

Sommaire :

I – Ecriture 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) :

1.1 Besoins par unité de production (b ou bq)

1.2 Rendement objectif (y)

1.3 Reliquats d’azote à la récolte (Rf)

2- Les fournitures en azote du sol

2.1. Ri+Pi : Reliquat azoté et azote déjà absorbé à l’ouverture du bilan

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

2.1.2 Une mesure de reliquat et une estimation de l’azote absorbé

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 (Équation [4] du COMIFER) :

$$X = ([Pf + Rf] - [Pi^* + Ri^{**} + Mh + Mhp + Mr + MrCI]) / CAU - Xa$$

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
Pi	Quantité d’azote absorbé par la culture à l’ouverture 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
CAU	Coefficient apparent d’utilisation de l’engrais
Xa	Equivalent engrais minéral d’un produit organique

* Le paramètre Pi est comptabilisé dans le Ri calculé dans la méthode Sud-Ouest, cf. 2.1.2 lorsque le Ri est mesuré

** 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 + Rf

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.

Pf = quantité d'azote absorbé par la culture à la fermeture du bilan (besoins de la plante)

Pf = (y * b ou bq) avec y = Objectif de rendement

b = besoins par unité de production

bq = besoins par unité de production pour un blé tendre, un blé de force ou un blé dur permettant d'atteindre les objectifs de qualité

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

1.1 Besoins par unité de production (b ou bq)

Ce chiffre est fonction de l'espèce et de la variété pour les blés tendres et les blés durs. Il tient compte pour le blé tendre améliorant et le blé dur des objectifs de teneur en protéines qui leur sont assignés.

Il convient de définir en début de campagne, lors de la détermination de l'objectif de rendement, le taux de protéines visé et donc l'utilisation du coefficient b ou bq. Si ce coefficient venait à être modifié en cours de campagne, pour ajuster la dose d'azote notamment, il conviendra de le justifier.

Tableau 1: Besoins en azote des cultures pour produire 1 quintal de grain (b ou bq) ou 1 tonne de Matière sèche. Source ARVALIS

Culture	Unité de production	Valeur b (Kg N/unité prod.)	Valeur bq (Kg N/unité prod.)
Avoine	q (norme hum.)/ha	2.5	
Blé tendre *	q (norme hum.)/ha	3 (selon variétés : cf tableau 1 annexe C)	
Blé de force ou améliorant *	q (norme hum.)/ha	3.7 (bq selon variétés : cf tableau 2 annexe C)	
Blé dur *	q (norme hum.)/ha	3.7 (bq selon variétés : cf tableau 3 annexe C)	
Orge d'hiver	q (norme hum.)/ha	2.5	
Orge de printemps	q (norme hum.)/ha	2.5	
Seigle	q (norme hum.)/ha	2.3	
Triticale	q (norme hum.)/ha	2.6	
Méteil de céréales pures **	T de MS/ha	19	

* Pour affiner les calculs des besoins en azote de chaque variété de blé tendre, blé améliorant ou blé dur, voir les tableaux 1, 2 et 3 de l'annexe C. Si la variété utilisée n'y figure pas, se référer à la dernière publication du Comifer à l'adresse suivante : <https://comifer.asso.fr/fr/bilan-azote/postes-du-bilan-previsionnel/besoins-proportionnels-au-rendement-cas-general.html>

** si le méteil est un mélange de céréales et de légumineuses, alors la valeur b doit être ajustée selon la proportion de céréales (b = 19 * % de céréales)

1.2 Rendement objectif (y)

Il s'agit du rendement prévisionnel calculé selon les modalités stipulées à l'article 2 de l'arrêté préfectoral établissant le référentiel régional de mise en œuvre de l'équilibre de la fertilisation azotée pour la région Occitanie. Si l'objectif de rendement est revu en cours de campagne en raison d'aléa climatique régulièrement rencontré durant le printemps dans l'Est Occitanie, une demande de dérogation doit être formulée au préalable par une organisation professionnelle ou institut tech-

nique compétent, fournissant des éléments probants et délimitant bien les communes de la région concernée, et validée par le préfet de région.

