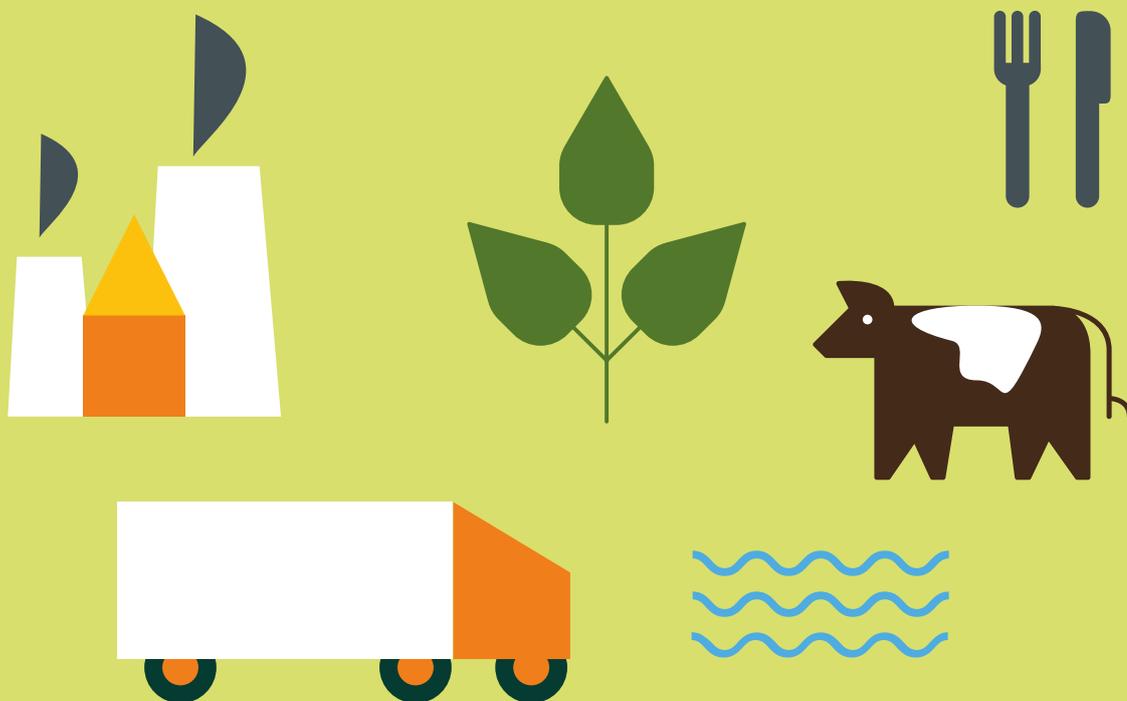


# Limites de cadmium dans les engrais phosphatés

Quel est l'impact du cadmium sur les services écosystémiques, l'agroalimentaire et la santé en Europe, et comment y remédier ?



OPERA Research propose des solutions simples et pragmatiques pour soutenir les processus décisionnels européens et nationaux. Depuis 2010, le centre de recherche et le think tank de l'Università Cattolica del Sacro Cuore travaille avec des agriculteurs, des associations, des ONG et des gouvernements pour intégrer la durabilité dans le secteur agroalimentaire. Notre objectif est de fournir des informations et des analyses de haute qualité sur les derniers développements de la politique agroalimentaire de l'UE et de promouvoir un dialogue équilibré entre les parties prenantes. En utilisant les recherches existantes et nouvelles, nous développons, en collaboration avec nos partenaires, des approches claires et pragmatiques et des solutions favorables à la nature pour l'agriculture européenne.

OPERA Research tient à remercier tous les membres du Groupe de Travail sur la Santé et la Fertilité des Sols pour leur contribution significative, leur attitude constructive et leurs précieuses suggestions lors de l'élaboration du livre blanc, ainsi que tous les experts qui ont apporté leurs idées lors de la révision du document.

Ce document a été produit grâce au soutien de Safer Phosphates™.

OPERA Research, novembre 2021.

# Avant-propos

Souvent invisible à l'œil nu, la contamination touche de nombreux aspects de notre vie. La contamination des sols est une menace considérable pour la santé et la fertilité des sols. Elle affecte la qualité des aliments, de l'eau et de l'air, et constitue une menace pour l'environnement et la santé humaine.

Pour assurer la sécurité alimentaire et la nutrition dans le monde, nous devons cultiver et protéger nos sols.

Le sol fournit des services écosystémiques essentiels à une population en croissance rapide et mérite d'être protégé contre la dégradation, la réduction du rendement et la contamination, comme dans le cas des résidus de cadmium (Cd) dans les engrais phosphatés, qui mettent en danger sa santé.

L'utilisation judicieuse des engrais phosphatés augmente la productivité agricole, réduit la nécessité de cultiver des terres supplémentaires, contribue à prévenir la dégradation des sols et les mauvaises récoltes. Les avis de l'EFSA<sup>1</sup> et de l'ANSES<sup>2</sup> montrent clairement que les engrais phosphatés à forte teneur en Cd entraînent l'accumulation dans le sol et le transfert dans la chaîne alimentaire de ce contaminant ubiquitaire et hautement toxique qui peut nuire gravement à l'environnement et à la santé humaine.

Malgré une discussion scientifique animée et un débat politique, des mesures décisives pour minimiser le Cd dans les engrais, son accumulation dans le sol et son transfert vers les cultures, font défaut en Europe depuis environ trois décennies. OPERA se joint aux nombreuses voix qui appellent à une action urgente pour encourager la vente exclusive d'engrais à faible teneur en Cd, rendre les écolabels et les autocollants verts informatifs et précis, et investir dans des programmes de formation et de vulgarisation destinés aux agriculteurs.



**Prof. Ettore Capri**  
Directeur, OPERA Research

# SOMMAIRE

Résumé	7
L'enjeu	10
Qu'est-ce que le cadmium ?	11
Pourquoi les engrais contiennent-ils du cadmium ?	12
Comment le sol retient-il le cadmium ?	14
L'accumulation du cadmium dans le sol	15
Comment les cultures absorbent-elles le cadmium ?	16
La surveillance de l'état des sols	18
L'impact du cadmium sur la santé humaine	19
Comment la politique de l'UE en matière d'engrais reflète-t-elle le problème ?	20
Comment les autres règlements de l'UE reflètent-ils la question ?	21
Les limites nationales de cadmium de l'UE et des États membres	22
Comment le processus de révision de la PAC reflète-t-il la question ?	23
Recommandations	24
Conclusions	25
Notes	27

# Résumé

**Le cadmium (Cd) est un métal lourd qui s'accumule dans le sol et les organismes vivants, et provoque des dommages graves et permanents.** Sa présence dans le sol dépend largement de l'utilisation d'**engrais phosphatés**<sup>3</sup>. Les engrais phosphatés sont produits à partir de roches de phosphorite et d'apatite qui, outre le dioxyde de phosphate, contiennent plusieurs autres minéraux, dont le Cd.

La quantité de Cd incorporée dans les engrais phosphatés dépend du type de phosphorite et de roches apatites (à faible ou forte teneur en Cd). Lorsque le Cd entre en contact avec le sol, la matière organique la retient et le rend facilement disponible pour les plantes<sup>4</sup>.

**Les sols européens présentent des caractéristiques idéales pour l'accumulation de Cd** en raison des températures douces et de la sécheresse estivale prolongée. En outre, la grande mobilité du Cd dans les eaux de surface et souterraines peut transformer rapidement la contamination ponctuelle en contamination diffuse.

Une fois que les cultures absorbent le Cd, celui-ci entre dans la chaîne alimentaire.

**L'alimentation est la principale source d'exposition au Cd** (pour la population non fumeuse)<sup>5/6</sup>, les céréales, les noix et les légumineuses, les racines amylicées, les pommes de terre et la viande étant les principaux contributeurs. L'accumulation progressive de Cd chez l'homme altère la fonction rénale, affecte le foie et provoque une déminéralisation des os.

La classification du Cd comme cancérigène pour l'homme remonte aux années 1990. L'Union européenne a adopté le règlement (UE) 2019/1009, qui limite à 60 mg/kg la teneur en Cd des engrais phosphatés.



**L'interdiction de commercialiser des engrais phosphatés dont la teneur est supérieure à 60 mg/kg entrera en vigueur le 16 juillet 2022.** Ce seuil semble inadéquat par rapport aux seuils fixés pour le Cd dans certains pays de l'UE : 12 États membres ont un seuil de Cd compris entre 20 et 50 mg Cd/kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 8 ont le même seuil que celui proposé dans le règlement, et 2 ont un seuil plus élevé.

Les engrais à faible teneur en Cd, dont les seuils ne dépassent pas 20 mg Cd/kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, limiteraient efficacement la bioaccumulation<sup>7</sup>.

Entre-temps, le nouvel accord sur la PAC, qui doit être conclu prochainement, fait explicitement référence à la protection de la santé et de la fertilité des sols, et à la limitation des contaminants dans les engrais.

En outre, le rapport du Parlement européen d'octobre 2021 sur la stratégie « de la ferme à la fourchette » a souligné que les métaux lourds devraient faire partie de l'évaluation de l'utilisation durable des engrais<sup>8</sup>.

Il est grand temps d'introduire une combinaison de législations dures et douces pour le Cd, y compris une réglementation avec des seuils stricts et un étiquetage précis, des subventions pour les agriculteurs, et des systèmes d'incitation pour les acteurs de la chaîne de valeur qui favorisent les systèmes volontaires.

# Limites de cadmium dans les engrais phosphorés

La contamination des sols est une menace importante pour la santé et la fertilité des sols. Elle affecte la qualité des aliments, de l'eau et de l'air et constitue une menace pour l'environnement et la santé humaine.

## Qu'est-ce que le cadmium ?



**Cd**  
Cadmium

Le cadmium (Cd) est un métal lourd qui s'accumule dans le sol et les organismes vivants et leur cause des dommages graves et permanents. La présence de cadmium dans les sols dépend largement de l'utilisation d'engrais phosphatés. Une fois que les cultures absorbent le cadmium par le biais des engrais, il entre dans la chaîne alimentaire.



