



Fertilité des sols

Suivis de la disponibilité en azote nitrique

Un suivi mensuel de l'azote nitrique dans les sols est réalisé sur des sols dont les caractéristiques physiques sont connues ainsi que les itinéraires techniques. Ces suivis réalisés pour la première fois en 2024 n'ont pas pour objectif premier de permettre le pilotage de la fertilisation, mais bien de comprendre la dynamique de l'azote dans les sols. A ce titre, il convient de revenir sur le contexte scientifique.

L'azote nitrique, facilement assimilé, facilement mesuré

L'azote nitrique (forme nitrates, NO_3^-) est une forme inorganique assimilable par les plantes via la solution du sol. Les nitrates sont en effet facilement mobilisés dans la solution du sol ce qui les rend très facilement lessivables. La seconde forme inorganique assimilable par la plante est l'azote dit « ammoniacal » ou « ammonium », NH_4^+ . A l'inverse, le cation NH_4^+ est plus facilement fixé par le sol : il est ainsi moins lixiviable mais plus difficile à capter pour les plantes, son assimilation est donc plus lente, bien que ce soit une forme plus simple d'assimilation : la plante consomme moins d'eau pour

l'assimiler par exemple. Or lorsque son temps de séjour augmente, l'ammonium est naturellement consommé par les bactéries du sol, qui l'oxydent en nitrates. Ainsi dans les sols agricoles, on trouve la forme azotée NO_3^- en majorité (environ 90% [4]), que la plante capte prioritairement, avant perte par lessivage.

Or la mesure de l'azote sous forme nitrates est relativement simple, à l'aide de bandelettes réactives (Nitracheck, Nitratest). Peu onéreux et rapides à réaliser, ces mesures permettent d'obtenir une information relativement précise sur l'état de la fourniture en azote inorganique dans les sols. On omet généralement la partie NH_4^+ en raison de sa proportion moindre (environ 10% [3, 4]), et sa disponibilité malheureusement relativement faible pour la plante : celui-ci sera souvent nitrifié avant d'être assimilé par les plantes.

Limites de la méthode : flux et réserves

Bien que variable durant l'année et selon les conditions les conditions (température, oxygénation, humidité etc.) la minéralisation de l'azote organique se fait en continu, depuis les formes organiques complexes vers la forme nitrique que l'on retrouve en solution.

Il est donc difficile de quantifier la dynamique de fourniture en azote à la plante à partir des simples mesures de nitrates puisque l'on ne peut pas quantifier le **flux** d'azote, c'est-à-dire la dynamique de minéralisation. L'interprétation est ainsi complexe : si la réserve est faible mais la minéralisation très importante ou à l'inverse si la réserve importante mais la dynamique biologique très faible, les conséquences seront très différentes sur la culture.

De la même façon, on ne pourra donc pas connaître la quantité réellement minéralisée durant l'année, dont seule une partie sera absorbée par la plante, le reste étant lixiviée, absorbée par les populations bactériennes ... On raisonne donc en **bilan** azoté, à partir des informations globales que l'on connaît. Pour autant, la mesure des nitrates à un instant t ne renseigne pas non plus sur la quantité d'azote sous la forme cationique (NH_4^+) présente dans la CEC, ni sur la réserve



d'azote organique c'est à dire à fortiori pas sur l'azote total.

Ainsi, il est essentiel d'appuyer la différence entre plusieurs aspects de cette mesure :

- L'information fournie par le reliquat à un instant donné renseigne uniquement la disponibilité immédiate en NO_3^- par exemple pour envisager un apport de **fertilisation** « starter » ou correctif.
- En aucun cas cette mesure ne permet d'interpréter les réserves totales disponible, ni la « fertilité » d'un sol au sens large.

Cycle de l'azote et pertes dans l'environnement

Le processus de nitrification (NH_4^+ en NO_3^-) par les bactéries du sol dure quelques jours à quelques semaines selon les conditions biologiques (humidité, température, oxygénation ...). L'azote passe notamment par une forme « nitrites » qui est très rapidement nitrifiée. Lorsque cette étape ne se déroule pas dans de bonnes conditions (mauvaise oxygénation, excès d'eau ...) la forme « nitrite » peut s'accumuler, avec d'éventuelles phytotoxicités, mais surtout un

contexte biologique peu favorable. Par ailleurs, à cette étape, et selon les conditions, des pertes peuvent avoir lieu par dénitrification des nitrites et nitrates, en oxydes d'azote NO₂, NO_x.

