 critères) :

1. exigence des cultures
2. teneur du sol à l'analyse comifer
3. passé récent de fertilisation
4. gestion des résidus du précédent

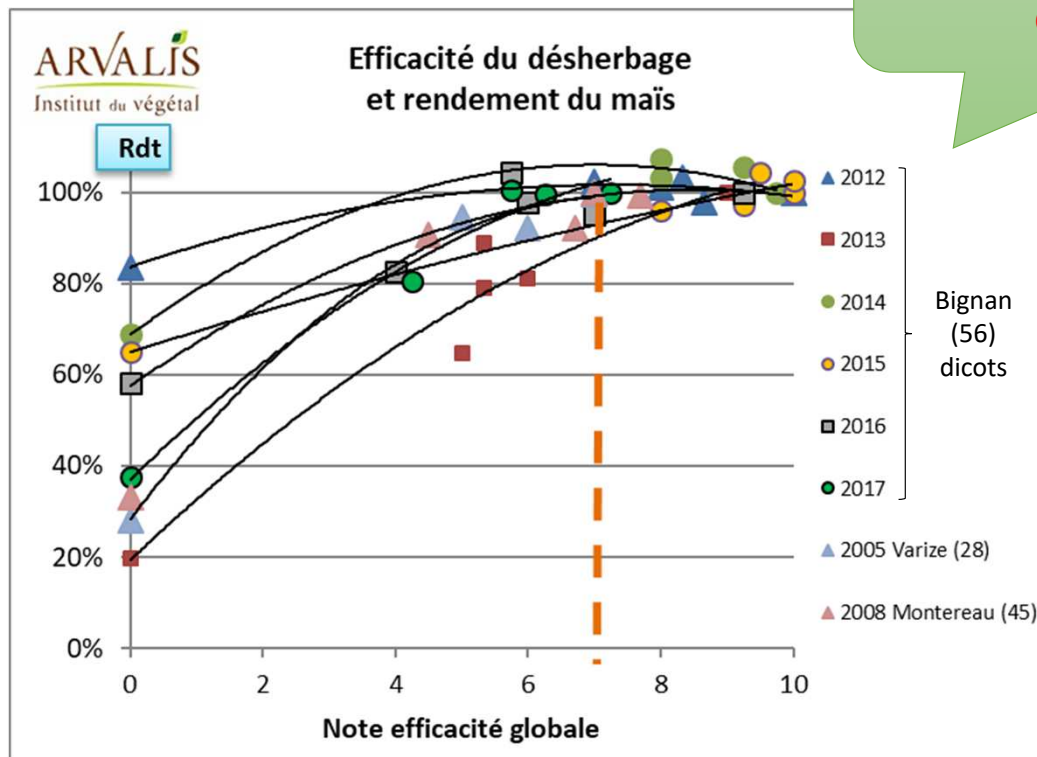
**Mais fourrage : les facteurs clés de l'itinéraire
pour concilier rendement et qualité**

