

5 Acidification

La gestion de l'azote et le choix des cultures ont un impact important

Le statut acido-basique ou état d'acidité du sol, couramment apprécié par la mesure du pH eau, constitue un paramètre essentiel de la fertilité chimique du sol car la biodisponibilité de nombreux composés chimiques en dépend. Entre autres facteurs, il est lié à certaines sources de pertes d'azote minéral du sol, mais aussi au choix des cultures sur la parcelle, sur lequel l'agriculteur peut agir.

L'acidification du sol peut se définir par une production nette d'acidité, c'est-à-dire de protons H^+ . Son ampleur varie selon le contexte pédoclimatique et les pratiques culturales (rotations, fertilisation, apports d'amendements, travail du sol...). Sous climat tempéré, l'excédent pluviométrique hivernal provoque la lixiviation (couramment appelée lessivage) des cations (Ca^{2+} , Mg^{2+} ...) et des anions produits par des réactions acidifiantes. Selon le pouvoir tampon des sols, la production d'acidité conduit à une baisse du pH à plus ou moins longue échéance. La chute sera nulle dans les sols carbonatés (en France, surtout les sols calcaires) où le pouvoir tampon est fort. Ailleurs, ce dernier ne suffit pas à compenser l'ensemble des mécanismes d'acidification et le pH se réduit.

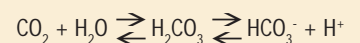
Le pH eau indicateur de l'acidité

Plusieurs paramètres analytiques permettent d'évaluer le statut acido-basique du sol : le pH eau, qui se mesure sur une suspension de terre dans l'eau, l'aluminium échangeable, la CEC (Capacité d'échange cationique) obtenue par la méthode Metson, et le taux de saturation de la CEC par les cations échangeables. C'est le plus souvent la mesure du pH eau qui est utilisée pour évaluer les risques liés à l'excès d'acidité. En-dessous de 5,6, seuil qui peut être plus faible dans certains sols, la croissance et le développement des

En-dessous de 5,6, seuil qui peut être plus bas dans certains sols, la croissance et le développement des racines peuvent être altérés par la toxicité de l'aluminium.

La respiration acidifiante si le CO_2 ne se dégage pas

Produit dans le sol par la respiration des racines, des microorganismes ou des autres êtres vivants, le dioxyde de carbone (CO_2) s'il n'est pas évacué dans l'air, réagit avec l'eau pour former de l'acide carbonique H_2CO_3 . Ce dernier se dissocie ensuite en anion HCO_3^- et en protons H^+ selon les réactions chimiques suivantes :



C'est une réaction chimique acidifiante classique, comme de nombreuses autres qui se déroulent couramment. La respiration ne génère pas d'acidification pour le sol si les échanges entre celui-ci et l'atmosphère permettent le dégagement du CO_2 : l'équilibre chimique ne va pas au-delà de la formation d'eau et de dioxyde de carbone.

L'acidification devient définitive, quand le CO_2 non dégagé finit par se dissocier en proton (H^+) et en hydrogénocarbonate (HCO_3^-) et que ce dernier est lixivié avec des cations minéraux tels K^+ , Na^+ , Mg^{2+} ou Ca^{2+} . Dans ce cas, ne restent plus que les protons H^+ .



En sol acide, les plantes sont chétives et des carences peuvent se manifester.

La nitrification et la volatilisation sources de protons

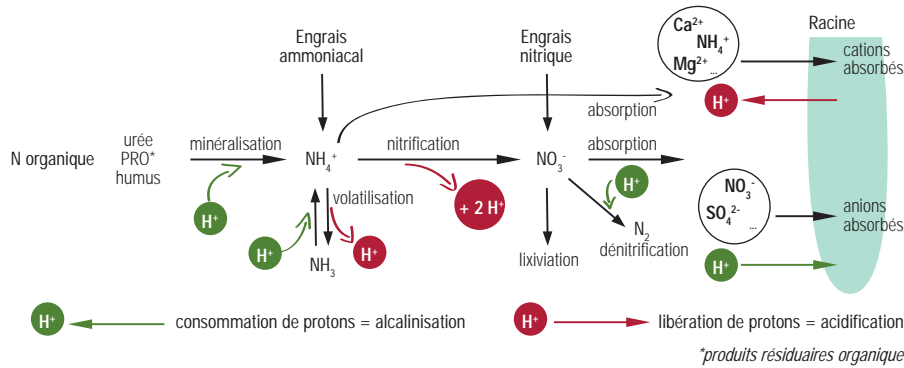


Figure 1 : Transformations de l'azote dans le sol et flux de protons (H⁺) associés.

racines peuvent être altérés par la toxicité de l'aluminium. De ce fait, l'alimentation minérale et la production des cultures peuvent être plus ou moins fortement affectées selon les espèces voire selon les variétés au sein d'une même espèce.

Lixiviation et acidification très liées

L'acidification des sols est un phénomène naturel. Elle résulte d'une part d'un ensemble de réactions chimiques globalement émettrices de protons, liées à l'activité biologique du sol et à l'absorption racinaire des cultures, et d'autre part de la lixiviation des composés produits par ces réactions, ce qui rend ces dernières irréversibles (*encadré 1*). Toutes choses égales par ailleurs, les conditions pédo-climatiques les plus favorables à la lixiviation, tels que les sols superficiels sous climat hivernal pluvieux, le sont donc également pour l'acidification.

