

Annexe 3 : Fertilisation du maïs (grain et ensilage) et du sorgho

Cette fiche a été définie dans le cadre des travaux du groupe régional d'expertise nitrates. Elle correspond à une adaptation de la méthode du bilan azote telle que développée par le COMIFER, à partir des références scientifiques disponibles en Poitou-Charentes.

Équations bilan de fertilisation azotée retenues :

Tous types de sol

$$X = Pf - Pi - Ri - Mh - Mhp - Mr - MrCi - Nirr - Xa + Rf \quad [1]$$

X: Fertilisation azotée minérale

Pf: Quantité d'azote absorbé par la culture à la fermeture du bilan

Ri: Quantité d'azote minéral dans le sol à l'ouverture du bilan

Mh: Minéralisation nette de l'humus du sol

Mr: Minéralisation nette des résidus de récolte

Mhp: Minéralisation nette due à un retournement de prairie

MrCi: Minéralisation nette des résidus de culture intermédiaire

Nirr: Apport d'azote par l'eau d'irrigation

Xa: équivalent engrais minéral de l'azote fourni par les produits résiduels organiques

Rf: Quantité d'azote minéral dans le sol à la fermeture du bilan

Sols argilo-calcaires et terres rouges à châtaigniers

$$X = [(Pf - Po - Mr - MrCi - Nirr) / CAU] - Xa \quad [2]$$

X: Fertilisation azotée minérale

Pf: Quantité d'azote absorbé par la culture à la fermeture du bilan

Po: Fourniture du sol

Mr: Minéralisation nette des résidus de récolte

MrCi: Minéralisation nette des résidus de culture intermédiaire

Nirr: Apport d'azote par l'eau d'irrigation

Xa: Equivalent engrais minéral de l'azote fourni par les produits résiduels organiques

CAU: Coefficient Apparent d'Utilisation de l'azote

Pour les sols argilo-calcaires et les terres rouges à châtaigniers, l'équation [2] peut être utilisée. Les valeurs des paramètres Pf, Mr, MrCi, Nirr et Xa sont les mêmes que pour l'équation [1].

1 - Calcul des besoins de la culture ($Pf = b \times y$)

▪ **b : Besoin d'azote par unité de production**

Maïs grain		Maïs fourrage		Maïs semence	
Objectif de rendement (q/ha)	Valeur de b (kgN/q)	Objectif de rendement (tMS/ha)	Valeur de b (kgN/q)	Objectif de rendement (q/ha) Variété femelle	Valeur de b (kgN/q)
< 100	2,3	<12	14	< 35	4
[100; 120]	2,2	[12; 18]	13	[35; 40[	3,5
> 120	2,1	> 18	12	[40; 50[	3
				≥ 50	2,5

Source: Arvalis-Institut du Végétal – 2012

Pour le maïs semence, les besoins unitaires b doivent être divisés par le Coefficient d'Occupation par les Femelles (COF) :

Dispositif de semis	6x3	6x2	4x2 normal	4x2 réduit	4x3	2x1x2x2 réduit	2x2	Inter planting	Semences de base
COF	0,75	0,77	0,69	0,71	0,67	0,63	0,57	1	1

Source: Arvalis-Institut du Végétal – 2012

Pour le sorgho grain, le besoin est de **2,4 kgN/q**.

▪ **y : objectif de rendement**

En cas d'historique de rendements disponible sur l'exploitation :

L'objectif de rendement correspond à la moyenne des rendements réalisés par l'exploitation pour la culture (et pour des conditions comparables de sol) au cours des 5 dernières années en excluant les deux valeurs extrêmes.

Lorsque les références disponibles sur l'exploitation sont insuffisantes pour les dissocier par type de sol (moins de cinq valeurs pour une condition de sol et de culture), le rendement moyen sur l'exploitation au cours des cinq dernières années (en enlevant les valeurs minimales et maximales) est utilisé en lieu et place de ces références.

Il s'agit bien de référence de l'exploitation et non obligatoirement de référence de l'exploitant. Ainsi, en cas d'installation, l'exploitant peut prendre les références de son prédécesseur.

S'il manque une de ces cinq valeurs, il est possible de remonter à la sixième année ou de se limiter aux quatre dernières campagnes et procéder à la moyenne selon la même règle (exclusion des valeurs extrêmes).

