

EFFET DES EFFLUENTS D'ELEVAGE SUR LE STATUT ACIDO-BASIQUE D'UN SOL, APPROCHE PAR LE BILAN DE PROTONS.

JULIEN Jean-Luc ⁽¹⁾ et le Groupe Chaulage du COMIFER

(1) LDAR, rue Fernand Christ, 02 007 LAON

Les sols de nos régions sont soumis à un processus inéluctable d'acidification. L'acidification est une consommation de protons par le sol, ces protons étant produits par le système sol / plante ou apportés principalement par les pluies et les fertilisants. Cette acidification est lente, elle ne se traduit pas toujours par une baisse du pH. Ses effets sur le long terme sont en général préjudiciables. Il est donc prudent de chercher à limiter cette acidification par des apports d'amendements basiques.

Pour déterminer la quantité d'amendements basiques à apporter, il faut quantifier l'acidification. Or la mesure de l'acidification, c'est-à-dire la mesure de la quantité de protons consommés est très difficile. Un moyen d'évaluation est de faire un bilan de protons. L'application du principe du bilan de protons permet de prévoir l'effet d'un apport d'effluent d'élevage sur le statut acido-basique d'un sol.

Le bilan de protons

L'origine des protons est bien connue : la revue des réactions en jeu est détaillée par van Breemen *et al*, 1983. En raison de la réaction instantanée entre protons et bases, les flux de H^+ ne sont pas mesurables. De plus, la majeure partie des protons proviennent de réactions internes à l'écosystème sol – plante : Sauf exception, les flux de protons ne peuvent donc être connus qu'indirectement. Il en est de même du bilan de protons. C'est la méthode proposée par Helyar et Porter (1989) qui est présentée ici. Trois groupes sont impliqués dans les équilibres avec des protons : 1) le groupe des molécules électriquement neutres constituant l'état de référence et 2) les deux groupes de molécules issues de l'état de référence soit par consommation de protons pour un groupe, soit par production de H^+ pour l'autre groupe (figure 1).

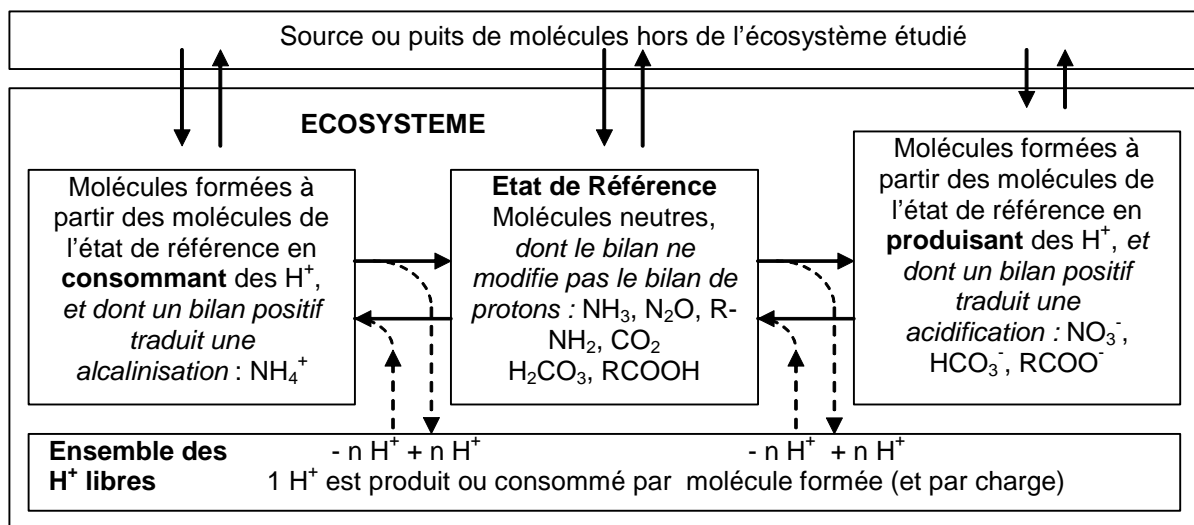


Figure 1 Principe de la méthode d'Hélyar et Porter. Flux de molécules —>, flux de H^+ --->.

La figure 1 illustre que, **pour établir le bilan des protons** au sein d'un système, il suffit de faire la somme des bilans des molécules « chargées ». Ces deux groupes sont utilisés pour « tracer » les flux de protons, à raison d'un H^+ par molécule et par charge : Un bilan positif des molécules issues d'une production de protons, molécules chargées négativement, traduit une acidification de l'écosystème. Inversement, un bilan positif des molécules issues de la consommation de protons traduit une alcalinisation (molécules chargées positivement). Pour chacun des deux groupes et pour une période donnée, le bilan des molécules est établi selon l'équation générale suivante :

Bilan = [accumulation dans l'écosystème + (sorties – entrées) de l'écosystème]

On notera d'une part que, dans le bilan, le terme « entrée » est relatif aux entrées de molécules dans l'écosystème, et le terme « sortie » relatif aux sorties de molécules hors de l'écosystème. D'autre part, le bilan des molécules de l'état de référence ne modifie pas le bilan de protons : c'est le cas en particulier de CO_2 . C'est l'une des raisons de l'intérêt de la méthode d'Helyar et Porter, les entrées et sorties des gaz ne sont pas à suivre.

