



**HAL**  
open science

## Généralités sur les éléments traces : oligoéléments et contaminants

Laurence Denaix

► **To cite this version:**

Laurence Denaix. Généralités sur les éléments traces : oligoéléments et contaminants. Journées thématiques : Oligoéléments et contaminants métalliques en agriculture - Quelles réponses face aux enjeux agronomiques, sanitaires et environnementaux, COMIFER, Apr 2022, Virtuel, France. hal-04139674

**HAL Id: hal-04139674**

**<https://hal.inrae.fr/hal-04139674>**

Submitted on 23 Jun 2023

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



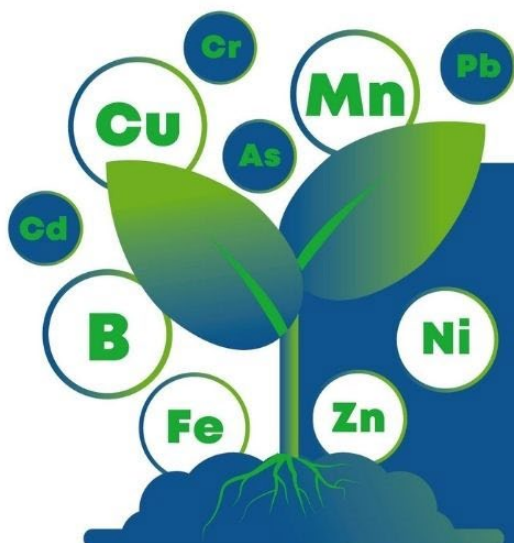
Comité Français d'Étude et de Développement  
de la Fertilisation Raisonnée

Soutenu  
par



MINISTÈRE  
DE L'AGRICULTURE  
ET DE L'ALIMENTATION

Liberté  
Égalité  
Fraternité



12 AVRIL 2022  
**WEBINAIRE**



**Oligo-éléments et contaminants  
métalliques en agriculture :**  
quelles réponses face  
aux enjeux agronomiques,  
sanitaires, environnementaux ?

[www.comifer.asso.fr](http://www.comifer.asso.fr)

**Mardi 12 avril 2022**

9h30-17h

Visioconférence

## EN PARTENARIAT AVEC

<b>ARVALIS - Institut du végétal</b>	Institut technique agricole
<b>AUREA AgroSciences</b>	Laboratoire d'analyse et conseil agro-environnemental
<b>Bordeaux Sciences Agro</b>	École nationale supérieure des sciences agronomiques de Bordeaux - Etablissement public sous tutelle du ministère de l'Agriculture et de l'alimentation
<b>Cirad</b>	Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement - Organisme français de recherche agronomique et de coopération internationale pour le développement durable des régions tropicales et méditerranéennes
<b>GRCETA-SFA</b>	Groupement de Recherche sur les Cultures et Techniques Agricoles des Sols Forestiers d'Aquitaine. Créé par et pour les agriculteurs de la Haute Lande
<b>INRAe</b>	Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement
<b>ITES</b>	L'Institut Terre et Environnement de Strasbourg - ITES UMR7063 a démarré au 1 <sup>er</sup> janvier 2021 sous les tutelles du CNRS, de l'Université de Strasbourg et de l'ENGEES. Cette nouvelle UMR s'appuie sur les 4 piliers disciplinaires d'étude de la Terre et de son environnement de surface : Hydrologie, Géochimie, Géologie et Géophysique
<b>LAS Arras</b>	Laboratoire d'Analyses des Sols d'Arras. Est une unité de l'INRAe
<b>DGAL-MAA</b>	Direction générale de l'alimentation - Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation

## SPONSOR



## PARTENAIRES MEDIAS

**cultivar**

**CIRCUITS** culture

**viti**

**RÉFÉRENCE** agro

## COMITÉ d'ORGANISATION

- Lionel Jordan-Meille - Bordeaux Sciences Agro - Président du COMIFER
- Laurence Denaix - Inrae
- Khady Diedhiou - Comifer
- Sophie Droisier - Comifer
- Noémie Janot - Inrae
- Christine Le Souder - Arvalis-Institut du végétal
- Aurélia Michaud - Inrae UMR SAS
- Christophe NGuyen - Inrae
- Paul-Armel Salaun - Itab
- Valérie Sappin-Didier – Inrae

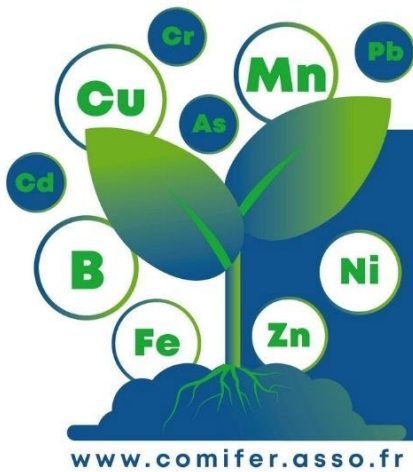
Le **COMIFER** remercie le ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, ses partenaires et sponsor pour leur soutien à l'organisation de cette manifestation. La responsabilité du ministère en charge de l'Agriculture ne saurait être engagée.

## A propos du COMIFER

Le COMIFER, Comité Français d'Etude et de Développement de la Fertilisation Raisonnée, créé en 1980, est une association régie par la loi du 1<sup>er</sup> juillet 1901. Acteur central de la fertilisation raisonnée, il organise une concertation permanente entre les acteurs de la filière afin d'élaborer et promouvoir des méthodes collectivement validées, encourager des solutions innovantes qui concourent à une agriculture durable, performante et respectueuse de l'environnement. Le COMIFER rassemble plus de 250 adhérents issus de l'enseignement, la recherche, les pouvoirs publics, le développement, l'industrie des matières fertilisantes, la distribution et les services. Il réunit des groupes de travail thématiques et organise des événements afin de favoriser le transfert des connaissances et des innovations, partager les retours d'expérience.

Référent auprès des pouvoirs publics, le COMIFER réalise des études techniques.  
Pour en savoir plus : <https://www.comifer.asso.fr> - LinkedIn et Twitter: @comifer





12 AVRIL 2022  
WEBINAIRE

comifer

## Oligo-éléments et contaminants métalliques en agriculture : quelles réponses face aux enjeux agronomiques, sanitaires, environnementaux ?

[www.comifer.asso.fr](http://www.comifer.asso.fr)

En dépit de leurs concentrations généralement faibles dans les environnements naturels, les éléments traces métalliques<sup>1</sup> n'en sont pas moins importants pour l'agriculture.

Un déficit des essentiels (oligo-éléments) peut affecter la croissance des plantes, la productivité agricole et la valeur nutritionnelle des produits végétaux.

Un excès des essentiels et des non essentiels (contaminants métalliques), peut altérer le fonctionnement biologique des sols et des plantes, et dégrader la qualité sanitaire des récoltes et des produits d'origine animale (non-conformité à la réglementation).

La production agricole est donc susceptible d'être impactée par la disponibilité de ces éléments dans les sols (carences ou excès), disponibilité qu'elle contribue à modifier par les pratiques de culture.

La Journée Thématique -JT- du 12 avril 2022 abordera les problématiques liées aux aspects nutritionnels, sanitaires et environnementaux de ces éléments minéraux à travers des exemples concrets remontés du terrain. Elle permettra ainsi d'informer et de sensibiliser les acteurs concernés (prescripteurs, conseillers, agriculteurs...) sur les mécanismes d'action de ces éléments, sur les méthodes de diagnostics de l'état nutritionnel des cultures, et sur la gestion des situations de carences, de toxicité ou de risques sanitaires et environnementaux.

