



Interpréter l'analyse de terre pour la culture maraîchère : le conseil de fertilisation (2/3)

Laurent Dombret, Biowallonie

Nous avons abordé dans l'*Itinéraires BIO* n°61 les modes d'expression utilisés pour l'analyse de terre. Ce second volet¹ explore le raisonnement général mis en œuvre pour aboutir au conseil de fertilisation que vous pouvez lire sur votre bulletin. Il est vrai que le bordereau reçu est relativement peu documenté, omettant de communiquer les hypothèses et paramétrages retenus. Le maraîcher curieux ou pointu dans sa démarche peut en être frustré, « recevant son avertissement-extrait de rôle sans le détail de calcul ». Il devra faire confiance, ou au contraire, ne pas tenir compte de cet avis de fumure. Nous allons tenter d'y voir plus clair, aussi avec des apports de deux laboratoires Réquasud contactés et que nous remercions (Tinlot et Ath).

La logique générale du conseil de fertilisation

L'azote est le principal facteur limitant

Au plus la concentration relative d'un élément dans la plante est élevée par rapport à la concentration disponible dans le sol, au plus cet élément est jugé limitant et sera analysé. Bien que très relatif selon la culture, cela conduit à classer les nutriments majeurs du sol dans l'ordre suivant : N, K, P, S, Mg, (bore, etc.) et enfin Ca. On comprend ainsi la raison du suivi NPK(-Mg) de routine, et l'on voit que le soufre mérite plus d'attention. Le calcium est, quant à lui, bien souvent négligé en tant que nutriment, car il est rarement un nutriment limitant en soi.

Éléments majeurs	Rapport moyen plante/sol	Facteur limitant, du + au -
N	10	1
K	10	2
P	5	3
S	4	4
Mg	1	5
Ca	0,4	9

Figure 9 : Nutriments limitants selon un rapport moyen de teneur plante/sol²

La nutrition des cultures en maraîchage bio est assurée essentiellement via les apports de matières organiques au sol. En pratique, le raisonnement des apports d'engrais se fait essentiellement en fonction des besoins en $N-NO_3^-$, qui est ainsi le principal facteur limitant de l'alimentation des légumes.

Les dosages des apports P, K, Mg via les apports organiques sont souvent davantage

« subis » que choisis, et dans bien des cas, leurs quantités dans les sols maraîchers révèlent des stocks très importants.

Le principe général : compenser les exportations et les pertes

Le calcul de la fertilisation se base sur le principe de remplacement des éléments nutritifs prélevés par les cultures ou disparus autrement du sol cultivé, dans une logique en « bon père de famille » de maintien au même niveau de la fertilité du sol (offre du sol) pour la culture qui suit la culture à fertiliser. Abordons d'abord quelques définitions :

- L'offre du sol est la quantité d'éléments minéraux déjà disponibles dans le sol. Elle provient de la minéralisation des matières organiques du sol, de l'altération de la

roche-mère, ainsi que des épandages précédents. Elle doit rester au moins au même niveau après la culture, grâce à la fertilisation additionnelle.

- Les besoins bruts (= mobilisations) de la culture sont les quantités totales d'éléments nutritifs absorbés par la culture jusqu'à la récolte, dans un sol suffisamment pourvu d'éléments nutritifs.
- Les exportations sont les besoins bruts diminués des teneurs dans les résidus de culture laissés sur place.

Pour le P, K, et Mg, sur sol bien pourvu, les apports à faire correspondent exactement aux exportations car on estime qu'il n'y a pas de perte hors du profil et que l'ensemble est restitué à la culture suivante.



À la récolte, plus de 50 % de l'azote absorbé par le chou brocoli reste sur la parcelle, sous forme organique dans les résidus. Cependant, une grande partie sera minéralisée et malheureusement lessivée avant la culture suivante.

¹ La bibliographie mobilisée dans cet article sera énumérée seulement en partie 3/3.

² Godden B., p. 122.

CONSEILS TECHNIQUES

CONSEIL DE SAISON EN MARAÎCHAGE

Pour l'azote, en l'absence d'engrais vert automnal qui limite les pertes (percolation) importantes de cette période, seule une faible part d'azote des résidus est considérée comme restituée à la culture suivante. Afin de maintenir au même niveau l'offre du

sol en azote pour la culture, les pertes à compenser doivent être donc supérieures aux exportations d'azote par la récolte, et peuvent se rapprocher à la limite des besoins bruts en azote de la culture... Des abaques reprennent, pour un rendement donné, les

besoins bruts par hectare des cultures de légumes, et permettent ainsi de calculer la dose de fertilisation complémentaire à apporter au sol. Nous en présentons une en figure 10.

