

Annexe 2.2.a :

Fertilisation du MAÏS (grain et ensilage) ET DU SORGHO Méthode bilan additif ou avec CAU Départements 16, 17, 79, 86

Équation bilan retenue

Les écritures opérationnelles retenues sont :

a) Pour tous les types de sol

$$X = Pf + Rf - Pi - Ri - Mh - Mhp - Mr - MrCi - Nirr - Xa$$

Avec :

X : Fertilisation azotée minérale

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

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

Pi : Quantité d'azote absorbé par la culture à l'ouverture 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 résiduaux organiques

b) Pour les sols argilo-calcaires et terres rouges à châtaigniers

$$X = \frac{(Pf - Po - Mr - MrCi - Nirr) - Xa}{CAU}$$

Avec :

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 : Équivalent engrais minéral de l'azote fourni par les produits résiduaux organiques

CAU : Coefficient apparent d'utilisation de l'azote

Les valeurs des paramètres Pf, Mr, MrCi, Nirr et Xa sont les mêmes pour tous les types de sol, quelle que soit l'équation retenue et utilisée.

Pour être valables, tous les termes du bilan doivent être calculés, mesurés ou évalués à la même date. Ainsi, la date de prélèvement et donc de mesure de Ri est aussi la date d'ouverture du bilan.

Pour les cultures d'hiver, il est recommandé d'ouvrir le bilan avant tout apport minéral ou organique sur la culture et de préférence après la phase de drainage la plus importante.

Pour les cultures de printemps, il est recommandé d'ouvrir le bilan avant le semis et aussi avant les apports organiques ou minéraux.

1. Quantité d'azote absorbé par la culture à la fermeture du bilan (Pf)

$$Pf = b \times y$$

Avec :

b : Besoin en azote de la céréale par unité de production (quintal)

y : Objectif de rendement

a) Besoin d'azote de la culture par unité de production (b)

Le tableau suivant donne le besoin en azote des cultures pour produire 1 quintal de grain **b** (en kg/q) :

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

Source : Arvalis - Institut du Végétal

Pour le maïs semence, les besoins unitaires **b** doivent être divisés par le coefficient d'occupation par les femelles (COF) :

Dispositif de semis	6 x 3	6 x 2	4 x 2 normal	4 x 2 réduit	4 x 3	2 x 1 x 2 x 2 réduit	2 x 2	Inter-planting	Semences de base
COF	0,75	0,77	0,69	0,71	0,67	0,63	0,57	0,67	1

Source : Arvalis - Institut du Végétal

Pour le maïs pop-corn, le besoin est de **4,1 kgN/q**.

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

b) Objectif de rendement (y)

Le calcul de l'objectif de rendement est décrit dans l'article 2 de l'arrêté préfectoral.

2. Quantité d'azote présent dans le sol à la fermeture du bilan (Rf)

Le paramètre **Rf** correspond à la quantité d'azote présente dans le sol à la récolte que les racines ne sont pas capables d'extraire. Il doit être pris en compte dans les besoins de la culture. Dans le tableau suivant les valeurs de **Rf** sont indiquées en kgN/ha pour les différents types de sol (cf. annexe 7 - description des 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 sableux		5	10	15
Sols de fond de vallée, terres noires		-	30	40
Sols de terrasses de vallée		15	20	30
Sols limoneux		15	20	30
Sols sur granite		15	20	30
Sols argileux à sablo-argileux		15	20	-

Source : Arvalis – Institut du Végétal

3. Quantité d'azote absorbé par la culture à l'ouverture du bilan (Pi)

La date d'ouverture du bilan ayant été fixée au 1^{er} février, le paramètre **Pi** est nul pour les cultures implantées au printemps ou à l'été.

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

Les valeurs de **Ri** à utiliser sont décrites dans l'article 8 de l'arrêté préfectoral.