Il est important de bien définir les limites de l'écosystème. Les compartiments de l'écosystème généralement pris en compte sont : 1) le sol avec plusieurs compartiments, souvent les horizons, jusqu'à la profondeur maximale d'enracinement ; 2) la solution du sol ; 3) la matière organique végétale vivante ; 4) la matière organique particulaire ; 5) parfois l'eau libre lorsque des rivières ou des lacs sont inclus dans l'écosystème.

Quelques exemples simples

La figure 2 illustre le bilan partiel sur l'ion NH_4^+ lors d'un apport d'ammonium, NH_4^+ , sous forme de sulfate. On suppose dans cet exemple qu'il n'y a pas d'accumulation d'ammonium (ce n'est pas toujours vrai) et qu'il n'y a pas de sortie de NH_4^+ hors du système (ce qui est généralement le cas) :

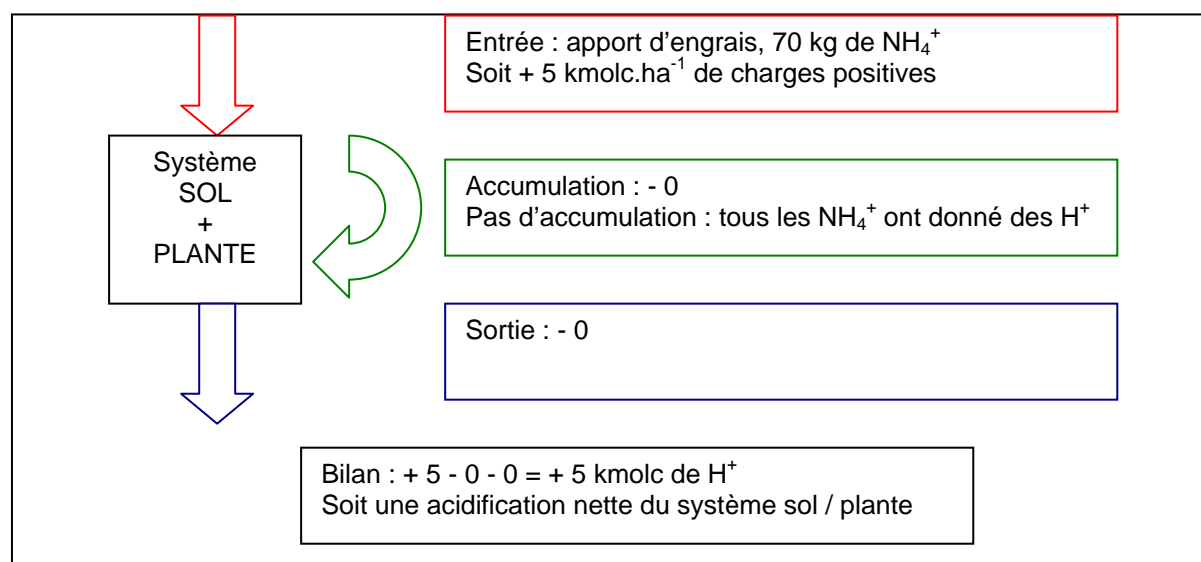


Figure 2 : Exemple de bilan de protons simplifié dans le cas d'une entrée de NH_4^+ .

Un deuxième exemple est présenté dans le tableau 1 : il résume les deux bilans partiels liés aux ions NH_4^+ et NO_3^- lors d'un apport de 140 unités d'azote sous forme d'ammonitrate. On suppose ici qu'une partie de l'azote, 35 unités, est lixivié sous forme de NO_3^- hors du système sol / plante (donc non ré adsorbable par les racines). Comme précédemment, on admet qu'il n'y a aucune accumulation. Le bilan final est une acidification de 2.5 kmolc de H^+ .

Expression des résultats	NH_4^+		NO_3^-		Bilan par terme
	kg.ha ⁻¹	kmolc.ha ⁻¹	kg.ha ⁻¹	kmolc.ha ⁻¹	kmolc.ha ⁻¹
Entrée	70	+ 5	70	- 5	0
Accumulation		- 0		+ 0	0
Sortie		- 0	35	+ 2.5	+ 2.5
Bilan par ion et total		+ 5		- 2.5	+ 2.5

Tableau 1 : Exemple de bilan de protons pour un apport d'ammonitrate.

