



2018

REFERENTIEL N, P₂O₅, K₂O

MODALITES DE RAISONNEMENT DES DOSES
PREVISIONNELLES EN N, P₂O₅, K₂O POUR LES
BOUES ET COMPOSTS DE BOUES URBAINES

CAHIER CULTURE SORGHO



Remerciements - Contributeurs

La réalisation de ce référentiel a été soutenue financièrement par les Agences de l'Eau Rhône Méditerranée Corse et Adour Garonne, les Chambres d'agriculture de l'Aude, du Gard, de l'Hérault, de Lozère et des Pyrénées-Orientales et les Conseils Départementaux de l'Aude, du Gard, de l'Hérault, de Lozère et des Pyrénées-Orientales.

Liste des membres du réseau des MESE d'Occitanie ayant participé à la rédaction de ce cahier :

Stéphanie RUBIO	MESE de l'Aude
Claire GAFFIER	MESE du Gard
Laure-Hélène PONS	MESE du Gard
Marie CASTAGNET	MESE de l'Hérault
Laure GOMITA	MESE de la Lozère
Mélanie MASSEBEUF	MESE de la Lozère
Margot DALLA-NORA	MESE des Pyrénées-Orientales
Laurence SIRJEAN	MESE des Pyrénées-Orientales

Remerciements à :

Gilles BOYER	Chambre d'agriculture de l'Aude
Gilles TERRES	Chambre d'agriculture de l'Aude
Thierry PIANETTI	Chambre d'agriculture du Gard
Alain ALLIES	Chambre d'agriculture de l'Hérault

Edito

La Mission d'Expertise et de Suivi des Épandages, Qu'est-ce que c'est ?

Il s'agit d'une mission d'assistance technique au service de l'État, des Agences de l'Eau, des maîtres d'ouvrage des stations d'épuration et des exploitants agricoles, visant à favoriser l'organisation de filières de valorisation agronomique des boues conformes à la réglementation et qui préservent les intérêts de l'agriculture et de l'environnement. Avec l'appui des Agences de l'Eau, **la MESE joue le rôle d'organisme de suivi indépendant des producteurs de boues.**

Elle a pour principal objectif d'encadrer les pratiques d'épandages afin de contribuer à la **préservation de la qualité des sols, des cultures, des produits et de l'environnement.** Les trois fonctions essentielles de la MESE sont d'assurer :

- **L'expertise agronomique et la conformité des règles d'épandages** des dossiers tout au long de la filière d'épandage dans le cadre des Études Préalables d'épandage (EPE), des Bilans Agronomiques (BA), des Programmes Prévisionnels d'Épandages (PPE).
- **Un rôle de conseil, d'information et de communication** auprès des collectivités, des agriculteurs, des prestataires à l'épandage sur le thème de la valorisation agricole et du retour de la matière organique au sol.
- **La pérennité de la filière de recyclage des boues en agriculture** en améliorant la qualité des boues recyclées, la traçabilité et la fiabilité des épandages.

Et le Réseau des MESE d'Oc. ?

Le travail en réseau des MESE renforce, d'une part, la qualité et l'homogénéité de l'expertise départementale et, d'autre part, l'interprétation technique des textes tout en apportant **des réponses à travers des références, des méthodes et des outils communs d'aide à l'expertise.** Il constitue par ailleurs une force de proposition au niveau national (SILLAGE, Laboratoires, COMIFER, etc.).



Sommaire

REFERENCES GENERALES	3
1 • CALENDRIER D'OCCUPATION ET PERIODES D'APPORT PRECONISEES PAR LE RESEAU DES MESE D'OC.	3
2 • RENDEMENTS PREVISIONNELS (OU OBJECTIFS DE RENDEMENT)	4
a. <i>Hors zone vulnérable*</i>	4
b. <i>En zone vulnérable</i>	5
DOSE D'AZOTE A APPORTER.....	6
1 • SORGHO GRAIN ET SEMENCE : DOSES PLAFONDS D'AZOTE SELON LA METHODE EX-LANUEGUEC-ROUSSILLON	6
a. <i>Raisonnement</i>	6
b. <i>Exemple de calcul pour N</i>	7
2 • SORGHO FOURRAGER : CALCUL DE LA DOSE D'AZOTE A APPORTER SELON LA METHODE EX-MIDI-PYRENEES	7
a. <i>Formule générale</i>	8
b. <i>« Besoins »</i>	8
c. <i>Fournitures</i>	9
d. <i>CAU</i>	15
e. <i>Exemple de calcul pour N</i>	15
DOSES DE P₂O₅ ET K₂O A APPORTER	16
1 • FORMULE DE CALCUL	16
2 • EXPORTATIONS ①	17
3 • COEFFICIENT MULTIPLICATIF DES EXPORTATIONS ②	18
a. <i>Valeurs des teneurs-seuils Timp. et Trenf</i>	18
b. <i>Analyses de terre des parcelles de référence</i>	18
c. <i>Tableaux des coefficients multiplicatifs</i>	19
4 • SUPPLEMENT LIE A L'EXPORTATION DES PAILLES DE LA CULTURE N-1 ③.....	21
a. <i>Comparaison des teneurs du sol en P₂O₅ et K₂O (issues de l'analyse de terre) à Timp.</i>	21
b. <i>Rendement de pailles de la culture N-1</i>	21
c. <i>Teneur en P₂O₅ et K₂O des résidus de pailles de la culture N-1</i>	22
5 • PLAFOND DE DOSE A NE PAS DEPASSER	22
6 • EXEMPLE DE CALCUL POUR P ₂ O ₅ ET K ₂ O.....	22
QUANTITE DE BOUES OU COMPOSTS DE BOUES A APPORTER	24
FERTILISATION COMPLEMENTAIRE POUR L'ANNEE N.....	25
EXEMPLES	26
1 • RAPPELS.....	26
a. <i>Rappels des différents cas de figure des types d'apports en P₂O₅ et K₂O</i>	26
b. <i>Rappel des données de l'exemple</i>	26
2 • DOSES PREVISIONNELLES A APPORTER PAR LES BOUES	27
3 • QUANTITES DE PRODUIT ORGANIQUE A APPORTER EN FONCTION DE CHAQUE ELEMENT	27
4 • QUANTITES FINALES RETENUES EN FONCTION DE L'ELEMENT LIMITANT	28
5 • DOSES FINALEMENT APORTEES	28
6 • FERTILISATION COMPLEMENTAIRE POUR L'ANNEE N	28
7 • CONCLUSION	28
SCHEMA DE SYNTHESE DU RAISONNEMENT DE LA FERTILISATION DU SORGHO	29
LISTE BIBLIOGRAPHIQUE	30
ANNEXES.....	31

Liste des tableaux

Tableau 1 : Calendrier d'occupation et périodes d'apport préconisées par le réseau des MESE d'Oc.	3
Tableau 2 : Rendements prévisionnels ou objectifs de rendements.....	4
Tableau 3 : Calcul du rendement prévisionnel en zone vulnérable	5
Tableau 4 : Rendements de référence en zone vulnérable	5
Tableau 5 : Dose plafond en azote pour la totalité de la culture du sorgho en territoire Languedoc-Roussillon.....	7
Tableau 6 : Exemples de calcul de dose à apporter avant semis de sorgho grain ou semence (année N).....	7
Tableau 7 : Azote absorbé par unité de rendement prévisionnel.....	8
Tableau 8 : Azote restant dans le sol à la fermeture du bilan (Rf) pour le sorgho fourrager	9
Tableau 9 : Minéralisation nette de l'humus du sol (Mh).....	11
Tableau 10 : Minéralisation nette due à un retournement de prairie (Mhp) pour le sorgho (en kg N /ha)	12
Tableau 11 : Minéralisation nette de résidus de récolte (Mr)	12
Tableau 12 : Minéralisation nette de résidus de cultures intermédiaires (MrCi)	14
Tableau 13 : Valeurs de CAU proposées par le COMIFER pour le Sud-Ouest.....	15
Tableau 14 : Exemple de calcul de dose à apporter avant semis de sorgho fourrager.....	15
Tableau 15 : Cas de figure des types d'apports en P ₂ O ₅ et K ₂ O	16
Tableau 16 : Teneur en P ₂ O ₅ et K ₂ O par unité de rendement	17
Tableau 17 : Exigence du sorgho en P ₂ O ₅ et K ₂ O et teneurs-seuils en ces éléments pour les sols du Sud-Ouest et pris par extension pour les sols du territoire Languedoc-Roussillon	18
Tableau 18 : Coefficients multiplicatifs des exportations pour K ₂ O appliqués à la récolte principale (sorgho)	19
Tableau 19 : Coefficients multiplicatifs des exportations pour P ₂ O ₅ Joret-Hébert appliqués à la récolte principale (sorgho).....	19
Tableau 20 : Grille des coefficients multiplicatifs des exportations pour P ₂ O ₅ Dyer appliqués à la récolte principale (sorgho).....	20
Tableau 21 : Grille des coefficients multiplicatifs des exportations pour P ₂ O ₅ Olsen appliqués à la récolte principale (sorgho).....	20
Tableau 22 : Rendements des résidus de culture précédant le sorgho.....	21
Tableau 23 : Hypothèses de calcul sur sorgho grain	22
Tableau 24 : Exemple de calcul de doses de phosphore et de potasse efficaces (cas B)	23
Tableau 25 : Calcul de l'APL	36
Tableau 26 : Valeur de A, azote fourni à la culture précédente par la minéralisation.....	37
Tableau 27 : Minéralisation nette due à un retournement de prairie (Mhp) (en kg N/ha)	37
Tableau 28 : Minéralisation nette de résidus de cultures intermédiaires (MrCi)	38
Tableau 29 : Azote absorbé par unité de rendement par le précédent.....	38
Tableau 30. Estimation de Ri à partir de l'APL et du cumul de pluie hivernale dans le bilan azoté du sorgho fourrager	40
Tableau 31 : APL dans le cas d'un précédent légumineuses	43
Tableau 32 : Ri dans le cas d'un précédent prairie ou jachère	44
Tableau 33 : Ri dans le cas d'une culture intermédiaire	45
Tableau 34 : Exemples de calcul du Ri	46

Introduction

Depuis 1995 les Missions d'Expertise et de Suivi des Épandages (MESE) d'Occitanie interviennent dans l'expertise et l'accompagnement de la filière épandage des boues et composts de boues urbaines. Face aux évolutions réglementaires et agronomiques, il est apparu nécessaire de créer un référentiel régional relatif au raisonnement des apports en azote, phosphore et potasse de ces déchets et présentant les différents paramètres afférents (notamment les coefficients d'équivalence engrais N et P₂O₅).

Le contexte réglementaire de la révision de l'application de la Directive Nitrates au niveau de l'Etat français, le zonage augmenté en raison du critère eutrophisation pour lequel azote et phosphore sont responsables, et enfin la présence de plans d'épandage dans ces zones vulnérables rendent nécessaire la régionalisation des références de raisonnement pour ces deux éléments.

Le raisonnement de la dose faisant partie intégrante du rôle des MESE dans le cadre de leur mission d'expertise agronomique, le réseau des MESE d'Oc. a rédigé ce document principalement à destination des bureaux d'études en ciblant les boues et composts de boues urbaines.

Le référentiel N, P₂O₅, K₂O se compose de neuf cahiers correspondant à neuf types de cultures ayant été identifiées comme recevant à ce jour des boues ou composts de boues urbaines non normés.

Concernant les composts de boues, le raisonnement d'apport d'humus n'est pas traité dans ce référentiel, ce dernier étant axé sur le raisonnement de l'apport des éléments fertilisants N, P₂O₅ et K₂O.

Pour le raisonnement d'apport d'humus des composts de boues, se référer au Guide des produits organiques utilisables en Languedoc-Roussillon (CHAMBRE REGIONALE D'AGRICULTURE LANGUEDOC-ROUSSILLON, 2011).

Les termes mentionnés avec un astérisque noir * dans le document sont définis avec les sigles dans un document à part intitulé « Glossaire et Sigles ». L'astérisque n'apparaît dans le texte que lors de la 1^{ère} occurrence.

Ce « Glossaire et Sigles » est disponible en ligne sur le site de la Chambre régionale d'agriculture Occitanie. Il est utilisable pour l'ensemble des documents élaborés par le réseau des MESE d'Oc.

Préalables

1. Le réseau des MESE d'Oc. retient l'hypothèse suivante : la **parcelle de référence** dans les différents dossiers réglementaires (études préalables d'épandage (EPE*), programmes prévisionnels d'épandage (PPE*), bilans agronomiques (BA*), synthèses annuelles du registre d'épandage) a toute sa signification, c'est-à-dire « **référence** » pour calculer, via ses analyses de sol, les quantités prévisionnelles de boues et composts de boues à apporter pour le groupe de parcelles auquel elle est rattachée.

En conséquence, cette parcelle sert aussi de référence pour le calcul de la fertilisation complémentaire qui sera conseillée ; notamment par la prise en compte des éléments P₂O₅, K₂O, voire MgO, déterminés dans ses analyses de sol.

2. Dans l'attente de nouvelles références et par simplification, le réseau des MESE d'Oc. préconise de ne pas tenir compte des **Keq N et Keq P₂O₅ de 2^{ème} année** dans le calcul de la fertilisation complémentaire.

3. De même, le réseau des MESE d'Oc. fait l'hypothèse que les **teneurs du sol en P₂O₅ et K₂O** n'ont pas évolué, lorsque l'analyse de sol d'une parcelle de référence date de plusieurs années avant l'apport de boues ou de composts de boues. Ainsi les analyses datant de 2015, prises dans les exemples choisis, n'ont pas vu leurs teneurs en P₂O₅ et K₂O évoluer.

4. L'application stricte du raisonnement agronomique de la dose de P₂O₅ (sur prairies notamment) peut amener à considérablement réduire la quantité de boues ou composts de boues à apporter. Le réseau des MESE d'Oc. a fait des **propositions pragmatiques de façon à concilier raisonnement agronomique et pérennité de la filière d'épandage**. Cependant, il souligne le besoin d'informations techniques supplémentaires et d'évaluation des conséquences sur la filière (faisabilité technique du matériel d'épandage, parcellaire disponible, stock et devenir du phosphore dans les sols, concurrence avec d'autres effluents, etc.) afin de consolider ou de réactualiser les préconisations que le réseau émet.

5. Le contenu de ce document, créé entre 2015 et 2018, pourra évoluer en fonction des références du COMIFER et du Groupe Régional d'Expertise « Nitrates » d'Occitanie, dont la mobilisation est annoncée pour fin 2018.

Références générales

1. Calendrier d'occupation et périodes d'apport préconisées par le réseau des MESE d'Oc.

Tableau 1 : Calendrier d'occupation et périodes d'apport préconisées par le réseau des MESE d'Oc.