Protection de la culture



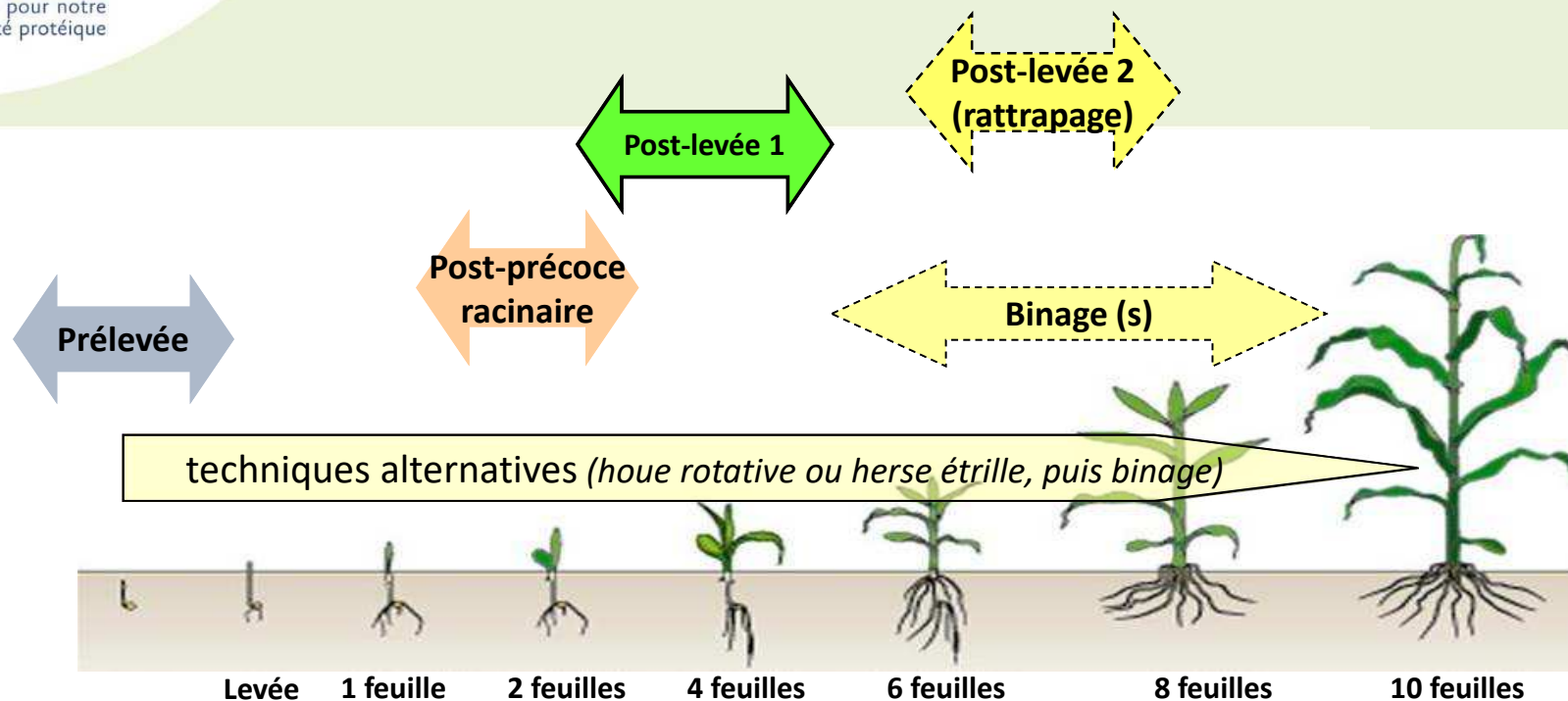
Nuisibilité des adventices sur maïs

Des pertes de rendement
 conséquentes si l'enherbement
 est mal maîtrisé



+ nuisibilité indirecte :
 ↗ stock semencier
 sur la parcelle

Les stratégies de désherbage du maïs



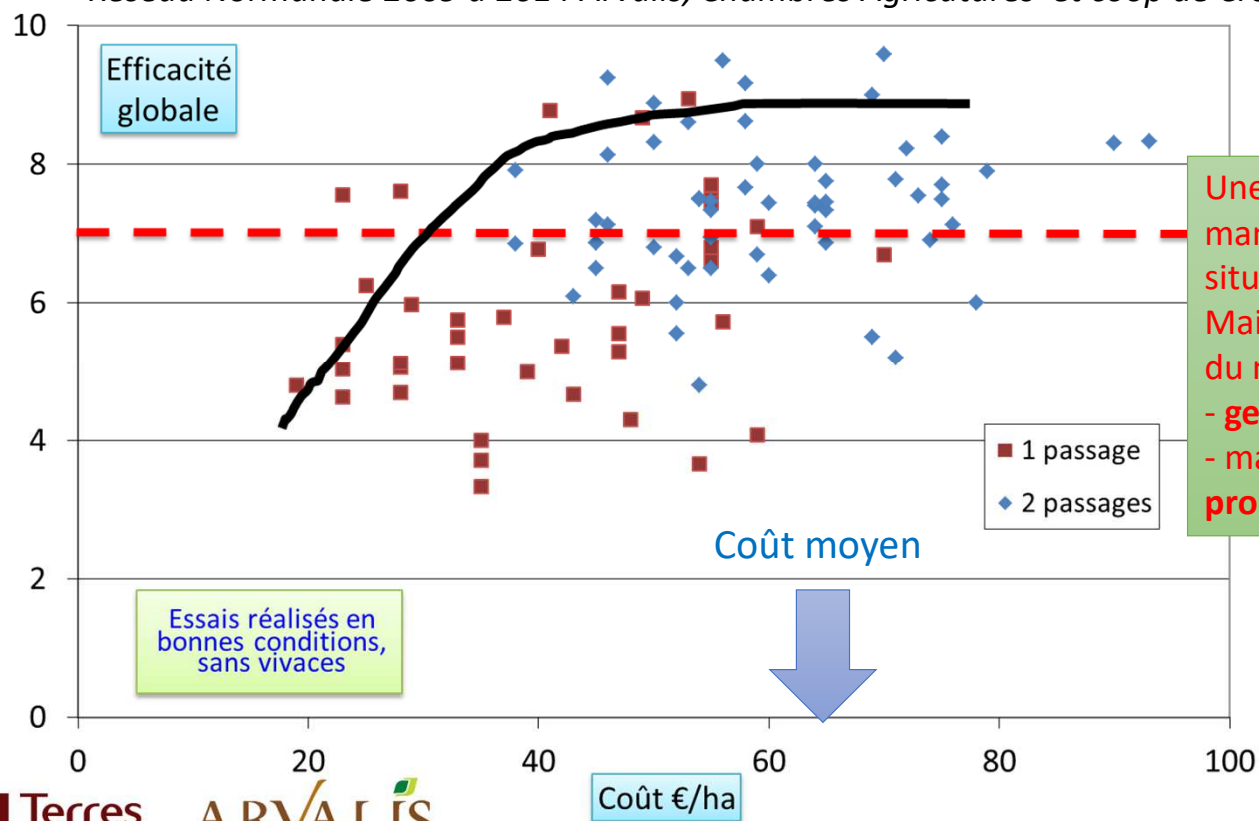
Plusieurs
clés
d'entrée

- **Flore** : graminées ? Dicots difficiles ? Vivaces ?
- **Conditions climatiques**
- **Coût ? Nombre de passages ?**
- **Restrictions d'usage/risque transfert ?**

**Gestion durable
des herbicides :**
diversification et
alternance des
modes d'actions

Désherbage maïs : une bonne efficacité nécessite un investissement minimum

Efficacité des programmes de désherbage en fonction des coûts
Réseau Normandie 2009 à 2014 Arvalis, Chambres Agricultures et coop de Creully



Une petite marge de manœuvre dans certaines situations.
Mais le désherbage du maïs contribue aussi à :
- **gestion des résistances**
- **maintien du patrimoine propre** des parcelles

Lutte contre les ravageurs du maïs au stade jeune : les solutions disponibles

	FORCE 20CS	FORCE 1,5G	BELEM 0.8MG	KARATE 0.4GR	TRIKA EXPERT+	SUCCESS GR
Type de produit	traitement de semences	micro-granulés			micro-granulés + support starter	micro-granulés
