

DIRECTIVE NITRATES

RAISONNEMENT DE LA FERTILISATION AZOTEE



Table des matières

Table des matières	2
i - Raisonnement de la fertilisation azotée :	4
La méthode du bilan : vers un juste équilibre des besoins et de l'offre	4
Calcul de la dose totale :	5
1 - BESOINS DE LA CULTURE	6
2 - FOURNITURES	10
3 - FERTILISATION AZOTEE.....	19
ii - fertilisation azotée POUR LE MAÏS :	25
1 - BESOINS DES CULTURES	25
EQUATION DU BILAN.....	25
Coefficient Apparent d'Utilisation (CAU)	25
Besoins de la plante (1) :	25
Maïs semence	26
Minéralisation de l'humus du sol	26
Azote apporté par l'eau d'irrigation	29
Azote de la fraction minérale d'un engrais organique (effet direct).....	29
Calcul de l'apport minéral en engrais de synthèse (X).....	29
iii - fertilisation azotée POUR LES PRAIRIES A BASE DE GRAMINEES :	30
Naturelles ou temporaires.....	30
EQUATION DU BILAN.....	30
Coefficient Apparent d'Utilisation (CAU).....	30
1- Calcul des besoins de la prairie	31
Objectif de rendement (TMS/ha) :	31
2- Calcul des fournitures globales d'azote du sol	31
Fournitures d'azote par les restitutions au pâturage (Kg N/ha) :.....	32
Azote fourni par les légumineuses (Kg N/ha) :	32
3 - Prise en compte de l'effet direct des engrais organique de l'année	32
Effet direct des engrais organiques de l'année =	33
Teneur en azote total du produit x Quantité effluent épandu x Coefficient d'équivalence = ③	33
Calcul de la dose d'azote minéral à apporter X.....	33
Exemple de calcul :	33
iv – FERTILISATION AZOTEE DES cultures avec dose plafond :	34
Tournesol.....	34

Soja	34
Pois potager.....	34
Luzerne	34
Vigne	35
Cerisiers	35
Cassis	35
Miscanthus - Switchgrass	36
Sapins de Noël	36
Cultures orphelines et nouvelles cultures	36

PREAMBULE

Depuis 2012, la révision de la Directive Nitrates a conduit à la création d'un Groupe Régional d'Expertise Nitrates (GREN) dans chaque région. Ce groupe est composé d'experts issus des services de l'Etat, des Chambres d'Agriculture, des Instituts Techniques, des coopératives et négoce, des établissements de recherche et d'enseignement de la région ainsi que d'un représentant des Agences de l'Eau. Le GREN a eu pour mission d'élaborer un cadre de référence régional pour le raisonnement de la fertilisation azotée à partir du document de référence national issu des travaux du COMIFER.

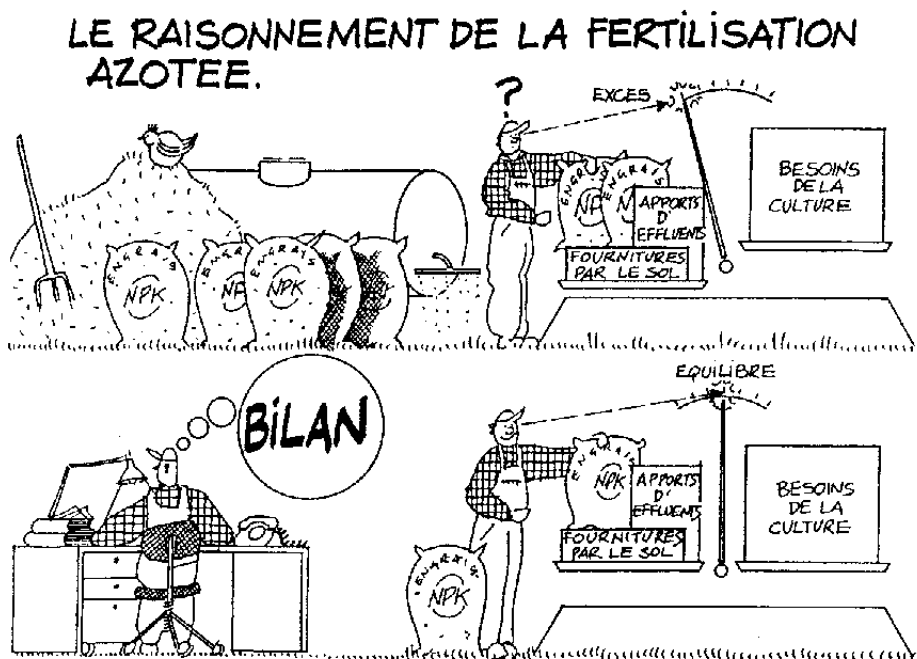
I - RAISONNEMENT DE LA FERTILISATION AZOTEE :

La bonne gestion économique de l'exploitation ainsi que la protection de l'environnement (lutte contre le lessivage des nitrates) passent par un bon ajustement de la fertilisation azotée. Ce document regroupe les références nécessaires pour conduire de façon raisonnée la fertilisation azotée des cultures.

La dose des fertilisants épandus sur chaque îlot cultural localisé en zone vulnérable est limitée en se fondant sur l'équilibre entre les besoins prévisibles en azote des cultures et les apports et sources d'azote de toute nature.

Le calcul de la dose prévisionnelle d'azote à apporter par les fertilisants s'appuie sur la méthode du bilan.

La méthode du bilan : vers un juste équilibre des besoins et de l'offre



Cette méthode s'applique à la plupart des cultures, elle prend en compte les besoins en azote des cultures et les restitutions d'azote par le sol.

Dose conseillée = Besoins de la culture – Fournitures

Pour paramétrer cette méthode, ont été pris en compte par ordre de priorité :

- les références régionales quand elles existent,
- les références nationales,
- les estimations empiriques (si les connaissances précises n'existaient pas) à dire d'expert pour être exhaustif dans le conseil.

Calcul de la dose totale :

La méthode dite du "bilan" pour le calcul de la dose d'engrais totale à apporter peut être présentée ainsi :

Besoins de la culture (A)	Fournitures (B)
Besoin de la plante (1) :	Reliquat d'azote sortie hiver (4) :
x	+ Minéralisation de l'humus du sol (5):
Objectif de rendement (2) :	(y compris Arrière-effet des MO)
+	+ Effet du précédent (6) :
	+ Effet des cultures intermédiaires (7) :
	+ Effet du retournement de prairie (8) :
Azote restant dans le sol après la récolte (3) :	+ Azote absorbé pendant l'hiver (9) :
	+ Azote apporté par l'eau d'irrigation (10) :
TOTAL A :	TOTAL B :
Fertilisation azotée prévisionnelle = Apport azote minéral et organique (en unités ou kg d'azote/ha) = Besoins (A) - Fournitures (B) =	

Concernant l'équation de ce bilan, l'hypothèse est faite que les apports atmosphériques sont de même amplitude que les pertes gazeuses (volatilisation de l'ammoniac et de la dénitrification). Il est donc important de limiter autant que faire se peut les émissions vers l'air, que ce soit pour utiliser au mieux l'azote apporté ou pour réduire les impacts négatifs de l'ammoniac et du protoxyde d'azote.

