

GESTION DE L'AZOTE SUR BLE BIOLOGIQUE EN ILE-DE-FRANCE

Charlotte Glachant et Claude Aubert, Chambre d'agriculture de Seine-et-Marne

Introduction

En agriculture biologique (AB), en l'absence d'engrais de synthèse facilement assimilable par la plante, la nutrition azotée des cultures repose sur la minéralisation de l'azote organique, qu'il provienne du sol (humus, précédent légumineuse,...) ou d'apports extérieurs (engrais organiques). Pour le blé, les périodes de besoins en azote coïncident mal avec les périodes de forte minéralisation, faisant des carences azotées le principal facteur limitant de son rendement en conduite biologique.

En AB, il ne suffit donc pas de mettre à disposition de la culture des quantités suffisantes d'azote organique, il faut également favoriser l'activité du sol pour libérer l'azote et faciliter l'exploration racinaire du blé pour une meilleure absorption.

Dans les systèmes de grandes cultures biologiques sans élevage typiques de l'Ile-de-France, la recherche d'autonomie par la rotation et les précédents légumineux fixatrices d'azote est primordiale pour limiter le recours aux achats d'engrais extérieurs à l'exploitation, et même généralement à la région.

Les suivis de parcelles et les expérimentations en fertilisation organique menés sur le blé biologique depuis 1995 en Ile-de-France et au-delà ont permis de mieux comprendre l'effet du précédent et des engrais organiques et ont montré la nécessité de réfléchir la fertilisation du blé biologique en fonction de la situation de la parcelle (précédent, type de sol, itinéraire technique...).

Ces travaux ont abouti à la mise en place d'un outil d'aide à la décision (Décid-org) qui permet d'évaluer l'intérêt ou non de fertiliser sa parcelle au printemps et de décider d'un apport d'engrais organique sur les parcelles qui le valoriseront le mieux. La méthode de construction et de paramétrage de cet outil est détaillée ici, et un exemple illustre ensuite son utilisation.

Azote et blé biologique : effets du précédent et de la fertilisation

Gestion de l'azote sur blé dans les exploitations biologiques d'Ile-de-France

Les données présentées dans les paragraphes suivants sont issues d'un réseau de fermes de références en grandes cultures biologiques en Ile-de-France. Les 12 exploitations du réseau ont été choisies pour leur représentativité de la diversité des systèmes de grandes cultures biologiques et des types de sols franciliens.

Effet du précédent sur le rendement du blé biologique en Ile-de-France

Près de 75% des blés du réseau sont cultivés derrière une légumineuse (environ 30% derrière une légumineuse fourragère (luzerne pour moitié), 40% derrière protéagineux, et 5% derrière association protéagineux-céréale), environ 10% derrière une céréale (blé majoritairement). Les autres précédents rencontrés sont des oléagineux ou des cultures à fibre (lin, chanvre).

L'effet du précédent est très important sur le rendement. Même si cet effet précédent ne couvre pas seulement la fourniture d'azote au blé, cet aspect reste primordial, et les précédents légumineux et en particulier la luzerne permettent de dégager les meilleurs rendements : on note en moyenne presque 20 q/ha entre un blé de luzerne et un blé de céréale (tableau 1).

Tableau 1 - Rendements moyens de l'ensemble des blés en fonction du type de précédent – Fermes de références en grandes cultures biologiques IdF – 2003-2013 (Source : Sarrazin, 2014)

Type de précédent		Rendement moyen (q/ha)
Lu	Luzerne	48,5
LG+	Féverole et pois pur	41,8
LF	Trèfle	40,6
LG-	Associations protéagineux+céréale, lentille, soja...	39,7
NL	Lin, colza, tournesol	38,7
C	Céréales	29,8

Apport d'engrais organiques sur blé dans les exploitations biologiques d'Ile-de-France

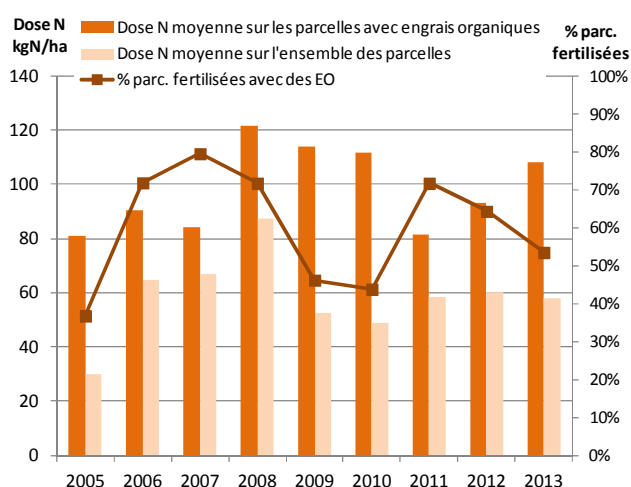
Pratiques d'apports d'engrais organiques (EO)

Les principaux produits utilisés en grandes cultures biologiques en Ile de France sont les fientes de volailles, les vinasses et les farines de plume ou de viande. Suivant la composition du produit et sa forme, le coût de revient à l'unité d'azote de ces produits varie entre 2 et 4 €/kg N. Ce coût a augmenté assez régulièrement au cours des dernières années.

En moyenne, 60% des parcelles de blé biologique du réseau reçoivent des engrais organiques. Sur le graphique 1, on constate que cette proportion varie selon les années, allant de moins de 40% des parcelles à près de 80%.

Il en est de même pour la dose d'azote apportée : lorsque des épandages d'engrais organiques ont été réalisés sur blé, la dose d'azote moyenne apportée varie de 80 kg N/ha à 120 kg N/ha suivant les années, et atteint en moyenne 100 kg N/ha.

La dose d'apport d'azote moyenne, toutes parcelles confondues, est d'environ 60 kg N/ha.



Graphique 1 - Pratique d'apports d'engrais organiques – Fermes de références en grandes cultures biologiques IdF – 2005-2013

Effet de la fertilisation sur le rendement du blé biologique en Ile-de-France

Sur l'ensemble des parcelles de blé du réseau, on constate que les parcelles fertilisées n'obtiennent pas systématiquement des rendements supérieurs aux parcelles non fertilisées, sauf pour les parcelles fertilisées entre 100 kg N/ha et 140 kg N/ha (Tableau 2). Les médianes montrent en revanche une tendance à l'augmentation du rendement avec la dose, mais ces différences restent faibles (maximum 5 q/ha).