Cultures	Produits ou déchets organiques utilisés	Type I ou II selon le C/N*	Semis	Récolte	Périodes d'apport validées par le réseau des MESE d'Oc. en fonction des doses N, P ₂ O ₅ , K ₂ O et des prélèvements des cultures	Périodes d'épandage déconseillées hors zones vulnérables (CPBA)	Périodes d'épandage interdites en zones vulnérables
Sorgho fourrager sec	Composts de boues urbaines	Type I (C/N > 8)	Fin avril à début mai	Mi-septembre à mi-octobre	Compost boues sans faim d'azote : Si apport avant semis : pas plus d'1 mois entre apport et semis (fin mars à début mai) Compost boues avec faim d'azote : Si apport avant semis : pas plus de 2 mois entre apport et semis (fin février à début mai)	1 ^{er} juillet au 31 août	Si précédée d'une CIPAN* : du 1 ^{er} juillet à 15 jours avant l'implantation de la CIPAN et de 20 jours avant la destruction de la CIPAN jusqu'au 15 janvier Si non précédée d'une CIPAN : du 1 ^{er} juillet au 15 janvier
Sorgho grain sec ou irrigué	Boues urbaines (liquides, pâteuses, solides et issues de lagunes)	Type II (C/N ≤ 8)	Fin avril à début mai	Mi-septembre à mi-octobre	Si apport avant semis : pas plus d'1 mois entre apport et semis (fin mars à début mai)	1 ^{er} juillet au 15 janvier	Si précédée d'une CIPAN : du 1 ^{er} juillet à 15 jours avant l'implantation de la CIPAN et de 20 jours avant la destruction de la CIPAN jusqu'au 31 janvier Si non précédée d'une CIPAN : du 1 ^{er} juillet au 31 janvier

Source : Données issues des référents techniques des Chambres d'agriculture concernées.

Nota Bene : Au sens de la PAC*, on parle de culture d'hiver* si elle est semée avant le 1^{er} janvier (exemple de cultures d'hiver : colza en septembre, blé en octobre-novembre et pois en décembre). Semée après le 1^{er} janvier, on parle de culture de printemps*.

2. Rendements prévisionnels (ou objectifs de rendement)

a. Hors zone vulnérable*

Le rendement prévisionnel* (ou objectif de rendement) fourni par l'agriculteur au bureau d'études en fonction de sa connaissance de la parcelle (conditions pédoclimatiques, culture) doit être proche des valeurs-guides fournies dans le **Tableau 2**.

En cas de dépassement de ces valeurs-guides, justifier les rendements fournis dans les EPE, extensions de périmètre, PPE et BA.

Tableau 2 : Rendements prévisionnels ou objectifs de rendements

Cultures	AUDE			GARD			HERAULT	LOZERE					PYRENEES ORIENTALES				Unité
	Est Audois	Centre Audois	Ouest audois	Camargue	Vallée du Rhône - Vistre	Uzège - Sommières	Nord du Gard	Ensemble du département	Aubrac Margeride	Vallée du Lot	Causses Cévennes	Salanque	Perpignan	Bassin d'Elne	Cerdagne		
Sorgho fourrager sec			8 - 12	3 fauches : 4 - 10	3 fauches : 4 - 10	2 à 3 fauches : 4 - 10	2 à 3 fauches : 4 - 10	4 - 10	4 - 10	5 - 12						t MS/ha	
Sorgho grain irrigué	70	60 - 75	70 - 100	70 - 100	70 - 100	70 - 100	70 - 100	60 - 100								q/ha	
Sorgho grain sec		35 - 60	60 - 100	60 - 100	60 - 100	35 - 70	35 - 70	40 - 80								q/ha	
Sorgho semence			70	20 - 30	20 - 30											q/ha	

Source : Données issues des référents techniques des Chambres d'agriculture concernées.

b. En zone vulnérable

Rendement prévisionnel à fournir selon deux possibilités :

► Cas A : L'agriculteur cultive l'espèce depuis plus de 5 ans

Le rendement prévisionnel correspond à la moyenne des rendements des 5 dernières années selon la définition réglementaire.

Le **Tableau 3** peut être utilisé par les bureaux d'études qui le transmettront à l'agriculteur pour renseignement. L'agriculteur peut de son côté disposer d'un document de saisie qui lui est propre et répondant au même objectif.

Tableau 3 : Calcul du rendement prévisionnel en zone vulnérable

Calcul du rendement prévisionnel				
1. Je saisis mes rendements réalisés pour les 5 dernières années 2. J'exclue la valeur la plus basse et la plus haute 3. Je fais la moyenne des trois valeurs restantes				
Année N-5	Année N-4	Année N-3	Année N-2	Année N-1
Moyenne des 3 valeurs restantes (q/ha) :				

► Cas B : l'agriculteur cultive l'espèce pour la 1^{ère} fois

Absence de l'historique des rendements réalisés sur les cinq dernières années. Le rendement prévisionnel est alors un rendement de référence* issu du **Tableau 4**.

Exemple de situation : nouveau producteur qui n'a pas de référence sur la culture concernée ou agriculteur qui n'a jamais produit la culture concernée en zone vulnérable.

Tableau 4 : Rendements de référence en zone vulnérable

Cultures	AUDE	GARD	HERAULT	PYRENEES-ORIENTALES	Unités
Sorgho fourrager	10	10	10	10	t MS/ha
Sorgho grain irrigué	80	75	80	75	q/ha
Sorgho grain sec	55	50	40	50	q/ha
Sorgho semence	25-50	25-50	25-50	25-50	q/ha

Source : Annexe 11 de l'arrêté préfectoral régional de Languedoc-Roussillon du 5 septembre 2012 n°120285 établissant le référentiel régional de mise en œuvre de l'équilibre de la fertilisation azotée en agriculture pour la région Languedoc-Roussillon.

Dose d'azote à apporter

1. Sorgho grain et semence : doses plafonds d'azote selon la méthode ex-Languedoc-Roussillon

a. Raisonnement

Le raisonnement de la dose totale d'azote prévisionnelle n'est pas réalisé à partir de bilan azoté (méthode COMIFER) mais sur la base de doses plafonds fournies par ARVALIS, fonction de trois critères (**Tableau 5**) :

- Type de sol : superficiel ou profond ;
- Type de conduite de la culture : irriguée ou en sec ;
- Conditions pluviométriques de l'automne/hiver (octobre à mars).

Cf. **Annexe 1**.

Le GREN décrit la méthode du référentiel régional de mise en œuvre de l'équilibre de la fertilisation azotée en zone vulnérable.

Préconisations du réseau des MESE d'Oc.

► En et hors zones vulnérables :

Utiliser ce référentiel pour calculer la dose d'azote, aussi bien en et hors zone vulnérable. Ces références ont été définies pour le **sorgho grain** (en sec ou irrigué) mais seront applicables pour le **sorgho semence**. Les critères de choix de la dose plafond seront le rendement prévisionnel et les conditions pluviométriques de l'automne/hiver.

► Limitation de la dose apportée par les boues :

Limiter l'apport d'azote avant semis à **50 kg N efficace/ha**, sauf dans le cas d'une dose plafond de 60 kg N/ha où la totalité de la dose peut être apportée par les boues avant semis.

► Préconisation pour les dossiers réglementaires :

EPE, extension de périmètre et PPE : Prendre les doses plafonds les plus strictes, de la colonne « Hiver sec ».

Si le bureau d'études a accès aux données de pluviométrie avant les épandages, les prendre en compte pour choisir la dose plafond en azote.

BA : Prendre les doses plafonds selon la pluviométrie réelle. Si le bureau d'études n'a pas accès aux données de pluviométrie, prendre les doses les plus restrictives (Colonne « Hiver sec »).

Tableau 5 : Dose plafond en azote pour la totalité de la culture du sorgho en territoire Languedoc-Roussillon

Mode de culture avec ou sans type de sol	Rendement prévisionnel q/ha	Dose plafond en N pour la totalité de la culture selon le type d'hiver kg N/ha	
		Hiver sec < 350 mm de pluviométrie d'octobre à mars	Hiver pluvieux ≥ 350 mm de pluviométrie d'octobre à mars
Culture sèche sol superficiel	< 50	30	50
Culture sèche sol profond	50 à 70	60	90
Culture irriguée	> 70	100	130

Source : Annexe 7 de l'arrêté préfectoral régional de Languedoc-Roussillon du 5 septembre 2012 n°120285 établissant le référentiel régional de mise en œuvre de l'équilibre de la fertilisation azotée en agriculture pour la région Languedoc-Roussillon.

b. Exemple de calcul pour N

Tableau 6 : Exemples de calcul de dose à apporter avant semis de sorgho grain ou semence (année N)

Rdt Rendement prévisionnel q/ha	Type d'hiver	Dose totale prévisionnelle Plafond Cf. Tableau 5 kg N/ha	D1 Dose prévisionnelle à apporter par les boues ou composts de boues kg N efficace/ha
55	Hiver sec < 350 mm de pluviométrie d'octobre à mars	60	60
80	Hiver pluvieux ≥ 350 mm de pluviométrie d'octobre à mars	130	50

2. Sorgho fourrager : calcul de la dose d'azote à apporter selon la méthode ex-Midi-Pyrénées

Le GREN décrit la méthode du référentiel régional de mise en œuvre de l'équilibre de la fertilisation azotée en zone vulnérable.

Le GREN Languedoc-Roussillon ne propose qu'une dose plafond (210 kg N/ha). Le GREN Midi-Pyrénées détaille le raisonnement de la dose selon la méthode du bilan azoté proposé par le COMIFER et adapté par ARVALIS. Ce raisonnement est basé sur l'équilibre entre les besoins de la plante et les apports qui peuvent être fournis par le sol au cours de la campagne culturale. C'est cette méthode qui sera vraisemblablement adoptée dans le futur GREN Occitanie et qui est expliquée dans ce paragraphe.

Cf. Annexe 1.

Préconisations du réseau des MESE d'Oc.

En attendant la fusion des GREN, utiliser le référentiel du GREN Midi-Pyrénées pour calculer la dose d'azote, aussi bien en et hors zone vulnérable. En zone vulnérable, respecter le plafond de 210 kg N/ha du GREN Languedoc-Roussillon.

a. Formule générale

Dose totale à apporter = (« BESOINS » - FOURNITURES) / CAU

« BESOINS »	<p>= Besoins de la culture Pf* (kg N/ha)</p> <p>+ Azote restant dans le sol à la fermeture du bilan Rf* (kg N/ha)</p>
FOURNITURES	<p>= Azote minéral dans le sol à l'ouverture du bilan Ri* (kg N/ha)</p> <p>+ Minéralisation nette de l'humus du sol Mh* (kg N/ha)</p> <p>+ Minéralisation nette due à un retournement de prairie Mhp* (kg N/ha)</p> <p>+ Minéralisation nette de résidus de récolte Mr* (kg N/ha)</p> <p>+ Minéralisation nette de résidus de culture intermédiaire MrCi* (kg N/ha)</p> <p>+ Azote apporté par l'eau d'irrigation Nirr (kg N/ha)</p>
CAU	<p>Coefficient Apparent d'Utilisation de l'engrais minéral (sans unité)</p>

Source : Arrêté préfectoral régional de Midi-Pyrénées du 31 août 2015 n°20150831-311-278 établissant le référentiel régional de mise en œuvre de l'équilibre de la fertilisation azotée pour la région Midi-Pyrénées, modifié par l'arrêté du 29 décembre 2015.

Préconisations du réseau des MESE d'Oc.

Limitier l'apport d'azote avant semis à 50 kg N efficace/ha.

AVERTISSEMENTS :

Cette méthode ne propose pas de méthode de calcul pour la dose d'azote à apporter avant semis du sorgho fourrager. En effet, le raisonnement conseillé par ARVALIS est à prendre en compte à partir de la date d'ouverture du bilan c'est-à-dire au semis. Utiliser toutefois cette formule générale pour le calcul de dose d'azote à apporter par les boues / composts de boues avant semis.

b. « Besoins »

« BESOINS »	<p>= Besoins de la culture Pf (kg N/ha)</p> <p>+ Azote restant dans le sol à la fermeture du bilan Rf (kg N/ha)</p>
-------------	---

1. Besoins de la culture (Pf)

Pf = Rendement prévisionnel x Azote absorbé par unité de rendement prévisionnel (b)

Tableau 7 : Azote absorbé par unité de rendement prévisionnel

Culture	Rendements (R) t MS/ha	Azote absorbé par unité de rendement prévisionnel ou besoin par unité de production (b) kg N/t MS
Sorgho fourrager	R < 10	16
	10 ≤ R ≤ 15	14
	R > 15	12,5

Source : Annexe 3 de l'arrêté préfectoral régional de Midi-Pyrénées du 31 août 2015 n°20150831-311-278 établissant le référentiel régional de mise en œuvre de l'équilibre de la fertilisation azotée pour la région Midi-Pyrénées, modifié par l'arrêté du 29 décembre 2015.

2. Azote restant dans le sol à la fermeture du bilan (Rf)

Rf = quantité d'azote minéral dans le sol à la fermeture du bilan, soit à la récolte de la culture, quantité que les racines n'ont pas été capables d'extraire et qui reste dans le sol après récolte.

Elle dépend de la culture, du type de sol et de la profondeur d'enracinement.

= appelé aussi **reliquat azoté final** ou **reliquat d'azote à la récolte** (kg N/ha).

Tableau 8 : Azote restant dans le sol à la fermeture du bilan (Rf) pour le sorgho fourrager

Types de sol en Midi-Pyrénées		Argile %	CaCO ₃ %	MO %	Cailloux %	Rf kg N/ha
N° de sol	Nom vernaculaire					
1	Alluvions caillouteuses	20	0	1,5	25	15
2	Alluvions sableuses	10	0	1,5	0	15
3	Alluvions limoneuses à limono argileuses	20	0	1,5	0	30
4	Alluvions argilo-limoneuses à argileuses	35	0	1,7	0	15
5	Alluvions caillouteuses calcaires	20	20	1,5	25	15
6	Alluvions sableuses calcaires	10	20	1,5	0	40
7	Alluvions limoneuses à limono argileuses calcaires	20	20	1,5	0	30
8	Alluvions argilo-limoneuses à argileuses calcaires	35	20	1,7	0	10
9	Boulbène caillouteuse superficielle	15	0	1,5	25	15
10	Boulbène superficielle	15	0	1,5	0	30
11	Boulbène profonde	15	0	1,5	0	20
12	Boulbène moyenne	15	0	1,5	0	20
13	Argilo-calcaire superficiel (rendosols)	30	20	1,5	0	30
14	Argilo-calcaire profond (calcosols)	33	10	1,7	0	20
15	Argilo-calcaire moyen (calcosols)	33	10	1,6	0	30
16	Argilo-calciques (calcisols)	35	0	2	0	20
17	Argilo-acides (brunisols)	30	0	2	5	15
18	Sols des Causses	30	10	2	30	15
19	Ségala (sols acides limono-sableux à limono-argilo-sableux – MO élevé)	20	0	3	20	20
20	Argilo calcaires à cailloux	30	25	1,5	25	20
21	Argileux acides à cailloux	30	0	1,5	25	2
22	Ségala (sols acides limono-sableux à limono-argilo-sableux – MO faible)	20	0	1,8	20	15

Source : Annexe 16 de l'arrêté préfectoral régional de Midi-Pyrénées du 31 août 2015 n°20150831-311-278 établissant le référentiel régional de mise en œuvre de l'équilibre de la fertilisation azotée pour la région Midi-Pyrénées, modifié par l'arrêté du 29 décembre 2015.

c. Fournitures

FOURNITURES

- = Azote minéral dans le sol à l'ouverture du bilan **Ri** (kg N/ha)
- + Minéralisation nette de l'humus du sol **Mh** (kg N/ha)
- + Minéralisation nette due à un retournement de prairie **Mhp** (kg N/ha)
- + Minéralisation nette de résidus de récolte **Mr** (kg N/ha)
- + Minéralisation nette de résidus de culture intermédiaire **MrCi** (kg N/ha)
- + Azote apporté par l'eau d'irrigation **Nirr** (kg N/ha)

1. Azote minéral dans le sol à l'ouverture du bilan (Ri)

- Ri** = quantité d'azote minéral dans le sol à l'ouverture du bilan (au semis de la culture soit le 1^{er} mai par convenance)
- = appelé aussi **reliquat azoté initial** ou **reliquat sortie hiver** (kg N/ha).