1 - BESOINS DE LA CULTURE

Les plantes absorbent l'azote en fonction de leurs besoins et de sa disponibilité dans le sol.

L'objectif du raisonnement de la fertilisation azotée est d'apporter la quantité d'azote nécessaire à l'obtention du potentiel de rendement et ceci sans négliger la qualité de la production dans une situation donnée.

Besoins culture = (besoins de la plante * objectif de rendement) + azote restant après récolte

LES BESOINS (b) DE LA PLANTE (1) :

C'est la quantité d'azote dont la plante a besoin pour constituer ses feuilles, racines et grains. Elle s'exprime en kg d'azote par quintal de grain produit pour les cultures dont l'absorption d'azote est proportionnelle au rendement.

Culture	Besoin (b) (en kg N/unité de production)	Variétés	Unité de producti on	Source
Avoine	2,2		q	Arvalis, 2012
Blé améliorant	3,7	Manital, Renan		
<i>Les autres variétés améliorantes non référéncées ici sont positionnées par défaut en b = 3,9</i>	3,9	Antonius, Esperia, Forcali, Galibier, Izalco CS, Lennox, MV Suba, Quality, Rebelde	q	Arvalis, 2016
	4,1	Adesso, Amicus, Bologna, Bussard, CH Claro, CH NARA, Courtot, Figaro, Ghayta, Guadalete, Levis, Logia, Lona, Nara, Qualital, Quebon, Runal, Sagittorio, Skerzzo, Tamaro, Ubicus		
Blé dur	3,7	Atoudur, Biensur, Gibus, Joyau, Pescadou, Pictur, Plussur, Qualidou, RGT Fabionur, RGT Izalmur, RGT Voilur, Sy Banco		
	3,9	Anvergur, Casteldoux, Cultur, Fabulis, Karur, Miradoux, Lloyd, Luminur, Janeiro, (Babylone), Nemesis, Pastadou, Sy Cysco, Toscadou	q	Arvalis, 2016
	4,1	Alexis, Aventur, Daurur, Floridou, Haristide, LG Boris, Nobilis, Relief, RGT Musclur, Sculptur, Tablur		
Colza	7		q	Cetiom 2012
Moutarde	6,5		q	CA 21
Chanvre	15		t de paille et chênevis	Cetiom2012
Lin oléagineux	4,5		q	Cetiom2012
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		q	Arvalis, 2013
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.

Cas particulier du blé tendre :

Pour le blé tendre, le besoin en azote à prendre en compte est le suivant :

- si l'objectif de production est uniquement d'optimiser le rendement, alors c'est le besoin unitaire b associé à la variété qui doit être pris en compte
- si l'objectif associe un rendement optimal et une teneur en protéines d'au moins 11,5 %, alors c'est le besoin unitaire bq qui doit être pris en compte. Dans ce cas, il est conseillé de reporter la dose d'azote correspondant à la différence bq-b vers la fin de montaison où l'apport d'azote sera le plus efficace sur l'augmentation de la teneur en protéines.

Variété de blé tendre	Besoin (b) en kg N/q	Besoin (bq) en kg N/q
Addict, Adhoc, Advisor, Aigle , Ambition, Arlequin, Armada, Atoupic, Basmati, Bermude, Boisseau, Complice, Costello, Creek , Diderot, Fairplay, Folklor, Garcia, Granamax, Hybello, Hybery, Hybiza, Hyclick, Hydrock, Hyguardo, Hyking, Hystar, Hysun, Hyteck, Hywin, JB Diego, Kundera, Lear, Lithium, Lyrik, Modern, Popeye, RGT Mondio, RGT Texaco, Salvador, Sokal, Stadium, Stereo, Trapez, Tremie, Viscount, Zephyr	2,8	3,0
Glasgow, Istabraq, Sobred, Torp		3,2
Accor, Alhambra, Allez Y, Altigo, Andino, Apache, Apanage, Aplomb, Aprilio, Arezzo, As De Coeur, Aubusson, Bagou, Bonifacio, Boregar, Brentano, Buenno, Calabro, Calcio, Calisol, Calumet, Cellule, Cezanne, Chevalier, Comilfo, Compil, Descartes, Diamento, Distinxion, Ephoros, Euclide, Fluor, Forblanc, Foxyll, Galactic, Galopain, Goncourt, Gotik, Hyfi, Hyxo, Hyxpress, Illico, Interet, Isengrain, Kalystar, Koreli, Lavoisier, LG Abraham, LG Absalon, LG Altamont, Memory, Musik, Nucleo, Numeric, Oregrain, Paledor, Pibrac, Prevert, Reciproc, RGT Ampiezzo, RGT Cesario, RGT Kilimanjaro, RGT Tekno, RGT Velasko , RGT Venezia, Rochfort, Rubisko, Rustic, Saint Ex, Samurai, Scenario, Silverio, Sirtaki, Sobbel, Solehio, Sollario, Solognac, Solveig, Sothys CS, Sponsor, Starway, Syllon, Vyckor	3,0	3,0
Accroc, Alixan, Andalou, Aristote, Arkeos, Ascott, Auckland, Barok, Belepi, Bergamo, Chevron, Collector, Expert, Fructidor, Gallixe, Grapeli, Hyxtra, Ionesco, Laurier, Matheo, Milor, Nemo, Oxebo, Pakito, Pr22r58, RGT Celesto, RGT Libravo, RGT Sacramento, Ronsard, Sherlock, SY Mattis, SYMoisson, System, Terroir, Thalys, Tobak, Triumph, Valdo, Waximum		3,2
Aerobic, Altamira, Ambello, Athlon, Atlass, Bienfait, Camp Rémy, CCB Ingenio, Centurion, Exelcior, Exotic, Falado, Graindor, Hendrix, Lazaro, Lukullus, Manager, Nogal, Scipion, Soissons, Sorrial, Tulip	3,2	3,2

Source : Arvalis – Institut du végétal, décembre 2016

OBJECTIF DE RENDEMENT (2) :

C'est le rendement qui peut raisonnablement être atteint ; il est déterminé en fonction de la plante (variété, date de semis, densité de peuplement...), de la parcelle (aptitude du sol, réserve en eau...) et de l'itinéraire technique.