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 types de sol pour l'Est Occitanie

2- Les fournitures en azote du sol

2.1. Ri+Pi : Reliquat azoté et azote déjà absorbé à l'ouverture du bilan

Date d'ouverture du bilan : L'ouverture du bilan est au stade épi 1 cm de la culture (1^{er} mars par convenance).

Deux méthodes permettent de connaître la valeur du Ri+Pi :

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 :

$Ri + Pi = (APL - \text{lixiviation hivernale} + \text{minéralisation nette hivernale de l'humus} + \text{azote déjà absorbé par la culture avant ouverture du bilan})$

APL (Azote Potentiellement Lixivable) : quantité d'azote présent dans le sol à l'entrée de l'hiver dépendant de la nature du précédent, et susceptible d'être lixivié.

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

→ Précédent autre que légumineuses et prairies :

$Ri + Pi = (APL - \text{lixiviation hivernale} + \text{minéralisation nette hivernale de l'humus} + \text{azote déjà absorbé par la culture avant ouverture du bilan})$

Calcul de APL (Azote Potentiellement Lixivable) :

APL = (A¹

+ Azote minéral apporté au précédent

+ Azote organique apporté au précédent²

+ MhpPrécédent³

+ MrCIPrécédent⁴

– Azote consommé par le précédent⁵)

* Coeff de correction d'un excès d'azote du bilan de la culture précédente

+ azote organique apporté avant ouverture du bilan⁷

¹ 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^{er} octobre dans l'Ouest Occitanie et 1^{er} septembre dans l'Est Occitanie).

² Apport d'azote organique au précédent : (cf annexe H)

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

³ MhpPrécédent : Effet d'un retournement de prairie avant le Précédent : cf 2.3

⁴ MrCIPrécédent : Contribution d'une culture intermédiaire avant le Précédent : cf 2.5

⁵ 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 par le *tableau 1-a annexe D*.

⁶ **Coeff de correction d'un excès d'azote du bilan de la culture précédente** : cf. *annexe E pour l'Ouest Occitanie et F pour l'Est Occitanie*.

⁷ **Equivalent engrais minéral d'un produit organique apporté avant ouverture** = % N * Q * keq Ri (cf *annexe H*).

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

La lixiviation hivernale, la minéralisation nette hivernale de l'humus et l'azote absorbé par la culture ont été modélisés pour 22 types de sol pour l'Ouest Occitanie et 7 types de sol pour l'Est Occitanie. L'estimation du terme Ri + Pi se fait en utilisant les abaques Ri + Pi en fonction de l'APL et du cumul de pluie hivernale pour chaque type de sol de la région (du 1^{er} octobre au 1^{er} mars pour l'Ouest Occitanie et du 1^{er} septembre au 1^{er} mars pour l'Est Occitanie) (cf. *annexe E pour l'Ouest Occitanie et F pour l'Est Occitanie*).

➔ **Précédent légumineuses :**

Ri + Pi = (APL - lixiviation hivernale + minéralisation nette hivernale de l'humus + azote déjà absorbé par la culture avant ouverture du bilan)

Calcul de APL :

Tableau 2 : 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

+ Equivalent engrais minéral d'un produit organique apporté à l'automne

avec A : cf précédemment ¹ **Valeur A**

Estimation de (Ri + Pi) à partir de APL et du cumul de pluie hivernale :

Idem cas précédent autres : (Ri + Pi) est estimé en fonction de APL et du cumul de pluie hivernale pour chaque type de sol de la région (cf. *annexe F pour l'Ouest Occitanie et E pour l'Est Occitanie*).

➔ **Précédent prairies :**

Ri + Pi = (APL - lixiviation hivernale + minéralisation nette hivernale de l'humus + azote déjà absorbé par la culture avant ouverture du bilan)

Calcul de APL :

Tableau 3 : APL pour un précédent prairie

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

+ Equivalent engrais minéral d'un produit organique apporté à l'automne

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 ¹ **Valeur A**

➔ **Estimation de (Ri + Pi) à partir de APL et du cumul de pluie hivernale :**

Idem cas précédent autres : (Ri + Pi) est estimé en fonction de APL et du cumul de pluie hivernale pour chaque type de sol de la région (cf. *annexe F pour l'Ouest Occitanie et E pour l'Est Occitanie*).