En Europe et en Eurasie, la pollution des sols est la troisième menace environnementale la plus importante. Le cuivre (utilisé comme produit phytosanitaire) et le cadmium (associé aux engrais phosphatés) sont les contaminants les plus courants et les plus répandus dans les sols agricoles européens.

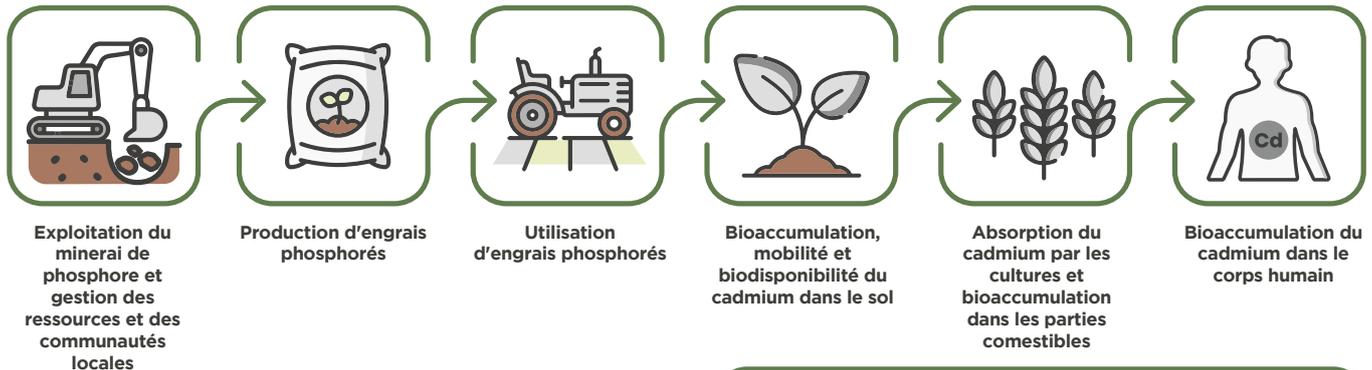


L'alimentation est la principale source d'exposition au cadmium, les **céréales, les noix et les légumineuses, les racines amylicées, les pommes de terre et la viande** étant les principaux contributeurs.



L'accumulation progressive de Cd chez l'homme **altère la fonction rénale, affecte le foie et provoque une déminéralisation des os.**

## Cycle de vie du cadmium dans les engrais phosphorés



## Que fait-on ?

L'Union européenne interdira la commercialisation des engrais phosphatés dont la teneur en cadmium est supérieure à 60 mg par kg en juillet 2022.

Les engrais à faible teneur en cadmium (pas plus de 20 mg/kg) seraient plus efficaces pour limiter le processus de pénétration des contaminants dans les aliments.



## Ce n'est pas suffisant. Que faut-il faire ?

- 1 Introduire le "seuil de tolérance" européen harmonisé pour le cadmium au niveau le plus bas possible (20 mg/kg).
- 2 Introduction d'un étiquetage clair pour les engrais phosphorés
- 3 Encourager les agriculteurs à utiliser des engrais à faible teneur en cadmium par le biais de subventions de la PAC, de l'éducation et d'autres mesures incitatives.
- 4 Créer un environnement qui permette aux secteurs voisins de contribuer à l'amélioration continue par des actions volontaires.
- 5 Étendre et harmoniser les systèmes de surveillance des sols et de l'eau en Europe

# L'enjeu

Plusieurs études indiquent que l'impact des engrais minéraux<sup>9</sup> est une source importante de contamination des sols agricoles par le cadmium (Cd) et, par conséquent, de l'alimentation des Européens. **Le Cd est un contaminant toxique qui peut avoir des effets graves et souvent irréversibles sur la santé humaine<sup>10</sup> et les écosystèmes naturels<sup>11/12/13</sup>.** L'application d'engrais minéraux phosphorés (P) est principalement responsable de l'accumulation du Cd dans les sols agricoles et les bassins versants<sup>14</sup>.

L'accumulation dans le sol augmente les niveaux de Cd dans les plantes et la possibilité pour les humains d'ingérer des quantités qui dépassent le seuil garantissant qu'aucun effet néfaste sur la santé ne se produit<sup>15/16/17/18/19/29/21/22</sup>. En outre, le Cd peut pénétrer dans les réservoirs d'eau douce et dans les aliments pour les animaux<sup>23/24/25/26</sup>. **En Europe, les engrais minéraux P contribuent à 45 % de la contamination totale par le Cd des terres cultivées.** Parallèlement, 55 % de l'apport alimentaire total en Cd du consommateur européen moyen est lié à l'accumulation de Cd dans le sol<sup>27/28/29/30</sup>.

**45%**

Contamination par le Cd des terres cultivées avec des engrais P



Les conséquences à long terme de la contamination par le Cd sur l'écosystème du sol ne sont pas entièrement prévisibles<sup>31/32/33</sup>. De plus, certaines études montrent que même une contamination diffuse à de faibles concentrations, en présence d'un transfert efficace du Cd du sol aux plantes, peut conduire à des accumulations de Cd dans les parties comestibles des plantes qui dépassent les valeurs recommandées pour la consommation humaine. Et ce, même lorsque les plantes ne présentent aucun symptôme de toxicité<sup>34</sup>. Ces seules incertitudes suggèrent que l'introduction de limites plus strictes susceptibles de réduire les effets globaux de l'accumulation de Cd, de la pollution des sols agricoles et des écosystèmes naturels européens constitue une solution adéquate au problème<sup>35/36</sup>.

Dans ce contexte, le règlement (UE) 2019/1009 est une étape essentielle, car il permet de fixer des seuils plus stricts pour le Cd dans les engrais et de limiter la bioaccumulation dans les sols agricoles. Toutefois, compte tenu des dernières preuves scientifiques et des données de surveillance, nous ne pouvons nous empêcher de considérer que cette mesure est insuffisante pour traiter pleinement le risque lié au cadmium.

# Qu'est-ce que le cadmium ?

Le cadmium (Cd) est un métal blanc argenté, mou et ductile. Il est relativement rare dans la nature et appartient, avec 20 autres minéraux, au groupe dit des « métaux lourds », un nom dérivé du poids moléculaire élevé typique de ces éléments<sup>2</sup>. Il peut être libéré dans l'environnement par des activités naturelles (telles que l'érosion, le transport fluvial et l'activité volcanique) et, surtout, par l'utilisation d'engrais phosphatés, capables de générer une pollution diffuse et ponctuelle<sup>37</sup>.

**Le Cd est le troisième polluant le plus dangereux pour l'environnement**, après le mercure (Hg) et le plomb (Pb). Il est bio-persistant et, une fois absorbé par un organisme, il peut y rester pendant de nombreuses années.

L'Agence Américaine de Protection de l'Environnement (US EPA, 2021) et le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC 2021) classent le Cd comme un agent cancérigène pour l'homme en raison de sa capacité à s'accumuler dans l'organisme et à provoquer des dommages graves et permanents.

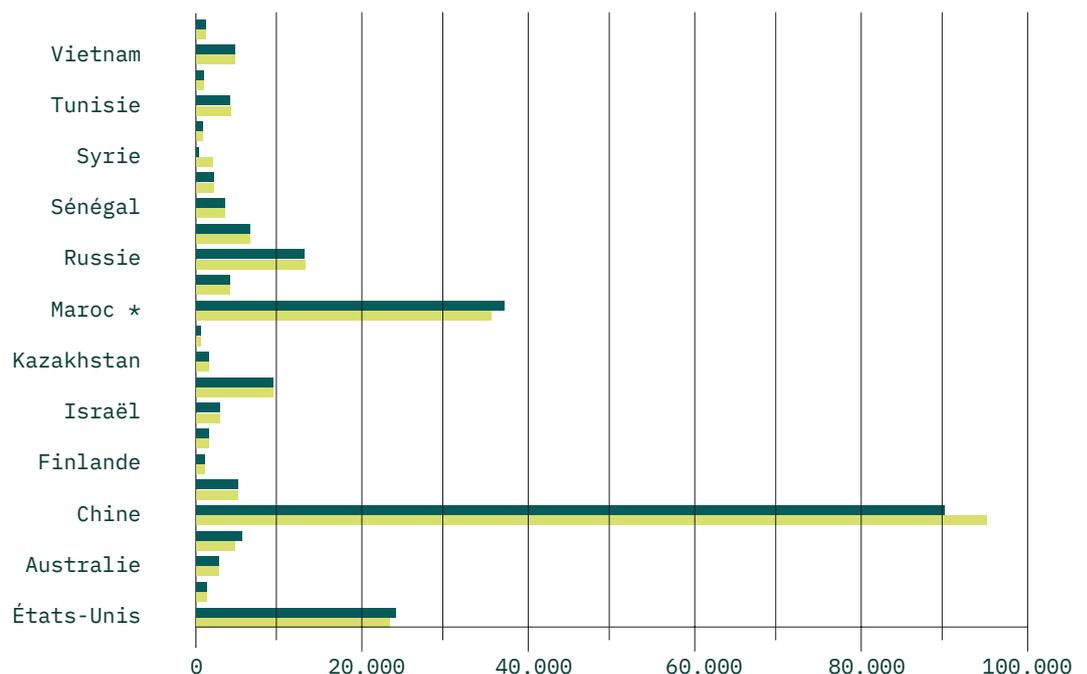
# Pourquoi les engrais contiennent-ils du cadmium ?

La présence de cadmium (Cd) dans les engrais phosphatés dépend des roches phosphatées (apatite et phosphorite), qui contiennent généralement du dioxyde de phosphate ( $P_2O_5$ ), de la chaux, de l'argile, du gypse, de la dolomite, de la silice et divers autres minéraux, dont des métaux lourds et des métalloïdes tels que Cd, Pb et arsenic (As). Au cours du processus de fabrication des engrais phosphorés, ces impuretés sont incorporées, avec les phosphates, dans le produit final.

