

Comment raisonner la biodisponibilité du phosphore dans les effluents d'élevages ?

Jean-Claude Fardeau, Philippe Rabiller (CA 72), Claire Jouany (INRA, 31), Monique Linères (INRA, 33), Christian Morel (INRA, 33), Tatiana Molé (Réseau Cohérence 22), Astrid Oberson (Ecole Polytechnique Fédérale de Zurich), etc....

CV de Jean-Claude Fardeau



73 ans. Membre du COMIFER. Essentiel des activités professionnelles conduites au Commissariat à l'Énergie Atomique au Centre d'études nucléaires de Cadarache (13 118) entre 1964 et 1998. Initialement en charge de recherches sur le destin du devenir du phosphore dans les agroécosystèmes. Recherches conduites avec des traceurs isotopiques, CEA oblige. Détermination des coefficients réels d'utilisation du phosphore des matières fertilisantes. Analyse de la contribution des réserves assimilables présentes dans la terre à la nutrition des plantes. Caractérisation du phosphore des terres en terme de cinétiques de transfert depuis les constituants des terres jusqu'à la solution du sol puis aux racines. Puis élargissement des recherches à tout élément susceptible d'être apporté à un sol comme matière fertilisante ou polluant et possédant des isotopes dont la durée de vie est compatible avec des essais agronomiques. Fin d'activité professionnelle au sein de l'INRA, entre 01 01 1999 et 01 04 2002, en tant que Chef de département adjoint du département Environnement Agronomie qui venait de se créer, et en charge des programmes du département portant sur les cycles biogéochimiques des éléments ou molécules. Retraité. Grand père. Domicilié à Manosque 04 100. Consultant bénévole pour tout groupe d'agriculteurs et de professionnel intéressé par le destin de P.

Résumé de la présentation.

A l'échelle planétaire la moitié du phosphore qui tombe sur les terres est constitué d'effluents d'élevage. Cette situation est le résultat de systèmes de production très différents. Dans un cas, il s'agit d'élevages extensifs dans lesquels les effluents retournent directement au sol, et dans l'autre cas il s'agit d'élevages très intensifs développés sur des surfaces très insuffisantes pour produire la nourriture indispensable aux animaux. Cette nourriture est alors importée d'une autre région et, dans ces conditions, le retour des effluents du bétail vers les lieux de production des aliments n'est plus possible. Ces effluents sont alors appliqués massivement sur des surfaces dont les cultures ne peuvent exporter la totalité du phosphore contenu dans les effluents. Cette situation peut parfois faire naître quelques soucis environnementaux.

Sont ensuite évoquées les définitions retenues, pour : raisonner, phosphore, effluents d'élevage, biodisponibilité, pour tenter d'aboutir à raisonner ce que pourrait être la biodisponibilité du P dans les effluents d'élevage, en notant en préalable que, dans les textes réglementaires nationaux et européens, on ne détermine pas, on ne raisonne pas, on n'évoque même pas la biodisponibilité du P dans les matières fertilisantes normées et/ou homologuées. Alors pourquoi voudrait-on raisonner la biodisponibilité du P dans les effluents d'élevage ? Le P des effluents d'élevage aurait-il des propriétés particulières que n'auraient pas les matières fertilisantes normées ou homologuées ? Et pourquoi ce P obligerait-il à une telle innovation conceptuelle et opérationnelle ? Seraient-ce les origines objectivement biologiques des effluents animaux qui en feraient des substances à part ? La réponse proposée est : non ; non, mais.....

Les effluents d'élevage sont solides, semi-solides ou franchement liquides et leurs compositions sont très diverses en raison : (i) de leurs origines, (ii) de l'alimentation très variée du bétail (Toor *et al*, 2005), (iii) des traitements subis avant leurs épandages au sol, épandages qui représentent le dernier, **et inévitable**, traitement subi par les effluents d'élevage. Il s'agit, *de facto*, du traitement le plus « traumatisant », le plus perturbateur, pour la nature chimique des composés phosphatés présents dans les effluents en raison de leurs rencontres intimes avec les constituants minéraux, organiques ou microbiens des terres, toujours très gloutons de phosphore.

