

Les PRO apportent différents oligo-éléments (fer, zinc, molybdène, cuivre, bore et manganèse) en quantités et proportions variables selon leur origine et leur éventuelle transformation.



© R. Trochant, ARVALIS - Institut de végétal

PRODUITS RÉSIDUAIRES ORGANIQUES

CONTRIBUTION DES PRO aux apports d'oligo-éléments

Les produits résiduels organiques sont généralement utilisés pour amender les sols en matière organique et/ou les fertiliser. Ce faisant, ils apportent aussi des oligo-éléments, mais en quelles quantités ?

Outre des matières organiques, les produits résiduels organiques (PRO) fournissent des éléments fertilisants comme l'azote, le phosphore ou le potassium, d'autres macro-éléments tels que le soufre, le calcium et le magnésium, ainsi que des oligo-éléments : fer, zinc, molybdène, cuivre, bore et manganèse. Toutefois, ces derniers éléments sont rarement analysés dans les produits. Les connaissances portent principalement sur les éléments-traces métalliques (ETM) qui sont réglementés pour les boues et composts. Parmi les ETM on retrouve notamment le cuivre, le zinc et le molybdène ; les informations disponibles concernent donc principalement ces trois derniers éléments.

Ce qu'apportent les PRO

Il existe une forte variabilité de composition et de teneur des PRO en oligo-éléments, les

concentrations variant d'un facteur 2 à 10. Cette variabilité a de nombreuses causes, notamment l'origine des PRO (urbaine, industrielle ou agricole) et les éventuelles transformations qu'ils ont pu subir.

Des études ont regroupé les informations sur leurs compositions, telle l'ESCO MAFOR 2014⁽¹⁾. Des laboratoires, comme Auréa⁽²⁾, ont aussi extrait de leurs données d'analyses les quantités d'oligo-éléments par type de PRO (*tableau 1*).

Aujourd'hui en France, les PRO d'origine animale sont ceux qui apportent le plus d'oligo-éléments (*encadré*). Des variations fortes sont observées au sein même de ce groupe de PRO. Les teneurs dépendent du système d'élevage plus que du produit en lui-même : du type d'animal, de son stade de développement, de son alimentation, de la présence ou non et du type de litière, de la diversité de traitement des déjections générant des coproduits, du moment du prélèvement (frais ou stockés)...

L'alimentation du troupeau représente sans doute la plus grosse part de variabilité. Le cuivre et le zinc, fortement utilisés en complément de l'alimentation des bovins, porcins ou volailles et dans les produits vétérinaires, se retrouvent en grande quantité dans les déjections animales et donc dans les PRO, 80 à 90 % des oligo-éléments n'étant pas assimilés par les animaux.

Les PRO représentent la principale source d'ETM en France

Une étude des sources d'éléments-traces métalliques (ETM) dans les sols agricoles (*figure 1*), conduite par E. Belon *et al.* en 2012, identifie à l'échelle de la France sept sources d'ETM : les effluents d'élevage, les boues, les composts, les dépôts atmosphériques, les amendements acido-basiques, les engrais minéraux et les pesticides. Les trois premières sources sont des produits résiduaux organiques.

Dans le cas des déjections animales, il n'y a pas de réglementation sur les teneurs en cuivre ou en zinc à l'épandage. La bibliographie montre que les concentrations sont souvent supérieures aux critères de la norme NFU44-051 qui gère la commercialisation des amendements organiques, mais les critères de l'arrêté du 08/01/98, qui fixent les prescriptions techniques applicables aux épandages de boues sur les sols agricoles, sont respectés.

