

## EVOLUTION DU CUIVRE ET ZINC DANS LES SOLS DE DEUX PARCOURS DE POULETS BIOLOGIQUES

**Boutaous Madjid<sup>1</sup>, Walter Christian<sup>1</sup>, Buttin Pierre<sup>2</sup>, Germain Karine<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> INRA, Agrocampus Ouest, UMR 1069 SAS, 65 rue de St Briec, 35042 Rennes, France

<sup>2</sup> NOVUS INTERNATIONAL - 240 av. Marcel Thiry – 1200 Bruxelles, Belgique

<sup>3</sup> INRA, Unité EASM, Station du Magneraud, CS40052, 17700 Surgères, France,

[christian.walter@agrocampus-ouest.fr](mailto:christian.walter@agrocampus-ouest.fr)

### RÉSUMÉ

Le développement des modes d'élevage avicole en plein air répond à une double préoccupation d'améliorer le bien-être des animaux et de favoriser des produits de qualité. Néanmoins, l'apport récurrent de fientes dispersées sur des surfaces relativement faibles, peut conduire à l'accumulation d'éléments-traces métalliques, ce qui représente un risque environnemental potentiel. L'objectif de cette étude est de quantifier et de cartographier l'accumulation de cuivre (Cu) et de zinc (Zn), entre 2009 et 2014, dans les sols de deux parcours de 2500 m<sup>2</sup>, à l'issue de l'élevage de 8 bandes de poulets sous label biologique. Les deux parcours, l'un sous couvert arboré, l'autre sur prairie, sont situés au sein de l'expérimentale de l'INRA du Magneraud et font l'objet d'un suivi précis des flux liés à l'élevage. La méthodologie repose en premier lieu sur une approche par bilan des entrées et des sorties de Cu et Zn dans les bâtiments pour estimer les rejets sur les parcours. Elle est confrontée à une cartographie de l'évolution des stocks de P, Cu et Zn dans les sols des deux parcours, à deux niveaux (0-5 cm et 5-15 cm) et à 3 dates en 2009, 2010 et 2014. La cartographie des stocks permet d'évaluer la variabilité spatiale des apports au sein des parcours et de préciser l'évolution des zones les plus proches des bâtiments, a priori les plus affectés par les apports. Les résultats montrent des différences fortes d'évolution entre les 2 périodes : la période 2009-2010, correspondant à la phase d'élevage la plus intensive, se caractérise par un accroissement rapide des stocks dans les sols, détecté par les deux approches, mais affiné par la cartographie des sols, qui identifie une zone d'accumulation dans une bande de 20 m bordant le bâtiment. La période 2011-2014 correspond à une phase d'accumulation très modérée s'expliquant par un élevage moins intensif et un ratio plus faible d'excrétion sur le parcours. Les résultats mettent en exergue l'importance des rejets dans le fumier des bâtiments et permettent d'évaluer l'effet du temps passé à hors bâtiment qui diffère selon le parcours. Ils permettent d'établir un modèle dynamique et spatialisé d'évolution de l'accumulation, qui identifie des risques de contamination excessive de Cu et Zn dans les sols à l'échelle de quelques décennies, principalement à proximité des bâtiments et la nécessité de réduire la pollution des sols à travers la nutrition des animaux et la gestion des parcours.