Lorsque l'on analyse l'interaction précédent / fertilisation azotée, on constate que 55% des parcelles en précédent céréales, 75% des parcelles en précédent LG+ (féverole, pois) et 27% des parcelles en précédent luzerne sont fertilisées.

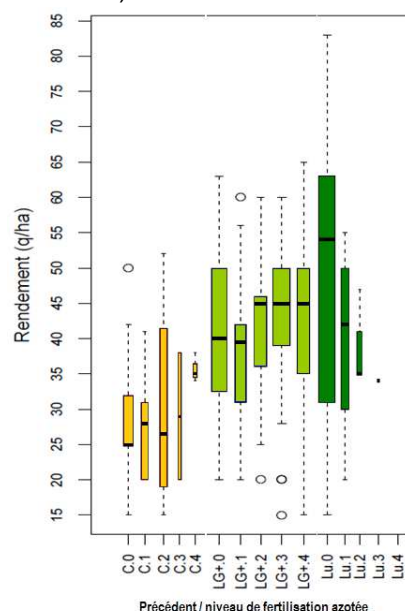
Les parcelles en précédent LG+ sont donc fertilisées plus fréquemment que les précédents céréales, malgré une meilleure fourniture azotée initiale.

Le graphique 2 montre que les rendements des parcelles fertilisées en précédent céréales n'atteignent pas ceux des parcelles non fertilisées en précédent LG+. De même, si en moyenne pour les précédents LG+ la médiane du rendement augmente avec la fertilisation, les rendements des parcelles non fertilisées en précédent luzerne restent supérieurs.

Enfin, pour les précédents luzerne, on constate même que les parcelles fertilisées ont des rendements inférieurs aux parcelles non fertilisées (le nombre de cas est cependant restreint).

Tableau 2 - Rendement moyen en fonction du niveau de fertilisation azotée – Fermes de références en grandes cultures biologiques IdF – 2003-2013 (Sarrazin, 2014)

Niveau de fertilisation	Dose N apportée (kg N/ha)	Moyenne
0	0-20	41,3
1	20-60	36,5
2	60-100	40,0
3	100-140	44,1
4	> 140	40,8



Graphique 2 - Variation des rendements en fonction du niveau de fertilisation et du précédent – Fermes de références en grandes cultures biologiques IdF – 2003-2013 (Source : Sarrazin, 2014)

Le suivi des fermes de références montre donc que l'effet précédent est supérieur à l'effet fertilisation, et qu'un apport d'engrais organique ne compense pas un mauvais choix de précédent. En revanche, il montre aussi que les règles de décision des agriculteurs restent à analyser pour mieux comprendre leur choix de fertilisation en fonction du précédent.

Résultats d'essais fertilisation sur blé biologique menés en France

Les résultats de 110 essais sur la fertilisation du blé biologique au printemps ont été collectés et synthétisés. Ces essais ont été menés par les Chambres d'agriculture du Centre-Val-de-Loire, de la Drôme, d'Ile-de-France, de Lorraine, de la Marne, du Nord-Pas-de-Calais, de Picardie, des Pays-de-la-Loire, et par le CREAB et la FDGEDA 18, entre 1995 et 2014.

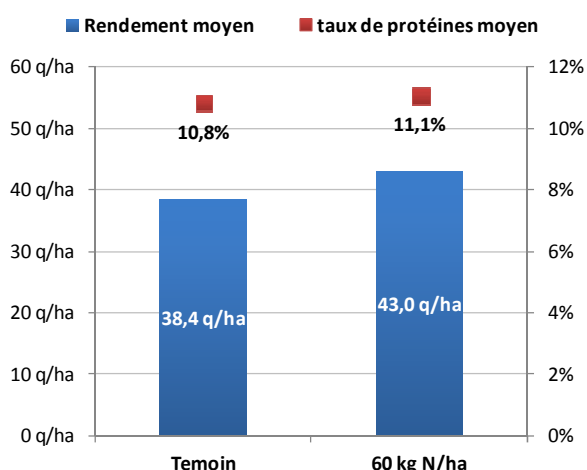
Les sols les plus représentés dans ces essais sont les limons argileux (27% des essais), les limons battants (24% des essais) et les argilo-calcaires (24% des essais).

Les situations irriguées ont été exclues de l'analyse.

Pas de différence entre types d'engrais organiques

Un certain nombre d'essais ont comparé différents type d'engrais organiques : vinasses, farines de plumes, de viandes, fientes de volailles, Derome (à base de guano). Les comparaisons deux à deux ne montrent pas de différences significatives entre ces produits. Ces différences peuvent parfois être significative au sein d'un essai, mais ne le sont pas toujours dans le même sens (en particulier pour les comparaisons farines de plumes – vinasses).

Efficacité moyenne d'un apport d'engrais organique au tallage



Graphique 3 - Effet moyen d'un apport de 60 kg N/ha au tallage sur le rendement et le taux de protéines du blé biologique

(sur 78 comparaisons issues de 49 essais menés dans 9 régions de 1995 à 2014)

La modalité la plus représentée dans les essais était une dose d'apport d'engrais organique de 60 kg N/ha au tallage. Cette modalité était présente dans 49 essais, ce qui, avec les différents produits testés, a permis de synthétiser les résultats de 78 comparaisons entre un témoin et un apport de 60 kg N/ha au tallage.

En moyenne, le gain de rendement est significatif et de l'ordre de 5 q/ha pour ces 60 kg N/ha apportés (graphique 3). Cette moyenne cache cependant une importante variabilité : le gain n'est pas significatif dans presque 40% des situations, et peut aller jusqu'à plus de 13 q/ha.

Ces apports d'engrais organiques au tallage n'ont eu en moyenne que très peu d'effet sur le taux de protéines (+ 0,3%), même si cet effet est statistiquement significatif. Cet effet est très en-deçà des différences de taux de protéines observés entre variétés (jusqu'à 2% en conditions identiques). La fertilisation au tallage n'a donc pas d'intérêt pour améliorer la qualité des blés, le choix variétal reste primordial.

Quelques essais ont permis d'établir des courbes de réponses à la dose d'azote. En moyenne sur ces essais, on constate que l'efficacité de l'engrais reste globalement constante entre 30 et 100 kg N/ha, et a tendance à diminuer ensuite.

