



ARRÊTÉ
établissant le référentiel régional de mise en œuvre
de l'équilibre de la fertilisation azotée
pour la région BOURGOGNE

LE PRÉFET DE LA RÉGION BOURGOGNE
Chevalier de la Légion d'honneur
Officier de l'ordre national du Mérite

VU le code de l'environnement, notamment ses articles R.211-80 et suivants ;

VU l'arrêté interministériel du 19 décembre 2011 relatif au programme d'actions national à mettre en œuvre dans les zones vulnérables afin de réduire la pollution des eaux par les nitrates d'origine agricole ;

VU l'arrêté préfectoral du 20 décembre 2011 portant composition, organisation et fonctionnement du groupe régional d'expertise « nitrates » pour le programme d'actions à mettre en œuvre dans les zones vulnérables afin de réduire la pollution des eaux par les nitrates d'origine agricole ;

VU l'arrêté préfectoral du 3 mai 2012 portant création du groupe régional d'expertise « nitrate » pour la région Bourgogne ;

VU l'arrêté du préfet de la Côte d'Or en date du 26 juin 2009 relatif au 4ème programme d'action à mettre en œuvre en vue de la protection des eaux contre la pollution par les nitrates d'origine agricole dans les zones vulnérables du département de la Côte d'Or ;

VU l'arrêté du préfet de la Nièvre en date du 28 juillet 2009 relatif au 4ème programme d'action à mettre en œuvre en vue de la protection des eaux contre la pollution par les nitrates d'origine agricole dans les zones vulnérables du département de la Nièvre ;

VU l'arrêté du préfet de la Saône et Loire en date du 17 juillet 2009 relatif au 4ème programme d'action à mettre en œuvre en vue de la protection des eaux contre la pollution par les nitrates d'origine agricole dans les zones vulnérables du département de Saône-et-Loire modifié par l'arrêté préfectoral du 15 juillet 2010 ;

VU l'arrêté du préfet de l'Yonne en date du 24 juillet 2009 fixant le 4ème programme d'action à mettre en œuvre en vue de la protection des eaux contre la pollution par les nitrates d'origine agricole dans les zones vulnérables du département de l'Yonne ;

VU les propositions du groupe régional d'expertise « nitrates » en date du 19 juillet 2012 ;

SUR proposition de la directrice régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement et du directeur régional de l'alimentation, de l'agriculture et de la forêt ;

ARRÊTE

Article 1 – Objet et champ d'application

Le présent arrêté définit le référentiel régional mentionné au b du 1° du III de l'annexe I de l'arrêté du 19 décembre 2011 relatif au programme d'actions national à mettre en œuvre dans les zones vulnérables afin de réduire la pollution des eaux par les nitrates d'origine agricole.

Pour chaque îlot cultural localisé en zone vulnérable, la dose des fertilisants azotés épandus est déterminée a priori à partir de l'équilibre entre les besoins prévisibles en azote des cultures et les apports et sources d'azote de toute nature. Le calcul s'appuie sur la méthode du bilan d'azote minéral du sol détaillé dans la publication la plus récente du Comité français d'études et de développement de la fertilisation raisonnée (COMIFER.)

La mise en œuvre opérationnelle de la méthode du bilan prévisionnel nécessite pour chaque culture et pour les prairies :

- de fixer une écriture applicable de la méthode et les règles s'appliquant au calcul des différents postes
- de paramétrer les différents termes de la formule éventuellement à partir de valeurs par défaut.

Le référentiel s'applique à toutes les cultures figurant au tableau de l'annexe 1 du présent arrêté qui récapitule également la méthode à utiliser : méthode du bilan prévisionnel de masse, dose plafond ou dose pivot.

Article 2 – Méthode du bilan de masse

1° - Pour les cultures qui relèvent de l'application du bilan prévisionnel et qui figurent comme telles à la colonne « méthode de calcul » du tableau-annexe 1 du présent arrêté, l'écriture opérationnelle retenue correspond à l'équation [3] du guide Comifer soit :

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

Pour le maïs, la méthode prenant en compte le Coefficient Apparent d'Utilisation (CAU) de l'azote peut être utilisée. Le calcul de la dose X pour le maïs, selon la méthode des bilans ou la méthode CAU est détaillé dans la fiche culture qui figure en annexe 3 de cet arrêté. La méthode CAU prend en compte les fournitures globales du sol (PO) sous la forme suivante :

$$Pf = PO + MrCi + Mhp + Nirr + (X+Xa) \times CAU \quad \text{Avec } PO = Mh + Mr$$

Pour les prairies à base de graminées, la méthode CAU retenue est également détaillée dans la fiche culture qui figure en annexe 3 jointe.

Les termes de ces équations sont présentés et précisés à l'annexe 2.

Glossaire :

Pf	Quantité d'azote absorbé par la culture à la fermeture du bilan
Pi	Quantité d'azote absorbé par la culture à l'ouverture du bilan
Ri	Quantité d'azote minéral dans le sol à l'ouverture du bilan
Mh	Minéralisation nette de l'humus du sol
Mhp	Minéralisation nette due à un retournement de prairie
Mr	Minéralisation nette de résidus de récolte
MrCi	Minéralisation nette de résidus de culture intermédiaire
Xa	Effet direct de l'engrais de ferme en équivalence engrais (ou « équivalent engrais minéral efficace » lié à l'apport d'un PRO ¹)
Nirr	Azote apporté par l'eau d'irrigation
L	Pertes par lixiviation du nitrate
Rf	Quantité d'azote minéral dans le sol à la fermeture du bilan
X	Apport d'azote sous forme d'engrais minéral de synthèse
CAU	Coefficient apparent d'utilisation de l'engrais

1 Produit résiduaire organique

2° - Conformément au c) du 1° du III de l'annexe I de l'arrêté du 19 décembre 2011 susvisé, le rendement prévisionnel ou, selon le cas et conformément aux référentiels établis en annexe 2 du présent arrêté, les besoins forfaitaires par unité de surface, seront égaux à la moyenne des rendements réalisés sur l'exploitation pour la culture ou la prairie considérée, pour des conditions comparables de sol au cours des cinq dernières années, en excluant la valeur maximale et la valeur minimale. Les cinq dernières années s'entendent comme les cinq dernières campagnes culturales successives, sans interruption.

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

Lorsque les références disponibles sur l'exploitation sont insuffisantes pour effectuer le calcul selon le paragraphe précédent, les valeurs par défaut figurant à l'annexe 2 du présent arrêté sont utilisées en lieu et place de ces références.

3° - Les coefficients d'équivalence engrais minéral pour les principaux fertilisants azotés organiques figurent en annexe 2 précitée.

4° - La quantité d'azote issue des apports atmosphériques est négligée en faisant l'hypothèse que les apports atmosphériques et les pertes gazeuses sont de même amplitude et se compensent dans la formule.

Article 3 – Dose plafond

Pour les cultures mentionnées au tableau de l'annexe 1 de cet arrêté (colonne Méthode de calcul) comme relevant de la méthode : dose plafond, la dose totale d'azote prévisionnelle est plafonnée par hectare. La dose plafond pour chacune de ces cultures figure dans la fiche correspondante. Concernant le cas particulier des cerisiers, on applique une dose-pivot.

Les fiches cultures sont regroupées à l'annexe 3 figurant ci-après.

Article 4 – Cultures orphelines et nouvelles cultures

Pour les cultures non mentionnées à l'article 2 et à l'article 3 et qui ne comportent pas de méthode de calcul au tableau de l'annexe 2 jointe, la dose totale d'azote prévisionnelle est plafonnée à 210 kg N / ha.

Cette disposition s'applique également à toute nouvelle culture implantée en zone vulnérable.

Article 5 - Analyses de sol

En application du c) du 1° du III de l'annexe I de l'arrêté du 19 décembre 2011 susvisé, toute personne exploitant plus de 3 hectares en zone vulnérable est tenue de réaliser, chaque année, une analyse de sol sur un îlot cultural au moins pour une des trois principales cultures exploitées en zone vulnérable. L'analyse porte, selon l'écriture opérationnelle de la méthode retenue, sur le reliquat azoté en sortie hiver, le taux de matière organique, ou encore l'azote total présent dans les horizons de sol cultivés. Les dispositions spécifiques à chaque arrêté préfectoral définissant les quatrièmes programmes d'action concernant les analyses de sol demeurent applicables.

Article 6 - Méthodes

1° - Conformément à l'arrêté du 19 décembre 2011, le calcul, pour chaque îlot cultural localisé en zone vulnérable, de la dose prévisionnelle selon les règles du présent arrêté et de ses annexes est obligatoire pour tout apport de fertilisant azoté.

Le détail du calcul de la dose n'est pas exigé :

- pour les cultures intermédiaires pièges à nitrates (CIPAN),
- pour les cultures dérobées ne recevant pas d'apport de fertilisant azoté de type III
- et pour les cultures recevant une quantité d'azote totale inférieure à 50 kg par hectare.

2° - Les valeurs de fourniture d'azote par les sols figurant à l'annexe 2 du présent arrêté peuvent être adaptées au niveau de chaque exploitation à condition que la valeur utilisée soit justifiée par une analyse correspondant à l'îlot cultural considéré ou à un îlot présentant des caractéristiques comparables de sol et d'histoire culturale.

3° - Les valeurs de fourniture d'azote par l'eau d'irrigation ou par les fertilisants organiques figurant dans l'annexe 2 du présent arrêté peuvent être adaptées au niveau de chaque exploitation à condition que la valeur utilisée soit justifiée pour l'eau d'irrigation, par une analyse effectuée sur la ressource et, pour les fertilisants organiques, par une analyse effectuée sur les fertilisants produits par l'exploitation pour l'année en cours.

4° - La teneur en azote minéral et la valeur en azote disponible des fertilisants azotés épandus doit être connu par l'utilisateur.

5° - Pour les cultures relevant de l'article 3 ou de l'article 4 du présent arrêté, la dose totale prévisionnelle ne peut être supérieure à la dose plafond fixée par l'arrêté qu'à condition que l'exploitant utilise un outil de raisonnement de la fertilisation.

L'outil utilisé doit être conforme à la méthode du bilan prévisionnel telle que développée par le COMIFER. Lorsque le paramétrage de l'outil requiert la réalisation de mesures ou d'analyses propres à l'exploitation, ces mesures et/ou analyses doivent être tenues à disposition de l'administration.

Article 7 – Outils de pilotage

Conformément aux 2° et 3° du III de l'annexe I de l'arrêté du 19 décembre 2011 susvisé, il est recommandé d'ajuster la dose totale prévisionnelle précédemment calculée au cours du cycle de la culture en fonction de l'état de nutrition azotée mesurée par un outil de pilotage.

Tout apport d'azote réalisé supérieur à la dose prévisionnelle totale calculée selon les règles énoncées dans le présent arrêté doit être dûment justifié par l'utilisation d'un outil de raisonnement dynamique ou de pilotage de la fertilisation, ou par une quantité d'azote exportée par la culture supérieure au prévisionnel ou, dans le cas d'un accident cultural intervenu postérieurement au calcul de la dose prévisionnelle, par la description détaillée, dans le cahier d'enregistrement, des événements survenus, comprenant notamment leur nature et leur date.

Article 8 – Actualisation du référentiel

Compte-tenu de l'évolution des connaissances et références techniques indiquées en annexes, le référentiel régional de mise en œuvre de la fertilisation pourra être actualisé, après consultation du GREN.

Article 9 – Date d'application

Les dispositions du présent arrêté entrent en vigueur au 1^{er} septembre 2012.

Article 10 – Article d'exécution

Le secrétaire général pour les affaires régionales, les préfets des départements de la Côte d'Or, de la Nièvre, de la Saône et Loire et de l'Yonne et leurs services, la directrice régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement, le directeur régional de l'alimentation, de l'agriculture et de la forêt, ainsi que les agents visés à l'article L 216-3 du code de l'environnement sont chargés chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent arrêté qui sera publié au recueil des actes administratifs de la préfecture de région Bourgogne.

À Dijon, le

30 AOUT 2012

Pascal MAILHOS

Annexes

Annexe 1 - Cultures présentes sur les zones vulnérables Bourgogne.....	2
Annexe 2 - Détermination des postes du bilan prévisionnel d'azote.....	4
Annexe 3 - Fiches Cultures spécifiques pour la région BOURGOGNE.....	19
Annexe 4 – Méthode de détermination de la biomasse du colza.....	47
Annexe 5 - Exemple de calcul de la dose X sur blé tendre (en kg N/ha) – situation fictive.....	48
Annexe 6 - Exemple de calcul de la dose X sur blé tendre (en kg N/ha) – situation plaine céréalière.....	49

Annexe 1 - Cultures présentes sur les zones vulnérables Bourgogne

s : donnée non communiquée car couverte par le secret statistique

SAU en ha par culture présente en zones vulnérables (Agreste - Recensement agricole 2010)			Méthode de calcul	Calcul des besoins PR = Proportionnels aux rendements	Fiches culture
Culture	Surface en ha	Surface irriguée en ha			
Blé tendre	233 421	1 227	Bilan	PR	Pas de fiche spécifique
Blé dur	1 044	64	Bilan	PR	Pas de fiche spécifique
Orge d'hiver, escourgeon	107 635	244	Bilan	PR	Pas de fiche spécifique
Orge de printemps	27 448	600	Bilan	PR	Pas de fiche spécifique
Avoine	5 133	s	Bilan	PR	Pas de fiche spécifique
Triticale	8 559	s	Bilan	PR	Pas de fiche spécifique
Seigle	1 118		Bilan	PR	Pas de fiche spécifique
Mais grain et semence	25 401	5 590	Bilan	PR	Fiche Bourgogne
Sorgho grain	257		Bilan	PR	Fiche Bourgogne
Autres cultures hiver (mélanges)	611				Culture orpheline
Autres cultures printemps (mélanges)	440				Culture orpheline
Colza hiver	134 846	130	Bilan	PR	Pas de fiche spécifique
Colza printemps	188	s	Bilan	PR	Pas de fiche spécifique
Tournesol	19 428	184	Dose plafond		Fiche Bourgogne
Soja	3 348	370	Dose plafond		Fiche Bourgogne
Lin oléagineux	395	s	Bilan	PR	Pas de fiche spécifique
Autres oléagineux <i>dont Moutarde</i>	4 487	90	Bilan	PR	Pas de fiche spécifique Fiche Bourgogne
Pois protéagineux	11 133	325			Pas de besoin en fertilisation azotée
Féverole et vesce	2 199	69			Pas de besoin en fertilisation azotée
Lupins doux	30				Pas de besoin en fertilisation azotée
Chanvre	255		Bilan	PR	Fiche Bourgogne
Betterave industrielle	1 305	315	Bilan	Forfaitaires	Pas de fiche spécifique
Tabac	s		Bilan	PR	Fiche culture COMIFER
Plantes à parfum, aromatiques, médicinales et condimentaires <i>dont Cassis bourgeon</i>	231	1			Culture orpheline Fiche Bourgogne
Semences grainières	547	41	Bilan	Forfaitaires	Fiche culture COMIFER
Autre Cultures Industrielles	78				Culture orpheline
Mais fourrage et ensilage	14 320	460	Bilan	PR	Fiche Bourgogne
Plantes sarclées fourragères y compris betterave four.)	77	s			Culture orpheline
Légumineuses fourragères	77				Pas de besoin en fertilisation azotée

SAU en ha par culture présente en zones vulnérables (Agreste - Recensement agricole 2010)			Méthode de calcul	Calcul des besoins PR = Proportionnels aux rendements	Fiches culture
Culture	Surface en ha	Surface irriguée en ha			
Autres fourrages annuels	369				Culture orpheline
Prairies temporaires (y compris prairies artificielles)	52 565	60	Bilan	PR	Fiche Bourgogne
Prairies permanentes	213 240	s	Bilan	PR	Fiche Bourgogne
Lentille, pois chiche, fève	624				Pas de besoin en fertilisation azotée
Serre chauffée	19	19			Culture orpheline
Serre non chauffée	17	16			Culture orpheline
Légumes frais (y compris maraîchage)	316	211			Fiche Bourgogne
Légumes de plein champ transformation <i>dont oignons, carotte, haricot et pois</i>	1 698	1 501	Bilan	Forfaitaires	Fiche Bourgogne
Pommes de terre	441	348	Bilan	Forfaitaires	Fiche Bourgogne
Fleurs sous serre ou sous abri haut chauffé	24	23			Culture orpheline
Fleurs sous serre ou sous abri haut non chauffé	12	11			Culture orpheline
Vignes raisin de cuve	10 081	s	Dose plafond		Fiche Bourgogne
Vigne Pépinière viticole	s	s			Culture orpheline
Vigne mère porte-greffe	s				Culture orpheline
Cerisier et griottier	339	s	Dose Pivot		Fiche Bourgogne
Pêcher, nectarinier, pavie	12	s			Culture orpheline
Prunier (y compris mirabellier et quetschier)	36				Culture orpheline
Pommier	169	59			Culture orpheline
Poirier	52	7			Culture orpheline
Autres fruits à pépins	12				Culture orpheline
Framboisier	5				Culture orpheline
Groseillier	3				Culture orpheline
Cassissier	148		Dose plafond		Fiche Bourgogne
Noyer	21				Culture orpheline
Noisetier	s				Culture orpheline
Arbres de Noël	7		Dose plafond		Fiche Bourgogne
Pépinière, ornementale, fruitière, forestière	313	30			Culture orpheline
Culture à vocation énergétique	292		Dose plafond		Fiche Bourgogne
Autres (jonc, mûrier, osier, arbres truffiers..)	51				Culture orpheline

Annexe 2 - Détermination des postes du bilan prévisionnel d'azote

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

Étant donné que l'importance des besoins en azote conditionne la nécessité ou pas de compléter les fournitures du sol par un apport d'engrais, la détermination de ce poste pèse très lourd dans le calcul de la dose totale d'azote à apporter.

