



RÉPUBLIQUE  
FRANÇAISE

*Liberté  
Égalité  
Fraternité*

Février 2026

# Effets prévisibles d'un abaissement de la teneur en cadmium des engrais phosphatés et des boues d'épuration sur les approvisionnements en matières fertilisantes

Michel HERMELINE - CGAAER  
Frédéric SAUDUBRAY – IGEDD

Rapport n° 016388-01



Rapport n° 25090



**L'auteure atteste qu'aucun des éléments de leurs activités passées ou présentes n'a affecté leur impartialité dans la rédaction de ce rapport**

<b>Statut de communication</b>	
<input type="checkbox"/>	<b>Préparatoire à une décision administrative</b>
<input type="checkbox"/>	<b>Non communicable</b>
<input type="checkbox"/>	<b>Communicable (données confidentielles occultées)</b>
<input checked="" type="checkbox"/>	<b>Communicable</b>

# Sommaire

<b>Sommaire .....</b>	<b>3</b>
<b>Résumé.....</b>	<b>8</b>
<b>Liste des recommandations.....</b>	<b>10</b>
<b>Introduction .....</b>	<b>11</b>
<b>1 Le cadmium et les enjeux associés .....</b>	<b>12</b>
1.1 Le cadmium : un métal lourd naturellement présent dans les roches et les sols .	12
1.1.1 Origine, production et utilisations du cadmium .....	12
1.1.2 Une grande variabilité naturelle de la teneur en cadmium dans les roches et sols .....	12
1.2 Une évaluation délicate des flux de cadmium liés aux activités humaines au sein des différents compartiments environnementaux .....	13
1.2.1 Des retombées atmosphériques en baisse.....	13
1.2.2 Des apports par les amendements et matières fertilisantes en diminution .....	14
1.2.3 Des pertes par lixiviation difficiles à mesurer et très variables .....	16
1.2.4 Des exportations par la biomasse récoltée .....	16
1.2.5 Le poids relatif de différents flux.....	18
1.3 Quelle dynamique d'accumulation du cadmium dans les sols ?.....	19
1.3.1 Au niveau européen, des taux de cadmium dans les sols très disparates.....	19
1.3.2 Des résultats similaires au niveau français .....	21
1.3.3 Un manque de données de suivi, en particulier dans les sols .....	21
1.4 Des enjeux sanitaires majeurs de plus en plus médiatisés .....	22
1.4.1 Des risques sanitaires associés au cadmium connus de longue date et de plus en plus documentés .....	22
1.4.2 L'imprégnation de la population française en hausse .....	23
1.4.3 Une surveillance des différentes sources de contamination .....	24
1.4.4 En dehors du tabagisme, l'alimentation est la principale source d'exposition identifiée ...	25
1.4.5 Explorer toutes les sources de contaminations et expliquer les évolutions constatées	26
<b>2 Le cadmium dans la réglementation relative aux matières fertilisantes .....</b>	<b>29</b>
2.1 La réglementation actuelle autour de la mise en marché et l'utilisation de matières fertilisantes ou support de culture (MFSC).....	29
2.1.1 Le cadre général.....	29
2.1.2 Les engrais phosphatés minéraux .....	30
2.1.3 Les boues .....	31
2.1.4 Les autres MFSC.....	31
2.2 Face aux enjeux sanitaires, plusieurs simulations de l'évolution des flux de cadmium et de l'exposition des populations incitent à renforcer la réglementation	32
2.2.1 Des études évaluant l'impact à long terme de plusieurs scénarios (teneurs en cadmium des engrais et pratiques de fertilisation) aux résultats contrastés .....	32