### ABSTRACT

#### **Copper and zinc accumulation in soils of two organic poultry outdoor runs**

The development of free-range poultry intends to improve animal welfare and to promote quality products. However, the recurring spreading of droppings on relatively low surfaces, can lead to the accumulation of trace metals, representing a potential environmental risk. The objective of this study was to quantify and map the accumulation of copper (Cu) and zinc (Zn) between 2009 and 2014 in soils of two 2500 m<sup>2</sup> outdoor runs, following the rearing of 8 batches of organic broilers. The two runs, one under tree cover and the other under grass, are located at the experimental unit of INRA Le Magneraud and are subject to detailed monitoring of flows related to feed and manure. Methodology is based primarily on a budget approach comparing the inputs and outputs of Cu, and Zn in the system in order to estimate releases on the outdoor runs. Additionally, intensive soil sampling at two depths (0-5 cm and 5-15cm) and at 3 dates in 2009, 2010 and 2014 was conducted to map the evolution of P, Cu, and Zn stocks in soil. Results indicate contrasted evolution during the 2 periods: the 2009-2010 period, corresponding to the most intensive rearing phase, is characterized by a strong accumulation of P, Cu and Zn in the soils, detected by both approaches, but refined by soil mapping, which identifies a preferential accumulation zone in the first 20 m close to the broiler house; the 2011-2014 period corresponds to a phase of very moderate accumulation linked to a less intensive rearing and a lower ratio of excretion on the outdoor runs. The results also highlight the importance of manure for buffering the inputs and suggest variable proportion and distribution of outdoor excretion depending on climatic conditions and characteristics of the outdoor runs. A prospective dynamic model of trace elements in the soil upper layer suggests excessive contamination after a few decades particularly near the broiler house and the need of controlling soil pollution by broiler nutrition or better management of outdoor runs.

## INTRODUCTION

Le développement des modes d'élevage avicole en plein air répond à une double préoccupation d'améliorer le bien-être des animaux et de favoriser des produits de qualité. Toutefois, des questions sur l'impact environnemental de ces formes d'élevage se posent puisque des densités importantes d'animaux sont concentrées sur des surfaces relativement petites, et peuvent par leurs rejets dégrader la qualité de l'air, des eaux et des sols. La supplémentation de l'alimentation en cuivre (Cu) et zinc (Zn) pour améliorer les performances des animaux pose la question de l'accumulation de ces éléments dans les sols des parcours, puisque l'essentiel du cuivre et du zinc ingérés par les animaux est excrété dans leurs fientes (Perrot *et al.*, 2006). Considérés, à faible teneur dans le sol, comme des oligo-éléments indispensables à la croissance des plantes, le cuivre et le zinc sont, à forte teneur, considérés comme des polluants du sol, en raison de leur phytotoxicité potentielle (Kabata-Pendias, 2004) et de leur effet sur les microorganismes du sol (Burns et Dick, 2002).

Des dynamiques d'accumulation de ces éléments dans les sols ont déjà été très bien décrites en viticulture, où des apports de sulfate de cuivre (bouillie bordelaise), utilisé depuis des décennies comme fongicide, ont conduit à des teneurs souvent élevées de Cu dans les sols (Baize, 2006). Elles l'ont été aussi pour des épandages intensifs de lisier de porcs (Coppenet *et al.*, 1993). Par contre, peu d'études sont disponibles sur l'impact des élevages en plein air de volailles en raison de leur développement plus récent et de la difficulté d'estimer la part relative des rejets en bâtiment et des rejets sur les parcours.

L'objectif de cette étude est de quantifier et de cartographier l'accumulation de cuivre et de zinc entre 2009 et 2014 dans les sols de deux parcours l'un en prairie, l'autre sous couvert arboré, à l'issue de l'élevage de 8 bandes de poulets sous label biologique.

La démarche comprend deux approches complémentaires :

- (i) le suivi par échantillonnage *in situ* de l'évolution des teneurs et stocks en P, Cu et Zn des sols au cours de la période d'étude ;
- (ii) l'évaluation par une méthode de bilan des apports de Cu et Zn sur les deux parcours.

La comparaison de ces deux approches doit permettre une première évaluation du risque d'accumulation dans les sols à court et moyen termes.

## 1. MATERIELS ET METHODES

### 1.1. Site expérimental

L'étude est réalisée au Magneraud (Charente-Maritime) sur un site expérimental d'aviculture,

appartenant à l'INRA et a porté sur une durée de 5 ans (mars 2009-avril 2014).

