



MAÏS FOURRAGE 2020 : UN CRU CORRECT À L'OUEST, TRÈS HÉTÉROGÈNE DU CENTRE À L'EST

Nous proposons dans ce numéro une valorisation des données de composition et de valeurs nutritives des maïs fourrage (MF) de la récolte 2020 obtenues auprès de 25 organismes : Wisium, MiXscience, Sanders, Evalis, Nutréa, LG, Laboratoire CESAR, Neolait, Nealia, Lorial, Provimi, Germ-Services, Océalia, Alicoop, Seenovia, DFP Nutraliance, Terrena, IDENA, Littoral Normand, Eilyps, Optival, Oxygen, Feedia, Union laitière de la Meuse, RAGT Plateau central.

L'étude porte sur des échantillons de fourrage « vert » prélevés à la récolte (n = 5 105) ou « fermenté » prélevés à l'ouverture du silo (n = 6 494) et issus du territoire métropolitain, en excluant les échantillons issus des réseaux d'expérimentation.

Les compositions chimiques (sauf teneur en Matière Sèche, MS) sont données pour le fourrage fermenté, après application des équations de passage « vert à fermenté ». Les valeurs alimentaires sont calculées pour le fourrage fermenté avec les équations d'énergie brute et de digestibilité de la matière organique applicables sur MF (colloque ARVALIS - INRA du 17/11/2016 et INRA 2018).

L'analyse des données a été faite par ARVALIS - Institut du végétal.



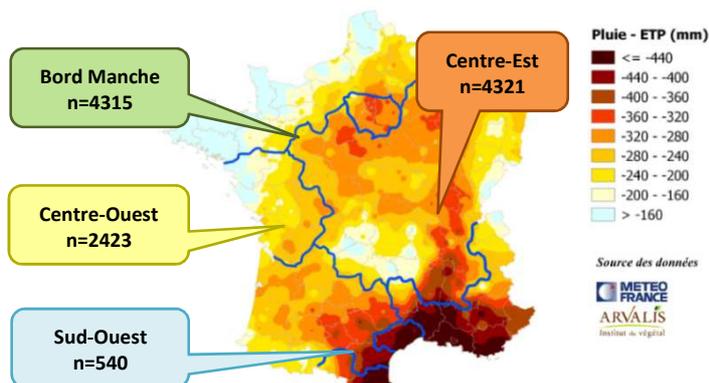
Les semis de MF ont été réalisés en 2 temps, interrompus par des pluies fréquentes fin avril - début mai : une partie avant le 20 avril, principalement dans le Nord et l'Est, et une majorité à partir du 6-7 mai jusqu'au 20-25 mai. Les températures supérieures aux normales en avril et jusqu'à début juin ont permis des levées rapides et homogènes et, globalement, une bonne installation des cultures.

Les floraisons ont été observées avec quelques jours d'avance. À ce stade, les maïs présentaient un bon développement végétatif, à l'exception des régions où le déficit hydrique observé dès mi-juin avait déjà affecté la croissance des plantes (nord de la région Centre, Haute-Normandie, Est Picardie). Le mois de juillet a été très sec, partout en France, mais sans excès de températures. La fécondation s'est globalement bien déroulée. Le retour de la pluie, à partir de début août, a surtout concerné l'Ouest et la bordure maritime Nord. Dans ces régions, les conditions de fin de cycle ont été très favorables au remplissage des grains. Ailleurs, le déficit hydrique persistant s'est soldé par des avortements de grains qui ont affecté le rendement et la teneur en amidon des maïs.

Les premiers chantiers d'ensilage ont commencé tôt dans certains secteurs du Centre-Ouest et de Rhône-Alpes. Les chantiers se sont prolongés jusqu'à mi-octobre dans la bordure maritime nord. Le déficit hydrique a eu plus d'impact sur les régions Centre, Bourgogne Franche-Comté, Lorraine, Hauts-de-France et Haute Normandie. Dans ces régions, la variabilité des rendements est parfois très forte dans un même secteur selon la profondeur de sol dans les parcelles, la localisation des orages... Dans les autres régions, les rendements observés sont bons en moyenne avec des gabarits corrects et un bon remplissage des grains.