Rentabilité des apports d'engrais organiques au tallage

La rentabilité des apports a été calculée sur 91 essais où des apports d'engrais organiques avaient été réalisés au tallage quelle que soit la dose, avec les hypothèses suivantes : prix d'achat de l'azote = 2 €/kg N, prix de vente du blé biologique = 380 €/t, pas de coût d'épandage pris en compte.

Avec ces hypothèses, dans 40% des essais, le coût du produit n'est pas remboursé par le gain de rendement. L'apport permet de gagner plus de 50 €/ha dans un essai sur deux.

Lien entre fertilisation et enherbement

Sans qu'elle n'ait été quantifiée précisément, plusieurs essais font état de l'augmentation de l'enherbement des parcelles avec la dose d'azote apportée. Cette augmentation est visuellement mise en évidence en général au-delà de 100 kg N/ha apportés, mais peut se manifester dès 50 kg N/ha pour des adventices nitrophiles.

Les résultats des parcelles agriculteur montrent l'importance du choix du précédent, dont l'effet est bien supérieur à celui que l'on peut escompter d'une fertilisation organique. Concernant les apports d'engrais organiques, les essais montrent un gain moyen d'environ 5 q/ha pour 60 kg N/ha apportés au tallage, mais avec des résultats hétérogènes d'une situation à l'autre, et une rentabilité qui n'est pas au rendez-vous dans 40% des essais. Ces résultats montrent la nécessité de mettre en place un outil qui permette, non pas de calculer une dose d'azote à apporter pour atteindre un rendement objectif mais en premier lieu d'évaluer si l'apport lui-même présente un intérêt d'un point de vue économique, et en prenant en compte les risques potentiels liés à l'enherbement.

Proposition d'un outil pour décider de fertiliser ou non le blé biologique au printemps : Décid-org

La situation pédo-climatique des parcelles et la présence de facteurs limitants ont une incidence importante sur le rendement du blé biologique mais également sur les conditions d'efficacité et de rentabilité des apports d'engrais organiques. David (2004) a confirmé cette incidence et indique que les facteurs limitants majeurs en production de blé biologique, au-delà des carences azotées, sont la concurrence des adventices et la compaction du sol. L'impact des facteurs limitants permet d'expliquer la forte proportion d'essais où l'apport n'est ni efficace, ni même rentable.

Compte-tenu de l'importance des facteurs limitants, il paraissait indispensable en AB de proposer un outil d'aide à la décision qui les prenne en compte. C'est la principale originalité de l'outil proposé par Billy (2008) dans les conditions pédoclimatiques de l'Ile-de-France. Cet outil a pour vocation d'évaluer l'intérêt d'un apport en lui-même, d'un point de vue économique, et en prenant en compte les facteurs limitants existant déjà dans la parcelle avant l'apport, avant de s'attacher à calculer la dose d'azote à apporter.

En 2008, l'outil a été établi à partir des essais collectés principalement en région Centre et Ile-de-France. En 2015, les essais collectés et présentés en paragraphe précédent ont permis de valider l'ossature de Décid-org et d'affiner son paramétrage.

Un outil et son paramétrage basés sur une méthode de caractérisation et de classement des situations

Dans le travail réalisé précédemment, la caractérisation précise des essais en fonction du niveau d'efficacité de l'engrais a permis d'identifier les situations qui sont favorables ou au contraire défavorables à un gain de rendement et donc à la rentabilité d'un apport. Cette caractérisation, pour faciliter une analyse par classe, a été réalisée en mettant en œuvre des indicateurs simples, présentés ci-après.

Caractérisation des types de sol

Pour construire l'outil et traiter les essais, le type de sol de chaque essai a été positionné dans la classification agronomique et comportementale des sols de Seine-et-Marne (Aubert et al, 2005), qui comporte 37 sous-classes de sol. Cette caractérisation a été établie suite à un entretien avec chacun des expérimentateurs.

Un indicateur spécifique a été introduit dans Décid-org pour classer ces sols selon leur capacité à minéraliser les engrais organiques. Cet indicateur, appelé CME0 (Capacité du sol à Minéraliser les Engrais Organiques), a été évalué à dire d'expert pour chaque sol sur une échelle de 1 à 3.

Caractérisation des facteurs limitants

Décid-org introduit également un indicateur sur le niveau de(s) facteur(s) limitant(s) présent(s) dans la parcelle. Cet indicateur, appelé FL (Facteur Limitant), transcrit l'intensité globale des différents facteurs limitants sur une échelle de 0 à 2.

Les facteurs limitants considérés sont ceux qui peuvent limiter la minéralisation de l'azote organique ou limiter les quantités d'azote absorbées par le blé, et donc limiter le niveau de rendement du blé et le niveau d'efficacité de l'engrais.

Il s'agit pour les facteurs limitants déjà présents en sortie d'hiver, au moment de la prise de décision de l'apport de :

- l'année climatique (pluviométrie hivernale, d'octobre à mars) en fonction du type de sol,
- l'enherbement,
- la compaction du sol,
- le peuplement du blé en sortie d'hiver.

D'autres facteurs limitants peuvent également intervenir sur la fin de cycle : attaques de maladies ou ravageurs, conditions climatiques particulières (sec, ensoleillement...), ...

Pour valider l'outil, les différents essais ont d'abord été classés selon leur niveau de facteur limitant (FL) pour quantifier au sein de chaque classe l'impact des facteurs limitants sur le niveau de rendement.

Ils ont ensuite été classés selon leur CMEO et le niveau de facteur limitant pour évaluer l'efficacité et la rentabilité des engrais organiques au sein de chaque classe. Le travail réalisé en 2008 a mis en évidence une relation inverse entre l'efficacité des engrais organiques apportés au printemps et de la quantité d'azote présent en sortie d'hiver (mesurée par le RSH), au sein de chacune de ces classes. La mesure du RSH est donc également un élément nécessaire de caractérisation de la parcelle.

Fonctionnement et paramétrage de Décid-org

L'outil Décid-org repose sur deux modules : le module d'estimation du rendement réalisable sans apport, et le module de prévision de l'efficacité et de la rentabilité d'un apport.