## EXTRACTION DE ROCHES PHOSPHATÉES SELON L'USDG

● 2020

● 2019



\* et le Sahara occidental

Milliers de tonnes métriques

Les différents types de roches phosphatées<sup>38</sup> présentent des niveaux différents de Cd. Le Cd est présent en quantités importantes dans les engrais produits à l'aide de minéraux, qui sont déjà naturellement riches en Cd. La production d'engrais phosphatés à partir de roches à faible teneur en Cd conduirait toujours à des produits à faible teneur en Cd<sup>39</sup>.

Le cadmium est présent dans toutes les roches phosphatées. Cependant, les concentrations varient en fonction de l'origine des roches. Les roches ignées ou apatites présentent des concentrations en cadmium très faibles (voire inférieures à 1 mg par kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Les roches sédimentaires, quant à elles, contiennent du cadmium à des concentrations allant de moins de 20 à plus de 200 mg par kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub><sup>40</sup>.

#### TENEUR EN CADMIUM DES ROCHES PHOSPHATÉES COMMERCIALES PRIMAIRES SELON DIFFÉRENTES SOURCES<sup>40</sup>.

Origine	Teneur en cadmium (mg par kg P205)		
	(1)	(2)	(3)
<b>IGNÉE</b>			
Kola (Russie)	< 13	0.3	0.25
Phalaborwa (Afrique du Sud)	< 13	0.1	0.38
<b>SÉDIMENTAIRE</b>			
Floride (USA)	23	19.8 - 32.7	24
Jordanie	< 30	12.01.28	18
Khouribga (Maroc)	46	17 - 63	55
Syrie	52	13 - 46	22
Algérie	60	42 - 62.6	
Égypte	74		
Bu-Cra (Maroc)	100	101 - 115	97
Nahal Zin (Israël)	100	81 - 112	61
Youssoufia (Maroc)	121	164.7	120
Gafsa (Tunisie)	137	94	173
Togo	162	164 - 179	147
Caroline du Nord (USA)	166	125	120
Taiba (Sénégal)	203	165 - 180.6	221
Nauru	243		

Sources: (1) Davister (1996); (2) Botschek et Van Balken (1999); (3) Demandt (1999).

# Comment le sol retient-il le cadmium ?

Lorsqu'un engrais phosphoré entre en contact avec le sol, il subit diverses transformations biochimiques, microbiologiques et des processus physiques par lesquels il est progressivement dégradé, réduit et retenu dans le sol. Les contaminants présents dans l'engrais subissent le même sort<sup>41</sup>. Des composés nocifs s'accumulent en raison de la capacité du sol à retenir les substances<sup>42</sup>. Dans le cas du Cd, la matière organique et l'argile jouent un rôle essentiel dans la capacité d'absorption et de rétention du sol, tandis que les sols sableux facilitent l'entrée du Cd dans les eaux souterraines et les rivières<sup>43</sup>.

Selon les caractéristiques du sol et du climat, les différents écosystèmes ont des degrés de résilience différents pour résister à d'éventuels dommages, selon leur capacité à se remettre de la contamination et à se régénérer au fil du temps. Cependant, cette régénération spontanée et naturelle peut être plus complexe en présence de pressions externes qui modifient constamment la réactivité et la capacité d'adaptation de l'écosystème<sup>44/45</sup>. C'est le cas par exemple du processus de fertilisation continue qui se prolonge au fil des ans dans toutes les zones rurales d'Europe.



**+ 1 %**

**Le Comité scientifique de la toxicité, de l'écotoxicité et de l'environnement (CSTEE) a estimé que l'accumulation nette annuelle de cadmium (Cd) dans le sol représente environ 1 % de la quantité déjà présente dans les sols agricoles.**

# L'accumulation du cadmium dans le sol



8.9 TONNES



En 2002, le Comité scientifique de la toxicité, de l'écotoxicité et de l'environnement (CSTEE) a estimé que l'accumulation nette annuelle de cadmium (Cd) dans le sol représente environ 1 % de la quantité déjà présente dans les sols agricoles. Les États membres européens ayant réalisé des évaluations spécifiques des risques ont conclu que l'accumulation nette annuelle par les seuls engrais phosphatés (dont la teneur en Cd est estimée à 60 mg/kg de  $P_2O_5$ ) représente entre 0,4 et 1,25 % de celle déjà présente dans les sols agricoles.

La littérature montre également que la contribution de la contamination par le Cd provenant de l'application d'engrais phosphatés sur les terres agricoles se superpose dangereusement à celle d'autres sources. Une estimation de la contamination par le Cd en Suisse en 1990 montre qu'environ 1,1 tonne de Cd a été ajoutée annuellement aux sols agricoles par les engrais minéraux, 0,5 tonne par les boues d'épuration, 1 tonne par les engrais organiques et 8,9 tonnes par les dépôts atmosphériques<sup>46</sup>.

Des facteurs tels que les niveaux de Cd, le climat, le pH du sol, la matière organique, la salinité, le travail du sol, les macro et micronutriments, le type de roche mère, les types de cultures et les variétés jouent un rôle essentiel dans la bioaccumulation dans le sol et entraînent des effets à long terme sur les systèmes écologiques et la santé des organismes vivants.

En Europe, en raison des températures douces et des sécheresses estivales prolongées, le Cd est plus susceptible de s'accumuler dans les couches superficielles du sol. C'est dans ces couches que l'on retrouve une présence importante de microfaune et de pili racinaires qui peuvent faciliter efficacement l'absorption des nutriments minéraux<sup>47</sup>.

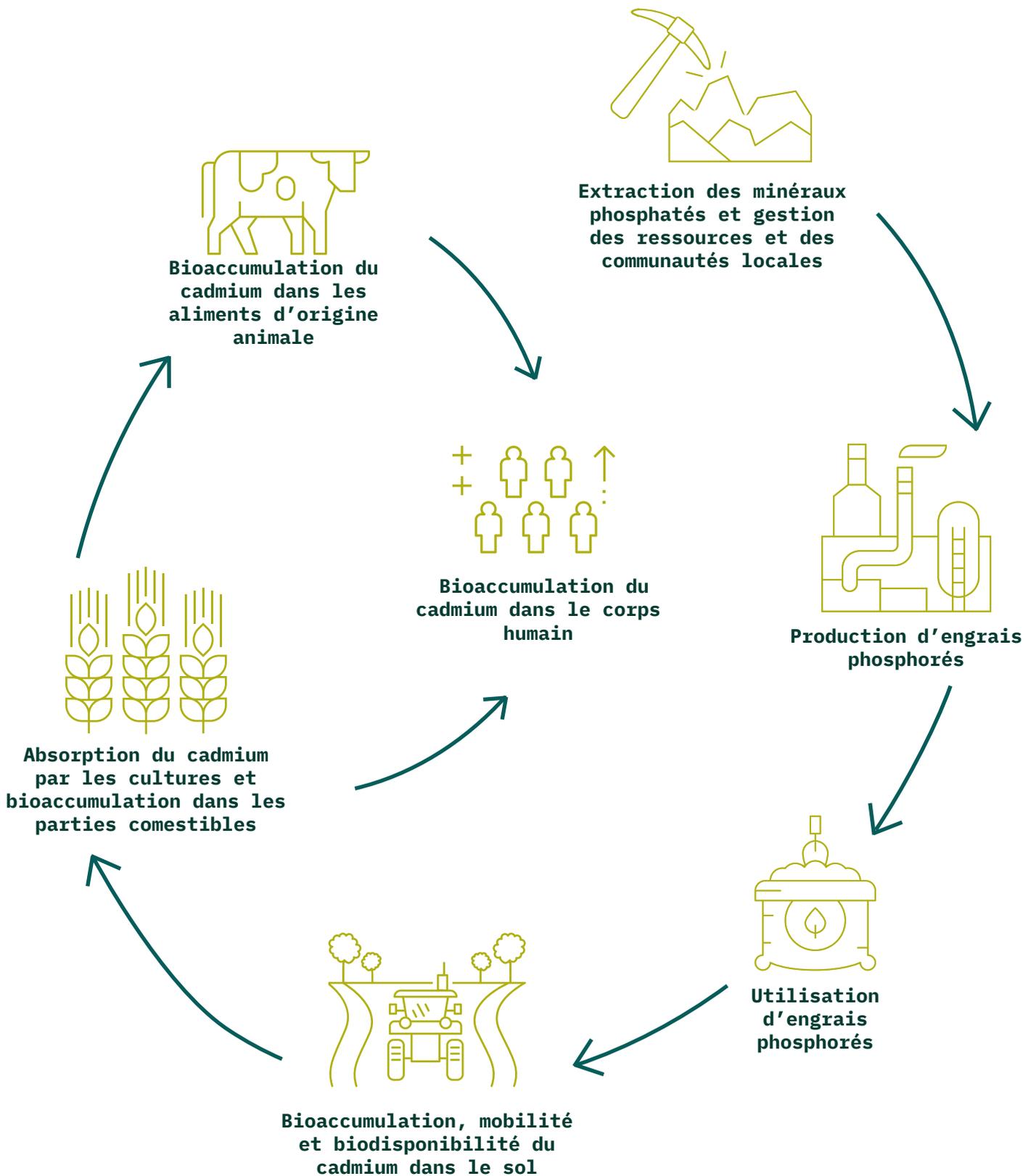
# Comment les cultures absorbent-elles le Cd ?

Bien qu'il s'agisse d'un élément non essentiel pour les organismes végétaux, le Cd présente un taux de transfert élevé du sol à la plante. Son comportement est très similaire à celui du zinc (Zn), un élément nécessaire au bon développement des plantes et de l'homme. Lorsque le sol ne dispose pas d'un apport minéral en Zn suffisant pour répondre aux besoins de la culture, la similarité entre les deux éléments fait que la plante absorbe du Cd au lieu du Zn<sup>48</sup>.

De plus, la matière organique peut fixer les éléments minéraux, les rendant ainsi facilement disponibles pour les plantes. Pour cette raison, elle affecte significativement la capacité des plantes à absorber le Cd, car le système racinaire se développe préférentiellement dans les horizons superficiels où sa présence est généralement plus prononcée.

**La contamination par le Cd est un facteur de perturbation important pour les plantes qui peut provoquer des effets cytotoxiques et génotoxiques** et affecter négativement la croissance et le potentiel reproductif<sup>49</sup>.

