

Les analyses NP¹ dans les sols et les eaux

Jean-Luc Julien.²

Pendant plus d'un siècle, les agronomes se sont préoccupés d'assurer une production agricole correcte en quantité et en qualité. Parmi les techniques mobilisées, certaines avaient trait à l'alimentation des plantes en éléments nutritifs, en particulier l'azote (N), le phosphore (P) et le potassium (K). La vulgarisation des apports d'engrais minéraux, « la fertilisation NPK », a été l'un des facteurs majeurs de l'augmentation des rendements.

Depuis une dizaine d'années, il devient nécessaire de raisonner les pratiques de fertilisation avec un nouvel objectif : le développement durable. Sur un plan pratique, cela implique, sans hiérarchiser les priorités, d'une part de gérer des ressources parfois limitées : c'est essentiellement le cas du phosphore qui est issu de ressources

géologiques limitées, quelques centaines d'années. D'autre part, il faut limiter les émissions de gaz à effet de serre : en moyenne, les 2/3 des émissions de CO₂ des exploitations agricoles de grande culture sont dues aux engrais. En effet, la fabrication de tous les engrais est fortement consommatrice d'énergie et, pour l'azote, une fraction de l'azote apporté au champ, moins de 1%, est réémis dans l'air sous forme de N₂O, un gaz dont l'effet de serre est plus de 300 fois supérieur à celui du CO₂. Enfin, des excès d'azote et de phosphore dans les milieux aquatiques peuvent avoir des conséquences néfastes : c'est l'eutrophisation. La fertilisation peut y contribuer lorsque les apports d'engrais sont largement supérieurs aux besoins : une partie de l'azote et du phosphore risque d'être entraînée dans les

1. Azote et phosphore.

2. Laboratoire Départemental d'Analyses et de Recherche, rue Fernand Christ, 02007 Laon. Courriel : jjulien@cgo2.fr

eaux et ainsi participer à l'eutrophisation.

On notera que le cas du potassium est beaucoup moins concerné par ces préoccupations, c'est la raison pour laquelle il n'est pas développé dans cet article³.

Après un bref rappel agronomique, nous expliquerons rapidement les méthodes d'analyse de terre⁴ et la manière de les interpréter pour donner aux agriculteurs un conseil de fertilisation. Nous verrons dans quelle mesure ces analyses, et les conseils qui en sont tirés, permettent à la fois d'assurer les objectifs de production tout en évaluant les risques environnementaux.

Bref rappel agronomique

Pour assurer une production correcte, les plantes ont besoin de trois éléments dits majeurs, l'azote (N), le phosphore (P) et le potassium (K). La plante prélève ces éléments dans le sol sous forme d'ions solubles dans l'eau, la solution du sol. En moyenne, un hectare de culture mobilise 250 kg de N, 80 kilos de P₂O₅ et 300 kilos de K₂O. Toujours pour un hectare de terre, la quantité immédiatement disponible de ces éléments est de l'ordre de 1 kg pour l'azote et le potassium, quelques centaines de grammes pour le phosphore. Les besoins journaliers du peuplement végétal sont le plus souvent satisfaits, sauf lors des périodes de croissance intense. La réalimentation de la solution du sol est sous la dépendance de processus biologiques pour l'azote (le « cycle de l'azote ») et chimiques pour P et K.

Ainsi, pour l'azote, il y a des périodes où, les prélèvements par les plantes étant nuls, il peut y avoir accumulation d'ions nitrates dont la fuite est préjudiciable pour la qualité des eaux. À d'autres moments au contraire, la minéralisation d'azote est nettement insuffisante, et il est nécessaire d'apporter de l'azote minéral pour assurer des rendements corrects.

Pour le phosphore et le potassium, une bonne alimentation du peuplement n'est pas vraiment une question de quantité disponible, mais de vitesse de réalimentation de la solution du sol par les éléments P et K plus ou moins fermement retenus par les particules solides du sol.

Les agronomes ont mis au point des méthodes d'analyse et d'interprétation des résultats pour prévoir les quantités d'engrais à apporter à la culture. Nous nous attacherons ici à décrire les méthodologies utilisées pour l'azote et le phosphore, les deux éléments les plus « critiques » comme cela a été expliqué en introduction.