Les transformations donnent de nouveaux PRO

Les procédés de valorisation et de transformations produisent de nouveaux PRO, avec de nouvelles compositions. Ainsi, en cas de séparation de phase, le cuivre, le zinc, le manganèse et le fer se retrouvent surtout dans la phase solide. Dans les digestats, la plupart des éléments minéraux apportés *via* les intrants du méthaniseur (dont les oligo-éléments) sont conservés sans pertes significatives - sauf pour le manganèse, qui peut former des précipités dans

ÉLÉMENTS-TRACES MÉTALLIQUES : en France, les effluents d'élevage en sont la source principale

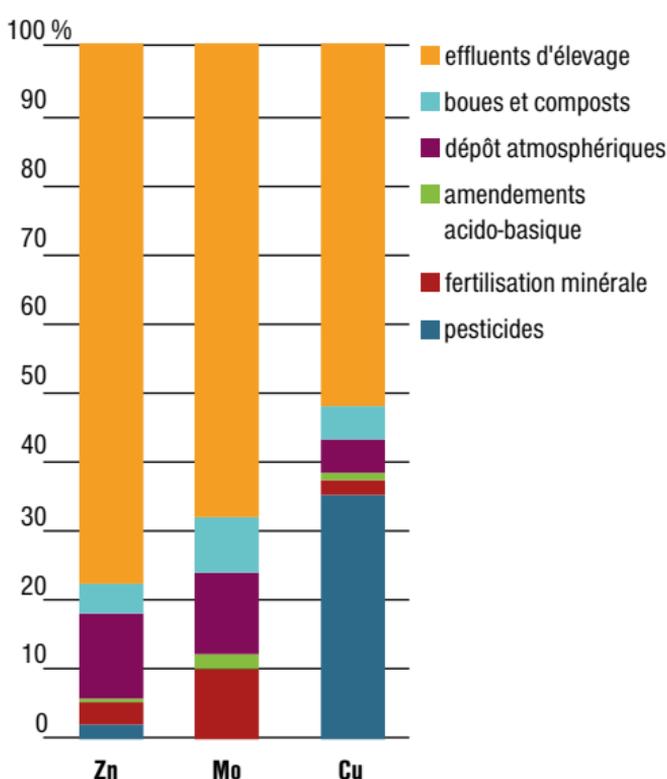


Figure 1 : Contribution annuelle des sources de zinc (Zn), molybdène (Mo) et cuivre (Cu) dans les sols agricoles français. Adapté de Belon *et al.*, 2012.

ÉPANDAGES DE PRO : le cuivre et le zinc sont apportés en quantité par les boues et les lisiers

Type de PRO (Nombre d'échantillons)	Dose exemple	Cuivre		Zinc		Fer		Molybdène		Bore		Manganèse	
		Cu total	Cu apporté avec la dose exemple	Zn total	Zn apporté avec la dose exemple	Fe total	Fe apporté avec la dose exemple	Mo total	Mo apporté avec la dose exemple	B total	B apporté avec la dose exemple	Mn total	Mn apporté avec la dose exemple
		(mg/kg MS)	(g/ha)	(mg/kg MS)	(g/ha)	(mg/kg MS)	(g/ha)	(mg/kg MS)	(g/ha)	(mg/kg MS)	(g/ha)	(mg/kg MS)	(g/ha)
Boue urbaine* (5 160 à 8 045)	2,5 t MS/ha	280,6	701	694,2	1 736	27 100	67 833	5,2	13	33	82	194,4	486
Compost et broyât de déchets verts* (59 à 475)	10 t MB/ha	49,7	287	162,2	926	9 300	61 521	1,5	8	32,1	192	280	1 797
Fumier bovin* (68 à 85)	20 t MB/ha	36,6	189	172,5	927	2 600	13 918	1,5	8	23,6	130	296,2	1 578
Lisier bovin** (22 à 45)	20 m ³ MB/ha	139	159	423	465	2 293	2 522	1,7	1,9	37,8	42	233	256,3
Lisier porcin** (3 à 20)	20 m ³ MB/ha	345	297	954	820	NA	NA	5,1	4,4	84,4	73	NA	NA

MS : matière sèche MB : matière brute NA : pas d'information

Tableau 1 : Concentrations de cuivre, zinc, fer, molybdène, bore et manganèse dans cinq types de PRO, et quantité apportée par l'épandage d'une dose-exemple. Source : (*) Auréa, 2012-2016 ; (**) Auréa, 2000-2005.

les digesteurs (struvite). Avec la méthanisation, suite à la perte de matière carbonée sous forme de biogaz, les éléments minéraux ont tendance à se concentrer, mais les analyses montrent que les concentrations restent sous les seuils réglementaires. Seule exception : certains lisiers de porcs, pour lesquels les concentrations atteintes en cuivre et zinc peuvent entraîner des risques de dépassement.