Composition	Téfluthrine 200 g/l	Téfluthrine 1.5%	Cyperméthrine 0.8%	lambda- cyhalothrine 0.4%	lambda-cyhal. 0.4% + starter (7-37) + biostim	spinosad 0.4%
Dose maxi	0.05 l/unité de 50 000 graines	12.2 kg/ha	12 kg/ha	15 kg/ha	15 kg/ha	12 kg/ha
Diffuseur	non concerné	non	DXP	Syngenta	Tous	DXP
Taupin						
Géomyze	-	-	+	+	+	-
Oscinie	-	-	-	-	-	?
Mouche des semis	+	+	+	+ *	+ *	?
Vers gris	③	③	①	① *	① *	③
Scutigérelles		*	③	②	②	③
Prix indicatif €/ha	~ 46 € (à 100 000 grains)	~ 66 €	~ 46 €	~ 65 €	~ 77 €	~ 60 €
Contraintes réglementaires		Autorisé 1 an/3, ZNT 20 m, DVP 20m (dose > 10 kg/ha), incorpor. ≥ 3 cm		ZNT 20 mètres, DVP 20 m		


Efficacité

 Moyenne

 Bonne à insuffisante

 Moyenne à insuffisante

 Insuffisante

 usage non autorisé (efficacité : + moyenne, - insuffisante)

① efficacité plus faible en cas d'attaques tardives * à confirmer

② à accompagner de mesures agronomiques adaptées

③ non conseillé par la firme. Peut être utilisé sous la responsabilité de l'utilisateur

Foreurs : impact sur le rendement du maïs fourrage

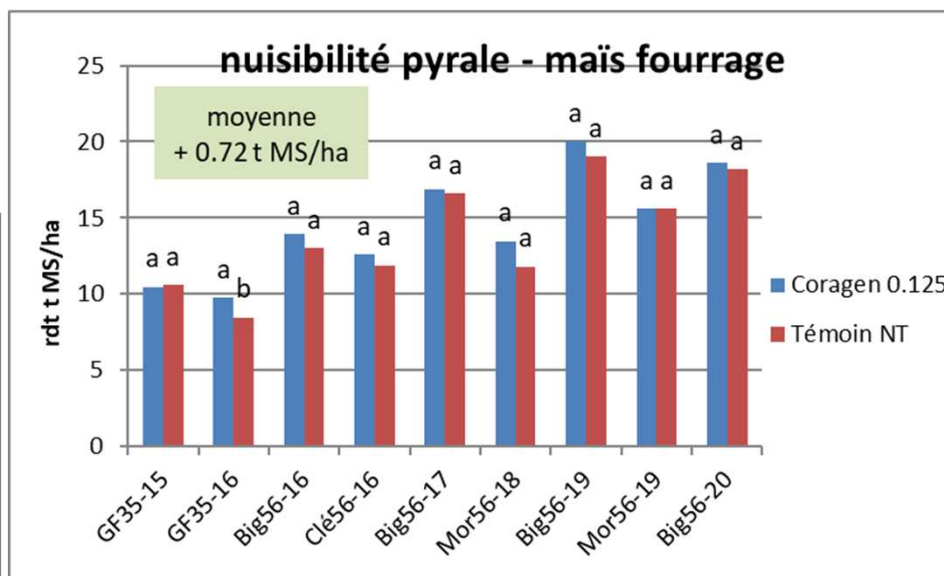
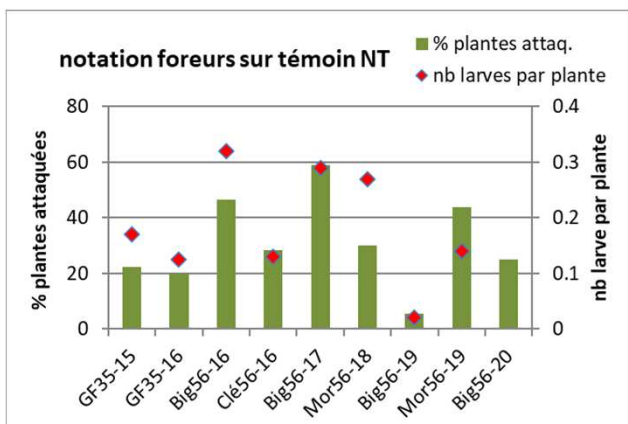
9 essais maïs fourrage,
Arvalis, 2015-2020,

