

<b>Maïs et Sorgho</b> <b>Maïs grain, Maïs fourrage, Maïs semence, Maïs doux, Maïs popcorn</b> <b>Sorgho grain, Sorgho semence et Sorgho fourrage</b>	<b>ANNEXE 2</b> Version définitive du 21/03/2025
--	---

Sommaire :

## I – Écriture opérationnelle

### II – Descriptif des termes de l'écriture opérationnelle

#### 1- Les besoins en azote de la culture (quantité d'azote absorbé par la culture à la fermeture du bilan) : Pf

1.1 Besoins par unité de production (b)

1.2 Rendement objectif (y)

1.3 Reliquats d'azote à la récolte (Rf)

#### 2- Les fournitures en azote du sol

2.1. Ri : Reliquat azoté à l'ouverture du bilan

*2.1.1 Le bilan azoté du précédent et le modèle agro-météorologique*

*2.1.2 Ri donné par une mesure de reliquat d'azote*

2.2. Mh : Minéralisation nette de l'humus du sol

2.3 Mhp : Minéralisation nette due à un retournement de prairie

2.4 Mr : Minéralisation nette de résidus de récolte

2.5 Mr CI : Minéralisation nette de résidus de cultures intermédiaires

#### 3- Les apports d'azote

3.1 Nirr : Azote apporté par l'eau d'irrigation

3.2 Xa : apports fournis par les produits résiduels organiques (PRO)

3.3 CAU : Coefficient apparent d'utilisation de l'engrais

Le raisonnement de la fertilisation est basé sur l'équilibre entre les besoins de la plante et les apports qui peuvent être fournis par le sol et ceux apportés par les exploitants au cours de la campagne culturale.

Ainsi la dose à apporter est calculée globalement comme suit :

**Dose totale d'azote à apporter = besoins de la culture - fournitures du sol - les apports organiques**

## I – Écriture opérationnelle

Écriture simplifiée de l'équation du bilan azoté (Equation [4] du COMIFER) :

$$X = ([Pf + Rf] - [Ri + Mh + Mhp + Mr + MrCI + Nirr]) / CAU - Xa$$

X	Apport d'azote sous forme d'engrais minéral de synthèse = dose totale à apporter
Pf	Quantité d'azote absorbé par la culture à la fermeture du bilan
Rf	Reliquat d'azote minéral dans le sol à la fermeture du bilan
Ri	Reliquat azoté à l'ouverture du bilan *
Mh	Minéralisation nette de l'humus du sol
Mhp	Minéralisation nette due à un retournement de prairie
Mr	Minéralisation nette de résidus de récolte
MrCI	Minéralisation nette de résidus de cultures intermédiaires
Nirr	Azote apporté par l'eau d'irrigation
CAU	Coefficient apparent d'utilisation de l'engrais
Xa	Equivalent engrais minéral d'un produit organique

\* le Ri peut être obtenu par calcul ou par mesure

## II – Descriptif des termes de l'écriture opérationnelle

### 1- Les besoins en azote de la culture (quantité d'azote absorbé par la culture à la fermeture du bilan) : Pf

Les plantes absorbent l'azote en fonction de leurs besoins et de sa disponibilité dans le sol. L'objectif du raisonnement de la fertilisation est d'apporter la quantité d'azote nécessaire à l'obtention du potentiel de rendement sans négliger l'objectif de qualité.

Besoins des cultures = **Pf + Rf** = (besoins de la plante x objectif de rendement) + azote restant après la récolte

**Pf = (b \* y)** avec :

b = besoins par unité de production

y = Objectif de rendement

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

Pour le maïs semence, le tableau 2 indique en fonction de l'objectif de rendement le terme Pf qui regroupe les termes b et y (cf tableau 2).