Sur le site, deux parcours ont été retenus : l'un sous un couvert arboré de chênes (A), l'autre en prairie (P). Chaque parcours comprend une parcelle de 2500 m<sup>2</sup>, bordée chacune par un bâtiment mobile d'une superficie de 75 m<sup>2</sup> au sein duquel l'ensemble de l'alimentation est apporté aux animaux. Les deux parcelles présentent un sol calcaire (pH de 7,5 à 8,1), argilo-limoneux, de 20 à 50 cm d'épaisseur, développé sur des marnes et calcaires argileux.

L'expérimentation porte sur 8 bandes successives pour chaque parcours (arborée et prairie) et sur 5 ans. Une bande est constituée de 750 animaux de souche à croissance lente, qui restent dans un premier temps dans les bâtiments jusqu'au jour 29 et qui ont ensuite accès aux parcours, par les trappes des bâtiments dès le 29ème jour ; les animaux sont enlevés au bout de 84 jours d'élevage. Ces animaux sont certifiés Agriculture Biologique par Ecocert.

L'étude porte sur deux périodes : (i) la période 1 entre mars 2009 et décembre 2010 (22 mois) a connu une succession de 5 bandes ; (ii) la période 2 entre décembre 2010 et avril 2014 (41 mois) a été moins intensive puisque seules 3 bandes se sont succédées.

### 1.2 Echantillonnage des sols

Les parcours A et P ont été échantillonnés à 3 dates (mars 2009, décembre 2010, avril 2014) pour caractériser l'état initial et la fin des périodes 1 et 2. Chaque parcours a été subdivisé en 25 mailles carrées de 100m<sup>2</sup> (Figure 1) pour caractériser la variabilité des teneurs et des évolutions, notamment en fonction de la distance au bâtiment.

A chaque date, 5 prélèvements ont été effectués par maille, sur deux niveaux (0-5cm) et (5-15 cm), pour constituer un échantillon composite par maille. Les échantillons ont été séchés et tamisés, puis transmis au Laboratoire d'Analyses des Sols d'Arras pour analyser les éléments chimiques suivants : P Olsen (NF ISO 11263), P total HF (NF ISO 22036), éléments traces totaux HF (Co, Cr, Cu, Ni, Zn) (NF ISO 22036). A chaque date, le prélèvement d'un échantillon non remanié et de volume connu au centre de la maille, a permis d'estimer la masse volumique de la couche et sa charge en éléments grossiers, information qui permet de calculer les stocks d'éléments dans les sols.

### 1.3 Estimation des rejets sur les parcours

Les rejets de Cu et Zn sur les parcours ont été estimés par une méthode de bilan croisant les entrées et les sorties d'éléments dans le bâtiment associé à chaque parcours : ce bâtiment étant vide au début et à la fin d'un élevage de bande, les flux entrants (E) et sortants (S) de P, Cu et Zn sont considérés égaux et ont été estimés selon l'équation (1) :

$$E_{\text{aliment}} + E_{\text{eau}} + E_{\text{paille}} = S_{\text{animaux}} + S_{\text{fumier}} + S_{\text{parcours}} \quad (1)$$

où :

- $E_{\text{aliment}}$  est le flux entrant lié à l'alimentation des animaux ;
- $E_{\text{eau}}$  est l'apport lié à l'eau de boisson ;
- $E_{\text{paille}}$  est l'apport lié à la paille introduite dans le bâtiment
- $S_{\text{animaux}}$  est le flux sortant liés aux animaux vendus en fin d'élevage ou morts en cours d'élevage.
- $S_{\text{fumier}}$  est le flux sortant dû aux rejets dans la fumier du bâtiment, exportée en fin d'élevage hors du système
- $S_{\text{parcours}}$  est le flux sortant correspondant aux rejets sur le parcours.

$E_{\text{aliment}}$ ,  $E_{\text{paille}}$  et  $S_{\text{fumier}}$  sont estimés à partir d'analyses de composition et de pesées systématiques des quantités concernées.  $E_{\text{eau}}$  dérive de l'analyse de l'eau utilisée et d'une estimation de la consommation d'eau des animaux à partir de l'aliment ingéré.  $S_{\text{animaux}}$  dérive de la pesée systématique des animaux vendus ou morts et d'une hypothèse de composition corporelle (Perrot *et al.*, 2006).