2.2.2	Les recommandations formulées par l'Anses relatives aux teneurs et au flux de matières fertilisantes .....	32
2.3	Vers un socle commun « évolutif » .....	34
2.3.1	Version consolidée prête à être publiée .....	34
2.3.2	Des compléments envisagés des seuils et flux de cadmium à terme .....	36
2.4	Des évolutions réglementaires possibles également au niveau européen .....	36
<b>3</b>	<b>Les effets potentiels d'une évolution de la réglementation sur les teneurs maximales en cadmium des engrais minéraux et organo-minéraux.....</b>	<b>38</b>
3.1	Vers une restriction des sources d'approvisionnement potentielles en engrais phosphatés .....	38
3.1.1	D'ores et déjà, la France et l'Europe dépendent d'un nombre réduit de fournisseurs d'engrais phosphatés .....	38
3.1.2	Une dépendance accentuée pour certains types d'engrais .....	39
3.1.3	La France dépend également d'un nombre réduit de fournisseurs pour son approvisionnement en roches phosphatées brutes .....	40
3.1.4	Un approvisionnement majoritairement dans des pays avec des taux élevés de cadmium et des possibilités de diversification des approvisionnements relativement limitées à court terme .....	41
3.1.5	S'orienter vers la décadmiation .....	42
3.2	Une augmentation du coût des engrais .....	43
3.2.1	Un marché mondial dominé par quelques grands groupes avec le rôle majeur de quelques États .....	43
3.2.2	Des prix très fluctuants, dans le temps et selon les régions, à la merci de tensions géopolitiques et des prix de l'énergie .....	44
3.3	Conséquence indirecte : un risque de sous-fertilisation phosphatée ? .....	45
3.3.1	Une diminution importante du phosphore assimilable dans les sols français .....	45
3.3.2	Dans un contexte économique difficile pour les agriculteurs, des risques « d'impasses » répétées pour les engrais de fond et des pertes de rendement associées .....	46
3.4	Ne pas négliger les alternatives du fait de l'évolution de la réglementation .....	49
3.4.1	Analyser les possibilités de réduire les apports de phosphore .....	49
3.4.2	S'engager dans le recyclage et l'utilisation des ressources organiques .....	51
3.5	Un besoin d'information plus précise sur la qualité des engrais commercialisés. ....	52
<b>4</b>	<b>Les effets potentiels d'une évolution de la réglementation sur les flux et teneurs maximums en cadmium des boues d'épuration .....</b>	<b>53</b>
4.1	La production de boues de STEP urbaine en France .....	53
4.2	Évaluation des impacts des évolutions réglementaires envisagées via le « socle commun » .....	54
4.2.1	Un impact quasi nul des teneurs autorisées pour les boues .....	54
4.2.2	Un impact significatif des flux .....	55
4.2.3	La nécessité d'analyses régionales multicritères pour évaluer l'impact de l'évolution des réglementations (programmées et envisageables) .....	56

<b>Conclusion .....</b>	<b>58</b>
<b>Annexes .....</b>	<b>60</b>
<b>Annexe 1. Lettre de mission .....</b>	<b>61</b>
<b>Annexe 2. Liste des personnes rencontrées .....</b>	<b>63</b>
<b>Annexe 3. Glossaire des sigles et acronymes .....</b>	<b>66</b>
<b>Annexe 4. Sources mondiales et teneurs en cadmium des différents gisements de roches phosphatées .....</b>	<b>70</b>
Annexe 4.1. Réserves et production mondiales de roches phosphatées.....	70
Annexe 4.2. Variété des teneurs en cadmium des différents gisements mondiaux de phosphates .....	73
<b>Annexe 5. Émissions et retombées atmosphériques .....</b>	<b>75</b>
Annexe 5.1. Mesures des dépôts atmosphériques de cadmium .....	75
Annexe 5.2. Évolution des émissions de cadmium en France par secteur depuis 1990 .....	76
<b>Annexe 6. Teneur en cadmium des matières fertilisantes .....</b>	<b>79</b>
Annexe 6.1. Concentration en cadmium dans les engrais phosphatés utilisés en Europe .....	79
Annexe 6.2. Concentration en cadmium dans les différentes catégories d'engrais utilisés en France .....	80
Annexe 6.3. Concentration en cadmium dans les matières fertilisantes autres que les engrais, utilisées en France .....	81
Annexe 6.4. Contrôles de conformité par la DGCCRF .....	83
<b>Annexe 7. Flux de cadmium dans les boues .....</b>	<b>84</b>
Annexe 7.1. Production de boues en France .....	84
Annexe 7.2. Valorisation des boues produites .....	85
Annexe 7.3. Intérêt agronomique des boues .....	88
Annexe 7.4. Teneurs en cadmium des boues .....	89
Annexe 7.5. Flux d'ETM apportés par les boues .....	91
Annexe 7.6. Apports maximaux déterminés au niveau européen .....	92
<b>Annexe 8. Mesures et apports de phosphore dans les sols .....</b>	<b>94</b>
Annexe 8.1. Teneur en phosphore des sols et bilan des flux de phosphore en Europe .....	94
Annexe 8.2. Pratiques de fertilisation dans le monde et en Europe .....	97
Annexe 8.3. Évolution des teneurs en P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> des sols en France .....	101
Annexe 8.4. Les apports de phosphore en France .....	103
Annexe 8.5. Les réductions potentielles d'apport de phosphore .....	108
<b>Annexe 9. Bilans des flux de cadmium dans les sols .....</b>	<b>110</b>
Annexe 9.1. Bilans et flux de cadmium dans les sols en Europe .....	110
Annexe 9.2. Bilans et flux de cadmium dans les sols en France .....	113
Annexe 9.3. Mesures localisées de cadmium dans les sols .....	114
<b>Annexe 10. Dynamique du cadmium dans les sols et les plantes .....</b>	<b>117</b>