À partir des données météorologiques, les 4 zones définies afin de synthétiser les résultats de composition chimique et de valeur alimentaire des MF de la récolte 2020 sont : Bord Manche, Centre-Est, Centre-Ouest et Sud-Ouest (figure 1).

Figure 1 - Bilan hydrique potentiel « Pluie-ETP » de l'année 2020 sur la période du 11/06 au 20/08/2020 et zones définies (n=nombre de données par zone, ETP : Evapotranspiration Potentielle)



Ensilages de maïs 2020 : une qualité moyenne et très hétérogène

La base de données des MF 2020 comporte 11 599 échantillons provenant de 73 départements des différentes régions françaises. Plus de 8 échantillons ont été analysés dans chacun d'eux. L'exploitation de cette base de données a permis de mener une étude spatiale, dont les moyennes par zone sont reprises dans le tableau 1. Les données de composition chimique et de valeur alimentaire présentées par zone ont été pondérées par les surfaces de maïs de chaque département (Agreste 2020).

Tableau 1 - Résultats de composition et estimation de la valeur nutritionnelle des MF 2020.

		Zone "Bord Manche" 2020	Zone "Centre- Est" 2020	Zone "Centre- Ouest" 2020	Zone "Sud- Ouest" 2020	France 2019	France 2020
Nombre d'échantillons analysés		4315	4321	2423	540	15 008	11 599
Critères analysés, % MS		moyenne ET	moyenne ET	moyenne ET	moyenne ET	moyenne	moyenne
	Matière sèche %.	33,9 4,3	33,7 5,3	33,4 4,5	32,6 5,0	33,5	33,7
	Matières Azotées Totales	7,2 0,9	8,1 1,1	7,3 1,0	7,8 1,0	7,4	7,5
	Cellulose Brute	20,9 2,1	22,7 2,7	21,9 2,5	21,6 2,7	20,0	21,6
	NDF	42,6 4,0	46,4 5,0	44,3 4,8	43,3 5,1	42,0	43,9
	Amidon	31,0 5,5	24,1 7,6	25,6 7,9	28,7 7,4	29,7	28,3
Critères calculés	dMO, % MO	71,4 1,6	71,7 1,9	71,0 1,8	71,8 1,9	71,9	71,4
	UFL ₂₀₀₇ , /kg MS	0,91 0,03	0,91 0,03	0,90 0,03	0,91 0,03	0,92	0,91
	UFL ₂₀₁₈ , /kg MS	0,95 0,03	0,95 0,03	0,94 0,03	0,95 0,03		0,95
	PDIN, g/kg MS	44 6	50 7	45 6	48 6	46	46
	PDIE, g/kg MS	67 3	69 3	67 3	68 3	68	68
	PDI, g/kg MS	61 2	63 2	61 2	62 2		62
	BPR, g/kg MS	-38 7	-31 8	-37 8	-33 8		-36
	dNDF, %	51,5 3,5	56,1 3,8	52,6 3,6	53,2 3,6	52,0	53,0
	DMOna, %	57,6 3,5	61,8 4,1	60,1 4,2	59,5 3,6	59,0	59,2
	Amidon dégradable, g/kg MS	255 44	195 61	210 65	238 60	244	231
	UEL, /kg MS	0,97 0,05	0,97 0,06	0,98 0,1	0,98 0,06	0,96	0,97

Avec ET : Ecart-Type ; MS : Matière Sèche ; dMO : digestibilité de la Matière Organique ; UFL : Unité Fourragère Lait calculée à partir des systèmes INRA 2007 et 2018 ; PDI : Protéines Digestibles dans l'Intestin - « N » avec l'azote dégradable comme facteur limitant de l'activité microbienne et « E » avec l'énergie comme facteur limitant de l'activité microbienne du rumen ; BPR : Balance protéique du rumen ; dNDF : digestibilité des fibres insolubles dans le détergent neutre ; DMOna : Digestibilité de la Matière Organique, rapportée à la fraction MO moins amidon ; UEL : Unité d'Encombrement Lait