#### 1.1 Besoins par unité de production (b)

**Tableau 1:** Besoins en azote des cultures pour produire 1 quintal de grain

Type	Rendements	Besoins N (kg/q) : <b>b</b>
Maïs Grain	< 100 q/ha	2,3
	100 à ≤120 q/ha	2,2
	>120q/ha	2,1
Maïs fourrage	< 14t MS/ha	14
	14 à 18t MS/ha	13
	>18t M/ha	12
Maïs doux	Epis sans Spathes	10
	Epis avec Spathes	12
Maïs Pop corn	-	3,3
Sorgho Grain	< 50q/ha	2,9
	50 à 80	2,5
	80 à 100	2,3
	> 100	2,1
Sorgho fourrage	0 à 10t MS/ha	16
	10 à 15t MS/ha	14
	> 15t MS/ha	12,5

**Tableau 2 :** Cas des productions de semences :

- Maïs semence : besoins en azote par hectare des rangs femelle en fonction de l'objectif de rendement

Objectif de rendement des rangs femelles à 15%	Besoin en azote : <b>Pf</b>
q/ha	Kg N/ha de femelle
[0-10[	70
[10-15[	85
[15-20[	95
[20-25[	105
[25-30[	115
[30-35[	125
[35-40[	130
[40-45[	135
[45-50[	140

[50-55[	145
[55-60[	150
[60-70[	155
[70-..[	165

- Sorgho semence : besoins en azote par hectare des rangs femelle en fonction de l'objectif de rendement  $Pf = y \times b$  (valeur du b du sorgho grain dans le **tableau 1**)

La valeur du besoin par ha des rangs femelle doit être ajustée en fonction du dispositif de semis :  
 $Pf / \text{coefficient d'occupation des sols (tableau ci-dessous)}$

**Tableau 3** : coefficient d'occupation des sols des rangs femelles maïs et sorgho

Dispositif de semis	6x3	6x2	4x2	4x2 Réduit*	4x3	2x1x2x2 Réduit*	2x2	Inter planting	Semences de base
Coefficient d'occupation par les femelles	0.75	0.77	0.69	0.71	0.67	0.63	0.57	0,67	1

\* réduit = écartement de semis entre 50 et 60 cm

### 1.2 Rendement objectif (y)

Il s'agit du rendement prévisionnel calculé selon les modalités stipulées à l'article 3 de l'arrêté préfectoral établissant le référentiel régional de mise en œuvre de l'équilibre de la fertilisation azotée pour la région Occitanie.

### 1.3 Reliquats d'azote à la récolte (Rf)

Le besoin de la culture tient aussi compte du fait qu'il reste de l'azote dans le sol à la récolte que les racines n'ont pas été capables d'extraire. Les **tableaux 1 et 2 de l'annexe B** permettent de connaître le poste Rf pour 22 sols de l'Ouest Occitanie et 8 sols de l'Est Occitanie.

## 2- Les fournitures en azote du sol

### 2.1. Ri : Reliquat azoté à l'ouverture du bilan

**Date d'ouverture du bilan** : au plus tard au semis de la culture – au 1<sup>er</sup> mai s'il n'a pas eu lieu avant.

Deux méthodes permettent de connaître la valeur du Ri :

- 1° Un calcul faisant intervenir le bilan azoté du précédent et un modèle agro-météorologique
- 2° Une mesure de reliquat d'azote

#### 2.1.1 Le bilan azoté du précédent et le modèle agro-météorologique

##### Formule générale :

$Ri = APL$  (Azote potentiellement lixiviable) - lixiviation hivernale + minéralisation hivernale de l'humus avant ouverture du bilan

**APL** (Azote Potentiellement Lixiviable) : quantité d'azote présent dans le sol à l'entrée de l'hiver dépendant de la nature du précédent, et susceptible d'être lixivié. Il est assimilable au REH (reliquat azoté en entrée d'hiver).