Une faible concentration généralisée de contamination du sol, associée à un transfert efficace du Cd du sol aux plantes, signifie que, même en présence de faibles niveaux de contamination, et même si les plantes ne présentent pas de symptômes de toxicité, les parties comestibles des plantes peuvent présenter des accumulations de Cd supérieures à celles autorisées pour la consommation humaine<sup>50</sup>. Cet effet peut être plus important pour les cultures poussant dans les écosystèmes aquatiques<sup>51</sup>.



**CYCLE DE VIE DU CADMIUM DANS LES ENGRAIS PHOSPHORÉS**

# La surveillance de l'état des sols

En Europe et en Eurasie, la pollution des sols est la troisième menace environnementale la plus importante<sup>52</sup>.

Selon les dernières données publiées par l'Agence européenne pour l'environnement (AEE, 2021), plus de 2,5 millions de **sites sont contaminés ou potentiellement contaminés en Europe**<sup>53</sup>, le contaminant le plus fréquent étant les métaux lourds.

Les programmes de surveillance européens montrent une contamination généralisée des eaux de surface (Allemagne, Slovaquie) et des sols (Grèce, Italie, France, Autriche, Irlande)<sup>54</sup>. Une analyse plus approfondie montre que le cuivre (Cu) (utilisé comme produit phytosanitaire) et le Cd (associé aux engrais phosphatés) sont les contaminants les plus courants et les plus répandus dans les sols agricoles européens (AEE, 2010).

**2.5 ml**

**SITES CONTAMINÉS  
EN EUROPE**



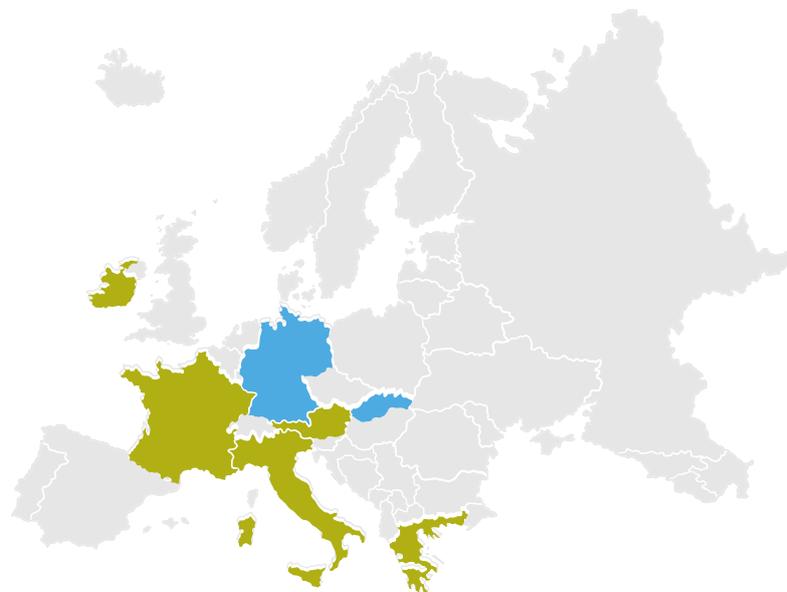
**des eaux de surface**

*Allemagne, Slovaquie*



**contamination des  
sols de surface**

*Grèce, Italie, France,  
Autriche, Irlande*



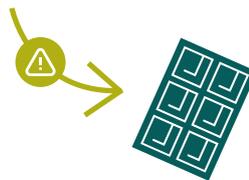
# L'impact du cadmium sur la santé humaine



Selon la littérature scientifique, le cadmium (Cd) est un élément non essentiel pour les organismes vivants. Le Cd est principalement toxique pour les reins et le foie, il peut provoquer une déminéralisation osseuse, et est classé comme cancérigène pour l'homme (CIRC, 2021 ; EFSA, 2021 ; ANSES, 2021).

**Les aliments sont la principale source d'exposition au Cd<sup>55/56/57</sup>. Les céréales, les légumes, les noix et les légumineuses, les racines amylicées et les pommes de terre, ainsi que la viande, sont les principaux contributeurs à l'exposition humaine au Cd. On trouve également des concentrations élevées dans les algues, les poissons et fruits de mer, les compléments alimentaires, les champignons et le chocolat. Compte tenu de la faible consommation moyenne, il ne s'agit généralement pas de sources d'exposition importantes.**

*Toutefois, le chocolat devient pertinent lorsqu'il est consommé par les enfants.*



# Comment la politique de l'UE en matière d'engrais reflète-t-elle le problème ?

L'Union européenne se préoccupe du Cd depuis les années 1970, mais ce n'est qu'en **juin 2019**<sup>59</sup> qu'elle a officiellement adopté le règlement 2019/1009, qui a introduit des **limites pour la teneur en Cd des engrais phosphorés, fixées à 60 mg/kg**<sup>60</sup>.

Avec cette disposition, l'UE a tiré parti des principes réglementaires de précaution et de statu quo soulevés lors de la discussion de la disposition, en fixant un seuil basé sur l'accumulation moyenne estimée de Cd dans les sols de l'UE et en ne prévoyant pas de plan de réduction continue. Biodisponibilité (pour l'absorption par les cultures), mobilité et contamination potentielle des eaux de surface et souterraines n'ont peut-être pas joué un rôle égal dans l'évaluation, qui a par conséquent laissé de côté bon nombre des préoccupations en matière d'environnement et de santé humaine soulevées lors de la discussion de la disposition<sup>61/62/63/64/65/66</sup>.

En outre, une **valeur seuil de 60 mg/kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> était déjà remise en question après l'avis de 2002** du Comité scientifique de la toxicité, de l'écotoxicité et de l'environnement, et totalement supplantée par le modèle développé par Römken en 2018, qui prévoit que le Cd s'accumule même à une valeur seuil de 20 mg/kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub><sup>67</sup>.

# Comment les autres règlements de l'UE reflètent-ils la question ?

L'UE aimerait être considérée comme la région la plus active en matière de protection et de conservation des sols<sup>68/69/70/71</sup>, mais malgré l'importance politique accordée à cette question, les mesures relatives aux sols relèvent de la seule responsabilité des États membres.

De manière générale, ils n'ont pas d'approche régionale cohérente. En outre, l'UE ne dispose pas d'un régime législatif complet et juridiquement contraignant dédié aux sols (Castelo-Grande et al., 2018), et ce, malgré l'interaction de différents cadres législatifs contextuels (PAC, directives sur l'eau, directive sur l'azote) qui réglementent les sols et les engrais, mais avec des résultats limités<sup>72/73/74/75/76</sup>.

# Les limites nationales de cadmium dans l'UE et les États membres

Des règles harmonisées fournissent un cadre juridique transparent et prévisible pour toutes les entreprises (par exemple, les fournisseurs de technologies agricoles, les agriculteurs, les transformateurs de denrées alimentaires et les distributeurs), ce qui est une condition préalable à une concurrence saine et à une plus grande sensibilisation, tout au long de la chaîne de valeur, aux risques et aux stratégies d'atténuation des risques.

**Le seuil maximal de 60 mg/kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> entrera en vigueur en 2022 dans une UE où 12 États membres adoptent déjà des valeurs seuils inférieures, 8 États membres ont des valeurs similaires et 2 États membres ont fixé des seuils plus élevés<sup>77</sup>, de sorte qu'il est difficile de considérer qu'il s'agit d'une percée ou d'une harmonisation du marché intérieur<sup>78</sup>; (Schroeder, Anggraeni et Weber, 2019)<sup>79</sup>.**

# Comment le processus de révision de la PAC reflète-t-il la question ?

En octobre 2020, le Parlement européen a adopté avec succès quelques amendements<sup>80</sup> au cours du processus actuel de révision de la PAC, liant la PAC à la réduction des métaux lourds dans les engrais. Le texte faisait partie de la position de négociation du Parlement européen avec le Conseil. En juin 2021, les ministres de l'agriculture de l'UE ont confirmé l'accord préliminaire avec le Parlement européen sur la réforme de la PAC.

Le 9 septembre 2021, la commission AGRI du Parlement européen a approuvé à une large majorité le paquet complet de la PAC convenu lors du trilogue informel de juin. L'accord préliminaire contient une référence explicite à la protection de la santé et de la fertilité des sols et à la réduction des polluants dans les engrais.

Dans la mesure où la disposition actuelle figure dans l'accord final, les incitations financières accordées aux agriculteurs pourraient exiger l'utilisation de phosphates à faible teneur en Cd<sup>81</sup>.



## RECOMMANDATIONS

Les sols sont particulièrement vulnérables, et avec eux, nos systèmes agroalimentaires et notre santé en tant que consommateurs.

Nous devons poursuivre des approches ambitieuses, tant pour continuer à améliorer la fertilité que pour maîtriser la contamination. Nous avons besoin d'une combinaison de lois dures et douces :

- **Fixer des seuils européens harmonisés** dans les engrais phosphorés afin de protéger les environnements et les populations les plus vulnérables.
- **Encourager les agriculteurs** à améliorer continuellement les pratiques d'utilisation et de gestion.
- **Créer un environnement** qui permet aux secteurs adjacents de contribuer à des améliorations continues par des mesures volontaires.

En pratique, il serait nécessaire que l'UE repense l'efficacité du règlement (UE) 2019/1009 en incluant des seuils stricts pour le Cd et un étiquetage précis pour les engrais phosphorés, et qu'elle réexamine la conditionnalité et les incitations de la PAC pour favoriser une norme minimale et des systèmes volontaires<sup>82</sup>.

L'UE devrait fixer le « seuil de tolérance » au niveau le plus bas possible (par exemple, 20mg/kg)<sup>83</sup>, compte tenu à la fois de la disponibilité dans de nombreux gisements dans le monde de minéraux phosphatés à faible teneur en Cd<sup>84</sup> et des développements dans les méthodes d'extraction qui sont constamment améliorées et permettent de réduire le nombre et la quantité d'impuretés<sup>85</sup>.

# Conclusions

La santé et la fertilité des sols et leur impact sur la sécurité alimentaire et la santé publique ont suscité des inquiétudes au cours des dernières décennies en raison d'une compréhension croissante de la dégradation et de la contamination des sols européens.