Un tiers des chantiers réalisés trop tardivement

✓ La teneur en MS moyenne à la récolte (33,7 % MS) est conforme aux préconisations. Cependant, l'hétérogénéité reste importante et bon nombre de maïs ont été récoltés tardivement : 37 % des chantiers d'ensilage ont été réalisés à plus de 35 % MS.

✓ La part la plus élevée de chantiers d'ensilage réalisés à une teneur en MS trop élevée se situe dans les régions Centre-Val de Loire, Bourgogne Franche-Comté et Rhône-Alpes. Les teneurs en amidon y sont pourtant faibles à moyennes. Ce n'est donc pas seulement le grain qui a tiré la MS vers le haut, mais plutôt le dessèchement de l'appareil végétatif. Ailleurs, malgré des proportions de grains correctes (Centre-Ouest et Sud-Ouest) à élevées (Bord Manche), le stade de récolte a été globalement bien maîtrisé, grâce au retour des pluies en août et à des températures plus modérées en fin de cycle.

Des teneurs en protéines élevées sur la moitié Est du pays

✓ La teneur en MAT des ensilages de maïs est en moyenne de 7,5 ± 1,0 % MS, et proche de celle obtenue en 2019. L'hétérogénéité inter-régionale est encore forte et négativement corrélée au rendement, de 7,2 % MS sur la zone Bord Manche à 8,1 % MS sur la zone Centre-Est.

Outre l'effet dilution par le rendement qui reste le facteur explicatif majeur de la teneur en MAT, la qualité d'implantation (enracinement) et la minéralisation de l'azote

du sol, notamment avant la floraison, en sont aussi des facteurs explicatifs.

Des maïs moyennement pourvus en amidon

✓ La teneur moyenne en amidon est de 28,3 ± 6,5 % MS à l'échelle France, et inférieure de 1,4 point par rapport à 2019. La teneur en fibres (cellulose brute ou NDF) est négativement corrélée à la teneur en amidon. Comme l'année passée, une très grande variabilité entre les régions est observée.

✓ Les maïs récoltés sur la bordure Manche et en Aquitaine sont globalement bien pourvus en grains, avec de bons rendements, et relativement homogènes. En revanche, les teneurs en amidon sont plus faibles dans les autres régions.

✓ Sur la zone Centre-Ouest, les maïs présentent dans l'ensemble de bons gabarits et les rendements sont très corrects. Le retour des pluies à la mi-août a permis d'assurer le remplissage des grains dans de bonnes conditions, excepté dans quelques situations (dans les terres les plus superficielles) où les maïs avaient déjà été ensilés. La teneur en amidon moyenne sur cette zone est variable : 25,6 ± 7,7 % MS.

✓ Sur la zone Centre-Est, la teneur en amidon moyenne des ensilages est de 24,1 ± 7,6 % MS. Le Centre-Val de Loire, la Lorraine, la Champagne-Ardenne et la Bourgogne ont été particulièrement touchés par le déficit hydrique

persistant jusqu'à la récolte. L'hétérogénéité constatée intra-région s'explique par des différences de potentiel de sol, des orages très localisés dans certaines zones et la possibilité d'irriguer ou non.

Des valeurs alimentaires en léger recul

✓ En 2020, la teneur moyenne en UFL₂₀₀₇ des MF à l'échelle nationale est de $0,91 \pm 0,03$ UFL/kg MS, et donc en légère baisse par rapport à 2019. Plus d'un tiers des ensilages de maïs présentent une valeur énergétique inférieure à 0,90 UFL/kg MS, donc peu adaptés pour des animaux hautement productifs.

Des maïs plus typés « amidon » sont retrouvés sur les zones Bord Manche et Sud-Ouest, mais avec une fibre un peu moins digestible.