Il est calculé à partir de l'historique de rendement sur l'exploitation en retenant la moyenne des 3 rendements obtenus au cours des 5 dernières campagnes sur la parcelle ou une parcelle équivalente au plan agronomique après avoir exclu la valeur maximale et la valeur minimale.

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, également calculé en excluant la valeur maximale et la valeur minimale, est utilisé en lieu et place de ces références.

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 (cf annexe 1).

S'il manque une référence pour une des cinq dernières années, il est possible de remonter à la sixième année, et de procéder à la moyenne selon les mêmes règles (exclusion des extrêmes).

En cas de déclaration de calamités agricoles, de catastrophe naturelle (arrêté préfectoral catastrophe naturelle ou cas de force majeure), de déclaration de dégâts (gel, grêle, sécheresse, excès d'eau) auprès des assurances, de déclaration de dégâts de gibier auprès de la fédération départementale des chasseurs, il est possible d'exclure l'année considérée et de la remplacer par l'année n-6.

Dans tous les cas, l'agriculteur devra être à même de justifier de la pertinence des valeurs de rendement qu'il aura utilisées et présenter les documents correspondants.

Pour certaines cultures, il n'y a pas de relation directe entre le niveau de production et la quantité d'azote absorbée par la plante à la récolte. On utilise donc une valeur de besoin d'azote par unité de surface.

→ 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
	160	Haricot extrafins ou très fins	UNILET, 2012
	180	Haricot gros calibre	
	190	Flageolet ou haricot blanc sec	
	270	Pois potager	
Légumes d'industries	110	Jeune carotte (type Amsterdam)	
	200	Grosse carotte (type Flakkee)	
	185	Épinard	
	260	Scorsonère/Salsifis	
	230	Brocoli	
Pomme de Terre		Voir fiches culture	
Oignons d'industrie	190		Chambre d'Agriculture 21
Porte-graine		Voir fiches culture	FNAMS, 2012

AZOTE RESTANT APRES RECOLTE (3) :

C'est la quantité d'azote qui reste dans le sol et qui n'a pu être utilisée par la culture (influence de l'état de l'enracinement de la culture et du climat).

Il doit être le plus faible possible pour limiter les risques de lessivage : il peut varier de 10 à 40 unités selon l'état et la profondeur du sol.

Valeurs en kg N/ha

Profondeur du sol	Sol léger Argile < 15 % Limons < 45% CaCO ₃ < 10%	Sol limoneux 15 % < Argile < 30 % Limons > 45% CaCO ₃ < 10%	Sol argileux Argile. > 30 % et sols de craie
	Sable, Limons sableux hydromorphes et sains	Limons argileux profonds, Limons profonds	Argilo-calcaires superficiels, Argilo-calcaires moyens et craie de l'Yonne, Argilo-calcaires profonds et terre argileuse calcaire, Argilo-limoneux décarbonatés, Argiles à silex, Alluvions argileuses et terre humifère, Terre argileuse ou argilo-sableuse hydromorphe
Sol superficiel (0 à 30 cm)	5	10	15
Peu profond (0 à 60 cm)	10	15	20
Profond (0 à 90 cm)	15	20	30
Très profond (0 à 120 cm)	20	30	40

Source Comifer

2 - FOURNITURES

Elles peuvent être très variables selon les sols et les apports organiques.

FOURNITURES =

RELIQUATS + MINÉRALISATION DE L'HUMUS DU SOL (DONT L'ARRIÈRE-EFFET DES APPORTS ORGANIQUES) + RESIDUS DU PRÉCÉDENT + EFFET DES CULTURES INTERMÉDIAIRES + EFFET DES RETOURNEMENTS DE PRAIRIE + AZOTE ABSORBÉ PENDANT L'HIVER + AZOTE APPORTÉ PAR L'EAU D'IRRIGATION

LE RELIQUAT D'AZOTE SORTIE HIVER (4) :

Il est très variable d'une année sur l'autre car il est fonction du type de sol, du passé cultural de la parcelle, de la pluviométrie et de la température hivernale ainsi que du bilan de l'azote sur le précédent. Ce reliquat peut être mesuré par prélèvement d'échantillons de sol et analysé à la fin de l'hiver ou estimé à partir de références agronomiques locales. Il doit être réalisé sur la profondeur du sol exploitable par les racines.

En cas d'absence d'analyse sur la parcelle et d'indisponibilité de la synthèse régionale annuelle, 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, mise à jour avec des résultats obtenus en 2013 et 2014.

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

SOLS ARGILEUX : Argilo-calcaires superficiels, Argilo-calcaires moyens et craie de l'Yonne, Argilo-calcaires profonds et terre argileuse calcaire, Argilo-limoneux décarbonatés, Argiles à silex, Alluvions argileuses et terre humifère, Terre argileuse ou argilo-sableuse hydromorphe

Cultures en place	Culture précédente ou CIPAN	Profondeur du sol		
		Superficiel	Moyennement Profond	Profond
Céréales d'hiver	Colza, pois, légumes	15	30	40
	Tournesol	10	20	30
	Céréales, maïs, soja	10	25	35
	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

SOLS LIMONEUX : Limons argileux profonds, Limons profonds

Cultures en place	Culture précédente ou CIPAN	Profondeur du sol		
		Superficiel	Moyennement Profond	Profond
Céréales d'hiver	Colza, pois, légumes	10	20	25
	Tournesol	5	10	15
	Céréales, maïs, soja	5	15	20
	Betteraves	Sans objet	15	20
	Luzerne	15	25	35
Colza	Céréales	5	10	15
Cultures de printemps	Sans CIPAN	15	30	45
	Avec CIPAN	10	20	30

SOLS SABLEUX : Sable, Limons sableux hydromorphes et sains

Cultures en place	Culture précédente ou CIPAN	Profondeur du sol		
		Superficiel	Moyennement Profond	Profond
Céréales d'hiver	Colza, pois, légumes	10	20	25
	Tournesol	5	10	15
	Céréales, maïs, soja	5	15	20
	Betteraves	Sans objet	15	20
	Luzerne	15	25	35
Colza	Céréales	5	10	15
Cultures de printemps	Sans CIPAN	15	30	45
	Avec CIPAN	10	20	30

Source Chambres d'agriculture Bourgogne (à partir de données régionales) – validées par le GREN – janvier 2015

Pour être valables, 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 (RSH) est aussi la date d'ouverture du bilan.