$S_{\text{parcours}}$  est le flux sortant, estimé par différence entre les flux entrants et les autres flux sortants.

## 2. RESULTATS

### 2.1 Teneurs de Cu et de Zn dans les sols en fin d'expérimentation

En fin d'expérimentation, les teneurs totales en Cu et Zn analysées à 0-5 cm et 5-15 cm de profondeur sur les parcours A (n=50) et P (n=50) sont toutes inférieures aux valeurs limites de la norme NFU44-041 qui régit les sols susceptibles de recevoir des boues et restent dans la gamme de variation des sols agricoles de la plaine Niortaise, telle qu'évaluée par la base de données des éléments traces métalliques de France (GIS SOL, 2009) (Tableau 1).

### 2.2 Evolution des stocks de Cu et de Zn dans les sols de 2009 à 2014

Les évolutions des stocks de cuivre et de zinc à l'échelle de la parcelle sont associées à une forte incertitude, mais montrent un accroissement important des stocks lors de la période 1 (2009-2010), et un accroissement très faible voir négatif au cours de la période 2 (2011-2014) (Tableau 2).

### 2.3 Distribution spatiale des accroissements de stocks en P

La distribution spatiale des variations de stock au sein des parcelles est appréhendée par l'étude du phosphore, dont l'accroissement est un bon indicateur des rejets effectués sur les parcours. Entre 2009 et 2010, la cartographie montre un gradient décroissant des accroissements de stocks en fonction de la distance au bâtiment, particulièrement marqué pour le parcours sur prairie (Figure 1b). Pour la parcelle arborée (Figure 1a), l'accroissement est plus diffus et concerne la totalité du parcours.

### 2.4 Rejets sur les parcours

Les estimations de flux entrants et sortants de Cu et de Zn dans les bâtiments d'élevage sont détaillées pour les deux périodes étudiées et les deux types de parcours dans la Figure 1. Les flux totaux sont plus importants pour le zinc que pour le cuivre, mais la répartition relative entre les différents termes du bilan est du même ordre de grandeur pour les deux éléments.

Les entrées sont très fortement dominées par les apports liés à l'alimentation (> 90%), même si les apports par l'eau de boisson ne sont pas négligeables. Pour les sorties, les exportations par les animaux vendus ou morts représentent généralement moins de 10 % des flux, qui sont de ce fait très fortement dominés par les rejets dans le fumier ou sur le parcours.

La proportion relative de rejets dans le fumier ou sur les parcours apparaît très différente pour les deux périodes : (i) pour la période 1, les rejets sur les parcours représentent entre 25 à 50 % des flux sortants ; ils sont plus importants sur le parcours arboré que pour le parcours sur prairie, ce qui s'explique par des temps de parcours plus longs sous couvert arboré ; (ii) pour la période 2, la proportion rejetée sur le parcours est nettement plus faible, inférieure à 10 % pour Zn et de l'ordre de 15 % pour Cu. Ce constat d'une différence forte de proportion de rejet sur les parcours entre les deux périodes a été également fait pour le phosphore.

Au total, les quantités totales de Cu apportées sur les parcours sont estimées à 231 g et 164 g pour les parcelles A et P au cours de la période 1 et à 31 g et 40 g pour la période 2. Pour Zn, ces chiffres respectifs sont de 1030 g et 602 g pour la période 1 et 51 g et 117 g pour la période 2.