✓ La bonne digestibilité des fibres des ensilages de maïs du Centre-Est permet de compenser la plus faible teneur en amidon pour maintenir une valeur énergétique correcte. Sur ce secteur, les rendements font néanmoins défauts.

✓ Au vu de la variabilité intra-région, cette année encore, la valeur énergétique du MF et les teneurs en amidon et fibres digestibles doivent être prises en compte pour ajuster les rations !

Des maïs un peu moins riches en amidon, mais des fibres plus digestibles

Une large dispersion est observée à nouveau cette année quant à la provenance de l'énergie des MF.

La teneur moyenne en amidon dégradable dans le rumen, à 231 g/kg MS, est en légère baisse (-13 g/kg MS) par rapport à 2019. À teneur en MS proche entre les 2 dernières campagnes, cette baisse est avant tout liée à la concentration en amidon total, inférieure de 14 g/kg MS (figure 2). A noter que sur les maïs dont la MS est tirée par le dessèchement des tiges et des feuilles, la teneur en MS n'est pas toujours représentative de l'évolution du grain, et pourrait ainsi sous-estimer la dégradabilité de l'amidon.

Côté rationnement, pour des animaux à forts besoins, bon nombre de maïs récoltés sur la zone Centre-Est nécessiteront d'être complétés sur le plan énergétique. Dans de nombreux cas, il conviendra de choisir des aliments riches en glucides rapidement fermentescibles (céréale à paille, betterave...) en complément de l'ensilage de maïs. À l'inverse, une partie des maïs récoltés sur la zone Bord Manche devront être intégrés avec précaution dans les rations des vaches laitières pour assurer un bon confort digestif. Un apport d'herbe sous forme ensilée ou enrubannée dans la ration pourra être réalisé pour ne pas dépasser le seuil de 22-25 % MS d'amidon dans la ration (ou 20-22 % MS d'amidon dégradable).

La dNDF est bonne cette année, avec une moyenne égale à $53,0 \pm 3,6$ %, soit un point de plus qu'en 2019. Ce haut niveau de digestibilité des fibres se retrouve notamment dans les régions où les ensilages ont été récoltés précocement, comme en zone Centre-Est (dNDF moyenne de 56,1 %, soit + 3 points que la moyenne nationale). Sur ces secteurs, les ensilages ont commencé très tôt, parfois début août, alors que les plantes commençaient à dessécher sur pied. La qualité des fibres de ces plantes jeunes a ainsi été préservée de la sénescence accélérée de la fin de cycle. Le stress hydrique pourrait aussi avoir eu un impact positif sur la dNDF, grâce une moindre lignification des tissus. Comme l'année passée, les ensilages réalisés sur la zone Bord Manche présentent une digestibilité des fibres inférieure à la moyenne nationale à cause d'une durée de cycle plus longue. Le niveau de digestibilité des fibres est intermédiaire dans les régions Centre-Ouest et Sud-Ouest.

La provenance de la valeur énergétique des 11 599 échantillons de MF 2020 de cette étude est présentée graphiquement (figure 3) sur les 2 axes « Amidon dégradable » et « dNDF ». Ces deux critères peuvent être utilisés pour préciser la composition des rations à base d'ensilage de maïs. Par exemple, cela permet de choisir les aliments complémentaires selon que l'ensilage apporte plus ou moins d'amidon dégradable dans le rumen ou de vérifier que la ration comporte suffisamment de fibres indigestibles indispensables à la rumination.