Les besoins en azote des cultures sont aussi conditionnés par les objectifs de production d'un point de vue quantitatif et/ou qualitatif.

Selon la nature de la culture concernée, on se situe dans l'un ou l'autre des deux cas suivants pour déterminer les besoins en azote de la culture :

- **Prise en compte d'un objectif de rendement**, éventuellement révisé en cours de culture, assorti d'un besoin par unité de production. C'est le cas des cultures pour lesquelles l'absorption d'azote est proportionnelle au rendement. Dans les cas où la fertilisation azotée peut être fractionnée, les modalités du fractionnement seront définies de façon à prendre en compte les objectifs qualitatifs de la récolte ;
- **Utilisation directe d'un besoin d'azote par unité de surface**. C'est le cas des cultures pour lesquelles la connaissance des potentialités du milieu a permis d'établir ses besoins prévisionnels, que ce soit par des valeurs moyennes de production, ou par l'utilisation de modèles de croissance liés à des caractéristiques du cycle de culture.

Remarque : Les légumineuses fixent de façon symbiotique l'azote atmosphérique. Aussi, elles ne nécessitent aucun apport d'engrais minéral azoté, à l'exception de certaines espèces (haricots verts et grains, pois légume, soja et luzerne) pour lesquelles un apport précoce ou tardif d'azote est toléré pour pallier soit le démarrage trop tardif, soit l'arrêt trop précoce de la fixation symbiotique.

Prendre en compte un objectif de rendement

Dans le cas général, la quantité d'azote prévisionnelle absorbée par les cultures ou par les prairies se décompose en un objectif de rendement multiplié par un besoin en azote par unité de production.

$Pf = b \times y$ <p>avec $b =$ besoin par unité de production $y =$ objectif de rendement</p>
--

y = objectif de rendement

L'objectif de rendement (**y**) est calculé comme la moyenne des rendements réalisés sur l'exploitation pour la culture ou la prairie considérée et, si possible, pour des conditions comparables de sol au cours des cinq dernières années en excluant la valeur maximale et la valeur minimale¹.

→ Cultures concernées en Bourgogne : avoine, blé, blé dur, orges, triticale, seigle, colza, lin graine, maïs, sorgho, chanvre, moutarde, tabac, Prairies.

Pour certains cas particuliers de culture ou de prairie ou lorsque les références disponibles sur l'exploitation sont insuffisantes pour calculer un objectif de rendement selon les règles précédentes, la quantité d'azote prévisionnelle absorbée par les cultures est calculée à partir d'une valeur par défaut d'objectif de rendement.

Pour la Bourgogne, les valeurs par défaut d'objectif de rendement ont été définies par type de sol, les 2 tableaux suivants présentent les types de sol et leurs caractéristiques ainsi que les valeurs de rendements retenues.

¹ Les rendements réalisés sont obtenus à partir des cahiers d'enregistrement qui sont calés sur la campagne culturale : il s'agit donc de 5 campagnes culturales et non de 5 années civiles.

Types de sol caractérisés pour la région Bourgogne

Nom	Limons argileux profonds		Limons profonds		Argilo-calcaire superficiels	Argilo-calcaire moyens et craie Yonne	Argilo-calcaire profonds et terre argileuse calcaire	Argilo-limoneux décarbonatés	Argiles à silex	Alluvions argileuses et terre humifère	Limons sableux, hydromorphe	Limons sableux, sain	Sable	Terre argileuse ou argilo-sableuse, hydromorphe
Autre noms	Aubues blanches, limon gras, brunisol, ...	Aubues blanches, limon gras, brunisol, ...	Limons blancs, terre douces, luvisol limoneux, ...	Limons blancs, terre douces, luvisol limoneux, ...	Petite terre à cailloux, G1, rendosol, ...	Petites aubues, G2, calcosol moyennement profond, ...	Aubues rouges, G3, calcosol argileux, ...	Calcisol argileux		Fluvisol argileux, ...		Bunisol sablo-limono-argileux, alocrisol, ...		Brunisol argileux, pélosol, réodosol, ...
% Argile	27 %	27 %	12 %	12 %	35 %	35 %	35 %	30 %	35 %	32 %	12 %	15 %	8 %	45 %
% CaCO3	0	0	0	0	20	30	40	0	0	0	0	0	0	0
% MO	Inférieur à 2 %	Supérieur à 2 %	Inférieur à 2 %	Supérieur à 2 %	3	3	3	3	2	3,5	1,7	2	1,5	2,5
Hydromorphie	Sol sain	Sol sain	Moyenne à forte	Moyenne à forte	Sol sain	Sol sain	Sol sain	Sol sain	Sol sain	Sol à nappe	Moyenne à forte	Sol sain	Sol sain	Hydromorphe
Charge en cailloux	0	0	0	0	40 %	25 %	0 à 20 %	5 %	35 %	0	0	10 %	15 %	0
Profondeur d'enracinement	jusqu'à 120cm	jusqu'à 120cm	jusqu'à 100cm	jusqu'à 100cm	< 25cm	25-50cm	50-80cm	60-90 cm	60cm	jusqu'à 120cm	jusqu'à 100cm	60-90 cm	30-50 cm	
Réserve Utile	jusqu'à 150mm	jusqu'à 150mm	jusqu'à 150mm	jusqu'à 150mm	< 50mm	50-80mm	80-120mm	80-120 mm	30-70mm	jusqu'à 150mm	50-100mm	70-110 mm	40-70mm	
Localisation fréquente	Sénonais, Plaine dijonnaise, Bourgogne nivernaise, Plateaux de Bourgogne, Centre nivernais, Plateau nivernais	Sénonais, Plaine dijonnaise, Bourgogne nivernaise, Plateaux de Bourgogne, Centre nivernais, Plateau nivernais	Gâtinais, Puisaye, Centre Nivernais, Sologne bourbonnaise, Bresse, Val de Saône, Auxois, Pays d'Othe, Plateau nivernais	Gâtinais, Puisaye, Centre Nivernais, Sologne bourbonnaise, Bresse, Val de Saône, Auxois, Pays d'Othe, Plateau nivernais	Plateaux de Bourgogne, Bourgogne nivernaise, Sénonais	Plateaux de Bourgogne, Bourgogne nivernaise, Sénonais	Plateaux de Bourgogne, Centre nivernais, Auxois	Centre Nivernais, Auxois	Pays d'Othe, Puisaye, Gâtinais, Plateau nivernais	Vallées	Sologne bourbonnaise, Bresse, Puisaye, Plaine dijonnaise	Sologne bourbonnaise, Bresse, Puisaye	Val de Loire et d'Allier, Morvan, Sologne bourbonnaise, Val de Saône	Sologne bourbonnaise, Bresse, Puisaye, Champagne humide, Auxerrois, Val de Saône

Rendements de référence Bourgogne par types de sols

Nom	Limons argileux profonds		Limons profonds		Argilo-calcaire superficiels	Argilo-calcaire moyens et craie Yonne	Argilo-calcaire profonds et terre argileuse calcaire	Argilo-limoneux décarbonatés	Argiles à silex	Alluvions argileuses et terre humifère	Limons sableux, hydromorphe	Limons sableux, sain	Sable	Terre argileuse ou argilo-sableuse, hydromorphe
Rendements potentiels moyens à la norme d'humidité (qx/ha ou tMS/ha)														
Culture														
Blé tendre	85	85	85	85	60	68	75	75	67	85	73	73	60	75
Orge H	78	78	78	78	58	66	75	75	65	78	70	70	60	70
Orge P	72	72	64	64	50	55	64	64	63	67	58	60	45	55
Triticale	84	84	82	82	65	68	71	71	67	89	71	73	50	60
Mais grain	104	104	105	105	70	75	82	82	73	110	97	100	70	85
Mais ensilage	19	19	20	20	12	13	15	15	13	20	18	19	12	15
Colza	41	41	40	40	30	34	36	36	37	38	37	38	28	38
Moutarde	17	17	17	17	12	15	15	15	16	16	16	16	0	
Tournesol	33	34	31	31	23	26	30	30	27	32	29	30	20	30
Soja	36	37	33	33			33	33		32	30	31	20	30
Pois P	53	53	43	43	38	43	49	49	39		34	35	30	45
Pois H	53	53	45	45	38	43	49	49	39		34	35	30	45
Luzerne A1 (semis été)	9,5	9,5	9	9	7	9	11	11						
Luzerne A1 (semis pts)	3	3	3	3	2,5	2,5	3,5	3,5						
Luzerne A2	11	11	10,5	10,5	8	10	12	12						
Luzerne A3	11	11	10,5	10,5	8	10	12	12						
Luzerne A4	8,5	8,5	8	8	6,5	7,5	9,5	9,5						

Besoin d'azote des principales cultures

Culture	Besoin (b) (en kg N/unité de production)	Variétés	Unité de production	Source
Avoine	2,2		q	Arvalis, 2012
Blé améliorant	3.7	Manital, Renan	q	Arvalis, 2012
Les autres variétés améliorantes non référéncées ici sont positionnées par défaut en b = 3,9	3.9	Esperia, Galibier, Qualit		
	4.1	Bussard, Courtot, Levis, Lona, Qualital, Quebon, Runal, Tamaro		
Blé tendre Les autres variétés non référéncées ici et non améliorantes sont positionnées par défaut en b = 3,0	2.8	Accroc, (Adhoc), Ambition, Amundsen, Andalou, Aramis, Arlequin, Bermude, Expert, Glasgow, Hekto, (Hybery), Hymack, Hyscore, Hystar, Hysun, Istabraq, JB Diego, Lear, Oakley, (Pakito), Parador, Perfector, Pierrot, Prevert, Royssac, Scipion, Scor, Selekt, Sobbel, (Sokal), Sponsor, (Sweet), Trapez, Trémie, Viscount	q	Arvalis, 2012
	3.0	Adequat, Aldric, Aligator, Alixan, Altigo, Altria, Amador, Andino, Apache, Aprilio, Arezzo, Aristote, (Arkeos), (As de coeur), Attitude, Aurele, Autan, Bagou, Barok, Bastide, Boisseau, Boregar, Boston, (Brentano), Campero, Catalan, Celestin, (Centenaire), Charger, Chevron, Compil, Cordiale, Dialog, Dinosaur, Epidoc, Ephoros, Equilibre, Euclide, (Flaubert), Fluor, (Folklor), (Forblanc), Galopain, (Garantus), Garcia, Goncourt, Haussmann, Hybred, Hyxo, Illico, (Innov), Isengrain, (Kalystar), Karillon, Marcelin, Maxwell, (Minotor), Nirvana, Nucleo, Orcas, Orvantis, Oxebo, Paledor, Pepidor, Perceval, Phare, Plainedor, Pr22r20, Pr22r28, Pr22R58, Premio, Razzano, Richepain, Rochfort, Rodrigo, Rosario, Rustic, Sankara, Seyrac, Sirtaki, Sogood, Solehio, Sollario, Swinggy, Toisonдор, Uski		
	3.2	Accor, Adagio, (Aerobic), Allez y, (Altamira), Ambello, (Amerigo), Athlon, Atlass, Aubusson, Avantage, Azimut, Azzerti, Camp-Rémy, Caphorn, CCB Ingenio, Cézanne, Chevalier, Croisade, Exelcior, Exotic, Farandole, Frelon, Galactic, Graindor, Instinct, Interet, Iridium, Isidor, Kalango, Koreli, Limes, Lukullus, Manager, Mendel, Mercato, Miroir, Musik, Nogal, Nuage, Oratorio, Paindor, Racine, Recital, (Ressor), Saint Ex, Samurai, Soissons, (Sophytra), Sorrial, Sy Alteo, Valodor, (Zinal)		
	3.5	Monopole, Sebasto, Segor, Somme, (Turelli)		
Blé dur	3.7	Pescadou - Biensur - Joyau - Pictur - SY Banco	q	Arvalis, 2012
	3.9	Cultur - Fabulis - Karur - Miradoux - Lloyd - Janeiro - (Babylone) - Nemesis - SY Cysco		
	4.1	Aventur - Sculptur - (Alexis) - Tablur		
Colza	6,5		q	Cetiom 2012
Chanvre	15		T de paille et chènevis	Cetiom 2012
Lin graine	4,5		q	Cetiom 2012
Maïs grain	B = 2,3 si objectif de rendement inférieur à 100 q b = 2,2 si objectif de rendement entre 100 et 120 q b = 2,1 si objectif de rendement supérieur à 120 q		q	Arvalis, 2012
Maïs ensilage	b = 14 si objectif de rendement inférieur à 14 t b = 13 si objectif de rendement entre 14 et 18 t b = 12 si objectif de rendement supérieur à 18 t		T de MS	Arvalis, 2012
Orges	2,5 - avec modulation qualité sur orge brassicole (voir ci-après)		q	Arvalis, 2012
Seigle	2,3		q	Arvalis, 2012
Sorgho fourrage	13		t de MS	Arvalis, 2012
Sorgho grain	2,4		q	Arvalis, 2012
Triticale	2,6		q	Arvalis, 2012

Ce tableau fait l'objet d'une mise à jour annuelle pour le classement des variétés de blé tendre et de blé dur.

Modulation des besoins pour les orges de printemps brassicoles

- Calcul de X avec $b = 2,5 \text{ kg N/q}$ pour tous les sols
- Ajustement de X selon le type de sol, la variété et le potentiel de rendement

	Objectif de rendement	Variétés à plus faible teneur en protéines (type NFC Tipple)	Autres
Craie et argilo calcaires irrigués		0	0
Limons irrigués ou non, et argilo calcaire non irrigués	Objectif de rendement supérieur à 70 q/ha	0 à -10 kg N/ha	-10 à -20 kg N/ha
	Objectif de rendement inférieur à 70 q/ha	-10 à -20 kg N/ha	-20 à -30 kg N/ha

La borne inférieure des ajustements correspond à des apports précoces (totalité de la dose apportée à 3 feuilles).