L'azote

Pour l'azote, la méthode la plus utilisée consiste à établir un bilan prévisionnel des fournitures et des besoins

en azote pour en déduire la dose d'engrais à apporter (Fig. 1). Des logiciels ont été écrits pour formaliser la séquence de calculs. Le plus récent de ces logiciels, AzoFert® (INRA), est fondé sur une modélisation du cycle de l'azote dans le sol, modélisation qui tient compte du climat dont l'influence sur l'activité biologique est prépondérante. AzoFert® permet de calculer en février une dose prévisionnelle d'engrais azoté à partir de renseignements précis sur la parcelle, la culture à fertiliser, les caractéristiques du sol, les méthodes de culture de l'agriculteur d'une part et, d'autre part, de données sur le climat des 8 derniers mois et sur le climat moyen (pluie, température, rayonnement, évapotranspiration).

Pour caractériser le sol, deux analyses sont au minimum indispensables. La première porte sur la quantité d'azote organique présente dans le sol : cet azote organique, en minéralisant, est une source d'azote minéral pour la culture. Cette quantité d'azote organique varie très peu d'une année sur l'autre : une analyse tous les 5 ans est suffisante. La deuxième analyse porte sur le « reliquat azoté en sortie d'hiver », le RSH, qui est la quantité d'ions nitrate et ammonium présents et disponibles pour la culture avant la reprise de la végétation au printemps. Cette quantité est très variable d'une année sur l'autre et doit donc être mesurée chaque année.

Des déterminations complémentaires sont utiles pour mieux caractériser le fonctionnement du sol : carbone organique, argile, carbonates, pH et CEC et améliorer les prédictions du logiciel.

Les méthodes d'analyse de l'azote

La méthode de dosage de l'azote organique couramment appliquée est la méthode Kjeldhal. Dans une première phase, dite de digestion, l'azote organique est

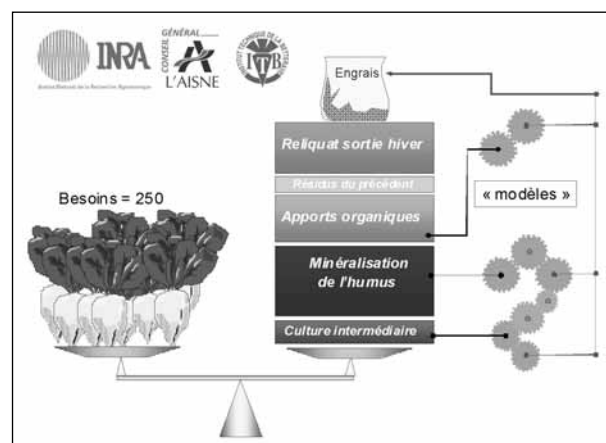


Figure 1. Principe de fonctionnement d'AzoFert®, logiciel conçu par l'INRA et le LDAR.

3. L'analyse consiste à déplacer le potassium en position échangeable par un autre cation, l'ammonium, puis à déplacer ce dernier par un troisième cation pour pouvoir doser l'ammonium.

4. Pour la différence entre analyse de terre et analyse de sol, voir l'article « Fournitures du sol et besoins des cultures... ».

attaqué par de l'acide sulfurique concentré et l'azote est minéralisé en ammoniac. Dans une deuxième phase, la distillation, l'ion ammonium est déplacé par de l'hydroxyde de sodium, entraîné par de la vapeur d'eau puis fixé par de l'acide borique sous forme de borate. Le dosage s'effectue par titration avec de l'acide sulfurique.

Après extraction des nitrates (et de l'ammonium) sur sol frais avec une solution de chlorure de potassium, le dosage s'effectue en général par colorimétrie.

Pour les eaux, cette dernière méthode est aussi utilisée pour déterminer les quantités de nitrate et d'ammonium dans des échantillons d'eau prélevés dans les nappes, plus ou moins profondes, ou dans les eaux superficielles.

L'interprétation des résultats

L'interprétation des résultats conduit à un conseil de dose d'azote à apporter pour assurer le rendement prévu par l'agriculteur (le logiciel vérifie la cohérence de ce rendement prévu avec les caractéristiques de la parcelle). Il est complété dans AzoFert par une estimation des pertes d'azote dans la nappe (à partir de la lame d'eau drainée) et dans les airs (à partir de la forme de l'engrais azoté utilisé et du pH de la terre). Dans les grandes régions agro-industrielles comme la Picardie ou Champagne Ardenne, la majorité des agriculteurs sont soucieux d'une bonne gestion de l'azote, pour des raisons à la fois agronomiques (quantité et qualité des récoltes), économiques et plus récemment environnementales. Ainsi, depuis 10 ans, ils ont doublé le nombre de RSH et ils font aujourd'hui en moyenne chaque année des mesures de reliquat azoté en sortie d'hiver sur 4 parcelles et extrapolent ces résultats à leurs autres parcelles. En moyenne, les doses d'engrais apportées sont désormais beaucoup mieux ajustées avec AzoFert® avec des conséquences favorables pour l'environnement.