Plusieurs cas sont possibles en fonction de la nature du précédent :

#### ➔ Précédent Autre que légumineuses et prairies :

$Ri = APL$  - lixiviation hivernale + minéralisation hivernale de l'humus avant ouverture du bilan

## Calcul de APL (Azote Potentiellement Lixivable) :

$$\text{APL} = ( A^1$$

+ Azote minéral apporté au précédent

+ Azote organique apporté au précédent<sup>2</sup>

+ MhpPrécédent<sup>3</sup>

+ MrCIPrécédent<sup>4</sup>

- Azote consommé par le précédent<sup>5</sup>)

\* Coeff de correction d'un excès d'azote du bilan de la culture précédente<sup>6</sup>

+ azote organique apporté avant ouverture du bilan<sup>7</sup>

### <sup>1</sup> Valeur A (Azote fourni à la culture précédente par la minéralisation) :

Deux valeurs A sont disponibles pour chaque type de sol dans les **tableaux 1 et 2 de l'annexe B**. Le choix de la valeur A sera fait selon si la culture précédente était irriguée ou non. Cette valeur est valable pour les 5 prochaines années. Une culture est considérée comme irriguée lorsqu'elle a reçu plus de 90 mm d'eau d'irrigation.

Cette valeur A reflète l'intégralité des fournitures du sol du l'ouverture du bilan de la culture précédente jusqu'à l'entrée en hiver (1<sup>er</sup> octobre dans l'Ouest Occitanie et 1<sup>er</sup> septembre dans l'Est Occitanie).

### <sup>2</sup> Apport d'azote organique au précédent : (cf annexe H)

Equivalent engrais minéral Azote organique apporté au précédent = % N \* Q \* keq cycle

### <sup>3</sup> MhpPrécédent : Effet d'un retournement de prairie avant le Précédent : cf 2.3

### <sup>4</sup> MrCIPrécédent : Contribution d'une culture intermédiaire avant le Précédent : cf 2.5

### <sup>5</sup> Azote consommé par le précédent :

N consommé par le précédent = rendement réalisé \* N unitaire absorbé

Les valeurs de N unitaire absorbé en fonction du précédent sont données au **tableau 1 annexe D**.

### <sup>6</sup> Coeff de correction d'un excès d'azote du bilan de la culture précédente : cf tableau 2 annexe D.

### <sup>7</sup> Equivalent engrais minéral d'un produit organique apporté à l'automne = % N \* Q \* keq Ri (cf annexe H).

## Estimation de Ri à partir de APL et du cumul de pluie hivernale :

La lixiviation hivernale, la minéralisation nette hivernale de l'humus ont été modélisés pour 22 types de sol de l'Ouest Occitanie et 8 types de sols de l'Est Occitanie. L'estimation du terme Ri se fait en utilisant les abaques Ri en fonction de l'APL/REH et du cumul de pluie hivernale pour chaque type de sol de la région (cf **annexe E** pour l'Ouest Occitanie et **F** pour l'Est Occitanie).

### ➔ Précédent Légumineuses :

Ri = APL - lixiviation hivernale + minéralisation hivernale de l'humus avant ouverture du bilan

## Calcul de APL :

**Tableau 4** : APL dans le cas d'un précédent légumineuse :

	Kg N/ha
Pois	= 30 + 0.5 A
Féverole, lupin, lentilles	= 20 + 0.4 A
Soja, pois chiches	= 20 + 0.3 A

avec A : cf précédemment <sup>1</sup> Valeur A

## Estimation de Ri à partir de APL/REH et du cumul de pluie hivernale :

Idem cas précédent Autres que légumineuses et prairies (cf supra) : Ri est estimé en fonction de APL/REH et du cumul de pluie hivernale pour chaque type de sol de la région (cf **annexe E** pour l'Ouest Occitanie et **F** pour l'Est Occitanie).