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 minéral à l'ouverture du bilan.
- 1^{ère} méthode : le bilan azoté du précédent et le modèle agro-météorologique

Cf. **Annexe 3.**

- 2^{ème} méthode : Ri donné par une mesure de reliquat d'azote minéral

▪ Quand prélever Ri ?

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

Période d'ouverture du bilan azoté retenue = période de mesure de Ri :

Si ouverture avant semis (dernière méthode ARVALIS) : du 15 mars au semis du sorgho (doit être réalisé avant tout apport d'azote minéral ou organique à la sortie de l'hiver).

***Nota Bene** : 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.*

▪ Où prélever Ri ?

Sur au moins deux horizons 0 - 30 et 30 - 60 cm.

Si la profondeur de sol le permet, prélever l'horizon 60 - 90 cm.

Préconisations du réseau des MESE d'Oc.

► En zone vulnérable

- Utiliser l'une des deux méthodes précédemment expliquées.
- Réaliser l'analyse du reliquat azoté selon les méthodes de prélèvement préconisées par ARVALIS.

► Hors zone vulnérable

Possibilité de prendre par défaut ces valeurs en fonction du précédent cultural :

- Prédécent légumineuse et prairie de plus de 2 ans : Ri = 75 kg N/ha.
- Prédécent prairie de 1 à 2 ans : Ri = 45 kg N/ha.
- Prédécent autre que légumineuse et prairie : Ri = 30 kg N/ha.

2. Minéralisation nette de l'humus du sol (Mh)

C'est une estimation prévisionnelle de la quantité d'azote minéral provenant de la minéralisation de l'humus du sol qui sera disponible pour le sorgho pendant sa croissance après l'ouverture du bilan.

Tableau 9 : Minéralisation nette de l'humus du sol (Mh)

Types de sol en Midi-Pyrénées		Argile %	CaCO ₃ %	MO %	Cailloux %	Mh kg N/ha	
N° de sol	Nom vernaculaire					Sorgho grain, fourrager sec	Sorgho grain, fourrager irrigué
1	Alluvions caillouteuses	20	0	1,5	25	30	40
2	Alluvions sableuses	10	0	1,5	0	55	80
3	Alluvions limoneuses à limono argileuses	20	0	1,5	0	70	100
4	Alluvions argilo-limoneuses à argileuses	35	0	1,7	0	55	75
5	Alluvions caillouteuses calcaires	20	20	1,5	25	20	30
6	Alluvions sableuses calcaires	10	20	1,5	0	50	75
7	Alluvions limoneuses à limono argileuses calcaires	20	20	1,5	0	55	75
8	Alluvions argilo-limoneuses à argileuses calcaires	35	20	1,7	0	40	55
9	Boulbène caillouteuse superficielle	15	0	1,5	25	35	45
10	Boulbène superficielle	15	0	1,5	0	45	65
11	Boulbène profonde	15	0	1,5	0	55	80
12	Boulbène moyenne	15	0	1,5	0	55	80
13	Argilo-calcaire superficiel (rendosols)	30	20	1,5	0	20	30
14	Argilo-calcaire profond (calcosols)	33	10	1,7	0	30	45
15	Argilo-calcaire moyen (calcosols)	33	10	1,6	0	30	45
16	Argilo-calciques (calcisols)	35	0	2	0	40	60
17	Argilo-acides (brunisol)	30	0	2	5	45	65
18	Sols des Causses	30	10	2	30	20	20
19	Ségala (sols acides limono-sableux à limono-argilo-sableux) à MO élevé	20	0	3	20	70	110
20	Argilo calcaires à cailloux	30	25	1,5	25	20	30
21	Argileux acides à cailloux	30	0	1,5	25	25	40
22	Ségala (sols acides limono-sableux à limono-argilo-sableux) à – MO faible	20	0	1,8	20	40	65

Source : Tableau 9 de l'annexe 16 de l'arrêté préfectoral régional de Midi-Pyrénées du 31 août 2015 n°20150831-311-278 établissant le référentiel régional de mise en œuvre de l'équilibre de la fertilisation azotée pour la région Midi-Pyrénées, modifié par l'arrêté du 29 décembre 2015.

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

La minéralisation nette due à un retournement de prairie (Mhp) est prise en compte uniquement pour la 1^{ère} année après destruction de la prairie. Au-delà, celle-là est considérée comme nulle.

Tableau 10 : Minéralisation nette due à un retournement de prairie (Mhp) pour le sorgho (en kg N/ha)

Type de production de prairies	Mode d'exploitation	Age de la prairie			
		< 18 mois	2 - 3 ans	4 - 5 ans	6 - 10 ans
Graminées + légumineuses	Pâturage				
	Pâturage + Fauche	20	60	100	120
	Fauche uniquement				
Graminées pures	Pâturage (= pâturage intégral)	20	60	100	120
	Pâturage + Fauche	14	42	70	84
	Fauche uniquement (= fauche intégrale)	8	24	40	48

Source : Annexe 3 de l'arrêté préfectoral régional de Midi-Pyrénées du 31 août 2015 n°20150831-311-278 établissant le référentiel régional de mise en œuvre de l'équilibre de la fertilisation azotée pour la région Midi-Pyrénées, modifié par l'arrêté du 29 décembre 2015.

Nota Bene : il n'y a pas d'effet azote lorsque la prairie est retournée à l'automne précédent une culture d'été.

4. Minéralisation nette de résidus de récolte (Mr)

Tableau 11 : Minéralisation nette de résidus de récolte (Mr)

Précédent	Mr kg N/ha
Ouverture du bilan en sortie d'hiver	
Avoine (printemps et hiver) pailles enlevées	0
Avoine (printemps et hiver) pailles restituées	-10
Blé tendre pailles enlevées	0
Blé tendre pailles restituées	-10
Blé dur pailles enlevées	0
Blé dur pailles restituées	-10
Colza	10
Maïs doux épis + spathes	0
Maïs doux épis dépouillés	0
Maïs fourrage	0
Maïs grain	0
Maïs semence	0
Orge (hiver ou printemps) pailles enlevées	0
Orge (hiver ou printemps) pailles restituées	-10
Seigle pailles enlevées	0
Seigle pailles restituées	-10
Sorgho ensilage	0

Précédent	Mr kg N/ha
Ouverture du bilan en sortie d'hiver	
Sorgho grain	0
Tournesol	0
Triticale pailles enlevées	0
Triticale pailles restituées	-10
Pois	10
Féverole	20
Lupin	0
Soja	10
Prairie	0
Culture intermédiaire	0
Luzerne (retournement fin été/début automne) : âge de la luzerne 2 ans	30
Luzerne (retournement fin été/début automne) : âge de la luzerne 3 ans	20
Luzerne (retournement printemps)	0 (Préconisation du réseau des MESE d'Occ., en l'absence de références)
Betterave	10
Carotte	0
Endive	0
Pommes de terre	10
Cultures cynégétiques (mélange graminées/légumineuses ou graminées pures)	0 (Préconisation du réseau des MESE d'Occ., en l'absence de références)

Source : Tableau 4-c de l'annexe 16 de l'arrêté préfectoral régional de Midi-Pyrénées du 31 août 2015 n°20150831-311-278 établissant le référentiel régional de mise en œuvre de l'équilibre de la fertilisation azotée pour la région Midi-Pyrénées, modifié par l'arrêté du 29 décembre 2015.

5. Minéralisation nette de résidus de culture intermédiaire (MrCi)

Tableau 12 : Minéralisation nette de résidus de cultures intermédiaires (MrCi)

Type de culture intermédiaire	Production de la culture intermédiaire <i>t MS/ha</i>	Ouverture du bilan au semis du sorgho fourrager
		Destruction avant semis du sorgho fourrager (novembre/décembre) <i>kg N/ha</i>
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 graminée/ légumineuses	≤ 1	3
	2 (> 1 et < 3)	5
	≥ 3	13
Mélanges crucifères/ légumineuses	≤ 1	3
	2 (> 1 et < 3)	8
	≥ 3	15

Source : Annexe 3 de l'arrêté préfectoral régional de Midi-Pyrénées du 31 août 2015 n°20150831-311-278 établissant le référentiel régional de mise en œuvre de l'équilibre de la fertilisation azotée pour la région Midi-Pyrénées, modifié par l'arrêté du 29 décembre 2015.

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

$$\text{Nirr (kg N/ha)} = [\text{Quantité d'eau d'irrigation prévue jusqu'à 3 semaines après floraison (mm)} \times \text{teneur en nitrate de l'eau (mg NO}_3\text{/l)}] / 443$$

Source : Annexe 3 de l'arrêté préfectoral régional de Midi-Pyrénées du 31 août 2015 n°20150831-311-278 établissant le référentiel régional de mise en œuvre de l'équilibre de la fertilisation azotée pour la région Midi-Pyrénées, modifié par l'arrêté du 29 décembre 2015.

Préconisations du réseau des MESE d'Oc.

Prendre les valeurs par défaut suivantes :

Nirr = 0 kg N/ha de 0 à 100 mm d'eau d'irrigation,
 Nirr = 5 kg N/ha de 100 à 200 mm d'eau d'irrigation,
 Nirr = 10 kg N/ha au-delà de 200 mm d'eau d'irrigation.

d. CAU

CAU : Coefficient Apparent d'Utilisation de l'engrais minéral (sans unité)

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 auxquels sont retranchées les fournitures d'azote par le sol, par le CAU en fonction du stade des apports (= dose totale comprenant théoriquement les apports d'engrais minéraux et les apports organiques).

Tableau 13 : Valeurs de CAU proposées par le COMIFER pour le Sud-Ouest

Types de culture	Date d'apport d'azote	CAU
Sorgho fourrager	Semis – 3 feuilles	0,6
	4 - 12 feuilles	0,8

Source : Annexe 3 de l'arrêté préfectoral régional de Midi-Pyrénées du 31 août 2015 n°20150831-311-278 établissant le référentiel régional de mise en œuvre de l'équilibre de la fertilisation azotée pour la région Midi-Pyrénées, modifié par l'arrêté du 29 décembre 2015.

Préconisations du réseau des MESE d'Oc.

Dans les différents dossiers réglementaires (EPE, extension de périmètre, PPE et BA), les apports de boues ou de composts de boues sont effectués avant semis du sorgho fourrager. En conséquence et dans l'attente de nouvelles références, prendre un CAU de 0,6.

e. Exemple de calcul pour N

Tableau 14 : Exemple de calcul de dose à apporter avant semis de sorgho fourrager

	Blé tendre pailles exportées (N-1) / Sorgho fourrager sec (N) Sol argilo-calcaire moyen
Pf = Rendement prévisionnel du sorgho fourrager (N) x Azote absorbé par unité de rendement prévisionnel	10 x 14 = 140
Rendement prévisionnel du sorgho fourrager (N) t MS/ha	10
b Azote absorbé par unité de rendement prévisionnel, Cf.. Tableau 7 kg N/t MS	14
Rf Azote restant dans le sol à la fermeture du bilan kg N/ha	30
Ri Azote minéral dans le sol à l'ouverture du bilan kg N/ha	30
Mh Minéralisation nette de l'humus du sol kg N/ha	30
Mhp Minéralisation nette due à un retournement de prairie kg N/ha	0
Mr Minéralisation nette des résidus de récolte kg N/ha	0
MrCi Minéralisation nette de résidus de culture intermédiaire kg N/ha	0
Nirr Azote apporté par l'eau d'irrigation kg N/ha	0
CAU	0,6
Dose totale prévisionnelle à apporter sur le cycle total de la culture [Pf + Rf – Ri – Mh – Mhp – Mr – MrCi – Nirr] / CAU kg N/ha	= (140 + 30 - 30 - 30 - 0 - 0 - 0 - 0) / 0,6 = 183,3 arrondi à 183
D1 - Dose prévisionnelle à apporter par les boues ou composts de boues kg N efficace/ha	D1 = 50

Doses de P₂O₅ et K₂O à apporter

1. Formule de calcul

Selon la méthode du COMIFER (2009) :

Doses P₂O₅ ou K₂O (kg P₂O₅ ou K₂O/ha) =

Exportations (kg P₂O₅ ou K₂O/ha) x Coefficient multiplicatif des exportations + Supplément

① = rendement prévisionnel (q/ha) ④
 x teneur en P₂O₅ ou K₂O par unité de rendement (kg P₂O₅ ou K₂O/q) ⑤

Si récolte des résidus de la culture N-1 (pailles, fanes, etc. exportées) :
 Le supplément sert à compenser la non restitution au sol des éléments P₂O₅ et K₂O du fait de l'exportation des pailles de la culture N-1.
 ③ dépend de la **teneur du sol** analysée avant semis de la culture N.

Si teneur du sol en P₂O₅ ou K₂O < Timp.* :

③ **Supplément** = masse de résidus récoltés de la culture N-1 (t MB/ha) x teneur en P₂O₅ ou K₂O des résidus (kg/t)
 avec masse de résidus récoltés de la culture N-1 = rendement de pailles N-1 (t MB/ha)

Si teneur du sol en P₂O₅ ou K₂O > Timp.* :

③ **Supplément** = 0

Préconisations du réseau des MESE d'Oc.

Le réseau distingue 3 cas de figure en fonction de la fréquence d'apports de boues ou composts de boues et du respect des doses d'apport en P₂O₅ et K₂O (**Tableau 15**).

Privilégier toutefois les 2 premiers cas (A et B) qui consistent à apporter les boues ou composts de boues en tenant compte uniquement des besoins de la culture en tête de rotation (culture de l'année N), afin d'éviter des excès en P₂O₅ et K₂O lors d'un apport unique.

Le recours au cas C doit rester exceptionnel et doit être justifié.

Tableau 15 : Cas de figure des types d'apports en P₂O₅ et K₂O

Cas A	Apport tous les ans en respectant les doses d'apport en P ₂ O ₅ et K ₂ O pour l'année N
Cas B	Apport tous les 2 ans en respectant les doses d'apport en P ₂ O ₅ et K ₂ O pour l'année N
Cas C	Dans l'attente de références et par simplification, possibilité d'un cas alternatif : apport tous les 2 ans en respectant les doses d'apport en P ₂ O ₅ et K ₂ O pour les années N et N+1. L'azote est apporté pour l'année N uniquement. <i>Hypothèse de simplification : la culture et le rendement de l'année N+1 sont identiques à ceux de l'année N (le coefficient multiplicatif ne change pas entre les années N et N+1 : il n'y a pas de nouvelles analyses de sol et le nombre d'impasses reste identique).</i>

2. Exportations ①

Exportations ① = rendement prévisionnel ④ x teneur en P₂O₅ ou K₂O par unité de rendement ⑤
 (q/ha) (kg P₂O₅ ou K₂O/q)

④ Rendement prévisionnel

Cf. Tableau 2.