Ces exemples avec des engrais azotés montrent que si le premier terme du bilan, les entrées, est facile à estimer, le deuxième terme, les sorties, est le plus souvent mal connu. Les sorties

sont d'autant plus importantes que l'azote apporté est mal valorisé par la culture, c'est-à-dire si la dose est mal calculée et si la date de l'apport n'est pas proche des besoins de la culture.

Application du bilan de protons aux effluents d'élevage

Les effluents d'élevage contiennent beaucoup d'azote. Les éleveurs cherchent de plus en plus à bien valoriser cet azote. L'application du principe du bilan de protons à l'évaluation de l'effet d'un effluent d'élevage sur l'acidification des sols permet, sous certaines hypothèses, de quantifier son effet probable. Comme dans les exemples précédents, le système sur lequel porte le bilan est le système sol plante.

La première hypothèse formulée pour estimer l'effet des effluents est que ces derniers sont oxydés entièrement. Remarque : si on est certain que seule une partie sera oxydée, on peut affecter le résultat final du coefficient correspondant.

Pour appliquer le bilan de protons, la démarche conduit à considérer d'une part la fraction azotée et, d'autre part, les composants susceptibles de libérer de l'alcalinité.

1) Effet de la fraction azotée de l'effluent sur le statut acido-basique du sol

On a vu dans les exemples l'importance d'une bonne valorisation de l'azote sur le bilan final d'un apport d'engrais comme l'ammonitrate. Deux hypothèses différentes sont donc formulées : une avec une bonne valorisation et une, au contraire, où les conditions sont totalement défavorables. Il est évident que cette dernière a peu de chance de se voir intégralement réalisée, elle permet de fixer les idées. Sur un plan pratique, il suffira de fixer les proportions respectives et de les appliquer aux résultats. Le même raisonnement est tenu pour le soufre.

1.1) Lorsque les conditions de l'apport sont favorables à une bonne valorisation de l'azote par les plantes, l'azote et le soufre initialement organiques sont réorganisés ou absorbés par les plantes et redeviennent de l'azote et du soufre organique. Il n'y a donc pas de production de protons comme le montre la figure 3.

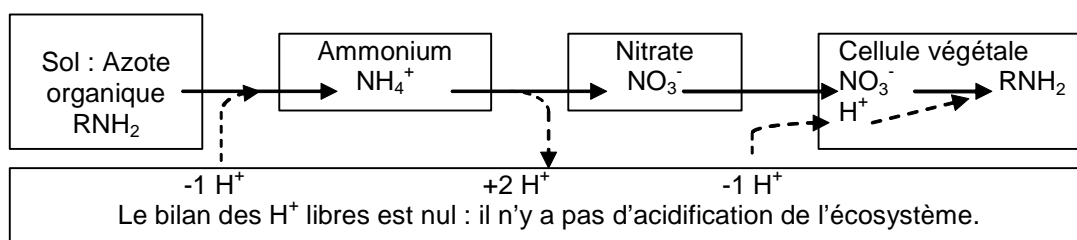


Figure 3 : Cycle simplifié de l'azote et bilan de protons

Dans ces conditions favorables, la figure 3 illustre aussi que si l'effluent contient de l'azote ammoniacal, il y a production d'une mole de H^+ par mole de NH_4^+ absorbée in fine par la plante. Pour l'azote nitrique, il y a au contraire consommation d'une mole de H^+ pour une mole de N. Les teneurs en sulfates sont généralement très faibles : il n'en est donc pas tenu compte.

1.2) Lorsque les conditions sont défavorables à une bonne valorisation de l'azote et du soufre, tout l'azote est transformé en ions NO_3^- et SO_4^{2-} et ces derniers sont lixiviés, entraînés hors du système. Une mole de N organique produit donc une mole de H^+ , une mole de S organique produit 2 moles de H^+ . Chaque mole de NH_4^+ produit, par rapport à l'hypothèse précédente, une mole supplémentaire de H^+ . Les ions nitriques initiaux sont également lessivés : les entrées sont égales aux sorties, leur contribution au bilan est donc nulle. Ces conditions défavorables se produisent lors d'un apport sur sol nu, avec une température positive et de fortes pluies.

2) Effets des autres composants

Les autres composants ayant un effet sur le bilan de protons sont surtout le phosphore et des anions organiques ou carbonatés.

Pour le phosphore, on fera l'hypothèse que l'effluent est épandu sur un sol avec un pH de 5 à 6 environ. L'espèce ionique majoritaire est H_2PO_4^- . Il y a production d'une mole de H^+ par mole de P contenue dans l'effluent (Voir André Turpin) : l'oxydation du phosphore a un effet acidifiant.