En moyenne : **0.72 t MS/ha**

Un impact quelque soit le potentiel

+ dégradation de la qualité sanitaire (mycotoxines)

Comparaison traité/non traité,
Coragen 0.125 l/ha,
(au stade limite de passage tracteur
ou au pic de vol)



* Cléguer (56) 2016 : essai CRAB

* Bignan (56) 2017 : notation plantes attaquées à récolte grain

Réduire le risque foreurs : le broyage une mesure prophylactique efficace



Broyage
sous bec MB

broyeur axe
horizontal



Broyage et enfouissement recommandé :

- après maïs grain sur toutes les parcelles
 - après maïs fourrage sur les parcelles très infestées
- 80% d'efficacité (essais sésamie sud-ouest)

Limiter la présence de mycotoxines dans l'ensilage de maïs

	Bonnes pratiques à mettre en œuvre <small>Source : brochure maïs fourrage, Arvalis 08/2018</small>
Culture	Préférer la rotation des cultures, éviter la monoculture Bien gérer les résidus de la culture précédente : broyage et enfouissement des résidus sitôt la récolte Choix variétal : précocité adaptée à l'offre climatique, permettant une récolte précoce, éviter les variétés sensibles au risque fusarium Gérer le risque pyrale
Récolte	Cibler le bon stade de récolte (32-33 %MS) Eviter les récoltes tardives (calendrier) Ne pas récolter sous la pluie ou en conditions humides
Confection du silo	Nettoyage du silo avant la récolte Tassage suffisant pour limiter la porosité du tas Bâchage rapide et hermétique du silo pour favoriser le démarrage de la fermentation
Processus de fermentation	Laisser du temps au fourrage pour se stabiliser avant le début d'utilisation
Après la récolte	Gérer les résidus de la culture par broyage et enfouissement sitôt la récolte
Silo ouvert	Désiler au jour le jour, maintenir propre le silo en cours d'exploitation Vitesse d'avancement du front d'attaque suffisante (minimum 20 cm/jour sur la période estivale) Ne pas découvrir le silo au-delà du front d'attaque, limiter les entrées d'air sous la bâche Ne pas distribuer les parties douteuses

Maïs fourrage : les facteurs clés de l'itinéraire
pour concilier rendement et qualité