5. Minéralisation de l'humus (Mh)

Le paramètre **Mh** est une estimation prévisionnelle de la quantité d'azote provenant de la minéralisation de l'humus, qui sera disponible pour la culture pendant sa croissance. **Mh** dépend du type de culture, du type de sol et du type d'exploitation afin d'intégrer l'influence de la fertilisation organique. Dans les tableaux suivants, les valeurs de **Mh** (en kgN/ha) sont indiquées pour les différents types de sol.

a) Maïs et sorgho en sec

Type de sol	Type de parcelle	Parcelle sans matière organique	Parcelle avec matières organiques		
			Fréquence > 5 ans	Fréquence 3 à 5 ans	Fréquence < 3 ans
Sols argilo-calcaires		40	45	50	55
Sols sableux		70	75	80	85
Sols de fond de vallée, terres noires		75	85	85	90
Sols de terrasses de vallée		50	50	65	75
Sols limoneux		50	50	65	75
Sols sur granite		50	50	65	75
Sols argileux à sablo-argileux		50	50	65	75

Source : Arvalis – Institut du Végétal et chambres d'agriculture d'ex-Poitou-Charentes

b) Mais et sorgho irrigué

Type de sol	Type de parcelle	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 sableux		80	85	90	95
Sols de fond de vallée, terres noires		-	-	-	-
Sols de terrasses de vallée		70	70	80	90
Sols limoneux		70	70	80	90
Sols sur granite		70	70	80	90
Sols argileux à sablo-argileux		70	70	80	90

Source : Arvalis - Institut du Végétal et chambres d'agriculture d'ex-Poitou-Charentes

6. Minéralisation nette due à un retournement de prairie (Mhp)

Le paramètre **Mhp** est la quantité d'azote disponible suite à la destruction d'une prairie pour les cultures qui suivent. La valeur de **Mhp** (en kgN/ha) dépend de la période de destruction, du mode d'exploitation et de l'âge de la prairie.

Destruction de printemps :

Rang culture post-destruction	Type de production	Mode d'exploitation	Âge de la prairie				
			< 18 mois	2-3 ans	4-5 ans	6-10 ans	> 10 ans
1 ^{re} culture après destruction	Graminées pures	Pâturage intégrale	20	60	100	120	140
		Fauche + pâturage	14	42	70	84	98
		Fauche intégrale	8	24	40	48	56
	Association graminées-légumineuses	/	20	60	100	120	140
2 ^e culture après destruction	Graminées pures	Pâturage intégrale	0	0	25	35	40
		Fauche + pâturage	0	0	17.5	24.5	28
		Fauche intégrale	0	0	10	14	16
	Association graminées-légumineuses	/	0	0	25	35	40

Destruction d'automne

Rang culture post-destruction	Type de production	Mode d'exploitation	Age de la prairie				
			< 18 mois	2-3 ans	4-5 ans	6-10 ans	> 10 ans
1 ^{re} culture après destruction	Graminées pures	Pâturage intégrale	10	30	50	60	70
		Fauche + pâturage	7	21	35	42	49
		Fauche intégrale	4	12	20	24	28
	Association graminées-légumineuses	/	10	30	50	60	70
2 ^e culture après destruction	/	/	0	0	0	0	0

Source : GREN

7. 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
Culture intermédiaire	0	0
Endive	10	0
Féverole	30	20
Lin fibre	0	0
Lupin	20	10
Luzerne (retournement fin été / début automne) : année n+1	40	30
Luzerne (retournement fin été / début automne) : année n+2	20	20
Luzerne (retournement de printemps)	60	60
Maïs fourrage	0	0
Maïs grain (y compris maïs semence, maïs doux...)	-10	0
Pois, haricots de conserve	20	10
Pois protéagineux	20	10
Pomme de terre	20	10
Prairie	0	0
Ray-grass dérobé	-30	0
Soja	20	10
Sorgho (ensilage ou grain)	-10	0
Tournesol	-10	0

* 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) :

Type de jachère (espèce dominante)	Âge	Période de destruction / culture suivante		
		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

8. Minéralisation nette des résidus de culture intermédiaire (MrCi)

Le paramètre **MrCi** est la quantité d'azote disponible pour des cultures intermédiaires restituées (couverts d'interculture exportés ou couverts d'interculture non exportés). Les valeurs de **MrCi** (en kgN/ha) sont données dans le tableau ci-dessous :

Espèce	Production de la culture intermédiaire (tMS/ha)	Ouverture du bilan en sortie d'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

9. Azote apporté par l'eau d'irrigation (Nirr)

La quantité d'azote apportée par l'eau d'irrigation est obtenue par le calcul suivant :

$$\text{Nirr} = \frac{(Q \text{ H}_2\text{O}) \times (T \text{ NO}_3)}{443}$$

Avec :

Q H₂O : Quantité d'eau d'irrigation prévue (mm)

T NO₃ : Teneur en nitrates (mg/L)

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

Dans le cas d'utilisation d'une eau superficielle, la teneur régionale de référence en azote de l'eau d'irrigation est : **T NO₃ = 25 mg/L de nitrates.**

Dans le cas d'utilisation d'une eau souterraine, la teneur régionale de référence en azote de l'eau d'irrigation est : **T NO₃ = 40 mg/L de nitrates**.