<b>Annexe 11. Mesures du cadmium dans les sols .....</b>	<b>127</b>
Annexe 11.1. En Europe : le réseau LUCAS Soil.....	127
Annexe 11.2. En France : les données du RMQS du GIS Sol .....	133
Annexe 11.3. Autres données sur le cadmium dans les sols français .....	135
<b>Annexe 12. Exposition des populations au cadmium .....</b>	<b>137</b>
Annexe 12.1. Les effets du cadmium sur la santé humaine .....	137
Annexe 12.2. Le projet européen HBM4EU.....	139
Annexe 12.3. L'étude Esteban en France.....	141
Annexe 12.4. Le cadmium dans les aliments : les études d'alimentation totales (EAT) et les travaux du groupe de travail « Surveillance du Cadmium dans la chaîne alimentaire » .....	145
Annexe 12.5. Estimation de l'exposition au cadmium .....	146
Annexe 12.6. Les seuils d'exposition et d'imprégnation au cadmium .....	149
<b>Annexe 13. Contamination des aliments par le cadmium .....</b>	<b>151</b>
Annexe 13.1. Les travaux du groupe de travail « Surveillance du Cadmium dans la chaîne alimentaire » .....	151
Annexe 13.2. Les études d'alimentation totale .....	155
Annexe 13.3. Les campagnes annuelles de contrôle des aliments.....	157
<b>Annexe 14. Réglementation relative au cadmium.....</b>	<b>158</b>
Annexe 14.1. De nombreuses réglementations multisectorielles ont été mises en œuvre pour limiter l'exposition au cadmium.....	158
Annexe 14.2. Les réglementations sur les matières fertilisantes.....	158
Annexe 14.3. Le projet de « socle commun ».....	161
Annexe 14.4. Les teneurs maximales en cadmium des dans différents pays européens.....	163
Annexe 14.5. Les craintes exprimées quant à une évolution réglementaire des taux et flux de cadmium .....	164
<b>Annexe 15. Scénarios et modélisation de teneurs de cadmium dans les sols.....</b>	<b>167</b>
<b>Annexe 16. Flux commerciaux des roches et engrais phosphatés .....</b>	<b>175</b>
Annexe 16.1. Production, consommation, exportation et importation d'engrais dans le monde ..	175
Annexe 16.2. Évolution récente sur le marché mondial .....	182
Annexe 16.3. Fiche d'informations par type d'engrais.....	183
Annexe 16.4. Production, consommation, exportation et importation d'engrais en Europe .....	188
Annexe 16.5. Le marché des engrais en France.....	191
<b>Annexe 17. Éléments sur le secteur économique des engrais dans le Monde, en Europe et en France .....</b>	<b>196</b>
Annexe 17.1. Chaîne de valeur des engrais phosphatés et facteurs de marché .....	196
Annexe 17.2. Fonctionnement général du marché des engrais minéraux .....	197
Annexe 17.3. Les principaux opérateurs sur le marché des engrais.....	201
Annexe 17.4. Évolution des droits de douane pour les engrais en provenance de la Russie.....	210
<b>Annexe 18. Prix des engrais et économie agricole.....</b>	<b>212</b>