Pour les composts, les données disponibles présentent une grande variabilité liée aux difficultés

d'échantillonnage d'un produit solide mais aussi aux matériaux sources très variables, voire en mélange. Ces dernières années, une amélioration de la qualité des composts d'origine urbaine a été observée. Aujourd'hui, en France, les installations de traitement des déchets produisent des composts de qualité suffisante d'après les critères de la norme NFU44051 (*encadré*).

Concernant les boues, les concentrations en éléments-traces métalliques restent dans les mêmes ordres de grandeurs quel que soit le procédé de traitement avant épandage (anaérobie, compostage, séchage thermique). Depuis 1993, on observe une légère diminution de la teneur en zinc et des teneurs en cuivre constantes. Très peu d'informations sont disponibles sur les biochars, des charbons de bois obtenus par pyrolyse de différents types de matière organique. Les cendres ont des compositions très variables selon les matériaux incinérés et selon le type et la température d'incinération ; en tendance, on constate une concentration des ETM dans les cendres.



Il n'y a pas de carence en oligo-éléments (cuivre, zinc) observée sur les parcelles recevant régulièrement des PRO.

© R. Trochard, ARVALIS - Institut du végétal

Les oligo-éléments apportés sont-ils disponibles pour les cultures ?

Les analyses des PRO informent des concentrations totales en oligo-éléments qui ne sont



Les essais longue durée apportant des PRO n'ont pas montré de signe d'accumulation conduisant à une toxicité des éléments-traces métalliques tel que le cuivre.

probablement pas entièrement assimilables par les plantes. Leur biodisponibilité dépend de la forme sous laquelle l'élément est présent, de sa mobilité dans le sol et de facteurs liés au sol.

Les éléments-traces métalliques peuvent exister sous forme soluble à l'eau, échangeable, liée à la matière organique ou co-précipitée avec les

oxydes, les carbonates ou les phosphates, ou sont inclus dans la structure cristalline des minéraux constitutifs du produit. Les trois premières sont les plus disponibles pour la plante.

La répartition de ces différentes formes dépend des propriétés du sol : de son pH, de sa capacité d'échanges cationiques et de sa teneur en matière organique. Or ces trois paramètres peuvent varier progressivement, y compris sous l'effet des apports de PRO. La disponibilité d'un oligo-élément est donc interdépendante des quantités apportées et des effets du PRO sur les propriétés du sol. Il est donc très difficile de prédire la disponibilité des oligo-éléments apportés par les PRO dans le sol.

Le projet ISARD⁽³⁾ a étudié la disponibilité du cuivre apporté par différents composts (d'ordure ménagère, de boue et de lisiers de porcs) et boues. Il montre que le cuivre est présent, associé à des matières organiques ou sous forme soluble (Cu^{2+}) dans des proportions différentes selon les PRO. Il est plus disponible sous sa forme soluble que sous sa forme associée, et il serait plus disponible quand le carbone du PRO est rapidement minéralisé.

En général il n'y a pas de carence observée sur les parcelles recevant des PRO. Ceci traduit une



Les concentrations en éléments-traces métalliques dans les boues ne dépendent pas sensiblement du procédé de traitement avant épandage.

disponibilité suffisante pour répondre aux besoins des cultures dès lors qu'il y a des apports. En revanche, les éléments-traces métalliques ont une mobilité réduite dans le sol qui devient un compartiment accumulateur. De trop fortes accumulations peuvent entraîner des risques de toxicités.

Les essais longue durée confirment l'intérêt des apports de PRO

Pour suivre sur le terrain l'effet des PRO sur les accumulations d'oligo-éléments et leur biodisponibilité, les essais de longue durée sont la meilleure ressource ; l'échelle annuelle est en effet trop courte pour observer les effets des PRO.