Les précautions concernant les prélèvements

Les prélèvements pour les reliquats azotés en sortie d'hiver sont réalisés sur la profondeur potentielle d'enracinement de la culture, soit en général à trois profondeurs : 0-30 cm, 30-60 cm et 60-90 cm avec 9 prélèvements unitaires par profondeur. Les échantillons doivent être rapidement congelés avant l'envoi au laboratoire. Ces prélèvements sont réalisés le plus souvent à l'aide de quads équipés d'une tarière spéciale, sur une petite zone soigneusement repérée par GPS. Le coût du prélèvement est sensiblement égal à celui de l'analyse (25 à 30 €).

Le phosphore

Si l'azote est géré à l'échelle de l'année, le

phosphore, comme le potassium et les autres éléments nutritifs (magnésium, calcium...), est géré à l'échelle de la rotation, c'est-à-dire d'une succession de cultures sur la même parcelle plusieurs années (par exemple, une rotation triennale Colza - Blé - Orge voit se succéder ces trois cultures, le colza revenant après l'orge).

Les méthodes d'analyse du phosphore

Les méthodes d'analyse de terre pour le phosphore ont progressivement évolué. Une méthode ancienne comme la méthode Dyer (1894) repose sur une extraction énergique par de l'acide citrique à pH 2. La méthode Joret-Hébert (1955) est fondée sur une solubilisation par de l'oxalate d'ammonium à pH 7, qui extrait en moyenne deux fois moins de phosphore. La méthode qui se développe le plus en France aujourd'hui est la méthode Olsen, dont la première version date de 1954 et qui repose sur une précipitation des ions calcium et aluminium grâce à une solution d'hydrogénocarbonate de sodium à pH 8.5. Cette précipitation entraîne une augmentation de la concentration des ions phosphates en solution. Elle extrait encore deux fois moins de phosphore que la méthode Joret-Hébert. La méthode Olsen est mieux adaptée à l'élaboration d'un conseil de fumure en particulier parce que la quantité de P extraite est plus proche de la quantité de phosphore susceptible d'être prélevée par la plante.

Ces méthodes restent frustrées, même si elles sont robustes. Comme cela a été expliqué en introduction, il faudrait plutôt apprécier une vitesse qu'une quantité et ce n'est possible qu'avec 2 déterminations. Il est donc probable que dans un avenir assez proche, la caractérisation de la disponibilité du phosphore s'appuiera sur deux analyses : la concentration en phosphore dans la solution du sol (la quantité immédiatement disponible) et le pouvoir tampon (l'aptitude du sol à maintenir constante cette concentration, donc de compenser un prélèvement).

Dans les eaux, l'analyse du phosphore porte sur les ions phosphates (HPO_4^{2-}). Les techniques les plus courantes sont la colorimétrie et la chromatographie ionique.

L'interprétation des résultats

Il y a une vingtaine d'années, l'interprétation était fondée sur deux notions : la fumure d'entretien (de la richesse du sol) et la fumure de redressement (pour atteindre la richesse souhaitée). Les travaux du COMIFER⁵ ont permis de généraliser un mode de raisonnement différent : les conseils de fertilisation visent à maintenir une fertilité suffisante du sol en compensant les pertes d'éléments nutritifs dues aux exportations par les récoltes. Les doses proposées sont modulées chaque année en fonction

⁵ COMIFER : Comité Français d'Étude et de Développement de la Fertilisation raisonnée.

de « l'exigence des cultures », c'est-à-dire, pour simplifier, leur aptitude à se passer d'un apport d'engrais. Un logiciel récent comme RégiFert® (INRA) calcule également une fumure dite « de complémentarité de l'offre du sol », utile lorsque les teneurs sont faibles (Fig. 2). Pour interpréter les résultats, deux teneurs critiques du sol doivent être connues : la teneur L1 au delà de laquelle il est possible de ne pas apporter d'engrais pour les cultures peu exigeantes et la teneur L2, spécifique des cultures exigeantes. Ces teneurs sont déterminées à partir d'essais aux champs.