Figure 2 - Teneurs en amidon total (%) des ensilages de maïs par département

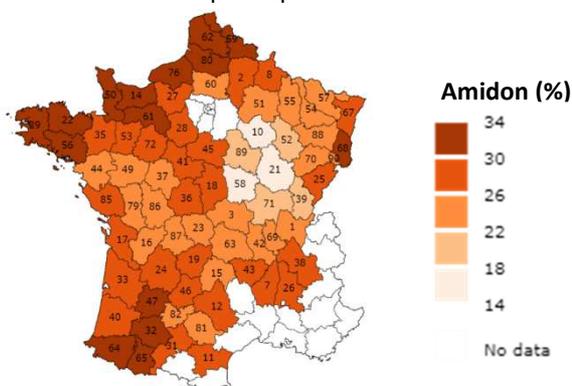
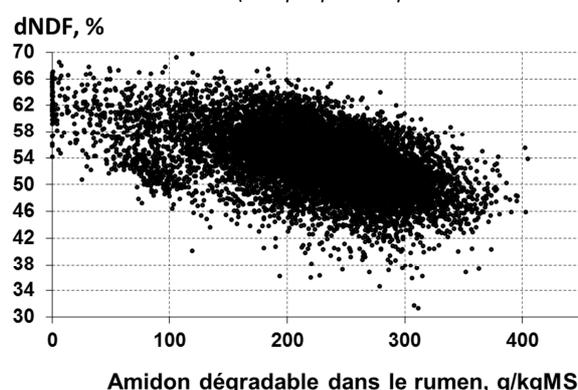


Figure 3 - Valeurs énergétiques représentées selon les critères « Amidon » et « dNDF » (chaque point représente un échantillon).



Données (N=11 599) traitées par ARVALIS - Institut du végétal à partir des contributions de : Wisium, MiXscience, Sanders, Eivalis, Nutrea, LG, Laboratoire CESAR, Neolait, Nealia, Lorial, Provimi, Germ-Services, Océalia, Alicoop, Seenovia, DFP Nutraliance, Terrena, IDENA, Littoral Normand, Eilyps, Optival, Oxygen, Feedia, Union laitière de la Meuse, RAGT Plateau central

Information sur les recherches en cours : Le projet Eclat'maïs, dont l'un des objectifs est d'affiner la valeur alimentaire du MF via la prise en compte du niveau d'éclatement des grains en interaction avec la durée de conservation et le stade de récolte, arrive à son terme en 2021. Côté digestibilité des fibres du MF, d'autres travaux en cours visent à investiguer les liens entre le déficit hydrique et la lignification du maïs dans le but d'identifier des marqueurs de la digestibilité, potentiellement utiles à la sélection variétale.

Précisions sur les méthodes d'analyses et de calculs

Les critères pour décrire le maïs fourrage

La teneur en Matière Sèche (MS) est un indicateur du stade de récolte : il y a une corrélation entre teneur en MS et teneur en amidon, le remplissage des grains n'étant pas terminé au stade de récolte de l'ensilage.

La teneur en amidon est un indicateur de la teneur en grain : elle résulte des choix génétiques, des conditions de culture et du stade de récolte ; elle ne préjuge pas de la digestibilité des tiges et feuilles, sauf quand une même culture est suivie à des stades successifs (dans ce cas, la digestibilité de la partie végétative diminue au fur et à mesure de l'augmentation de la teneur en amidon avec la maturité).

La teneur en protéines est calculée en analysant l'azote et en multipliant par 6,25 : c'est la « Matière Azotée Totale » (MAT) à partir de laquelle on calcule les PDIN et les PDIE. La teneur en MAT est d'autant plus faible que le stade est tardif et le rendement élevé.

La teneur en fibres est mesurée selon plusieurs méthodes d'analyses : il s'agit toujours d'une méthode « gravimétrique » : après différentes « attaques » chimiques ou enzymatiques au laboratoire le résidu est pesé. La méthode la plus ancienne détermine la « Cellulose Brute » (CB). Une autre méthode (Van Soest) donne le résidu fibreux après traitement au détergent en milieu neutre (NDF), en milieu acide (ADF), ou encore en milieu acide renforcé (ADL). En première approximation, l'ADL peut être considéré comme la quantité de lignine, l'ADF la somme de la lignine et de la cellulose, tandis que le NDF est le total lignine + cellulose + hémicellulose. La valeur du résidu NDF est en effet assez proche de la quantité totale des fibres insolubles au sens chimique.