Ces modules ont nécessité la mise au point d'un paramétrage spécifique :

- une méthode de calcul du rendement réalisable dans la parcelle sans apport d'engrais, sur la base de l'équation du bilan, mais avec des adaptations nécessaires aux systèmes biologiques qui prennent en compte :
 - les facteurs limitants, via un coefficient d'absorption appliqué aux fournitures globales d'azote par le sol,
 - le besoin en azote du blé biologique en fonction des grands types de variétés utilisées en AB (b_0),
- une méthode de prévision de l'efficacité et de rentabilité d'un apport d'engrais organique en fonction des facteurs limitants et du niveau de RSH de la parcelle.

Le fonctionnement de Décid-org est résumé en schéma 1.

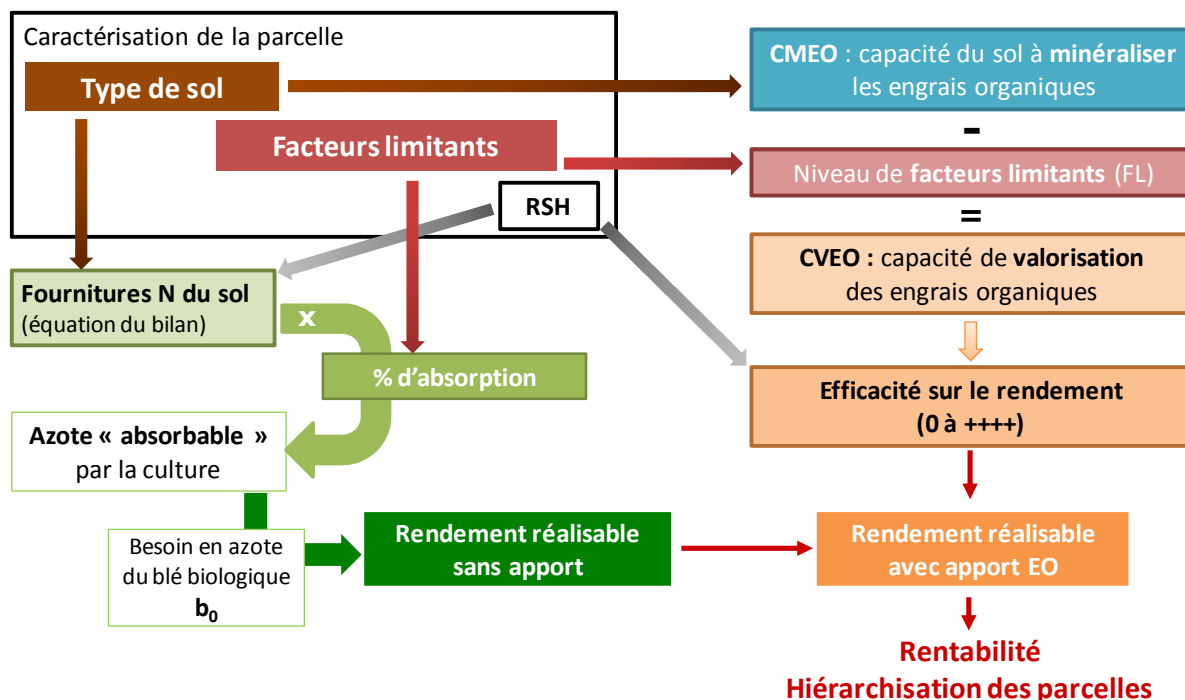


Schéma 1 - Fonctionnement de Décid-org pour le blé biologique en Ile-de-France

Paramétrage du calcul du rendement réalisable sans apport

Pour le calcul du rendement réalisable sans apport, on part de l'hypothèse que les facteurs limitants ont un impact sur la quantité d'azote absorbable par le blé. Pour prendre en compte cet impact, on introduit dans la méthode de calcul un coefficient d'absorption en fonction du niveau de facteur limitant.

Le paramétrage de ce coefficient d'absorption a été réalisé de la manière suivante :

- Le calcul des fournitures globales d'azote par le sol a été réalisé à partir de l'équation du bilan prévisionnel. Les valeurs de minéralisation de l'humus ont été évaluées lors de l'élaboration de l'outil en 2008, à partir du modèle proposé par Valé (2006) et mis en œuvre via un outil expérimental développé par l'INRA et Arvalis.
- Les quantités d'azote absorbées par le blé ont été calculées à partir des données de rendement et taux de protéines des témoins.
- Le coefficient d'absorption de l'azote disponible (azote absorbé / azote disponible) a ainsi été calculé pour chaque essai.

Les essais ont ensuite été classés selon leur niveau de facteur limitant (entre 0 et 2), et un coefficient d'absorption moyen pour chaque classe de facteur limitant a pu être établi (tableau 3).

Tableau 3 - Coefficient d'absorption en fonction du niveau de facteur(s) limitant(s)

Classe de facteur limitant (FL)	Coefficient d'absorption moyen	Ecart-type	Nb essais
0	68 %	13 %	26
0,5	56 %	12 %	14
1	48 %	9 %	15
1,5	43 %	7 %	9
2	35 %	4 %	6

Ce coefficient d'absorption de l'azote disponible permet d'évaluer dans une situation établie la quantité d'azote absorbable par le blé et donc d'en déduire le rendement réalisable dans cette situation :

$$\text{Rendement réalisable} = \frac{\text{Fournitures d'azote du sol} \times \text{coefficient d'absorption de l'azote}}{\text{Besoin en azote du blé biologique } b_0}$$

Pour permettre le calcul d'un rendement réalisable sans aucun apport, il a fallu établir la valeur du besoin en azote pour produire un quintal de blé en l'absence d'apport, appelé b_0 . Ce calcul a été réalisé à partir des résultats des témoins de l'ensemble des essais. Sa valeur a pu être établie pour les trois grands types de variétés utilisés en AB (tableau 4).

De manière prévisible, dans la mesure où les rendements sont plus faibles qu'en agriculture classique, les valeurs calculées sont plus faibles que celles du b habituellement utilisées.

Tableau 4 - Besoin en azote du blé biologique b_0 en fonction du type de variété

Type de variété	Moyenne de b_0 (kg N/q)	Ecart-type	Nb essais
De compromis rdt/protéines	2,76	0,34	83
Améliorante	3,20	0,28	7
Productive	2,31	0,28	17

Conditions d'efficacité et de rentabilité des engrais organiques au printemps

La capacité du sol à valoriser les engrais organiques dépend de la capacité intrinsèque du sol à minéraliser les engrais organiques, traduite comme indiqué précédemment par la CMEQ, et de l'influence des facteurs limitants présents dans la parcelle : on considère que les facteurs limitants éventuellement présents dans la parcelle diminuent la CMEQ.