Légumes de pleine terre		Rendement attendu (kg/m ²)	Exportations (en kg/ha)			Résidus ³ (en kg/ha)			Besoins bruts (en kg/ha)
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N
Chou de Bruxelles	Plein air	2,5	100	50	170	200	60	200	300
Chou-fleur	Plein air	3,5	100	40	120	200	60	300	300
Chou brocoli	Plein air	1,8	100	30	90	150	20	80	250
Chou - culture de garde	Plein air	5	70	50	200	150	50	130	220
Chou - culture précoce	Plein air	3	60	40	150	100	40	110	160
Poireau	Plein air	5	120	40	180	100	30	100	220
Céleri-rave	Plein air	6	110	70	300	100	20	200	210
Céleri branche	Plein air	6	120	70	300	80	10	100	200
Pomme de terre de garde	Plein air	4,5	160	68	260	40	20	40	200
Concombre, 30 pc/m ²	Abri	15	200	100	300	0	0	0	200
Concombre, 50 pc/m ²	Abri	25	300	150	400	0	0	0	300
Aubergine	Abri	9	200	100	350	0	0	0	200
Tomate	Plein air	8	130	50	260	0	0	0	130
Tomate	Abri	12	170	80	340	0	0	0	170
Tomate	Abri	18	250	120	500	0	0	0	250
Fenouil	Plein air	4	80	30	180	100	20	100	180
Poivron	Abri	6	160	50	250	0	0	0	160
Roquette, 1 coupe	Abri	2	150	30	150	0	0	0	150
Roquette, 2 coupes	Abri	3	210	40	180	0	0	0	210
Courgette, courge	Plein air	5	50	20	100	100	10	50	150
Courgette	Abri	6	160	30	150	0	0	0	160
Pain de sucre	Plein air	3,5	80	20	90	60	30	90	140
Asperge verte	Plein air	0,25	150	30	110	0	0	0	150
Mais doux	Plein air	1,8	150	50	100	0	30	160	150
Betterave potagère	Plein air	6	90	40	160	60	10	60	150
Navet printemps/de garde	Plein air	4	90	30	150	60	20	100	150
Oignon	Plein air	6	130	60	160	0	0	0	130
Carotte botte	Plein air	3,5	100	40	140	0	0	0	100
Carotte de garde	Plein air	4	100	40	300	20	10	100	120
Panais	Plein air	3,5	100	40	300	20	10	100	120
Épinard	Abri	1,2	100	30	140	0	0	0	100
Épinard hivernant	Plein air	1,2	150	20	150	40	5	50	190
Persil	Plein air	2,5	80	30	120	20	10	40	100
Persil	Abri	3	100	50	180	0	0	0	100
Laitue	Plein air	3,5	60	20	70	40	20	50	100
Laitue	Abri	4	80	30	140	0	0	0	80
Ail sec	Plein air	0,8	70	25	45	0	0	0	70
Herbes aromatiques	Plein air	1,5	70	30	160	0	10	30	70
Pourpier	Abri	1,5	70	20	90	0	0	0	70
Radis, 10 bottes/m ²	Plein air	3	50	20	80	0	0	0	50
Radis, 20 bottes/m ²	Abri	4	60	30	100	0	0	0	60
Mâche	Abri	1,2	50	10	60	0	0	0	50
Haricot à rames	Abri	5	40	80	180	0	0	0	0 à 40
Haricot nain	Plein air	1,5	30	10	70	120	40	130	30
Pois mange-tout	Plein air	1	20	20	30	40	20	80	0
Moyenne maraîchage (Agroscope)	Plein air		80	30	120	50	15	65	130
Moyenne maraîchage (SPAA Tinlot)	Plein air		120	55	185	50	15	65	170
Moyenne maraîchage (Agroscope)	Abri		130	60	220	0	0	0	130
Moyenne maraîchage (SPAA Tinlot)	Abri		130	60	220	0	0	0	130

Figure 10 : Besoins des cultures légumières, classés par décroissance des besoins bruts en azote⁴

³ La colonne contient des valeurs nulles dans les cas où, en vertu des itinéraires les plus pratiqués, les résidus de culture sont considérés comme entièrement évacués hors de la parcelle et donc comptés en exportations

⁴ Source des données, pour l'essentiel : Neuweiler, R., et al. p. 4 (Agroscope). Le laboratoire de la Province de Liège (Tinlot) par exemple se fonde beaucoup sur cette référence de besoins bruts pour le conseil de fertilisation en maraîchage (communication personnelle avec A. Liénart, 09/11/2021).

CONSEILS TECHNIQUES

CONSEIL DE SAISON EN MARAÎCHAGE

Le principe général étant dit, la logique de calcul des apports nécessaires en N se décline cependant différemment de celles des apports en P, K, Mg dans les bulletins Réquasud.

La fertilisation organique complémentaire en azote (les engrais minéraux azotés sont interdits en AB, comme vous le savez) vient se calculer

en addition de l'offre du sol par minéralisation de la M.O. du sol, qui est très conséquente (cf. bilan prévisionnel Réquasud, ci-après).

Concernant P, K, Mg, l'influence des matières organiques récentes, des précédents et derniers couverts végétaux est aussi prise en compte dans leur effet sur la culture à venir,

mais pas la minéralisation de l'humus stable du sol ou des arrière-effets. Dans le bilan qui est fait pour ces éléments, le principe en vigueur est que les apports organiques en P, K, Mg libèrent l'entièreté de ces éléments dans l'année⁵ pour la culture, et qu'il n'y aurait donc pas d'effet évident de restitution sur du plus long terme par la matière organique stable du sol.

Le conseil de fertilisation en azote

L'azote est en bonne partie apporté par l'humus du sol !