⑤ Teneur en P₂O₅ ou K₂O par unité de rendement

Tableau 16 : Teneur en P₂O₅ et K₂O par unité de rendement

Espèce	Organe	Unité pour exportation	P ₂ O ₅	K ₂ O
Avoine hiver/printemps	grain (culture N)	kg/q	0,75	0,45
Avoine hiver/printemps	paille (culture N-1)	kg/t MB	3	12
Blé dur	grain (culture N)	kg/q	0,85	0,45
Blé dur	paille (culture N-1)	kg/t MB	1,7	12,3
Blé tendre	grain (culture N)	kg/q	0,65	0,5
Blé tendre	paille (culture N-1)	kg/t MB	1,7	12,3
Cultures cynégétiques (mélange graminées/légumineuses ou graminées pures)	grain (culture N)	kg/q	0,85**	0,45**
Maïs fourrage (ou ensilage)	plante entière (culture N)	kg/t MS	4,2	11,9
Maïs grain	épi entier	kg/q	0,65	0,45
Maïs grain et maïs semence	grain (culture N)	kg/q	0,6	0,55
Méteil grain	grain (culture N)	kg/q	0,67**	0,49**
Méteil grain	paille (culture N-1)	kg/t MB	2**	12**
Méteil ensilé	plante entière (culture N)	kg/t MS	7,3	35,5
Orge hiver/printemps	grain (culture N)	kg/q	0,65	0,55
Orge hiver/printemps	paille (culture N-1)	kg/t MB	1	12,9
Seigle	grain (culture N)	kg/q	0,65	0,45
Seigle	paille (culture N-1)	kg/t MB	3	12
Sorgho	grain (culture N)	kg/q	0,7	0,35
Sorgho fourrager (référence du maïs plante entière ensilée)	plante entière (culture N)	kg/t MS	4,2	11,9
Triticale	grain (culture N)	kg/q	0,65	0,5
Triticale	paille (culture N-1)	kg/t MB	2	10
Riz (Référence CFR 2015)	grain (culture N)	kg/q	1,2	0,5
Riz (Référence CFR 2015)	paille (culture N-1)	kg/q	0,78	2,25
Colza	grain (culture N)	kg/q	1,25	0,85
Colza	paille (culture N-1)	kg/t MB	1,7	14,5
Tournesol	grain (culture N)	kg/q	1,2	1,05

**Préconisation du réseau des MESE d'Occ., en l'absence de références.

Source : COMIFER (2007).

3. Coefficient multiplicatif des exportations ②

② est défini d'après les 3 critères suivants :

- Exigences* des cultures en P₂O₅ ou K₂O (**Tableau 17**) ;
- Teneur du sol : richesse ou non du sol de la parcelle de référence en P₂O₅ ou K₂O ;
- Passé récent de fertilisation : nombre d'années sans apport depuis la dernière fertilisation = nombre d'impasses.

a. Valeurs des teneurs-seuils Timp. et Trenf.

- **Timp.* = teneur-seuil impasse** = teneur (pour la culture considérée) au-delà de laquelle on peut faire une impasse de fertilisation, sauf dans le cas des cultures fortement exigeantes.
- **Trenf.* = teneur-seuil renforcement** = teneur en-dessous de laquelle il faut renforcer la fertilisation au-delà de l'entretien, sauf pour les cultures faiblement exigeantes.

Elles sont définies par classe d'exigence des cultures et régionalement par type de sol (ARVALIS, 1995) et n'ont pas fait l'objet de révision. Pour le territoire Languedoc-Roussillon, les teneurs-seuils en P₂O₅ Joret-Hébert, P₂O₅ Dyer, P₂O₅ Olsen et en K₂O sont celles correspondant par défaut à la région Sud-Ouest (**Tableau 17**).

Tableau 17 : Exigence du sorgho en P₂O₅ et K₂O et teneurs-seuils en ces éléments pour les sols du Sud-Ouest et pris par extension pour les sols du territoire Languedoc-Roussillon

Culture	Exigence de la culture en P ₂ O ₅	Teneurs seuils P ₂ O ₅ Joret-Hébert (pH > 7) mg/kg ou ppm		Teneurs seuils P ₂ O ₅ Dyer (pH < 7) mg/kg ou ppm		Teneurs seuils P ₂ O ₅ Olsen (pH indifférent) mg/kg ou ppm		Exigence de la culture	Teneurs seuils K ₂ O mg/kg ou ppm	
		Trenf.	Timp.	Trenf.	Timp.	Trenf.	Timp.		Trenf.	Timp.
Sorgho	Moyennement exigeante	60	100	80	120	30	80	Faiblement exigeante	40	120

Source : ARVALIS (1995).

Préconisations du réseau des MESE d'Oc.

Vérifier les valeurs de Trenf. et Timp. utilisées par les laboratoires sur les bulletins d'analyses de terre.

b. Analyses de terre des parcelles de référence

Préconisations du réseau des MESE d'Oc.

Ne pas attendre le délai réglementaire des 10 ans pour réaliser des analyses de terres sur les parcelles de référence. Idéalement, elles sont analysées au moins tous les 5 ans.

► Pour les parcelles de référence :

Prendre les valeurs de la dernière analyse (quelle que soit la date de prélèvement).

► Pour toutes les autres parcelles (qui ne sont pas des parcelles de référence) :

- **En cas d'analyse (de la parcelle) datant de moins de 5 ans** : prendre les valeurs de cette analyse plutôt que celles de la parcelle de référence à laquelle elle est rattachée.

- **En cas d'absence d'analyse** : se référer aux résultats d'analyse de la parcelle de référence (quelle que soit la date de prélèvement).

- **En cas d'analyse datant de plus de 5 ans** : se référer aux résultats d'analyse les plus récents, soit de la parcelle concernée, soit de la parcelle de référence.

c. Tableaux des coefficients multiplicatifs

Les valeurs de ② sont récapitulées en fonction du niveau d'exigence en P₂O₅ ou K₂O du sorgho, de la teneur en P₂O₅ ou K₂O du bulletin d'analyse et selon le nombre d'années d'impassé dans les **Tableau 18**, **Tableau 19**, **Tableau 20** et **Tableau 21** (COMIFER, 2009 ; ARVALIS, 1995).

Exemple

Données utilisées dans l'exemple de calcul p. 20.

Tableau 18 : Coefficients multiplicatifs des exportations pour K₂O appliqués à la récolte principale (sorgho)

Types de culture	Nombre d'années d'impasses	Teneur du sol : positionner la teneur du bulletin d'analyse (Tba) par rapport aux seuils (en mg K ₂ O/kg de terre ou ppm)									
		Tba < Trentf.	Trentf. < Tba < Timp. -10%	Timp. - 10% < Tba < Timp.	Timp. < Tba < Timp. + 10%	Timp. < Tba < Timp. + 10% < Tba < 2Timp.	Timp. + 10% < Tba < 2Timp.	2Timp. < Tba < 3Timp.	Tba > 3Timp.		
		Tba < 40	40 < Tba < 108	108 < Tba < 120	120 < Tba < 132	132 < Tba < 240	240 < Tba < 360	Tba > 360			
Sorgho grain	0 (ou apport tous les ans)	1,2	1	1					0		
	1 an (ou apport tous les 2 ans)	1,2	1,1	1				0			
Sorgho fourrager	2 ans ou + (ou apport > à tous les 3 ans)	1,2	1,2	1	1	1	1	1	0		

Tableau 19 : Coefficients multiplicatifs des exportations pour P₂O₅ Joret-Hébert appliqués à la récolte principale (sorgho)

Types de culture	Nombre d'années d'impasses	Teneur du sol : positionner la teneur du bulletin d'analyse (Tba) par rapport aux seuils (en mg P ₂ O ₅ /kg de terre ou ppm)									
		Tba < Trentf.	Trentf. < Tba < Timp. -10%	Timp. - 10% < Tba < Timp.	Timp. < Tba < Timp. + 10%	Timp. < Tba < Timp. + 10% < Tba < 2Timp.	Timp. + 10% < Tba < 2Timp.	2Timp. < Tba < 3Timp.	Tba > 3Timp.		
		Tba < 60	60 < Tba < 90	90 < Tba < 100	100 < Tba < 110	110 < Tba < 200	200 < Tba < 300	Tba > 300			
Sorgho grain	0 (ou apport tous les ans)	1,6	1	1				0			
	1 an (ou apport tous les 2 ans)	1,8	1,2	1			0,8	0			
Sorgho fourrager	2 ans ou + (ou apport > à tous les 3 ans)	2	1,7	1,5	1,2	1	0,6	0			

Tableau 20 : Grille des coefficients multiplicatifs des exportations pour P₂O₅ Dyer appliqués à la récolte principale (sorgho)

Types de culture		Nombre d'années d'impasses	Teneur du sol : positionner la teneur du bulletin d'analyse (Tba) par rapport aux seuils (en mg P ₂ O ₅ /kg de terre ou ppm)						
			Tba < Trenf.	Trenf. < Tba < Timp. -10%	Timp. - 10% < Tba < Timp.	Timp. < Tba < Timp. + 10%	Timp. + 10% < Tba < 2Timp.	2Timp. < Tba < 3Timp.	Tba > 3Timp.
Moyennement exigeantes	Sorgho grain	0 (ou apport tous les ans)	1,6	1	1	120 < Tba < 132	132 < Tba < 240	240 < Tba < 360	Tba > 360
	Sorgho fourrager	1 an (ou apport tous les 2 ans)	1,8	1,2	1	1	0,8	0	0
	Sorgho semence	2 ans ou + (ou apport > à tous les 3 ans)	2	1,7	1,5	1,2	1	0,6	0

Tableau 21 : Grille des coefficients multiplicatifs des exportations pour P₂O₅ Olsen appliqués à la récolte principale (sorgho)

Types de culture		Nombre d'années d'impasses	Teneur du sol : positionner la teneur du bulletin d'analyse (Tba) par rapport aux seuils (en mg P ₂ O ₅ /kg de terre ou ppm)						
			Tba < Trenf.	Trenf. < Tba < Timp. -10%	Timp. - 10% < Tba < Timp.	Timp. < Tba < Timp. + 10%	Timp. + 10% < Tba < 2Timp.	2Timp. < Tba < 3Timp.	Tba > 3Timp.
Moyennement exigeantes	Sorgho grain	0 (ou apport tous les ans)	1,6	1	1	80 < Tba < 88	88 < Tba < 160	160 < Tba < 240	Tba > 240
	Sorgho fourrager	1 an (ou apport tous les 2 ans)	1,8	1,2	1	1	0,8	0	0
	Sorgho semence	2 ans ou + (ou apport > à tous les 3 ans)	2	1,7	1,5	1,2	1	0,6	0

3. Supplément lié à l'exportation des pailles de la culture N-1 ③

Quand les résidus de culture N-1 sont enlevés (= récoltés, « exportés »), il faut ajouter une quantité supplémentaire de P₂O₅ et K₂O correspondant à l'exportation de ces résidus dans le calcul des doses de P₂O₅ et K₂O à apporter.

③ **supplément** dépend de la **teneur du sol** analysée avant semis de la culture N :

Si teneur du sol en P ₂ O ₅ ou K ₂ O < Timp. :	Si teneur du sol en P ₂ O ₅ ou K ₂ O > Timp. :
<p>③ Supplément = masse de résidus récoltés de la culture N-1 (t MB/ha) x teneur en P₂O₅ ou K₂O des résidus (kg/t) avec masse de résidus récoltés de la culture N-1 = rendement de pailles N-1 (t MB/ha)</p>	<p>③ Supplément = 0</p>

a. Comparaison des teneurs du sol en P₂O₅ et K₂O (issues de l'analyse de terre) à Timp.

Cf. **Tableau 17**.

b. Rendement de pailles de la culture N-1

Les départements de la Lozère et des Pyrénées-Orientales ne sont pas concernés par des dossiers d'épandage de boues urbaines avant semis de sorgho.

Tableau 22 : Rendements des résidus de culture précédant le sorgho

Départements concernés	Précédents	Devenir des résidus de cultures N-1	Rendements des résidus de cultures N-1 t MB/ha
11	Blé dur	Enfouis	-
30	Blé dur-tendre	Enfouis/ Exportés	3,5 - 4,5
	Orge		2,2 - 3,3
	Prairies temporaires (graminées) ou artificielles (luzerne)	Enfouis	-
34	Maïs semence	Enfouis	-
	Blé dur (avant sorgho grain irrigué ou semence)	Enfouis / Exportés	Si blé dur en sec : RU* faible (coteaux) : 1,5 – 2,5 RU élevée (plaines) : 3 – 5 Si blé dur irrigué : RU* faible (coteaux) : 3 – 5 RU élevée (plaines) : 4 – 7
	Blé dur (avant sorgho grain sec)	Enfouis / Exportés	RU faible (coteaux) : 1,5 – 2,5 RU élevée (plaines) : 3 – 5

Source : Données issues des référents techniques des Chambres d'agriculture concernées.

c. Teneur en P₂O₅ et K₂O des résidus de pailles de la culture N-1

Cf. Tableau 16.

4. Plafond de dose à ne pas dépasser

Pour ces cultures, la dose calculée est plafonnée à 400 kg K₂O/ha/an.
Aucun plafond en P₂O₅ n'est mentionné par le COMIFER (COMIFER, 2009).

Préconisations du réseau des MESE d'Oc.

Dans le cas d'un coefficient multiplicatif des exportations égal à 0, tolérance d'une dose maximale de 20 kg de P₂O₅ ou K₂O/ha.

5. Exemple de calcul pour P₂O₅ et K₂O

Tableau 23 : Hypothèses de calcul sur sorgho grain

Prise en compte des préconisations d'apports du sorgho en P ₂ O ₅ et K ₂ O	Couverture des préconisations d'apports de l'année N (année de l'épandage), apport tous les 2 ans (cas B)
Rotation	Blé dur (N-1) / Sorgho grain (N) / Blé dur (N+1)
Gestion des résidus du blé dur (N-1)	Pailles exportées chaque année Rendement de pailles réalisé : 3,5 t/ha
Rendement prévisionnel du sorgho (N)	Grains : 55 q/ha
Passé récent de fertilisation de la parcelle	Apport tous les 2 ans
Date de l'analyse de sol	2015
Résultats de l'analyse de sol (Tba)	
	en P ₂ O ₅ Joret-Hébert : 0,07 g/kg = 70 mg/kg
	en K ₂ O : 0,11 g/kg = 110 mg/kg
Rappel de l'hypothèse prise par le réseau des MESE d'Oc.	Pour la parcelle de référence, les teneurs du sol n'ont pas varié depuis 2015, même si elle a reçu des épandages depuis (ainsi que son groupe de parcelles).

Tableau 24 : Exemple de calcul de doses de phosphore et de potasse efficaces (cas B)

	P ₂ O ₅	K ₂ O
② Coefficient multiplicatif des exportations (voir ronds rouges dans les Tableau 18 et Tableau 19 , cas d'un apport tous les 2 ans)	1,2	1
④ Rendement prévisionnel q/ha	55	55
⑤ Teneur en P ₂ O ₅ ou K ₂ O par unité de rendement <u>de grain</u> Sorgho kg P ₂ O ₅ ou K ₂ O/q	0,7	0,35
③ Supplément car exportation des pailles de la culture N-1	3,5 x 1,7 = 5,95	3,5 x 12,3 = 43,05
Rendement de pailles du blé dur (N-1) t/ha	3,5	3,5
Teneur en P ₂ O ₅ ou K ₂ O par unité de rendement <u>de paille</u> kg P ₂ O ₅ ou K ₂ O/t	1,7	12,3
Doses totales prévisionnelles kg P ₂ O ₅ ou K ₂ O/ha	= (1,2 x 55 x 0,7) + (3,5 x 1,7)	= (1 x 55 x 0,35) + (3,5 x 12,3)
	= 52,15 arrondi à 52	= 62,3 arrondi à 62
Doses prévisionnelles à apporter par les boues ou composts de boues D2 et D3	D2 = 52 kg P ₂ O ₅ efficace/ha	D3 = 62 kg K ₂ O efficace/ha
Vérification par rapport au plafond kg P ₂ O ₅ ou K ₂ O/ha	Pas de plafond retenu à ce jour ⇒ D2 validée	<< 400 kg K ₂ O /ha ⇒ D3 validée

Quantité de boues ou composts de boues à apporter

Rappel pour l'apport de composts de boues : le raisonnement est effectué vis-à-vis des éléments fertilisants et non en fonction de l'apport en humus. En effet, azote et phosphore sont en général les éléments limitants (indépendamment de certains éléments-traces métalliques). Le raisonnement d'apport d'humus n'est donc pas traité ici ; se référer au Guide des Produits organiques utilisables en Languedoc-Roussillon (*CHAMBRE REGIONALE D'AGRICULTURE LANGUEDOC-ROUSSILLON, 2011*).