La qualité des sols et la santé des consommateurs sont menacées par la bioaccumulation du cadmium (Cd) dans les sols et la biodisponibilité du Cd dans la matière organique. L'accumulation dépend principalement de l'utilisation d'engrais phosphatés à forte teneur en Cd. La biodisponibilité dépend de la composition naturelle des sols, de la richesse en eau et de la douceur du climat, qui font de l'Europe une terre fertile à la productivité élevée et à l'agro-biodiversité dynamique.

De plus, en raison de la grande mobilité du Cd dans les eaux de surface et souterraines, un problème local se transforme rapidement en une contamination généralisée.

La limitation de la bioaccumulation est possible grâce à des engrais phosphorés à faible teneur en Cd; un étiquetage clair; des subventions et des incitations pour les agriculteurs liées à l'utilisation d'engrais à faible teneur en Cd; des incitations aux initiatives volontaires des opérateurs de la chaîne de valeur; la surveillance des sols et de l'eau.

Ensemble, ces programmes favoriseront la bonne gestion et l'atténuation des effets de la contamination par le Cd. Il est essentiel de poursuivre les recherches sur les méthodes de production d'engrais ainsi que sur la santé et la fertilité des sols afin de mettre au point des mesures appropriées pour prévenir ou atténuer les dommages potentiels. Il est également nécessaire d'étendre, d'améliorer et d'harmoniser les systèmes de surveillance en Europe.

Les travaux visant à atteindre cet objectif progressent régulièrement.

Les récentes discussions politiques et les accords visant à inclure ce sujet dans la PAC vont dans la bonne direction. L'Union européenne est sur le point d'affiner son approche des sols et de la santé humaine pour la rendre cohérente avec sa vision et ses objectifs à long terme, et compatible avec les besoins du secteur agroalimentaire.

Cependant, nous sommes à un moment critique où toutes les parties prenantes sont appelées à soutenir cette transformation cruciale des systèmes alimentaires européens.

Enfin, nous ne saurions trop insister sur l'importance de l'étiquetage, de l'éducation à l'utilisation durable des engrais et de la communication. L'agriculture moderne exige de meilleures connaissances et compétences techniques pour l'application à la ferme et une meilleure communication pour maintenir la confiance des consommateurs.

# NOTES

<sup>1</sup> <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2903/j.efsa.2009.980>

<sup>2</sup> <https://www.anses.fr/fr/system/files/VSR2015SA0140.pdf>

<sup>3</sup> Évaluation mondiale de la pollution des sols : Rapport, FAO et PNUE, 2021, <http://www.fao.org/documents/card/en/c/cb4894fr>

<sup>4</sup> L'apatite et la phosphorite représentent les groupes de formations minérales phosphatées naturelles les plus importants et se trouvent respectivement dans des roches ignées et des dépôts sédimentaires.

La grande majorité de la production annuelle mondiale de phosphate naturel (47 millions de tonnes) provient de la littérature, qui comprend des données sur plus de 1 600 gisements, mines et occurrences de phosphate.

à partir de dépôts sédimentaires. De grands gisements (sédimentaires) existent en Afrique du Nord, en Chine, au Moyen-Orient et aux États-Unis, et des gisements (ignés) au Brésil, au Canada, en Finlande, en Russie et en Afrique du Sud. En outre, les plateaux continentaux et les monts sous-marins des océans Atlantique et Pacifique contiennent d'importants gisements de phosphate. Les réserves mondiales de phosphate naturel dépassent 300 milliards de tonnes, et aucune pénurie n'est prévue. USGS Phosphate Rock Statistics and Information, 2021, <https://www.usgs.gov/centers/nmic/phosphate-rock-statistics-and-information>

Cooper, J., Lombardi, R., Boardman, D. et Carliell-Marquet, C., 2011. La distribution et la production futures des réserves mondiales de roches phosphatées. *Resources, Conservation and Recycling*, [en ligne] 57, pp.78-86. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.09.009>

<sup>5</sup> Qin, S., Liu, H., Nie, Z., Rengel, Z., Gao, W., Li, C. et Zhao, P., 2020. La toxicité du cadmium et sa compétition avec les nutriments minéraux pour l'absorption par les plantes : A review. *Pedosphere*, [en ligne] 30(2), pp.168-180. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(20\)60002-9](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(20)60002-9).

<sup>6</sup> Autorité (EFSA), E.F.S., 2009. Le cadmium dans les aliments - Avis scientifique du groupe d'experts scientifiques sur les contaminants de la chaîne alimentaire. *EFSA Journal*, [en ligne] 7(3), p.980. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2009.980>.

<sup>7</sup> Selon le Comité scientifique de la toxicité, de l'écotoxicité et de l'environnement (CSTEE), les engrais contenant 20 mg de Cd/kg P2O5 ou moins dans la plupart des sols ne devraient pas entraîner d'accumulation à long terme dans le sol : [https://ec.europa.eu/health/ph\\_risk/committees/sct/documents/out162\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/health/ph_risk/committees/sct/documents/out162_en.pdf). L'accord interinstitutionnel sur la nouvelle politique agricole commune (PAC) de l'UE conclu entre le Conseil de l'UE et le Parlement européen au cours de l'été 2021 appelle explicitement les États membres de l'UE à intervenir, dans le cadre des plans stratégiques de la PAC, pour réduire les contaminants du sol. Cette intervention, via les subventions de la PAC, devrait récompenser l'utilisation d'engrais à faible teneur en Cd - en particulier dans la production de cultures de base telles que les céréales et le riz.

<sup>8</sup> L'accord interinstitutionnel sur la nouvelle politique agricole commune (PAC) de l'UE conclu entre le Conseil de l'UE et le Parlement européen au cours de l'été 2021 appelle explicitement les États membres de l'UE à intervenir, dans le cadre des plans stratégiques de la PAC, pour réduire les contaminants du sol. Cette intervention, via les subventions de la PAC, devrait récompenser l'utilisation d'engrais à faible teneur en Cd - en particulier dans la production de cultures de base telles que les céréales et le riz.

<sup>9</sup> FAO et PNUE, 2021. Évaluation mondiale de la pollution des sols. [en ligne]. <https://doi.org/10.4060/cb4827en>.

<sup>10</sup> Agence européenne pour l'environnement, 2021. Environnement et santé. [Publication] Disponible sur : <[https://www.eea.europa.eu/publications/eea\\_report\\_2005\\_10](https://www.eea.europa.eu/publications/eea_report_2005_10)> [Consulté le 30 sept. 2021].

<sup>11</sup> Satarug, S., Garrett, S.H., Sens, M.A. et Sens, D.A., 2010. Cadmium, environmental exposure, and health outcomes. *Environmental Health Perspectives*, 118(2), pp.182-190. <https://doi.org/10.1289/ehp.0901234>.

<sup>12</sup> Comité mixte FAO/OMS d'experts des additifs alimentaires et Organisation mondiale de la santé, éd. 2011. Évaluation de la sécurité de certains additifs alimentaires et contaminants. Série sur les additifs alimentaires de l'OMS. Genève : Organisation mondiale de la santé.

<sup>13</sup> Schroeder, P., Anggraeni, K. et Weber, U., 2019. La pertinence des pratiques de l'économie circulaire pour les objectifs de développement durable. *Journal of Industrial Ecology*, [en ligne] 23(1), pp.77-95. <https://doi.org/10.1111/jiec.12732>.

<sup>14</sup> Schroeder, P., Anggraeni, K. et Weber, U., 2019. La pertinence des pratiques de l'économie circulaire pour les objectifs de développement durable. *Journal of Industrial Ecology*, [en ligne] 23(1), pp.77-95. <https://doi.org/10.1111/jiec.12732>.

<sup>15</sup> Copat, C., Arena, G., Fiore, M., Ledda, C., Fallico, R., Sciacca, S. et Ferrante, M., 2013. Concentrations en métaux lourds dans les poissons et crustacés de Méditerranée orientale : Avis de consommation. *Food and Chemical Toxicology*, [en ligne] 53, pp.33-37. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2012.11.038>.

<sup>16</sup> Gundacker, C. et Hengstschläger, M., 2012. Le rôle du placenta dans l'exposition du fœtus aux métaux lourds. *Wiener Medizinische Wochenschrift*, [en ligne] 162(9), pp.201-206. <https://doi.org/10.1007/s10354-012-0074-3>.

<sup>17</sup> Hassanin, M., Kerek, E., Chiu, M., Anikovskiy, M. et Prenner, E.J., 2016. Affinité de liaison du mercure et du cadmium inorganiques aux membranes érythrocytaires biomimétiques. *The Journal of Physical Chemistry B*, [en ligne] 120(50), pp.12872-12882. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.6b10366>.

<sup>18</sup> Kerek, E.M. et Prenner, E.J., 2016. Le cadmium inorganique affecte la fluidité et la taille des liposomes à base de phospholipides. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Biomembranes*, [en ligne] 1858(12), pp.3169-3181. <https://doi.org/10.1016/j.bbamem.2016.10.005>.