La borne supérieure correspond à des apports fractionnés avec au moins 50 % de la dose totale courant tallage.

Variétés à plus faible teneur en protéines : NFC Tipple et Shandy (remise à jour des variétés à faible teneur en protéines tous les ans).

Modulation des besoins pour les orges d'hiver brassicoles

- Calcul de X avec $b = 2,5 \text{ kg N/q}$
- Ajustement de X en fonction de la variété :
- Variété à faible teneur en protéines variété (Esterel) : pas d'ajustement
- Autres variétés : ajustement de -20 à -30 kg N/ha

Utiliser directement un besoin prévisionnel par unité de surface

Pour ce type de culture, il n'y a pas de relation directe entre le niveau de production et la quantité d'azote absorbé par la plante à la récolte → cultures concernées en Bourgogne : Betterave sucrière, Pomme de terre, Oignons, Légumes d'industrie, Légumes frais, Porte-graine

Cultures	Besoins (en kg N/ha)	Variétés	Source
Betterave sucrière	220		ITB, 2012
Légumes d'industries	160	Haricot extrafins ou très fins	UNILET, 2012
	180	Haricot gros calibre	
	190	Flageolet ou haricot blanc sec	
	270	Pois potager	
	110	Jeune carotte (type Amsterdam)	
	200	Grosse carotte (type Flakkee)	
	185	Épinard	
	260	Scorsonère/Salsifis	
	230	Brocoli	
Légumes frais		Voir fiches culture (annexe 3)	
Pomme de Terre		Voir fiches culture (annexe 3)	
Oignons	180		Groupe national Oignons
Porte-graine		Voir fiches culture (annexe 3)	FNAMS, 2012

Pi : Quantité d'azote absorbé par la culture à l'ouverture du bilan

En général, il y a une liaison étroite entre Pi et la quantité de biomasse végétale produite à l'ouverture du bilan.

Pi dépend donc de l'état de croissance du peuplement au moment où le calcul de la dose d'engrais azoté est effectué. Pour les cultures d'hiver, il s'agit de l'azote absorbé en automne qui peut représenter des quantités non négligeables d'azote et doit venir, au moins en partie, en déduction du besoin d'azote total Pf pour le calcul de la dose de fertilisant.

Quantité d'azote absorbé par les céréales d'hiver à l'ouverture du bilan :

Données à prendre en compte :

- 10 kg N/ha pour les trois premières feuilles du maître brin, augmentés de 5 kg N/ha par talle supplémentaire.
- En cas de fort tallage, la valeur prise en compte est plafonnée à 50 kg N/ha.

Source Comifer

Quantité d'azote absorbé par le colza à l'ouverture du bilan

Le principe des méthodes proposées est basé sur une estimation plus ou moins précise de la biomasse fraîche que l'on convertit en quantité d'azote prélevé par la culture en utilisant le rapport suivant :

→ **Pi colza en Bourgogne = poids frais en kg/m² x 70**

Il existe une relation entre la biomasse aérienne du colza et la quantité d'azote absorbée. Trois méthodes peuvent être utilisées (Source Cetiom) :

. La méthode par pesée

La procédure à suivre pour réaliser un bon prélèvement et une bonne mesure (de poids frais) est expliquée en annexe 4 de ce rapport:

. La méthode visuelle

L'observation des parcelles à la sortie d'hiver et un référentiel de photos permettent d'estimer le poids frais du colza. Toutefois, cette méthode est moins précise que la méthode par pesée, et elle est fortement déconseillée au-delà de 1 kg de biomasse par m².

Méthode présentée en annexe 4

. La méthode satellitaire

Elle permet une estimation de l'azote absorbé par le biais de la télédétection. Elle est précise et facile à mettre en œuvre mais soumise aux contraintes logistiques de l'utilisation d'images satellitaires.

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

Ce terme (Ri) est souvent désigné par « reliquat azoté ». Si le bilan est ouvert à la fin de l'hiver, il prend souvent le nom de « reliquat sortie hiver ».

Pour déterminer la valeur de Ri, les résultats des analyses personnelles² peuvent être utilisés. A défaut, une synthèse régionale des résultats d'analyses effectuées en sortie d'hiver de l'année en cours peut être utilisée.

Si la synthèse régionale des analyses n'est pas disponible en temps utile, les valeurs proposées dans le tableau ci-dessous peuvent être utilisées par défaut. Il s'agit d'une synthèse des données régionales moyennes en Bourgogne effectuée sur les campagnes 2010, 2011 et 2012.

2 Les consignes pour la réalisation des analyses seront détaillées dans un document spécifique

Valeurs Ri (15 janvier / Fin février) retenues (sur la base d'une moyenne interannuelle) en kg N/ha

Cultures en place	Culture précédente ou CIPAN	Profondeur du sol		
		Superficiel	Moyennement Profond	Profond
Céréales d'hiver	Colza, pois, légumes	15	35	45
	Tournesol	10	20	30
	Céréales, maïs, soja	10	25	40
	Betteraves	Sans objet	25	35
	Luzerne	20	40	50
Colza	Céréales	10	20	25
Cultures de printemps	Sans CIPAN	20	40	60
	Avec CIPAN	15	30	45

→ Pour les sols limoneux ou sableux, on peut diminuer la valeur du reliquat de 5 kg N/ha

Source Chambres d'agriculture Bourgogne (à partir de données régionales)

Pour être valable, tous les termes du bilan doivent être calculés/mesurés/évalués à la même date. Ainsi, la date de prélèvement pour analyse et donc de mesure du reliquat (Ri) est aussi à la date d'ouverture du bilan.

Dans la situation où la charge en cailloux est importante, la valeur du reliquat peut être diminuée de ce pourcentage de cailloux.

Exemple : le reliquat azoté pour une culture de blé ayant pour précédent un colza sur un sol argileux moyennement profond ayant une charge en cailloux de 20% sera de 35 (0,20*35) soit 28 kg N/ha.

Mh : Minéralisation nette de l'humus du sol

Le terme Mh dépend du stock d'azote organique humifié du sol dont une partie se minéralise à une vitesse qui dépend des conditions climatiques (température et humidité du sol) et des caractéristiques du sol.

Pour la Bourgogne, les valeurs calculées sont précisées dans le tableau ci-dessous

Type de sol	Autres noms usuels	Localisation fréquente	Poste Minéralisation de l'humus		
			Cultures d'hiver et de printemps (céréales à paille, colza, moutarde ...)	Culture légumière (oignon, pdT, ...) maïs, chanvre	Betteraves
Limons argileux profonds MO inférieure à 2 %	Aubues blanches, limon gras, brunisol, planosol	Sénonais, Plaine dijonnaise, Bourgogne nivernaise, Plateaux de Bourgogne, Centre nivernais, Plateau nivernais	25	30	70
Limons argileux profonds MO supérieurs à 2 %	Aubues blanches, limon gras, brunisol, planosol	Sénonais, Plaine dijonnaise, Bourgogne nivernaise, Plateaux de Bourgogne, Centre nivernais, Plateau nivernais	30	40	70
Limons profonds MO inférieure à 2 %	Limons blancs, terre douces, luvisol limoneux...	Gâtinais, Puisaye, Centre, Nivernais, Sologne bourbonnaise, Bresse, Val de Saône, Auxois, Pays d'Othe, Plateau nivernais	35	50	70
Limons profonds MO supérieure à 2 %	Limons blancs, terre douces, luvisol limoneux...	Gâtinais, Puisaye, Centre, Nivernais, Sologne bourbonnaise, Bresse, Val de Saône, Auxois, Pays d'Othe, Plateau nivernais	45	70	70
Argilo-calcaire superficiels	Petite terre à cailloux, G1, rendosol...	Plateaux de Bourgogne, Bourgogne nivernaise, Sénonais	10	20	40

Type de sol	Autres noms usuels	Localisation fréquente	Poste Minéralisation de l'humus		
			Cultures d'hiver et de printemps (céréales à paille, colza, moutarde ...)	Culture légumière (oignon, pdT, ...) maïs, chanvre	Betteraves
Argilo-calcaire moyens et craie Yonne	Petites aubue, G2, calcosol moyennement profond...	Plateaux de Bourgogne, Bourgogne nivernaise, Sénonais	20	30	50
Argilo-calcaire profonds et terre argileuse calcaire	Aubues rouges, G3, calcosol argileux...	Plateaux de Bourgogne, Centre nivernais, Auxois	20	30	50
Argilo-limoneux décarbonatés	Calcosol argileux	Centre Nivernais, Auxois	35	50	70
Argiles à silex		Pays d'Othe, Puisaye, Gâtinais, Plateau nivernais	20	30	50
Alluvions argileuses et terre humifère	Fluviosol argileux...	Vallées	40	60	90
Limons sableux, hydromorphe		Sologne bourbonnaise, Bresse, Puisaye, Plaine dijonnaise	35	50	70
Limons sableux, sain	Brunisol sablo-limono-argileux, alocrisol...	Sologne bourbonnaise, Bresse, Puisaye	20	30	50
Sable		Val de Loire et d'Allier, Morvan, Sologne bourbonnaise, Val de Saône	20	30	40
Terre argileuse ou argilo-sableuse, hydromorphe	Brunisol argileux, pélosol, rédoxisol...	Sologne bourbonnaise, Bresse, Puisaye, Champagne humide, Auxerrois, Val de Saône	20	30	50

Source : groupe de travail spécifique Gren Bourgogne

Pour prendre en compte les apports organiques sur le long terme (résidus de récolte, effluents d'élevage...) et leur arrière effet, il faut multiplier les chiffres Mh par les coefficients ci-dessous :

Fréquence des apports organiques exogènes et types de produits							
	Jamais	5-10 ans		3-4 ans		1-2 ans	
Résidus de récolte		A	BC	A	BC	A	BC
Résidus de récolte	0,80	0,95	0,90	1,00	0,95	1,05	1,00
Restitués 1 an sur 2	0,90	1,00	0,95	1,05	1,00	1,10	1,02
Restitués tous les ans	1,00	1,05	1,00	1,10	1,02	1,20	1,05

Source : Comifer

Types de produits : A = fumiers et composts (décomposition lente)
 B et C = autres, ainsi que les fumiers de volaille (décomposition rapide)
 Dans le cas où plusieurs types de produits sont apportés (des A et des BC), alors on privilégie les types A.

Mhp : Minéralisation nette supplémentaire due aux retournements de prairies

La destruction de prairies s'accompagne d'une minéralisation intense d'azote provenant des « résidus des plantes » (> 2 mm) et de « matières particulaires » (0,2 à 2 mm) qui représenteraient 80 % de l'azote du système sol-plante à la destruction des couverts (soit beaucoup plus que le compartiment représenté par les résidus de prairie). Cet effet correspond dans le bilan d'azote au terme Mhp dont la valeur dépend de la conduite et de l'âge de la prairie au moment de sa destruction. Des études récentes ont permis d'établir une estimation de Mhp (tableaux a et b ci-dessous).

Tableaux a et b : Effets azote prairie sur le supplément de minéralisation (en kg N/ha)

a - Destruction de printemps			Age de la prairie				
			< 18 mois	2-3 ans	4-5 ans	6-10 ans	> 10 ans
Rang de la culture post destruction	1	maïs	25	65	105	125	145
	2	maïs ou blé	5	5	30	40	45
	3	maïs ou blé	5	5	5	5	5
b - Destruction d'automne			Age de la prairie				
			< 18 mois	2-3 ans	4-5 ans	6-10 ans	> 10 ans
Rang de la culture post destruction	1	blé	15	35	55	65	75
	2	maïs ou blé	5	5	5	5	5
	3	maïs ou blé	5	5	5	5	5

Les valeurs représentent le supplément de minéralisation pour la période d'établissement du bilan azoté prévisionnel de chaque culture (semis – récolte pour le maïs, 15 février – récolte pour le blé).

Source : à partir des données Comifer complétées par la prise en compte de la minéralisation du sol (+ 5 par rapport aux données Comifer)

Attention : les valeurs mentionnées dans les tableaux a et b sont à diviser par 2 pour le mode d'exploitation d'une prairie de ray-grass anglais pur en fauche intégrale.

Mr : minéralisation des résidus de culture du précédent

Mr est le poste qui permet de prendre en compte le supplément de minéralisation lié à la décomposition des résidus de culture du précédent cultural (racines, tiges, feuilles). Les valeurs négatives correspondent aux résidus ayant un rapport C/N élevé qui entraînent une organisation importante de l'azote minéral du sol.

Les tableaux suivants fournissent des valeurs standard de ce poste pour une ouverture du bilan en février-mars.

Nature du précédent	Mr (kg N/ha)	
	Date d'ouverture du bilan (date de mesure du reliquat azoté)	
	Février	Mars - avril*
Betterave	20	10
Carotte	10	0
Céréales pailles enfouies	-20	-10
Céréales pailles enlevées ou brûlées	0	0
Colza	20	10
Endive	10	0
Féverole	30	20
Luzerne (retournement fin été / début automne) : année n+1	40	30
Luzerne (retournement fin été / début automne) : année n+2	20	20
Luzerne (retournement printemps)	Pas de données	
Maïs fourrage	0	0
Maïs grain	-10	0
Pois protéagineux	20	10
Prairie	0	0
Pois, Haricots de conserve	20	10
Pomme de terre	20	10
Tournesol	-10	0
Ray-Grass dérobé	-10	0
Soja	20	10
Jachère	Voir tableau suivant	

* Date d'ouverture du bilan dans certains cas pour des cultures d'été (Maïs, Pomme de Terre...)

Source Comifer

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

Source Comifer

MrCi : minéralisation des résidus de culture intermédiaire

La minéralisation des résidus de cultures intermédiaires (CI) est rapide et est quasi-achevée au bout d'une période allant de quelques semaines à quelques mois. Cette vitesse de minéralisation est d'autant plus élevée que le résidu est riche en azote. Il est donc nécessaire de prendre en compte le niveau de croissance (qui joue sur la quantité d'azote absorbé et la teneur en azote de la biomasse végétale à décomposer), ainsi que le délai séparant la date de destruction de la date d'ouverture du bilan prévisionnel.

En effet, si ce délai est important (cas d'une destruction précoce) la décomposition de la culture intermédiaire sera déjà très avancée à la date d'ouverture du bilan : le supplément de minéralisation MrCi sera donc plus faible. Bien évidemment ceci sera compensé par un accroissement plus sensible de la quantité d'azote minéral présent dans le sol à la même date (Ri), objet d'un autre poste du bilan prévisionnel. Les critères retenus pour estimer la contribution des cultures intermédiaires à la nutrition azotée de la culture suivante sont : l'espèce (graminées, crucifères,...), le niveau de croissance, la date de destruction, la date d'ouverture du bilan.

en kg N/ha	Niveau de Croissance Production de la CI (t MS/ha)	Ouverture du bilan en sortie hiver		Ouverture du bilan en Avril *	
		Date de destruction de la CI		Date de destruction de la CI	
		Novembre à décembre	Janvier et au-delà	Novembre à décembre	Janvier et au-delà
Crucifères (moutarde, radis...) Graminées de type Ray-Grass	<= 1	5	10	0	5
	2 (> 1 et < 3)	10	15	5	10
	>= 3	15	20	10	15
Graminées de type seigle, avoine... Hydrophyllacées (Phacélie)	<= 1	0	5	0	0
	2 (> 1 et < 3)	5	10	0	5
	>= 3	10	15	5	10
Légumineuses ³	<= 1	10	20	5	10
	2 (> 1 et < 3)	20	30	10	20
	>= 3	30	40	20	30
Mélanges (à base de légumineuses)	<= 1	8	15	3	8
	2 (> 1 et < 3)	15	23	8	15
	>= 3	23	30	15	23

* Date d'ouverture du bilan dans certains cas pour des cultures d'été (Maïs, Pomme de Terre)

Source Comifer

XA : Fournitures d'azote par les PRO⁴

Compte-tenu de la forte variabilité des valeurs observées autour des compositions moyennes des produits, il est toujours préférable de disposer de mesures réalisées sur le produit épandu.