Récolte et conservation



Photo : Paysan Breton

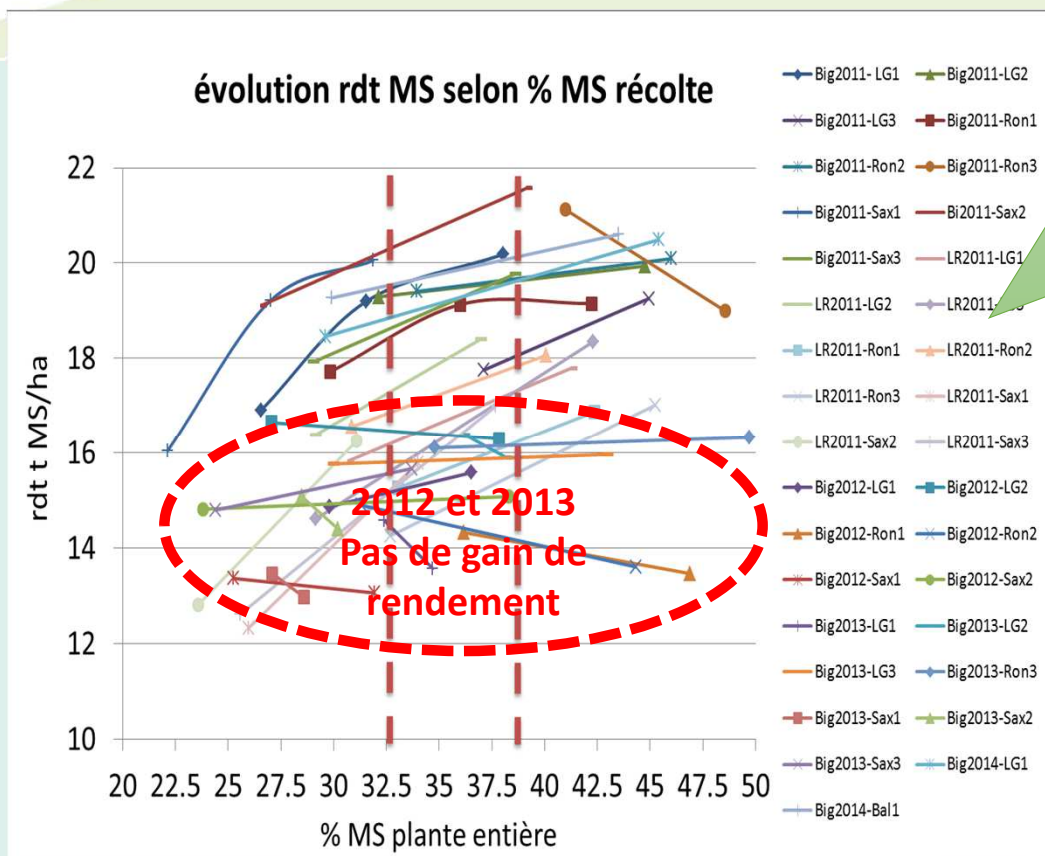
Objectif 32-33% MS plante entière à la récolte

Le meilleur compromis !

- Rendement élevé (mais pas maximum...)
- Equilibre entre rendement grain (concentré énergétique) et qualité de la tige et des feuilles (fibres)
- Valeur énergétique élevée, stable
- Bonne qualité de conservation
- (finesse de hachage, tassement)
- Bon niveau d'ingestion



Impact du stade de récolte sur le rendement

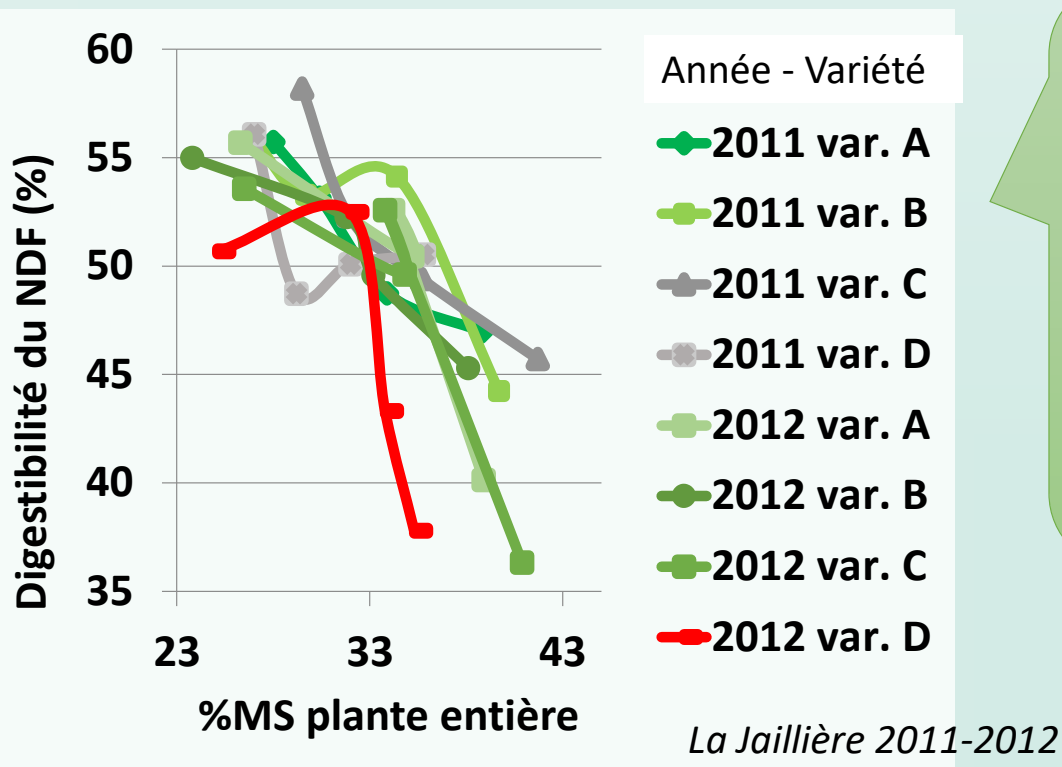


Entre 32-33 et 38-40 %MS :
Gain maxi :
+ 0.8 à 1.0 t MS/ha,
soit 120 à 150 kg MS/ha
par pt de MS