→ Dans les situations 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 $30 - (0,20 \times 30)$ soit 24 unités.

LA MINERALISATION DE L'HUMUS DU SOL (5) :

Dépend du taux de matière organique, du pH, du taux d'argile, de la structure du sol et de l'activité biologique. Les valeurs ont été calculées pour un certain nombre de types de sols.

La valeur de la minéralisation de l'humus dépend également de l'enfouissement des résidus de récolte et de l'apport régulier de matière organique. Une correction de la valeur présentée dans le tableau est effectuée en fonction de ces apports (cf paragraphe suivant).

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	20	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	25	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, Plaine	25	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	35	70	70
Argilo-calcaire superficiels	Petite terre à cailloux, G1, rendosol...	Plateaux de Bourgogne, Bourgogne nivernaise, Sénonais, Plateaux nivernais, Côte viticole	10	20	40
Argilo-calcaire moyens et craie Yonne	Petites aubue, G2, calcosol moyennement profond...	Plateaux de Bourgogne, Bourgogne nivernaise, Sénonais, Amogne, Côte viticole	15	30	50
Argilo-calcaire profonds et terre argileuse calcaire	Aubues rouges, G3, calcosol argileux...	Plateaux de Bourgogne, Centre nivernais, Auxois, Plaine	20	30	50
Argilo-limoneux décarbonatés	Calcosol argileux	Centre Nivernais, Auxois, Secteur neversois, Entre Loire et Allier, Amogne, Côte viticole, Plaine	30	50	70
Argiles à silex		Pays d'Othe, Puisaye, Gâtinais, Plateau nivernais	15	30	50
Alluvions argileuses et terre humifère	Fluvisol argileux...	Vallées	35	60	90
Limons sableux, hydromorphe		Sologne bourbonnaise, Bresse, Puisaye, Plaine dijonnaise	25	50	70
Limons sableux, sain	Brunisol sablo-limono-argileux, alocrisol...	Sologne bourbonnaise, Bresse, Puisaye	25	30	50
Sable		Val de Loire et d'Allier, Morvan, Sologne bourbonnaise, Val de Saône	25	30	40
Terre argileuse ou argilo-sableuse, hydromorphe	Brunisol argileux, pélosol, rédoxisol...	Sologne bourbonnaise, Bresse, Puisaye, Champagne humide, Auxerrois, Val de Saône, Morvan, Auxois, Côte viticole	15	30	50

Modulation de cette minéralisation de l'humus par la gestion des matières organiques :

Un épandage libère de l'azote rapidement (effet direct) et les années suivantes (arrière-effet). L'arrière-effet n'est à prendre en compte que dans les cas d'apports réguliers.

Pour prendre en compte les apports organiques sur le long terme (résidus de récolte, effluents d'élevage...) et leur arrière effet, on corrige la valeur Mh du tableau en la multipliant par les coefficients ci-dessous :

Fréquence des apports organiques exogènes et types de produits							
	Jamais	5-10 ans		3-4 ans		1-2 ans	
		A	BC	A	BC	A	BC
Résidus de récolte		A	BC	A	BC	A	BC
Exportés - brûlés	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.

Minéralisation de l'humus du sol (5) = Minéralisation de l'humus
x arrière effet des apports organiques

L'EFFET DU PRECEDENT (6) :

Correspond à l'azote libéré ou réorganisé provenant des résidus de récolte du précédent. Les valeurs retenues pour une culture normalement fertilisée sont les suivantes :

Nature du précédent	Mr (kg N/ha)	
	Date d'ouverture du bilan (date de mesure du reliquat azoté)	
	Sortie Hiver	Avril*
Betterave	20	10
Carotte	10	0
Céréales pailles enfouies	-20	-10
Céréales pailles enlevées ou brûlées	0	0
Colza	20	10
Moutarde	10	0
Oignons d'industrie	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)	En cours d'étude	

.../...

Nature du précédent	Mr (kg N/ha)	
	Date d'ouverture du bilan (date de mesure du reliquat azoté)	
	Sortie Hiver	Avril*
Mais fourrage	0	0
Mais 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 Arvalis – Institut du végétal, INRA 2012

Pour les jachères :

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

L'EFFET DES CULTURES INTERMÉDIAIRES (7) :

Il faut ajouter éventuellement l'effet d'une culture intermédiaire piège à nitrates (CIPAN) qui varie selon les critères suivants : l'espèce, le niveau de croissance, la date de destruction et la date d'ouverture du bilan.

Dose d'azote fournie par la culture intermédiaire à la culture suivante (kg N/ha)

	Niveau de Croissance	Ouverture du bilan en sortie hiver		Ouverture du bilan en Avril *		
		Production de la CI (t MS/ha)	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	<= 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

L'ARRIERE EFFET DES PRAIRIES (8) :

La destruction de prairies s'accompagne d'une minéralisation intense d'azote qui dépend de la conduite et de l'âge de la prairie au moment de sa destruction.

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 : Effet azote prairie sur le supplément de minéralisation (en kg N/ha)

1

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

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

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).

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 pur en fauche intégrale.

L'AZOTE ABSORBE PENDANT L'HIVER (9) :

En général, il y a une liaison étroite entre l'azote absorbé par la plante et la quantité de biomasse produite à l'ouverture du bilan.

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

Nombre de talles	Moins de 3 feuilles	3 premières feuilles du maître brin	Maître brin +				
			1 talle	2 talles	3 talles	4 talles	5 talles
Pi (Kg N/ha)	10	10	15	20	25	30	35

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

Source : CETIOM, 2014

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.

L'époque d'ouverture du bilan se situe à la fin de l'hiver juste avant la reprise d'une croissance active (sortie hiver). C'est généralement à ce moment que doit être mesurée la quantité d'azote absorbé par la culture. Toute fois dans les situations où les froids hivernaux risquent de conduire à de fortes chutes de feuilles vertes consécutives au gel, il est conseillé de réaliser aussi une estimation de la quantité d'azote absorbé par la culture à l'automne, avant les premiers froids (entrée hiver). En effet, une partie (estimée à 50 %) de l'azote restitué au sol par l'intermédiaire de ces feuilles vertes gelées peut être absorbé par la culture en place au printemps. Ce « recyclage » de l'azote des feuilles gelées est donc pris en compte pour le calcul du Pi.