Formule générale :

Quantité de boues ou composts de boues (t MB/ha) :

$$= \frac{\text{dose de l'élément (kg N ou P}_2\text{O}_5 \text{ ou K}_2\text{O efficace /ha)}}{\text{Teneur en l'élément total (kg N ou P}_2\text{O}_5 \text{ ou K}_2\text{O total/t MB} \times \text{Keq N ou P}_2\text{O}_5 \text{ ou K}_2\text{O (\%)}}$$

Avec :

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Dose de l'élément kg N ou P ₂ O ₅ ou K ₂ O efficace /ha	D1 : dose prévisionnelle d'azote à apporter par les boues ou compost de boues kg N efficace/ha	D2 : dose prévisionnelle de phosphore à apporter par les boues ou compost de boues kg P ₂ O ₅ efficace/ha	D3 : dose prévisionnelle de potasse à apporter par les boues ou composts de boues kg K ₂ O efficace/ha
Teneur en l'élément total de la boue ou du compost de boues kg N ou P ₂ O ₅ ou K ₂ O total /t MB	Teneur en azote total = azote organique + azote minéral (N-NO ₃ + N-NH ₄). kg N total/t MB Par défaut, on utilise NTK = N organique + N-NH ₄ car l'azote minéral est souvent très faiblement dosé.	Teneur en phosphore total kg P ₂ O ₅ total/t MB	Teneur en potasse totale kg K ₂ O total/t MB
Coefficient d'équivalence engrais N ou P₂O₅ ou K₂O minéral efficace* %	Keq N : Coefficient d'équivalence engrais N minéral efficace Keq N 1 ^{ère} année = valeurs données en Annexe 4 . Keq N 2 ^{ème} année = 0 %	Keq P₂O₅ : Coefficient d'équivalence engrais P ₂ O ₅ minéral efficace Les Keq P ₂ O ₅ de boues ou composts de boue varient en fonction de la fréquence d'apport. Si apport tous les ans (cas A) : Keq P ₂ O ₅ 1 ^{ère} année = 100 % Keq P ₂ O ₅ 2 ^{ème} année = 0 % Si apport tous les 2 ou 3 ans (cas B et C) : Keq P ₂ O ₅ 1 ^{ère} année = valeurs données en Annexe 5 . Keq P ₂ O ₅ 2 ^{ème} année = 0 %	Keq K₂O : Coefficient d'équivalence engrais potasse minéral efficace = 100 %

Préconisations du réseau des MESE d'Oc.

Dans l'attente de nouvelles références et par simplification, ne pas tenir compte des Keq N et Keq P₂O₅ de 2^{ème} année dans le calcul de la fertilisation complémentaire.

Fertilisation complémentaire pour l'année N

Préconisations du réseau des MESE d'Oc.

Fournir un conseil de fertilisation complémentaire suite aux épandages de boues ou composts de boues. Accompagner le calcul d'un commentaire explicite sur la nécessité ou non d'apporter une fertilisation complémentaire pour l'année N, notamment en ce qui concerne les impasses de fertilisation en P₂O₅.

Pour des doses de P₂O₅ ou K₂O à apporter < à 20 kg/ha, réaliser une impasse.

Fertilisation complémentaire pour l'année N à apporter par l'agriculteur (kg/ha) =

Dose prévisionnelle à apporter sur le cycle total de la culture – Dose finalement apportée par les boues

Exemples

Les exemples de calculs présentés par la suite sont déclinés en fonction des cas de figures A et B et vont suivre la logique suivante :

- Doses en N, P₂O₅ et K₂O à apporter ;
- Quantités de produit organique à apporter en fonction de chaque élément ;
- Quantité limitante de produit organique à apporter ;
- Dose d'éléments fertilisants finalement apportés par les boues ou composts de boues ;
- Fertilisation complémentaire pour l'année N ;
- Conclusion.

1. Rappels

a. Rappels des différents cas de figure des types d'apports en P₂O₅ et K₂O

Le réseau des MESE d'Oc. distingue 3 cas de figure en fonction de la fréquence des apports de boues ou composts de boues et de la couverture des doses en P₂O₅ et K₂O :

Cas A	Apport tous les ans en respectant les doses d'apport en P ₂ O ₅ et K ₂ O pour l'année N
Cas B	Apport tous les 2 ans en respectant les doses d'apport en P ₂ O ₅ et K ₂ O pour l'année N
Cas C	Dans l'attente de références et par simplification, possibilité d'un cas alternatif : apport tous les 2 ans en respectant les doses d'apport en P ₂ O ₅ et K ₂ O pour les années N et N+1. L'azote est apporté pour l'année N uniquement. <i>Hypothèse de simplification : la culture et le rendement de l'année N+1 sont identiques à ceux de l'année N (le coefficient multiplicatif ne change pas entre les années N et N+1 : il n'y a pas de nouvelles analyses de sol et le nombre d'impasses reste identique).</i>

Préconisations du réseau des MESE d'Oc.

Privilégier le cas A ou B. Le cas C doit rester exceptionnel et doit être justifié.

b. Rappel des données de l'exemple

Caractéristiques de la culture			
Rotation	Blé dur (N-1) / Sorgho grain (N) / Blé dur (N+1)		
Gestion des résidus du blé dur (N-1)	Pailles exportées chaque année. Rendement de pailles réalisé : 3,5 t/ha		
Rendement prévisionnel du sorgho (N)	Grains : 55 q/ha		
Teneurs du sol	N	P ₂ O ₅ Joret-Hébert	K ₂ O
<i>En mg/kg</i>	-	70	110
Date de l'analyse de sol	2015		

Rappel de l'hypothèse prise par le réseau des MESE d'Oc.	Pour la parcelle de référence, les teneurs du sol n'ont pas varié depuis 2015, même si elle a reçu des épandages depuis (ainsi que son groupe de parcelles).			
Teneurs des boues	N	P₂O₅	K₂O	Matière sèche
<i>En kg total/t MB</i>	13,6	8,8	0,83	19,9 %
<i>En kg total/t MS</i>	68,4	44,1	4,1	
Keq 1^{ère} année	N	P₂O₅	K₂O	
Cas A : Apport tous les ans en respectant les doses d'apport en P₂O₅ et K₂O pour l'année N	0,4	1	1	
Cas B : Apport tous les 2 ans en respectant les doses d'apport en P₂O₅ et K₂O pour l'année N	0,4	0,7	1	
Cas C : Apport tous les 2 ans en respectant les doses d'apport en P₂O₅ et K₂O pour les années N et N+1	0,4	0,7	1	

2. Doses prévisionnelles à apporter par les boues

En kg efficace/ha	N		P₂O₅	K₂O
<i>Exemple du sorgho grain avec un rendement de 55 q/ha</i>	Dose prévisionnelle à apporter sur le cycle total de la culture	Dose à apporter par les boues	Dose à apporter par les boues	Dose à apporter par les boues
Cas A : Apport tous les ans en respectant les doses d'apport en P₂O₅ et K₂O pour l'année N	60	D1 = 60	$D2 = (1 \times 55 \times 0,7) + (3,5 \times 1,7) = 44$	$D3 = (1 \times 55 \times 0,35) + (3,5 \times 12,3) = 62$
Cas B : Apport tous les 2 ans en respectant les doses d'apport en P₂O₅ et K₂O pour l'année N	60	D1 = 60	$D2 = (1,2 \times 55 \times 0,7) + (3,5 \times 1,7) = 52$	$D3 = (1 \times 55 \times 0,35) + (3,5 \times 12,3) = 62$

À noter que la différence de dose à apporter en P₂O₅ et K₂O entre les cas A et B provient du changement de coefficient multiplicatif des exportations (fonction de la fréquence d'apport).

3. Quantités de produit organique à apporter en fonction de chaque élément

	N	P₂O₅	K₂O	N	P₂O₅	K₂O
	t MB/ha			t MS/ha		
Cas A : Apport tous les ans en respectant les doses d'apport en P₂O₅ et K₂O pour l'année N	$60 / (13,6 \times 0,4) = 11,0$	$44 / (8,8 \times 1) = 5,0$	$62 / (0,83 \times 1) = 74,7$	$60 / (68,4 \times 0,4) = 2,2$	$44 / (44,1 \times 1) = 1,0$	$62 / (4,1 \times 1) = 15,1$
Cas B : Apport tous les 2 ans en respectant les doses d'apport en P₂O₅ et K₂O pour l'année N	$60 / (13,6 \times 0,4) = 11,0$	$52 / (8,8 \times 0,7) = 8,4$	$62 / (0,83 \times 1) = 74,7$	$60 / (68,4 \times 0,4) = 2,2$	$52 / (44,1 \times 0,7) = 1,7$	$62 / (4,1 \times 1) = 15,1$

À noter que pour P₂O₅, la différence de quantité à apporter entre les cas A et B provient du changement de Keq 1^{ère} année.

4. Quantités finales retenues en fonction de l'élément limitant

	t MB/ha	t MS/ha	Élément limitant
Cas A : Apport tous les ans en respectant les doses d'apport en P ₂ O ₅ et K ₂ O pour l'année N	5,0	1,0	P ₂ O ₅
Cas B : Apport tous les 2 ans en respectant les doses d'apport en P ₂ O ₅ et K ₂ O pour l'année N	8,4	1,7	P ₂ O ₅

Nota Bene : l'élément limitant est l'élément qui doit conduire à limiter les apports. Cela impose un plafonnement de dose de cet élément limitant et entraîne un déficit sur les 2 autres (qui sera à compléter par fertilisation complémentaire).

Cet exemple met en évidence la difficulté à laquelle les gestionnaires d'épandages peuvent être confrontés dans le cas A : une quantité à épandre qui peut être en inadéquation avec les contraintes techniques d'épandage. Cela plaide donc en faveur d'un épandage tous les 2 ans afin d'avoir un coefficient multiplicatif des exportations et un Keq 1^{ère} année du P₂O₅ plus favorables.

5. Doses finalement apportées

Les calculs sont faits en utilisant les valeurs exprimées sur la matière brute. Les résultats sont arrondis à l'unité.

En kg efficace/ha	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Cas A : Apport tous les ans en respectant les doses d'apport en P ₂ O ₅ et K ₂ O pour l'année N	$5 \times 13,6 \times 0,4 = 27$	$5 \times 8,8 \times 1 = 44$	$5 \times 0,83 \times 1 = 4$
Cas B : Apport tous les 2 ans en respectant les doses d'apport en P ₂ O ₅ et K ₂ O pour l'année N	$8,4 \times 13,6 \times 0,4 = 46$	$8,4 \times 8,8 \times 0,7 = 52$	$8,4 \times 0,83 \times 1 = 7$

6. Fertilisation complémentaire pour l'année N

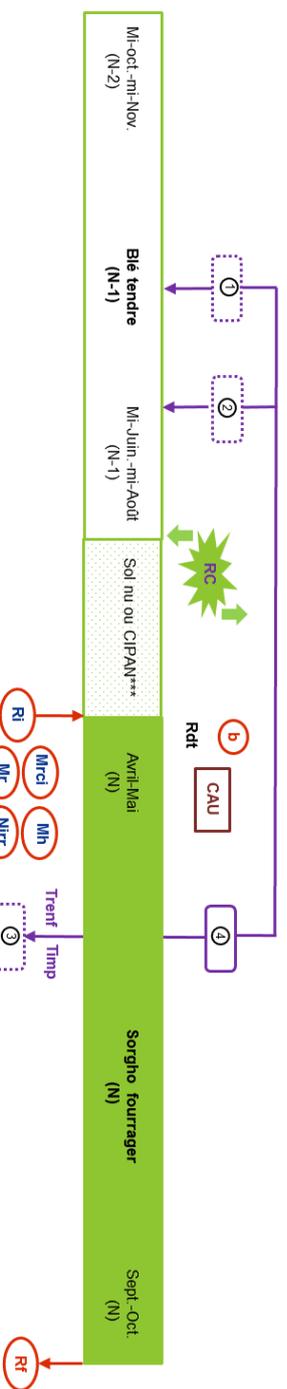
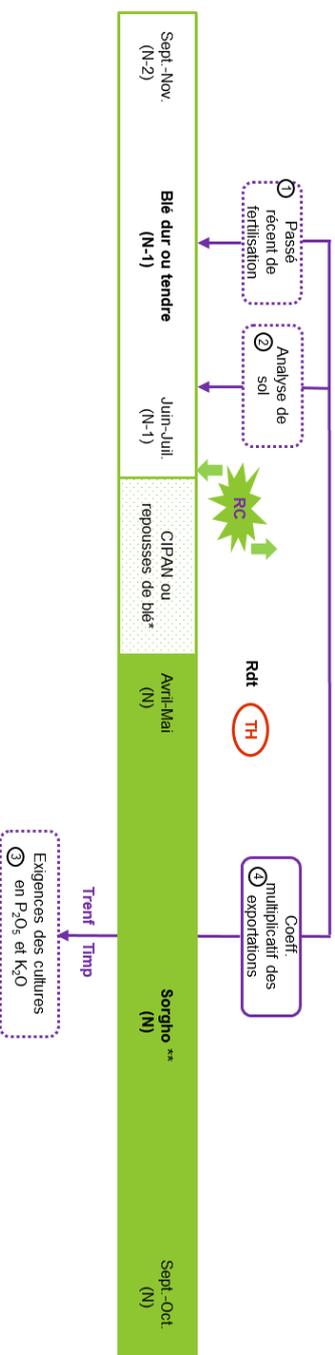
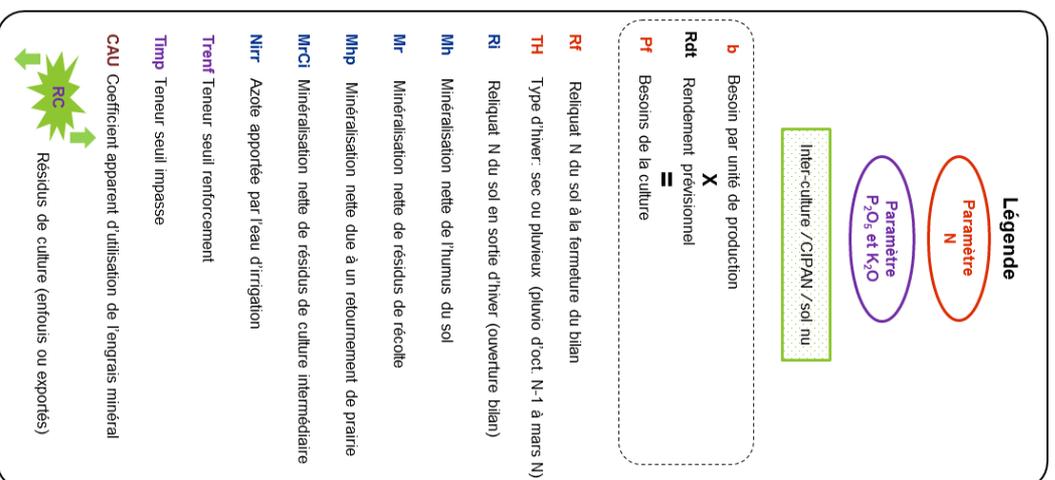
En kg efficace/ha	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Cas A : Apport tous les ans en respectant les doses d'apport en P ₂ O ₅ et K ₂ O pour l'année N	60 - 27 = 33	44 - 44 = 0	62 - 4 = 58
Cas B : Apport tous les 2 ans en respectant les doses d'apport en P ₂ O ₅ et K ₂ O pour l'année N	60 - 46 = 14	52 - 52 = 0	62 - 7 = 55

7. Conclusion

Cet exemple montre que le cas B est le plus intéressant car il permet d'apporter plus de 75% de la dose requise en N et de couvrir la dose nécessaire en P₂O₅ sans excédent. Dans ce cas, la fertilisation complémentaire en P₂O₅ devra être nulle en année N (c'est-à-dire, l'année suivant les épandages).