Abordons tout d'abord un préalable. On parle bien souvent des quantités d'azote apportées par l'épandage des engrais de ferme. En réalité, un apport essentiel provient de l'immense manne organique dans un sol fertile. Voyons ce petit calcul, à la grosse louche. En terre agricole, imaginons les 30 premiers cm contenant la matière organique, pour une masse de terre sèche considérée de 4.000 t/ha⁶. Soit environ **40 t/ha de matière organique par % de M.O. dans l'analyse de terre**. Sur une terre à 4 % de M.O. (= 2 % de C.O.T.), cela représente donc 160 t/ha de M.O. Si l'on admet que la M.O. du sol contient 5 % d'azote⁷, cela fait environ 8 t/ha d'azote organique minéralisant en moyenne sur l'année de 1 à 2 % (coefficient K₂ de minéralisation nette de l'humus du sol), et livrant ainsi chaque année sous forme nitrique entre 80 kg et 160 kg N/ha. C'est totalement non négligeable.

Du pourcentage d'azote total minéralisé sur 12 mois, on peut désirer déduire la fourniture mensuelle qui va être captée sur la durée de la culture, compte tenu idéalement de la dynamique de minéralisation illustrée en figure 11.

En cours d'année, la minéralisation (comme d'autres processus) se fait en effet à des vitesses variables, en lien, notamment, avec la température et l'humidité du sol. Elle culmine de juin à fin septembre. Le soufre de la matière organique suit la même logique et dynamique de minéralisation que l'azote.

Le bilan prévisionnel (méthode Réquasud)

La méthode de raisonnement utilisée dans les bulletins d'analyse de terre de Réquasud est celle d'un bilan entre besoins et fournitures de N-NO₃⁻ pour le légume concerné. C'est une méthode particulièrement bien adaptée en « grande culture » de légumes, où la rotation culturale est simple et où une analyse de terre peut être faite sur chaque grande parcelle de légume.

Dans ce bilan prévisionnel, la préconisation d'épandage en kg N minéral par hectare (d'office sous forme organique, pour les maraîchers bio) sert à compenser la différence entre les besoins bruts d'azote de la culture et les prévisions de fournitures d'azote nitrique des différents compartiments du sol, dans la profondeur racinaire considérée (soit de 0 à 45-60 cm de profondeur, en légumes et pommes de terre).

La fourniture du sol en N-NO₃⁻ durant la période de culture⁹ (minéralisation de l'humus stable, des résidus de culture et couverts précédents, des apports organiques récents + fixation d'azote atmosphérique) ainsi que la fraction « efficace »¹⁰ Feff, de la fertilisation organique apportée, doivent venir compenser les besoins bruts de la culture (pour un rendement r donné), la différence de stock d'azote minéral dans l'horizon cultivé avant/après la culture et les pertes potentielles (lessivage, volatilisation) durant la période.

En pratique, Réquasud simplifie le conseil en considérant que les pertes d'azote sont compensées par la fixation d'azote atmosphérique¹¹. La dose de fertilisation mentionnée sur le bulletin se déduit donc selon l'équation ci-dessous :

$$Feff = \text{Besoins bruts} - \text{Minéralisation}_{(\text{humus, résidus, couverts, apports récents})} + (\text{Reliquat final} - \text{Reliquat initial})$$

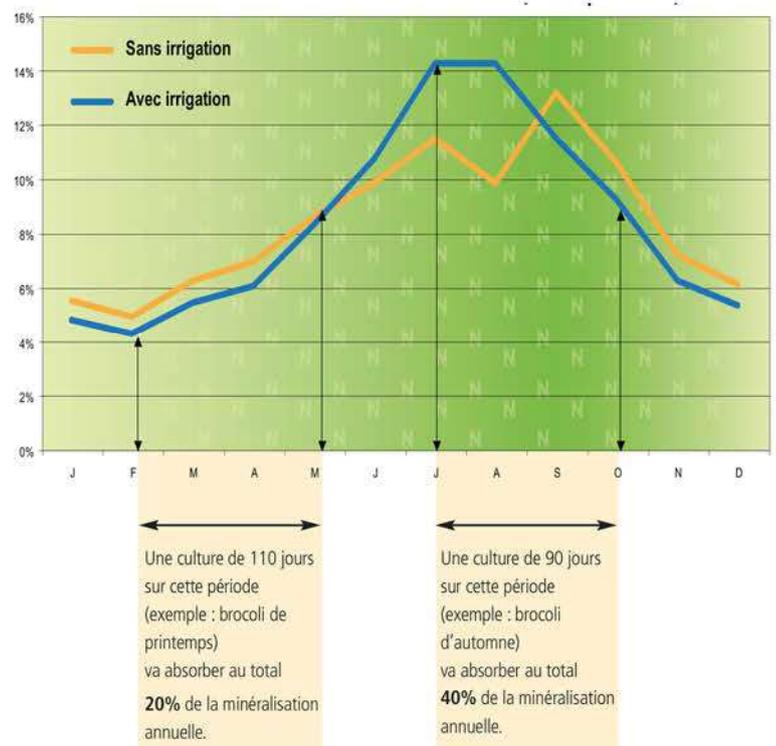


Figure 11 : Fournitures azotées par minéralisation sur une année, en % par mois⁸

⁵ V. Genot (communication personnelle, 03/12/2021).

⁶ Le calcul est détaillé dans l'IB61, p.46.

⁷ La matière organique du sol contient approximativement 5% d'azote et 50% de carbone (pour un C/N de 10), 2% de phosphore et 1% de soufre.

⁸ Justin L., p. 10 (Chambre d'Agriculture de Bretagne).

⁹ Notons au passage que dans cette fenêtre d'analyse, la considération des restitutions par les résidus de culture à venir n'intervient pas...

¹⁰ L'azote « efficace » d'un fertilisant est la part d'azote total qui est disponible à la culture suivant l'épandage.