Valeurs par défaut, en cas d'absence d'historique de rendements disponibles sur l'exploitation (en q/ha) :

Maïs grain en sec (q/ha)

Série 13 – Indice 320 à 400

Type de sols	Réserve Utile (RU)	Sols superficiels RU < 80 mm	Sols moyennement profonds 80 mm < RU < 120 mm	Sols profonds RU > 120 mm
Sols argilo-calcaires				80
Sols sur craie Nord Vienne		70	80	90
Sols sur craie Sud Charente et Charente-Maritime		70	80	90
Terres rouges à chataigniers		70	80	90
Limons battants		70	80	90
Sols sablo-argileux hydromorphes			75	
Terres noires de vallées et marais argileux Marais tourbeux ou fond de vallée			90	100
Sols de terrasses de vallée		70	80	90
Sols sableux				
Sols limonoargileux		70	80	90
Sols argileux sur granite, schiste ou gneiss		70	80	90
Sols limoneux sur granite, schiste ou gneiss		70	80	90

Série 14 – Indice 400 à 500

Type de sols	Réserve Utile (RU)	Sols superficiels RU < 80 mm	Sols moyennement profonds 80 mm < RU < 120 mm	Sols profonds RU > 120 mm
Sols argilo-calcaires				
Sols sur craie Nord Vienne		70	80	90
Sols sur craie Sud Charente et Charente-Maritime		70	80	90
Terres rouges à chataigniers		70	80	90
Limons battants		70	80	90
Sols sablo-argileux hydromorphes			75	
Terres noires de vallées et marais argileux Marais tourbeux ou fond de vallée				
Sols de terrasses de vallée				
Sols sableux				
Sols limonoargileux		70	80	90
Sols argileux sur granite, schiste ou gneiss		70	80	90
Sols limoneux sur granite, schiste ou gneiss				

Série 15 – Indice > 500

Type de sols	Réserve Utile (RU)	Sols superficiels RU < 80 mm	Sols moyennement profonds 80 mm < RU < 120 mm	Sols profonds RU > 120 mm
Sols argilo-calcaires				
Sols sur craie Nord Vienne				
Sols sur craie Sud Charente et Charente-Maritime		70	80	90
Terres rouges à chataigniers				
Limons battants				
Sols sablo-argileux hydromorphes				

Terres noires de vallées et marais argileux Marais tourbeux ou fond de vallée			
Sols de terrasses de vallée			
Sols sableux			
Sols limonoargileux	70	80	90
Sols argileux sur granite, schiste ou gneiss	70	80	90
Sols limoneux sur granite, schiste ou gneiss			

Maïs grain irrigué (q/ha)

Série 13 – Indice 320 à 400

Type de sols	Réserve Utile (RU)	Sols superficiels RU < 80 mm	Sols moyennement profonds 80 mm < RU < 120 mm	Sols profonds RU > 120 mm
Sols argilo-calcaires		105	110	115
Sols sur craie Nord Vienne		115	120	125
Sols sur craie Sud Charente et Charente-Maritime				
Terres rouges à chataigniers		115	120	125
Limons battants		105	110	115
Sols sablo-argileux hydromorphes				
Terres noires de vallées et marais argileux Marais tourbeux ou fond de vallée				
Sols de terrasses de vallée				
Sols sableux		105	110	115
Sols limonoargileux		115	120	125
Sols argileux sur granite, schiste ou gneiss		115	120	125
Sols limoneux sur granite, schiste ou gneiss				

Série 14 – Indice 400 à 500

Type de sols	Réserve Utile (RU)	Sols superficiels RU < 80 mm	Sols moyennement profonds 80 mm < RU < 120 mm	Sols profonds RU > 120 mm
Sols argilo-calcaires		110	115	120
Sols sur craie Nord Vienne				
Sols sur craie Sud Charente et Charente-Maritime		115	120	125
Terres rouges à chataigniers		115	120	125
Limons battants		105	110	115
Sols sablo-argileux hydromorphes				
Terres noires de vallées et marais argileux Marais tourbeux ou fond de vallée				
Sols de terrasses de vallée				
Sols sableux		105	110	115
Sols limonoargileux		115	120	125
Sols argileux sur granite, schiste ou gneiss		115	120	125
Sols limoneux sur granite, schiste ou gneiss				