La quantité d'azote absorbée par la culture à l'entrée (NabsEH) et à la sortie de l'hiver (NabsSH) est obtenue en utilisant les rapports suivants :

➤ NabsEh (kgN/ha) = poids frais en kg/m² x 50

➤ NabsSh (kgN/ha) = poids frais en kg/m² x 65

La quantité d'azote absorbée à l'ouverture du bilan (Pi) est alors égale à :

- Disponibilité de la quantité d'azote absorbée par la culture à l'entrée et à la sortie de l'hiver :
 - Si $N_{absEH} > N_{absSH}$, $P_i = N_{absSH} + (0.5 \times (N_{absEH} - N_{absSH}) / 1.35)$
 - Sinon, $P_i = N_{absSH}$
- Disponibilité de la quantité d'azote absorbée par la culture à la sortie de l'hiver seulement :
 - $P_i = N_{absSH}$

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 est la suivante (Réglotte azote colza, CETIOM, 2014) :

- délimiter 2 à 4 placettes de 1 m² chacune, représentatives de la parcelle (attention, bien prendre en compte la largeur de l'entre-rang),
- prélever les plantes, lorsque la végétation est ressuyée (en absence de rosée ou de pluie). Prélever de préférence à l'entrée et à la sortie d'hiver. Dans les régions froides, faire la pesée entrée d'hiver avant la destruction des feuilles par le gel. A la sortie d'hiver, prélever juste avant la reprise de croissance.
- couper les plantes au niveau du collet, au ras du sol, et les débarrasser des éventuelles mottes de terre et des débris végétaux (pailles, feuilles mortes)
- peser les plantes fraîchement coupées sur chaque placette sans séchage et calculer le poids moyen de matière fraîche par m² à l'entrée et à la sortie de l'hiver
- calculer la quantité d'azote absorbé dans la culture à l'entrée (N_{absEH}) et à la sortie de l'hiver (N_{absSH}) :
 - o N_{absEH} (kgN/ha) = poids frais en kg/m² x 50
 - o N_{absSH} = poids frais en kg/m² x 65

La quantité d'azote absorbée à l'ouverture du bilan (P_i) peut être calculée selon la méthode décrite au début du paragraphe.

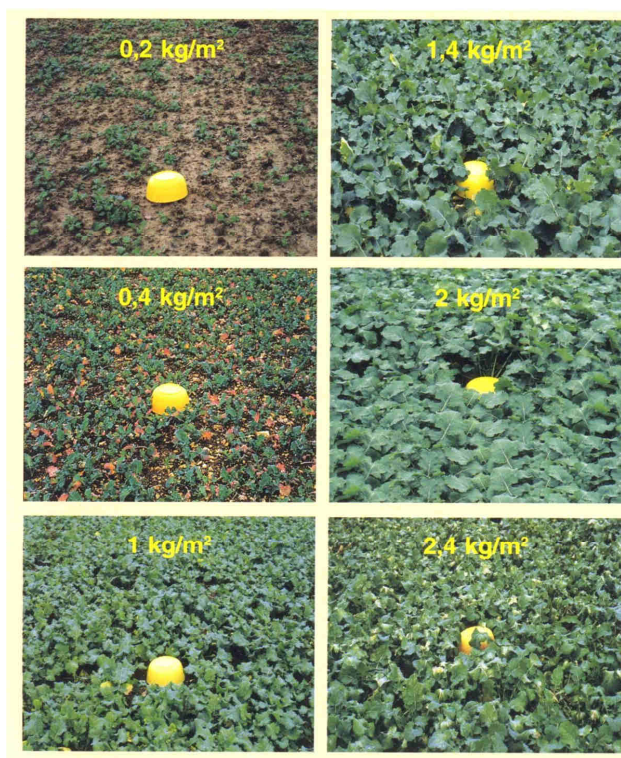
Parcelles hétérogènes :

Si la parcelle comprend plusieurs zones avec des densités ou des niveaux de croissance très différents, il convient de réaliser la même opération sur chacune de ces zones (2 à 4 placettes par zone).

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.

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.

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.

L'AZOTE APPORTE PAR L'EAU D'IRRIGATION (10) :

L'eau d'irrigation est une source à part entière d'azote pour la culture. Les apports d'azote par l'eau d'irrigation peuvent être importants si celle-ci est chargée en nitrates et si les cultures sont fortement arrosées.

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.

3 - FERTILISATION AZOTEE

Le bilan des fournitures et des besoins de la culture nous donne la dose totale d'azote à apporter à la culture.

APPORTS ORGANIQUES :

La valeur fertilisante des produits dépend de la quantité, la composition du produit apporté et le coefficient d'équivalence-engrais qui rend compte globalement des pertes et de la disponibilité pour la culture sur laquelle il a été épandu.

- **Quantité épandue :**

Elle peut être évaluée par estimation selon les caractéristiques de l'élevage ou par pesée ;

- **Composition :**

Elle peut être estimée par les teneurs moyennes (cf. tableau page 18) ou connue en réalisant une analyse du produit épandu; dans ce cas, la valeur utilisée doit être justifiée par une ou des analyses représentatives et récentes (moins de 4 ans et conditions équivalentes de production) du fertilisant organique épandu. Pour les systèmes de production dans lesquels la composition du fertilisant organique produit est variable au cours du temps, plusieurs analyses sont indispensables pour caractériser le fertilisant organique épandu.

- **Coefficient d'équivalence-engrais :**

Un épandage libère de l'azote rapidement l'année de l'épandage (effet direct) et les années suivantes (arrière-effet). L'arrière-effet est comptabilisé dans les fournitures du sol. En ce qui concerne la fertilisation azotée, on ne prend en compte que l'effet direct.

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 les apports organiques 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.

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	Npro	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 ² 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		5,8	ITP
Lisier porcs mixte	C		3,5	
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 pré-séchées 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

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.

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	0,10
Fumier de bovins pailleux et décomposés	A	0,10	0,15
Fumiers de porcs, fumiers de volailles, lisier de bovins	B	0,10	0,20
Lisier de porcs et de volailles	C	0,15	0,45

▪ 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	0,30
Lisier de porcs et de volailles	C	0,10	0,50

▪ 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	0,45
Lisier de porcs et de volailles	C	0,10	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.

▪ *Culture dérobée/CIPAN :*

La valeur du coefficient d'équivalence engrais à retenir est :

- Effluents de type A (fumiers, composts) : $Keq = 0,15$
- Effluents de type B ou C (fumiers de volailles et autres effluents d'élevage) $Keq = 0,20$

Exemple :

Soit un apport à l'automne avant un blé de 20 t/ha de fumier de bovin lait en stabulation paillée.
Effet direct : $20 * 5,5 * 0,10 = 11$ unités

Ces 11 unités seront notées comme fertilisation azotée organique.

L'effet indirect (arrière effet) sera comptabilisé dans les fournitures du sol.