¹¹ Cugnion T. et al., p.4. Cela peut sembler une simplification étonnante.

CONSEILS TECHNIQUES

CONSEIL DE SAISON EN MARAÎCHAGE

Le reliquat initial en N minéral, nitrique et ammoniacal (début du bilan prévisionnel, en sortie d'hiver ou quelques semaines avant la plantation) peut être mesuré par dosage (ou estimé). Il varie énormément, de 20 kg N/ha (en sortie d'hiver, par exemple) à plus de 100 kg N/ha (par exemple en été, après un précédent riche comme une pomme de terre). Si le profil azoté avant culture n'est pas demandé par le producteur en « grande culture », bien souvent, le laboratoire ne rédige tout simplement pas de conseil en apport d'azote.

La préconisation d'épandage en azote minéral issue de ce bilan peut déjà être traduite dans le bulletin, ou par votre soin, en quantités d'amendement/engrais organique azoté à épandre, dont la fraction d'azote efficace (cf. figure 14) correspond à cette préconisation. Il va sans dire que la part d'azote organique épandue et non minéralisée durant la saison va contribuer à faire augmenter le taux de N_{tot} et de C.O.T. dans les analyses de terres des saisons suivantes, et ainsi à réduire les futures préconisations d'épandage en azote.

Pour le choix du type de matière organique à apporter avant culture, le profil azoté permet non seulement de voir la quantité, mais aussi la localisation du reliquat dans la profondeur du sol : 30–60 (–90) cm. Si le reliquat est surtout en hauteur, une M.O. à minéralisation lente suffira, par contre un reliquat plutôt bas va exiger une M.O. avec azote rapide pour la culture.

Enfin, notons que pour le calcul de la dose de fertilisation, le reliquat final à la récolte est par contre bien entendu juste estimé ; des valeurs guide de reliquat final incompressible/inévitable par culture sont disponibles. Réquasud utilise par défaut la valeur de 20 kg N/ha.

Utilité du bilan prévisionnel en production maraîchère diversifiée

En maraîchage diversifié bio, le bilan ci-dessus est illusoire à réaliser par légume, les cultures sont bien trop nombreuses à se succéder sur une saison et sur de trop petites surfaces que pour justifier un bilan prévisionnel indépendant pour chacune. Quand l'analyse ne vise pas un légume en particulier sur une parcelle à l'historique connue, la préconisation d'épandage en kg N minéral par hectare se fonde alors sur des paramètres moyens génériques car :

- L'échantillon de terre représente le plus souvent une parcelle qui va être occupée par de nombreux légumes différents ayant des besoins bruts variables. Le labo utilise, pour les maraîchers diversifiés, des besoins bruts moyens d'un maraîchage (cf. figure 10).

- L'historique spécifique de fertilisation de chaque planche de culture (engrais, engrais verts, résidus, etc.) est complexe à prendre en compte et d'ordinaire non communiquée au laboratoire. La prévision de minéralisation en azote est basée sur une valeur mesurée en azote total (ou déterminée sur base du C.O.T.) d'un échantillon unique de terre représentant la moyenne de la parcelle maraîchère.
- Le maraîcher ne fait quasiment jamais de profil azoté ni n'analyse la composition des matières organiques à épandre.

Et même si le maraîcher parvenait à un degré de précision supérieur, l'épandage des engrais de ferme est régulièrement réalisé par autrui (faute d'équipement), ce qui l'oblige à simplifier et empêche un dosage différencié à l'échelle de la planche de culture.

Cette préconisation est donc à voir comme une fertilisation annuelle de fond (établie jusqu'à nouvelle analyse de terre), à compléter pour les cultures exigeantes et également les cultures désaisonnées (désynchronisation avec la minéralisation estivale du sol), qui bénéficient toutes deux à la plantation d'une fertilisation complémentaire avec un engrais organique rapidement minéralisé.

L'implantation d'engrais verts est un labeur en plus. Cependant, les cultures exigeantes en azote ont grand intérêt à être précédées d'un engrais vert en particulier de légumineuse, afin de diversifier les sources d'azote dans l'horizon cultivé et de diminuer la dose d'azote total apporté par les effluents d'élevage (cf. limitations réglementaires d'apports d'azote organique par les engrais de ferme (réglementation européenne A.B et wallonne via le PGDA)), et ainsi l'excès de phosphore inhérent à ces matières...

D'autres méthodes de calculs d'apport

Le maraîcher peut choisir de naviguer « à vue » en utilisant des doses standards d'apports organiques, épandues par exemple sur les têtes de rotation, en supposant une offre du sol moyenne. Il peut regrouper les cultures exigeantes dans la rotation, qui recevront une fertilisation organique de fond, par exemple 30 tonnes/ha de fumier bovin composté, les autres cultures se « contentant » souvent de l'offre du sol, grandissante ou pas selon la fréquence des retours de matière organique et ainsi selon le taux de C.O.T.

Dans une certaine incertitude méthodologique, la dose de fertilisation NPK peut aussi être calculée séparément pour chaque culture avec comme objectif de compenser, en valeurs totales ou efficaces, les valeurs d'exportation ou de besoins bruts de celle-ci.



Pour plus de précision, il vaut cependant mieux partir d'un bilan azoté simplifié comme décrit plus amont, même si lui-même imprécis :

F_{eff} = Besoins bruts, — Minéralisation (humus, résidus, couverts, apports récents). Armé du détail de calcul que nous allons présenter ci-dessous ainsi que des résultats d'une analyse de terre récente, vous pouvez estimer vous-même la dose de fertilisation.