Les anions organiques ou carbonatés sont susceptibles de consommer des H^+ : ils sont basiques. Leurs charges sont compensées par les cations d'acidité négligeable, Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ et Na^+ . Dans ces conditions, la somme des moles de charge de ces cations correspond à un nombre équivalent de moles de H^+ pouvant être consommées par les anions organiques et carbonatés.

L'effet global de ces composants est en général alcalinisant. Il est estimé par la formule suivante, tous résultats exprimés en centimole de charge par kilo de MS (cmolc.kg^{-1}) :

$$\text{Effet alcalinisant de la fraction non azotée} = (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+ + \text{Na}^+) - \text{P}$$

Application à deux effluents d'élevage

Du point de vue analytique, les analyses se résument à la détermination des teneurs suivantes : N et S organique, fractions minérales de l'azote (NH_4^+ et NO_3^-), éléments totaux pour P, Ca, Mg, K, Na. Il ne faut pas oublier de transformer les résultats exprimés en g.kg^{-1} en cmolc.kg^{-1} . Dans le tableau 2, l'estimation est complétée par le calcul de la valeur amendante pour un apport de 10 tonnes par hectare de fumier, exprimée en kilos de valeur neutralisante (la teneur en MS du fumier étant de 25%).

Résultat d'analyse en cmolc.kg^{-1} de MS	Azote bien valorisé	Azote mal valorisé
N organique : 1.57	0	+ 1.57
S organique : 0.10	0	+ 0.1
(Ca+Mg+K+Na) - P : 1.64	- 1.64	- 1.64
BILAN	- 1.64	+ 0.03
Kg de Valeur Neutralisante pour 10 tonnes	115	-2

Tableau 2 : Effet d'un fumier sur le statut acido-basique du sol

Cet exemple montre bien l'importance des conditions de valorisation de l'azote. On retiendra que en règle générale, les fumiers ont un effet alcalinisant important, susceptible de compenser l'acidification moyenne annuelle.

L'exemple suivant, tableau 3, porte sur un lisier qui contient une forte proportion d'azote ammoniacal, 46% de l'azote total. Ce lisier a une teneur en MS de 6.8%.

Résultat d'analyse en cmolc.kg^{-1} de MS	Azote bien valorisé	Azote mal valorisé
N organique : 1.86	0	+ 1.86
N ammoniacal NH_4^+ : 1.64	+ 1.64	+ 3.28
(Ca+Mg+K+Na) - P : 3.46	- 3.46	- 3.46
BILAN	- 1.82	+ 1.68
Kg de Valeur Neutralisante pour 10 tonnes	35	- 32

Tableau 3 : Effet d'un lisier sur le statut acido-basique du sol

Il faut retenir de cet exemple qu'un lisier peut avoir un effet alcalinisant ou acidifiant. Si la proportion d'azote ammoniacal est faible, et si les conditions de l'apport permettent une bonne

valorisation de l'azote, l'effet sur le statut acido-basique sera alcalinisant. Dans le cas contraire, il risque d'avoir un effet acidifiant.

En conclusion

Nous avons vu que l'application du principe du bilan de protons permet de mieux comprendre l'effet d'un apport de fumier ou de lisier sur le statut acido-basique du sol. Il convient de préciser que l'effet sur le pH du sol dépendra en plus du pouvoir tampon du sol. Trois points ont été illustrés :

- En règle générale, il importe de chercher à bien valoriser l'azote de l'effluent par la culture pour limiter l'effet acidifiant lié à l'azote contenu dans l'effluent.
- Cet effet acidifiant est d'autant plus prononcé que la teneur en azote ammoniacal est élevée.
- D'autres composants de l'effluent sont susceptibles d'avoir un effet sur l'acidification, et cet effet est alcalinisant. Ce sont les anions organiques et carbonatés.
- L'analyse des teneurs en azote et soufre organique, azote nitrique et ammoniacal, phosphore, chlore, calcium, potassium, magnésium et sodium est nécessaire pour estimer l'effet potentiel sur le statut acido-basique d'un sol.

L'effet global d'un apport d'effluent sur le statut acido-basique d'un sol dépend de sa composition chimique et de la bonne valorisation de l'azote qu'il contient.

Bibliographie succincte :

Helyar K.R., Porter W.M. (1989). Soil acidification, its measurement and the processes involved. In *Soil Acidity and Plant Growth* (A.D. Robson Ed.). Academic Press, Sydney. pp 61-101.

Julien J.L et al. (2005). L'acidification des sols. In « Sols et Environnement », Dunod.

Turpin A (1990). Cours de chimie du sol. Document manuscrit ENFA Toulouse.

Van Breemen N, Mulder J, Driscoll CT (1983) Acidification and alkalinization of soils. *Plant & Soil*. 75,3 : 283-308.