- <sup>19</sup> Everson, T.M., Punshon, T., Jackson, B.P., Hao, K., Lambertini, L., Chen, J., Karagas, M.R. et Marsit, C.J., 2018, n.d. Méthylation différentielle associée au cadmium dans tout le génome placentaire : Epigenome-Wide Association Study of Two U.S. Birth Cohorts. *Environmental Health Perspectives*, [en ligne] 126(1), p.017010. <https://doi.org/10.1289/EHP2192>.
- <sup>20</sup> Pizzol, M., Smart, J.C.R. et Thomsen, M., 2014. Les coûts externes des émissions de cadmium dans le sol : un inconvénient des engrais phosphorés. *Journal of Cleaner Production*, [en ligne] 84, pp.475-483. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.12.080>.
- <sup>21</sup> Reeves, P.G. et Chaney, R.L., 2008. Bioavailability as an issue in risk assessment and management of food cadmium : A review. *Science of The Total Environment*, [en ligne] 398(1), pp.13-19. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.03.009>.
- <sup>22</sup> Van Kerkhove, E., Pennemans, V. et Swennen, Q., 2010. Le cadmium et le transport d'ions et de substances à travers les membranes cellulaires et les épithéliums. *BioMetals*, [en ligne] 23(5), pp.823-855. <https://doi.org/10.1007/s10534-010-9357-6>.
- <sup>23</sup> Marini, M., Caro, D. et Thomsen, M., 2020. Le nouveau règlement sur les engrais : Un point de départ pour le contrôle du cadmium dans les sols arables européens ? *Science of The Total Environment*, [en ligne] 745, p.140876. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140876>.
- <sup>24</sup> Rietra, R.P.J.J., Heinen, M., Dimkpa, C.O. et Bindraban, P.S., 2017. Effets de l'antagonisme et du synergisme des éléments nutritifs sur le rendement et l'efficacité de l'utilisation des engrais. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, [en ligne] 48(16), pp.1895- 1920. <https://doi.org/10.1080/00103624.2017.1407429>.
- <sup>25</sup> Alterra - Gestion durable des sols, Alterra - Sol, eau et utilisation des terres, Sous-département de toxicologie, VLAG, WIMEK, Rietra, R.P.J.J., Mol, G., Rietjens, I.M.C.M. et Römkens, P.F.A.M., 2017. Le cadmium dans le sol, les cultures et l'exposition alimentaire qui en résulte. [en ligne] Wageningen : Wageningen Environmental Research. <https://doi.org/10.18174/403611>
- <sup>26</sup> Rodrigues, S.M. et Römkens, P.F.A.M., 2018. Chapitre 9 - Risques pour la santé humaine et pollution des sols. In : A.C. Duarte, A. Cachada et T. Rocha-Santos, eds. *Soil Pollution*. [en ligne] Academic Press. pp.217-250. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-849873-6.00009-1>.
- <sup>27</sup> Rietra, R.P.J.J., Heinen, M., Dimkpa, C.O. et Bindraban, P.S., 2017. Effets de l'antagonisme et du synergisme des éléments nutritifs sur le rendement et l'efficacité de l'utilisation des engrais. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, [en ligne] 48(16), pp.1895- 1920. <https://doi.org/10.1080/00103624.2017.1407429>.
- <sup>28</sup> Alterra - Gestion durable des sols, Alterra - Sol, eau et utilisation des terres, Sous-département de toxicologie, VLAG, WIMEK, Rietra, R.P.J.J., Mol, G., Rietjens, I.M.C.M. et Römkens, P.F.A.M., 2017. Le cadmium dans le sol, les cultures et l'exposition alimentaire qui en résulte. [en ligne] Wageningen : Wageningen Environmental Research. <https://doi.org/10.18174/403611>
- <sup>29</sup> Rodrigues, S.M. et Römkens, P.F.A.M., 2018. Chapitre 9 - Risques pour la santé humaine et pollution des sols. In : A.C. Duarte, A. Cachada et T. Rocha-Santos, eds. *Soil Pollution*. [en ligne] Academic Press. pp.217-250. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-849873-6.00009-1>.
- <sup>30</sup> Wang, W., Kong, W., Shen, T., Man, Z., Zhu, W., He, Y., Liu, F. et Liu, Y., 2020. Application de la spectroscopie par claquage induit par laser à la détection de la teneur en cadmium dans les tiges de riz. *Frontiers in Plant Science*, [en ligne] 11, p.2073. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.599616>.
- <sup>31</sup> Wang, W., Kong, W., Shen, T., Man, Z., Zhu, W., He, Y., Liu, F. et Liu, Y., 2020. Application de la spectroscopie par claquage induit par laser à la détection de la teneur en cadmium dans les tiges de riz. *Frontiers in Plant Science*, [en ligne] 11, p.2073. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.599616>.
- <sup>32</sup> Pizzol, M., Christensen, P., Schmidt, J. et Thomsen, M., 2011. Impacts des « métaux » sur la santé humaine : une comparaison entre neuf méthodologies différentes pour l'évaluation de l'impact du cycle de vie (LCIA). *Journal of Cleaner Production*, [en ligne] 19(6), pp.646-656. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.05.007>.
- <sup>33</sup> Sarwar, N., Saifullah, Malhi, S.S., Zia, M.H., Naeem, A., Bibi, S. et Farid, G., 2010. Rôle de la nutrition minérale dans la réduction de l'accumulation de cadmium par les plantes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, [en ligne] 90(6), pp.925- 937. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3916>.
- <sup>34</sup> Marwa, J., Lufingo, M., Noubactep, C. et Machunda, R., 2018. Vaincre la fluorose dans la vallée du rift est-africain : Transformer le Kilimandjaro en un parc de collecte des eaux de pluie. *Sustainability*, [en ligne] 10(11), p.4194. <https://doi.org/10.3390/su10114194>.
- <sup>35</sup> Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F.S., Lambin, E., Lenton, T.M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H.J., Nykvist, B., de Wit, C.A., Hughes, T., van der Leeuw, S., Rodhe, H., Sörlin, S., Snyder, P.K., Costanza, R., Svedin, U., Falkenmark, M., Karlberg, L., Corell, R.W., Fabry, V.J., Hansen, J., Walker, B., Liverman, D., Richardson, K., Crutzen, P. et Foley, J., 2009. Planetary Boundaries : Exploring the Safe Operating Space for Humanity. *Ecology and Society*, [en ligne] 14(2). Disponible sur : <<https://www.jstor.org/stable/26268316>> [Consulté le 20 septembre 2021].
- <sup>36</sup> Steffen, W., K. Richardson, J. Rockström, S.E. Cornell, I. Fetzer, E.M. Bennett, R. Biggs, S.R. Carpenter, W. De Vries, C.A. De Wit, C. Folke, D. Gerten, J. Heinke, G.M. Mace, L.M. Persson, V. Ramanathan, B. Reyers, S. Sörlin. 2015. Les frontières planétaires : Guider le développement humain sur une planète en mutation. *Science* 347 : 736, 1259855
- <sup>37</sup> La contamination du sol est définie comme la présence d'un produit chimique étranger à l'environnement typique du sol et susceptible de nuire aux espèces qui y sont directement ou indirectement exposées (rapport principal Status of the world's soil resources., 2015). Les polluants peuvent avoir des origines naturelles (par exemple, dérivés des composants minéraux de la roche mère sous-jacente aux couches du sol ou dissous dans les eaux de surface et souterraines), mais la plupart ont des origines anthropiques. Les pratiques de gestion du sol qui ne tiennent pas compte de ces contaminants peuvent entraîner des accumulations locales ou étendues. L'accumulation de contaminants peut devenir toxique avec le temps (Cachada, Rocha-Santos et Duarte, 2018) ;(Bundschuh et al., 2012) ;(Luo et al., 2009). Outre les activités anthropiques, la contamination peut provenir de l'eau ou des dépôts atmosphériques (Rodríguez et al., 2014). Typiquement, les couches de sol les plus superficielles, où les interactions avec l'atmosphère, la flore et la faune, et les activités anthropiques se produisent généralement, sont affectées par la contamination (Reimann, Filzmoser et Garrett, 2005) ;(Salminen, Gregorauskiene et Tarvainen, 2008). La

contamination des parties plus profondes du sol peut être liée aux caractéristiques physiques de la roche mère sous-jacente (Shacklette et Boerngen, 1984) ou à la mobilité de certains contaminants qui utilisent l'eau pour se déplacer de la surface vers les parties plus profondes du sol. Cachada, A., Rocha-Santos, T. et Duarte, A.C., 2018. Chapitre 1 - Le sol et la pollution : Une introduction aux principaux enjeux. In : A.C. Duarte, A. Cachada et T. Rocha-Santos, eds. *Soil Pollution*. [en ligne] Academic Press. pp.1-28. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-849873-6.00001-7>.  
Reimann, C., Filzmoser, P. et Garrett, R.G., 2005. Background and threshold : critical comparison of methods of determination. *Science of The Total Environment*, [en ligne] 346(1), pp.1-16. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2004.11.023>.  
Salminen, R., Gregorauskiene, V. et Tarvainen, T., 2008. La minéralogie normative de 10 profils de sol en Fennoscandie et au nord-ouest de la Russie. *Applied Geochemistry*, [en ligne] 23(12), pp.3651-3665. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2008.09.007>. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-849873-6.00001-7>.  
Shacklette, H.T. et Boerngen, J.G., 1984. Element concentrations in soils and other surficial materials of the conterminous United States. US Government Printing Office Washington, DC.

<sup>38</sup> Swe Mar et Masanori Okazaki, dans leur étude de 2012 " Investigation of Cd contents in several phosphate rocks used for the production of fertilizer ", ont comparé plusieurs roches apatites utilisées pour la production d'engrais phosphatés. La comparaison de roches phosphatées provenant des États-Unis (Wyoming, Floride, Idaho), du Maroc (Qued Zem), de Russie (Slyudanka), et du Japon (Okinawa) a montré que la concentration de phosphate dans tous les échantillons variait de 6 à 38 % et que la teneur en Cd variait de 0,15 à 507 mg kg. Mar, Swe et Okazaki, M., 2012. Étude de la teneur en Cd de plusieurs roches phosphatées utilisées pour la production d'engrais. *Microchemical Journal*, 104. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2012.03.020>.

<sup>39</sup> L'utilisation responsable des engrais phosphatés englobe l'ensemble du cycle de vie du produit, y compris l'extraction du minerai. L'exploitation minière a des répercussions locales importantes sur les communautés et l'environnement. Dans le cadre d'une gestion structurée des risques, l'extraction de minerais à faible teneur en cadmium est une mesure clé d'atténuation des risques qui réduit considérablement le risque de rejet de polluants. De même, les procédés visant à éliminer le cadmium des minerais soulèvent également la question de l'élimination responsable des résidus de traitement (F.H. Oosterhuis, F.M. Brouwer, H.J. Wijnants, Une éventuelle taxe européenne sur le cadmium dans les engrais phosphatés : Economic and environmental implications Final Report to the European Commission, 2000).

<sup>40</sup> Oosterhuis, F. H., Brouwer, F. M., & Wijnants, H. J. (2000). A possible EU wide charge on cadmium in phosphate fertilisers : Economic and environmental implications. Rapport IVM, (E-00/02).