<sup>1</sup> « éléments métalliques ou métalloïdes présents dans les systèmes naturels et anthropisés à de faibles concentrations, potentiellement toxiques pour les organismes vivants si présents à des concentrations trop élevées »

## Programme

09:00	Accueil des participants
09:30	Ouverture : Lionel Jordan-Meille - Président du Comifer - Enseignant chercheur - BSA - UMR ISPA
09:30-11:00	<b>Partie I : Eléments traces en agriculture : de quoi parle-t-on ?</b>
	<i>Animatrice : Valérie Sappin-Didier – Chercheure – INRAE UMR ISPA (Interaction Sol Plante Atmosphère)</i>
	<i>Animateur « chat » : Matthieu Bravin – Chercheur – Cirad</i>
09:30	Généralités sur les éléments traces : oligoéléments et contaminants Laurence Denaix - Chercheure - INRAE UMR1391 ISPA (Interaction Sol Plante Atmosphère)
09:55	Etat de la réglementation sur les ETM - Eléments Traces Métalliques Camille Béchaux - Chargée de mission Matières fertilisantes/Bruno Canus - Chargé de mission Paquet Hygiène de la Production Primaire Végétale- MAA- DGAL
10:10	Les analyses de terre et de végétaux par les laboratoires d'analyses Annie Guérin - Responsable technique "Spectrométrie" INRAE - LAS -Laboratoire d'Analyse des Sols- d'Arras Pierre Masson - Directeur de l'USRAVE, Unité de Services et de Recherche en Analyses Végétales et Environnementales- INRAE
10:25	Quelle analyse, pourquoi, pour qui, les interrogations ? Valérie Sappin-Didier - Chercheure - INRAE UMR ISPA (Interaction Sol-Plante-Atmosphère)
10:40	Questions/Discussion
10:55	Pause

## 11:00-12:50 **Partie II : Les oligo-éléments et leur importance sur la production agricole et l'alimentation humaine**

*Animatrice : Aurélia Michaud - Ingénieur - INRAe*

*Animateur "chat" : Matthieu Bravin - Chercheur – Cirad*

- 11:00 Introduction : Rôle des oligo-éléments en alimentation humaine  
Christine Feillet-Coudray - Directrice de recherche - INRAe
- 11:20 Teneurs en oligo-éléments dans les tissus végétaux : conséquences pour la production agricole et l'alimentation humaine - Lionel Jordan-Meille - Enseignant-chercheur - BSA - UMR ISPA (Interaction Sol Plante Atmosphère)
- 11:35 Cas d'étude 1 : Exemple de carence en manganèse sur blé tendre  
Christine le Souder - Ingénieure spécialisée en fertilisation - Arvalis-Institut du Végétal
- 11:50 Cas d'étude 2 : Exemple de démarche de gestion de la carence en manganèse en viticulture et arboriculture Alain Kleiber - Responsable technique du pôle agriculture - Aurea AgroSciences
- 12:05 Cas d'étude 3 : La gestion du risque de carences en cuivre et autres oligos sur les productions de légumes et de maïs, en sols sableux de Haute Lande  
Justine Sourisseau - Directrice - Grceta-sfa
- 12:20 Synthèses sur les cas d'études et éléments de généricité  
Lionel Jordan-Meille - Enseignant chercheur – Bordeaux Sciences Agro - UMR ISPA
- 12:30 Questions/Discussion
- 12:50 Pause déjeuner

## 14:00-15:40 **Partie III : Enjeux sanitaires et environnementaux**

*Animateur : Lionel Jordan-Meille - Enseignant chercheur – BSA - UMR ISPA et Président du Comifer*

*Animatrice "chat" : Jean-Yves Cornu - Chargé de Recherche – INRAe*

- 14:00 Eléments traces et sécurité sanitaire des produits alimentaires : le cas emblématique du Cadmium et du blé dur  
Christophe Nguyen - Chercheur – INRAe
- 14:20 Eléments en traces métalliques et apports de Produits Résiduaux Organiques épandus en grande culture en contexte péri-urbain : - Synthèse des résultats de l'observatoire SOERE PRO -  
Aurélia Michaud - Ingénieur – INRAe
- 14:40 Accumulation, disponibilité et toxicité du cuivre dans les sols viticoles dans un contexte d'évolution réglementaire - Exemple du vignoble de Rouffach (Haut-Rhin)  
Gwenaël Imfeld - Directeur de recherche - CNRS - Institut Terre et Environnement de Strasbourg – ITES
- 15:00 Contexte des outre-mer tropicaux français : Est-ce si différent ?  
Matthieu Bravin - Chercheur – Cirad

## 15:40-17:00 **Table ronde - Questions/ Discussion**

*Animateurs : Matthieu Bravin - Cirad et Jean-Yves Cornu - INRAe*

- 17:00 Conclusions et clôture de la Journée Thématique

### **Supports**

Livret de présentation

Actes : vidéos et présentations orales des interventions sur le site du Comifer : <https://www.comifer.asso.fr>

En accès prioritaire aux inscrits de cette Journée Thématique

## Table des matières

<b>Partie I : Eléments traces en agriculture :</b> .....	6
<b>De quoi parle-t-on ? Définitions et présentation des notions de base</b> .....	6
Généralités sur les éléments traces : oligo-éléments et contaminants .....	7
Etat de la réglementation sur les ETM - Eléments Traces Métalliques.....	9
Les analyses de terre et de végétaux par les laboratoires d'analyses .....	11
Quelle analyse, pourquoi, pour qui, les interrogations ? .....	13
<b>Partie II : Les oligo-éléments et leur importance sur la production agricole et l'alimentation humaine</b> .....	15
Rôle des oligo-éléments en alimentation humaine .....	16
Teneurs en oligo-éléments dans les tissus végétaux : conséquences pour la production agricole et l'alimentation humaine .....	18
Cas d'étude 1 : carence en manganèse sur blé tendre ....	20
Cas d'étude 2 : Exemple de démarche de gestion de la carence en manganèse en viticulture et arboriculture .....	22
Cas d'étude 3 : La gestion du risque de carences en cuivre et autres oligos sur les productions de légumes et de maïs, en sols sableux de Haute Lande . .....	24
Synthèses sur les cas d'études et éléments de généricité .....	26
<b>Partie III : Enjeux sanitaires et environnementaux</b> .....	28
Eléments traces et sécurité sanitaire des produits alimentaires : le cas emblématique du cadmium et du blé dur.....	29
Eléments en traces métalliques et apports de Produits Résiduaux Organiques épandus en grande culture en contexte péri-urbain : Synthèse des résultats de l'observatoire SOERE-PRO.....	31
Accumulation, disponibilité et toxicité du cuivre dans les sols viticoles dans un contexte d'évolution réglementaire – Exemple du vignoble de Rouffach (Haut-Rhin) .....	33
Contexte des outre-mer tropicaux français : Est-ce si différent ?.....	35
<b>Table ronde Questions/Discussions</b> .....	37



# Partie I : Eléments traces en agriculture : De quoi parle-t-on ? Définitions et présentation des notions de base

**Animatrice : Valérie Sappin-Didier - Chercheure - INRAE UMR ISPA  
(Interaction Sol-Plante-Atmosphère)**

**Animateur du « chat » : Matthieu Bravin - Chercheur - Cirad**

La première partie de ce colloque a pour but apporter des informations de bases concernant les oligo-éléments et les contaminants, dans les sols et les végétaux, nécessaire à la compréhension des parties 2 et 3.