Le calcul de XA s'opère à l'aide de l'équation suivante :

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

Avec % Npro : teneur en azote total du produit (% par unité de volume ou de masse)

Q : volume ou masse de produit épandu à l'hectare

Keq : coefficient d'équivalence engrais minéral efficace

Pour ces produits, le calcul de l'effet direct est toujours envisagé en tant que contribution restant à venir à partir de la date d'ouverture du bilan d'azote. En effet, à la date d'ouverture du bilan, une partie de l'azote du produit résiduaire apporté par le PRO avant l'ouverture du bilan peut se retrouver dans le reliquat d'azote minéral, dans l'azote absorbé par la culture, dans l'azote absorbé par la CIPAN ou être perdue par lixiviation ou pertes gazeuses.

3 Il est rappelé l'interdiction d'utiliser des légumineuses pures en Cipan

4 Produits résiduaires organiques

Teneur en azote par type d'effluents

Références de composition des effluents par type et espèce animale

(en kg par tonne de produit brut pour les solides et par m³ de produit brut pour les liquides)

Matière organique	Type	Observations	Teneur en N	Références
Fumier bovin lait stabulation paillée	A		5,5	CA71
Fumier bovin lait étable entravée	A		5	CA71
Fumier bovin allaitant étable entravée	A		4,4	CA71
Fumier bovin allaitant stabulation paillée	A		4,7	
Fumier mou bovin allaitant aire raclée	A		5,1	IE ⁵ 2001
Fumier bovin taurillon stabulation paillée	A		6,1	CA Bourgogne
Compost de fumier vache allaitante	A		6,8	CA71
Fumier porcs	B	litière accumulée	7,2	IE 2001
		aire raclée	9,1	
Compost fumier de porc litière accumulée	B		7,6	IE 2001
Compost fumier de porc litière raclée	B		11	IE 2001
Fumier cheval	A		8.2	CA71+89+58
Fumier veaux	A		7.4	CA 58
Fumier ovins	A		6,7	CA71+89
Fumier caprins	A		6,1	CA71+21+58
Fumier volailles poulets	B	sortie bâtiment	29	IE 2001
		en conditions sèches	26	IE 2001
		en condition humide ou de fermentation	22	IE 2001
Fumier volailles pintades	B	sortie bâtiment	32	IE 2001
		en conditions sèches	29	IE 2001
		en condition humide ou de fermentation	24	IE 2001
Compost volailles	B		19	CA89
Lisier bovin allaitant dilué	B		2,7	IE 2001
Lisier bovin lait	B		4	IE 2001
Lisier bovin taurillon	B		5,2	IE 2001
Lisier bovin veau de boucherie	B		1,5	IE 2001
Purins de bovins	B	purs	3	IE 2001
		dilués	1,6	
Lisier porcs engraissement	C		3,5	ITP
Lisier porcs mixte	C		5,8	
Compost de lisier porcs sur paille	C		6,7	ITP
Fientes poulets de chair	C		18	Corpen
Fientes dindes	C		27	Corpen
Fientes et lisiers poules pondeuses	C	10 % MS	6,8	IE 2001
		Humide : 25 % MS	15	
		si préséchées sur tapis 40 %MS	22	
		séchées en fosse profonde : 80 % MS	30	
		fientes séchées en hangar (80 % MS)	40	
Lisier de canards	C	10 % MS	4,4	IE 2001
		10 à 15 % MS	5,9	
		> 15 % MS	8,6	
Lisier lapins	C	20 à 25 % MS	7,5	ITAVI
Vinasses de betteraves			4,2	Arvalis
Écumes de sucrerie			3,4	CA89

5 IE = Institut de l'élevage

Coefficient d'équivalence engrais pour les principaux effluents d'élevage

Cultures d'automne : céréales, colza...

Exemples de types PRO	Type	Périodes d'apport	
		Apports automne	Apports printemps
Compost de fumier de bovins et de porcs	A/B	0,05	0,05
Fumier de bovins pailleux et décomposés	A	0,15	0,15
Fumiers de porcs, fumiers de volailles, lisier de bovins	B	0,20	0,30
Lisier de porcs et de volailles	C	0,20	0,40

Cultures de printemps précoces : céréales de printemps...

Exemples de types PRO	Type	Périodes d'apport	
		Apports automne	Apports printemps
Compost de fumier de bovins et de porcs	A/B	0,10	0,10
Fumier de bovins (pailleux et décomposés)	A	0,20	0,30
Fumiers de porcs, fumiers de volailles, lisier de bovins	B	0,15 (avant CIPAN)	0,30
Lisier de porcs et de volailles	C	0,10 (avant CIPAN)	0,40

Cultures de printemps tardives : maïs, tournesol...

Exemples de types PRO	Type	Périodes d'apport	
		Apports automne	Apports printemps
Compost de fumier de bovins et de porcs	A/B	0,15	0,20
Fumier de bovins (pailleux et décomposés)	A	0,20	0,30
Fumiers de porcs, fumiers de volailles, lisier de bovins	B	0,15 (avant CIPAN)	0,45
Lisier de porcs et de volailles	C	0,10 (avant CIPAN)	0,60

Prairies

Exemples de types PRO	Type	Périodes d'apport	
		Apports automne	Apports printemps
Compost de fumier de bovins	A	0,15	0,05
Compost de fumier de porcs	B	0,20	0,20
Fumier de bovins	A	0,20	0,05
Fumier de porcs	B	0,40	0,40
Lisier de bovins	B	0,40*	0,50
Lisier de porcs et de volailles	C	0,40*	0,60

*des apports à cette période peuvent présenter des risques de lixiviation. Il faudra veiller à ajuster la quantité d'azote « efficace » apportée à la capacité d'absorption de la prairie à cette période.

Pour les autres produits organiques, la disponibilité pour les cultures peut être différente d'un produit à l'autre. Il est recommandé de suivre les préconisations disponibles dans les plans d'épandage.

Il est très souhaitable que les teneurs en azote minéral et la valeur en azote disponible soient données par le fabricant ou le fournisseur de produits organiques.

La disponibilité en azote d'un produit organique peut être notamment obtenue à partir de tests d'incubation en conditions contrôlées (Norme NFU XP U 168).

Nirr : azote apporté par l'eau d'irrigation

L'eau d'irrigation est une source à part entière d'azote pour la culture. Les apports d'azote par l'eau d'irrigation sont généralement loin d'être négligeables, surtout pour les cultures fortement dépendantes de cette technique.

Pour la Bourgogne les valeurs suivantes sont à retenir :

→ 5 kg N/ha au-delà de 100 mm

→ 10 kg N/ha au-delà de 200 mm

Lorsque l'eau d'irrigation est chargée d'une matière organique (exemple, résidus d'industrie légumière) cette matière fertilisante est à prendre en compte. La valeur en azote doit être donnée par le fournisseur

L : pertes par lixiviation du nitrate

Dans les situations de grandes cultures, la quasi-totalité des pertes par lixiviation du nitrate s'opère avant l'ouverture du bilan prévisionnel, pendant la période d'interculture où le sol est nu. Ce constat agronomique conduit à l'implantation de cultures intermédiaires.

Le terme L est retenu dans l'équation de la méthode du bilan Bourgogne, mais l'objectif d'une fertilisation maîtrisée est qu'il tende vers zéro.

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

Le terme Rf correspond à la quantité d'azote minéral présente dans le sol à la fermeture du bilan. En situation de non dépassement de l'optimum technique de fertilisation azotée (principe sous-jacent du bilan prévisionnel), il a été démontré que le terme Rf était indépendant de la dose d'azote appliquée. Les valeurs de ce poste sont généralement modulées en fonction de la culture, du type de sol et de la profondeur d'enracinement.

Valeurs de Rf en kg N/ha

Épaisseur du sol	Sol léger	Sol limoneux	Sol argileux	Sol de craie
	Argile < 15 %	15 % < Argile < 30 %	Argile. > 30 %	
	L < 45 %	L > 45 %		
	CaCO ₃ < 10 %	CaCO ₃ < 10 %		CaCO ₃ > 40 %
Sol superficiel (0 à 30 cm)	5	10	15	15
Peu profond (0 à 60 cm)	10	15	20	20
Profond (0 à 90 cm)	15	20	30	30
Très profond (0 à 120 cm)	20	30	40	40

Source Comifer

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

Le calcul de la dose d'apport d'azote sous forme d'engrais minéral est le résultat de formule retenue pour l'écriture opérationnelle du bilan prévisionnel dont les termes ont été explicités dans ce document :

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

Pour tenir compte de la volatilisation du produit épandu dans le cas de solution azotée, une majoration peut être appliquée à la dose calculée :

- 15 % sur sols calcaires ;
- 10 % pour les autres sols.

Pour illustrer le calcul de la dose d'azote, deux exemples sont donnés en annexe 5 et en annexe 6.

Le calcul de prévisionnel de la dose totale d'engrais à apporter est entaché de trois incertitudes :

- Incertitude sur les besoins réels en azote du couvert (difficulté de prévoir la production qui sera réellement atteinte)
- Incertitude sur la détermination des différents termes du bilan (approximations, hypothèses sur les postes de minéralisation)
- Incertitude sur la période de minéralisation de l'azote organique contenu dans l'humus du sol, les résidus de culture et les apports de produits organiques (fonction des conditions climatiques).
-

En conséquence, lorsque le calcul de la dose prévisionnelle indique un résultat nul ou négatif (situations très particulières et rares), on conseillera d'apporter une dose forfaitaire de 40 kg N/ha pour toutes les cultures (résultat validé expérimentalement sur la culture de betteraves par l'ITB). Cet apport de démarrage permettra à la plante de s'installer plus rapidement et de valoriser ensuite l'offre de la minéralisation ou du reliquat.

Pour les cultures de colza et de moutarde, cette dose forfaitaire sera de 80 kg N/ha.

Pour les cultures pour lesquelles il n'y a pas été obtenu de références en Bourgogne ou au plan national, dites cultures « orphelines », il est proposé de retenir une dose plafond de 210 kg N/ha.

Annexe 3 - Fiches Cultures spécifiques pour la région BOURGOGNE

Fertilisation azotée minérale des cultures suivantes :

- **Tournesol**
- **Soja**
- **Maïs – Sorgho**
- **Pommes de terre**
- **Chanvre industriel**
- **Moutarde**
- **Oignons**
- **Cassis**
- **Vigne**
- **Pois potager**
- **Haricot**
- **Carotte**
- **Légumes frais**
- **Cerisiers**
- **Arbres de Noël**
- **Miscanthus – Switchgrass**
- **Prairies à base de graminées**

Tournesol

L'apport d'azote minéral est plafonné à 60 kg N/ha

Tout apport d'azote avant le stade « deux paires de feuilles » n'est pas valorisé
En cas d'apport organique, aucun apport d'azote minéral ne sera effectué

Un outil basé sur le CAU : HELIOTEST

Héliotest propose un indicateur précoce de la disponibilité en azote du sol ($P0 = Mh + Mhp + Mr + MrCi + Nirr$): c'est l'apparition d'une différence visuelle entre une bande de parcelle fertilisée au semis (60 kg N/ha) et le reste de la parcelle n'ayant pas reçu cet apport.

Les hypothèses sous-jacentes sont les suivantes :

- l'apparition d'une différence visuelle traduit un état de carence azotée sur la partie non fertilisée ;
- plus cette différence visuelle apparaît tôt, plus la carence est intense
- si la différence visuelle apparaît après le stade « 14 feuilles », elle n'a pas de conséquence sur le rendement ;

Utilisation de l'Héliotest pour ajuster l'apport d'azote aux besoins du tournesol :

HELIOTEST

Au semis
j'applique 60 unités d'azote sur une bande de la parcelle (1 passage d'épandeur à engrais ou 2 si l'épandeur travaille en recroisement)

Du stade 6 feuilles...
j'observe

Apparaît-il une différence visuelle entre la bande fertilisée au semis et le reste de la parcelle ? (différence de couleur, de hauteur, de volume)

...au stade 14 feuilles

OUI
j'observe une différence

Aussitôt :

- 1- je compte le nombre de feuilles ;
- 2- je calcule la dose d'azote grâce au disque ci-dessus ;
- 3- j'apporte la dose d'azote calculée.

NON
je ne remarque pas de différence

Je n'apporte pas d'azote.

Conseils pour déterminer le nombre de feuilles :

- Ne pas compter les cotylédons.
- Compter seulement les feuilles de plus de 4 cm de long.

Disque de dosage :

Le disque ci-dessus permet de déterminer la dose d'azote à apporter en fonction du stade de développement des feuilles et de la profondeur du sol.

Stade de développement des feuilles : 6-8, 9-10, 11-12, 13-14

Profondeur du sol : 0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm, 30-40 cm, 40-50 cm

Dose d'azote (kg N/ha) : 0, 30, 40, 50, 60

Tableau des apports minéraux d'azote pour le tournesol (méthode Heliotest)

La Méthode Héliotest définit une quantité d'azote à apporter en fonction du potentiel de la culture et du stade à partir duquel une différence visuelle est observée entre la bande fertilisée au semis et le reste de la parcelle. *Source : Cetiom*

Stade d'apparition de la différence visuelle	20q/ha (sol très superficiel)	25 q/ha (sol superficiel)	30 q/ha (sol peu profond)	35 q/ha (sol profond)
7-8 feuilles	0 kg N/ha	30 kg N/ha	40 kg N/ha	60 kg N/ha
9-10 feuilles	0 kg N/ha	0 kg N/ha	30 kg N/ha	50 kg N/ha
11-12 feuilles	0 kg N/ha	0 kg N/ha	0 kg N/ha	30 kg N/ha
13-14 feuilles	0 kg N/ha	0 kg N/ha	0 kg N/haé	30 kg N/ha

Soja

1 / Cas général : pas de fertilisation azotée minérale

En tant que légumineuse et si la nodulation est satisfaisante (cas général), le soja ne demande pas de fertilisation azotée minérale.

2 / Cas particulier : échec de nodulation

En cas d'échec de la nodulation, un apport d'azote en végétation peut être nécessaire afin de ne pas limiter le rendement et la teneur en protéines, critère qualitatif important en soja.

Juste avant le début de la floraison (stade R1), soit à la mi-juin pour un semis à date normale (mi-avril), si la végétation de la parcelle présente globalement un aspect jaunâtre et si plus de 30 % des pieds ne portent pas de nodosités*, un apport d'azote est exceptionnellement recommandé.

Apporter alors, en un ou de préférence deux apports, 120 kg N/ha d'azote entre le stade R1 (début floraison) et le stade R3 (premières gousses). Chaque apport sera réalisé si possible juste avant une pluie ou bien une irrigation pour une meilleure utilisation par la plante de l'engrais minéral.

*Vérifier la présence de nodosités en prélevant 20 pieds de soja au hasard dans une zone de la parcelle et en observant ces nodosités sur le système racinaire.

Maïs – Sorgho

Maïs grain, Maïs fourrage, Sorgho grain, Sorgho fourrager

Le maïs et le sorgho sont deux cultures dont le calcul de la dose azotée se réalise à travers la méthode CAU (Coefficient Apparent d'Utilisation de l'engrais). Cette méthode met en relation les besoins de la plante et la fourniture globale du sol. Les apports organiques et minéraux viennent garantir l'alimentation de la plante à la hauteur de ses besoins en prenant en compte un facteur d'efficacité de la consommation d'azote qui varie de 60 à 80 % selon le stade de la culture.