Certes, les facteurs pris en compte par Réquasud doivent encore s'étoffer, pour un bon conseil en maraîchage biologique. La structure actuelle du sol, la densité de plantation, la présence d'adventices ou encore le comportement du sol pour des teneurs en C.O.T. bien supérieures à 2% sont des exemples de facteurs devant idéalement influencer le conseil... Suffisamment adapté ou pas à votre réalité, voici en tout cas de quoi comprendre comment Réquasud aboutit à un conseil de fertilisation azotée !

CONSEILS TECHNIQUES

CONSEIL DE SAISON EN MARAÎCHAGE

Calcul de fertilisation azotée par la méthode Réquasud

Le laboratoire a en main de multiples curseurs potentiels de pondération pour peaufiner le conseil de fumure. Il faut fournir dans la fiche d'identification un maximum de renseignements sur la parcelle, ses antécédents, les problèmes rencontrés, les pratiques culturales, etc. À défaut, le labo édite un bulletin de fumure moins convaincant...

Pour le conseil de fumure dans le bulletin d'analyse, Réquasud va estimer au mieux l'offre du sol globale par minéralisation durant la période de culture, en additionnant les postes A-B-C-D selon la méthode décrite ci-dessous¹². Parfois, l'agronome du labo majorera aussi les besoins de la culture, de maximum 30 kg N/ha, pour compenser des conditions de sol défavorables...

À noter que dans le cas d'une culture d'hiver implantée avant la mesure de profil azoté au printemps (début du bilan), il faudra aussi évaluer, via la biomasse déjà produite, la quantité d'azote que la culture a déjà absorbé (par exemple 40 kg N/ha déjà absorbé pour un épinard de 7-8 cm de haut). Le bilan à faire sera alors : $Feff_r = \text{Besoins bruts}_r - \text{Minéralisation}_{\text{(humus, résidus, couverts, apports récents)}} - N_{\text{culture}} + (\text{Reliquat final} - \text{Reliquat initial})$. Nous oublions ce cas de figure ici ...

A. Minéralisation annuelle nette de base de l'humus stable du sol

Le laboratoire pondère la minéralisation des matières organiques de votre sol pour estimer la fertilisation additionnelle nécessaire. Il faut savoir que, en plus d'augmenter avec le taux d'humus du sol ou encore l'intensité des retours de matières organiques, typiquement, la minéralisation annuelle nette :

- Augmente avec la température du sol ;
- Diminue en région à plus faible pluviométrie ou au contraire en sol engorgé durant l'hiver (nappe affleurante) ;
- Diminue avec l'augmentation de la teneur et argile et en calcaire (deux facteurs de protection de la M.O contre la dégradation).

Ce taux de minéralisation $K_m (= K_2)$ de l'humus stable est généralement estimé entre 1,3 et 2,6 %. En sol non carbonaté, le résultat de l'équation Réquasud augmente proportionnellement avec la température moyenne annuelle régionale¹³ (8,5 °C en Haute Ardenne à 11,2 °C en Région sablo-

limoneuse), et diminue proportionnellement avec la teneur en argile de l'échantillon.

En multipliant par K_m la teneur en kg/ha

$$K_m = \frac{((0,2 \times T^{\text{régionale}}) - 1) \times 0,6}{(\% \text{argile} + 20)}$$

d'azote total de l'échantillon, on déduit ensuite la quantité d'azote total minéralisé en un an. Pour tenir compte de l'impact de la fréquence des apports de matières organiques au sol (les apports sont par exemple nettement plus importants en zones d'élevage qu'en zones de grande culture), cette quantité est multipliée par un facteur variant de 1 (apport tous les 5 à 10 ans) à 1,1 (apport tous les 3 à 5 ans — valeur par défaut) à 1,2 (apport au moins tous les deux ans). On tient enfin notre estimation de l'azote de l'humus qui est minéralisé annuellement.

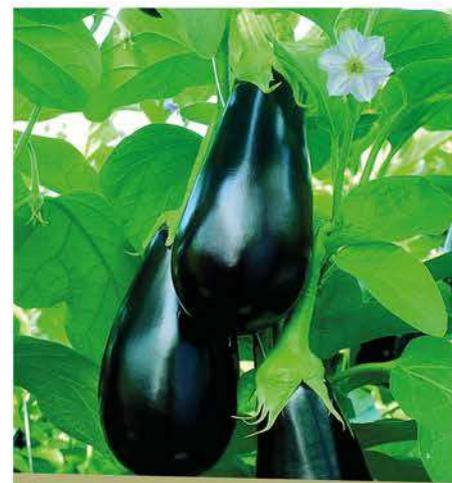
Si la teneur en azote total n'est pas mesurée, sur la seule connaissance du C.O.T., les valeurs de la figure 12 sont utilisées :

Soit autour de 60 kg N/ha.an par % de C.O.T. à l'analyse.

Teneur en C.O.T.	< 0,65 %	0,65-0,85 %	0,85-1,1 %	1,1-1,5 %	1,5-2 %	> 2 %
Minéralisation N-NO ₃ ⁻	± 20	± 40	± 60	± 80	± 100	± 120 ¹⁴

Figure 12 : Minéralisation annuelle nette d'azote (en kg N/ha.an) en fonction du taux de C.O.T.¹⁵

À cet apport de base viennent s'additionner divers arrière-effets, dont voici les principaux...