Il n'y a pas d'évaluation environnementale des apports d'engrais proposés car les modalités de transfert du phosphore vers les aquifères sont beaucoup plus difficiles à modéliser : il s'agit surtout de transport particuliers, avec des particules de terre, lors d'épisodes pluvieux intenses. À l'inverse des analyses de RSH, le nombre d'analyses de terre n'a pas évolué depuis 10 ans.

Les précautions concernant les prélèvements

De plus en plus et comme pour les reliquats azotés, le prélèvement est réalisé sur la profondeur du labour dans une petite zone repérée au GPS. Il est recommandé de faire au moins 16 prélèvements unitaires. Il n'y a pas de précaution particulière de conservation de l'échantillon. La principale difficulté provient de l'hétérogénéité de la parcelle : l'agriculteur souhaiterait avoir un échantillon représentatif de l'ensemble de sa parcelle. C'est pratiquement impossible, il faudrait une cinquantaine de prélèvements aléatoires. Par ailleurs, le développement des « techniques culturales simplifiées », c'est-à-dire sans labour, entraîne une forte différenciation des teneurs dans les 30 premiers centimètres.

La fréquence conseillée des analyses est de l'ordre de 5 ans. En Picardie et Champagne Ardenne, on observe que, en moyenne, un agriculteur sur deux respecte cette fréquence.

Le suivi de la qualité des eaux

Les Agences de bassin et les DDASS (Direction

Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales) effectuent chaque année en France des milliers d'analyses pour contrôler la qualité des eaux, qu'elles soient superficielles ou profondes, destinées à la consommation humaine ou non. Pour notre sujet, elles suivent surtout les teneurs en ions nitrates et phosphates. Ces données permettent de qualifier les ressources aquatiques dont la qualité est dégradée : il existe une norme réglementaire de qualité pour les nitrates (50 mg/litre), mais pas pour les phosphates. En revanche, il n'est pas toujours facile d'identifier les causes de cette dégradation : la pollution peut être ponctuelle ou diffuse et elle n'est pas toujours due à l'agriculture. Dans les cas où les pratiques de fertilisation des agriculteurs sont en cause, la protection d'une ressource en eau concerne de nombreux agriculteurs, plusieurs centaines dans le cas des grandes nappes phréatiques du Bassin parisien. Les dispositions « réglementaires » adoptées depuis une quinzaine d'années n'ont pas été particulièrement efficaces. L'une des raisons tient à l'extrême variabilité des doses d'engrais à apporter d'une parcelle à l'autre et d'une année à l'autre. Cette variabilité contraste avec des pratiques de fertilisation souvent moyennes. La nouvelle politique des Agences de l'eau sera peut-être plus efficace : elle concentre ses efforts sur les « bassins d'alimentation » des nappes dont la qualité est dégradée.

Conclusion

En guise de conclusion, les analyses de « reliquat azoté en sortie d'hiver », pour l'azote, ou les analyses de terre, pour le phosphore, sont indispensables. Les résultats d'analyse doivent être interprétés grâce à des logiciels performants pour conduire à des conseils qui prennent en compte à la fois l'économie et l'environnement, deux aspects du développement durable. L'utilisation des analyses et des logiciels d'interprétation doit être développée. Si l'environnement ne se limite pas à la seule qualité des eaux, le suivi de cette qualité par les analyses d'eau reste un indicateur pertinent.

Classe de biodisponibilité et stratégie de fumure (P ou K)

La teneur du sol est comparée aux deux teneurs seuils suivantes :

L1 : seuil d'impasse pour les cultures non exigeantes.

L2 : seuil d'impasse pour les cultures exigeantes.

Classe faible	L1	Classe moyenne	L2	Classe élevée
Fumure de compensation des pertes Fumure de complémentarité de l'offre (la plus élevée est retenue)		Fumure de compensation des pertes Impasse possible pour les cultures non exigeantes		Impasse possible pour toutes les cultures

Figure 2. Principe simplifié de RégiFert®

Nota : la classe de biodisponibilité est par ailleurs modulée par d'autres critères : le nombre d'impasses, le pouvoir fixateur, les restitutions (pour K)...