La forme NO₃⁻ est par ailleurs très facilement lixiviée

contrairement à la forme NH₄⁺, fixée dans le complexe argilo humique, en tant que cation. Il s'agit donc de limiter les fortes concentrations en nitrates dans les sols si la culture ne peut les capter, afin de limiter à la fois la pollution des eaux de surface et la perte de ressources azotées.

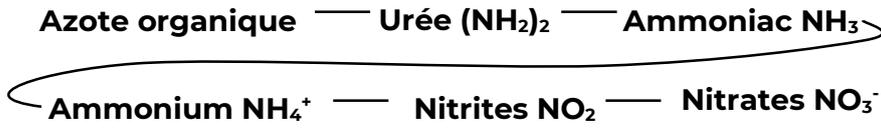
Par ailleurs, la forme ammonium forme peut par ailleurs entrer en compétition avec d'autres cations essentiels sur les sites de la CEC (notamment Ca²⁺ et Mg²⁺).

Intérêt du suivi NO₃⁻ pour optimiser les pratiques

Le suivi de la fourniture en nitrates étant représentatif de la quantité d'azote inorganique assimilable par les plantes (la forme ammonium étant minoritaire et plus difficilement assimilée) permet donc d'appréhender le fonctionnement biologique de son sol, et notamment la dynamique de minéralisation. Étudié au regard des pratiques, de l'état de la culture, et des événements météorologiques un suivi régulier peut permettre d'interpréter l'évolution de la disponibilité dans le temps, et donc la capacité du sol à dégrader les matières organiques et amendements. Toutefois, que la fréquence des mesures est **un biais important** lorsque le pas de temps est plus long que la vitesse de minéralisation. Par ailleurs, il faudrait idéalement tenir compte d'un « témoin nu » (sans consommation par la culture), et/ou du lien avec le développement ou le calibre de la culture concernée.

Utilisées ponctuellement, ces mesures pourraient également permettre des ajustements en cours de culture¹. En AB néanmoins, le rattrapage de fertilisation sera complexe, de par la nature des apports organiques qui demandent du temps pour être minéralisés.

L'objectif des suivis réalisés dans le cadre de l'accompagnement du groupe Dephy reste cependant la compréhension de la réaction des sols à différentes pratiques, bien plus que le pilotage de la fertilisation à proprement parler.



En savoir +

- [1] https://fr.wikipedia.org/wiki/Assimilation_de_l%27azote
- [2] <https://fertilisation-edu.fr/cycles-bio-geo-chimiques/le-cycle-de-l-azote-n.html>
- [3] https://wiki.aurea.eu/index.php/La_min%C3%A9ralisation_du_carbone_et_de_l%27azote
- [4] Solenn PÉRENNEC et Vianney ESTORGUES **Chambre Agri 29**. pp 18-20 <https://www.station-cate.fr/wp-content/uploads/2014/07/AD120.pdf>
- [5] **Intérêts et limites des différentes formes d'azotes apportées au sol en viticulture**. Guilbault, 2011. <https://www.vignevin-occitanie.com/wp-content/uploads/2018/10/7-COLLOQUE-formes-sol.pdf>
- [6] **Étude des pratiques de fertilisation azotée en maraîchage biologique**. Delpech, 2018. <https://ecophytopic.fr/sites/default/files/2022-04/Rapport%20de%20stage%20-%20Lilian%20Delpech%281%29.pdf>
- [7] **Guide de gestion de la fertilisation en maraîchage biologique**. GAB 44, 2018.

¹ L'utilisation des grilles ZENIT de la SERAIL permettent en effet de comparer la disponibilité immédiate en nitrates à un « idéal », et donc les apports complémentaires à apporter le cas

échéant. Des informations à utiliser avec du recul en AB en l'absence d'information sur la concentration en N total.

Évaluation de l'intérêt d'un couvert végétal

Les fermes du groupe pratiquent pour la plupart les couverts végétaux : d'hiver ou d'été, en plein champ ou sous abris ... avec divers objectifs et contraintes techniques. Il apparaît assez vite intéressant d'évaluer l'intérêt des couverts végétaux au regard des objectifs.

Estimer la biomasse produite et les services agronomiques

Un couvert, qui a mobilisé des éléments minéraux du sol et emmagasiné des sucres par la photosynthèse, est décomposé dans le sol après destruction relarguant ainsi progressivement les éléments et l'énergie emmagasinés, et produisant des matières organiques humiques. Estimer ces restitutions aussi bien minérales qu'organiques est une donnée importante pour la compréhension des dynamiques de fertilité de son sol : flux d'éléments, de matière organique, d'énergie ...