Les exposés aborderont tout d'abord des généralités sur ces éléments, appelés également Eléments Traces, leurs origines, leurs transferts dans le sol jusqu'à la plante et leurs effets sur celle-ci. Un point sera réalisé sur la réglementation des éléments traces dans les matières fertilisantes, les sols et les végétaux. Puis nous aborderons la problématique de leurs analyses dans ces différentes matrices, leurs significations et l'importance de ces analyses dans les domaines de la gestion de la fertilité, de la qualité des sols et des végétaux, et de la réglementation.





## Généralités sur les éléments traces : oligo-éléments et contaminants



**Laurence DENAIX**

Directrice de Recherche

UMR ISPA - INRAE

laurence.denaix@inrae.fr

<https://www6.bordeaux-aquitaine.inrae.fr/ispa>

Ingénieur agronome et docteur en sciences du sol, je suis chercheur à INRAE depuis 1993. Mes travaux concernent la biodisponibilité et l'écodynamique des éléments traces présents dans les sols agricoles (grandes cultures, viticulture) en fonction des pratiques agricoles et des intrants apportés. Actuellement je m'intéresse à la problématique du cuivre dans les sols viticoles, en tentant de comprendre les paramètres contrôlant le transfert et l'écotoxicité de ce métal afin de proposer des modes de gestion des sols adaptés au niveau de contamination.

### Résumé de l'intervention :

Les éléments traces sont des éléments présents à des concentrations inférieures à 0.1 % dans les sols ou les roches et inférieures à 0.01% dans les organismes vivants. Certains sont des oligoéléments, indispensables à la vie, mais d'autres tels que le plomb, le cadmium, le césium sont toxiques quelle que soit leur concentration.

En milieu agricole, ces éléments proviennent des retombées atmosphériques, des produits phytosanitaires dont les fongicides cupriques, des engrais minéraux, des produits organiques (effluents d'élevages, sous-produits agroalimentaires, composts, boues d'épuration...), des amendements calciques ou de l'irrigation. Par rapport à ces flux entrant, seulement quelques pourcents percolent dans les sols vers les nappes. Ainsi, au cours des années, les sols se sont chargés en éléments traces contaminants.

Le sol est un compartiment accumulateur d'éléments trace. Ces éléments vont se répartir sur les différents constituants (matières organiques, les (oxy)hydroxydes et les argiles minéralogiques) et cette répartition va conditionner les échanges sol-solutions.

Pour être absorbés par les organismes vivants, il faut que ces éléments traces soient biodisponibles, c'est-à-dire qu'ils soient présents sous une forme chimique absorbable par l'organisme tellurique (racine des végétaux, vers de terre, microorganismes, etc.). Or, un élément inclus dans une structure minérale dans le sol sera peu disponible. Un élément complexé par de la matière organique sera moins disponible qu'un élément sous forme ionique présent dans la solution du sol. Ainsi, il n'y a pas de relation simple entre une teneur totale en élément dans un sol et la teneur accumulée dans un organisme. La teneur en matière organique des sols, le pH, la teneur en argile seront des paramètres aussi voire plus importants que la teneur totale en métal du sol pour rendre compte de la biodisponibilité des éléments présents dans les sols, de leur accumulation et de leur toxicité.





## Etat de la réglementation sur les ETM - Eléments Traces Métalliques



### **Camille Béchaux**

Chargée d'étude « Matières Fertilisantes et supports de culture »  
Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation /  
Direction Générale de l'Alimentation  
camille.bechaux@agriculture.gouv.fr

### **Bruno Canus**

Chargé de mission Paquet Hygiène de la Production Primaire Végétale  
Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation /  
Direction Générale de l'Alimentation  
bruno.canus@agriculture.gouv.fr

Camille Béchaux est en charge de la réglementation des matières fertilisantes et des supports de culture au ministère de l'agriculture depuis 2019. Ingénieure agronome de formation et titulaire d'un doctorat en toxicologie, elle travaillait auparavant à l'Agence Nationale de sécurité sanitaire des aliments, de l'environnement et du travail sur l'exposition des populations aux contaminants chimiques via l'alimentation et l'établissement de valeurs toxicologiques de références.

### **Résumé de l'intervention :**

En France, la mise sur le marché et l'utilisation des matières fertilisantes et supports de culture sont soumises à une réglementation précisée par le code rural et de la pêche maritime. Cette réglementation prévoit différentes voies pour l'autorisation des produits ayant pour objectif de garantir leur innocuité et leur efficacité.

L'objectif de cette intervention est de présenter l'encadrement réglementaire actuel des éléments traces dans les fertilisants : quelles sont les dispositions qui sont actuellement couvertes par la réglementation et par quelle réglementation et quelles sont celles qui ne le sont pas. Le contenu et les évolutions de ces dispositions seront illustrés par des exemples sur les oligo-éléments (cuivre et manganèse) et les contaminants métalliques (cuivre et cadmium).



Notes

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----



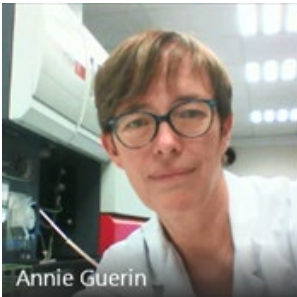
## Les analyses de terre et de végétaux par les laboratoires d'analyses



**Pierre MASSON**

Directeur de l'USRAVE  
Unité de Service et de Recherche en Analyses  
Végétales et Environnementale - INRAE  
pierre.masson@inrae.fr  
<https://www6.bordeaux-aquitaine.inrae.fr/usrave>

Mon but est d'offrir aux chercheurs d'INRAE la meilleure qualité possible dans le domaine de l'analyse végétale, en particulier autour de la problématique de la toxicologie environnementale liée aux éléments en traces. Depuis 30 ans, je fais évoluer l'USRAVE à travers ses composantes techniques, organisationnelles et managériales pour définir un environnement de travail adapté à cette activité et une identité scientifique originale autour des sciences analytiques.



**Annie GUERIN**

Responsable technique Spectrométrie  
Responsable Production  
Laboratoire d'Analyses des Sols - INRAE  
annie.guerin@inrae.fr  
<https://www6.hautsdefrance.inrae.fr/las>

Après une thèse ayant pour thème les méthodes d'analyses chimiques des éléments en traces biodisponibles dans les sols, j'ai rejoint le Laboratoire d'Analyses des Sols d'INRAE en 2000 en tant qu'ingénieur en charge des analyses spectrométriques. Mon domaine d'expertise est donc l'analyse des éléments minéraux (majeurs et en traces) présents dans les sols par des techniques d'émission et d'absorption atomique ou de spectrométrie de masse.

### Résumé de l'intervention :

Les analyses de sols et de végétaux ont été développées pour répondre à de multiples besoins de la recherche, du monde agricole, des entreprises de l'agroalimentaire, etc. Les laboratoires spécialisés dans le domaine de l'analyse, qu'ils soient publics ou privés, offrent un large éventail d'éléments ou de molécules à quantifier suivant diverses méthodes normalisées ou développées en interne. Les méthodes d'analyse des végétaux et des sols ont en commun des étapes clés : le prélèvement, la préparation, l'analyse (mise en solution et dosage) et l'interprétation des résultats obtenus. En revanche, si les analyses de végétaux ont pour but exclusif de quantifier des teneurs totales en analytes, les analyses de sols proposent également des méthodes « fonctionnelles », c'est-à-dire ayant pour objectif d'estimer la proportion d'éléments dits « échangeables », « biodisponibles » ou « assimilables » (qui représentent souvent quelques pourcents de la teneur totale) afin de définir par exemple si un sol est suffisamment pourvu en nutriments ou s'il présente un risque de toxicité. L'objectif de cette intervention est d'apporter un éclairage sur les différentes méthodes d'analyse, leur mise en œuvre et les paramètres à prendre en compte pour bien les choisir.