Sous abri, le taux de minéralisation de l'humus ainsi que les besoins bruts culturaux sont plus élevés. Prêtez-y attention.

B. Minéralisation annuelle des prairies

L'arrière-effet est variable selon l'âge du couvert, la densité de fabacées, et le nombre de fauches exportées.

Pour la destruction d'une prairie, Réquasud ne prend en compte que deux années d'arrière-effets, sachant que l'arrière-effet réel est aussi mesuré par un reliquat azoté supérieur avant culture. La figure 13 reprend les valeurs choisies pour une destruction de printemps. Pour une destruction à l'automne précédent la culture, l'arrière-effet considéré est deux fois moindre.

Rang de la culture après destruction	Ancienneté de la prairie				
	< 18 mois	2 à 3 ans	4 à 5 ans	6 à 10 ans	> 10 ans
Année 1	20	60	100	120	140
Année 2	0	0	25	35	40

Figure 13 : Arrière-effet à attribuer à la destruction d'une prairie au printemps (15/02), en kg N/ha.an¹⁶

Pour une luzernière détruite après trois ans, l'arrière-effet est de 120 kg N/ha.an la première année, et de 55 kg N/ha.an la seconde.

C. Minéralisation des apports récents d'engrais de ferme (fumiers, etc.)

Les matières organiques apportées ne sont pas équivalentes en termes de vitesse de minéralisation, et c'est, comme déjà écrit, la fraction efficace disponible à la culture qui importe dans le calcul de bilan par Réquasud, c'est-à-dire la part d'azote effectivement absorbée par la culture. Des « coefficients d'équivalence en azote minéral » (CEM) des engrais de ferme sont mobilisés dans ce calcul. La prise en compte de la libération d'azote par les engrais de ferme a été scindée en deux coefficients CEM, l'un pour l'effet immédiat (CEMI) dans le mois qui suit l'épandage et l'autre pour l'effet prolongé (CEMP) durant toute l'année suivant l'épandage.

Rappelons qu'un épandage de fin d'été/automne sera bien entendu nettement moins efficace qu'un épandage d'hiver ou de printemps, car dans le premier cas, une part de l'azote minéralisé sera perdue pour la culture. C'est d'autant plus vrai pour les engrais à CEMI élevé.

¹² Cugnon T. et al. Ce document Réquasud, consulté, n'est pas encore public en décembre 2021.

¹³ Selon Réquasud, en théorie, une élévation de 1 °C augmente la minéralisation de ± 20 %.

¹⁴ La limite de + 120 kg N/ha que se donne Réquasud est la limite après pondération par le Coefficient d'Occupation du Sol (COS).

¹⁵ Cf Destain J-P et al., p. 9. ¹⁶ Cugnon T. et al., p. 14.

¹⁷ Notons ici aussi que l'efficacité d'un engrais minéral azoté type nitrate d'ammonium n'est pas non plus de 100 %, mais de l'ordre de 70 % à la dose optimale. Une partie de l'azote minéral est captée par les microorganismes du sol, une partie peut être perdue (lixiviation, dénitrification...).

CONSEILS TECHNIQUES

CONSEIL DE SAISON EN MARAÎCHAGE

Teneur en élément de quelques fertilisants organiques (en kg/1000 kg de M.F.)	M.S	N _{tot}	%N _{tot} minéralisé dans l'année (efficacité)	CEM Protect'eau		P ₂ O ₅	K ₂ O
				CEMI	CEMP		
Fumier bovin (500-800 kg/m ³ (selon teneur en paille))	220	5,9*	30 %	0,1	0,2	3,8*	8,9*
Fumier bovin composté (800-900 kg/m ³)	330	6,1*	20-30 %	0,1	0,2	5,4*	8,9*
Fiente séchée volaille (M.S. > 55 % M.F.) (580 kg/m ³)	> 550	35*	70 %	0,35	0,3	20,9*	17,4*
Fumier volaille (400-500 kg/m ³)	600	26,7*	40 %	0,35	0,3	14,9*	15,1*
Farine de sang séché	930	120	85%	-	-	<10	<10
Une coupe fraîche de prairie temporaire, au stade « trèfle en bouton » (500-600 kg/m ² (herbe fraîche hachée))	180	4,5	40 %	-	-	1	4
Déchet vert composté (400-700 kg/m ³)	590	8	5 %	-0,1	0,1	4	8

* Valeurs moyennes citées par Protect'eau (moyennes Réquasud).

Figure 14 : Moyenne grossière de la teneur NPK de quelques fertilisants organiques en maraîchage (Sources diverses : Protect'eau, Agridea, Itab, CTA Stree)

Ainsi, la fiente de poule libère par exemple plus de 50 % de son azote total au cours des premières semaines d'épandage. Elle doit donc être apportée peu de temps avant la période d'absorption de la culture. Contrairement à un fumier bovin apporté au printemps, dont le rythme de minéralisation est plus lent : autour de 30 % de l'azote organique apporté se minéralise progressivement au cours de la campagne suivant l'apport.

Concrètement, dans le bilan calculé par Réquasud, pour un apport d'engrais de

ferme effectué au printemps après l'échantillonnage de terre, l'effet immédiat (CEMI) profite à la culture à venir et est donc pris en compte. L'effet prolongé (CEMP) est, quant à lui, d'office pris en compte, même si l'épandage est fait à l'automne précédent...