<b>Annexe 19. Éléments sur la décadmiation .....</b>	<b>214</b>
<b>Annexe 20. Pratiques de réduction des teneurs en cadmium dans les sols et les plantes .....</b>	<b>218</b>
<b>Annexe 21. Recyclage du phosphore .....</b>	<b>220</b>

## Résumé

Les suivis de l'exposition au cadmium de la population traduisent des progressions inquiétantes, tant dans l'imprégnation des personnes que dans les teneurs des aliments consommés. Si l'enjeu de santé publique est avéré, certaines données restent néanmoins difficilement interprétables et il est important de continuer à rechercher toutes les causes possibles des évolutions constatées qui alertent les pouvoirs publics et les médias.

En dehors de l'exposition aux fumées de tabacs, l'alimentation est a priori la principale source de contamination, alors que les retombées atmosphériques ont très fortement baissé. Les teneurs en cadmium des sols sont naturellement très variables en fonction des roches mère, mais elles peuvent s'accroître par des apports anthropiques de cadmium via l'épandage des boues d'épuration (ce qui concerne moins de 3 % de la SAU) et via les fertilisations phosphatées dont les gisements exploités contiennent plus ou moins de cadmium selon les origines. Globalement, les apports d'engrais minéraux sont en baisse constante depuis les années quatre-vingt et la fertilisation organique apporte aujourd'hui la moitié du phosphore aux cultures. Au-delà de cette présence du cadmium dans les sols, les mécanismes de transfert et d'assimilation de ce métal par les plantes sont complexes et dépendent de multiples facteurs, notamment le PH mais aussi le capital génétique (des différences importantes existent entre espèces et selon les variétés).

À titre de précaution, la réglementation prévoit que les flux et les teneurs maximales en cadmium vont évoluer à court et moyen termes pour les différentes catégories de matières fertilisantes.

Pour les boues à vocation agronomique, une évolution des flux est prévue à un rythme triennal de manière que les apports totaux sur une période de 3 ans ne dépassent pas 30 puis 15 et enfin 6 g/ha, avec des apports ponctuels annuels maximums respectifs de 15, 10 et 6 g/ha.

Pour les engrais minéraux, le règlement fertilisant de l'UE a fixé un seuil de 60 mg depuis 2019, avec une étude d'impact prévue en 2026 pour éventuellement revoir à la baisse cette valeur. En France, un seuil de 90 mg était en vigueur et doit prochainement s'aligner sur le seuil européen, avec une perspective de réduction à 40 voire 20 mg à terme, cette dernière valeur étant recommandée par l'Anses. Parallèlement, la réglementation française prévoit de généraliser aux matières fertilisantes la contrainte de flux maximum à l'hectare qui prévalait pour l'épandage des boues, avec également une perspective de restreindre ce flux à terme pour converger vers 2 g/ha/an, valeur recommandée par l'Anses. Cette généralisation de la limitation des flux à l'hectare, complexe à mettre en œuvre et à contrôler, introduit une contrainte supplémentaire qui peut empêcher d'apporter le phosphore nécessaire à certaines cultures dans certains sols.

Si ces restrictions sont bien évidemment favorables, en réduisant les apports au sol, leur efficacité sur les teneurs en cadmium des productions végétales est plus aléatoire et elles seront sans incidence sur les produits alimentaires importés dont la consommation s'accroît.

Dans un contexte géopolitique très fluctuant, alors que la France importe tout son phosphore minéral, la réduction des teneurs aura un impact significatif sur l'approvisionnement national en engrais et roches phosphatés (peu de sources à faible teneur en cadmium, hormis la Russie pour fabriquer des engrais composés) et probablement sur les prix des engrais du fait de situation d'oligopole (dépendance à quelques fournisseurs, en particulier le Maroc où le principal producteur a développé un processus de décadmiation pour être en mesure de délivrer des engrais « low cadmium » c'est-à-dire avec une teneur inférieure à 20 mg / kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>).