À noter que pour des sols non carencés, le gestionnaire d'épandage devra considérer l'intérêt de préconiser à l'agriculteur une impasse de fertilisation en P₂O₅ en année N+1 (c'est-à-dire l'année où les boues ne sont pas épandues) afin de maximiser le coefficient multiplicatif des exportations et minimiser le Keq 1^{ère} année du P₂O₅.

Schéma de synthèse du raisonnement de la fertilisation du sorgho



Périodes d'apport préconisées	Février	Mars	avril	Mai
Sorgho fourrager sec	Composts sans faim d'azote			
Sorgho grain sec ou irrigué	Composts avec faim d'azote			
Sorgho semence	Boues			
Sorgho fourrager sec	Boues			
Sorgho grain sec ou irrigué	Boues			



*, Protocole repousses Directive Nitrate pour précédent « céréales à paille » si >75 plantes/m² au 23 septembre N-1, destruction des repousses possible à partir du premier novembre N-1)
 **, Semence ou grain
 ***, Règle relative aux inter-cultures selon la Directive Nitrate pour un précédent maïs, pas de couverture obligatoire si culture récoltée après le 1^{er} octobre N-1 ou implantation de CIPAN au moins 2 mois, destruction de CIPAN possible à partir du 1^{er} novembre N-1

Liste bibliographique

Textes réglementaires issus des Groupes Régionaux d'Expertise Nitrates (GREN)

Arrêté préfectoral régional de Languedoc-Roussillon du 5 septembre 2012 établissant le référentiel régional de mise en œuvre de l'équilibre de la fertilisation azotée en agriculture pour la région Languedoc-Roussillon.

Arrêté préfectoral régional de Midi-Pyrénées du 31 août 2015 n°20150831-311-278 établissant le référentiel régional de mise en œuvre de l'équilibre de la fertilisation azotée pour la région Midi-Pyrénées, modifié par l'arrêté du 29 décembre 2015.

Ouvrages

CHAMBRE REGIONALE D'AGRICULTURE LANGUEDOC-ROUSSILLON. (2011). *Les produits organiques utilisables en agriculture en Languedoc-Roussillon.*

Rapports techniques

ARVALIS, Institut du végétal. (1995). *Teneurs-seuils pk par type de sol. Compléments au recueil de fiches "Les doses et les teneurs-seuils par région".*

COMIFER, Groupe P K Mg. (2007). *Teneurs en P, K et Mg des organes végétaux récoltés.*

COMIFER, Groupe P K Mg. (2009). *Grille de calcul de dose.*

Annexes

ANNEXE 1	: METHODES DE CALCUL DE LA DOSE PREVISIONNELLE D'AZOTE A UTILISER	32
ANNEXE 2	: LE BILAN AZOTE ET SES DIFFERENTS POSTES EN CULTURES ANNUELLES	34
ANNEXE 3	: MODALITES DE CALCUL DE L'AZOTE MINERAL A L'OUVERTURE DU BILAN (RI)	36
ANNEXE 4	: COEFFICIENT D'EQUIVALENCE ENGRAIS AZOTE MINERAL EFFICACE (KEQ N)	47
ANNEXE 5	: COEFFICIENT D'EQUIVALENCE ENGRAIS P₂O₅ MINERAL EFFICACE (KEQ P₂O₅)	50

Annexe 1 : Méthodes de calcul de la dose prévisionnelle d'azote à utiliser

Cultures ou prairies	Méthode de calcul de la dose prévisionnelle d'azote	Période d'ouverture du bilan azoté	Références
Céréales d'hiver et de printemps	Bilan azoté Sud-Est	En début d'hiver (fin novembre – début décembre) Au plus tard au stade 3 feuilles	Annexe 1 – Arrêté préfectoral régional LR du 5/09/2012 n°120285
	Bilan azoté Sud-Ouest	Stade épi 1cm de la culture (1 ^{er} mars par convenance)	Annexe 2 – Arrêté préfectoral régional MP du 31/08/2015 n°20150831-311-278, modifié par l'arrêté du 29/12/2015
Maïs	Bilan azoté	Stade 4 feuilles (dans l'arrêté GREN Languedoc-Roussillon du 5 septembre 2012) Au semis, 1er mai par convenance (dans l'arrêté GREN Midi-Pyrénées du 6 juin 2014)	Annexe 2 – Arrêté préfectoral régional LR du 5/09/2012 n°120285 Annexe 3 – Arrêté préfectoral régional MP du 31/08/2015 n°20150831-311-278, modifié par l'arrêté du 29/12/2015
	Sorgho fourrager Sorgho grain Sorgho semence	Sorgho grain : dose plafond fonction de : <ul style="list-style-type: none"> du type de sol : superficiel/ profond du type de conduite de la culture : irriguée ou en sec des conditions pluviométriques de l'automne/hiver (octobre à mars) <p>Le réseau des MESE d'Oc. considère que le raisonnement est le même pour le sorgho semence et qu'il faut utiliser la méthode ex-Midi-Pyrénées pour le sorgho fourrager.</p>	(sorgho grain) Annexe 7 – Arrêté préfectoral régional LR du 5/09/2012 n°120285 (sorgho fourrager) Annexe 3 – Arrêté préfectoral régional MP du 31/08/2015 n°20150831-311-278, modifié par l'arrêté du 29/12/2015
Riz	Dose plafond et préconisation du Centre Français du Riz	-	Arrêté préfectoral régional LR du 5/09/2012 n°120285 Centre Français du Riz
Colza	Bilan azoté	Décembre-janvier Au plus tard au 31 janvier	Annexe 3 – Arrêté préfectoral régional LR du 5/09/2012 n°120285

Cultures ou prairies	Méthode de calcul de la dose prévisionnelle d'azote	Période d'ouverture du bilan azoté	Références
Tournesol	Dose plafond	Au plus tard au semis (mars-avril)	Annexe 6 – Arrêté préfectoral régional LR du 5/09/2012 n°120285
Prairies	Bilan azoté	Avant le premier apport (fin d'hiver)	Annexe 4 – Arrêté préfectoral régional LR du 5/09/2012 n°120285 Annexe 5 – Arrêté préfectoral régional MP du 31/08/2015 n°20150831-311-278, modifié par l'arrêté du 29/12/2015
Vigne	Dose plafond fonction de : <ul style="list-style-type: none"> du type de production la vigueur l'entretien annuel des inter-rangs 	Avant le premier apport d'engrais minéraux (généralement mars)	Annexe 9 – Arrêté préfectoral régional LR du 5/09/2012 n°120285
Arboriculture	Dose plafond fonction de : <ul style="list-style-type: none"> l'âge du verger la vigueur du jeune verger/ oliveraie du potentiel de rendement pour le verger ou l'oliveraie adulte 	Au plus tard au moment de la reprise de végétation (31 mars)	Annexe 8 – Arrêté préfectoral régional LR du 5/09/2012 n°120285

Annexe 2 : Le bilan azoté et ses différents postes en cultures annuelles

1 • Les équations du bilan prévisionnel

Le concept de bilan d'azote minéral du sol prévisionnel développé par Hébert en 1969 puis Rémy-Hébert en 1974 s'est progressivement imposé en France comme la méthode de raisonnement de la fertilisation azotée des cultures.

De nombreux travaux lui ont été consacrés en vue d'améliorer sans cesse son paramétrage.

2 • Le bilan de l'azote minéral dans le sol, résultante des flux d'azote

Sur une période de temps donnée, le bilan de masse du stock d'azote minéral du sol sur la profondeur explorée par les racines de la culture s'écrit :

$$\text{État final} - \text{État initial} = \text{Entrées} - \text{Sorties}$$

$$[1] : R_f - R_i = [M_h + F_s + F_{ns} + M_{hp} + M_r + M_{rCi} + M_{pro1} + M_{pro2} + A + N_{irr} + X + X_{pro}] - [P_f - P_i + I_x + G_s + G_x + L]$$

Avec :

États initial et final	
R _f	Quantité d'azote minéral dans le sol à la fermeture du bilan
R _i	Quantité d'azote minéral dans le sol à l'ouverture du bilan
Entrée d'azote dans le système sol-plante	
M _h	Minéralisation nette de l'humus du sol
F _s	Fixation symbiotique d'azote atmosphérique par la culture
F _{ns}	Fixation non symbiotique d'azote atmosphérique
M _{hp}	Minéralisation nette due à un retournement de prairie
M _r	Minéralisation nette de résidus de récolte
M _{rCi}	Minéralisation nette de résidus de culture intermédiaire
M _{pro1}	Minéralisation nette de l'azote organique d'un PRO n°1 apporté avant l'ouverture du bilan
M _{pro2}	Minéralisation nette de l'azote organique d'un PRO n°2 apporté après l'ouverture du bilan
A	Apports atmosphériques (apports météoriques = dépôts secs ou humides)
N _{irr}	Azote apporté par l'eau d'irrigation
X	Apport d'azote sous forme d'engrais minéral de synthèse
X _{pro}	Azote de la fraction minérale d'un PRO apporté après la date d'ouverture du bilan
Sorties d'azote du système sol-plante	
P _f	Quantité d'azote absorbé par la culture à la fermeture du bilan
P _i	Quantité d'azote absorbé par la culture à l'ouverture du bilan
I _x	Organisation par voie microbienne aux dépens de l'azote minéral apporté sous forme d'engrais de synthèse ou de fraction minérale du PRO
G _s	Pertes du sol par voie gazeuse (dénitrification pour l'essentiel)
G _x	Perte par voie gazeuse (volatilisation, dénitrification) aux dépens de l'engrais minéral (X) et de la fraction minérale du PRO apporté après l'ouverture du bilan (X _{pro})
L	Pertes par lixiviation du nitrate pendant l'ouverture du bilan

3 • Les écritures opérationnelles du bilan

Plusieurs simplifications sont usuellement apportées à l'équation [1] sur une période correspondant à un cycle cultural en situation de prélèvement intense d'azote par la culture :

- On considère que les pertes du sol par voies gazeuses et la fixation non symbiotique sont des phénomènes de faible ampleur et du même ordre de grandeur d'où le postulat : $G_s = F_{ns}$.
- La méthode du bilan prévisionnel s'applique dans la quasi-totalité des situations à des cultures non-légumineuses, d'où $F_s = 0$.

L'équation [1] devient l'équation [4.]

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

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

Avec :

X : Apport d'azote sous forme d'engrais minéral de synthèse

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 (ou reliquat azoté final)

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 (ou reliquat azoté initial)

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 culture intermédiaire

Nirr : Azote apporté par l'eau d'irrigation

CAU : Coefficient apparent d'utilisation de l'engrais

Xa : Equivalent engrais minéral efficace d'un produit organique

b. Sorgho fourrager : Écriture simplifiée du bilan

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

Avec :

$X + Xa$ = dose totale d'azote efficace à apporter sur le bilan azoté, **mais dans l'attente de références, le réseau des MESE d'Oc. considère que cette dose totale couvre le cycle total de la culture.**

Le paramètre Pi est comptabilisé dans le paramètre Ri calculé dans la méthode Sud-Ouest.

Source : Calcul de la fertilisation azotée, Guide méthodologique pour l'établissement des prescriptions locales pour cultures annuelles et prairies – Comifer, groupe Azote (2013).

Annexe 3 : Modalités de calcul de l'azote minéral à l'ouverture du bilan (Ri)

Date d'ouverture du bilan azoté du précédent : au plus tard à la date de semis de la culture du précédent.

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

- Cas 1 : précédent autre que légumineuses et prairies
- Cas 2 : légumineuses
- Cas 3 : prairie ou jachère
- Cas 4 : culture intermédiaire.

1 • Cas 1 : Précédent autre que légumineuses et prairies

Ri = APL - Lixiviation hivernale + Minéralisation hivernale de l'humus avant ouverture du bilan du sorgho fourrager.

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

a. Calcul de l'APL

APL = (A + Am + Ao + MhpPrécédent + MrCiPrécédent – Azote consommé par le précédent) x Coeff de correction d'un excès d'azote du bilan de la culture précédente + Azote organique apporté avant ouverture du bilan

Tableau 25 : Calcul de l'APL

	Calcul des valeurs
① A Azote fourni à la culture précédente par la minéralisation kg N/ha	Avec A : valeur annuelle publiée dans l'arrêté complémentaire au 1 ^{er} février de chaque année. Elle est valable pour toute la région ex-Midi-Pyrénées et par simplification dans l'attente de références pour le territoire Languedoc-Roussillon (préconisations du réseau des MESE d'Oc.). En l'absence de données, se reporter au Tableau 26. Pour information, la formule de calcul : A = 0,102 x somme (ETP* - P) + 0,073 x somme de T° - 170 Cette relation statistique a été établie et ne peut être utilisée qu'à partir des données météo de la station de Toulouse Blagnac. Elle est validée annuellement par un réseau régional de reliquat à l'entrée de l'hiver avant le début de la lixiviation hivernale.
② Am Azote minéral apporté au précédent kg N/ha	D'après le cahier d'épandage de l'agriculteur
③ Ao Apport d'azote organique au précédent kg N efficace/ha	Equivalent engrais minéral azote organique <u>apporté au précédent</u> = % N _{tot} x Q (quantité totale apportée d'après déclaration de l'agriculteur) x Keq N sur cycle de la culture précédente Keq N sur cycle de la culture précédente donné en Annexe 4 .
④ Mhp Précédent Effet d'un retournement de prairie avant le précédent kg N/ha	Prendre la valeur Mhp du Tableau 27 .
⑤ MrCi Précédent Contribution d'une culture intermédiaire avant le précédent kg N/ha	Prendre la valeur MrCi du Tableau 28 .