## Quelle analyse, pourquoi, pour qui, les interrogations ?



**Valérie SAPPIN-DIDIER**

Chercheur

INRAE Nouvelle-Aquitaine Bordeaux

UMR 1391 ISPA

[valerie.sappin-didier@inrae.fr](mailto:valerie.sappin-didier@inrae.fr)

<https://www6.bordeaux-aquitaine.inrae.fr/ispa/>

Chercheur à l'UMR ISPA (Interaction Sol-Plante-Atmosphère), dans l'équipe BIONET (BIOgéo chimie des Nutriments et des Eléments Traces), ma thématique de recherche est l'étude du transfert des éléments traces (ET) dans le sol, défini comme la disponibilité environnementale. La compréhension des mécanismes régissant la disponibilité des ET dans le sol contribue d'une part à prédire le transfert sol-plante des éléments traces, et d'autre part permet une meilleure gestion de ce transfert, notamment, en le diminuant par des pratiques agricoles.

### Résumé de l'intervention :

Lors de l'envoi d'échantillon de sol ou de végétaux à un laboratoire d'analyse, se pose souvent la question de quelles analyses effectuées, quelle méthode choisir, notamment en ce qui concerne les éléments traces ? Dans un sol, doit-on demander l'analyse des teneurs en éléments totales par extraction à HF (Acide fluorhydrique) ou par extraction à l'eau régale (Acide nitrique + acide chloridrique) ? Ou bien l'analyse des éléments traces extractibles et quelle méthode choisir ( $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , EDTA, Tamm, ...) ? Quelles informations apportent l'analyses des éléments traces extractibles par rapport à une analyses totale de ces éléments ? Doit-on demander l'analyses d'autres paramètres pédologiques ? ...

L'objectif de cette présentation est d'apporter des explications sur la signification de ces analyses et les informations qui peuvent en être déduites. Le choix de ces analyses doit être également raisonné en fonction d'un objectif, d'une demande, d'une problématique (suivi d'un essai, gestion de la fertilité, réglementions, ...). Pour comprendre la signification de ces analyses, les processus physico-chimiques et biologiques dans les sols seront abordés afin d'expliquer et répondre à ces interrogations.



**Notes** -----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----





## Partie II : Les oligo-éléments et leur importance sur la production agricole et l'alimentation humaine

**Animatrice : Aurélia Michaud - Ingénieur - Inrae**

**Animateur du « chat » : Matthieu Bravin - Chercheur - Cirad**

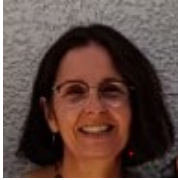
Cette partie aborde les aspects nutritionnels des éléments-traces, qualifiés ici d'oligoéléments essentiels (OEE). La partie démarre avec la présentation de la problématique liée à la nutrition humaine : ampleur des problèmes de carences, principaux impacts sur la santé humaine. Où l'on découvre que les carences existent bien dans nos sociétés modernes et sont fortement influencées par le type de régime alimentaire. Le reste des exposés focalise sur la problématique agricole.

Le rôle des OEE en physiologie végétale est rappelé, en relation avec l'expression de leurs symptômes de carences. Des ordres de grandeurs des concentrations en oligoéléments dans les tissus des plantes sont donnés, notamment les parties consommées. On présente successivement trois cas d'étude à travers des témoignages d'experts relatant des dysfonctionnements sur des plantes, liés à des carences en certains oligoéléments. Les cas d'étude portent sur quelques couples célèbres « culture - carence », avec, successivement les cas « Blé tendre – Manganèse » (ARVALIS), « Viticulture – Manganèse » (Aurélia AgroSciences) et « Légumes, maïs et Cuivre » (GRCETA SFA). Chaque cas d'étude s'applique à détailler les symptômes et impacts sur qualité et rendement, les méthodes de diagnostics sur les sols et les plantes, etc. ... Les « couples » ont été choisis de manière à croiser à la fois des cas de carences vraies et de carences induites, des cultures annuelles et pérennes, ... autant de facteurs qui imposent des méthodes de correction ou de levées de blocage à chaque fois bien spécifiques.

A l'issue de la présentation des cas d'étude, une synthèse permet de comparer les informations recueillies, et de compléter par des informations qui auront été apportées lors des cas d'étude. Un guide générique de symptomatologie des carences en OEE est proposé, ainsi qu'une synthèse avec une entrée « cultures » (récapitulatif des principales carences observées pour les grandes cultures et des cultures pérennes) et une entrée « OEE » rappelant les conditions environnementales de réduction de leur biodisponibilité et leurs seuils de risque, lorsque ces données sont disponibles. Des informations sur la biofortification des cultures clôtureront cette partie.



## Rôle des oligo-éléments en alimentation humaine



**Christine Feillet-Coudray**  
Directrice de Recherche  
INRAE, UMR DMEM  
christine.coudray@inrae.fr  
[www6.montpellier.inrae.fr/dmem/](http://www6.montpellier.inrae.fr/dmem/)

Christine Feillet-Coudray a travaillé pendant 10 ans sur le métabolisme des minéraux et des oligoéléments chez l'Homme, dans l'Unité Maladies Métaboliques et Micronutriments à l'INRA de Clermont-Ferrand. Depuis 2005, elle étudie dans l'UMR DMEM de l'INRAE de Montpellier les mécanismes d'action protecteurs de bioactifs végétaux apportés par l'alimentation dans le maintien de l'homéostasie du muscle dans un contexte d'obésité.

### Résumé de l'intervention :

Au cours de cette courte présentation, la notion d'essentialité des oligoéléments chez l'Homme sera abordée, avec un focus sur le fer, le cuivre, le zinc et le sélénium qui sont des oligoéléments essentiels à risque de carence démontré chez l'Homme. Les principales causes de carence dans le monde ainsi que leurs conséquences tant humaines qu'économiques seront présentées. Pour finir, des stratégies d'amélioration du statut en micronutriments proposées par l'OMS chez l'Homme seront analysées.



Notes -----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----



## Teneurs en oligo-éléments dans les tissus végétaux : conséquences pour la production agricole et l'alimentation humaine



**Lionel JORDAN-MEILLE**  
Enseignant-chercheur  
Bordeaux Sciences Agro  
lionel.jordan-meille@agro-bordeaux.fr  
agro-bordeaux.fr/

Lionel JORDAN-MEILLE enseigne la nutrition des plantes à Bordeaux Sciences Agro depuis 1999. Sa recherche s'est longtemps focalisée sur les éléments P et K. A ce titre, il anime le groupe de travail P K Mg du COMIFER. A l'occasion d'un séjour d'un an à la station expérimentale anglaise de Rothamsted Research, il s'est plongé dans le monde des éléments-traces, et plus particulièrement sur la compréhension des facteurs qui conditionnent leurs concentrations dans les parties comestibles des plantes.

### Résumé de l'intervention :

#### 1. Panorama des rôles physiologiques des oligo-éléments sur la croissance et le développement

Les oligo-éléments (OE) sont absorbés à des doses généralement infimes par les plantes pour lesquelles ils constituent des nutriments essentiels pour leur croissance. La littérature scientifique fait état d'un très grand nombre de rôles des OE en physiologie végétales, qu'ils tirent de leurs capacités à assurer le transport d'électrons (Cu, Fe, Mo, Mn), à être co-activateurs d'enzymes, voire leurs constituants spécifiques. Ces rôles touchent aux processus de la photosynthèse et de la respiration, à la neutralisation des radicaux libres, au transport des sucres, à la réduction des nitrates en molécules précurseurs des acides aminés, à l'assimilation de l'azote atmosphérique, etc. ...