Les tableaux suivants font la correspondance entre la hauteur d'eau prévue et le nombre d'unités d'azote apporté, sur la base du calcul ci-dessus :

Azote apporté par une eau d'irrigation souterraine (T NO ₃ = 40 mg/L)								
Hauteur d'eau prévue (mm)	100	120	140	160	180	200	220	240
Azote apporté (kgN/ha)	9	11	13	14	16	18	20	22

Azote apporté par une eau d'irrigation superficielle (T NO ₃ = 25 mg/L)								
Hauteur d'eau prévue (mm)	100	120	140	160	180	200	220	240
Azote apporté (kgN/ha)	6	7	8	9	10	11	12	14

Dans le cas d'utilisation d'une eau souterraine, l'exploitant peut retenir une concentration en nitrates inférieure à 40 mg/L à condition de la justifier par :

- La mesure de la concentration en nitrates. Dans ce cas, une analyse d'eau ou une estimation de la concentration en nitrates par la méthode de la bandelette doit être faite pendant la période d'irrigation ;
- L'utilisation de références locales annuelles issues de réseaux d'analyse de teneur en azote de l'eau d'irrigation. Ces références peuvent être d'accès publics ou privés, et fournies par des organismes professionnels techniques.

L'agriculteur tient alors à disposition de l'administration un document attestant l'origine de la valeur retenue.

10. Fourniture d'azote par les produits résiduels organiques (PRO) récents (Xa)

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

$$Xa = N_{pro} \times Q \times Keq$$

Avec :

N_{pro} : Teneur en azote total du produit (kgN/t ou kgN/m³)

Q : Volume ou masse de produit épandu par hectare (t/ha ou m³/ha)

Keq : Coefficient d'équivalence engrais minéral (coefficient d'équivalence azote)

Keq est le coefficient d'équivalence azote minéral pour un apport d'azote organique. Selon le cas, l'apport peut être soit de fin d'été, soit d'automne, soit de printemps (cf. annexe 5).

A défaut d'analyses de la teneur en azote des effluents organiques de l'exploitation, les teneurs de référence pour chaque type de produit organique sont définies dans l'annexe 5.

Les coefficients d'équivalence sont également définis dans l'annexe 5.

Si des produits résiduels organiques différents sont appliqués ou s'ils sont appliqués à des dates différentes, les valeurs de **Xa** s'additionnent.

11. Fourniture d'azote par le sol (Po)

Si utilisation de l'écriture opérationnelle avec CAU pour les sols argilo-calcaires et les terres rouges à châtaigniers.

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

Le tableau suivant reprend la contribution en azote du sol en kgN/ha, en fonction de la réserve utile des sols, de la pluviométrie, et de la céréale cultivée.

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 01/10 et le 01/03	> 350 mm entre le 01/10 et le 01/03	< 400 mm entre le 01/10 et le 01/03	> 400 mm entre le 01/10 et le 01/03	< 400 mm entre le 01/10 et le 01/03	> 400 mm entre le 01/10 et le 01/03
Maïs	75	60	85	70	95	80

Source : Outil PC Azote, septembre 2006

Le tableau suivant reprend l'arrière effet des retournements de prairies en kgN/ha :

		Age de la prairie			
		< 2 ans	2 à 3 ans	4 à 5 ans	6 à 10 ans
Année de 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 : Arvalis, septembre 2006

12. Coefficient apparent d'utilisation (CAU)

Si utilisation de l'écriture opérationnelle avec CAU pour les sols argilo-calcaires et les terres rouges à châtaigniers.

Le coefficient apparent d'utilisation de l'engrais par la culture (**CAU**) permet de corriger la dose d'azote minéral à apporter en estimant l'efficacité réelle de l'engrais apporté.

Pour le maïs et le sorgho, **CAU = 0,80**.