EQUATION DU BILAN

L'équation utilisée pour définir la dose X à amener est la suivante :

		Fourniture du sol (kg N/ha)	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr style="background-color: #f4a460;"><td>Fourniture globale</td><td style="text-align: right;">❷</td></tr> <tr style="background-color: #f4a460;"><td>Effet retournement de prairie</td><td style="text-align: right;">❸</td></tr> <tr style="background-color: #f4a460;"><td>Effet culture intermédiaire</td><td style="text-align: right;">❹</td></tr> </table>	Fourniture globale	❷	Effet retournement de prairie	❸	Effet culture intermédiaire	❹	
Fourniture globale	❷									
Effet retournement de prairie	❸									
Effet culture intermédiaire	❹									
=	+									
Besoin de la culture (kg N/ha) ❶		Dose d'azote à apporter (kg N/ha)	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr style="background-color: #90ee90;"><td>Effluents d'élevage x Keq x CAU</td><td style="text-align: right;">❺</td></tr> <tr style="background-color: #90ee90;"><td>Azote provenant de l'irrigation x CAU</td><td style="text-align: right;">❻</td></tr> <tr style="background-color: #90ee90;"><td>Azote minéral x CAU</td><td style="text-align: right;">❼</td></tr> </table>	Effluents d'élevage x Keq x CAU	❺	Azote provenant de l'irrigation x CAU	❻	Azote minéral x CAU	❼	
Effluents d'élevage x Keq x CAU	❺									
Azote provenant de l'irrigation x CAU	❻									
Azote minéral x CAU	❼									

ELEMENTS NECESSAIRES AU CALCUL DE LA DOSE D'AZOTE PREVISIONNEL

❶ Déterminer les besoins de la culture

Cela nécessite de fixer un « objectif de rendement » et de connaître pour cet objectif le besoin en azote par quintal de grain.

- Objectif de rendement (q/ha) : ce n'est pas le rendement maximum obtenu sur la parcelle, mais la moyenne atteinte les 5 dernières années en enlevant la meilleure et la plus mauvaise.
- Besoin en azote par quintal de grain (en kg N/q) : il varie entre 2,1 et 2,3 kg/q selon l'objectif de rendement fixé en maïs grain et entre 12 et 14 kg/t MS pour le maïs fourrage.

Culture	Unité de production	Besoin unitaire (kg N/unité de production)
Maïs doux	t d'épis verts vêtus /ha	b = 10
Maïs doux	t d'épis verts nus (sans les spathes) /ha	b = 12
Maïs fourrage	t MS /ha	b = 14 si objectif de rendement inférieur à 14 t b = 13 si objectif de rendement entre 14 et 18 t b = 12 si objectif de rendement supérieur à 18 t
Maïs grain	q (normes hum.) /ha	B = 2,3 si objectif de rendement inférieur à 100 q b = 2,2 si objectif de rendement entre 100 et 120 q b = 2,1 si objectif de rendement supérieur à 120 q
Maïs semences	q (normes hum.) de femelles /ha	Selon l'objectif de rendement et la disposition de semis (voir ci dessous)
Sorgho grain	q (normes hum.) /ha	B = 2,4
Sorgho fourrage	t MS /ha	b = 13

Mais semence

Pour cette culture, le besoin total Pf s'exprime ainsi : $Pf = y_{\text{femelles}} \times b / \text{c.o.f.}$

Avec :

- y_{femelles} : objectif de rendement des femelles
- b : besoin unitaire selon le niveau de rendement des femelles

Objectif de rendement en q/ha (variété femelle)	Valeur de b (kg N/q)
< 35	4
[35 ; 40[3,5
[40 ; 50[3
>= 50	2,5

- c.o.f. : coefficient d'occupation par les femelles

Dispositif de semis	6x3	6x2	4x2 normal	4x2 réduit	4x3	2x1x2x2 réduit	2x2	Inter planting	Semences de base
Coefficient d'occupation par les femelles	0,75	0,77	0,69	0,71	0,67	0,63	0,57	1,00	1,00

② Évaluer la contribution du sol : fourniture globale du sol

Les fournitures du sol peuvent être évaluées globalement sur une parcelle à partir d'une zone témoin non fertilisée en azote. Sur cette zone, on estime que l'azote absorbé par la culture (plante entière, racines comprises) représente ce que le sol fournit naturellement.

Type de sol	Fourniture globale kg/ha sans apports organiques
Limons argileux profonds	80
Limons battants drainés	85
Limons battants hydromorphes (de Bresse)	75
Argilo-calcaire superficiels	30
Argilo-calcaire moyens et craie Yonne	60
Argilo-calcaire profonds et terre argileuse calcaire	70
Argiles à silex	55
Alluvions argileuses et terre humifère	90
Limons sableux	85
Sable et gravier	45
Terre argileuse hydromorphe	70

Pour prendre en compte les apports organiques sur le long terme et leur arrière effet, il faut multiplier les chiffres précédents par les coefficients ci-dessous :

	Fréquence des apports organiques exogènes et type de produit						
	Jamais	5-10 ans		3-4 ans		1-2 ans	
Résidus de récolte		A	BC	A	BC	A	BC
Exportés tous les ans	0,80	0,95	0,90	1,00	0,95	1,05	1,00
Restitués 1 an sur 2	0,90	1,00	0,95	1,05	1,00	1,10	1,02
Restitués tous les ans	1,00	1,05	1,00	1,10	1,02	1,20	1,05

Types de produits :

A = fumiers et composts (décomposition lente) ;

B et C = autres, ainsi que les fumiers de volaille (décomposition rapide) ;

Dans le cas où plusieurs types de produits sont apportés (des A et des BC), alors on privilégie les types A.

③ Effet retournement de prairie

L'effet des retournements de prairie doit pris en compte dans les 3 premières années.

a - Destruction de printemps			Age de la prairie				
			< 18 mois	2-3 ans	4-5 ans	6-10 ans	> 10 ans
Rang de la culture post destruction	1	maïs	25	65	105	125	145
	2	maïs ou blé	5	5	30	40	45
	3	maïs ou blé	5	5	5	5	5

b - Destruction d'automne			Age de la prairie				
			< 18 mois	2-3 ans	4-5 ans	6-10 ans	> 10 ans
Rang de la culture post destruction	1	blé	15	35	55	65	75
	2	maïs ou blé	5	5	5	5	5
	3	maïs ou blé	5	5	5	5	5

Tableaux a et b : Effets azote prairie sur le supplément de minéralisation (en kg N/ha)

Les valeurs représentent le supplément de minéralisation pour la période d'établissement du bilan azoté prévisionnel de chaque culture (semis – récolte pour le maïs, 15 février – récolte pour le blé).

④ Effet culture intermédiaire

Une minéralisation utile pour la culture est à prendre en compte selon le couvert, sa production et la date de destruction :

	Niveau de Croissance Production de la CI (tMS/ha)	Ouverture du bilan en sortie hiver		Ouverture du bilan en Avril *	
		Date de destruction de la CI		Date de destruction de la CI	
		Novembre à décembre	Janvier et au-delà	Novembre à décembre	Janvier et au-delà
Crucifères (moutarde, radis...) Graminées de type Ray-Grass	<= 1	5	10	0	5
	2 (> 1 et < 3)	10	15	5	10
	>= 3	15	20	10	15
Graminées de type seigle, avoine... Hydrophyllacées (Phacélie)	<= 1	0	5	0	0
	2 (> 1 et < 3)	5	10	0	5
	>= 3	10	15	5	10
Légumineuses	<= 1	10	20	5	10
	2 (> 1 et < 3)	20	30	10	20
	>= 3	30	40	20	30
Mélanges (à base de légumineuses)	<= 1	8	15	3	8
	2 (> 1 et < 3)	15	23	8	15
	>= 3	23	30	15	23

* Date d'ouverture du bilan dans certains cas pour des cultures d'été (Maïs, Pomme de Terre)

⑤ Évaluer les apports pour les effluents d'élevage sur la culture

Cela revient à estimer l'effet direct des apports organiques récents. Cette évaluation nécessite de disposer :

- de la quantité de produit organique : en tonne ou m³,
- de la teneur en azote du produit à partir de la table du référentiel Bourgogne ou mieux d'analyses,
- de coefficient d'équivalence du produit qui permet de transposer l'effluent en équivalent « engrais » (ammonitrate).

La quantité évaluée est ensuite soumise au CAU (coefficient apparent d'utilisation) au même titre qu'un apport d'engrais.

⑥ Évaluer l'apport d'azote par l'eau d'irrigation

Irrigation	Quantité d'azote à prendre en compte
Inférieur à 100 mm	0 kg N/ha
Entre 100 et 200 mm	5 kg N/ha
Supérieur à 200 mm	10 kg N/ha

La quantité prise en compte est ensuite soumise au CAU (coefficient apparent d'utilisation) au même titre qu'un apport d'engrais.

Un calcul plus précis est possible si la teneur en nitrates de l'eau est connue.

⑦ Calculer la dose d'engrais à apporter

Le calcul de la dose d'engrais (sous forme minérale ou organique) ne se fait pas par simple différence entre besoins et fournitures du sol. L'engrais est en effet affecté d'un coefficient d'utilisation de 80 % lorsqu'il est apporté après 6-8 feuilles, mais seulement de 60 % s'il est apporté au semis.

Pour faciliter les calculs, un coefficient d'utilisation moyen de 70 % peut être retenu.

Pour **exemple**, le bilan simplifié s'écrit alors de la façon suivante dans le cas d'une fumure fractionnée au semis et à 6-8 feuilles dans la situation suivante :

- Potentiel maïs grain : 110 q/ha
- Sol limon battant sain
- Résidus restitués tous les ans
- Irrigation : supérieur à 200 mm
- Lisier de porc engraissement régulier incorporé en végétation : 20 m³
- Culture intermédiaire : mélanges crucifères – légumineuses, 2 t MS, détruite le 15 février
- Prairie retournée il y a 8 ans
- Le premier apport est à base de 18-46 à raison de 150 kg soit 27 kg N/ha

$$\begin{aligned} & \text{Besoins en azote du maïs} \\ & 110 \text{ q/ha} \times 2,2 = 242 \text{ kg N/ha} \\ & = \\ & (\text{Azote de l'engrais au semis} \times 0,6) + (\text{Azote de l'engrais à 6-8 f.} \times 0,8) \\ & (27 \times 0,6 = 16 \text{ kg N/ha}) + (\text{Azote de l'engrais à 6-8 f.} \times 0,8) \\ & + (\text{Azote de l'eau d'irrigation} \times 0,8) + (\text{Azote de l'effluent d'élevage} \times \text{keq} \times 0,6) \\ & (10 \times 0,8 = 8 \text{ kg N/ha}) + (20 \text{ m}^3 \times 3,5 \text{ kg/m}^3 \times 0,6 \times 0,6 = 25 \text{ kg N/ha}) \\ & + (\text{Fournitures globale du sol}) + (\text{Effet retournement de prairie}) + (\text{Effet culture intermédiaire}) \\ & (85 \times 1,05 = 89 \text{ kg N/ha}) + (15 \text{ kg N/ha}) + (0 \text{ kg N/ha}) \\ & \text{Apport 6-8 f.} = \frac{242 - 16 - 8 - 25 - 89 - 15 - 0}{0,8} = 111 \text{ kg N/ha} \end{aligned}$$

PRATIQUE DE FERTILISATION

Le fractionnement est conseillé car cela permet de coller à l'évolution des besoins de la plante. L'azote est ainsi mieux utilisé et les risques de perte par lessivage en début de végétation sont limités. Ainsi, le fractionnement est recommandé dans les sols superficiels ou pour des apports totaux qui dépassent 100 kg N/ha.

Les pratiques de fractionnement habituelles sont les suivantes :

	Semis	3-4 feuilles	6-8 feuilles
①	40-50 kg N/ha en plein		le complément
②	rien ou 20 kg N/ha en localisé	50-70 kg N/ha en plein	le complément

Attention : Durant la période transitoire entre le 4^e et 5^e programme d'action directives nitrate, certains arrêtés départementaux sont plus restrictifs et rendent obligatoire le fractionnement. Il est nécessaire de vous renseigner avant de réaliser les apports.

AUTRE METHODE

Pour le calcul de la dose X, il est également possible pour le sorgho et le maïs d'utiliser la méthode des bilans en suivant le document général sur la méthode des bilans. Dans ce cas, il est possible de définir l'ouverture du bilan au mois de février pour bénéficier des informations sur les reliquats azotés. Cependant tous les autres postes devront être également positionnés pour une ouverture du bilan au mois de février. Il est également possible de définir l'ouverture du bilan au moment du semis auquel cas, les données de reliquats du document ne pourront pas être pris en compte.

Pommes de terre

Source Dijon Céréales

Caractéristiques générales

Plus de 700 hectares de pommes de terre sont produites en Bourgogne, dont la grande majorité en Côte d'Or, en plaine dijonnaise. Les surfaces concernent essentiellement la production de pommes de terre de consommation.

Éléments nécessaires au calcul de la dose d'azote prévisionnelle

On utilise la méthode du bilan pour raisonner la dose d'azote à apporter. Le bilan s'ouvre au semis et se ferme à la date de défanage.

* Besoins (Pf)

Les besoins sont estimés forfaitairement par hectare en fonction de la date de plantation et de la date de défanage. Valeurs exprimés en kg N/ha.

Date de plantation	Date de défanage ou de récolte en vert							
	1 au 10/7	11 au 20/7	21 au 31/7	1 au 10/8	11 au 20/8	21 au 31/8	1 au 10/9	11 au 20/9
Du 11 au 20/03	185	200	215	220	225	230	240	240
Du 21 au 31/03	180	195	215	220	230	235	225	240
Du 01 au 10/04	175	195	210	215	220	230	235	235
Du 11 au 20/04	170	185	205	215	220	225	230	235
Du 21 au 30/04	165	185	200	210	215	225	230	235
Du 01 au 10/05	160	175	195	205	210	220	225	230
Du 11 au 20/05	140	155	180	195	205	215	220	225
Du 21 au 31/05	110	140	165	180	195	205	215	220

Source : Arvalis Institut du Végétal 2012

* Rf : Prise en compte de l'azote minéral du sol non utilisable par le peuplement

Rf en kg d'N/ha	Sols sableux et limoneux	Sols argileux
Pomme de terre de consommation	20	40

Source : Fertilisation azotée de la pomme de terre, 2002.

* Fournitures du sol

- Reliquat azoté sortie hiver : la pomme de terre utilise 100 % du reliquat azoté dans l'horizon 0-30 cm et 50 % dans l'horizon 30-60 cm.
- Minéralisation de l'humus : utilisation des références pour les cultures de printemps
- Effet du précédent et apports organiques : références communes aux autres cultures
- Azote apporté par l'eau d'irrigation : en l'absence d'analyse du taux de nitrates dans l'eau d'irrigation, on retiendra une fourniture de 5 kg N/ha au-delà de 100 mm d'apport d'eau d'irrigation et de 10 kg N/ha d'azote au-delà de 200 mm.

Chanvre industriel

Source Cetiom

Caractéristiques générales

En Bourgogne, la superficie concernée par le chanvre industriel est proche de 300 hectares (4,5 % des surfaces françaises). On le trouve principalement dans l'Yonne (60 % des surfaces bourguignonnes) et en Côte d'Or (38 %) – source Mémento de la statistique agricole novembre 2011. Le chanvre peut se poser en plante modèle du développement durable du fait de l'absence d'application de produits phytosanitaires mais aussi par le stockage de carbone dans ses produits transformés. La réussite de la culture passe par la maîtrise de l'implantation et de la récolte.

La dose d'azote est généralement comprise entre 60 et 130 kg N/ha. La moitié de cet azote est utilisée entre la phase de démarrage de la culture et le stade 5-6 feuilles. La fertilisation doit être correctement ajustée car un manque d'azote pénalise la croissance, donc le rendement. Une sur-fertilisation accroît la compétition entre les plantes (augmentation du nombre de pieds morts) et provoque une importante production de feuilles qui ne sera pas davantage valorisée pour la biomasse finale.

Éléments nécessaires au calcul de la dose d'azote prévisionnelle

On utilise la méthode des bilans pour raisonner la dose d'azote à apporter.