Essais Arvalis Bretagne
Bignan, Le Rheu, 2011 – 2014

Impact du stade de récolte sur la valeur alimentaire

Digestibilité des fibres NDF, mesure in vivo



**La digestibilité
des parois végétales
(NDF)
diminue avec
l'avancement
du stade de maturité**

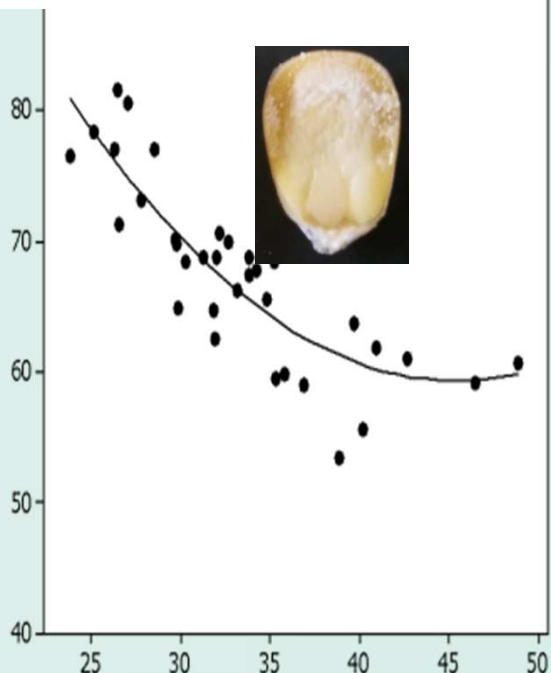
**Le maïs fourrage
devient
moins ingestible
et moins lactogène**

Impact du stade de récolte sur la valeur alimentaire

Dégradabilité de l'amidon, mesure in sacco

Dégradabilité
ruminale de l'amidon
(%) = DT amidon

La Jaillière 2011-2012
Peyrat et al., 2014



Entre 32 et 38% MS à la récolte,
la dégradabilité de l'amidon chute de 8 pts
Soit 25 g d'amidon/kg MS de plus qui traversent le
rumen sans être dégradés! (= amidon « by pass »)



↘ risque d'acidose

Mais ↘ de « carburant »
pour la synthèse de PDIME dans le rumen :
Perte de ~ 2 g de PDIE/kg MS de maïs



Sauvant et Nozière, 2013

→ Les nouvelles tables INRA intègrent ce critère!

Les réglages de l'ensileuse conditionnent aussi la valeur du maïs

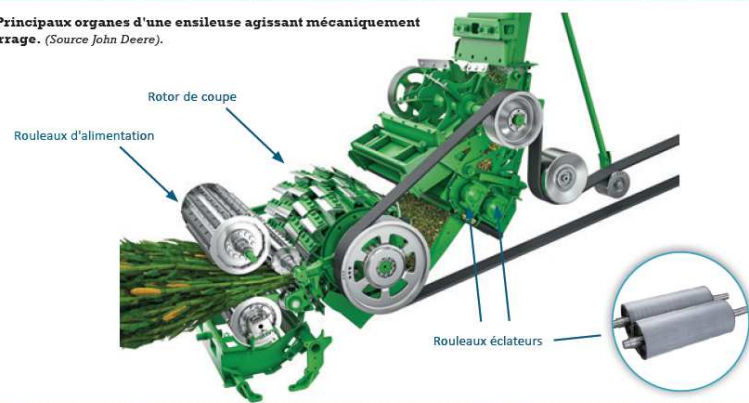
- **Eclatement du grain :**
100% des grains coupé au moins en 4
- méthode « bassine »
- ou mesure labo CSPA (particules < 4.75 mm)
- **Finesse de hachage (tamis) :** Objectif
« 8-10 mm rendu auge »



Grains de maïs bien éclatés
(CSPA > 70%)



: Principaux organes d'une ensileuse agissant mécaniquement surrage. (Source John Deere).