⑥ Azote consommé par le précédent kg N/ha	N consommé par le précédent = rendement réalisé déclaré par l'agriculteur x N absorbé par unité de production Prendre les valeurs de N absorbé par unité de production du précédent dans le Tableau 29
⑦ Coefficient de correction d'un excès d'azote du bilan de la culture précédente	Pour intégrer les effets d'excès de bilan du précédent, la quantité d'azote disponible après la récolte du précédent doit être multipliée par les coefficients suivants : 1. Si précédent = céréales, prendre 0,27 2. Si précédent = maïs, sorgho, prendre 0,48 3. Si précédent = autres cultures que céréales, maïs et sorgho, prendre 0,4. <i>Source : Tableau 5 de l'annexe 16 de l'arrêté préfectoral régional de Midi-Pyrénées du 31 août 2015 n°20150831-311-278 établissant le référentiel régional de mise en œuvre de l'équilibre de la fertilisation azotée pour la région Midi-Pyrénées, modifié par l'arrêté du 29 décembre 2015.</i>
⑧ Azote organique apporté avant ouverture du bilan du précédent kg N/ha	Equivalent engrais minéral d'un produit organique apporté à l'automne = % N _{tot} x Q (quantité totale apportée) x Keq N Keq N du produit organique apporté <u>avant ouverture du bilan</u> du précédent donné en Annexe 4 .
APL Azote Potentiellement Lixivable kg N/ha	APL = [① + ② + ③ + ④ + ⑤] - ⑥ x ⑦ + ⑧

Tableau 26 : Valeur de A, azote fourni à la culture précédente par la minéralisation

Conditions climatiques de l'année précédente	A kg N/ha
Printemps et été chauds	140
Année normale	100
Année froide avec été pluvieux	60

Source : Annexe 2 de l'arrêté préfectoral régional de Languedoc-Roussillon du 5 septembre 2012 n°120285 établissant le référentiel régional de mise en œuvre de l'équilibre de la fertilisation azotée en agriculture.

Tableau 27 : Minéralisation nette due à un retournement de prairie (Mhp) (en kg N/ha)

Type de production de prairies	Mode d'exploitation	Age de la prairie			
		< 18 mois	2 - 3 ans	4 - 5 ans	6 - 10 ans
Graminées + légumineuses	Pâturage	20	60	100	120
	Pâturage + Fauche	20	60	100	120
	Fauche uniquement	14	42	70	84
Graminées pures	Pâturage (= pâturage intégral)	20	60	100	120
	Pâturage + Fauche	14	42	70	84
	Fauche uniquement (= fauche intégrale)	8	24	40	48

Source : Annexe 3 de l'arrêté préfectoral régional de Midi-Pyrénées du 31 août 2015 n°20150831-311-278 établissant le référentiel régional de mise en œuvre de l'équilibre de la fertilisation azotée pour la région Midi-Pyrénées, modifié par l'arrêté du 29 décembre 2015.

Nota Bene : il n'y a pas d'effet azote lorsque la prairie est retournée à l'automne précédent une culture d'été.

Tableau 28 : Minéralisation nette de résidus de cultures intermédiaires (MrCi)

Type de culture intermédiaire	Production de la culture intermédiaire t MS/ha	Ouverture du bilan au semis du maïs Destruction avant semis du maïs (novembre/décembre) kg N/ha
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 graminée/ légumineuses	≤ 1	3
	2 (> 1 et < 3)	5
	≥ 3	13
Mélanges crucifères/ légumineuses	≤ 1	3
	2 (> 1 et < 3)	8
	≥ 3	15

Source : Annexe 3 de l'arrêté préfectoral régional de Midi-Pyrénées du 31 août 2015 n°20150831-311-278 établissant le référentiel régional de mise en œuvre de l'équilibre de la fertilisation azotée pour la région Midi-Pyrénées, modifié par l'arrêté du 29 décembre 2015.

Tableau 29 : Azote absorbé par unité de rendement par le précédent

Précédent	Azote absorbé par unité de rendement du précédent kg N/q ou t MS
Ouverture du bilan en sortie d'hiver	
Avoine (printemps et hiver) pailles enlevées	2,5
Avoine (printemps et hiver) pailles restituées	2,8
Blé tendre pailles enlevées	3
Blé tendre pailles restituées	3,3
Blé dur pailles enlevées	3,7
Blé dur pailles restituées	4
Colza	6
Maïs doux épis + spathes	10
Maïs doux épis dépouillés	12
Maïs fourrage	12
Maïs grain	2,5
Maïs semence	5,7

Précédent	Azote absorbé par unité de rendement du précédent kg N/q ou t MS
Ouverture du bilan en sortie d'hiver	
Orge (hiver ou printemps) pailles enlevées	2,5
Orge (hiver ou printemps) pailles restituées	2,8
Seigle pailles enlevées	2,3
Seigle pailles restituées	2,6
Sorgho ensilage	13
Sorgho grain	2,8
Tournesol	4
Triticale pailles enlevées	2,6
Triticale pailles restituées	2,9
Pois	0
Féverole	0
Lupin	0
Soja	0
Prairie	0
Culture intermédiaire	0
Luzerne (retournement fin été/début automne) : âge de la luzerne 2 ans	0
Luzerne (retournement fin été/début automne) : âge de la luzerne 3 ans	0
Luzerne (retournement printemps)	0
Betterave	220 kg/ha
Carotte	100 à 165 kg/ha (suivant cycle)
Endive	90 à 185 kg/ha (suivant variété)
Pommes de terre	100 à 250 kg/ha (suivant date plantation)
Cultures cynégétiques (mélange graminées/légumineuses ou graminées pures)	3 (préconisation du réseau des MESE d'Occ., en l'absence de références)

Source : Tableau 4-a de l'annexe 16 de l'arrêté préfectoral régional de Midi-Pyrénées du 31 août 2015 n°20150831-311-278 établissant le référentiel régional de mise en œuvre de l'équilibre de la fertilisation azotée pour la région Midi-Pyrénées, modifié par l'arrêté du 29 décembre 2015.

b. Estimation de Ri à partir de l'APL et du cumul de pluie hivernale

Préconisations du réseau des MESE d'Occ.

La lixiviation hivernale et la minéralisation nette hivernale de l'humus ont été modélisées pour les types de sol de la région ex-Midi-Pyrénées, qui seront prises comme références pour la région ex-Languedoc-Roussillon, dans l'attente de nouvelles références.

L'estimation du terme Ri se fait en utilisant les abaques de Ri pour chaque type de sol du territoire Midi-Pyrénées en fonction :

- de l'APL calculé (en kg N/ha),
- du cumul de pluie hivernale entre le 01/10 et le 01/05 (en mm). (cf. **Tableau 30**).

Tableau 30. Estimation de Ri à partir de l'APL et du cumul de pluie hivernale dans le bilan azoté du sorgho fourrager

Ri (Cultures d'été) en kg N/ha	APL = Azote Potentiellement Lixiviable (en kg N/ha)	Cumul de pluie entre le 01/10 et le 01/05 (en mm)								
		250	300	350	400	450	500	600	700	800
Alluvions argilo-limoneuses à argileuses / Alluvions limoneuses à argilo- limoneuses : Sols N°3 et 4	0	45	45	45	45	42	40	36	31	25
	20	60	60	60	53	48	43	37	31	25
	40	76	76	76	62	54	47	38	31	25
	60	92	92	92	73	61	52	39	31	25
	80	107	107	107	86	69	56	40	31	25
	100	123	123	123	102	78	62	41	31	25
	120	138	138	138	120	88	67	42	31	25
	140	154	154	154	142	100	73	43	31	25
Argilo-calcaïque : Sols N° 16	0	40	40	40	39	37	35	31	29	27
	20	56	56	56	48	43	39	32	29	27
	40	73	73	73	58	50	43	33	29	27
	60	89	89	89	71	57	47	34	29	27
	80	106	106	106	86	66	53	35	29	27
	100	122	122	122	105	77	58	36	29	27
	120	139	139	139	127	89	65	37	29	27
	140	155	155	155	154	103	72	38	29	27
Boulbène superficielle / Boulbène moyenne : Sols N° 10 et 12	0	46	46	46	44	41	39	35	29	25
	20	62	62	62	51	46	41	35	29	25
	40	79	79	79	59	51	44	35	29	25
	60	96	96	96	68	56	47	36	29	25
	80	112	112	112	78	62	51	36	29	25
	100	129	129	129	90	69	54	36	29	25
	120	146	146	146	103	76	58	36	29	25
	140	162	162	162	119	84	62	37	29	25
Boulbène profonde : Sol N°11	0	44	44	44	41	39	36	32	28	24
	20	59	59	59	47	42	38	32	28	24
	40	74	74	74	53	45	39	32	28	24
	60	89	89	89	60	49	41	32	28	24
	80	104	104	104	68	53	42	32	28	24
	100	120	120	120	77	57	44	32	28	24
	120	135	135	135	87	62	46	32	28	24
	140	150	150	150	98	67	47	32	28	24
Argileux acides à cailloux / Argilo-acides Sols N° 17 et 21	0	34	34	34	34	34	32	29	27	25
	20	47	47	47	47	42	39	33	29	26
	40	65	65	65	65	53	47	38	31	27
	60	82	82	82	82	66	57	43	34	28
	80	99	99	99	99	83	68	49	37	29
	100	116	116	116	116	104	83	56	40	30
	120	133	133	133	133	130	100	64	44	31
	140	150	150	150	150	147	121	73	47	33

Ri (Cultures d'été) en kg N/ha	APL = Azote Potentiellement Lixiviable (en kg N/ha)	Cumul de pluie entre le 01/10 et le 01/05 (en mm)								
		250	300	350	400	450	500	600	700	800
Boulbène caillouteuse superficielle / Alluvions caillouteuses / Ségala à faible MO Sols N° 9, 1 et 22	0	37	33	30	27	25	23	20	18	16
	20	55	39	33	28	24	23	20	18	16
	40	72	47	36	29	24	23	20	18	16
	60	90	55	40	30	23	23	20	18	16
	80	108	66	44	31	23	23	20	18	16
	100	125	78	49	32	23	23	20	18	16
	120	143	92	54	33	22	22	20	18	16
	140	160	109	59	35	22	21	20	18	16
Alluvions sableuses / Alluvions sableuses calcaires Sols N° 2 et 6	0	38	34	31	29	27	24	21	18	16
	20	47	39	34	30	27	24	21	18	16
	40	58	46	38	32	27	24	21	18	16
	60	72	53	42	34	28	24	21	18	16
	80	89	62	46	36	28	24	21	18	16
	100	110	72	51	38	29	24	21	18	16
	120	136	84	56	40	29	24	21	18	16
	140	168	98	62	42	30	24	21	18	16
Ségala à MO élevé Sol N° 19	0	49	49	45	40	36	33	26	20	17
	20	66	66	51	44	38	33	26	20	17
	40	83	83	58	48	40	34	26	20	17
	60	100	100	67	52	42	34	26	20	17
	80	117	117	76	57	44	35	26	20	17
	100	134	134	86	62	46	35	26	20	17
	120	151	151	99	67	48	36	26	20	17
	140	168	168	112	73	51	36	26	20	17
Argilo-calcaire profond Sol N° 14	0	32	32	32	31	30	28	24	21	19
	20	49	49	49	41	36	32	26	22	19
	40	66	66	66	51	43	37	28	23	19
	60	83	83	83	63	51	43	31	24	19
	80	100	100	100	78	61	49	34	25	19
	100	117	117	117	96	73	57	37	26	19
	120	134	134	134	119	87	66	41	27	19
	140	151	151	151	148	104	76	45	28	19
Argilo-calcaire superficiel / Alluvions caillouteuses calcaires Sols N° 13 et 5	0	31	31	31	31	30	27	23	21	18
	20	48	48	48	48	37	32	26	22	18
	40	65	65	65	65	45	38	29	23	18
	60	82	82	82	82	56	45	32	24	18
	80	98	98	98	98	69	54	35	25	18
	100	115	115	115	115	84	64	39	26	18
	120	132	132	132	132	104	76	44	27	18
	140	148	148	148	148	128	90	48	29	18
Argilo-calcaire moyen / Argilo- calcaire à cailloux Sols N° 15 et 20	0	30	30	30	30	27	25	21	19	17
	20	45	45	45	35	30	27	21	19	17

Ri (Cultures d'été) en kg N/ha	APL = Azote Potentiellement Lixivable (en kg N/ha)	Cumul de pluie entre le 01/10 et le 01/05 (en mm)								
		250	300	350	400	450	500	600	700	800
	40	61	61	61	41	34	28	21	19	17
	60	77	77	77	48	37	30	21	19	17
	80	93	93	93	56	42	32	21	19	17
	100	109	109	109	65	47	34	21	19	17
	120	125	125	125	76	52	37	20	19	17
	140	140	140	140	89	58	39	20	19	17
Alluvions argilo-limoneuses à argileuses calcaires / Alluvions limoneuses à limono argileuses calcaires Sols N° 7 et 8	0	28	28	28	28	28	26	23	21	19
	20	45	45	45	38	34	30	25	21	19
	40	62	62	62	48	41	35	27	21	19
	60	79	79	79	60	49	41	30	21	19
	80	95	95	95	76	59	47	32	21	19
	100	112	112	112	95	71	55	35	21	19
	120	129	129	129	119	86	64	38	21	19
140	146	146	146	136	103	74	42	21	19	
Sols de Causses Sol N° 18	0	20	20	19	19	18	17	15	13	12
	20	27	24	21	20	18	17	15	13	12
	40	36	29	24	21	18	17	15	13	12
	60	47	35	27	22	18	17	15	13	12
	80	63	42	30	23	18	17	15	13	12
	100	83	51	34	24	18	17	15	13	12
	120	110	62	38	25	17	17	15	13	12
	140	146	75	43	27	17	17	15	13	12

Source : Tableaux 7 de l'annexe 16 de l'arrêté préfectoral régional de Midi-Pyrénées du 31 août 2015 n°20150831-311-278 établissant le référentiel régional de mise en œuvre de l'équilibre de la fertilisation azotée pour la région Midi-Pyrénées, modifié par l'arrêté du 29 décembre 2015.

2 • Cas 2 : Précédent légumineuses

Ri = APL - Lixiviation hivernale + Minéralisation hivernale de l'humus avant ouverture du bilan du sorgho fourrager.

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

a. Calcul de l'APL

Tableau 31 : APL dans le cas d'un précédent légumineuses

Type de précédent à base de légumineuses	APL kg N/ha	Valeur de A Azote fourni à la culture précédente par la minéralisation kg N/ha
Pois	$30 + 0,5 \times A$	<p>Avec A : valeur annuelle publiée dans l'arrêté complémentaire au 1^{er} février de chaque année. Elle est valable pour toute la région ex-Midi-Pyrénées et par simplification dans l'attente de références pour le territoire Languedoc-Roussillon (préconisations du réseau des MESE d'Oc.). En l'absence de données, se reporter au Tableau 26.</p> <p>Pour information, la formule de calcul : $A = 0,102 \times \text{somme (ETP}^* - P) + 0,073 \times \text{somme de T}^\circ - 170$ Cette relation statistique a été établie et ne peut être utilisée qu'à partir des données météo de la station de Toulouse Blagnac. Elle est validée annuellement par un réseau régional de reliquat à l'entrée de l'hiver avant le début de la lixiviation hivernale.</p>
Féverole Lupin	$20 + 0,4 \times A$	
Soja	$20 + 0,3 \times A$	

Source : Tableau 4 de l'annexe 3 de l'arrêté préfectoral régional de Midi-Pyrénées du 31 août 2015 n°20150831-311-278 établissant le référentiel régional de mise en œuvre de l'équilibre de la fertilisation azotée pour la région Midi-Pyrénées, modifié par l'arrêté du 29 décembre 2015.

b. Estimation de Ri à partir de l'APL et du cumul de pluie hivernale entre le 01/10 et le 01/05

Idem au cas A (cf. Tableau 30).

3 • Cas 3 : Précédent prairie ou jachère

Ri = APL - Lixiviation hivernale + Minéralisation hivernale de l'humus avant ouverture du bilan du sorgho fourrager.