### 3. DISCUSSION ET CONCLUSION

#### 3.1 Comparaison des périodes 1 et 2

Les deux approches mises en œuvre sont complémentaires et identifient toutes deux des différences fortes entre les périodes 1 et 2. La période 1 est caractérisée par des rejets importants de cuivre (231g et 164g pour les parcelles A et P) et de zinc (1030g et 602g pour les parcelles A et P). Ces rejets sur les parcours représentent néanmoins moins de 50 % des flux entrants, en raison de l'importance des rejets dans le fumier, qui atténuent fortement les rejets sur les parcours. Exprimés en flux par animal produit, les apports de Cu sur le parcours sont de 62 et 46 mg/animal, respectivement pour les parcelles A et P et de 274 et 167 mg Zn/animal. De tels rejets sont proches des références du CORPEN (2013) qui évaluent à 68 mg Cu/animal et à 251 mg Zn/animal les rejets sur les parcours pour les poulets en label biologique élevés en cabanes mobiles. Exprimés en apport annuel d'élément par hectare, les flux de Cu sont de 504 et 358 g Cu/ha/an respectivement pour les parcelles A et P et de 2247 et 1313 g Zn/ha/an. Ces chiffres sont élevés par rapport aux références existantes pour des sols recevant des effluents d'élevage. Ainsi, de Vries *et al.* (2004) donnent pour la France des estimations hautes comprises entre 150 et 335 g Cu/ha/an et entre 450 et 1379 g Zn/ha/an. Le fait qu'une part importante des flux soit concentrée à proximité des bâtiments, notamment dans le cas du parcours sur prairie, crée ainsi des zones de petite surface (1000 m<sup>2</sup>) recevant des flux importants d'éléments-traces.

Durant la période 2, les flux estimés sur les deux parcours, ainsi que les accroissements de stocks mesurés dans les sols, sont beaucoup plus faibles au cours de cette période : les bilans montrent que moins de 20 % des apports de Cu et moins de 10 % des apports de Zn ont été rejetés sur les parcours ; les stocks de Cu et Zn dans les sols n'ont pas évolué de façon significative dans la couche 0-15 cm. Le contraste fort avec la période 1 est attribué à un élevage moins intensif (3 bandes en 41 mois contre 5 bandes en 22 mois pour 1), mais aussi à des modifications dans l'alimentation des animaux et à des temps de présence plus faibles des animaux sur les parcours (observations non présentées).

#### 3.2 Evolution des teneurs dans les sols

A l'échelle de la période d'étude de 2009 à 2014, les teneurs maximales en cuivre et zinc des deux parcelles d'étude restent dans la gamme du fonds pédogéochimique de la région et sont toutes inférieures aux valeurs limites de la norme NFU44-041. Le risque d'une accumulation rapide dans les sols des parcours, à l'échelle de quelques années, apparaît donc limité, y compris en se limitant à la couche 0-5 cm et dans les zones proches des

bâtiments : le rôle de tampon du fumier limite fortement les apports sur les parcours.

A plus long terme, l'accumulation de Cu et de Zn dans les sols apparaît néanmoins potentiellement importante, si on considère des apports annuels répétés comme ceux observés lors la période 1. Des simulations sous des hypothèses simplifiées (Figure 3) montrent que les valeurs limites de la norme NFU44041 sont atteintes en quelques décennies, notamment à proximité des bâtiments.

En conclusion, même si des incertitudes demeurent, des mesures permettant de réduire les apports de Cu et de Zn sur les parcours et de limiter les concentrations doivent être envisagées. Ces mesures peuvent consister à réduire les apports de Cu et Zn dans l'alimentation. Ils relèvent aussi de l'aménagement des parcours de telle sorte à éviter de concentrer les apports sur des surfaces restreintes et dans les premiers cm des sols.