➔ **Précédent Prairies :**

Dans ce cas, on considère que la prairie est retournée au printemps, la lixiviation hivernale est donc nulle. Le Ri est estimé directement par dans le tableau suivant :

**Tableau 5 :** Ri pour un précédent prairie

Prairie de 1 à 2 ans	$25 \times kp + (0.3 \times A)$
Prairie de 3 à 6 ans	$75 \times kp + (0.3 \times A)$
Prairie de plus de 6 ans	$100 \times kp + (0.3 \times A)$
Jachère annuelle de graminées	$10 + (0.4 \times A)$
Jachère annuelle de légumineuses	$20 + (0.4 \times A)$
Jachère pluriannuelle	$20 + (0.4 \times A)$

kp = 1 pour une prairie toujours pâturée

kp = 0.7 pour une prairie fauchée et pâturée

kp = 0.4 pour une prairie toujours fauchée

kp = 1 pour les associations graminées + légumineuses

avec A : cf précédemment <sup>1</sup> **Valeur A**

➔ **Cas d'une culture intermédiaire :**

Dans ce cas, on n'applique pas non plus de lixiviation hivernale, l'azote présent dans le sol après une culture intermédiaire est fonction du type de sol, il est donné directement par les **tableaux 1 et 2 de l'annexe B**.

*2.1.2 Ri donné par une mesure de reliquat d'azote*

**Date d'ouverture du bilan :** la mesure du reliquat doit être réalisée dans le mois qui précède la date prévisionnelle du semis, sur un horizon 0-60 cm ; si la profondeur de sol le permet, l'horizon 60-90 cm devra être analysé.

Le prélèvement doit être réalisé avant tout apport d'azote minéral ou organique, ou, le cas échéant, un mois après l'apport.

Lorsque le Ri est mesuré, l'azote fourni par un produit organique apporté à l'automne est inclus dans le résultat de la mesure du reliquat.

2.2. Mh : Minéralisation nette de l'humus du sol

C'est une estimation prévisionnelle de la quantité d'azote provenant de la minéralisation de l'humus, qui sera disponible pour la culture pendant son développement après l'ouverture du bilan.

cf **tableaux 1 et 2 de l'annexe B**

2.3 : Mhp : Minéralisation nette due à un retournement de prairie

**Tableau 6 :** Minéralisation nette due à un retournement de prairie :

Destruction de printemps			Age de la prairie			
			< 18 mois	2-3 ans	4-5 ans	6-10 ans
rang de la culture post destruction	1	maïs	$20 * kp$	$60 * kp$	$100 * kp$	$120 * kp$
	2	maïs ou blé	0	0	$25 * kp$	$35 * kp$
	3	maïs ou blé	0	0	0	0

Avec kp dépendant du mode d'exploitation de la prairie :

	kp (Effet du mode d'exploitation)	
	Graminées pures	Association Graminées-Légumineuses
Pâturage intégrale	1	1
Fauche + pâturage	0.7	1
Fauche intégrale	0.4	1

2.4 Mr : Minéralisation nette de résidus de récolte :  
cf annexe D tableau 1-c

2.5 : Mr CI : Minéralisation nette de résidus de cultures intermédiaires

**Tableau 7** : Minéralisation nette de résidus de culture intermédiaire

	Production de la CI (tMS/ha)	Ouverture du bilan en sortie d'hiver
		Destruction Nov/déc
Crucifères (moutarde, radis ...)	≤ 1	0
	2 (> 1 et < 3)	5
	≥ 3	10
Graminées de type seigle, avoine	≤ 1	0
	2 (> 1 et < 3)	0
	≥ 3	5
Graminées de type ray-grass	≤ 1	0
	2 (> 1 et < 3)	5
	≥ 3	10
Légumineuses	≤ 1	5
	2 (> 1 et < 3)	10
	≥ 3	20
Hydrophyllacées (Phacélie)	≤ 1	0
	2 (> 1 et < 3)	0
	≥ 3	5
Mélanges graminées – légumineuses	≤ 1	3
	2 (> 1 et < 3)	5
	≥ 3	13
Mélanges crucifères – légumineuses	≤ 1	3
	2 (> 1 et < 3)	8
	≥ 3	15

### 3- Les apports d'azote

#### 3.1 Nirr : Azote apporté par l'eau d'irrigation

Nirr = [Quantité d'eau d'irrigation prévue jusqu'à 3 semaines après floraison (en mm)