En adoptant les propositions conceptuelles de Barber (1995) le terme **biodisponibilité** limite le terme **disponibilité** d'un élément biodisponible, assimilable ou bioassimilable, phytoassimilable, tous termes synonymes, à l'état physico-chimique que doit posséder un élément **nutritif ou potentiellement toxique** pour pouvoir pénétrer et être métabolisé dans des organismes vivants

(Barber, 1995). Dans un contexte d'agriculture, les organismes vivants à considérer sont, évidemment et en priorité, les végétaux cultivés ou naturels, que ceux-ci soient terrestres ou aquatiques. C'est aussi dire que l'élément biodisponible sera un élément présent dans un **pool d'ions qui, associés aux constituants des terres (Barber, 1995) et/ou présents dans l'eau avec ses sédiments** (Tunney *et al.*, 1997), peuvent se déplacer jusqu'aux capteurs, le plus souvent une racine, durant la croissance de la plante (si une racine est assez proche), pour y être prélevés. Ce sont donc, dans le langage des physiciens, des **ions diffusibles (Morel *et al.*, 2011)**, mobiles dans le langage ordinaire, qui vont se mouvoir dans le milieu sol du fait des mécanismes de diffusion dans les systèmes [terre - solution de terre]. La définition retenue limite la biodisponibilité aux formes minérales des éléments présentes dans la terre, ou dans l'eau, **durant la période de végétation**, incluant du coup les ions libérés, durant cette période, par dégradation microbienne de combinaisons organiques (Barber, 1995) Il ne peut donc y avoir de caractérisation raisonnée de la biodisponibilité d'un élément nutritif, ou potentiellement toxique, sans confronter intimement les propriétés des plantes, voire des microorganismes telluriques, à celles des terres et à celles des matières fertilisantes que l'on envisage de leur faire consommer afin de satisfaire leurs besoins au cours du temps.

Appliquée, et adaptée, aux phosphates, cette définition impose de connaître simultanément les propriétés des plantes et celles des ions phosphates diffusibles des systèmes [terre – solution de terre], les végétaux ne se développant que dans ces deux constituants associés. Les plantes ne peuvent atteindre leur rendement maximum que lorsque la concentration des ions phosphate dans la solution du terre atteint une valeur référence, spécifique à chaque plante. Les ions phosphate diffusibles dans un système [terre – solution de terre] sont déterminés et caractérisés par utilisation de la méthode des cinétiques d'échanges isotopiques qui permet d'ajouter aux caractérisations classiques du phosphore des terres la dimension temps, t, ce qui permet éventuellement de confronter la cinétique de transfert des ions entre phase solide et phase liquide d'une terre à la cinétique de prélèvement du P par les cultures. Ces cinétiques se résument à deux équations. Celle de Fardeau (Équation 1) illustrant l'état des phosphates diffusibles dans un sol donné,

$$\frac{R_{(t)}}{R_{(0)}} = \frac{R_{(1)}}{R_{(0)}} \left\{ t + (R_{(1)} / R_{(0)})^{1/n} \right\}^{-n} + \frac{R_{(e)}}{R_{(0)}} \quad \text{Équation 1.}$$

$$Pr_P = v \cdot Cp^w \cdot t^P \quad (\text{équation 2}).$$

et celle de Morel (équation 2), beaucoup plus générale, car elle permet de décrire le destin des ions phosphates diffusibles lorsque l'agriculteur ajoute une matière fertilisante phosphatée ou fait œuvrer une culture qui prélève.

Appliqué au raisonnement de la biodisponibilité du phosphore des effluents d'élevages, on est en droit de conclure que déterminer, dans un effluent d'élevage, la teneur du P total et sa fraction orthophosphate libre serait un progrès. Mais les effluents d'élevage présentent une particularité générale commune à tous : tous sont un mélange, en proportions variables, de formes minérales solubles eau, et de formes organiques, majoritairement, mais non exclusivement, de type phytates, ces molécules étant la forme de réserve du phosphore dans les végétaux. On est alors confronté à une double complexité : celle du P des effluents et celle des réactions des différents composés



phosphatés avec les constituants des terres. Autant les informations disponibles de longue date et validées de nouveau dans la présentation de Christian Morel, voire dans celles d'autres auteurs tel Pascal Denoroy, sur le devenir des formes minérales de P sont avérées, autant le destin des composés phosphatés organiques, *sensu stricto*, dont la transformation est le fait des microorganismes des terres, peut poser questions. Il en pose d'autant plus que **l'homme n'a aucune maîtrise sur la vie et sur l'activité des microorganismes telluriques**. L'homme agricole n'a donc actuellement aucun outil pour raisonner avec certitude le destin des formes organiques de P. C'est dans cette direction que les unités de recherche et recherche développement, tels les laboratoires d'analyse de terre et de matières fertilisantes, doivent faire porter leurs efforts pour améliorer la gestion du phosphore présent dans les effluents si l'on souhaite que le phosphore ne soit pas un éternel souci environnemental dans les régions où l'élevage des animaux et des humains est très, voire trop, intensif !