## REFERENCES

1. Baize, N. S., C. Walter, 2006, Le cuivre extrait à l'EDTA dans les sols de France. Probabilités de carences et de toxicités selon la BDAT., Etude et Gestion des Sols, pp. 259 à 268.
2. GISSOL, 2009. Nouvelle collecte nationale d'analyses d'Éléments Traces Métalliques. Statistiques par région agricole. [http://www.gissol.fr/programme/bdetm/Collecte\\_2/index.php](http://www.gissol.fr/programme/bdetm/Collecte_2/index.php)
3. Burns, R. G., and R. P. Dick, 2002, Enzymes in the environment: activity, ecology, and applications: Enzymes in the environment: activity, ecology, and applications, p. xvi + 614
4. Coppenet, M., J. Golven, J. C. Simon, L. Lecorre, and M. Leroy, 1993, Chemical evolution of soils in intensive animal-rearing farms - the example of Finistere: Agronomie, v. 13, p. 77-83.
5. CORPEN, 2013. Estimation des rejets d'azote, phosphore, potassium, calcium, cuivre, zinc par les élevages avicoles. Mise à jour des références CORPEN-Volailles de 2006, p. 60.
6. De Vries W., Romkens P, Voogd J., 2004. Prediction of the long term accumulation and leaching of zinc in Dutch agricultural soil : a risk assessment study. Alterra green World Research, Wageningen, Rapport 1030.
7. Kabata-Pendias, A., 2004, Soil-plant transfer of trace elements - an environmental issue: Geoderma, v. 122, p. 143-149.
8. Perrot, P., I. Bouvarel, and P. Lescoat, 2006, Updating of relative references to the body composition in proteins, phosphorus and trace elements in poultry: current state and impact on poultry wastes: Sci. & Techniques Avicoles, 4-9.

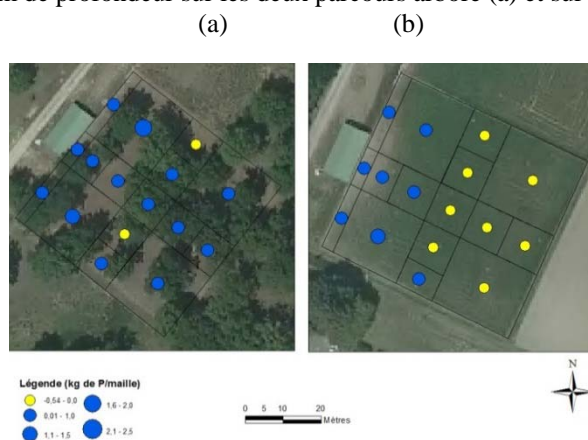
**Tableau 1.** Médiane et 9ème décile des teneurs totales en cuivre et zinc sur les parcelles A et P en 2014 comparés aux sols agricoles de la région niortaise (GIS SOL, 2009) et aux valeurs limites de la norme NFU44-041 (1985).

	Cuivre total (mg/kg)	Zinc total (mg/kg)
Médiane Plaine Niortaise	17,5	96
Médianes Parcelles A et P	14,9 - 13	159 - 93,7
Centiles 95 Plaine Niortaise	38,6	242,2
Centiles 95 Parcelles A et P	19,5 - 15,8	228,5 - 123,5
Valeurs limites NFU44-041	100	300