<sup>41</sup> Blum, A. et Blum, A., 2005. Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential-are they compatible, dissonant, or mutually exclusive ? *Australian Journal of Agricultural Research*, [en ligne] 56(11), pp.1159-1168. <https://doi.org/10.1071/AR05069>.

<sup>42</sup> Navarro, S., Vela, N. et Navarro, G., 2007. Review. Une vue d'ensemble du comportement environnemental des pesticides dans les sols. *Revue espagnole de recherche agricole*, [en ligne] (3), pp.357-375. Disponible sur : <<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2344189>> [Consulté le 12 sept. 2021].

<sup>43</sup> Les sols riches en matières organiques retiennent activement les métaux lourds. Le degré d'absorption des métaux par les racines dépend de la forme chimique sous laquelle ils se trouvent dans le sol. La présence d'eau a une influence majeure sur leur mobilité et leur disponibilité pour les plantes. Fijałkowski K., Kacprzak M., Grobelak A., Placek A., 2012, L'influence de certains métaux lourds sur la santé des plantes. paramètres du sol sur la mobilité des métaux lourds dans les sols, in *Inżynieria i Ochrona Środowiska*, t. 15, nr 1, s. 81-92.

<sup>44</sup> Bundschuh, J., Litter, M.I., Parvez, F., Román-Ross, G., Nicolli, H.B., Jean, J.-S., Liu, C.-W., López, D., Armienta, M.A., Guilherme, L.R.G., Cuevas, A.G., Cornejo, L., Cumbal, L. et Toujaguez, R., 2012. Un siècle d'exposition à l'arsenic en Amérique latine : A review of history and occurrence from 14 countries. *Science of The Total Environment*, [en ligne] 429, pp.2-35. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.06.024>.

<sup>45</sup> Luo, L., Ma, Y., Zhang, S., Wei, D. et Zhu, Y.-G., 2009. An inventory of trace element inputs to agricultural soils in China. *Journal of Environmental Management*, [en ligne] 90(8), pp.2524-2530. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.01.011>.

<sup>46</sup> FitzGerald, R. et Roth, N., 2015. Le cadmium dans les engrais minéraux - mise à jour des risques pour l'homme et l'environnement. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.26451.17442>.

<sup>47</sup> Roberts, T.L., 2014. Les engrais au cadmium et au phosphore : The Issues and the Science. *Procedia Engineering*, [en ligne] 83, pp.52-59. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.09.012>.

<sup>48</sup> Haisel, D., Cyrusová, T., Vaněk, T. et Podlipná, R., 2019. L'effet des nanoparticules sur les pigments photosynthétiques dans les interactions cadmium-zinc. *Environmental Science and Pollution Research*, [en ligne] 26(4), pp.4147-4151. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-04060-7>.

<sup>49</sup> Roy, S., 2019. Chapitre 9 - L'accumulation de cadmium dans les cultures et le risque croissant d'exposition au cadmium alimentaire : An Overview. Dans : M. Hasanuzzaman, M.N. Vara Prasad et K. Nahar, eds. *Cadmium Tolerance in Plants*. [en ligne] Academic Press. pp.247-254. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815794-7.00009-6>.

<sup>50</sup> Ismael, M.A., Elyamine, A.M., Moussa, M.G., Cai, M., Zhao, X. et Hu, C., 2019. Le cadmium dans les plantes : absorption, toxicité et ses interactions avec les engrais au sélénium. *Metallomics*, [en ligne] 11(2), pp.255-277. <https://doi.org/10.1039/C8MT00247A>.

<sup>51</sup> Shi, Z., Carey, M., Meharg, C., Williams, P.N., Signes-Pastor, A.J., Triwardhani, E.A., Pandiangan, F.I., Campbell, K., Elliott, C., Marwa, E.M., Jiujin, X., Farias, J.G., Nicoloso, F.T., De Silva, P.M.C.S., Lu, Y., Norton, G., Adomako, E., Green, A.J., Moreno-Jiménez, E., Zhu, Y., Carbonell-Barrachina, Á.A., Haris, P.I., Lawgali, Y.F., Sommella, A., Pigna, M., Brabet, C., Montet, D., Njira, K., Watts, M.J., Hossain, M., Islam, M.R., Tapia, Y., Oporto, C. et Meharg, A.A., 2020. Concentrations de cadmium dans les grains de riz dans la chaîne d'approvisionnement mondiale. *Exposure and Health*, [en ligne] 12(4), pp.869-876. <https://doi.org/10.1007/s12403-020-00349-6>.

<sup>52</sup> État des ressources en sols du monde : rapport principal, 2015, FAO. [en ligne] <http://www.fao.org/documents/card/en/c/c6814873-efc3-41db-b7d3-2081a10ede50/>

<sup>53</sup> La superficie mondiale affectée par la pollution des sols est estimée à 22 millions d'hectares (Global Assessment of Human-induced Soil Degradation (GLASOD), 2021) ;(de Ploey, Imeson et Oldeman, 1991).

de Ploey, J., Imeson, A. et Oldeman, L.R., 1991. Soil Erosion, Soil Degradation and Climatic Change. In : F.M. Brouwer, A.J. Thomas et M.J. Chadwick, eds. Land Use Changes in Europe, The GeoJournal Library. [En ligne] Dordrecht : Springer Netherlands.pp.275-292. [https://doi.org/10.1007/978-94-011-3290-9\\_12](https://doi.org/10.1007/978-94-011-3290-9_12).

<sup>54</sup> Pan, L., Wang, Y., Ma, J., Hu, Y., Su, B., Fang, G., Wang, L. et Xiang, B., 2018. Un examen des niveaux de pollution par les métaux lourds et l'évaluation des risques pour la santé des sols urbains dans les villes chinoises. *Environmental Science and Pollution Research*, [en ligne] 25(2), pp.1055-1069. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0513-1>.

<sup>55</sup> Le programme de surveillance de l'UE montre que le cadmium peut être trouvé à des niveaux mesurables et souvent élevés dans les légumes à travers l'Europe. Les récentes révisions des limites maximales admissibles de cadmium dans les aliments ont empêché plusieurs produits d'être importés dans l'UE. Il s'agit notamment du cacao et du chocolat du Pérou en raison de la teneur élevée en cadmium dans les sols locaux (Chavez et al., 2015) ;(Engbersen et al., 2019).

- Chavez, E., He, Z.L., Stoffella, P.J., Mylavarapu, R.S., Li, Y.C., Moyano, B. et Baligar, V.C., 2015. Concentration de cadmium dans les fèves de cacao et sa relation avec le cadmium du sol dans le sud de l'Équateur. *Science of The Total Environment*, [en ligne] 533, pp.205-214. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.06.106>.

- Engbersen, N., Gramlich, A., Lopez, M., Schwarz, G., Hattendorf, B., Gutierrez, O. et Schulin, R., 2019. Accumulation et allocation du cadmium dans différents cultivars de cacao. *Science of The Total Environment*, [en ligne] 678, pp.660-670. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.001>.

<sup>56</sup> En juillet 2021, dans le cadre du programme français de biosurveillance humaine, les résultats d'une enquête transversale appelée Esteban (Étude de santé sur l'environnement, la biosurveillance, l'activité physique et la nutrition) , basée sur un échantillon représentatif de la population française, ont été présentés. Esteban est une étude nationale française de santé publique qui vise à mesurer l'exposition de la population aux métaux lourds, en se concentrant sur les habitudes alimentaires et les maladies chroniques. Les résultats ont montré que le cadmium était présent chez 100% des adultes et des enfants participant à l'étude. Chez les enfants, la consommation de céréales pour petit-déjeuner augmentait l'apport en cadmium, principalement en raison des engrais phosphatés riches en cadmium utilisés dans l'agriculture conventionnelle et de la consommation quotidienne de ces céréales. Chez les adultes non fumeurs, la consommation de crustacés était la principale source d'exposition (<https://www.santepubliquefrance.fr/presse/2021/exposition-aux-metaux-de-la-population-francaise-resultats-de-l-etude-esteban>).

<sup>57</sup> En Italie, la Fondation Umberto Veronesi signale depuis plusieurs années que certains métaux lourds peuvent atteindre des concentrations plus élevées dans le sang et l'urine des personnes suivant un régime sans gluten. Selon la fondation, l'apport plus élevé de métaux lourds (arsenic, cadmium, plomb et mercure) dans un régime sans gluten est lié à la consommation plus importante de riz (arsenic et cadmium) et de poisson (mercure).

<sup>58</sup> Certains auteurs (Leita et Ciavatta, 2017) réfutent la nécessité immédiate d'agir dans ce domaine, arguant que l'accumulation incrémentale sur une base annuelle est peu susceptible de constituer un problème de santé humaine à court terme.

Leita, L. et Ciavatta, C., 2017. Cadmio nei fertilizzanti fosfatici : allarmismo ingiustificato. *Georgofili Info*.

<sup>59</sup> Le 5 juin 2019, après 3 ans d'intenses négociations interinstitutionnelles entre le Parlement européen et le Conseil de l'UE.

<sup>60</sup> En outre, un « label vert » volontaire a été prévu pour les engrais phosphorés dont la teneur en cadmium est inférieure à 20 mg/kg. Un document d'orientation détaillé a été publié par la Commission européenne début 2020, permettant aux entreprises responsables d'adopter cette étiquette. Enfin, les États membres qui souhaitent maintenir des valeurs limites nationales plus strictes pour la teneur en cadmium, égales ou inférieures aux valeurs limites applicables au niveau de l'Union, pourront continuer à le faire après l'entrée en vigueur du règlement le 16 juillet 2022.

<sup>61</sup> Nawara, S., Dael, T.V., Merckx, R., Amery, F., Elsen, A., Odeurs, W., Vandendriessche, H., Mcgrath, S., Roisin, C., Jouany, C., Pellerin, S., Denoroy, P., Eichler-Löbermann, B., Börjesson, G., Goos, P., Akkermans, W. et Smolders, E., 2017. Une comparaison des tests de sol pour le phosphore disponible dans les expériences de terrain à long terme en Europe. *European Journal of Soil Science*, [en ligne] 68(6), pp.873-885. <https://doi.org/10.1111/ejss.12486>.