Des mécanismes connus

Les mécanismes qui produisent des protons et acidifient le sol, ou ceux qui au contraire en consomment et l'alcalinisent, sont en partie liés aux transformations de l'azote dans le sol (*figure 1*). La nitrification ou la volatilisation de l'ammonium apporté par certains engrais azotés ou issu de la

minéralisation d'azote organique sont acidifiantes, tandis que la minéralisation de l'azote organique ou uréique, ou encore la dénitrification, sont alcalinisantes. Ces réactions participent en tout cas aux variations de pH dans le temps et l'espace. Elles n'ont des effets à long terme que si elles deviennent irréversibles, certains composés disparaissant. Ainsi, l'acidification induite par la nitrification de l'ammonium ($\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_3^-$) est temporaire alors que celle due à la lixiviation du nitrate hors de portée des racines est définitive.

Les légumineuses comme la luzerne ont un effet plutôt acidifiant sur les sols, à l'inverse d'autres espèces.

Les légumineuses plus acidifiantes

L'absorption de cations et d'anions par les cultures est une autre source de mouvements de protons. Parce qu'elles absorbent davantage d'anions que de cations minéraux, la plupart des espèces non fixatrices d'azote tendent à alcaliniser le sol. Toutefois, des variations importantes existent entre espèces voire entre variétés. Le manque de références ne permet pas de faire de classement. Les légumineuses ont l'effet inverse et sont plutôt acidifiantes.

La décomposition dans le sol des résidus végétaux et des produits résiduels organiques, qui contiennent des bases associées dans les matières organiques aux cations K⁺, Mg²⁺ ou Ca²⁺, entre également en jeu. Elle libère des anions organiques de nature très diverse dont la minéralisation consomme des protons et contribue à alcaliniser le sol. La restitution au sol des résidus de culture permet ainsi de limiter son acidification voire de l'alcaliniser alors que leur exportation conduit à amplifier la tendance à l'acidification.



Des pratiques à encourager

Ces connaissances montrent d'abord que toutes les pratiques limitant les pertes d'azote par lixiviation (optimisation des doses d'engrais et des modalités d'apport, mise en place de couverts végétaux pendant les périodes d'interculture) mais aussi par volatilisation (optimisation des modalités d'apport des différentes formes d'apport d'azote) contribuent à limiter le risque d'acidification. Celui-ci est également réduit par des apports raisonnés de produits résiduels organiques avec prise en compte de leur valeur azotée pour ajuster la fertilisation minérale complémentaire. À l'inverse, les rotations avec exportations fréquentes des pailles et celles introduisant des légumineuses augmentent le risque.

Amender en cas d'excès d'acidité

Une fois détectée, la correction de l'acidité peut s'effectuer avec un amendement minéral basique. Une telle pratique vise en premier lieu à éviter l'excès d'acidité, donc



Principalement liées à la vie biologique du sol, les réactions acidifiantes ont lieu dans tous les types de sol et ne conduisent pas forcément à une baisse de pH.

à maintenir le pH au-dessus de 5,5, tout particulièrement au moment de l'implantation des cultures. Un chaulage de redressement est nécessaire dès lors que le pH eau est inférieur à 5,6. Compte tenu de la variabilité spatiale et temporelle de cet indicateur, une marge de sécurité est souhaitable. Elle peut conduire à déclencher un apport d'entretien dès lors que le pH eau descend un peu au-dessous de 5,8 - 6. Pour les systèmes de grandes cultures et polyculture élevage, la gamme de pH eau visée varie entre 6 et 6,5. Des pH supérieurs à 6,5 voire 7 sont recherchés dans certains cas, où un effet favorable des apports d'amendements basiques est attendu sur la structure des sols limoneux battants : contextes betteraviers du nord de la France, limons battants humides drainés en systèmes céréaliers à base de cultures d'hiver (colza, céréales).

Toutes les pratiques limitant les pertes d'azote par lixiviation mais aussi par volatilisation contribuent à limiter le risque d'acidification.

le manganèse, le zinc ou le bore. Dans certains sols, cela peut aggraver significativement le risque de carence. De fait, le phénomène est à l'origine de la plupart des cas de carences en manganèse, type de carence le plus fréquemment observé sur céréales et maïs : ils concernent des sols sableux ayant bénéficié de chaulages abondants alors qu'ils ne sont aucunement justifiés par des problèmes de structure, et dont le pH se situe autour de 7. Autre effet secondaire lié à un pH élevé : la disponibilité du phosphore, qui est maximale pour des pH autour de 6, tend à diminuer lorsqu'ils augmentent en raison d'apports d'amendement basiques calciques. La concentration plus élevée de la solution en cations Ca^{2+} apportés par les amendements conduit en effet à la formation de phosphates de calcium qui évoluent vers des formes stables d'apatites. ■

Attention aux pH trop élevés

Mais de tels pH s'accompagnent souvent d'une diminution importante de la solubilité de certains oligo-éléments tels que le cuivre,

Alain Bouthier

a.bouthier@arvalisinstitutduvegetal.fr

Baptiste Soenen

b.soenen@arvalisinstitutduvegetal.fr

ARVALIS-Institut du végétal



Zoom

France : l'acidification sous contrôle

L'étude des données relatives aux analyses de sol réalisées au niveau hexagonal montre que les sols français présentent un niveau d'acidité qui ne doit pas être source d'inquiétude. D'autant plus qu'il évolue dans le bon sens au fil des ans.