Pour ces raisons, les symptômes de carences en OE sont peu spécifiques et souvent conséquences très indirectes des effets initiaux induits. Les cas spécifiques du Cu et du Mn seront approfondis, en relation avec les cas d'étude présentés dans la suite des exposés.

#### 2. Concentrations en oligo-éléments dans les plantes

Entre OE, les concentrations varient d'un facteur avoisinant un facteur 10 000 (fourchette s'étalant de 0.1 à 800 mg / kg pour le molybdène et le fer ou le bore, respectivement). Comme pour les éléments majeurs, les concentrations d'un OE donné dépendent de l'espèce, de l'organe, de l'âge, et de facteurs abiotiques tels que le climat, le type de sol, les interactions avec les autres éléments. Des ordres de grandeur des concentrations en OE seront présentés pour quelques plantes cultivées, dans le but de montrer la grande dispersion des données et la difficulté à prévoir ces concentrations.

#### 3. Impact de la sélection variétale sur les teneurs en OE dans les parties comestibles des plantes

A l'échelle des espèces (céréales, fruits, légumes), une baisse d'au moins 1/3 des concentrations en certains OE comme le Zn est notée dans les parties comestibles des plantes, depuis les années 1960. Si l'effet de « dilution » lié à l'augmentation des rendements est avancé, il n'explique pas toujours, à lui seul, ce phénomène, ni pourquoi les peuplements végétaux n'accompagnent pas la hausse de teneur en carbone par une hausse de prélèvement de ces minéraux.

#### Références complémentaires :

- Interprétation de l'analyse de terre pour les grandes cultures et les prairies temporaires. Guide pratique. Ed Arvalis, pp47-57, 2020
- Oligo-éléments et monde vivant. Mécanismes d'action, carences et excès chez le végétal, l'animal et l'homme. Comptes rendus de l'académie d'agriculture de France, Vol 72, 2, 1990
- Guide de la Fertilisation Raisonnée, Comifer, Chap VIII, pp163-179, 2017
- Mengel K & EA Kirkby Principles of plant nutrition. 5th Edition, pp 553-637, 2001
- Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants. 3rd Edition, Chap 7. pp 191-248, 2012
- Reuter DJ & Robinson JB Plant Analysis: An Interpretation Manual 2nd Edition, 1997

**Notes** -----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----



## Cas d'étude 1 : carence en manganèse sur blé tendre



### Christine LE SOUDER

Ingénieure spécialisée en fertilisation  
Arvalis – Institut du végétal  
91720 BOIGNEVILLE  
c.lesouder@arvalis.fr  
www.arvalisinstitutduvegetal.fr

Ingénieur spécialisée en fertilisation à ARVALIS, depuis 1991, Pôle Agronomie, au sein du Service Agronomie – Economie – Environnement, à la Direction Recherche et Développement.

### Résumé de l'intervention :

Les céréales à paille sont essentiellement sensibles à la carence en manganèse et à celle en cuivre, et pas aux autres oligo-éléments. Même si ce type de carence est relativement peu fréquent à l'échelle du territoire national sur ces cultures, c'est la carence en manganèse qui est la plus présente aujourd'hui et qui fait l'objet de ce premier cas d'étude.

Une parcelle de blé tendre est identifiée en Bretagne en sortie d'hiver par des symptômes en végétation. L'examen des pratiques culturales et des conditions de milieu associées à cette extériorisation, avec en particulier des apports d'amendements basiques récents, un sol très organique à texture sableuse et un pHeau du sol supérieur à 6,8, conduit à envisager une carence en manganèse.

Des outils existent pour confirmer le diagnostic : l'analyse de terre, mais qui dans le cas du manganèse est peu pertinente du fait de carences qui sont induites pour la plupart du temps, et l'analyse de plante, soit au cours du tallage pour le Mn soit au diagnostic foliaire réalisé à la floraison du blé pour quasiment tous les éléments (mais a posteriori des problèmes).

La correction de la carence ne peut s'envisager que par pulvérisation foliaire ; une quantité minimale de 500 g Mn/ha doit être apportée courant tallage, dès l'apparition des premiers symptômes, éventuellement renouvelée, avant le stade « 2 Nœuds » de la céréale si les symptômes persistent. Différentes formes d'engrais peuvent alors être utilisées, sous réserve d'atteindre cette quantité minimale, avec la restriction de n'apporter qu'un seul oligo-élément.

### Références complémentaires :

- Fiches Accidents ARVALIS : <http://www.fiches.arvalis-infos.fr/>
- Interprétation des analyses de terre sur grandes cultures et prairies temporaires, Arvalis, 2020, Brochure Editions Arvalis, 68 pages
- Carences en oligo-éléments : du diagnostic à la stratégie de correction, SOENEN B., 2019. Persp.Agricoles, n°464, pp 41-50.
- Analyse des facteurs de risque de carence en manganèse sur céréales à paille, MASSON E., LAGRANGE H., VALE M., et KLEIBER A., 2019. Poster aux Rencontres COMIFER-GEMAS 2019.

**Notes** -----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----



## Cas d'étude 2 : Exemple de démarche de gestion de la carence en manganèse en viticulture et arboriculture



**Alain KLEIBER**

Responsable technique pôle agronomie  
Laboratoire AUREA AGROSCIENCES  
a.kleiber@aurea.eu  
www.aurea.eu

Ingénieur agri, spécialisé dans la nutrition des plantes pérennes et dans la valorisation des analyses agronomiques sur le terrain.

### Résumé de l'intervention :

Depuis dix ans, un producteur du vignoble de Gaillac (Le Verdier 81140) observe des décolorations de plus en plus fréquentes du feuillage sur la majorité de ses parcelles avec des niveaux d'intensité très variables selon les années et les parcelles.

Le manque de Manganèse a été identifié comme étant la cause de ce phénomène pénalisant le fonctionnement végétatif des ceps.

L'objet de la présentation est de montrer :

- La démarche appliquée pour identifier l'origine du problème observé et expliquer sa variabilité (symptomatologie, historiques, analyses de terre, de végétal...).
- La comparaison entre trois parcelles (à cépage/porte greffe identique et années de plantation proches) pour apprécier l'impact du sol sur l'assimilation du Manganèse.
- Les réponses techniques mises en place pour limiter ou anticiper le manque de Manganèse.

La conclusion permettra d'élargir la démarche à l'arboriculture.







## Cas d'étude 3 : La gestion du risque de carences en cuivre et autres oligos sur les productions de légumes et de maïs, en sols sableux de Haute Lande

**Justine SOURISSEAU**

Directrice du GRCETA-SFA

(Groupement de Recherche sur les Cultures et Techniques  
Agricoles des Sols Forestiers d'Aquitaine)

justine.sourisseau@grceta-sfa.fr

06 38 66 77 62

### Résumé de l'intervention :

#### Les sols sableux de la Haute Lande : particularités en cultures légumières & grandes cultures

Au cœur du massif forestier des landes de Gascogne, les sols sableux de Haute Lande présentent des caractéristiques bien particulières. Sableux à plus de 90 %, acides et pourvus d'une Capacité d'Echange Cationique très faible, ils sont naturellement pauvres en de nombreux macro et oligo-éléments.