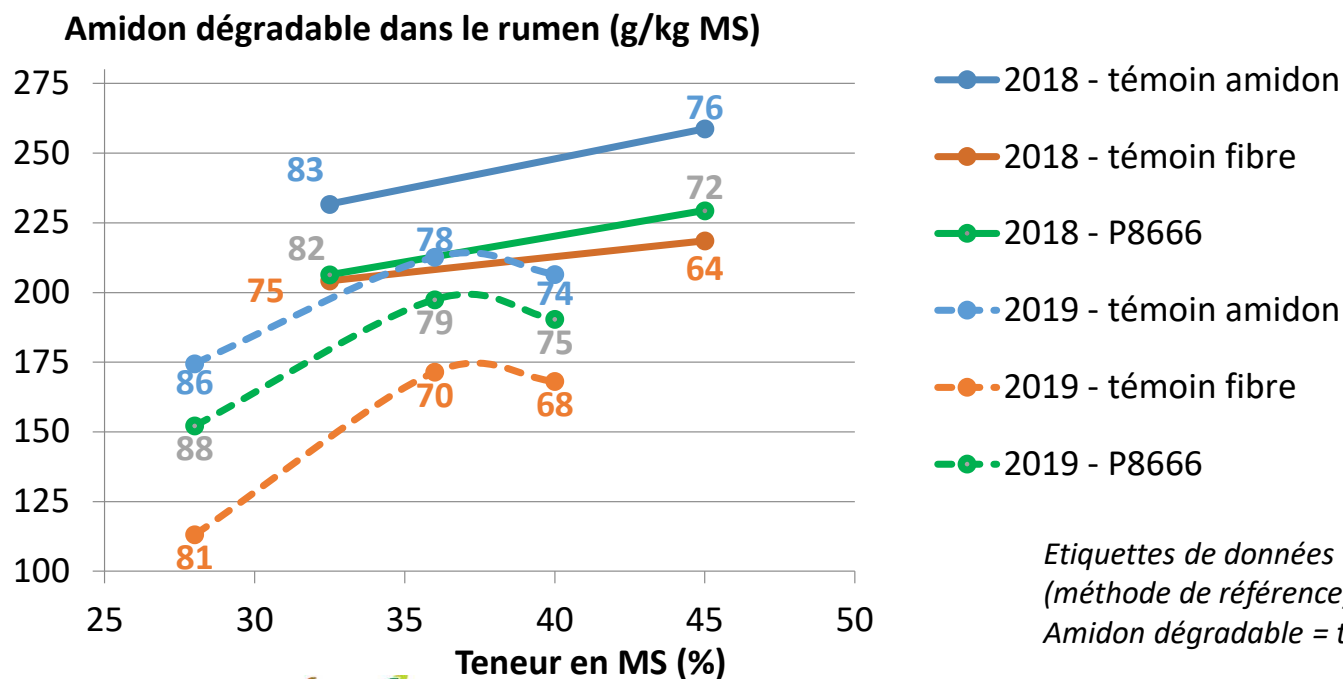


Dégradabilité de l'amidon et type de grain

DT6Amidon \searrow avec le stade de récolte : - 0,8 pt par pt de MS en +

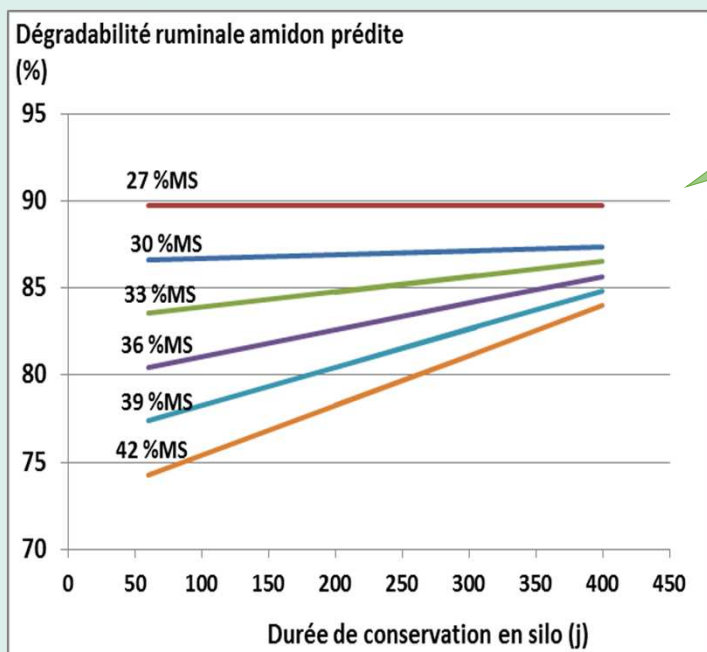
Témoin amidon = P8666 > témoin fibre

Quantité d'amidon dégradable : témoin amidon > P8666 > témoin fibre



Impact de la durée de stockage sur la dégradabilité de l'amidon

Essai ARVALIS sur 5 maïs fourrage, in sacco + biblio



La dégradabilité
de l'amidon
évolue avec le stockage

sur 6 mois, l'enjeu est de + 5 points
de DTamidon pour un maïs à 39%MS
Soit 2 g de PDIE/kgMS
Soit un équivalent de 300 g de blé
par jour par vache

*Férard et al, 2016 ;
Der Bedrosian et al., 2012*

→ réaliser un petit silo avec le maïs sec :
à utiliser tard et avancement rapide du front d'attaque

Le tassement, une étape importante pour réduire la quantité d'oxygène dans le silo

Poids des tracteurs de tassage = au moins le tiers du débit horaire du chantier

Exemple : pour une ensileuse 8 rangs au débit de chantier de 3 ha/h et un rendement 13 t MS/ha, soit 39 t MS/heure au silo → il faut au moins 13 tonnes sur le tas, soit 2 engins de 6-7 tonnes

Si problème, ralentir le débit de l'ensileuse !!