Elle est donc calculée de la manière suivante :

Capacité du sol à minéraliser les engrais organiques CME0 1 à 3	—	Facteurs limitants* FL 0 à 2	=	Capacité de valorisation de l'engrais organique CVE0 0 à 3
---	---	--	---	--

Les essais ont donc été classés selon leur CVE0, et au sein de chaque classe, on a constaté que plus le RSH est élevé, moins l'efficacité de l'engrais est bonne. Cette relation est traduite dans le tableau 5, où, par mesure de simplification, les valeurs de RSH des essais ont été regroupées en 3 classes : < 50 kgN/ha, entre 50 et 80 kg N/ha et > 80 kg N/ha.

La valeur d'efficacité moyenne de l'engrais (exprimée en gain de rendement par unité d'azote apportée) a ainsi été calculée pour chaque couple de CVE0-classe de RSH (tableau 5).

Tableau 5 - Efficacité moyenne de l'engrais dans les essais, en fonction de la classe de CVE0 et de RSH

CVE0	0			1			2			3		
Classe RSH	Gain rdt (q/uN)	Écart-type	nb essais	Gain rdt (q/uN)	Écart-type	nb essais	Gain rdt (q/uN)	Écart-type	nb essais	Gain rdt (q/uN)	Écart-type	nb essais
≤ 50	0,07	0,05	6	0,12	0,02	6	0,17	0,04	4			0
50 < ≤ 80	0,01	0,01	3	0,08	0,04	4	0,13	0,02	5			0
> 80	0,02	0,04	2	0,04	0,05	6	0,07	0,04	3	0,08	0,01	2

Compte-tenu des écarts-types et du niveau de précision attendu de l'outil (dont le but reste principalement d'éviter de fertiliser les situations où l'engrais ne serait pas efficace), pour le référentiel de Décid-org, ces valeurs (de gain de rendement moyen par unité d'azote apportée) ont été transposées en fourchettes et exprimées par un nombre de +.

Pour chaque niveau d'efficacité, la part d'azote efficace sur la dose totale d'azote apportée a également été calculée sous forme de fourchette (tableau 6).

Tableau 6 - Transposition des gains moyens de rendements par unité d'azote apportée en niveaux d'efficacité utilisés pour l'outil

Gain de rendement par unité d'azote apportée (q/uN)	Niveau d'efficacité	Part d'azote efficace / azote total apporté
0 à 0,05	0	0 à 15 %
0,05 à 0,1	+	15 à 25 %
0,1 à 0,15	++	25 à 35 %
0,15 à 0,20	+++	35 à 45 %
>0,2	++++	>45 %

Le pourcentage d'azote efficace étant ainsi défini pour chaque couple CVE0 – RSH, il est possible de calculer le gain de rendement suivant la dose totale d'azote apportée ($= N_{tot} \times \%N_{eff} / b_0$), et d'en déduire, en fonction du coût d'achat de l'azote organique et du prix de vente du blé la rentabilité de l'apport.

Pour l'outil, des grilles de marges brutes en fonction du coût de l'unité d'azote et du prix de vente du blé ont été établies pour chaque niveau d'efficacité.

L'ensemble des paramètres établis grâce à l'analyse des essais et présentés ici a été transposé dans différents référentiels qui permettent l'utilisation de Décid-org. Ces référentiels sont présentés en annexe.

* Dans ce calcul, les demi-valeurs de facteur limitant ont été arrondies à la valeur supérieure.

Utilisation de Décid-org

La démarche d'utilisation de Décid-org est la suivante :

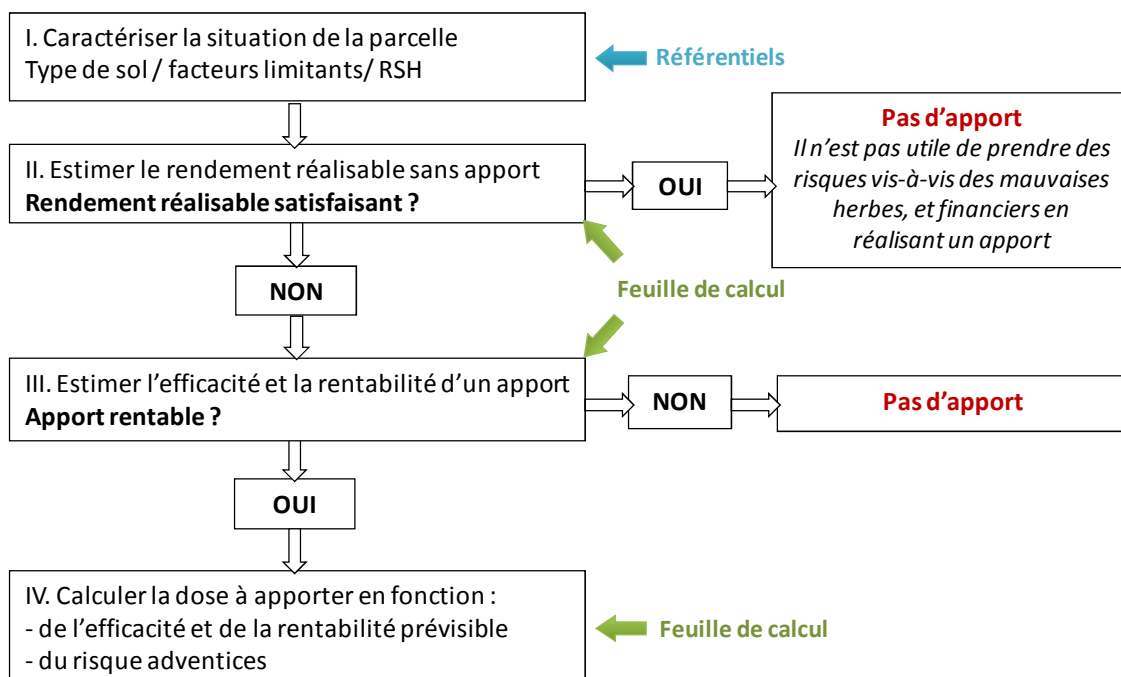


Schéma 2 - Démarche d'utilisation de Décid-org

Cette démarche, appliquée à l'ensemble des parcelles de blé de l'exploitation, permet ensuite de privilégier les apports sur les parcelles qui les valoriseront le mieux.