Dans les années 50, rapidement après leur installation sur ce territoire, les agriculteurs constatent que les rendements des cultures mises en place stagnent. La découverte de la carence en cuivre permet d'apporter une partie de l'explication. Plus tard, les travaux sur les amendements calco-magnésiens, réalisés en partenariat avec l'INRA, permettent de remédier aux phénomènes d'intoxication ammoniacale provoqués par les pH trop acides. L'analyse de sol est devenue l'outil indispensable pour le maintien de la fertilité chimique des sols sableux. Réalisées tous les trois ans en moyenne, ces analyses mettent en évidence le besoin d'apporter régulièrement du cuivre, de la magnésie, du manganèse, du zinc, etc. En culture légumière, type haricots verts, comme en maïs, l'évolution du cuivre EDTA dans le sol est surveillée. On veille à réaliser des apports préventifs au sol, sous diverses formes (les sulfates ou oxydes de cuivre étant les plus courantes). Les apports foliaires, plus rares, ne permettent pas de corriger une carence déclarée.

Concernant les autres éléments qui peuvent faire défaut dans les sables (magnésie, manganèse, soufre, etc.), le suivi régulier du pH du sol permet de limiter les phénomènes de carences induites, en lien avec un pH trop acide, ou suite à un redressement trop brutal.



**Notes** -----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----



## Synthèses sur les cas d'études et éléments de généricité



**Lionel JORDAN-MEILLE**  
Enseignant-chercheur  
Bordeaux Sciences Agro  
lionel.jordan-meille@agro-bordeaux.fr  
agro-bordeaux.fr/

### Résumé de l'intervention :

Ce que nous apprennent les cas-types en termes de gestion de la nutrition des oligoéléments

Points communs et divergences des cas-types exposés : types d'organes touchés par les carences, gravité des carences, type de carence, prégnance du pH, etc. ...

Exemple de démarche de gestion des microéléments : des réponses à adapter à chaque contexte (carences vraies vs blocages, apports foliaires vs au sol, méthodes curatives vs préventives, intérêts agronomiques vs intérêts santé...)

Des apports qui ne se raisonnent pas selon les niveaux des exportations

De quels minéraux le Mn et le Cu sont-ils les modèles, respectivement ?

### Autres problématiques

Les limites du diagnostic par analyses de terre et de végétaux (pas d'extractant universel, cas des éléments dont les teneurs-plantes sont déconnectées des teneurs-sols, etc. ...)

Y a-t-il des types de matières fertilisantes plus efficaces que d'autres pour éviter les blocages ?

Les changements climatiques sont-ils de nature à modifier l'alimentation des plantes en oligoéléments ?

### La biofortification en oligoéléments : objectifs, démarches, résultats, développements

### Guides, tableaux, abaques

Guide de symptomatologie pour plantes annuelles et pérennes (Auréa AgroSciences, ARVALIS)

Principales carences en oligoéléments observées en grandes cultures et en cultures pérennes, interprétées en termes de fréquence et d'intensité (ARVALIS, Auréa AgroSciences)

Conditions ou facteurs intervenant dans la réduction de biodisponibilité des oligoéléments (ARVALIS)

Seuils de carences en oligoéléments dans les sols (Guide de la fertilisation raisonnée, 2017)

**Notes** -----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----

## Partie III : Enjeux sanitaires et environnementaux

**Animateur : Lionel Jordan-Meille – Enseignant-Chercheur BSA – Président du Comifer**

**Animateur du « chat » : Jean-Yves Le Cornu – Chargé de recherches - Inrae**

Cette troisième partie aborde les enjeux sanitaires et environnementaux liés aux éléments traces en agriculture. Les éléments traces, qu'ils jouent un rôle biologique ou non, sont toxiques lorsque présents en excès, c'est-à-dire à des concentrations qui excèdent la tolérance basale des organismes cibles. Ils peuvent donc nuire à la qualité biologique des sols et/ou à la qualité sanitaire des denrées agricoles et ainsi, fragiliser la pérennité de certains agroécosystèmes et des filières associées.

Cette partie s'articule autour de trois présentations visant chacune à faire le point sur un enjeu sanitaire ou environnemental lié aux éléments traces en agriculture :

- (i) L'enjeu sanitaire lié à la contamination du blé dur par le cadmium (Cd)
- (ii) L'enjeu sanitaire et environnemental lié à l'utilisation des produits résiduaux organiques (PRO) en agriculture
- (iii) L'enjeu environnemental lié à l'utilisation du cuivre (Cu) en viticulture

Ces trois présentations seront complétées d'une quatrième déclinant cette problématique pour les agroécosystèmes tropicaux, et visant à évaluer dans quelle mesure les processus qui régissent la dynamique des ET dans les agroécosystèmes tropicaux diffèrent de ceux décrits en milieux tempérés.



## Éléments traces et sécurité sanitaire des produits alimentaires : le cas emblématique du cadmium et du blé dur

**Christophe NGUYEN**

Chercheur

Inrae

Email: christophe.nguyen@inrae.fr

Site web <https://www6.bordeaux-aquitaine.inrae.fr/ispa/Recherche>

Ingénieur agronome (Ensaia, Nancy). Docteur INPL, Nancy en Science agronomique. Travaux de recherche : 1996-2006 : modélisation de rhizodéposition et de ses conséquences sur la dynamique de l'azote dans les sols, 2007- : Transfert sol-plante des éléments traces (ET) en contexte agronomique de sécurité sanitaire des productions végétales. Compréhension des mécanismes régissant la biodisponibilité des ET du sol et leur allocation aux parties consommées. Modélisation prédictive du risque de non-conformité des récoltes. Compétences en agronomie, biogéochimie, écophysiologie végétale et modélisation.

### Résumé de l'intervention :

Le transfert parfois trop important d'éléments traces contaminants du sol vers les organes végétaux consommés peut conduire à un risque significatif pour la santé humaine comme en témoignent les études des autorités sanitaires (Efsa 2011, 2020). Le cas du cadmium (Cd) est le plus prégnant compte-tenu des alertes sur les niveaux d'imprégnation de la population (Oléko et al., 2021) et du niveau de contamination de la chaîne alimentaire (Anses 2011). L'exposé illustrera comment le durcissement de la réglementation sur les teneurs maximales de ce métal dans les produits alimentaires (EC1323/2021) peut faire peser une menace pour la production de blé et plus particulièrement de blé dur qui l'accumule plus fortement. Nous présenterons l'état actuel du niveau de contamination en France par rapport à l'évolution réglementaire et nous présenterons les connaissances actuelles sur le transfert sol-grain du Cd et les leviers agronomiques associés pour réduire le risque de non-conformité des récoltes. Nous présenterons « Bléssûr » un web-service gratuit développé par Inrae et Arvalis, Institut du Végétal pour évaluer a priori le risque de non-conformité du blé dur pour plusieurs ET contaminants dont le Cd. Pour aider à gérer le risque, nous rappellerons les grands mécanismes de la biodisponibilité du Cd pour les cultures et comment l'évaluer et la limiter. Nous nous intéresserons également au levier variétal qui met à profit les différences significatives d'accumulations du Cd dans les grains entre les variétés. Nous préciserons comment la démarche établie pour le Cd peut être étendue à d'autres contaminants pour protéger à la fois les filières de production et les consommateurs.