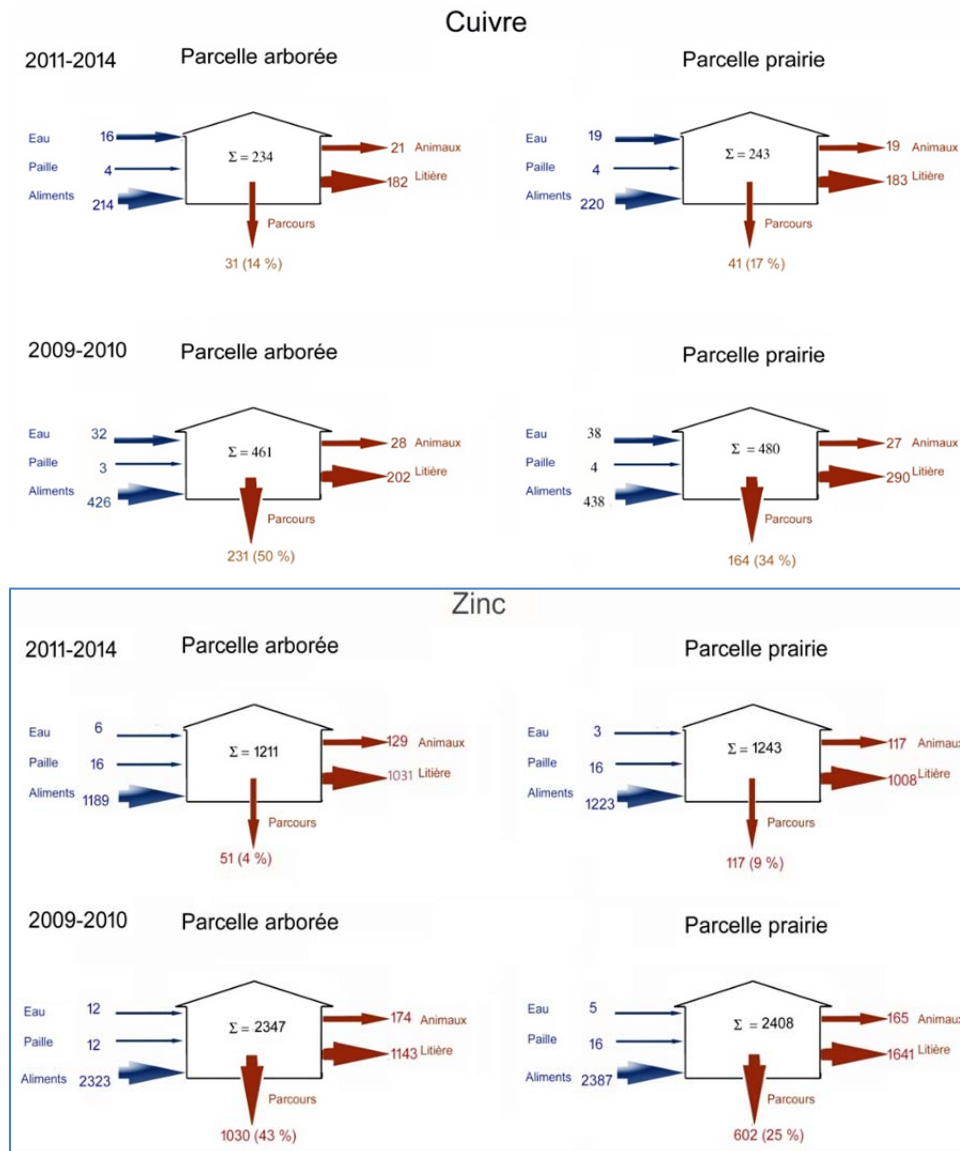
**Tableau 2.** Evolution temporelle des stocks de cuivre total et de zinc total pour les deux parcelles dans la couche 0-15cm, avec étendue de l'incertitude sur les variations de stocks estimée par simulation Monte-Carlo.

	Cuivre total (g/parcelle)		Zinc total (g/parcelle)	
	Stock <sub>2014</sub> - Stock <sub>2011</sub>	Stock <sub>2010</sub> - Stock <sub>2009</sub>	Stock <sub>2014</sub> - Stock <sub>2011</sub>	Stock <sub>2010</sub> - Stock <sub>2009</sub>
Arborée (0-15cm)	-36 (±11)	390 (±50)	-670 (±150)	15150 (±1500)
Prairie (0-15cm)	-20 (±25)	410 (±50)	270 (±300)	550 (±300)

**Figure 1.** Distribution spatiale des accroissements de stocks en phosphore Olsen de 2009 à 2014 et entre 0 à 15cm de profondeur sur les deux parcours arboré (a) et sur prairie (b).



**Figure 2.** Estimation des rejets de Cu et de Zn sur les parcours à partir du bilan des flux entrants et sortants dans les bâtiments des deux parcelles et pour les périodes 2009-2010 et 2011-2014. Les quantités sont exprimées en g et le pourcentage exprime la proportion du flux total entrant excrété sur les parcours.



**Figure 3** – Simulation de l'évolution à horizon 100 ans des teneurs en Zn total dans la couche 0-5cm des parcours arboré ou prairie, en considérant les apports par les déjections observés en 2009-2010 et en supposant des pertes annuelles de 2% du stock disponible dans le sol.