Série 15 – Indice > 500

Type de sols	Réserve Utile (RU)	Sols superficiels RU < 80 mm	Sols moyennement profonds 80 mm < RU < 120 mm	Sols profonds RU > 120 mm
Sols argilo-calcaires		115	120	125
Sols sur craie Nord Vienne				
Sols sur craie Sud Charente et Charente-Maritime		120	125	125
Terres rouges à chataigniers				
Limons battants		110	115	120
Sols sablo-argileux hydromorphes				
Terres noires de vallées et marais argileux Marais tourbeux ou fond de vallée				
Sols de terrasses de vallée				
Sols sableux		110	115	120
Sols limonoargileux		115	120	125
Sols argileux sur granite, schiste ou gneiss		115	120	125
Sols limoneux sur granite, schiste ou gneiss				

Maïs semence (q/ha)

Charente	Charente-Maritime	Deux-Sèvres	Vienne
35	35	35	35

Maïs ensilage (tMS/ha)

Charente	Charente-Maritime	Deux-Sèvres	Vienne
9,9	11,8	11,4	11,0

Sorgho grain (q/ha)

Charente	Charente-Maritime	Deux-Sèvres	Vienne
52	56	53	53

Besoins de la culture (Pf) = besoin unitaire(b)x objectif de rendement (y)=

1

2 - Azote absorbé par la culture à l'ouverture du bilan (Pi)

Le paramètre Pi est nul pour les cultures implantées au printemps ou à l'été.

Azote absorbé a l'ouverture du bilan (Pi) =

0

2

3 - Quantité d'azote minéral dans le sol à l'ouverture du bilan (Ri)

Pour la détermination du reliquat azoté à l'ouverture du bilan l'agriculteur peut par ordre de priorité:

- mesurer le reliquat sortie hiver sur la parcelle ou sur une parcelle de l'exploitation tout à fait comparable (comme prévu par l'arrêté du 19 décembre 2011),
- utiliser les références contenues dans les modèles dynamiques (estimation du reliquat sortie hiver),
- utiliser des références locales annuelles d'accès publics ou privés fournies par les chambres d'agriculture ou les coopératives.

Quantité d'azote minéral dans le sol à l'ouverture du bilan (Ri) =

3

4 – Minéralisation de l'humus (Mh)

Le terme Mh (en kgN/ha) dépend du type de culture, du type de sol et du type d'exploitation afin d'intégrer l'influence de la fertilisation organique.

1) Maïs et sorgho en sec

Type de parcelle	Parcelle sans matière organique	Parcelle avec matières organiques		
		Fréquence > 5 ans	Fréquence 3 à 5 ans	Fréquence < 3 ans
Type de sol				
Sols argilo-calcaires	40	45	50	55
Sols sur craie Nord Vienne	40	45	50	55
Sols sur craie Sud Charente et Charente-Maritime	40	45	50	55
Terres rouges à chataigniers	50	50	65	75
Limons battants	50	50	65	75
Sols sablo-argileux hydromorphes	50	50	65	75
Terres noires de vallées et marais argileux Marais tourbeux ou fond de vallée	75	85	85	90
Sols de terrasses de vallée	50	50	65	75
Sols sableux	70	75	80	85
Sols limonoargileux	50	50	65	75
Sols argileux sur granite, schiste ou gneiss	50	50	65	75
Sols limoneux sur granite, schiste ou gneiss	40	40	45	45

Source: Arvalis-Institut du Végétal, Chambres d'agriculture de Poitou-Charentes

2) Maïs et sorgho irrigué

Type de parcelle Type de sol	Parcelle sans matière organique	Parcelle avec matières organiques		
		Fréquence > 5 ans	Fréquence 3 à 5 ans	Fréquence < 3 ans
Sols argilo-calcaires	60	65	70	75
Sols sur craie Nord Vienne	60	65	70	75
Sols sur craie Sud Charente et Charente-Maritime	60	65	70	75
Terres rouges à chataigniers	70	70	80	90
Limons battants	70	70	80	90
Sols sablo-argileux hydromorphes	70	70	80	90
Terres noires de vallées et marais argileux Marais tourbeux ou fond de vallée				
Sols de terrasses de vallée	70	70	80	90
Sols sableux	80	85	90	95
Sols limonoargileux	70	70	80	90
Sols argileux sur granite, schiste ou gneiss	70	70	80	90
Sols limoneux sur granite, schiste ou gneiss	60	65	70	75