Caractériser la situation de la parcelle

La caractérisation précise de la parcelle est indispensable à l'utilisation pertinente de Décid-org. Elle passe par :

- l'identification du type de sol selon la classification des sols de Seine-et-Marne, grâce à la clé de détermination fournie dans le référentiel,
- l'évaluation du niveau de facteur(s) limitant(s) déjà présent(s) en sortie d'hiver (0 à 2) : deux référentiels permettent d'évaluer ce niveau :
 - Climat : un référentiel fournit le niveau de facteur limitant lié à l'année climatique (pluviométrie hivernale) en fonction du type de sol,
 - Autres types de facteurs limitants : un référentiel donne, de manière indicative, la correspondance entre les observations de terrain (nombres de pieds d'adventices/m², indicateurs de structure de sol, etc.) et le niveau de facteur limitant.
- la mesure du RSH (indispensable).

Exemple : Caractérisation de la parcelle

Blé derrière fève/roble.

Parcelle en limon battant (azote du sol minéralisé : 100 kg N/ha, CME0 = 2).

Observation des adventices en sortie hiver : environ 200 pieds de vulpins /m², soit un facteur limitant de niveau 1.

RSH : 70 kg N/ha.

Calculer le rendement réalisable dans chaque parcelle

L'objectif est de connaître le rendement réalisable dans la parcelle **avec les seules fournitures azotées du sol**. Le schéma 3 montre le déroulement du calcul du rendement réalisable, avec les valeurs des paramètres proposées dans les référentiels de Décid-org.

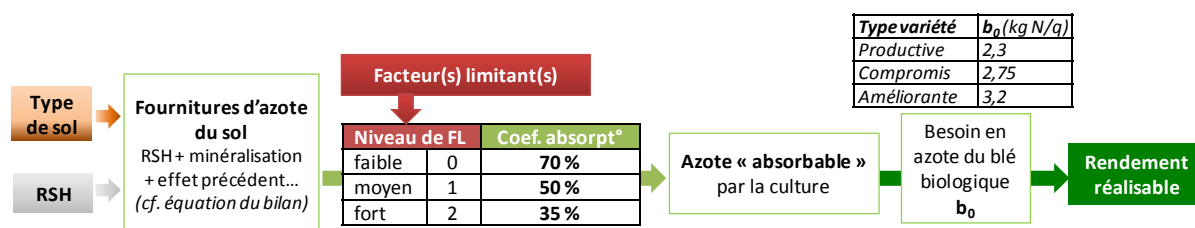


Schéma 3 - Calcul du rendement réalisable

Attention : le rendement réalisable obtenu grâce à Décid-org tient compte des facteurs limitants identifiés en sortie d'hiver, mais ne tient pas compte des autres facteurs limitants qui peuvent intervenir ensuite (et non prévisibles à ce moment-là).

L'outil a tendance à surestimer le rendement réalisable d'environ 5 q/ha, notamment en situation de RSH élevé. Il faut donc considérer que le rendement réalisable se situe entre la valeur fournie par l'outil et 5 q/ha de moins.

Exemple : calcul du rendement réalisable

Fournitures du sol en limon battant, derrière féverole, avec un RSH de 70 kg N/ha = 220 kg N/ha. Coefficient d'absorption : 50 % en raison du facteur limitant (adventices) de niveau 1.

⇒ Rendement réalisable : $(220 \times 50 \%) / 2,75 = 40$ q/ha,

⇒ Ce niveau de rendement ne paraît pas satisfaisant compte-tenu du potentiel de ce type de sol, il est donc intéressant d'évaluer si un apport d'engrais organique pourrait l'améliorer.

Evaluer l'efficacité et la rentabilité d'un apport d'engrais organique au tallage

La caractérisation de la parcelle (CME0) et l'évaluation des facteurs limitants (FL) permet de calculer la CVE0 (CVE0 = CME0 - FL).

Le tableau de niveau d'efficacité prévisible (tableau 7), permet de connaître la fourchette d'efficacité prévisible de l'apport dans la situation de la parcelle, exprimée en nombre de +.

Tableau 7 - Niveau d'efficacité prévisible (0 à ++++) de l'apport d'engrais organique en fonction de la CVE0 et du niveau de RSH

CVE0	0	1	2	3
Classe de RSH	(faible)	(moyenne)	(élevée)	(très élevée)
0-50	+	++	+++	++++
50-80	0	+	++	+++
>80		0	+	++

Gain indicatif de rendement pour 60 kg N/ha apportées :

0 : < 3 q/ha ; + : 3 à 6 q/ha ; ++ : 6 à 9 q/ha ; +++ : 9-12 q/ha ; ++++ : ≥ 12 q/ha

Les grilles du référentiel permettent ensuite de déterminer le niveau de rentabilité d'un apport en fonction de son niveau d'efficacité (nombre de +), du prix de l'unité d'azote et du prix du blé (voir en annexe).

Si l'apport est rentable, on peut alors calculer la dose à apporter en fonction de l'efficacité prévisible de l'apport, en fonction de la part d'azote efficace pour chaque niveau d'efficacité (0 à ++++).

Pour la prise de décision, il ne faut pas perdre de vue qu'un apport d'engrais organique profite tout autant aux mauvaises herbes qu'à la culture, et que, par conséquent, toute fertilisation expose à un risque accru de salissement de la parcelle (dès 50 kg N/ha pour les adventices nitrophiles et 100 kg N/ha pour les autres).

Exemple : efficacité et rentabilité prévisibles d'un apport

Limon battant : CME0 = 2 - Facteur limitant = 1 ⇒ CVE0 = 1

RSH = 70 kg/ha.

⇒ Niveau d'efficacité sur le rendement : +, soit un gain de 3 à 6 q/ha pour 60 kg N/ha apportées et donc un effet prévisible sur la marge brute de -100 à +20 €/ha pour un blé vendu à 380 €/t et l'unité d'azote payée 2 €/kg N.