<sup>62</sup> Stubenrauch, J., Garske, B. et Ehardt, F., 2018. Utilisation durable des terres, protection des sols et gestion du phosphore d'un point de vue transnational. *Sustainability*, [en ligne] 10(6), p.1988. <https://doi.org/10.3390/su10061988>.

<sup>63</sup> Wragg, J., Cave, M., Basta, N., Brandon, E., Casteel, S., Denys, S., Gron, C., Oomen, A., Reimer, K., Tack, K.Ehardt, F., 2016. Justice et Van de Wiele, T., 2011. Un essai inter-laboratoire de la méthode unifiée de bioaccessibilité BARGEDurabilité : Critères normatifs pour l'arsenic, le cadmium et l'utilisation du phosphore. In : E. Schnug et L.J. De Kok, eds. Phosphore dans le sol. *Science of The Total Environment, Agriculture : 100 %Zéro*. [en ligne] 409(19), Dordrecht : Springer Netherlands.pp.4016-4030317-330. [https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.05.0191007/978-94-017-7612-7\\_15](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.05.0191007/978-94-017-7612-7_15).

<sup>64</sup> Ehardt, F., 2016. Justice et durabilité : Critères normatifs pour l'utilisation du phosphore. In : E. Schnug et L.J. De Kok, eds. Le phosphore dans l'agriculture : 100 % Zéro. [en ligne] Dordrecht : Springer Netherlands.pp.317-330. [https://doi.org/10.1007/978-94-017-7612-7\\_15](https://doi.org/10.1007/978-94-017-7612-7_15).

<sup>65</sup> Willett, W., Rockström, J., Loken, B., Springmann, M., Lang, T., Vermeulen, S., Garnett, T., Tilman, D., DeClerck, F., Wood, A., Jonell, M., Clark, M., Gordon, L.J., Fanzo, J., Hawkes, C., Zurayk, R., Rivera, J.A., De Vries, W., Majele Sibanda, L., Afshin, A., Chaudhary, A., Herrero, M., Agustina, R., Branca, F., Lartey, A., Fan, S., Crona, B., Fox, E., Bignet, V., Troell, M., Lindahl, T., Singh, S., Cornell, S.E., Srinath Reddy, K., Narain, S., Nishtar, S. et Murray, C.J.L., 2019. L'alimentation dans l'Anthropocène : la Commission EAT-Lancet sur les régimes alimentaires sains issus de systèmes alimentaires durables. *The Lancet*, [en ligne] 393(10170), pp.447-492. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)31788-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)31788-4).

<sup>66</sup> Kauwenbergh, S.J. van, 1997. Cadmium et autres éléments mineurs dans les ressources mondiales de roche phosphatée. *Proceedings - Fertiliser Society (Royaume-Uni)*. [en ligne] Disponible sur : <[https://scholar.google.com/scholar\\_](https://scholar.google.com/scholar_)

<sup>67</sup> Rodrigues, S. M., & Römkens, P. F. A. M. (2018). Human health risks and soil pollution. In A. C. Duarte, A. Cachada, & T. Rocha-Santos (Eds.), *Soil Pollution : From Monitoring to Remediation* (pp. 217-250). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-849873-6.00009-1>

- <sup>68</sup> Alvarenga, P., Palma, P., Mourinha, C., Farto, M., Dôres, J., Patanita, M., Cunha-Queda, C., Natal-da-Luz, T., Renaud, M. et Sousa, J.P., 2017. Le recyclage des déchets organiques sur les terres agricoles comme moyen d'améliorer leur qualité : Une étude de terrain pour évaluer les avantages et les risques. *Waste Management*, [en ligne] 61, pp.582-592. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.01.004>
- <sup>69</sup> Stürck, J., Levers, C., van der Zanden, E.H., Schulp, C.J.E., Verkerk, P.J., Kuemmerle, T., Helming, J., Lotze-Campen, H., Tabeau, A., Popp, A., Schrammeijer, E. et Verburg, P., 2018. Simuler et délimiter les trajectoires futures de changement des terres à travers l'Europe. *Regional Environmental Change*, [en ligne] 18(3), pp.733-749. <https://doi.org/10.1007/s10113-015-0876-0>.
- <sup>70</sup> Ronchi, S., Salata, S., Arcidiacono, A., Piroli, E. et Montanarella, L., 2019. Instruments politiques pour la protection des sols parmi les États membres de l'UE : Une analyse comparative. *Land Use Policy*, [en ligne] 82, pp.763-780. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.01.017>.
- <sup>71</sup> Alvarenga, P., Palma, P., Mourinha, C., Farto, M., Dôres, J., Patanita, M., Cunha-Queda, C., Natal-da-Luz, T., Renaud, M. et Sousa, J.P., 2017. Le recyclage des déchets organiques sur les terres agricoles comme moyen d'améliorer leur qualité : Une étude de terrain pour évaluer les avantages et les risques. *Waste Management*, [online] 61, pp.582-592. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.01.004>
- <sup>72</sup> Stubenrauch, J., Garske, B. et Ekardt, F., 2018. Utilisation durable des terres, protection des sols et gestion du phosphore d'un point de vue transnational. *Sustainability*, [en ligne] 10(6), p.1988. <https://doi.org/10.3390/su10061988>.
- <sup>73</sup> Garske, B., Heyl, K., Ekardt, F., Weber, L.M. et Gradzka, W., 2020. Les défis de la gouvernance du gaspillage alimentaire : Une évaluation de la législation européenne sur le gaspillage alimentaire et des recommandations pour son amélioration par des instruments économiques. *Land*, [en ligne] 9(7), p.231. <https://doi.org/10.3390/land9070231>.
- <sup>74</sup> FitzGerald, R. et Roth, N., 2015. Le cadmium dans les engrais minéraux - mise à jour des risques pour l'homme et l'environnement. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.26451.17442>.
- <sup>75</sup> Ulrich, A.E., 2019. La gouvernance du cadmium dans les engrais phosphatés européens : Not so fast ? *Science of The Total Environment*, [en ligne] 650, pp.541-545. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.014>.
- <sup>76</sup> Le 17 novembre 2021, la Commission européenne devrait adopter la stratégie thématique révisée de l'UE sur les sols : [https://ec.europa.eu/environment/soil/three\\_en.htm](https://ec.europa.eu/environment/soil/three_en.htm). Les discussions en cours sur la contamination des sols pourraient alors converger vers une approche plus globale de la protection des sols.
- <sup>77</sup> Bien que l'article 114, paragraphe 5, du traité sur le fonctionnement de l'Union européenne (EUR-Lex - 12012E/TXT - EN - EUR-Lex, 2021) ne permette pas aux États membres de fixer indépendamment des limites pour le cadmium dans les engrais, l'UE peut accorder des dérogations sur la base de nouvelles preuves scientifiques (FitzGerald et Roth, 2015). Pour cette raison, nous avons actuellement : 12 États membres avec des valeurs limites de Cd  $\leq$  50 mg Cd/kg P2O5 (CZ, DK, FI, DE, PL, HU, IT, SK, BG, SE, NL, NO), 8 EM avec des valeurs limites de Cd de 60 mg Cd/kg P2O5 (FR, CY, LT, S, RO, SI, GR, LU), 2 EM (Autriche et Belgique) avec des valeurs limites de Cd plus élevées.
- <sup>78</sup> FitzGerald, R. et Roth, N., 2015. Le cadmium dans les engrais minéraux - mise à jour des risques pour l'homme et l'environnement. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.26451.17442>.
- <sup>79</sup> Ulrich, A.E., 2019. La gouvernance du cadmium dans les engrais phosphatés européens : Not so fast ? *Science of The Total Environment*, [en ligne] 650, pp.541-545. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.014>.
- <sup>80</sup> Amendements 784-826
- <sup>81</sup> Stratégie "de la ferme à la fourchette" de l'UE : [https://ec.europa.eu/food/system/files/2020-05/f2f\\_action-plan\\_2020\\_strategy-info\\_fr.pdf](https://ec.europa.eu/food/system/files/2020-05/f2f_action-plan_2020_strategy-info_fr.pdf)
- <sup>82</sup> Oosterhuis, F.H., Brouwer, F.M. et Wijnants, H.J., 2000. A possible EU wide charge on cadmium in phosphate fertilisers : economic and environmental implications. Rapport IVM. Amsterdam : Institut d'études environnementales.
- <sup>83</sup> Concernant la maîtrise de la contamination des sols agricoles et de la production alimentaire, l'ANSES recommande un taux de cadmium inférieur ou égal à 20mg Cd/kg. AVIS de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail relatif à l'Exposition au cadmium (CAS n°7440-43-9) - Propositions de valeurs toxicologiques de référence (VTR) par ingestion, de valeurs sanitaires repères dans les milieux biologiques (sang, urine, ...) et de niveaux en cadmium dans les matières fertilisantes et supports de culture permettant de maîtriser la pollution des sols agricoles et la contamination des productions végétales. ANSES, 2019
- <sup>84</sup> Plus de 30 pays peuvent fournir des roches à faible teneur en cadmium, notamment des gisements en Arabie saoudite, en Australie, en Chine, en Égypte, en Jordanie, au Maroc, en Russie, en Syrie et aux États-Unis (Kauwenbergh, 1997). En outre, les données de l'industrie montrent que la moitié de la production mondiale de roches en 2016 pourrait avoir déjà satisfait à l'exigence plus stricte de l'UE de 20 mg/kg (5e anniversaire de la première proposition de limites paneuropéennes de cadmium, 2021).
- <sup>85</sup> La teneur en cadmium des engrais phosphatés peut être réduite par l'utilisation de phosphates à faible teneur en cadmium, ou par la décomposition de la roche phosphatée ou de l'acide phosphorique. L'utilisation de roches phosphatées à faible teneur en cadmium est la principale stratégie de marché. La décadmisation est plus coûteuse et implique un flux de cadmium dans les déchets de décadmium, ce qui peut causer des problèmes environnementaux dans les pays producteurs (Commission européenne, 2000).

**RECHERCHE OPÉRA**  
**Piacenza | Brussels**

[www.operaresearch.eu](http://www.operaresearch.eu)