Source: Arvalis-Institut du Végétal, Chambres d'agriculture de Poitou-Charentes

Minéralisation de l'humus (Mh) = 4

5 - Minéralisation nette due à un retournement de prairie (Mhp)

La valeur du poste Mhp (en kgN/ha) dépend de la période de destruction de la prairie et de l'âge de la prairie:

Destruction de printemps		Age de la prairie				
		< 18 mois	2-3 ans	4-5 ans	6-10 ans	> 10 ans
Rang de la culture post destruction	1	20	60	100	120	140
	2	0	0	25	35	40
	3	0	0	0	0	0

Destruction d'automne		Age de la prairie				
		< 18 mois	2-3 ans	4-5 ans	6-10 ans	> 10 ans
Rang de la culture post destruction	1	10	30	50	60	70
	2	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0

Source: COMIFER

Minéralisation nette due à un retournement de prairies (Mhp) = 5

6 – Minéralisation des résidus de culture du précédent (Mr)

Le tableau suivant donne la valeur de Mr (en kgN/ha) selon la nature de la culture précédente:

Nature du précédent	Mr (kgN/ha)	
	Ouverture du bilan en sortie hiver	Ouverture du bilan en avril*
Betterave	20	10
Carotte	10	0
Céréales pailles enfouies	-20	-10
Céréales pailles enlevées ou brûlées	0	0
Colza	20	10
Endive	10	0
Féverole	30	20
Lin fibre	0	0
Luzerne (retournement fin été / début automne) : année n+1	40	30
Luzerne (retournement fin été / début automne) : année n+2	20	20
Maïs fourrage	0	0
Maïs grain	-10	0
Pois protéagineux	20	10
Prairie	0	0
Pois, Haricots de conserve	20	10
Pomme de terre	20	10
Tournesol	-10	0
Ray-Grass dérobé	-30	0
Soja	20	10
Jachère	cf. tableau suivant	cf. tableau suivant

* Date d'ouverture du bilan dans certains cas pour des cultures d'été (maïs, pomme de terre...)

Source: COMIFER

Le tableau suivant donne la minéralisation nette des résidus de jachère précédente (en kgN/ha):

		Période de destruction / culture suivante		
Type de jachère (espèce dominante)	Age	Fin été/hiver	Fin été/printemps	Fin hiver/printemps
Graminée	Moins de 1 an	10	5	10
	Plus de 1 an	20	15	20
Légumineuse	Moins de 1 an	20	15	20
	Plus de 1 an	40	30	40
Graminée + légumineuse	Moins de 1 an	15	10	15
	Plus de 1 an	30	25	30

Source: COMIFER

Minéralisation des résidus de culture du précédent (Mr) = 6

7 - Minéralisation nette des résidus de culture intermédiaire (MrCi)

Les valeurs du poste MrCi sont données dans le tableau ci-dessous en kgN/ha:

Espèce	Production de la culture intermédiaire (tMS/ha)	Ouverture du bilan en sortie hiver		Ouverture du bilan en avril*	
		Destruction Nov/Déc	Destruction Janvier et au delà	Destruction Nov/Déc	Destruction Janvier et au delà
Crucifères (moutarde, radis...)	≤ 1	5	10	0	5
	2 (>1 et <3)	10	15	5	10
	≥ 3	15	20	10	15
Graminées de type seigle, avoine...	≤ 1	0	5	0	0
	2 (>1 et <3)	5	10	0	5
	≥ 3	10	15	5	10
Graminées de type ray grass	≤ 1	5	10	0	5
	2 (>1 et <3)	10	15	5	10
	≥ 3	15	20	10	15
Légumineuses	≤ 1	10	20	5	10
	2 (>1 et <3)	20	30	10	20
	≥ 3	30	40	20	30
Hydrophyllacées (phacélie)	≤ 1	0	5	0	0
	2 (>1 et <3)	5	10	0	5
	≥ 3	10	15	5	10
Mélanges graminées-légumineuses	≤ 1	5	13	3	5
	2 (>1 et <3)	13	20	5	13
	≥ 3	20	28	13	20
Mélanges crucifères-légumineuses	≤ 1	8	15	3	8
	2 (>1 et <3)	15	23	8	15
	≥ 3	23	30	15	23

* Date d'ouverture du bilan dans certains cas pour des cultures d'été (maïs, pomme de terre...)