Pour ce faire, des outils permettent d'estimer l'impact agronomique d'un couvert au moment de sa destruction, à partir d'une simple mesure de biomasse aérienne fraîche, au champ en 30mn.

La méthode MERCI², développée par la Chambre Régionale d'Agriculture de Nouvelle-Aquitaine en 2010 est un outil facile d'accès, gratuit et rapide. Consolidée par plus de dix années de mesures depuis son lancement, l'outil est accessible en ligne via un formulaire de calcul, basé notamment sur le modèle STICS de l'INRAe.

Support de la fertilité des sols, les matières organiques jouent un rôle essentiel à plusieurs niveaux (chimique, physique, biologique). Caractériser ces couverts par la méthode MERCI permet d'en estimer la composition et donc l'impact sur ces trois axes de la fertilité d'un sol.

Mesure de la biomasse aérienne

L'estimation de la biomasse aérienne fraîche produite par un couvert peut être réalisée très facilement au champ, par prélèvement d'échantillons.

Il s'agit de sélectionner trois « petites placettes » de superficies égales, en des zones représentatives du couvert en termes de hauteur et de densité. On y prélève par temps sec les parties aériennes y compris des adventices. Chaque espèce est ensuite pesée séparément pour connaître la proportion de chacune d'entre elle dans la couverture végétale.

Toutefois, la mesure de biomasse fraîche ainsi effectuée, tout comme ses caractéristiques agronomiques varient considérablement selon les espèces présentes, l'implantation, la date de destruction, la densité ...

** Il est parfois préconisé de sélectionner une zone « représentative de la moyenne », une zone « plus productive » et une zone « moins productive ».*

Restitution d'éléments nutritifs

Piégés dans la plante, les éléments minéraux principaux (N, P, K) sont relargués progressivement en quelques semaines à quelques mois après la destruction et l'incorporation d'un couvert.

Dans de nombreux cas lorsque le couvert est dense et de « bonne hauteur » (1,5m) les quantités mobilisées s'avèrent rapidement très importantes, pouvant facilement dépasser 200 kg/ha d'azote en fin de cycle, par exemple. Les éléments captés sont souvent les reliquats après une culture, en particulier pour les semis d'automne. Dans le cas de l'azote, il s'agit de la forme nitrique issu de la minéralisation des MO durant la saison de production, qui n'a pas été absorbé par les cultures. Remobilisé dans le cycle, celui-ci est réintroduit dans le sol sous forme organique, pour être minéralisé à nouveau par l'activité biologique (bactéries, champignons).

² Méthode d'Estimation des Restitutions par les Cultures Intermédiaires.

Toutefois, son temps de séjour dans le sol et donc sa disponibilité à court terme dépend toujours largement de la composition de la biomasse incorporée.

- Les couverts « jeunes », détruits avant floraison sont des **engrais verts**. Leur C/N est bas (<10), et le carbone qui les compose est peu stable. Il s'agit de **matières fermentescibles**, composées de sucres simples et peu énergétiques. Ils stimulent intensément les bactéries du sol qui les **dégradent rapidement**, restituant leurs éléments minéraux (N, P, K) en quelques semaines.

- Les couverts « longs », détruits à un stade plus avancé ont un **C/N plus élevé** (>15/20). Ils fournissent au sol un carbone stable, **pourvoyeur d'humus**. Ces matières sont plus ligneuses, ce qui favorise l'incorporation d'énergie dans le système (sucres complexes). Leur **dégradation est plus lente** ce qui induit une plus faible restitution des éléments minéraux, qui s'étale sur plusieurs années.

La méthode MERCI permet ainsi d'estimer assez précisément la dynamique de remise à disposition des éléments par la dégradation des couverts végétaux et engrais verts, des valeurs qui peuvent surprendre tant elles varient. Effectuer l'exercice sur sa ferme permet d'appréhender la réaction d'une culture après un engrais vert, et comprendre l'intensité des flux d'éléments dans le sol (reliquat azoté notamment). Par ailleurs cela permet de raisonner la fertilisation en ayant plus d'éléments en main.