* Besoins :

Les besoins du chanvre industriel sont proportionnels au rendement obtenu (unités/t MS). Le coefficient retenu est 15 kg N/t MS. Cette valeur prend en compte les besoins des fibres et du chènevis.

Remarque : la production de chènevis est toujours de l'ordre de 1,2 t quel que soit le rendement en fibres.

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

Globalement quelle que soit la dose apportée sur la culture du chanvre, le reliquat d'azote minéral du sol à la récolte est relativement faible compte-tenu de la capacité de la culture à « vider » le sol de son eau et de son azote.

Rf = 20 kg N par couche de sol de 30 cm colonisée par les racines (de 0 à 60 cm ou de 0 à 90 cm en fonction du type de sol). Globalement, la moyenne du reliquat sur une profondeur de 60 ou 90 cm est autour de 45 kg N, la majeure partie de l'azote restant étant située dans les 60 premiers cm du sol.

* Fournitures du sol :

PO = Ri + Mh + Mr + Mhp = au moins 60 kg N/ha.

Les fournitures d'azote par le sol sont évaluées de la même façon que pour le colza et les céréales à paille (RSH, minéralisation de l'humus, effets du précédent...). Il s'agit d'un poste dont les valeurs sont souvent sous-estimées du fait de la forte capacité d'extraction de l'azote du sol par la culture. Pour chacun des paramètres utiliser les valeurs des tableaux des fournitures du sol des céréales à paille et prendre en compte leur somme si celle-ci est supérieure à 60 kg N/ha.

* Minéralisation des résidus de cultures intermédiaires :

L'implantation de cultures intermédiaires avant chanvre va probablement se généraliser dans le cadre de l'obligation de couverture du sol pendant l'hiver en zones sensibles dans la mesure où la culture précédent le chanvre est le plus souvent une céréale à paille récoltée pendant l'été précédent l'implantation du chanvre. Ce poste MrCi ne présente pas de spécificité liée au chanvre. Se référer au tableau de la minéralisation des résidus de cultures intermédiaires.

* Équivalent engrais minéral efficace lié à l'apport de produits organiques :

Ce poste ne présente pas de spécificité liée au chanvre. Se référer aux différents tableaux « teneur en azote total du produit » et « coefficient d'équivalence engrais minéral efficace ».

Pratiques de fertilisation

* Date d'apport et fractionnement :

Apportez l'azote de préférence au semis.

Il n'y a pas d'effet significatif d'un fractionnement sur le rendement paille ou graine de la culture. Dans le cas d'une fertilisation fractionnée, le premier apport (50 kg N/ha) se fera au semis et le solde avant le stade 5-6 feuilles de la culture. Si le temps est sec, l'absorption de l'azote peut être tardive ayant pour conséquence de retarder la végétation (culture verte plus longtemps).

Moutarde

Source : chambre d'agriculture 21

Caractéristiques générales

La moutarde alimentaire est cultivée uniquement en Bourgogne. La superficie concernée est proche de 5 000 hectares.

Elle peut être cultivée sur tous les types de sols. Elle est généralement implantée à l'automne mais peut également être semée au printemps ou ressemée si les conditions hivernales ont été trop rudes (gelée).

La plante prélève l'essentiel de ses besoins azotés sur la période de printemps. Elle est récoltée entre le 15 juillet et le 15 août.

Éléments nécessaires au calcul de la dose d'azote prévisionnelle

On utilise la méthode des bilans pour raisonner la dose d'azote à apporter.

* Besoins :

Les besoins de la moutarde sont proportionnels au rendement obtenu (unités/q). Actuellement, le coefficient retenu est identique à celui du colza, **soit 6,5 kg N/q**.

* Fournitures du sol :

Comme le colza, la fertilisation de la moutarde est basée sur la méthode du bilan.

Les fournitures d'azote par le sol sont évaluées de la même façon que pour le colza et les céréales à paille (RSH, minéralisation de l'humus, effets du précédent, ...). Par contre, on ne tient pas compte du terme supplémentaire, l'azote absorbé par la plante à la sortie de l'hiver, étant donné le faible développement de cette culture à la sortie de l'hiver.

Pratiques de fertilisation

* Dose bilan :

Compte tenu des faibles rendements obtenus dans certaines situations, la dose calculée par la méthode des bilans peut être faible. Pour ne pas limiter le potentiel, on fixera un minimum d'azote à apporter de l'ordre de 80 Kg N/ha.

Oignons

Source : chambre d'agriculture 21

Caractéristiques générales

En Bourgogne, la culture d'oignons est essentiellement développée dans la petite région de la plaine dijonnaise dans le département de Côte d'Or.

C'est une culture légumière qui peut être conduite de différentes manières : semis d'hiver ou de printemps, repiquées de printemps.

La plante prélève l'essentiel de ses besoins azotés sur la période de printemps. Elle est récoltée entre le 1^{er} juillet et le 15 septembre.

Éléments nécessaires au calcul de la dose d'azote prévisionnelle

On utilise la méthode des bilans pour raisonner la dose d'azote à apporter.

* Besoins :

Les besoins estimés correspondent à la quantité d'azote que les oignons sont capables de consommer au cours du cycle de végétation.

Ils sont définis par une valeur forfaitaire : 180 à 200 kg N/ha. Cette valeur est indépendante du niveau de rendement.

L'azote restant après récolte varie de 10 à 30 kg N/ha selon le type de sol.

Les besoins maximum sont donc plafonnés à 210 kg N/ha. On retiendra cette valeur pour le calcul du bilan.

* Fournitures du sol :

Les fournitures d'azote par le sol sont évaluées de la façon suivante :

* Reliquat azoté sortie hiver

L'oignon utilise 100 % du reliquat azoté dans l'horizon 0-30 cm, 80 % dans l'horizon 30 – 60 cm et 0 % des horizons inférieurs.

* Minéralisation de l'humus

Les références utilisées seront une synthèse des données utilisées pour les cultures de printemps.

* Effet du précédent et amendements organiques

Les références utilisées sont communes aux autres cultures.

* Azote apporté par l'eau d'irrigation

Cette culture étant irriguée, on pourra prendre en compte une valeur forfaitaire en cas d'absence d'analyses du taux de nitrates de l'eau d'irrigation. On retiendra une fourniture de 5 kg N/ha au delà de 100 mm d'apport d'eau d'irrigation et 10 kg N/ha d'azote au delà de 200 mm.

Cassis

Source : chambre d'agriculture 21

La culture de cassis est une culture pérenne qui peut être cultivée pour la production de fruits ou pour la production de bourgeons. Les modes de conduite de cette culture sont adaptés au type de production.

CASSIS BOURGEONS

Caractéristiques générales

La culture de cassis bourgeon est présente sur près de 300 hectares sur la région Bourgogne dont les $\frac{3}{4}$ en Côte d'Or.

La pousse végétative est continue de mars à août et le volume de végétation recherché est conséquent.

Le nombre de rameaux, le nombre et la grosseur des bourgeons sont les 3 composantes essentielles du rendement et dépendent de la santé de la plante mais aussi de la disponibilité en éléments fertilisants dont l'azote plus particulièrement.

L'enracinement est relativement peu profond pour une culture pérenne.

Les besoins sont mal connus mais sont assez élevés à certaines périodes; le manque de disponibilité de l'azote du sol à des moments clés limite la production (décalage entre besoins et fournitures du sol).

Éléments nécessaires au calcul de la dose d'azote prévisionnelle

Le raisonnement de la fertilisation azotée tient compte des critères suivants:

- disposer d'une quantité d'azote disponible pour le débourrement. Cette phase de débourrement du cassis commence très tôt (parfois dès début février) et la disponibilité de l'azote du sol peut être insuffisante à cette date (température du sol très basse).

Un apport de 30 à 50 kg N/ha est conseillé avant débourrement. Il doit tenir compte de la capacité de rétention du sol.

- assurer les besoins pendant la phase de pousse active qui est particulièrement forte en mai et juin alors que le réchauffement du sol est encore lent (en particulier les sols de limons).

Un apport complémentaire de 30 à 50 kg N/ha est conseillé à partir de début mai, en fonction des capacités du sol et du potentiel de rendement de la culture (vigueur, état sanitaire).

- garantir des bourgeons de gros diamètre et de couleur rouge, caractéristiques demandées par les industriels de la parfumerie. Une bonne disponibilité en azote à partir de la fin de l'été permet de repousser la chute des feuilles et d'obtenir des bourgeons de qualité.

En particulier lors des étés secs (minéralisation limitée), un apport estival complémentaire de 30 kg N/ha selon le type de sol et le potentiel de rendement est ainsi valorisé.

Pratiques de fertilisation

Lorsqu'un apport de matière organique est réalisé à la plantation, il n'y aura pas d'apport d'azote l'année de la plantation ni l'année suivante.

Les préconisations seront à respecter :

- En cas d'apport de matière organique à la plantation : pour la troisième année de culture.
- Sans apport de matière organique à la plantation : pour la deuxième année de culture.

La dose totale d'azote à apporter en production de bourgeons est la suivante :

- en sol profond, bien pourvu en matière organique et ayant une bonne capacité de minéralisation, la dose maximale à apporter sera de 90 kg N/ha/an.
- en sol superficiel, faiblement pourvu en matière organique, et ayant une faible capacité de minéralisation, la dose maximale à apporter sera de 130 kg N/ha/an.

La dose d'azote totale sera à fractionner en 2 ou 3 apports.

CASSIS FRUITS

Caractéristiques générales

La culture de cassis fruits est présente en Bourgogne sur un peu plus de 400 ha.

La pousse végétative, la phase de fructification (floraison, nouaison, grossissement des baies, maturation) et l'initiation florale sont des moments clés pour la production de baies; les fruits sont portés principalement par les rameaux d'un an, et l'initiation florale des bourgeons pour la production de l'année N+1 a lieu après la récolte de l'année N.

De la disponibilité des éléments fertilisants et de la santé de la plante dépendent le nombre de baies et leur grossissement, mais aussi la pousse végétative annuelle et l'initiation florale déterminant le potentiel de l'année suivante.

L'enracinement de cette culture est relativement peu profond pour une culture pérenne.

Un excès d'azote à la floraison augmente le risque de coulure (chute des fleurs avant nouaison complète).

L'enherbement entre les rangs, qui limite l'usage des herbicides, concurrence la culture en eau et en éléments fertilisants, en particulier en azote et ceci d'autant plus que le couvert n'est pas régulièrement coupé.

Éléments nécessaires au calcul de la dose d'azote prévisionnelle

Le raisonnement de la fertilisation azotée tient compte des critères suivants:

- disposer d'une quantité d'azote disponible pour le débourrement. Cette phase de débourrement du cassis commence très tôt (parfois dès début février) et la disponibilité de l'azote du sol peut être insuffisante

Un apport de 30 à 50 kg N/ha est conseillé avant débourrement. Il doit tenir compte de la capacité de rétention du sol.

- assurer les besoins après floraison (pousse, grossissement des baies, initiation florale après récolte). La pousse est particulièrement forte en mai et juin et se déroule en parallèle du grossissement des fruits. Le réchauffement du sol est encore lent (en particulier les sols de limons)

Un apport complémentaire de 30 à 50 kg N/ha est conseillé à partir de début mai, en fonction des capacités du sol et du potentiel de rendement de la culture (vigueur, état sanitaire).

Pratiques de fertilisation

La dose totale d'azote à apporter en production de fruits sera fixée en fonction du potentiel de rendement et du type de sol. La dose maximale à ne pas dépasser est de 100 kg N/ha/an.

La dose d'azote totale sera à fractionner en 2 apports de préférence.

Vigne

Source : *Guide technique Viticulture Durable de Bourgogne, Chambre d'Agriculture Bourgogne & Confédération des Associations Viticoles de Bourgogne, 2006.*

Caractéristiques générales

La culture de la vigne est présente en Bourgogne sur près de 31 000 ha. Le vignoble Bourguignon est classé en climat continental.

La vigne débourre en mars-avril (fonction du cépage et des conditions climatiques), avec une floraison en mai-juin et des vendanges entre fin-août et début octobre.

L'azote est l'élément auquel la vigne est le plus sensible :

- un excès provoque une vigueur exacerbée, des problèmes de rendement trop important et une qualité des raisins dépréciée (moins bonne maturité, pourriture),
- une carence induit des problèmes de rendement trop faible et une fermentescibilité des moûts plus faible (risque d'apparition de mauvais goûts).

Du débourrement au stade floraison, l'azote nécessaire à la pousse végétative est fourni, en grande partie, par les réserves contenues dans les racines et accumulées à la fin du cycle végétatif précédent. Les stades floraison-nouaison constituent un pic important d'absorption. Le début de la véraison également, mais à un moindre niveau.

L'azote des feuilles est le résultat de l'absorption et de la croissance de la plante durant la première partie du cycle végétatif. L'azote des baies est principalement le résultat de l'absorption d'azote durant la phase estivale.

Éléments nécessaires au calcul de la dose d'azote prévisionnelle

Les besoins en azote de la vigne sont modestes, ils se situent autour de 30 à 60 kg/ha pour des productions de 6 à 10 t/ha et jusqu'à 60 à 90 kg/ha pour des productions de 10 à 25 t/ha. Ils peuvent être satisfaits, tout au moins en partie, par l'azote fourni par la minéralisation de la matière organique du sol. C'est la principale source d'alimentation pour la plante, elle dépend des conditions climatiques (température et humidité) et du type de sol (taux d'argile et de calcaire, pH).

La gestion de la fertilisation azotée doit également se réfléchir à partir des éléments suivants :

- Entretien du sol

L'enherbement va concurrencer la vigne au niveau des prélèvements d'azote. Si cet effet est souvent recherché afin de diminuer la vigueur, son implantation, dans un objectif uniquement, par exemple, d'amélioration de la portance, peut nécessiter des apports azotés complémentaires.

Le travail du sol peut favoriser la minéralisation et accélérer la mise à disposition de l'azote contenu dans la matière organique.

- Sensibilité à la pourriture grise : éviter les apports d'azote dans les parcelles sensibles.
- Les apports d'amendements organiques contiennent plus ou moins d'azote

Il convient d'en tenir compte dans le raisonnement.

L'azote jouant un effet important sur la plante du point de vue qualitatif, il convient de trouver le juste équilibre entre le développement optimal de la vigne et la qualité des raisins, en fonction de l'objectif produit que l'on vise.

Équation du bilan utilisée

La méthode du bilan n'est pas encore adaptée sur la vigne, en raison notamment de la pérennité de la plante et de la mise en réserves qui la caractérise.

Pratiques de fertilisation

La gestion de la matière organique (MO) du sol est prioritaire. Si la minéralisation annuelle de la MO du sol ne suffit pas à couvrir les besoins de la vigne, des apports minéraux peuvent être envisagés.

Les apports d'azote organique peuvent être réalisés soit dans le cadre de la nutrition azotée de la vigne (objectif engrais), soit, de façon indirecte, dans le cadre du maintien ou de l'augmentation du stock de matière organique (MO) du sol (objectif amendement). Dans ce dernier cas, les apports peuvent être relativement importants, cet entretien ou cette augmentation du taux de MO du sol étant réalisés tous les 3-4 ans, pour des questions pratiques (limitation du passage du tracteur, quantités, temps). Le cas particulier de l'apport d'amendement organique à la plantation est à prendre en considération.

En fonction de la forme d'azote apporté, les conditions climatiques et le type de sol, les époques d'apport peuvent être variables et réalisées entre le courant d'hiver pour une forme organique, jusqu'en milieu-fin de printemps pour une forme minérale sur sol léger et climat humide.

Les doses d'apport sont très variables en fonction du rendement visé, du type de sol et de l'entretien du sol. Les doses peuvent donc varier de 0 (en cas d'objectif faible rendement) à 90 kg N/ha (en cas d'objectif fort rendement). Une majorité des surfaces ne reçoivent aucun apport ou des apports très limités. Par contre, les parcelles enherbées ou celles dont la vigueur est limitée peuvent être fertilisées.