Source: COMIFER

Minéralisation nette des résidus de culture intermédiaire (MrCi) =

7

8 - Nirr : Azote apporté par l'eau d'irrigation

A défaut d'analyse, la teneur en azote de l'eau d'irrigation est fixée à 40 mg/L (valeur de concentration référence pour le zonage en zone vulnérable).

La quantité d'azote apportée par l'eau d'irrigation est obtenue à partir de l'équation suivante:

$$\text{Nirr} = (V/100) * (C/4,43)$$

avec:

V: quantité d'eau apportée en mm

C: concentration de l'eau en nitrate en mg NO₃/l

L'apport azoté ne sera pris en compte que si la quantité d'eau apportée est supérieure à 100 mm. Sinon, il sera considéré comme négligeable.

Le tableau suivant permet de faire la correspondance entre la hauteur d'eau apportée et le nombre d'unités d'azote correspondant, sur la base de l'équation ci dessus :

Hauteur d'eau apportée (mm)	100	120	140	160	180	200	220	240
Azote apportée (kgN/ha)	9	11	13	14	16	18	20	22

L'exploitant peut retenir une concentration en nitrates inférieure à 40 mg/l à condition de la justifier par les résultats d'analyse de son eau d'irrigation.

Dans ce cas, une analyse d'eau ou une estimation de la concentration en nitrates par la méthode de la bandelette devra être faite pendant la période d'irrigation.

Une feuille déclarative devra être mise en place par l'exploitant pour servir en cas de contrôle.

Azote apportée par l'eau d'irrigation (Nirr) =

8

9 - Azote de la fraction minérale d'un engrais organique (effet direct) (Xa)

La valeur du poste Xa (en kgN/ha) donnée par le calcul suivant :

$$\text{Xa} = \text{Teneur (kgN/t)} * \text{Keq} * \text{Q effluent épandu (t/ha)}$$

A défaut d'analyses de la teneur en azote des effluents organiques de l'exploitation, les teneurs de référence pour chaque type d'effluent sont définies dans l'annexe 12.

Les coefficients d'équivalence sont définis dans l'annexe 12.

Xa = teneur * Keq * quantité épandue =

9

10 - Reliquat post-récolte – Azote présent dans le sol à la fermeture du bilan (Rf)

Le tableau suivant donne la valeur de Rf (en kgN/ha) en fonction des types de sols:

Type de sols	Réserve Utile (RU)	Sols superficiels RU < 80 mm	Sols moyennement profonds 80 mm < RU < 120 mm	Sols profonds RU > 120 mm
Sols argilo-calcaires		15	15	20
Sols sur craie Nord Vienne		15	15	20
Sols sur craie Sud Charente et Charente-Maritime		15	15	20
Terres rouges à chataigniers		15	20	30
Limons battants		15	20	30
Sols sablo-argileux hydromorphes		15	20	
Terres noires de vallées et marais argileux Marais tourbeux ou fond de vallée			30	40
Sols de terrasses de vallée		15	20	30
Sols sableux		5	10	15
Sols limonoargileux		15	20	30
Sols argileux sur granite, schiste ou gneiss		15	20	30
Sols limoneux sur granite, schiste ou gneiss		15	20	30

Source: Arvalis-Institut du Végétal

Azote dans le sol à la fermeture du bilan (Rf) =

10

11 – Fourniture du sol pour l'équation [2] (Po)

Le poste fourniture du sol Po intègre la contribution en azote du sol ainsi que l'arrière effet des retournements de prairie

▪ Contribution en azote du sol (en kgN/ha)

Réserve Utile (RU) des sols	Sols superficiels RU < 80 mm		Sols moyennement profonds 80 mm ≤ RU ≤ 120 mm		Sols profonds RU > 120 mm	
	< 350 mm entre le 1/10 et le 1/03	> 350 mm entre le 1/10 et le 1/03	< 400 mm entre le 1/10 et le 1/03	> 400 mm entre le 1/10 et le 1/03	< 400 mm entre le 1/10 et le 1/03	> 400mm entre le 1/10 et le 1/03
Maïs	75	60	85	70	95	80