2.1.2 Une mesure de reliquat et une estimation de l'azote absorbé

L'estimation de l'azote absorbé sera faite au plus près de la date de la mesure du reliquat sans dépasser le stade épi 1 cm de la culture.

Mesure du reliquat (Ri) : Elle sera faite sur un horizon de 0-60 cm et si la profondeur de sol le permet, l'horizon 60- 90cm devra être analysé. Dans tous les cas, le prélèvement doit être réalisé avant tout apport d'azote minéral ou organique, ou, le cas échéant, un mois après l'apport.

Estimation de l'azote déjà absorbé (Pi) : Uniquement lorsque le Ri est mesuré, il faut déduire l'azote absorbé par la culture avant l'ouverture du bilan (date de la mesure de reliquat) à l'aide du tableau ci-dessous. Lorsque le Ri est calculé, le poste Pi est inclus dans les annexes F pour l'Ouest Occitanie et E pour l'Est Occitanie.

Nombre de talles primaires	Pas de talle	1	2	3	4	5	> à 5 talles
Pi (en kg d'N/ha)	10	15	20	25	30	35	40

Lorsque le Ri est mesuré, l'azote minéral 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 céréale pendant sa croissance.

Le **tableau 1 de l'annexe B** pour les 22 types de sols de l'Ouest Occitanie et le **tableau 2 de l'annexe B** pour les 8 types de sols de l'Est Occitanie permet de connaître la minéralisation (colonne Mh céréales)

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

Tableau 4 : Minéralisation nette due à un retournement de prairie :

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	Blé	10 * kp	30 * kp	50 * kp	60 * kp	70 * kp
	2	maïs ou blé	0	0	0	0	0
	3	maïs ou blé	0	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-b**

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

Tableau 5 : 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	5
	2 (> 1 et < 3)	10
	≥ 3	15
Graminées de type seigle, avoine	≤ 1	0
	2 (> 1 et < 3)	5
	≥ 3	10
Graminées de type ray-grass	≤ 1	5
	2 (> 1 et < 3)	10
	≥ 3	15
Légumineuses	≤ 1	10
	2 (> 1 et < 3)	20
	≥ 3	30
Hydrophyllacées (Phacélie)	≤ 1	0
	2 (> 1 et < 3)	5
	≥ 3	10
Mélanges graminées – légumineuses	≤ 1	5
	2 (> 1 et < 3)	13
	≥ 3	20
Mélanges crucifères – légumineuses	≤ 1	8
	2 (> 1 et < 3)	15
	≥ 3	23

3- Les apports d'azote

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

Cet apport est considéré comme négligeable sur céréales.

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

Xa = Q * Npro * Keq bilan

Avec Q = m3 ou tonnes épandues / ha

Npro = teneur en N total du produit résiduaire organique

Keq bilan = coefficient d'équivalence en engrais minéral des principaux fertilisants azotés organiques

Les valeurs Npro et Keq bilan sont fournies en annexe H.

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

Pour des raisons liées aux implantations des cultures (structure du sol) ou aux conditions climatiques (excès d'eau) ou sanitaires (maladies), l'azote apporté par les engrais azotés n'est pas utilisé à 100%. Cela conduit à diviser les besoins de la culture moins la fourniture d'azote par le sol par un CAU.

Conditions	CAU
Sol bien structuré, bien drainé et culture bien implantée	0.9
Excès d'eau au printemps Conditions sèches au printemps Mauvaise structure du sol Maladies du pied ou précoces sur feuillage	0.8
Cumul de plusieurs causes précédentes Excès d'eau important et fréquent	0.6 (*)

(*) dans ces conditions, abaisser l'objectif de rendement d'au moins 25%.