APPORTS D'ENGRAIS MINÉRAUX :

Il est obligatoire de fractionner la dose totale en deux apports minimum lorsque la dose totale dépasse la dose plafond du 1^{er} apport.

Cas d'un calcul nul ou négatif :

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).

Lorsque le calcul de la dose prévisionnelle indique un résultat compris entre 0 et 30 kg N/ha, il est conseillé d'apporter une dose forfaitaire de 30 kg N/ha pour toutes les cultures car il est difficile d'épandre une dose plus faible avec précision.

Lorsque le calcul de la dose prévisionnelle indique un résultat négatif (situations très particulières et rares), aucun engrais minéral azoté ne doit être apporté.

Volatilisation :

Le calcul de la dose prévisionnelle d'azote, qui se place dans la configuration potentielle d'efficacité maximale de l'engrais azoté ne doit pas tenir compte de la volatilisation ammoniacale des engrais minéraux. La prise en compte de cette perte, potentiellement très variable, n'intervient pas a priori dans le calcul prévisionnel de l'apport total mais fait l'objet d'une analyse de risque à chaque apport pour :

1. Eviter ou réduire la perte ammoniacale par des pratiques adaptées :

D'une manière générale, toutes les pratiques culturales qui tendent à maximiser l'efficacité de l'azote apporté (maximisation du coefficient d'utilisation de l'azote) doivent être privilégiées avant de recourir à une majoration de dose. Une liste de ces pratiques est disponible sur le site du COMIFER (<http://www.comifer.asso.fr/>).

2. Utiliser une grille d'évaluation du risque avant chaque apport d'azote :

Lorsqu'un engrais à base uréique et/ou ammoniacale tel que l'urée et la solution azotée est apporté en plein en cours de culture sans possibilité d'enfouissement/incorporation ou infiltration, une grille d'évaluation du risque de perte d'efficacité permet d'ajuster l'apport prévu en appliquant une majoration de 0 à 15 % à cet apport. Cette grille, disponible sur le site Internet du COMIFER (<http://www.comifer.asso.fr/>) est utilisable avant chaque apport.

Dans les cas d'apport en plein en cours de culture, sans possibilité d'enfouissement/incorporation ou infiltration, d'un engrais à base uréique et/ou ammoniacale tel que l'urée et la solution azotée, cette grille sera considérée comme un « outil de pilotage de la fertilisation » au sens du 3° du III de l'annexe I de l'arrêté du 19 décembre 2011 (et de l'article 7 du présent arrêté) et peut donc être utilisée pour justifier d'un apport supérieur à la dose prévisionnelle calculée (dans la limite de la majoration de dose que la grille indique).

L'agriculteur devra alors produire la grille d'évaluation de l'apport ayant fait l'objet d'une majoration et les justificatifs prouvant qu'il s'agissait d'un apport en plein en cours de culture sans possibilité d'enfouissement/incorporation ou infiltration.»

Grille d'évaluation du risque de volatilisation ammoniacale pour chaque apport

(cas d'apport en plein sur végétation)

Date d'apport :				
Parcelle				
Culture				
			Note	Votre situation
SOL	pH	pH < 7	0	
		7 < pH < 7.5	2	
		pH > 7.5	3	
	CEC	< 12 meq/100g terre	2	
> 12 meq/100g terre		0		
CLIMAT	Pluviométrie prévue à 3 jours	< 10 mm/3 jours	4	
		> 10 mm/3 jours	0	
	Vitesse du vent	≤ 3 Beaufort (0-19km/h)	0	
		> 3 Beaufort (> 19km/h)	2	
	Température jour de l'apport	< 6°C	0	
		[6-13]°C	3	
	> 13°C	6		
			NOTE globale	
			* =	0

* somme de la colonne

Majoration de l'apport d'après l'évaluation du risque de volatilisation

NOTE globale	< 4	[4-8]	[9-13]	> 13
Solution azotée & urée, toutes cultures sauf urée sur céréales à paille d'hiver	0%	5%	10%	15%
Urée solide sur céréales à paille d'hiver	En attente			

Dépassement de la dose prévisionnelle :

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.

II - FERTILISATION AZOTEE POUR LE MAÏS :

Maïs grain - Maïs fourrage - Sorgho grain - Sorgho fourrager

1 - BESOINS DES CULTURES

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 minéraux viennent garantir l'alimentation de la plante à la hauteur de ces besoins en prenant en compte un facteur d'efficacité de la consommation d'azote, qui est en moyenne de 70 % sur le cycle de la culture.

EQUATION DU BILAN

Besoins de la culture (A)	Fournitures (B)
Besoin de la plante b (1) :	Minéralisation de l'humus du sol (3):
x	(+ Arrière-effet des MO)
Objectif de rendement (2) :	+ Effet de retournement de prairie (4) :
(t MS/ha ou qx/ha)	+ Effet des cultures intermédiaires (5) :
	+ Azote apporté par l'eau d'irrigation (6) :
TOTAL A :	TOTAL B :
Fertilisation azotée prévisionnelle = Apport azote minéral et organique (en unités ou kg d'azote/ha) = [Besoins (Total A) - Fournitures (Total B)]/0,72 =	

Coefficient Apparent d'Utilisation (CAU)

Le Coefficient Apparent d'Utilisation (CAU) est de 72 % sur l'ensemble du cycle.

Coefficient Apparent d'Utilisation = 0,72

Besoins de la plante (1) :

b : besoin d'azote par unité de production (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 ObjRdt <= 14 t b = 13 entre 14 et 18 t b = 12 si ObjRdt > 18 t

Maïs grain	q (normes hum.) /ha	b = 2.3 si ObjRdt <100 q b = 2.2 entre 100 et 120 q b = 2.1 si ObjRdt > 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

Maïs semence

Pour cette culture, le besoin total s'exprime ainsi :

Besoin total = (Besoin total femelle) / c.o.f.

c.o.f. : Coefficient d'occupation par les femelles

Besoin femelle

Rdt à 15% H ₂ O femelle (qx/ha)	Besoin semences femelle (KgN/ha)
[0-10[	70
[10-15[	85
[15-20[	95
[20-25[	105
[25-30[	115
[30-35[	125
[35-40[	130
[40-45[	135
[45-50[	140
[50-55[	145
[55-60[	150
[60-70[	155
[70-..]	165

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

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.

Minéralisation de l'humus 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	Fournitures globale kg/ha sans apports organiques
Limons argileux profonds (MO<2%)	80
Limons argileux profonds (MO>2%)	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
Argilo-limoneux décarbonatés	70
Argiles à silex	55
Alluvions argileuses et terre humifère	90
Limons sableux	85
Limon sableux sain	50
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.

$$\begin{aligned}
 &\text{Minéralisation de l'humus du sol} \\
 &= \\
 &\text{Fourniture globale sans apport organique} \times \text{coefficient apport organique} \\
 &= \\
 &\boxed{} \text{ ③}
 \end{aligned}$$

Minéralisation due à un retournement de prairie

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

Les valeurs des tableaux a et b 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).