Source: Chambre d'Agriculture de la Vienne

▪ **Arrière effet des retournements de prairies (en kgN/ha)**

		Age de la prairie			
		- de 2 ans	2 à 3 ans	4 à 5 ans	6 à 10 ans
Année du retournement	Retournement au printemps suivi d'une culture de printemps	15	45	70	85
	Retournement à l'automne suivi d'une culture d'hiver	10	20	35	45
Année suivant le retournement	Après une culture de printemps	0	0	20	25
	Après une culture d'hiver	0	0	0	0

Source: Chambre d'Agriculture de la Vienne

Fourniture du sol (Po) =

11

Calcul de l'apport minéral en engrais de synthèse = X

Rappel des équations retenues:

Tous types de sol

$$X = Pf - Pi - Ri - Mh - Mhp - Mr - MrCi - Nirr - Xa + Rf \quad [1]$$

Soit à partir des postes précédemment établis :

X=		1	-	0	2	-		3	-		4	-		5	
	-		6	-		7	-		8	-		9	+		10

Sols argilo-calcaires et terres rouges à châtaigniers

$$X = [(Pf - Po - Mr - MrCi - Nirr) / CAU] - Xa \quad [2]$$

La valeur du CAU est de 0,8.

X =	[(		1	-		11	-		6	-		7		
		-		8	) / 0,8]	-		9						

Dans le cas d'un bilan calculé entre 0 et 30 kgN/ha, la dose prévisionnelle à apporter peut être de 30 kg N/ha car il est difficile d'épandre une dose plus faible avec précision.

Dans le cas d'un bilan négatif, aucun engrais ne doit être apporté.

Volatilisation ammoniacale aux dépens des engrais minéraux

Le calcul de la dose prévisionnelle d'azote, qui se place dans la configuration « potentielle » d'efficacité maximale de l'engrais azoté, **ne doit pas tenir compte de la volatilisation ammoniacale des engrais minéraux**. La prise en compte de cette perte, potentiellement très variable, n'intervient pas *a priori* dans le calcul prévisionnel de l'apport total mais fait l'objet d'une analyse de risque à chaque apport pour :

1. Eviter ou réduire la perte ammoniacale par des pratiques adaptées

D'une manière générale, toutes les pratiques culturales qui tendent à maximiser l'efficacité de l'azote apporté (maximisation du coefficient d'utilisation de l'azote) doivent être privilégiées avant de recourir à une majoration de dose. Une liste de ces pratiques est disponible sur le site du COMIFER (<http://www.comifer.asso.fr/index.php/bilan-azote/ref-complementaires.html>)

2. Utiliser une grille d'évaluation du risque avant chaque apport d'azote.

Lorsqu'un engrais à base uréique et/ou ammoniacale tel que l'urée et la solution azotée est apporté en plein en cours de culture sans possibilité d'enfouissement/incorporation ou infiltration, une grille d'évaluation du risque de perte d'efficacité permet d'ajuster l'apport prévu en appliquant une majoration de 0 à 15% à cet apport. Cette grille, disponible sur le site Internet du COMIFER (<http://www.comifer.asso.fr/index.php/bilan-azote/ref-complementaires.html>) est utilisable avant chaque apport.

Dans les cas d'apport en plein en cours de culture, sans possibilité d'enfouissement/incorporation ou infiltration, d'un engrais à base uréique et/ou ammoniacale tel que l'urée et la solution azotée, cette grille sera considérée comme un « outil de pilotage de la fertilisation » au sens du 3° du III de l'annexe I de l'arrêté du 19 décembre 2011 (et de l'article 10 du présent arrêté) et peut donc être utilisée pour justifier d'un apport supérieur à la dose prévisionnelle calculée (dans la limite de la majoration de dose que la grille indique). L'agriculteur devra alors produire la grille d'évaluation de l'apport ayant fait l'objet d'une majoration et les justificatifs prouvant qu'il s'agissait d'un apport en plein en cours de culture sans possibilité d'enfouissement/incorporation ou infiltration.