À Jeux-les-Bois (36), un essai sur sol sablo-limoneux à 12 % d'argile, conduit par Arvalis et un organisme inter-établissements du réseau des

chambres d'agriculture du Cher, de la Creuse, de la Haute-Vienne et de l'Indre, montre, après 9 ans d'apports annuels de fumiers de bovins bruts ou compostés, de lisiers de porcs ou de fumiers de volailles, des augmentations du cuivre, du bore et du zinc biodisponibles (extraction selon la méthode EDTA), avec des teneurs très inférieures aux seuils de toxicité.

Un projet CASDAR-ADEME « ETM en filière porcine Sud-Ouest », mené sur quinze exploitations recevant des apports de lisiers de porcs depuis de nombreuses années, s'est achevé en 2010. Il a montré une accumulation significative du cuivre total dans le sol. Néanmoins, avec les quantités apportées (30 m³/ha/an), il faudrait, dans le pire des scénarios, deux siècles pour atteindre le seuil de cuivre équivalent à celui des réglementations sur les boues de station d'épuration, au-delà duquel on ne peut plus apporter de PRO. Pour le zinc, aucune accumulation significative n'a été constatée (*encadré*).

Après vingt ans d'apports de compost sur l'essai Qualiagro (Inra-Véolia) dans la plaine de Versailles, l'Inra constate des augmentations significatives des quantités de cuivre et de zinc totaux dans l'horizon du sol où sont incorporés les PRO. Cependant, dans cet essai, principalement orienté vers l'étude du stockage du carbone dans les sols, les PRO sont appliqués à des doses environ 1,5 fois supérieures à celles préconisées pour la fertilisation. Une estimation ramenant les apports de PRO à des pratiques courantes montre qu'à l'échéance 2100, il n'y a pas de risque lié à l'accumulation de cuivre ou de zinc.

Enfin, l'essai de Rothamsted (Angleterre), où des composts et effluents d'élevage sont apportés depuis 140 ans, montre des augmentations des teneurs totales en cuivre et en zinc dans le sol. Cependant, elles restent modestes car elles conduisent à une augmentation inférieure à un facteur deux à long terme (110-140 ans).

De façon générale, les quelques expérimentations au champ de longue durée mesurant les ETM dans le sol montrent qu'après des apports de PRO respectant l'équilibre de la fertilisation et conformes aux exigences réglementaires, on augmente les teneurs, surtout en cuivre et en zinc. Toutefois, il n'y a pas de risque de toxicité aux quantités normales d'apports de produits organiques.

(1) Expertise Scientifique COLlective sur la valorisation des MAFOR. Voir aussi : <http://institut.inra.fr/Missions/Eclairer-les-decisions/Expertises/Toutes-les-actualites/Expertise-Mafor-effluents-boues-et-dechets-organiques>.

(2) Laboratoire d'analyse et de conseil en agro-environnement Auréa.
(3) Le projet ISARD (Intensification écologique des Systèmes de production Agricoles par le Recyclage des Déchets) est financé par l'Agence Nationale de la Recherche et mis en œuvre par l'Inra.

Hélène Lagrange - h.lagrange@arvalis.fr
ARVALIS - Institut du végétal

↑ Cadre réglementaire des concentrations maximales en ETM

Les réglementations françaises fixent des valeurs seuils aux concentrations maximales en éléments-traces métalliques pour les composts et les boues de stations d'épuration (STEP). Cela concerne les oligo-éléments cuivre et zinc. Il est très rare de voir des dépassements.

Pour les autres produits résiduaires organiques, il n'y a pas de réglementations sur les ETM, aussi les comparaisons sont souvent faites à ces seuils dans le cadre des expérimentations.

	Zinc	Cuivre
	En mg/kg MS	
Valeur limite NFU 44051 (compost)	600	300
Valeur limite NFU 44095 (boues de STEP produit)	600	300
Seuil réglementaire en France (arrêté du 8/01/98 pour les boues de STEP considérées comme déchets)	3000	1000