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

Dans ce cas, on considère que la prairie est retournée au printemps, la lixiviation hivernale est donc nulle.

Le Ri est estimé directement dans le **Tableau 32**.

Tableau 32 : Ri dans le cas d'un précédent prairie ou jachère

Précédent : prairie ou jachère	Formule du Ri kg N/ha	Valeurs de kp pour les prairies		Ri simplifié kg N/ha	Valeur de A Azote fourni à la culture précédente par la minéralisation kg N/ha
Prairie de 1 à 2 ans	25 x kp+ (0,3 x A)	Prairie toujours pâturée	kp = 1	25 + (0,3 x A)	<p>Avec A : valeur annuelle publiée dans l'arrêté complémentaire au 1^{er} février de chaque année. Elle est valable pour toute la région ex-Midi-Pyrénées et par simplification dans l'attente de références pour le territoire Languedoc-Roussillon (préconisations du réseau des MESE d'Occ.).</p> <p>En l'absence de données, se reporter au Tableau 26.</p> <p>Pour information, la formule de calcul : $A = 0,102 \times \text{somme (ETP}^* - P) + 0,073 \times \text{somme de T}^\circ - 170$ Cette relation statistique a été établie et ne peut être utilisée qu'à partir des données météo de la station de Toulouse Blagnac. Elle est validée annuellement par un réseau régional de reliquat à l'entrée de l'hiver avant le début de la lixiviation hivernale.</p>
		Associations graminées + légumineuses			
		Prairie fauchée et pâturée	kp = 0,7	17,5 + (0,3 x A)	
Prairie toujours fauchée	kp = 0,4	10 + (0,3 x A)			
Prairie de 3 à 6 ans	75 x kp+ (0,3 x A)	Prairie toujours pâturée	kp = 1	75 + (0,3 x A)	
		Associations graminées + légumineuses			
		Prairie fauchée et pâturée	kp = 0,7	52,5 + (0,3 x A)	
Prairie toujours fauchée	kp = 0,4	30 + (0,3 x A)			
Prairie de plus de 6 ans	100 x kp+ (0,3 x A)	Prairie toujours pâturée	kp = 1	100 + (0,3 x A)	
		Associations graminées + légumineuses			
		Prairie fauchée et pâturée	kp = 0,7	70 + (0,3 x A)	
Prairie toujours fauchée	kp = 0,4	40 + (0,3 x A)			
Jachère annuelle de graminées	10 + (0,4 x A)			10 + (0,4 x A)	
Jachère annuelle de légumineuses	20 + (0,4 x A)			20 + (0,4 x A)	
Jachère pluriannuelle					

Source : Tableau 5 de l'annexe 3 de l'arrêté préfectoral régional de Midi-Pyrénées du 31 août 2015 n°20150831-311-278 établissant le référentiel régional de mise en œuvre de l'équilibre de la fertilisation azotée pour la région Midi-Pyrénées, modifié par l'arrêté du 29 décembre 2015.

4 • Cas 4 : Précédent culture intermédiaire

Ri = APL - Lixiviation hivernale + Minéralisation hivernale de l'humus avant ouverture du bilan du sorgho fourrager.

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

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.

Ri est donné directement par le **Tableau 33**.

Tableau 33 : Ri dans le cas d'une culture intermédiaire

Type de sol en Midi-Pyrénées		Argile %	CaCO ₃ %	MO %	Cailloux %	Ri Azote dans le sol après une culture intermédiaire kg N/ha
N° de sol	Nom vernaculaire					
1	Alluvions caillouteuses	20	0	1,5	25	8
2	Alluvions sableuses	10	0	1,5	0	8
3	Alluvions limoneuses à limono argileuses	20	0	1,5	0	15
4	Alluvions argilo-limoneuses à argileuses	35	0	1,7	0	15
5	Alluvions caillouteuses calcaires	20	20	1,5	25	8
6	Alluvions sableuses calcaires	10	20	1,5	0	8
7	Alluvions limoneuses à limono argileuses calcaires	20	20	1,5	0	15
8	Alluvions argilo-limoneuses à argileuses calcaires	35	20	1,7	0	15
9	Boulbène caillouteuse superficielle	15	0	1,5	25	10
10	Boulbène superficielle	15	0	1,5	0	15
11	Boulbène profonde	15	0	1,5	0	20
12	Boulbène moyenne	15	0	1,5	0	15
13	Argilo-calcaire superficiel (rendosols)	30	20	1,5	0	15
14	Argilo-calcaire profond (calcosols)	33	10	1,7	0	20
15	Argilo-calcaire moyen (calcosols)	33	10	1,6	0	15
16	Argilo-calciques (calcisols)	35	0	2	0	15
17	Argilo-acides (brunisol)	30	0	2	5	15
18	Sols des Causses	30	10	2	30	15
19	Ségala (sols acides limono-sableux à limono-argilo-sableux – MO élevé)	20	0	3	20	15
20	Argilo calcaires à cailloux	30	25	1,5	25	15
21	Argileux acides à cailloux	30	0	1,5	25	15
22	Ségala (sols acides limono-sableux à limono-argilo-sableux – MO faible)	20	0	1,8	20	15

Source : Tableau 8 de l'annexe 16 de l'arrêté préfectoral régional de Midi-Pyrénées du 31 août 2015 n°20150831-311-278 établissant le référentiel régional de mise en œuvre de l'équilibre de la fertilisation azotée pour la région Midi-Pyrénées, modifié par l'arrêté du 29 décembre 2015.

5 • Exemple de calculs du Ri

Tableau 34 : Exemples de calcul du Ri

	Cas 1	Cas 2	Cas 3	Cas 4
Hypothèses	Sol argilo-calcaire profond. Pluviosité entre le 1er octobre et le 30 avril = 400 mm Conditions climatiques de l'année précédente : Année normale			
	Précédent Blé dur pailles exportées, rendement 50 q/ha avec un apport de 100 kg d'azote minéral.	Précédent : Pois	Prairie de 1 à 2 ans, fauchée et pâturée.	
APL Reliquat d'azote au 1er octobre kg N/ha	$APL = [(1) + (2) + (3) + ((4) \text{ ou } (5)) - (6)] / x (7) + (8)$ $APL = [100 + 100 + 0 + 0 \text{ ou } 0 - (3,7 \times 50)] \times 0,27 + 0$ APL = 4,05	$APL = 30 + 0,5 \times 100$ APL = 80		
Ri kg N/ha	33	78	$Ri = 25 \times 0,7 + 0,3 \times 100$ Ri = 47,5	Ri = 20

Annexe 4 : Coefficient d'équivalence engrais azote minéral efficace (Keq N)

Sont renseignées les valeurs de Keq cycle (et non celles de Keq bilan). La différence entre ces 2 valeurs est souvent assez minime et par ailleurs les anciennes références concernent le Keq cycle.

Une boue digérée = méthanisée au cours du process de traitement des boues et non un digestat de boues.

Types de boues	Coefficients d'équivalence engrais azote minéral efficace (Keq N) préconisés par le réseau des MESE d'Occ. : fonction de la culture et de la période d'apport															
	Colza (culture d'hiver ¹)			Cultures d'hiver : Céréales, Oléagineux			Cultures de printemps : Céréales, Oléagineux (ex : Blé, orge, avoine)			Prairies			Amandier, abricotier, olivier		Viticulture	
	Fin été/automne	Fin été/automne	Sortie hiver/printemps	Fin d'été/automne avant CIPAN (ex : maïs)	Été/automne (ex : maïs)	Printemps ² (ex : sorgho, riz, tournesol)	Automne/hiver automne : 0,3 sortie hiver : 0,45	Printemps	Automne/hiver	Printemps	Automne/hiver	Printemps				
Boues activées liquides urbaines (C/N = 4,9)	0,37	0,25	0,4	0,35	0,35	0,45	0,3	0,35	0,3	0,45	0,3	0,45	0,3	0,45		
Boues activées liquides égouttées urbaines (C/N = 4,9)	0,1	0,1	0,35	0,15	0,15	0,45	0,25	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4		
Boues activées filtre presse non chauffées (C/N = 5,9)	0,45	0,25	0,25	0,35	0,35	0,45	0,4	0,4	0,35	0,4	0,35	0,4	0,35	0,4		
Boues activées filtre presse chauffées (C/N = 5,9)	0,45	0,25	0,25	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35		
Boues activées pâteuses filtre à bandes (C/N = 5,2)	0,4	0,2	0,3	0,35	0,35	0,4	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35		
Boues activées lits de séchage (C/N = 5,4)	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4		

¹ par abus de langage appelé aussi culture d'automne

² si pendillards (boues liquides) : on ajoute + 10 %

Types de boues	Coefficients d'équivalence engrais azote minéral efficace (Keq N) préconisés par le réseau des MESE d'Oc. : fonction de la culture et de la période d'apport													
	Colza (culture d'hiver ¹)		Cultures d'hiver : Céréales, Oléagineux		Cultures de printemps : Céréales, Oléagineux (ex : Blé, orge, avoine)			Prairies		Amandier, abricotier, olivier		Viticulture		
	Fin été/automne	Fin été/automne	Sortie hiver/printemps	Fin d'été/automne avant CIPAN (ex : maïs)	Été/automne (ex : maïs)	Printemps ² (ex : sorgho, riz, tournesol)	Automne/hiver	Printemps	Automne/hiver	Printemps	Automne/hiver	Printemps	Automne/hiver	Printemps
Boues activées litiées à rhizophytes (C/N = 5,9) par manque de référence, le réseau des MESE d'Oc. positionne ici les boues issues des LSPR et FPR	0,35	0,35	0,15	0,15	0,35	0,3	0,35	0,35	0,35	0,3	0,35	0,3	0,3	0,3
Boues activées séchées (C/N = 6,0)	0,35	0,2	0,2	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,3	0,35	0,3	0,3	0,3
Boues liti bactérien disque biologique liquides (C/N = 7,5)	0,3	0,15	0,15	0,25	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Boues liti bactérien déshydratées chaulées (C/N = 5)	0,3	0,15	0,15	0,25	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Boues décanteur digesteur (C/N = 8,1)	0,3	0,15	0,15	0,25	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Boues de curage de lagunes urbaines (C/N = 6 à 11)	0,3	0,2	0,25	0,25	0,3	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25

Autres boues

Types de boues		Coefficients d'équivalence engrais azote minéral efficace (Keq N) préconisés par le réseau des MESE d'Occ. : fonction de la culture et de la période d'apport													
		Colza (culture d'hiver ¹)		Cultures d'hiver : Céréales, Oléagineux		Cultures de printemps : Céréales, Oléagineux (ex : Blé, orge, avoine)		Prairies		Amandier, abricotier, olivier		Viticulture			
		Fin été/ automne	Fin été/ automne	Sortie hiver/ printemps	Fin d'été/ automne avant CIPAN (ex : maïs)	Été/ automne (ex : maïs)	Printemps ² (ex : sorgho, riz, tournesol)	Automne/ hiver	Printemps	Automne/ hiver	Printemps	Automne/ hiver	Printemps		
Boues physico-chimiques déshydratées (C/N = 5,5 à 17)		0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	
	Boues physico-chimiques déshydratées chaudes (C/N = 10 à 13)	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	
Boues digérées anaérobies déshydratées (C/N = 5,9)		0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	
	Boues de Perpignan : Boues activées épaissies digérées déshydratées non chaudes (C/N = 5,5)	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	
Boues digérées anaérobies déshydratées chaudes (C/N = 6,0)		0,3	0,15	0,15	0,2	0,2	0,3	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	
	Boues digérées anaérobies séchées (C/N = 6,1)	0,3	0,15	0,15	0,2	0,2	0,3	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	
Composts de MIATE		0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	
	Composts de boues avec support carboné	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	

Compilation des données issues des sources suivantes : COMIFER (2013); SYPREA (2012) ; GREN Aquitaine (2012) ; GREN Champagne-Ardennes (2013) ; GREN Rhône-Alpes (2012, COMIFER + SYPREA) ; GREN Rhône-Alpes (2014, APCA, CA26 et CA38), GREN Poitou Charentes (2012) ; CRA Pays de Loire (2008) ; groupe APCA-mission boues (2007 non publié), CA66 (2016).

Annexe 5 : Coefficient d'équivalence engrais P₂O₅ minéral efficace (Keq P₂O₅)

Types de boues urbaines ou composites de boues urbaines	Siccité* de la boue étudiée	Traitement	Apport tous les 2 à 3 ans				Apport annuel		
			Année 1					Année 2	
			Keq P ₂ O ₅ mini	Keq P ₂ O ₅ maxi	Keq P ₂ O ₅ moyen	Keq P ₂ O ₅ retenu par le réseau des MESE d'Oc.			
Boues biologiques	liquides	biologiques	0,72	1	0,86	0,7	0,28	1	
Boues biologiques	pâteuses (20 % MS)	biologiques	0,72	1	0,86	0,7	0,28	1	
Boues biologiques	pâteuses (30 % MS)	biologiques chaulées	0,85			0,85	0,15	1	
Boues biologiques	liquides ou pâteuses	biologiques de déphosphatation chaulées ou traitées aux sels de fer/chaux	0,87	1	0,94	0,9	0,13	1	
Boues biologiques		biologiques traitées aux sels de fer ou aux sels de fer/chaux	0,83	1	0,92	0,8	0,17	1	
Boues biologiques	liquides ou pâteuses	biologiques digérées	0,41	1	0,71	0,4	0,59	1	
Boues biologiques	solides ou sèches	biologiques digérées conditionnées thermiquement	0,37	0,75	0,56	0,4	0,63	1	
Boues biologiques		biologiques digérées traitées aux sels de fer ou aux sels de fer/chaux	0,63	0,89	0,76	0,6	0,37	1	
Boues physico-chimiques		physico-chimiques traitées aux sels de fer ou aux sels de fer/chaux	0,83	0,93	0,88	0,8	0,17	1	
Boues physico-chimiques	pâteuses (30 % MS)	physico-chimiques chaulées	0,85			0,85	0,15	1	
Boues séchées	sèches	séchées	0,85			0,85	0,15	1	
Boues issues des lagunes, lits de séchage plantés de roseaux, filtres plantés de roseaux.	liquides à pâteuses		Préconisations du réseau des MESE d'Oc., en l'absence de références.				0,7	0,3	1
Autres types de boues			Préconisations du réseau des MESE d'Oc., en l'absence de références.				0,7	0,3	1
Composts de boues		compostés avec déchets verts ou sciures de bois	0,55	0,91	0,73	0,55	0,45	1	

Source : travaux synthétisés par C. MOREL à la journée des Missions Déchets des Chambres d'Agriculture (2007)



VOS CONTACTS

Chambre d'agriculture de l'Aude

Stéphanie Rubio

04 68 11 79 77

stephanie.rubio@aude.chambagri.fr

Chambre d'agriculture du Gard

Claire Gaffier

04 66 25 46 92

claire.gaffier@gard.chambagri.fr

Chambre d'agriculture de l'Hérault

Marie Castagnet

04 67 20 88 35

castagnet@herault.chambagri.fr

Chambre d'agriculture de la Lozère

Laure Gomita

04 66 65 62 00

laure.gomita@lozere.chambagri.fr

Chambre d'agriculture des Pyrénées-Orientales

Margot Dalla Nora

04 68 35 85 95

margot.dallanora@pyrenees-orientales.chambagri.fr

La réalisation de ce document a été soutenue financièrement par :