La part d'azote non minéralisée à la fin de la première année (par exemple 70 % pour le fumier bovin) n'est par contre pas considérée dans le bilan, car recyclée dans le sol et prise en compte par la suite via le surcroît d'azote total mesuré dans les analyses de terre.

Coefficient d'Occupation du Sol (COS)

Dans le bilan prévisionnel, les apports annuels des postes A, B ainsi que l'effet prolongé (CEMP) de C, ne sont pris en compte que pour le temps d'occupation du sol par la culture. Des coefficients COS sont utilisés par Réquasud pour assurer cette pondération. Par contre, l'effet immédiat (CEMI) de C et l'effet D sont considérés comme 100 % disponibles à la culture à venir, et ainsi non pondérés par le COS.

COS pomme de terre primeur : 0,5

COS pomme de terre consommation : 0,8

COS carotte : 1

COS haricot : 0,5

COS épinard d'automne : 0,2

Établi pour quelques « grandes cultures » de légume, le COS « maraîchage diversifié » n'est pas déterminé, à notre connaissance...

Lorsque le conseil résultant de ce bilan global est nul, une fraction de démarrage peut toutefois être recommandée pour certaines cultures exigeantes, et selon la profondeur du reliquat azoté...

Non pris en compte au travers des CEM en usage, on notera aussi cependant que l'efficacité des engrais de ferme est significativement plus élevée pour les doses les plus faibles, et qu'elle décroît avec l'augmentation des apports, y compris pour les arrière-effets. Il y a un « effet dose »¹⁸ ! Pour une même dose d'azote total apportée sur la rotation, on doit donc préférer des apports réguliers moyens plutôt que des gros apports plus espacés, si c'est techniquement possible.

D. Minéralisation des résidus de culture précédents et des engrais verts

Si les résidus ont été enfouis et déjà bien décomposés avant l'analyse de terre (pas de résidus visible au tamisage), cet effet est déjà pris en compte via la mesure d'azote total de l'analyse de terre. Dans le cas contraire, pour les résidus de la culture précédente,

l'effet est variable de - 20 kg N/ha (céréale paille enfouie) à + 10 kg N/ha (carotte, chicon) à + 30 kg N/ha (précédent riche : haricot, fève, pois, pomme de terre). Pour les engrais verts et CIPAN¹⁹, l'effet oscille autour de + 30 kg N/ha pour un engrais vert normalement développé de graminée, graminée-légumineuse ou encore phacélie ou moutarde. Si la production est exportée, comptez 10 kg N/ha en moins.

Le conseil de fertilisation en phosphore, potassium, magnésium

Deux cas se présentent, qui vont déterminer le conseil de fertilisation du laboratoire Réquasud.

1. L'offre du sol en P, K, Mg est jugée optimale

Dans un sol normalement pourvu selon l'analyse de terre (teneur proche de l'optimum de référence de Réquasud²⁰), l'offre du sol est considérée comme suffisante pour répondre seule aux besoins nutritifs bruts d'une culture à capacité d'appropriation moyenne des éléments nutritifs. La

fertilisation avant la culture doit alors être calculée pour compenser uniquement les exportations de la culture, afin de ne pas entamer le niveau d'offre du sol en P, K, Mg pour la culture suivante.

Fertilisation additionnelle = exportation de la culture

¹⁸ Godden B, p. 136. Dans un essai de fertilisation au fumier bovin composté, les doses apportées correspondant à 160, 240 et 310 kg de Ntot conduisent à une absorption d'azote par la culture de respectivement de 26 %, 21 % et 18 % de l'apport d'azote.

¹⁹ Même si Réquasud ne prend pas en compte ce cas de figure, sachez qu'un EV ayant gelé et « lignifié » avant incorporation peut avoir le même effet momentané que la décomposition d'une paille, et son apport en azote est donc nul !

²⁰ Les valeurs de référence et teneurs souhaitables seront présentées dans le volet 3/3 de cet article.

CONSEILS TECHNIQUES

CONSEIL DE SAISON EN MARAÎCHAGE

2. L'offre du sol en P, K, Mg est jugée de niveau FAIBLE ou TROP ÉLEVÉE

Si le sol est insuffisamment pourvu de l'un ou l'autre des éléments, la fertilisation calculée sur base des exportations doit être augmentée/renforcée, en proportion de l'écart entre la teneur mesurée dans l'échantillon de terre et la valeur jugée optimale. Afin de faire remonter petit à petit l'offre du sol en cet élément.

Si au contraire le sol est très riche en l'un ou l'autre élément, la fertilisation calculée

ci-dessus doit être diminuée en proportion de l'écart entre la teneur mesurée dans l'échantillon de terre et la valeur jugée optimale.

En agriculture biologique, c'est bien entendu sur la fertilisation organique que repose la base des apports en ces nutriments, ce qui les rend intrinsèquement liés à ceux en azote. Des matières minérales peuvent néanmoins

également être apportées.

Contrairement à l'azote, l'entière du potassium ou du phosphore contenu dans les engrais de ferme épandus est considérée comme disponible pour la culture suivante (« efficacité » de 100 %).

Le conseil pratique de fertilisation en P, K, Mg sera appréhendé en partie 3/3 de cet article, dans l'*Itinéraires BIO* n°63.