### Références complémentaires :

- Bléssûr Un outil pour la prédiction de la qualité sanitaire du blé dur <https://ispa.bordeaux.inrae.fr/services/blesur/>
- EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM), 2020. Update of the risk assessment of nickel in food and drinking water. EFSA Journal 18. doi:10.2903/j.efsa.2020.6268
- EFSA, 2011. Scientific Opinion: Statement on tolerable weekly intake for cadmium. EFSA Journal 9.
- Oleko et al. 2021. Imprégnation de la population française par le cadmium. Programme national de biosurveillance Esteban, 2014-2016. Santé publique France. [www.santepubliquefrance.fr](http://www.santepubliquefrance.fr)

Notes -----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----



## Éléments en traces métalliques et apports de Produits Résiduaire Organiques épandus en grande culture en contexte péri-urbain : Synthèse des résultats de l'observatoire SOERE-PRO

Auteurs : Aurélia Michaud, Denis Montenach, Thierry Morvan, Frédéric Feder, Camille Resseguier, Sabine Houot

**Aurélia Michaud**

Ingénieur

INRAE

aurelia.michaud@inrae.fr

<https://www6.inrae.fr/valor-pro>

Chef de projet de l'observatoire de Recherche en Environnement SOERE PRO, avec une spécialité sur la dynamique des éléments en traces métalliques et l'évolution des propriétés des sols en lien avec certaines pratiques agricoles telles que les apports de PRO.

### Résumé de l'intervention :

L'apport de produits résiduaire organique (PRO) permet de recycler les matières organiques et les éléments nutritifs. Du fait de l'origine des matières premières entrant dans la composition des PRO, les produits épandus peuvent aussi être vecteurs de contaminants et de pathogènes humains. L'observatoire de recherche en environnement SOERE PRO qui est piloté par INRAE a été mis en place à partir de 2000 pour étudier le retour au sol de divers PRO dans différents contextes agro-pédo-climatiques. Aujourd'hui, il est constitué de 9 sites expérimentaux de longue durée dont 4 sites principaux intégrés à l'Infrastructure de recherche Nationale ANAEE-France. Ces sites principaux permettent d'assurer un suivi complet in situ de l'évolution d'agrosystèmes soumis à des apports répétés de PRO représentatifs de gisements nationaux : évolution des propriétés des sols, des cultures, lixiviation dans les eaux, émissions de gaz à effets de serre, dynamique de contaminants.

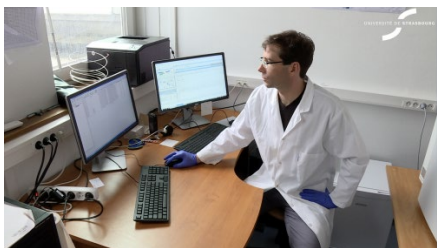
L'intervention a pour objectif de présenter une synthèse des données concernant les éléments en traces métalliques étudiés sur ces 4 sites principaux :

- INRAE QualiAgro conduit en Ile de France pour étudier divers composts urbains et mis en place en 1998 ;
- INRAE PROspective conduit en Grand-Est pour étudier divers produits urbains/agricoles plus ou moins compostés et mis en place en 2000 ;
- INRAE EFELE mis en place en Bretagne pour étudier divers effluents d'élevage plus ou moins traités et mis en place en 2012 ;
- CIRAD RUN mis en place à la Réunion pour étudier des produits urbains et agricoles et mis en place en 2013.





## Accumulation, disponibilité et toxicité du cuivre dans les sols viticoles dans un contexte d'évolution réglementaire – Exemple du vignoble de Rouffach (Haut-Rhin)



**Gwenaël IMFELD**  
 Directeur de recherche CNRS  
 Institut Terre et Environnement de Strasbourg  
 gwenael.imfeld@cnrs.fr  
<https://ites.unistra.fr/recherche/equipes/bise/pages-personnelles/gwenael-imfeld>

Gwenaël Imfeld est directeur de recherche au CNRS en biogéochimie et hydrologie, au laboratoire Terre et Environnement de Strasbourg (ITES). Il s'intéresse au transport réactif et à la transformation des polluants métalliques, des pesticides de synthèse et des micropolluants dans les sols, les eaux de surface et souterraines et leurs interfaces. Il s'appuie notamment sur l'analyse isotopique des composés spécifiques (CSIA) pour étudier les sources et les voies de transformation.

### Résumé de l'intervention :

Les études de l'impact écotoxicologique du cuivre dans les sols viticoles reposent généralement sur l'effet de l'ajout d'une dose spécifique de cuivre (Cu). Cependant, les propriétés du sol et la dynamique d'accumulation du cuivre dans le sol doivent également être prises en compte pour déterminer à l'échelle du vignoble et de la région viticole les seuils d'écotoxicité à ne pas dépasser pour conserver une bonne qualité biologique du sol. Bien que le seuil de cuivre apporté de 200 kg cuivre/ha soit possiblement conservatif à l'échelle annuelle<sup>1</sup>, la seule prise en compte d'une dose annuelle s'avère à notre avis insuffisante pour garantir l'intégrité de la fertilité des sols et de la biodiversité. En effet, le stock préexistant en cuivre dans le sol et sa disponibilité avant l'ajout d'une nouvelle dose de cuivre peuvent fortement varier à l'échelle du vignoble et entre les vignobles en fonction des propriétés physico-chimiques du sol, de la végétation et des différentes formes de cuivre dans le sol. Cela remet en question la notion d'utilisation inoffensive du cuivre à une dose spécifique, même si celle-ci est inférieure aux doses utilisées historiquement. Une utilisation de cuivre jusqu'à 28 kg/ha sur sept ans, soit 4 kg/ha/an en moyenne, conformément à la réglementation européenne actuelle, repousse l'échéance à partir de laquelle une partie des vignobles européens aura atteint un seuil de toxicité de cuivre pour les organismes du sol. Néanmoins, le seuil écotoxicologique pour la qualité biologique du sol de 200 kg cuivre/ha (cuivre apporté) pourrait être atteint en 25 ans dans plusieurs vignobles français. La teneur en cuivre mesurée dans les sols viticoles européens est en moyenne 30% plus élevée que le cuivre non agricole<sup>2</sup>. Nous estimons que le seuil de 100 mg cuivre/kg sol (teneur mesurée), soit environ 150-250 kg cuivre/ha dans la couche supérieure de 10-15 cm du sol (stock estimé), est déjà dépassé pour >50% des surfaces viticoles en Europe centrale et occidentale. Une amélioration de la qualité et de la durabilité de la production viticole en Europe passe par une utilisation locale adaptée et une évaluation de l'impact du cuivre plus spécifique, tenant également compte de la trajectoire de l'accumulation et de la disponibilité du cuivre dans le sol.

### Références complémentaires :

<sup>1</sup>Karimi B., Masson V., Guillard C., Leroy E., Pellegrinelli S., Giboulot E., Maron P.-A., Ranjard L. (2021b). Ecotoxicity of copper input and accumulation for soil biodiversity in vineyards. *Environ Chem Lett.* 19, 2013–2030 <https://doi.org/10.1007/s10311-020-01155-x>

<sup>2</sup>Droz B., Payraudeau S., Antonio Rodríguez Martín J., Tóth G., Panagos P., Montanarella L., Borrelli P., Imfeld G. (2021). Copper Content and Export in European Vineyard Soils Influenced by Climate and Soil Properties. *Environmental Science & Technology.* 55, 11, 7327–7334.

Imfeld G., Duplay J., Payraudeau S. (2021). Comment on 'Ecotoxicity of copper input and accumulation for soil biodiversity in vineyards' by Karimi et al. *Environmental Chemistry Letters*, 1-3.

Meite F., Granet M., Imfeld G. (2022). Ageing of copper, zinc and synthetic pesticides in particle-size and chemical fractions of agricultural soils. *Science of The Total Environment*, 153860.