La méthode choisie depuis 1995 pour estimer la digestibilité du maïs fourrage est une méthode enzymatique où le résidu de fourrage est pesé après 3 attaques enzymatiques successives (amylase, pepsine et cellulase). Les bulletins d'analyse expriment ce qui a disparu ; le résultat est noté Dcell (Digestibilité cellulosique) ou DCS (Digestibilité Cellulosique exprimé sur Sec) ou fait référence à l'auteur de la méthode utilisée en France (J. Aufrère).

Référence bibliographique

Peyrat J., Nozière P., Féraud A., Le Morvan A., Protin P.V., Baumont R., 2014. Digestibilité de l'amidon et des parois végétales du maïs fourrage : conséquences sur la prévision de sa valeur nutritive. Renc. Rech. Ruminants, 21, 135-138.

Le calcul des valeurs nutritionnelles

La valeur énergétique du maïs fourrage (vert) est calculée en France en se basant sur l'équation « Modèle 4.2 » (M4.2) ; qui est la mise à jour du modèle M4 avec les nouvelles références de dMO obtenues récemment (Peyrat *et al.*, 2014). Cette équation officielle a été retenue pour les besoins des essais conduits en vue de l'inscription des nouvelles variétés au catalogue ; elle est aussi utilisée pour les besoins des éleveurs. Les valeurs UF ont été calculées avec les systèmes INRA 2007 et 2018.

La prédiction de la valeur azotée du maïs fourrage ne prévoit pas d'adapter les coefficients du calcul au stade de récolte. La teneur en PDIA calculée à partir des analyses est toujours égale à 21,8 % de MAT, celle en PDIN est toujours égale à 61,5 % de MAT. Pour le calcul des PDIE, l'énergie disponible dans le rumen pour la synthèse microbienne intervient également. En revanche la valeur PDIE réelle des ensilages récoltés tardivement est inférieure au calcul conventionnel car une partie de l'amidon n'est pas disponible dans le rumen (jusqu'à 30 % pour des grains vitreux, au lieu de 5 à 10 % aux stades « normaux » d'ensilage).

Les nouvelles références acquises par l'INRA et ARVALIS - Institut du végétal (Peyrat *et al.*, 2014) permettent une quantification plus précise du devenir de l'amidon et des parois végétales dans le tube digestif afin de mieux prévoir les orientations fermentaires dans le rumen, les interactions digestives, les flux de nutriments et de gaz, et la matière organique fermentescible par les microorganismes pour leur synthèse. Ainsi, le nouveau mode de calcul de la valeur alimentaire dans le système d'alimentation INRA 2018 tient compte des quantités d'amidon et de parois végétales digérées dans le rumen dans la prévision de la MOF qui détermine directement la valeur PDIE des aliments. Les deux nouveaux indicateurs disponibles depuis l'automne 2016 sont :

- ✓ La quantité de parois non digestibles (NDFnd) qui est estimée à partir de la prévision de la dMO, et qui permet de calculer la digestibilité des parois végétales NDF (ou dNDF). La digestibilité des tiges et feuilles peut être approchée avec la DMO_{na} (Expression de la DMO, rapportée à la fraction MO moins amidon), ce qui permet de prendre en compte la teneur en contenu cellulaire 100 % digestible.
- ✓ La dégradabilité dans le rumen de l'amidon (DT6 amidon) qui peut être prévue à partir des teneurs en MS et en amidon du fourrage vert. La teneur en amidon dégradé dans le rumen peut ensuite être calculée par la relation :
Amidon Dégradable = Amidon x DT6 amidon

L'ensemble des équations utilisables pour le calcul de la valeur alimentaire du maïs fourrage est repris dans la brochure éditée en novembre 2016 : « Prévoir la digestibilité et la valeur énergétique du maïs fourrage – Guide des nouvelles références » téléchargeable sur le site <http://www.arvalis-infos.fr/> ; rubrique fourrages.