Du fait de l'inadéquation de la méthode du bilan et des besoins modestes (exportations faibles), il convient de plafonner la dose d'azote à apporter. Toutes les formes d'apport (minérale, organique) et les applications (sol, foliaire) seront prises en compte dans le calcul de la dose totale.

Pour la Bourgogne :

Dans le cas général, ce plafond est établi à **30 kg N/ha disponible**, hors écorce

Ce plafond est fixé à **50 kg N/ha disponible (dont 30 kg N/ha en minéral maximum)**, hors écorce pour :

- les productions liées à l'appellation Crémant de Bourgogne,
- les vignes enherbées,
- les vignes en manque de vigueur (carence en azote constatée)

Pois potager

source Unilet

Caractéristiques générales

25 000 hectares de petits pois sont cultivés pour l'industrie en France (source : CENALDI, moyenne 2005-2010).

Assurer la régularité de l'approvisionnement industriel est un enjeu important. L'autre enjeu est de limiter les problèmes sanitaires qui comme le mildiou, le botrytis et le sclérotinia sont favorisés par les excès de végétation et donc d'azote et augmentent la présence de grains tachés.

Le cycle du pois potager est de 70 à 110 jours. Le semis s'échelonne de février à mai et les récoltes se déroulent entre fin mai et fin juillet. Le petit pois est fréquemment suivi d'une culture dérobée ou d'une céréale.

Éléments nécessaires au calcul de la dose d'azote prévisionnelle

Les besoins sont estimés forfaitairement à 270 kg N/ha.

Les bactéries fixatrices sont naturellement présentes dans les sols français. En conditions propices au fonctionnement des nodosités, la fixation est capable de couvrir 75 % des besoins azotés (200 kg N/ ha).

En conditions de surfertilisation azotée, on observe une consommation de luxe (+30 kg/ha en moyenne) et une réduction de la part symbiotique

Pratiques de fertilisation

Aucun apport d'azote n'est nécessaire sur pois potager.

Certaines situations particulières justifient une fertilisation :

- Conditions de levées difficiles (semis précoces, terres froides,...)
- Variétés courtes (il faut valoriser l'élongation des entre-nœuds pour la récolte machine)
- Parasitisme conduisant à une absence de nodulation (maladies telluriques, larves de sitones...)

Dans ces situations, l'apport est plafonné à 50 kg N/ha.

Haricot

source Unilet

Caractéristiques générales

30 000 hectares de haricots verts (source : CENALDI, moyenne 2006-2010) sont cultivés pour l'industrie en France. Les surfaces de haricots grains secs et demi-secs sont de 10 000 hectares. La majorité des surfaces sont irriguées. Les exploitations sont de type grandes cultures ou polyculture élevage. Les parcelles de production répondent à une sélection rigoureuse (pas de cailloux, etc).

Assurer la régularité de l'approvisionnement industriel est un enjeu important. En effet 375 000 tonnes par an de légumes sont livrées à l'industrie. Deux enjeux qualitatifs se dégagent sur haricot :

- L'homogénéité du calibre et l'aptitude à la cueillette pour les haricots gousses et l'homogénéité de la maturité et de la couleur du grain pour les haricots écosés.
- Limiter les problèmes liés à la verse. Depuis 10 ans, la sclérotiniose est la maladie la plus redoutée sur haricot, elle est favorisée par les excès de végétation et donc d'azote.

Le haricot est une culture d'été nécessitant des températures supérieures à 10°C. Les semis s'échelonnent entre avril et août.

Les conditions estivales et irriguées sont favorables à l'expression du potentiel de minéralisation de l'azote organisé, mais celui-ci peut aussi varier fortement et rapidement. Le temps d'interception par la culture est faible. Les récoltes se déroulent entre début juillet et mi octobre.

La courbe de l'absorption d'azote ne diffère pas fondamentalement d'un type de haricot à un autre. C'est le positionnement de la récolte par rapport aux phases du cycle qui varie. Le cycle d'une récolte en gousses « mangetout » dure 60 à 80 jours. Alors qu'une récolte en grains demi-secs et secs a un cycle de 90 à 130 jours.

La récolte des mangetouts est réalisée avant maturité physiologique, en pleine phase de croissance verte et d'assimilation azotée. A cette période, le rendement peut progresser de 2 t/ha/j, et l'assimilation de 3-4 kg N/ha/j. Une récolte anticipée pénalise le rendement, un retard de quelques jours dégrade la qualité.

Aucun stress azoté n'est tolérable dans la période de récolte, c'est pourquoi le reliquat visé à la récolte ne peut se limiter à l'azote inextractible

Éléments nécessaires au calcul de la dose d'azote prévisionnelle

On utilise la méthode du bilan pour raisonner la dose d'azote à apporter.

* Besoins (Pf)

Du fait de la variabilité des rendements en fonction du type variétal, de l'état sanitaire et de la date de récolte, on ne raisonne pas en termes d'objectif de rendement, mais de besoins forfaitaires par hectare.

Les besoins forfaitaires en azote pour les haricots sont les suivants :

Type d'haricot	Besoin forfaitaire (kg d'N/ha)
Haricots extra fins ou très fins	160
Haricot gros calibre	180
Flageolet ou haricot blanc sec	190

* Rf : Prise en compte de l'azote minéral du sol non utilisable et d'une quantité garantissant les besoins instantanés des derniers jours (récolte toujours en phase de croissance lorsque les besoins d'azote sont les plus importants, et incertitude sur la date de récolte)

Type d'haricot	Sols sableux	Sols limoneux	Sols argileux
Flageolet	15	25	35
Haricot mangetout	35	45	55

* Fournitures du sol

- Reliquat azoté sortie hiver : prise en compte de l'azote nitrique et ammoniacal sur l'horizon 0-30 cm pour les cycles courts (mangetouts), 0-45 cm pour les cycles longs (secs et demi-secs). A réaliser au plus proche du semis (ouverture du bilan).
- Minéralisation : elle est la somme de la minéralisation de l'humus, de l'arrière-effet des apports organiques réguliers et de l'arrière effet des retournements de prairies. Les références utilisées pour ces 3 postes sont communes à celles utilisées pour les autres cultures légumières de printemps.

Par contre un coefficient temps de 0,7 est appliqué à la minéralisation pour les cycles courts (haricot mangetout)

- Effets du précédent : hors précédents légumes, utiliser les références classiques. Pour les cultures légumières, on retiendra les valeurs suivantes :

Nature du précédent	Minéralisation des résidus de récolte (kg N/ha)
Brocoli	55
Petite carotte	20
Grosse carotte	20
Céleri-branche	70
Epinard	25
Flageolet	35
Haricot	35
Pois de conserve	65
Pommes de terre	20
Scorsonère	45

- Effet Cipan : mêmes références que sur autres cultures
- Effet direct des apports organiques récents = mêmes références que sur autres cultures
- Azote apporté par l'apport d'irrigation : en cas d'absence d'analyses du taux de nitrates de l'eau d'irrigation, on retiendra une fourniture de 5 kg N/ha au-delà de 100 mm d'eau d'irrigation et 10 kg N/ha d'azote au-delà de 200 mm.
- Fixation symbiotique : elle est estimée à 30 kg d'N/ha pour les haricots gousses et à 50 kg N/ha pour les grains écosés.

Carotte

source Unilet – Val Union

Caractéristiques générales

2 types de carottes sont cultivés en France : la jeune carotte de type Amsterdam (2 000 hectares cultivés en France), et la grosse carotte de type Flakkee (1 000 à 1 200 hectares cultivés en France).

Après une phase d'installation qui dure 2 à 2,5 mois selon la date de semis, la jeune carotte entre dans une phase de croissance active du feuillage puis des racines. Les besoins en azote s'intensifient à partir du stade « 4 feuilles vraies », avec des prélèvements estimés à 2 kg N/ha/jour durant la phase de développement foliaire. L'assimilation se poursuit pendant la phase de grossissement des racines qui correspond au dernier mois précédant la récolte. Le rendement augmente alors de 1,5 t/ha/jour. La récolte intervient durant la phase de grossissement des racines.

La grosse carotte est une culture très lente à se mettre en place du fait de sa faible densité (moins de 50 plantes au m²). Les prélèvements d'azote débutent avec le développement du feuillage. C'est à ce stade que les besoins instantanés sont les plus élevés. Ils se poursuivent ensuite durant toute la phase de grossissement des racines (besoins constants jusqu'au stade récolte).

Éléments nécessaires au calcul de la dose d'azote prévisionnelle

On utilise la méthode du bilan pour raisonner la dose d'azote à apporter. Le bilan s'ouvre au semis et se ferme à la récolte.

* Besoins (Pf)

Les besoins sont estimés forfaitairement par hectare :

- Petite carotte = 110 kg d'N/ha
- Grosse carotte = 200 kg d'N/ha

* Rf : Prise en compte de l'azote minéral du sol non utilisable et d'une quantité garantissant les besoins instantanés des derniers jours (récolte toujours en phase de croissance lorsque les besoins d'azote sont les plus importants)

Type de carotte	Sols sableux	Sols sablo-limoneux
Jeune carotte (Amsterdam)	25	35
Grosse carotte (Flakkee)	15	25

* Fournitures du sol

- Reliquat azoté sortie hiver : mesuré au semis sur l'horizon 0-30 cm pour les jeunes carottes, et les horizons 0-30 cm et 30-60 cm pour les grosses carottes.
- Un coefficient temps de 0,7 est appliqué à la minéralisation pour les jeunes carottes.
- Les autres postes du bilan sont communs aux autres cultures.

Pratiques de fertilisation

Il est recommandé de fractionner les apports d'azote pour limiter le lessivage : 1 apport à la levée, un complément en 2 apports au plus tard à 5-6 feuilles vraies (stade crayon).

Légumes frais

Besoins d'azote des légumes frais

CULTURES	MOBILISATIONS ⁶ (kgN/ha)	RENDEMENT (t/ha sauf mention spécifique)
artichaut camus 1er année (région nord)	120	8
artichaut camus 2ème année (région nord)	150	10-12
artichaut camus 3ème année (région nord)	150-180	10-12
artichaut (région sud)	250 (140-400)	16 (10-25)
asperge 1er pousse (20000 plantes/ha)	108	Feuilles + tiges
asperge 2ème pousse (20000 plantes/ha)	124	Feuilles + tiges
asperge 3ème pousse et suivantes (20000 plantes/ha)	125	8-10 (turions + feuilles + tiges)
aubergine plein champ	150-210	25-30
aubergine sous abri en sol	220	120
carotte cycle cultural d'été	130-165	60-80 (commercial)
carotte cycle cultural de printemps	100-130	65-75 (commercial)
carotte cycle cultural primeur	110	60 (commercial)
céleri rave ¹	160-260 (densité 30 000 à 50 000 /ha)	50-80
chicorée géante maraichère - récolte octobre	89	51
chicorée fine maraichère - printemps	152	69
chicorée fine maraichère - été-automne	122-124	72-73
chicorée fine maraichère - abri-printemps	94	55
chicorée frisée - été	130	54
chicorée frisée - automne	145	48
chou fleur d'été	320-340	24000 plants/ha
chou fleur d'automne	210-250	12000 à 14000 plants/ha
chou fleur d'hiver	250-300	11000 à 12000 plants/ha
concombre	330 - 500	210 - 300 kg/ha
courgette sous abri	200-300	60-100
endive	Sensible : 90-110 Tolérante : 125-155 Préférante : 150-185	35-40
fraise saison ex Elsanta	115	30,6 t fruits. 6,5 t matière sèche
fraise précoce ex gariguette	180	30 t fruits. 11 t matière sèche
fraise remontante ex Selva	250	55 t fruits. 17 t matière sèche
laitue	80-90	400-450 g/plante
mâche	50-70	5 à 10
melon	155	40
oignon ²	120-150	70-90
poireau	160-255 selon créneau de production	50-80 selon créneau de production
poivron plein champ	180	41
poivron hors sol sous serre	VERT : 340 ROUGE : 410	37 21
pomme de terre primeur	150-175	35-50
radis	50-60	17
tomate plein champ	150	60
tomate serre en sol non chauffée	450	180

Source : Fertilisation Agronomie CTIFL, 2012

(1) sources : CTIFL, PLN, CA Bretagne, 2012 - (2) sources : CTIFL, ISAB, CA Bretagne, 2012

⁶ Mobilisation ou besoin : Ce terme définit les quantités d'azote prélevé par une culture nécessaires et suffisantes pour optimiser la production en termes de rendement et de qualité (par exemple pour l'endive, les valeurs présentées dans ce tableau ne prennent pas en compte les 30 U de reliquat post-récolte).

Cerisiers

Source : *Cerise, les variétés et leur conduite*, CTIFL, 1997

I. Arbres très vigoureux (ex : Burlat)

A partir de la 3^e année, modérer l'azote sinon se référer aux doses préconisées pour associations peu vigoureuses

⇒ **doses pivots conseillées**

- 50 à 80 kg N/ha sur la période avril à juillet (pleine pousse)
- Puis 10 à 30 kg N/ha en septembre (reconstitution des réserves après récolte=> entre l'arrêt total de la pousse et la chute des feuilles)

II. Associations peu vigoureuses

⇒ **doses pivots conseillées**

- 80 à 100 kg N/ha sur la période mai à juillet (pleine pousse)
- Puis 20 à 40 kg N/ha de fin août à début septembre (reconstitution des réserves après récolte => entre l'arrêt total de la pousse et la chute des feuilles)

Sapins de Noël

Source : association française du sapin de Noël naturel

Caractéristiques générales

La culture de sapins de Noël est une production traditionnelle en Bourgogne, plus particulièrement dans le Morvan, territoire situé hors zone vulnérable.

Seules quelques productions, marginales en surface, se retrouvent en zone vulnérable.

Le sapin de Noël est une activité agricole et non forestière même si les arbres utilisés sont des essences forestières.

L'essence la plus fréquente est l'épicéa commun suivie du sapin de Nordmann.

La récolte se fait le plus souvent de 6 à 8 ans pouvant aller jusqu'à 10 ans,

L'exploitation se fait par coupes qui s'échelonnent d'octobre à la mi-décembre pour aborder les fêtes et fournir le marché intérieur ou l'export.

Lorsque l'exploitation se fait en pots, ils sont exploités dès septembre.

Raisonnement de la fertilisation

D'une façon générale, il existe peu de références scientifiques sur les besoins de fertilisation de la culture de sapins de Noël. Quelques publications existent à l'étranger (Canada, Danemark...).

Les préconisations Bourgogne s'appuient sur des expertises et une charte de bonnes pratiques qui date de 2006.

La fertilisation a pour objectif de couvrir les besoins :

- qui augmentent avec l'âge de la plante
- qui sont les plus importants lorsque la pousse est forte, de début mai à la mi-juin
- qui peuvent varier selon les variétés

Apports d'azote préconisés

En fonction des références connues à ce jour (et qui peuvent évoluer), les préconisations se font en fonction de l'âge de la plantation :

- jusque 4 ans, maximum de 30 kg N/ha/an
- jusque 8 ans, maximum de 40 kg N/ha/an
- jusque 10 ans, maximum de 50 kg N/ha/an

Pratiques de fertilisation préconisées

Les apports seront fractionnés avec un premier apport à partir de début mai et un second à partir de la mi-juin.

Miscanthus - Switchgrass

Miscanthus

Source :

Cadoux et al., 2012. Nutrient requirements of Miscanthus x giganteus : conclusions from a review of published studies. Biomass and Bioenergy, 38, 14-22.

Strullu et al., 2011. Biomass production and nitrogen accumulation and remobilisation by Miscanthus x giganteus as influenced by nitrogen stocks in belowground organs. Field Crops Research, 121, 381-391.

Pendant 2 ans après plantation, pas d'apport de fertilisation.

Les années suivantes apport au maximum de 4,9 kg N par tonne de matière sèche jusqu'à un apport maximum de 60 kg N/ha/an dans le cas d'une exportation en vert. Dans le cas d'une récolte en sec la dose maximale d'apport sera de 30 kg N/ha/an.