Influence sur la structure et la porosité

Les caractéristiques évoquées des couverts « jeunes » et « ligneux » permettent d'appréhender leur impact sur la structure du sol et la stabilité de sa porosité :

- Les matières fermentescibles, par leur effet sur la faune bactérienne, stimulent la production d'agrégats, et donc la création d'une porosité biologique importante par la production de polysaccharides issus de la décomposition des sucres : il s'agit d'une « colle » polymérique qui contribue à la formation des agrégats. Toutefois, cette



RÉSULTATS

Date de calcul : 13/06/2024
 Date de mesure : 30/04/2024
 Devenir du couvert : Restitué
 Type de sol : Limon argileux moyennement profond
 Réserve Utile du sol : RU < 100
 Date de levée (semis) : 15/10/2023
 Liste des espèces présentes dans le couvert :
 Avoine commune printemps

I CARACTÉRISTIQUE DU COUVERT

Matière sèche aérienne (t/ha)	Azote piégé total (kg/ha)
9,3	190

II RESTITUTIONS DU COUVERT AU SOL

(kg/ha, éléments disponibles pour la culture suivante)

Azote (N)
65

Informations sur la dynamique de minéralisation



Phosphore (P ₂ O ₅)	Potasse (K ₂ O)	Soufre (SO ₂)	Magnésium (MgO)
75	315	25	30

III CONTRIBUTION AU STOCKAGE DE CARBONE DANS LE SOL

Carbone stable (t/ha)	Evolution Matière Organique (t/ha)
1,4	2,4

porosité générée est instable car dépendant de l'activité bactérienne, particulièrement intense lors de l'incorporation de l'engrais vert mais décroissant rapidement ensuite.

- A l'inverse, les matières plus ligneuses, plus longues à assimiler dans le sol, participent à la création d'humus stable, et ainsi d'un complexe argilo-humique, à savoir un lien chimique entre les composants minéraux du sol et les matières organiques stabilisées. Ce lien participe largement à la structuration durable du sol lorsque le CAH est maintenu.

Des objectifs à court ou moyen terme dépendra le choix du couvert ou engrais. Pour appréhender les « performances » physiques du sol et identifier les besoins du sol, réaliser un **test bêche** est une méthode simple, rapide et efficace. Ce test, déjà abordée au sein du groupe Dephy, a été l'objet d'une fiche technique « **Fertilité du sol - Diagnostiquer son sol sur le terrain. Bio46, 2022** »

Impact sur le bilan humique

Levier de production de biomasse, les couverts végétaux peuvent aussi être un moyen efficace pour agrader les réserves de matières organiques des sols.

Selon la matière sèche produite, le rapport C/N du couvert, ou encore la part de carbone stable, la fourniture en humus stable peut

atteindre plusieurs tonnes à l'hectare sans difficulté. Combiné à la connaissance des amendements de l'année, des pratiques et du sol, il est ainsi possible d'évaluer l'évolution de la quantité de MO du sol. Il s'agit de la réalisation d'un bilan humique.

Sans forcément permettre de chiffrer avec précision l'influence des pratiques et des intrants sur les trois axes chimique, physique et biologique, réaliser son propre bilan humique permet d'en appréhender l'impact sur le sol, à lier aux objectifs et observations sur sa ferme. Afin d'orienter les choix de couverts ou d'engrais verts, il est en effet essentiel d'en identifier les objectifs au préalable, au regard des pratiques et des ressources disponibles.

..... En savoir +

- [1] **MERCI – Méthode et formalisme, 2020**
<https://methode-merci.fr/bibliotheque/categorie?format=fichier&f=32&k=e5634ce6ec4df872f8de0defaedf8618&b7dc6ef661305c4e336f29b923f9e295=1>
- [2] **MÉTHODE MERCI ACTUALISATION DES RÉFÉRENCES, NOUVELLES FONCTIONNALITÉS**, Sébastien Minette, 2021. https://agriculture-de-conservation.com/sites/agriculture-de-conservation.com/IMG/pdf/tcs112_culture_3-2.pdf
- [3] La bibliographie renseigne également sur un certain nombre de valeurs SIMEOS AMG etc voir https://www.agro-transfert-rt.org/wp-content/uploads/2016/03/Bilan-humique-AMG_Article_COMIFER-GEMAS-2011_vf.pdf
- [4] **MERCI - Interprétation des résultats de restitutions en carbone stable**
<https://methode-merci.fr/foire-aux-questions/categorie>
- [5] **LE BILAN HUMIQUE AMG. COMIFER-GEMAS, 2011** https://www.agro-transfert-rt.org/wp-content/uploads/2016/03/Bilan-humique-AMG_Article_COMIFER-GEMAS-2011_vf.pdf
- [6] **Redressement du taux de matière organique d'un sol** – Bio Ariège-Garonne, 2022
- [7] **Diagnostic de fertilité (1/2 et 2/2)**. Bio 46, 2022.