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	maïs	15	35	55	65	75
	2	maïs ou blé	5	5	5	5	5
	3	maïs ou blé	5	5	5	5	5

Minéralisation nette due à un retournement de prairie = ④

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

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

Minéralisation nette des résidus de culture intermédiaire = ⑤

Azote apporté par l'eau d'irrigation

L'azote contenu dans l'eau d'irrigation est prise en compte selon le tableau suivant :

Irrigation	Quantité d'azote à prendre en compte
Inférieur à 100 mm	0 u
Entre 100 et 200 mm	5 u
Supérieur à 200 mm	10 u

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

$$\text{Azote apporté par l'eau d'irrigation} = \boxed{} \text{ 6}$$

Azote de la fraction minérale d'un engrais organique (effet direct)

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 valeur de ce poste est donnée par le calcul suivant :

$$\text{Effet Direct Apports organiques} = \text{Teneur (kgN/t)} \times \text{Keq} \times \text{Q effluent épandu (t/ha)}$$

Les coefficients d'équivalence et les teneurs en azote moyenne observées sont définis dans la partie « Méthode du bilan prévisionnel » - page 18 et 19.

$$\text{Effet Direct Apports organiques} = \text{Teneur} \times \text{Keq} \times \text{quantité épandue} = \boxed{} \text{ 7}$$

Calcul de l'apport minéral en engrais de synthèse (X)

Rappel de l'équation retenue :

Soit à partir des postes précédemment établis :

$$X = \left(\frac{\boxed{} \text{ 2} - \boxed{} \text{ 3} - \boxed{} \text{ 4} - \boxed{} \text{ 5} - \boxed{} \text{ 6}}{0,72} \right) - \boxed{} \text{ 7}$$

III - FERTILISATION AZOTEE POUR LES PRAIRIES A BASE DE GRAMINEES :

Naturelles ou temporaires

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.

La méthode permet d'équilibrer les apports (fournitures du sol, contribution par les légumineuses, déjections au pâturage...) par rapport aux besoins annuels de la prairie, qu'elle soit naturelle ou temporaire.

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.

La méthode de raisonnement retenue prend en compte un facteur d'efficience de la consommation d'azote qui est en moyenne de 60 %.

EQUATION DU BILAN

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

BESOINS DE LA PRAIRIE	FOURNITURES DU MILIEU
Azote absorbé par la prairie à la fermeture du bilan = rendement x quantité d'azote exportée en fonction du mode d'exploitation	Fournitures globales d'azote minéral du sol = Azote fourni par le sol + Azote fourni par les restitutions au pâturage + Azote fourni par les légumineuses Fourniture d'azote par les produits organiques
Calcul de la dose X d'apport d'azote sous forme d'engrais minéral de synthèse (besoins - fournitures)	
Equation utilisée : $X = (\text{Besoin} - \text{Fournitures}) / \text{CAU} - X_a$	

Coefficient Apparent d'Utilisation (CAU)

Le coefficient apparent d'utilisation est de 60 % sur l'ensemble du cycle et pour tous les types de sols et de prairies.

La valeur à utiliser dans l'équation est 0,60.

1- CALCUL DES BESOINS DE LA PRAIRIE

Les besoins de la prairies sont calculés comme suit : **Besoins = Obj de rdt x N exporté**
 Quantité d'azote exportée par tonne de MS d'herbe produite (Kg N/TMS).
 Cette valeur varie selon le mode d'utilisation de la prairie :

EXPORTATIONS PRAIRIES (Kg N/TMS)		
Pâturage seule	Extensive	25
	Intensive	30
Fouage et pâturage	Avec déprimage	28
	Sans déprimage	22
Fouage seule (1 à plusieurs coupes)	Ensilage ou enrubannage	25
	Foin classique	22
	Foin tardif	20

Objectif de rendement (TMS/ha) :

Cet objectif correspond à la moyenne des rendements atteints sur la parcelle les 5 dernières années en excluant la valeur maximale et la valeur minimale. En l'absence de données disponibles sur l'exploitation il faut se reporter aux rendements de référence mentionnés dans le tableau page 35.

$$\text{Besoins de la prairie} = \text{Quantité d'azote exporté} \times \text{objectif de rendement} = \text{①}$$

2- CALCUL DES FOURNITURES GLOBALES D'AZOTE DU SOL

Les fournitures d'azote du sol sont calculées en tenant compte : des fournitures d'azote par le sol, de l'azote fourni par les restitutions au pâturage et de l'azote fourni par les légumineuses.

Fournitures d'azote par le sol en Kg N/ha :

Type de sol	Sans apport régulier de matières organiques(kg N/ha)	Avec épandages réguliers de matières organiques (kg N/ha)
Limons argileux profonds MO < 2 %	90	110
Limons argileux profonds MO > 2 %	90	110
Limons profonds MO < 2 %	80	100
Limons profonds MO > 2 %	80	100
Argilo-calcaires superficiels	40	50
Argilo-calcaires moyens et craies Yonne	50	70
Argilo-calcaires profonds et terre argileuse calcaire	90	110
Argilo-limoneux décarbonés	90	110
Argiles à silex	90	110
Alluvions argileuses et terre humifère	100	120
Limons sableux hydromorphes	80	100
Limons sableux sains	50	70
Sable	40	50
Terre argileuse ou argilo-sableuse, hydromorphe	80	100

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

Ce poste dépend du mode d'exploitation de la prairie :

RESTITUTION AU PATURAGE (Kg N/TMS)	
pâturage extensif	25
pâturage intensif	30
Fauche et pâturage sans déprimage	10
Fauche et pâturage avec déprimage	15
Prairie fauchée	0

Azote fourni par les légumineuses (Kg N/ha) :

Ce poste dépend de la proportion de légumineuse dans la flore de la prairie.

Présence de légumineuses dans la prairie	Azote fourni par les légumineuses * (kg N/TMS)
Sans légumineuse	0
Peu de légumineuses	15
Beaucoup de légumineuses	50

* Valeur de Fs pour une production de 5/6 t MS/ha

**Fourniture globale d'azote du sol =
Azote fourni par le sol + Azote fourni par les restitutions au pâturage
+ Azote fourni par les légumineuses = ②**

3 - PRISE EN COMPTE DE L'EFFET DIRECT DES ENGRAIS ORGANIQUE DE L'ANNEE

Les valeurs de fourniture d'azote par les fertilisants organiques peuvent être adaptées au niveau de chaque exploitation à condition que la valeur utilisée soit justifiée par une ou des analyses représentatives et récentes (moins de 4 ans et conditions équivalentes de production) du fertilisant organique épandu.