⇒ De plus un apport risquerait d'amplifier le problème d'adventices déjà identifié en sortie d'hiver

⇒ Pas d'apport

Limites et perspectives de Décid-org

Décid-org nécessite une bonne caractérisation de la parcelle et des facteurs limitants et son utilisation doit s'envisager dans le cadre d'un binôme conseiller-agriculteur.

Seuls les facteurs limitants déjà présents dans la parcelle au moment de la prise de décision de l'apport sont pris en compte dans cet outil. D'autres facteurs non prévisibles, comme la météorologie des semaines suivant l'apport, ou l'apparition de maladies en fin de cycle, peuvent cependant influencer aussi l'efficacité de l'apport.

L'approche utilisée ici, et en particulier le calcul de la rentabilité, est centrée uniquement sur l'azote. Les autres éléments contenus dans les engrais organiques peuvent justifier à eux-seuls une fertilisation dans certains cas.

L'outil a été établi principalement dans des sols de type limons argileux, limons battants et argilo-calcaires, sans irrigation, qui sont donc les situations où il est le plus fiable. Le paramétrage réalisé ici semble ne pas bien s'appliquer aux sols de craie et aux situations irriguées, pour lesquels il faudrait une étude spécifique complémentaire.

Par ailleurs, l'estimation du rendement réalisable est généralement surestimée de manière assez importante en situation de RSH très élevés (supérieurs à 120 kg N/ha).

Les référentiels d'évaluation de l'intensité des facteurs limitants restent encore à affiner. Compte-tenu de son fonctionnement, Décid-org ne peut être utilisé que pour une fertilisation de printemps. Il pourrait être intéressant d'élargir l'approche aux apports d'engrais organiques à l'automne, en prenant en compte les risques de lessivage, ainsi qu'à d'autres cultures.

Conclusion

La rotation et la mise en place d'un précédent légumineuse favorable permettent de répondre à la majeure partie des besoins azotés du blé biologique, et les apports d'engrais organiques doivent se raisonner en compléments éventuels en fonction de la situation de la parcelle.

L'efficacité des engrais organiques apportés au printemps est fortement dépendante de facteurs dont on connaît les caractéristiques au moment de l'apport : la situation pédoclimatique, l'azote déjà présent dans le sol (RSH) et la présence éventuelle de certains facteurs limitants.

L'outil Décid-org proposé ici prend en compte ces facteurs pour évaluer le rendement réalisable dans la parcelle et la rentabilité prévisible des apports à la parcelle, et permettre à l'agriculteur de choisir les parcelles à fertiliser en priorité ou à ne pas fertiliser. Il reste avant tout un outil pédagogique d'aide au raisonnement qui permet de mesurer l'impact des grandes erreurs possibles (mauvais choix de rotation, mauvais travail du sol, mauvaise maîtrise des adventices,...) sur le niveau de rendement du blé biologique et l'efficacité des engrais organiques.

Décid-org est disponible sur le site internet de la Chambre d'Agriculture de Seine-et-Marne.

Références bibliographiques

Aubert C., Bizot E., Glachant C., Proffit L., Loussot P., Richer de Forges T. (2005). Guide conseil n°4, *Classification agronomique et comportementale des sols de Seine et Marne*. Chambre d'Agriculture de Seine-et-Marne, 176 p.

Billy L. (2008) *Mise en place d'un outil de gestion de l'azote pour le blé tendre en système de grandes cultures biologiques en zone Centre*, mémoire de fin d'études, VetAgroSup – Chambre d'Agriculture de Seine-et-Marne – ITAB, 38 p.

David C. (2004) *Le blé en agriculture biologique : diagnostic agronomique et raisonnement de la fertilisation azotée de printemps*. Thèse, INRA INA-PG, 122 p.

Sarrazin C. (2014) *Etude de la variabilité des rendements observés en blé tendre d'hiver en systèmes de grandes cultures biologiques d'Ile-de-France*, mémoire de fin d'études, VetAgroSup – Chambre d'Agriculture de Seine-et-Marne, 41 p.

Valé M. (2006). *Quantification et prédiction de la minéralisation nette de l'azote in situ, sous divers pédoclimats et systèmes de culture français*. Thèse, ENSAT, 182 p.

Annexe : référentiels pour l'utilisation de Décid-org pour le blé biologique en Ile-de-France

I. RÉFÉRENTIELS DE CARACTERISATION DES PARCELLES

1. Types de sols				et valeurs associées			
Caractérisation du type de sol		Argile %	CEC meq/100g	Types de sols		Azote du sol minéralisé Nm (en UN/ha)	CME0 Capacité du sol à Minéraliser les Engrais Organiques
						Récolte d'été	
		pHeau > 6,5	pHeau < 6,5				
Sols fortement engorgés l'hiver = Jamais de bonnes conditions de reprise même les années peu pluvieuses, déficitaires ^(a) en pluie	Terres très humides (drainage inefficace)	> 25	16 à 25	Argile sableuse superficielle	45	45	1
		35 à 55	> 18	Argile engorgée superficielle	55	55	
		< 17,5	< 7	Limon sableux engorgé	50	50	
		18 à 25	8 à 11	Limon argileux engorgé peu profond	50	50	
Sols engorgés l'hiver = Bonnes conditions de reprise seulement les années peu pluvieuses, déficitaires ^(a) en pluies	Terres humides peu profondes (drainées)	< 12,5	< 6	Sable limoneux engorgé	50	50	1
		< 15	< 7	Sable calcaire engorgé (non drainé)	40	40	
		30 à 45	> 15	Argile engorgée peu profonde	55	55	
		12 à 16	7 à 10	Limon battant engorgé peu profond	45	45	
	Terres humides semi-profondes (drainées)	40 à 60	> 20	Argile limoneuse carbonatée peu profonde	75	75	
		40 à 60	> 20	Argile limoneuse peu profonde (non drainée)	45	45	
		> 25	16 à 25	Argile sableuse semi-profonde	55	55	
		30 à 50	> 18	Argile limoneuse sur argile	90	55	
		60 à 50	> 18	Argile limoneuse sur calcaire (non drainé)	90	55	
		18 à 23	12 à 16	Limon argileux engorgé semi-profond	80	50	
	Terres profondes à très profondes	18 à 23	12 à 16	Limon argileux profond (drainé)	110	60	
		12 à 16	9 à 12	Limon battant profond (drainé)	100	75	
		20 à 24	14 à 17	Limon argileux vrac	110	110	
Sols sains à plutôt sains l'hiver = Bonnes conditions de reprise les années normales et les années peu pluvieuses, déficitaires ^(a) en pluies	Pas de flétrissement - Chute ^(b) de rendement non visible (<15%)	12 à 18	7 à 12	Limon calcaire profond	100	100	3
		12 à 16	9 à 12	Limon battant très profond	130	130	
		16 à 19	12 à 16	Limon franc très profond	140	140	
		12 à 16	8 à 10	Limon battant engorgé semi-profond	75	45	
	Les cultures d'été flétrissent avec une chute ^(b) de rendement visible (15% à 30%)	20 à 50	> 18	Argile limoneuse carbonatée sur argile	90	90	2
		30 à 40	> 18	Argile limoneuse carbonatée sur calcaire	90	90	
		20 à 28	12 à 16	Limon argileux semi-profond	90	60	
		12 à 18	7 à 12	Limon calcaire sur calcaire	80	80	
	Terres intermédiaires humides (drainées)	16 à 19	12 à 16	Limon franc semi-profond	90	90	2
		12 à 16	9 à 12	Limon battant semi-profond	80	55	
		15 à 25	10 à 17	Sable argileux	80	50	
		> 28	> 20	Argilo-calcaire sur marne	65	65	
	Les cultures de printemps flétrissent, avec une chute ^(b) de rendement visible (15% à 30%)	12 à 18	7 à 12	Limon calcaire sur argile	80	80	2
		> 28	> 20	Argilo-calcaire peu profond	55	55	
		< 12,5	< 8,5	Sable sain limoneux	50	40	
		16 à 18	9 à 12	Limon battant peu profond	70	45	
	Terres sèches (non drainées)	< 15	< 9,5	Sable calcaire sain	40	40	2
		> 28	> 20	Argilo-calcaire superficiel	55	55	
		12 à 18	7 à 12	Limon calcaire peu profond	70	70	
		< 12,5	< 7,5	Sable sain	40	30	