\* teneur en nitrate de l'eau (en mg NO<sub>3</sub>/l)]

/ 443

#### 3.2 Xa : apports fournis par les produits résiduels organiques (PRO)

**Xa = % Npro \* Q \* Keq bilan**

Avec % Npro = teneur en N total de l'apport

Q = m<sup>3</sup> ou tonnes épandues / ha

Keq bilan = coefficient d'équivalence en engrais azoté minéral efficace

Ces données sont fournies dans l'**annexe H** de l'arrêté. Une analyse de la teneur en azote d'un PRO est plus judicieuse que les valeurs standards des tableaux.

#### 3.3 CAU : Coefficient apparent d'utilisation de l'engrais

Pour des raisons liées aux stades d'apports sur la culture, l'azote apporté par les engrais azotés est utilisé à des proportions diverses. Cela conduit à diviser les besoins de la culture moins la fourniture d'azote par le sol par le CAU en fonction du stade des apports.

**Tableau 8 :****Maïs grain de consommation, Maïs popcorn et maïs fourrage**

Date d'apport N	Semis – 4 feuilles	4 feuilles – floraison
CAU	0,6	0,8

**Maïs semence**

Date d'apport N	Semis – 4 feuilles	4 feuilles – 12 feuilles
Rendement		Rdt <30q/ha
CAU	0,6	0,7

**Maïs doux**

Date d'apport N	Semis – 3 feuilles	4 feuilles – 12 feuilles
CAU	0,6	0,7

**Sorgho**

Date d'apport N	Semis – 3 feuilles	4 feuilles – 12 feuilles
CAU	0,6	0,8

Exemple d'utilisation du CAU pour le calcul d'une dose d'azote :

Cet exemple n'a pas pour objectif de reprendre l'intégralité de la méthode sud-ouest du bilan azoté mais plutôt d'illustrer l'usage des CAU.

Rappel de l'équation du Comifer :  $X = ([Pf+Rf]-[Ri+Mh+Mhp+Mr+MrCi+Nirr]) / CAU - Xa$

Contexte : La fertilisation d'une culture de maïs grain avec un objectif de rendement de 100 q/ha recevant deux apports d'azote. La culture est dans un sol de boubène moyenne. La culture précédente est un maïs grain irrigué.

- Le besoin en azote est de 230 kgN/ha (poste Pf) + 24 kgN/ha (poste Rf pour un sol de boubène moyenne) soit 254 kgN/ha
- Le reliquat azoté est de 25 kgN/ha à l'ouverture du bilan (Poste Ri)
- La minéralisation durant la culture est de 88 kgN/ha (Poste Mh)
- Il n'y a pas de contribution azotée par un retournement de prairie (poste Mhp)
- La contribution de la minéralisation nette des résidus de récolte est neutre (Poste Mr)
- La contribution d'une culture intermédiaire de légumineuses à 2 tMS/ha est de 10 kgN/ha (poste MrCi)
- L'azote apporté par l'eau d'irrigation est de 15 kgN/ha (poste Nirr)

Calcul : L'équation qui donne le résultat avant usage des CAU est la suivante :

$([Pf+Rf]-[Ri+Mh+Mhp+Mr+MrCi+Nirr]) = 254-(25+88+0+0+10+15) = 116$  kgN/ha pour couvrir les besoins de la plante

L'agriculteur envisage deux apports d'azote sur sa culture répartis ainsi : 25 % au semis et 75 % au stade 6 feuilles

- premier apport :  $116 * 25 \% = 29$  kgN/ha

Il applique un CAU de 0,6 ce qui donne une dose à apporter au semis de  $29/0,6 = 48$  kgN/ha

- second apport :  $116 * 75 \% = 87$  kgN/ha

Il applique un CAU de 0,8 ce qui donne une dose à apporter de  $87/0,8 = 109$  kgN/ha

Résultat : La dose à apporter X est donc de  $48 + 109 = 157$  kgN/ha.