Switchgrass

Source : Bourgogne Pellets

Apport au maximum de 50 kg N par hectare tous les 2 ans.

Prairies à base de graminées

Naturelles ou temporaires

Source : chambres d'agriculture de Bourgogne

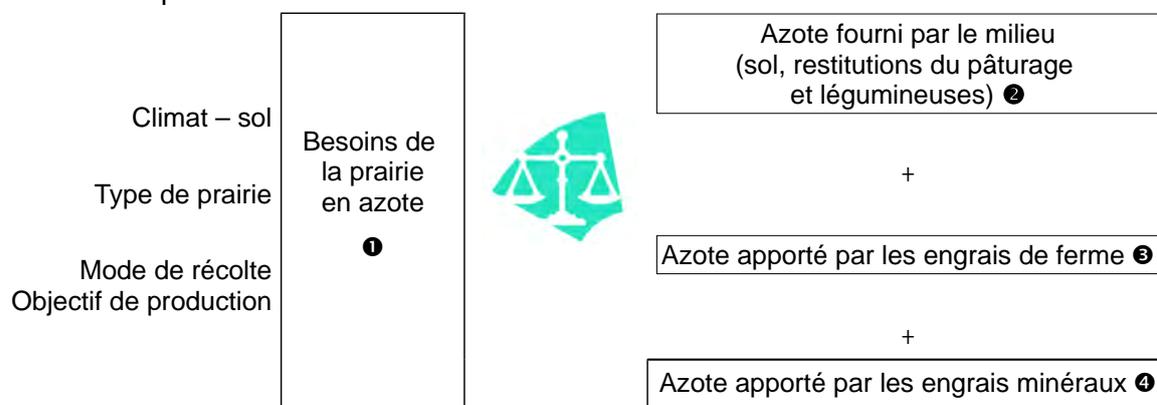
Caractéristiques générales

La région Bourgogne est une région où l'élevage est très présent. Une grande majorité des élevages est orientée vers de l'élevage allaitant de type extensif. On compte ainsi près de 49 % de la SAU en prairies temporaires et naturelles.

Les besoins en azote de la prairie sont effectifs au printemps et à l'automne lorsque toutes les conditions favorables à la pousse de l'herbe sont réunies : température, humidité, éléments nutritifs disponibles.

Éléments nécessaires au calcul de la dose d'azote prévisionnelle

La méthode du bilan permet d'équilibrer les apports (fournitures du sol, contribution par les légumineuses, déjections au pâturage...) par rapport aux besoins annuels de la prairie. Le schéma ci-dessous précise les différents postes du bilan.



Décider d'une fumure azotée de la prairie, c'est prendre en compte :

- le mode d'exploitation de la prairie,
- le niveau d'intensification relié au potentiel et à l'objectif de rendement,
- le niveau de chargement de l'exploitation (UGB/ha SFP) et le chargement au pâturage au printemps (ares/UGB),
- le type de sol qui influence les fournitures d'azote par le sol.

Il est donc important de déterminer le type de sol. Pour les prairies, le comportement par rapport à l'eau (sols plus ou moins séchant) est primordial. On prendra ainsi mieux en compte le niveau des fournitures d'azote par le sol (qui sera néanmoins variable selon l'année et le potentiel de la prairie).

Comportement par rapport à l'eau	Types de sols
1 - Sols très séchants	Sols sableux séchants "qui craignent le sec" : sols peu profonds (généralement inférieurs à 30 cm), pousse de l'herbe relativement précoce, forte sensibilité à la sécheresse estivale.
	Sols argilo-calcaires superficiels. Sols superficiels généralement inférieurs à 30 cm, forte pierrosité.
2 - Sols séchants	Sols sains de profondeur moyenne. Sols résistant bien à l'humidité du printemps et de l'automne et moyennement sensibles à la sécheresse estivale, production d'herbe régulière toute l'année.
3 - Sols peu séchants	Sols profonds avec une bonne pousse estivale – prairies hydromorphes, "qui craignent l'humidité" : sols craignant les excès d'eau, généralement riches en matière organique. Prairies peu déprimées à cause des conditions d'humidité au printemps.
	Sols argilo-calcaires ou limoneux profonds. Sols moyennement profonds à profonds (50 cm à > 1 m), faible charge en cailloux.
	Alluvions argileuses: sols argileux profonds, terres noires.

❶ Calcul des besoins de la prairie en azote :

Besoins (Kg N) = Exportations (kg N/TMS) x Objectif de rendement (TMS/ha)

EXPORTATIONS PRAIRIES (Kg N/TMS)	
pâturage extensif	25
pâturage intensif	30
3/4Fauche+1/4Pâturage	22
1/4Fauche+3/4Pâturage	28
Prairie ensilée ou enrubannée	25
Prairie fauchée	22
Prairie fauchée tardivement	20

❷ Estimation de l'azote fourni par le milieu

Fournitures d'azote (Kg N/ha) = Azote fourni par le milieu

+ Azote fourni par les restitutions au pâturage

+ Azote fourni par les légumineuses

Fournitures d'azote par le milieu

Sol	Minéralisation (Kg N/ha)	
	Sans MO	Épandages réguliers de MO
Sol très séchant	40	50
Sol séchant	50	70
Sol hydromorphe	80	100
Argilo-calcaires profonds et sains, limons argileux profonds, Alluvions argileuses calcaires	90	110
Alluvions argileuses	100	120

Fournitures d'azote par les restitutions au pâturage et les légumineuses (Kg N/ha)

(Production de 5/6 T MS)

Catégorie	Restitutions au pâturage	Contribution des légumineuses	Fournitures
P fauchées – sans légumineuses	0	0	0
P fauchées – peu de légumineuses	0	15	15
P fauchées – beaucoup de légumineuses	0	50	50
P 3/4F+1/4P – sans légumineuses	10	0	10
P 3/4F+1/4P – peu de légumineuses	10	15	25
P 3/4F+1/4P – beaucoup de légumineuses	10	50	60
P 1/4F+3/4P – sans légumineuses.	15	0	15
P 1/4F+3/4P – peu de légumineuses	15	15	30
P 1/4F+3/4P – beaucoup de légumineuses	15	50	65
Pâturage extensif – sans légumineuses.	25	0	25
Pâturage extensif – peu de légumineuses	25	15	40
Pâturage extensif – beaucoup de légumineuses	25	50	75
Pâturage intensif – sans légumineuses	30	0	30
Pâturage intensif – peu de légumineuses	30	15	45
Pâturage intensif – beaucoup de légumineuses	30	50	80

① Prise en compte de l'effet direct des engrais de ferme de l'année :

Effet des "engrais de ferme " en unités (cf méthode des bilans générale)

④ Calcul de la dose d'azote minéral à apporter = (①-②) / CAU - ③

Le CAU est fixé à 0,6 pour tous types de sols et de prairies.

Exemple : J'ai une prairie permanente sur laquelle je fais une fauche en plus de la pâture. C'est un sol séchant sur lequel je peux me fixer un objectif de rendement de 5 t de matière sèche. Cette parcelle reçoit des fumiers régulièrement, environ tous les deux ans. A l'automne dernier, un épandage de 20 T/ha de fumier de bovin allaitant a été réalisé. Elle comporte peu de légumineuses.

Besoins de la prairie = 5 x 28 = 140 kg N

Fournitures par le sol, les restitutions au pâturage et les légumineuses = 70 kg N + 30 kg N

Fournitures d'azote par le fumier : 19 kg N

⇒ Dose conseillée = (140 – 100) / 0,6 - 19 = 48 kg N d'azote minéral

Pratiques de fertilisation

Les prairies de Bourgogne étant conduites de manière extensive, la fertilisation azotée est très limitée et très souvent en deçà des besoins réels de la prairie.



Pour raisonner l'azote sur colza

Une méthode simple,
pratique et performante !

1 Estimez l'azote absorbé par votre colza juste avant le premier apport

La méthode visuelle

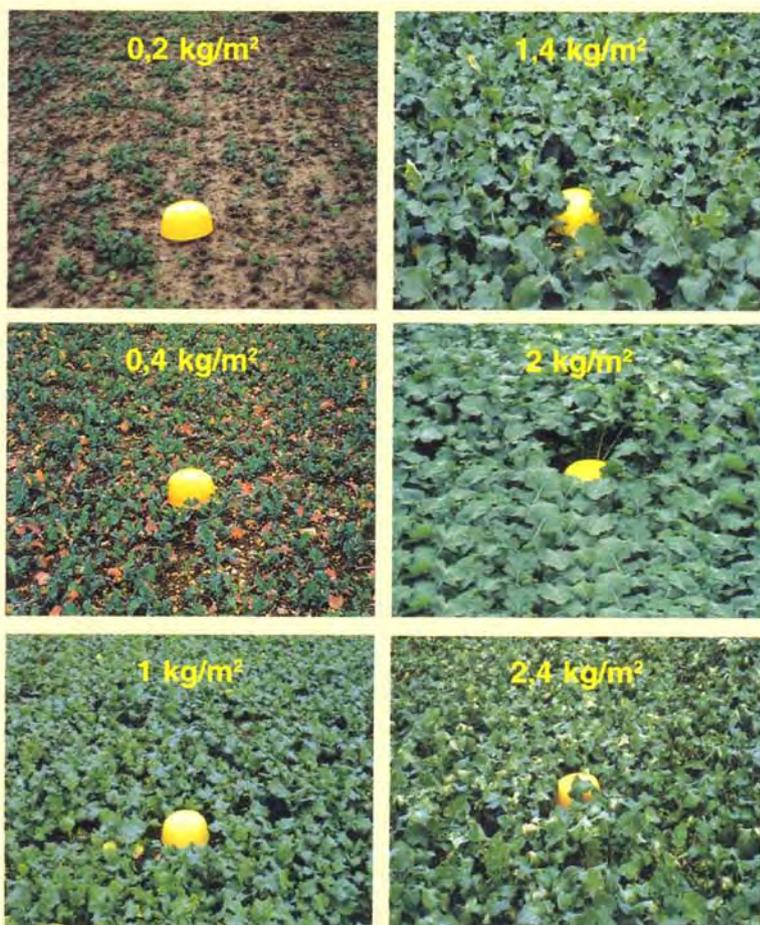
Rapide, bien adaptée aux petits colzas.

ou mieux

La méthode par pesée

Utilisable dans tous les cas.

Situez votre parcelle par rapport à ces photos !



Plus le colza est gros en sortie hiver, plus vous pourrez réduire l'apport total d'azote en conservant le même niveau de production.

Trois étapes pour calculer la dose

- 1 - **Marquez précisément 2 placettes de 1 m²**
(4 placettes si la recherche est irrégulière), puis couper au niveau du sol toutes les plantes des placettes, de préférence quand la végétation est ressuyée.
- 2 - **Pesez les plantes**
fraîchement coupées de chaque placette (sans séchage), puis calculez le poids moyen par placette.
- 3 - **Reportez la valeur** au dos de cette fiche (en arrondissant à la valeur la plus proche) pour connaître la dose à apporter.



Prélever 2 placettes de 1 m².



Peser le colza frais de chaque placette.

2

Pour calculer la quantité d'azote absorbé par le colza, on multiplie le poids frais par 70 d'où

PI colza en Bourgogne = poids frais en kg/m² x 70

Annexe 5 - Exemple de calcul de la dose X sur blé tendre (en kg N/ha) – situation fictive

Situation fictive jamais rencontrée mais reprenant l'ensemble des postes du bilan azoté :

- Rendement : moyenne des rendements des 5 dernières années (en enlevant la meilleure année et la plus mauvaise année) : 83 q/ha
- Variété : APACHE
- Sol : Limon très profond à 1,8 % de MO
- Précédent : Colza
- Paille exportées tous les ans
- Retournement prairie il y a 2 ans à l'automne (âge de la prairie : 4 ans)
- Culture intermédiaire : Mélange de légumineuses et crucifères, 0,5 tMS/ha
- Effluents d'élevage : lisier de porc 20m³ engraissement tous les 3 ans apporté à l'automne
- Irrigation : 50 mm
- Apport de la dose X sous forme de solution azotée

BESOINS			
Pf	Besoins de la culture	Rendement moyen x « b »	83 x 3 = 249
Rf	N après récolte	Sol limoneux très profond	30
TOTAL : 279 kg N/ha			

FOURNITURES			
Pi	Quantité d'azote absorbé à l'ouverture du bilan	Blé à 3 talles à l'ouverture du bilan	25
Ri	RSH	Sol limoneux argileux profond en précédent colza	40
Mh	Minéralisation de l'humus sous la culture	Sol limoneux à 1,8 % de MO x coefficient effet long terme des effluents (lisier de porc tous les 3 ans : catégorie BC et pailles exportées tous les ans)	25 x 1 = 25
Mhp	Minéralisation supplémentaire due aux retournements de prairie	Prairie détruite à l'automne il y a 2 ans, âge de la prairie : 4 ans	5
Mr	Minéralisation des résidus de culture du précédent	Effet précédent colza	20
MrCi	Minéralisation des résidus de culture intermédiaire	Culture intermédiaire mélange légumineuse – crucifères, détruite précocement à 0,5 tMS/ha. Ouverture du bilan sortie hiver	8
XA	Fourniture d'azote par les produits organiques	Quantité d'azote contenu dans le lisier de porc engraissement x 20m ³ x coefficient d'équivalence engrais pour un apport d'automne	3,5 x 20 x 0,2 = 14
Nirr	Azote provenant de l'irrigation	50 mm d'irrigation	0
TOTAL : 137 kg N/ha			

Dose X = 279 – 137 = **142 kg N/ha**

Apport sous forme de solution azotée : **142 kg N/ha +10 %** (pour la prise en compte des pertes sur sol non calcaire),
→ soit **156 kg N/ha**

Annexe 6 - Exemple de calcul de la dose X sur blé tendre (en kg N/ha) – situation plaine céréalière

Situation plaine céréalière :

- Rendement : moyenne des rendements des 5 dernières années (en enlevant la meilleure année et la plus mauvaise année) : 83 q/ha
- Variété : APACHE
- Sol : Limon très profond à 1,8 % de MO
- Précédent : Colza
- Pailles exportées un an sur deux
- Pas d'effet prairie à prendre en compte
- Pas de culture intermédiaire
- Pas d'effluents d'élevage
- Pas d'irrigation
- Apport de la dose X sous forme de solution azotée pour 90 kg N/ha , le reste sous forme d'ammonitrate ou d'urée

BESOINS			
Pf	Besoins de la culture	Rendement moyen x « b »	83 x 3 = 249
Rf	N après récolte	Sol limoneux très profond	30
TOTAL : 279 kg N/ha			

FOURNITURES			
Pi	Quantité d'azote absorbé à l'ouverture du bilan	Blé à 3 talles à l'ouverture du bilan	25
Ri	RSH	Sol limoneux argileux profond en précédent colza	40
Mh	Minéralisation de l'humus sous la culture	Sol limoneux à 1,8 % de MO x coefficient effet long terme des pailles exportées un an sur deux	25 x 0,9 = 22,5
Mhp	Minéralisation supplémentaire due aux retournements de prairie	Pas d'effet	0
Mr	Minéralisation des résidus de culture du précédent	Effet précédent colza	20
MrCi	Minéralisation des résidus de culture intermédiaire	Pas de culture intermédiaire	0
XA	Fourniture d'azote par les produits organiques	Pas de produit organique	0
Nirr	Azote provenant de l'irrigation	Pas d'irrigation	0
TOTAL : 107,5 kg N/ha			

Dose X = 279 – 107,5 = **171,5 kg N/ha**

Apport sous forme de solution azotée : 90 kg +10 % (pour la prise en compte des pertes en sol non calcaire),
→ soit **99 kg N/ha**

Apport sous forme ammonitrate :
171,5 – 90 = **81 kg N/ha**