L'examen des données récentes (2000 à 2004) de la BDAT (base de données des analyses de sol du GisSol et de l'INRA) (1) montre que les régions les plus acides ont des sols à dominante sableuse situés sur des roches mères granitiques, gréseuses ou sableuses. Il s'agit du sud de la Bretagne, du massif central et des Vosges ainsi que des Landes. Compris entre 5,5 et 6, le pH médian de ces régions suggère la présence de sols dont le niveau d'acidité peut pénaliser la production des cultures (pH eau < 5,5). Ils sont en fait assez peu nombreux. En Bretagne et Pays de la Loire, majoritairement acides, les sols à pH eau inférieur à 5,6 représentent ainsi le plus souvent moins de 11 % des analyses (tableau 1).

Les zones où le pH médian cantonal se situe entre 6 et 7 se trouvent principalement dans l'ouest de la France (sols limoneux du massif armoricain), le Sud-Ouest (sud des landes et Pyrénées-Atlantiques), le pourtour nord du massif central (limons et terres de brandes du Boischaud sud), certains cantons de Midi-Pyrénées (sols de Boulbènes et Ségalas), le Centre-Est (Allier, Saône et Loire, Loire) et la Franche-Comté.

Moins de sources d'acidification

Dans les sols à tendance acide, les études récentes de l'INRA sur l'état

des sols français (2) mettent en évidence une majorité de situations avec un pH du sol qui se stabilise ou augmente depuis une quinzaine d'années (figure 2). Ceci peut résulter d'une pratique globale de gestion des amendements basiques par les agriculteurs compensant les sources d'acidification. L'évolution récente des pratiques agricoles dans le sens d'une limitation des risques de lixiviation du nitrate a aussi probablement diminué les sources d'acidification. Dans les régions Bretagne et Pays de la Loire, les statistiques disponibles sur les tonnages d'amendements minéraux basiques apportés montrent que ceux-ci sont plutôt stables voire en diminution au cours des 20 dernières années. D'après ces éléments recoupés avec une enquête réalisée en 2011 auprès de 39 agriculteurs, les niveaux d'apports actuels se situent entre 150 et 250 kg CaO par ha et par an. La pratique du chaulage s'avère pour sa part régulière et non négligée par les agriculteurs.

L'acidification qui figure parmi les menaces de dégradation des sols identifiées dans le projet de directive européenne sur les sols, ne semble donc pas poser problème actuellement à l'échelle du territoire français.

(1) <http://acklins.oreans.inra.fr/geosol/index.php>
(2) voir l'article paru dans Perspectives Agricoles n° 387 en mars 2012 p 46.

Des pourcentages de sols très acides relativement faibles

Région	Département (effectif d'analyses)	Pourcentage des analyses pour lesquelles le pH eau ≤ 5,6
Bretagne	Morbihan (16 848)	11
	Ille-et-Vilaine (12 704)	10
	Finistère (16 232)	7
	Côtes d'Armor (14 812)	6
Pays de la Loire	Loire Atlantique (5 020)	16
	Vendée (7 660)	11
	Mayenne (4 922)	10
	Maine-et-Loire (4 936)	9
	Sarthe (3 936)	6

Tableau 1 : Pourcentages des analyses pour lesquelles le pH eau est inférieur à 5,6, analyses issues de la base de données SAS-Agrosystèmes pour la période de 2005 à 2010.

Des pH stables ou en hausse

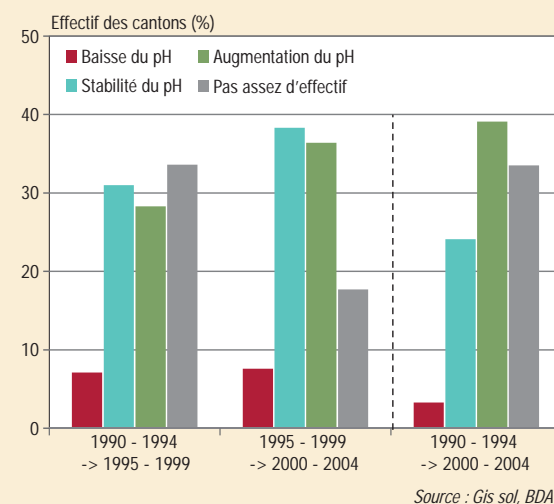


Figure 2 : Évolution du pH eau des sols français 1990 à 2004 (*). (*) test de Wilcoxon à 5 % sur les analyses de pH eau par canton.

La pratique du chaulage n'est pas négligée par les agriculteurs.