Pour un tassement efficace :

- Tracteurs lourds (masses, gonflage à l'eau...)
- Pneus pas trop larges et gonflés au max... en conservant suffisamment de motricité !
- Tasser par couches de 10-20 cm maxi et suffisamment longtemps
- Rouler à 3-4 km/h

Autres facteurs impactant la densité finale :
 finesse de hachage, % grains, hauteur du tas
 et poids sur la bêche

Repères :
400 kg d'engin tasseur
 par t MS entrante /h
 ou
 2.0 t d'engin tasseur
 par rang d'ensileuse



Objectif densité : ≥ 230 kg MS/m³



Maïs fourrage : les facteurs clés de l'itinéraire
pour concilier rendement et qualité

Valorisation



Salon
de
l'herbe
et des fourrages



Stades de récolte du maïs fourrage : les UFL produites au champ

TB conditions de culture/récolte sur fin de cycle ici	Stade de végétation				
	25%	30%	35%	40%	45%
Rendit MS plante entière (tMS/ha)	13.7	14.4	15.4	15.7	14.7
Teneur en amidon (% de la MS)	22	29	34	38	39
UFL "potentielles" (/kg MS)	0.91	0.93	0.94	0.96	0.95
UFL "valorisables" (/kg MS)	0.91	0.93	0.93	0.93	0.93

ARVALIS 2017, d'après essai EVMS (Moquet), thèse digestibilité (Peyrat)

Récolte tardive → ↑ amidon et ↑ UF « potentielles » produites,
...mais la valeur UF valorisable est inférieure
du fait des interactions digestives dans le rumen

Impact du stade de récolte sur la valeur énergétique du maïs fourrage dans la ration

Sur le bulletin
d'analyses... →

« Vraie valeur »
exprimée →
par les vaches
en lactation

Mais récolté à :

33%MS

**0,90 UFL
M4**

**0,92 UFL
M4**

39%MS

**0,98 UFL
M4**

0,87 UFL M4
avec 15% d'herbe
enrubannée
0,92 UFL M4
avec 30% d'herbe
enrubannée

La valeur réelle
du maïs récolté
tard
est inférieure
à sa valeur
« potentielle »
(analyse)
Il sera mieux
valorisé avec
d'autres fourrages
fibreuse dans la
ration

Essais VL,
La Jaillière 2014

Valorisation du maïs fourrage : risque acidogène

utilisant 3 « types » de maïs à 0,90 UFL,
mais à source d'énergie variable

5 exemples de
composition de ration

"fibre"
28 % d'amidon
dNDF=54%

« équilibre »
32 % d'amidon
dNDF=50%

« amidon »
36 % d'amidon
dNDF=46%

Maïs fourrage	+ Autre fourrage	+ Concentrés			
18.5	0.5 kg	tourteau			
14.0	3.5 kg MS	tourteau			
14.0	3.5 kg MS	1.5 kg céréales + tourteau			
10.5	7 kg MS	tourteau			
9.0	7 kg MS	3 kg céréales + tourteau			

Risque acidogène
faible

Risque acidogène
modéré

Risque acidogène
fort!!

Perspectives Agricoles
mars 2017

Les profils « fibre » ou « équilibre » sont plus sécurisés et plus souples d'utilisation
→ Pilotage par le choix variétal et la date de récolte !

Maïs fourrage : les facteurs clés de l'itinéraire pour concilier rendement et qualité

En résumé :

- ✓ Les conditions de cultures ont un effet important,
- ✓ Les choix réalisés à l'implantation permettent de sécuriser la production
- ✓ Le stade de récolte est primordial pour assurer la qualité du fourrage
- ✓ Objectif 32–35 %MS plante entière à la récolte = compromis rendement - conservation- valorisation
- ✓ La composition de la ration doit s'adapter au type de maïs ensilé

Mais fourrage : les facteurs clés de l'itinéraire pour concilier rendement et qualité

Pour en savoir plus :

- Les points fondamentaux pour réussir la récolte du maïs fourrage.
- Les derniers acquis agronomiques pour optimiser la conduite de la culture,
- Les étapes essentielles : date de récolte, réglages ensileuse, confection du silo
- Interpréter le bulletin d'analyse de fourrage et bâtir des rations équilibrées et performantes.