Pour les systèmes de production dans lesquels la composition du fertilisant organique produit est variable au cours du temps, plusieurs analyses sont indispensables pour caractériser le fertilisant organique épandu.

En l'absence d'analyse, se reporter aux teneurs en azote moyenne figurant page 18.

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

Les coefficients d'équivalence et les teneurs en azote moyenne observées sont définis dans la partie « Méthode du bilan prévisionnel » - page 18 et 19.

Effet direct des engrais organiques de l'année =
Teneur en azote total du produit x Quantité effluent épandu x Coefficient d'équivalence = ③

Calcul de la dose d'azote minéral à apporter X

$X = (\text{Besoins-Fournitures du milieu})/\text{CAU} - \text{Apports organiques}$

$$X = \left(\frac{\text{①} - \text{②}}{0,6} \right) - \text{③}$$

Soit à partir des postes précédemment établis :

Cas d'un calcul nul ou négatif :

- lorsque le calcul de la dose prévisionnelle indique un résultat compris entre 0 et 30 kg N/ha, il est conseillé d'apporter une dose forfaitaire de 30 kg N/ha pour toutes les cultures car il est difficile d'épandre une dose plus faible avec précision.
- lorsque le calcul de la dose prévisionnelle indique un résultat négatif (situations très particulières et rares), aucun engrais minéral azoté ne doit être apporté.

Exemple de calcul :

J'ai une prairie permanente sur laquelle je fais une fauche en plus de la pâture avec déprimage.

C'est un limon sableux sain sur lequel lorsque le calcul de la dose prévisionnelle indique un résultat nul (situations très particulières et rares), aucun engrais ne doit être apporté. L'objectif de rendement calculé à partir de la moyenne des 5 dernières années (en enlevant la meilleure et la plus mauvaise année) est de 5 tonnes de matière sèche par hectare.

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 (issu de stabulation) a été réalisé. Elle comporte peu de légumineuses.

1- BESOINS DE LA PRAIRIE			2 - FOURNITURES DU MILIEU		
Besoins de la prairie	Rendement moyen	5	Fourniture d'azote minéral par le sol	Limons sableux sains avec apport régulier de matières organiques	70
	Mode d'exploitation	Fauche et pâturage avec déprimage	Restitutions au pâturage	Fauche et pâturage avec déprimage	15
	Quantité d'azote exporté	28	Contribution des légumineuses	Peu de légumineuse	15
Total des besoins de la prairie 5 x 28 = 140kg N/h			Total des fournitures du sol 70 + 15 + 15 = 100 kg N/ha		
			Fourniture d'azote par les produits organiques	20 T/ha de fumier de bovin allaitant à l'automne précédent 4,7 x 20 x 0,2 = 19	
3 - Calcul de la dose X d'apport d'azote sous forme d'engrais minéral de synthèse (besoins - fournitures)					
$X = \left(\frac{140 - 100}{0,6} \right) - 19 = 48 \text{ kg N/ha}$					

IV – FERTILISATION AZOTEE DES CULTURES AVEC DOSE PLAFOND :

Rappel : une dose plafond est une dose que l'on ne peut en aucun cas dépasser. Elle laisse le libre choix d'épandre des doses plus faibles.

Tournesol

L'apport d'azote efficace est plafonné à 60 kg /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 minéral/ha d'azote (dose plafond) 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.

Pois potager

1 / Cas général : **pas de fertilisation azotée minérale**

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

2 / Cas particulier

Toutefois, 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 minéral/ha.

Luzerne

L'apport d'azote est possible dans la limite de 40 kg N efficace/ha.

Vigne

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

Ce plafond est fixé à 50 kg N/ha efficace (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).

Pour rappel, l'azote efficace est égal à la somme de l'azote apporté par un fertilisant azoté sous forme minérale et de l'azote sous forme organique minéralisable pendant le temps de présence de la culture.

Le coefficient équivalence engrais (Keq) pour les vignes est :

- Effluents de type I : Keq = 0
- Effluents de type II : Keq = 0,50

Cerisiers

1 / 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 plafonds conseillées :

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

2 / Associations peu vigoureuses

Doses plafonds conseillées :

- 100 kg N/ha sur la période mai à juillet (pleine pousse),
- puis 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).

Cassis

1 / Cassis bourgeons

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.

2 / Cassis fruits

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.

Miscanthus - Switchgrass

1 / Miscanthus

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.

2 / Switchgrass

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

Sapins de Noël

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.

Cultures orphelines et nouvelles cultures

Les cultures dites « orphelines », sont les cultures pour lesquelles les données sont insuffisantes concernant les besoins en fertilisation azotée.

Dans l'attente de références complémentaires, une **dose plafond de 210 kg N/ha** est appliquée à ces cultures.

Cette disposition s'applique également à toute nouvelle culture implantée en zone vulnérable et ne figurant pas dans le tableau de l'annexe 1 de l'arrêté du GREN.

Annexe 1 – 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
	MO < 2 %	MO > 2 %	MO < 2 %	MO > 2 %										
Culture	Rendements potentiels moyens à la norme d'humidité (qx/ha ou tMS/ha)													
Blé tendre	85	85	85	85	60	68	75	75	67	85	73	73	60	75
Blé dur	76	76	76	76	51	59	66	66	58	76	64	64	51	66
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
Avoine	68	68	68	68	43	51	58	58	50	68	56	56	43	58
Seigle	64	64	64	64	33	47	54	54	46	64	52	52	33	54
Maïs grain	104	104	105	105	70	75	82	82	73	110	97	100	70	85
Maïs ensilage	19	19	20	20	12	13	15	15	13	20	18	19	12	15
Sorgho	54	54	55	55			32	32	23	60	47	50	20	35
Colza	41	41	40	40	30	34	36	36	37	38	37	38	28	38
Moutarde	20	20	17	17	12	18	20	18	16	20	16	18	15	15
Lin oléagineux	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
Chanvre	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
Tabac	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
Prairies permanentes	7,7	9,1	7,8	9,3	5,1	6	7,4	6,9	6,1	6,8	8	8,2	6,1	8,6
Prairies temporaires	8,8	10,7	8,9	10,7	6,5	7	9,2	8,7	6,8	8,4	9,7	9,9	6,6	10,4



Avec la contribution financière
du compte d'affectation spéciale
«développement agricole et rural»