^(a) Caractérisation de l'année suivant la pluviométrie hivernale (octobre à mars) :

		Caractérisation des 20 dernières années en IdF
Années déficitaires		95-96 / 96-97 / 04-05 / 05-06 / 08-09 / 09-10 / 10-11
Années normales		97-98 / 02-03 / 03-04 / 06-07 / 07-08 / 11-12
Années excédentaires		99-00 / 01-02 / 12-13 / 13-14
Années très excédentaires	avec période de ressuyage	00-01
	sans période de ressuyage	94-95

^(b) Chute de rendement par rapport à une année régulièrement arrosée ou en cas d'irrigation.

2. Niveaux de facteurs limitants				
Niveau du facteur limitant CLIMAT				
Type d'année climatique ^(a)				
Très excédentaire sans ressuyage	Très excédentaire	Excédentaire	Equilibrée	Déficitaire
1	1	0	0	1
1	1	0	0	1
1	0	0	0	0
1	0,5	0	0	0
1	0	0	0	0,5
0	0	0	0	1
0	0	0	1	2

Autres types de facteur limitant		Niveau indicatif de facteur limitant	
		Moyen	Fort
Structure du sol (à la bêche !)	Sols humides	Resserré : arêtes de 1 à 2 cm lorsque l'on casse les mottes.	Compactés : arêtes de 2 à 4 cm lorsque l'on casse les mottes, les racines ne pénètrent plus.
	Sols séchants	Sol trop aéré : les racines explorent mal le profil.	Sol trop aéré et matière organique en fond de raie : les racines ne passent plus.
Adventices	Graminées	150 à 200 pieds/m²	> 400 pieds/m²
	Matricaires (développées)	80 pieds/m²	200 pieds/m²
	Sanves (développées)	50 pieds/m²	130 pieds/m²
Peuplement		< 180 pieds/m²	< 100 pieds/m²
Maladies / Ravageurs		Non prévisible, sauf variété ou site sensible, ou dégâts déjà causés, cf. facteur limitant peuplement (exemple mouche grise).	

II. RÉFÉRENTIELS POUR LE CALCUL DU RENDEMENT REALISABLE

1. Fournitures du sol (Voir référentiels GREN Ile-de-France)

a. Azote déjà absorbé par le blé

$$\text{Azote absorbé (kg N/ha)} = 10 + (\text{nb talles} \times 5)$$

en fonction du nombre de talles en sortie d'hiver

b. Effet du précédent

	kg N/ha
Luzerne, trèfle > 1 an	+ 40
Féverole	+ 30
Pois, lentilles, haricots, lupin, trèfle < 1an	+ 20
Association protéagineux + céréale	+ 15
Colza, betterave, pommes de terre	+ 20
Lin, chanvre, sarrasin, maïs ensilage	0
Céréales pailles exportées	0
Céréales pailles enfouies	-20
Maïs grain, tournesol	-10

c. Effet des CIPAN

	kg N/ha		
Niveau de végétation	Faible	Moyen	Fort
Légumineuses	10	20	30
Crucifères - Ray-grass	5	10	15
Phacélie - Graminées	0	5	10

d. Effet direct des apports de matières organiques à l'automne

Composts	0%	x dose N totale apportée (kg N/ha)
Fumiers	10%	
Engrais organiques	5%	
Vinasses	15%	

2. Pourcentage d'absorption en fonction des facteurs limitants

Pas de facteur limitant	0	70%
Facteur limitant faible	0,5	60%
Facteur limitant moyen	1	50%
Facteur limitant fort	1,5	43%
Facteur limitant très fort	2	35%

3. Besoin en azote du blé bio b_0

Type variété	b_0 (kg N/q)
Productive	2,3
Compromis	2,75
Améliorante	3,2

III. RÉFÉRENTIELS POUR L'EVALUATION DE LA RENTABILITE D'UN APPORT AU TALLAGE

1. Efficacité de l'apport

Part d'azote efficace dans l'engrais

Classe de RSH (kg N/ha)	0 (faible)	1 (moyenne)	2 (élevée)	3 (très élevée)
0-50	+	++	+++	++++
50-80	0	+	++	+++
> 80		0	+	++

0	0 à 15%
+	15 à 25%
++	25 à 35%
+++	35 à 45%
++++	>45%

2. Rentabilité de l'apport en fonction de son niveau d'efficacité, du prix de l'unité d'azote et du prix du blé