Le conseil de « chaulage »

Le conseil d'apport en amendements basiques (le « chaulage ») vise à amener/maintenir le pH à la valeur désirée. Nous l'aborderons aussi en partie 3/3 de cet article.



Un exemple de calcul d'apport organique azoté en « Maraîchage » et en céleri-rave (méthode Réquasud)

Les hypothèses sont :

- **Culture fictive « maraîchage »** (cf. figure 10). Besoins bruts : 170 kg N/ha, 70 kg P₂O₅/ha, 250 kg K₂O/ha. Exportations : 120 kg N/ha, 55 kg P₂O₅/ha, 185 kg K₂O/ha.
- **Culture de céleri-rave** (cf. figure 10). Besoins bruts : 210 kg N/ha, 90 kg P₂O₅/ha, 500 kg K₂O/ha. Exportations : 110 kg N/ha, 70 kg P₂O₅/ha, 300 kg K₂O/ha.
- **Offre du sol en azote** (minéralisation) durant la période de culture : 90 % x 153 = 138 kg N/ha, estimé comme ceci :
 - **Minéralisation globale annuelle du sol** : 123 + 30 = 153 kg N/ha
 - > 183 mg N_{tot}/100 g TSF selon l'analyse, soit 183 x 40²⁰ = 7.321 kg N_{tot}/ha dans les 30 premiers cm de sol. Taux annuel de minéralisation Km calculé à 1,4 %. Apport de fumier tous les deux ans (facteur correctif : x 1,2). La quantité annuelle de N_{tot} minéralisé de l'humus est : 7.321 x 1,4% x 1,2 = 123 kg N/ha minéralisé sur un an.
 - > Un engrais vert de phacélie, gyrobroyé et enfoui 5 semaines avant culture : effet supplémentaire de + 30 kg N/ha.
 - Période de culture : mars à novembre. La minéralisation captée est fixée à 90 % de la minéralisation annuelle.
- Aucune analyse de reliquat azoté initial sur les 60 premiers cm n'est demandée par le producteur. Le reliquat initial est alors supposé évaluer le reliquat final.
- La perte de nitrate hors de l'horizon cultivé est supposée égaler le gain par fixation d'azote atmosphérique.
- **Sol pourvu de manière optimale en phosphore, potassium et magnésium**, selon l'analyse : les restitutions doivent simplement compenser les exportations.
- Amendement organique de fond disponible : fumier bovin composté (NPK 6,1-5,4-8,9 – par tonne de matière fraîche), dont le CEMI avoisine 10 % et le CEMP avoisine 20 % (30 % au total). NPK efficace : 1,8-5,4-8,9.

Fertilisation de fond de toute la parcelle maraîchère

La fertilisation organique doit amener idéalement au total 32 kg N_{efficace}/ha (170-138 = 32), 55 kg P₂O₅/ha, et 185 kg K₂O/ha. La dose d'apport est calculée en priorité sur l'azote. Il faut un apport de 18 tonnes/ha de fumier bovin composté (32/1,8).

Bilan « Maraîchage »	kg N/ha	kg P ₂ O ₅ /ha	kg K ₂ O/ha
Offre du sol	+ 138	Optimale	Optimale
Apport « efficace » par épandage 18 tonnes/ha fumier bovin composté	+ 32	+ 97	+ 160
Besoins « Maraîchage » (besoins bruts pour N, exportations pour P et K)	- 170	- 55	- 185
(Reliquat final – reliquat initial)	- (0)	Néant	Néant
Bilan	<i>Équilibre</i>	<i>Excédent</i>	<i>Manque</i>

Figure 15

CONSEILS TECHNIQUES

CONSEIL DE SAISON EN MARAÎCHAGE

Fertilisation d'une culture de céleri-rave

Si votre bilan devait plutôt s'établir pour une culture en particulier, par exemple du céleri-rave, le calcul de bilan depuis vos résultats d'analyse reste similaire. Voici une proposition.

La fertilisation organique doit maintenant amener davantage, idéalement au total 72 kg N_{efficace}/ha (210-138 = 72), 70 kg P₂O₅/ha, et 300 kg K₂O/ha.

La dose d'apport est calculée en priorité sur l'azote. Il faudrait un apport de 40 tonnes/ha de fumier bovin composté (72/1,8), mais cela conduirait à un excès important de fertilisation phosphatée. Le choix est fait par exemple d'apporter deux tiers de l'azote efficace par le fumier (soit 27 t/ha fumier), le tiers restant six semaines après plantation via un engrais organique du commerce (EOC) dosant idéalement dans un rapport « efficace » NPK 1-0-3. L'EOC choisi dose à NPK 6-0-12, dont N efficace à 70 % => 4-0-12 efficace.

Bilan Céleri-rave	kg N/ha	kg P ₂ O ₅ /ha	kg K ₂ O/ha
Offre du sol	+ 138	Optimale	Optimale
Apport « efficace » par épandage 27 tonnes/ha fumier bovin composté	+ 49	+ 146	+ 240
Apport « efficace » par épandage 575 kg EOC NPK 6-0-12	+ 23	+ 0	+ 69
Besoins Céleri (besoins bruts pour N, exportations pour P et K)	- 210	- 70	- 300
(Reliquat final - reliquat initial)	- (0)	Néant	Néant
Bilan	Équilibre	Excédent	Équilibre

Un troisième et dernier volet vous apportera des clefs pour l'interprétation de vos résultats, pour chaque paramètre d'analyse. Patience !

Figure 16