## Contexte des outre-mer tropicaux français : Est-ce si différent ?



**Matthieu BRAVIN**

Agronome-biogéochimiste  
Unité Recyclage et risque, Cirad  
matthieu.bravin@cirad.fr  
[page Web personnelle](#)

Chercheur depuis 2008 au sein de l'unité Recyclage et risque du Cirad, mes travaux portent principalement sur l'évaluation des conséquences sanitaires et environnementales de la contamination des sols agricoles tropicaux par les éléments traces apportés par les fertilisants, notamment organiques. J'ai en particulier appliqué ces travaux au contexte agronomique de l'île de La Réunion où j'ai travaillé de 2011 à 2021.

### Résumé de l'intervention :

En milieu tropical, c'est très certainement différent... Voilà une affirmation qu'on entend fréquemment quand il s'agit d'appliquer aux contextes tropicaux de l'outre-mer français les connaissances agronomiques développées en France métropolitaine. Et la thématique des conséquences sanitaires et environnementales de la contamination des sols agricoles par les éléments traces ne fait pas exception à la force des préjugés.

Pourtant, tout comme en milieux tempérés, la première particularité des milieux tropicaux français réside dans la très grande diversité de leurs contextes climatiques, pédologiques et agronomiques. Cette diversité est tout autant liée à leur dispersion au sein de la large zone tropicale tout autour du globe, qu'à la diversité même des contextes au sein de chaque territoire.

Partant de l'exemple de l'île de La Réunion qui présente des contrastes marqués, l'exposé retracera près de vingt ans de recherche sur la dynamique des éléments traces dans ces agro-écosystèmes tropicaux. Que ce soit lié à la richesse naturelle des sols de l'île ou à leur contamination par des activités industrielles, les travaux menés à La Réunion ont permis de lever les contraintes réglementaires liées à l'épandage des boues issues de station d'épuration urbaine ou à la réutilisation des eaux usées traitées. Partant du constat d'une richesse en éléments traces de certains fertilisants utilisés localement, les conséquences environnementales, sanitaires, mais également nutritionnelles des pratiques de fertilisation sont évaluées sur le long-terme. Au-delà de quelques spécificités, ces travaux sont globalement concordants avec les connaissances acquises en milieux tempérés.

A ceux qui en doutaient, le fonctionnement des agroécosystèmes tropicaux est donc régi par les mêmes lois biophysiques que celles qui prévalent en milieux tempérés. Si des études spécifiques aux contextes tropicaux des outre-mer français seront toujours nécessaires, elles peuvent cependant s'appuyer très largement sur les connaissances acquises en milieux tempérés et, réciproquement, les compléter.

### Références complémentaires :

Collin Blanche, Doelsch Emmanuel, Saint Macary Hervé. 2012. Eléments trace métalliques et épandage de produits organiques à La Réunion. *Agronomie, Environnement et Sociétés*, 2 (1) : 59-67.  
[http://www.agronomie.asso.fr/fileadmin/user\\_upload/Revue\\_AES/AES\\_vol2\\_n1\\_juin2012/AES\\_vol2\\_n1\\_06\\_Collin\\_al.pdf](http://www.agronomie.asso.fr/fileadmin/user_upload/Revue_AES/AES_vol2_n1_juin2012/AES_vol2_n1_06_Collin_al.pdf) Tillard Emmanuel, Versini Antoine, Bravin Matthieu. 2020. Fertilisation organique des sols et des cultures : Maximiser les bénéfices et minimiser les risques. p. 10-11, in *L'agriculture au cœur de l'économie circulaire*. Vayssières J. et Bravin M. (coord.), Agronews (Avril), hors-série, 20 p. <https://reunion-mayotte.cirad.fr/actualites/agronews>



# Table ronde

## Questions/Discussions

**Animateurs :**

**Matthieu Bravin - Chercheur – Cirad**

**Jean-Yves Cornu – Chargé de recherches - Inrae**



**Matthieu BRAVIN**

Agronome-biogéochimiste

Unité Recyclage et risque, Cirad

matthieu.bravin@cirad.fr

[page Web personnelle](#)

Chercheur depuis 2008 au sein de l'unité Recyclage et risque du Cirad, mes travaux portent principalement sur l'évaluation des conséquences sanitaires et environnementales de la contamination des sols agricoles tropicaux par les éléments traces apportés par les fertilisants, notamment organiques. J'ai en particulier appliqué ces travaux au contexte agronomique de l'île de La Réunion où j'ai travaillé de 2011 à 2021.



**Jean-Yves Cornu**

Chargé de Recherches

INRAE - UMR ISPA

jean-yves.cornu@inrae.fr

<https://www6.bordeaux->

Je travaille depuis plus de 15 ans sur le transfert sol-plante des éléments traces métalliques (ETM) nutritifs (oligo-éléments) et contaminants (Cd notamment) et m'intéresse, notamment, aux processus biogéochimiques contrôlant la phytodisponibilité des ETM dans les sols agricoles. Le pH étant un driver clé de la dynamique des ETM dans les sols, j'ai étudié de près son effet sur le transfert sol-plante des ETM ainsi que sur la qualité sanitaire et nutritionnelle des denrées agricoles.








Rejoignez les **Groupes de Travail du Comifer**, venez partager votre savoir-faire, confronter votre expertise et échanger avec les acteurs de la fertilisation pour favoriser le transfert des connaissances et des bonnes pratiques agricoles pour une **agriculture performante et durable**

[contact@comifer.fr](mailto:contact@comifer.fr)



**5**  
Groupes de Travail

**Phosphore Potassium Magnésium**  
**PKMg**

- État d'avancement du projet PhosphoBio
- Parangonnage des méthodes de raisonnement de la fertilisation P K (N) en Europe
- Rôle des stratégies des plantes d'interculture dans la disponibilité du P dans les agrosystèmes
- Risques de transferts dissous dans les paysages agricoles
- Premiers résultats du projet Juste P de réévaluations des seuils d'impasse

**Fertilité Organique et Biologique des Sols**  
**FORBS**

- Indicateurs microbiologiques dans l'analyse de terre
- Indicateurs de la fertilité biologique des sols,
- Mesure et suivi de l'évolution des stocks de carbone organique des sols cultivés

**Thèmes 2021**

**Azote et Soufre**  
**NS**

- Fertilisation soufrée : essais de K+S ; mise à jour des données de l'observatoire soufre
- Mise à jour de la grille des pertes par volatilisation de l'azote
- Outils de pilotage de la fertilisation azotée
- Etat des lieux sur la méthode bilan azoté sur CIVE/Dérobées

**Statut Acido-Basique**  
**SAB**

- Les amendements silicatés : chaulage et séquestration du CO<sub>2</sub>
- Bilan Gaz à Effet de Serre des Amendements Minéraux Basiques
- La fonction pH dans le modèle de minéralisation de la matière organique du sol, notamment en sols acides
- Effets du pH et de la CEC effective sur la stabilité structurale des sols
- Le pH du sol au cours des 15<sup>e</sup> Rencontres COMIFER-GEMAS

**Produits Résiduaux Organiques**  
**PRO**

- Mise à jour des Keq sur les digestats
- Présentation des premiers résultats aux Rencontres COMIFER-GEMAS 2021
- L'utilisation des PRO en agriculture biologique
- Recyclage de l'urine ; innocuité des PRO

## A vos agendas !

**Automne 2022 :** **Journée de restitution sur le parangonnage : méthodes de fertilisation N P K en Europe**

**Printemps 2023 :** **JT : Raisonnements de la fertilisation face à l'évolution des systèmes de cultures innovants**

**Novembre 2023 :** **16<sup>e</sup> Rencontres Comifer-Gemas**

<https://www.comifer.asso.fr>

Suivre l'actualité du COMIFER sur  et  @comifer