La réduction des flux de cadmium va également impacter l'épandage des boues, avec dans certains cas, la nécessité d'accroître les surfaces d'épandage, ou bien d'opter pour l'incinération, beaucoup plus coûteuse.

Afin de se conformer à ce nouveau cadre, les différents acteurs concernés (agriculteurs, collectivités, entreprises) ont besoin d'une bonne visibilité sur les évolutions réglementaires et d'un certain temps pour adapter leurs pratiques, délai qui reste faible par rapport au cycle stockage-transformation-assimilation du cadmium.

Sans préjuger des évolutions prochaines du règlement européen – dont les fertilisants qui s'y conforment pourront, en l'absence de clause de sauvegarde, être commercialisés en France – il



apparaît que les premiers seuils d'évolution envisagés après un délai de 3 ans (teneur maximale de 40 mg pour les engrais et apport total de 15 g/ha pour une période de 3 ans pour les boues d'épuration) concilient les enjeux sanitaires et économiques.

Les impacts d'une baisse supplémentaire (teneur à 20 mg pour les engrais et apport total sur 3 ans de 6 g/ha pour les boues) devront être analysés à l'aune des effets des évolutions précédentes, à la lumière des nouvelles études sur l'exposition des populations, des aliments et des sols et dans un contexte géopolitique et économique qui aura sans doute changé. Cette dernière phase d'évolution est susceptible de nécessiter une période d'adaptation plus longue car elle impliquera des transformations plus profondes pour les opérateurs (transformation industrielle pour la fabrication d'engrais, incinération pour certaines boues).

Plus globalement, si cette évolution réglementaire relative aux flux et teneurs maximales en cadmium dans les matières fertilisantes contribue à réduire l'exposition de la population au cadmium, son impact à court terme risque d'être limité et ce pour deux raisons : d'une part les répercussions sur les teneurs en cadmium dans les sols peuvent nécessiter plusieurs années voire décennies, d'autre part, une réglementation des teneurs et flux par catégorie de matière fertilisante, qui plus est en excluant certaines catégories de la réglementation, ne permet pas une réelle maîtrise des apports totaux. De fait les autres possibilités de réduction de l'exposition de la population au cadmium (sélection génétique des plantes, transition agroécologique, etc.) ne doivent pas être négligées.

## Liste des recommandations

- Recommandation 1.** [ GIS Sols ] Actualiser les données sur les teneurs et sources de cadmium dans les sols..... 22
- Recommandation 2.** [ Anses, INRAE ] Face aux interrogations, expliciter la relation entre l'évolution des sources et flux de cadmium, l'évolution de la contamination des aliments et l'évolution de l'imprégnation de la population, en explorant activement toutes les sources potentielles d'exposition..... 28
- Recommandation 3.** [ MAASA ( DGAL ) & MTEBNICN (DEB) ] 1 – Adopter immédiatement une teneur maximale de 60 mg de Cd/kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> : mesure peu contraignante et en harmonie avec le règlement européen. 2 – Maintenir une évolution du seuil à 40 mg en laissant une période minimum de 3 ans aux entreprises françaises pour adapter sereinement leurs approvisionnements. 3 – Pour déterminer les conditions optimales (délais, modalités...) d'évolution vers une teneur maximale de 20 mg (recommandations Anses) : réaliser une étude d'impact 2 ans après l'application du seuil intermédiaire de 40 mg (évaluation du rapport coût-bénéfice en prenant en considération les évolutions du marché, les évolutions géopolitiques, les évolutions des connaissances sur la relation entre emplois d'engrais et teneurs des aliments en cadmium et évaluation des modifications nécessaires de l'outil industriel et de distribution français et des délais nécessaires). 4 – Dans la mesure du possible, et pour éviter les distorsions de concurrence, aligner les évolutions réglementaires françaises sur les évolutions du règlement européen fertilisant qui prévoit la possibilité d'évolution des seuils. .... 48
- Recommandation 4.** [ INRAE & organismes professionnels agricoles ] Développer les recherches et expérimentations pour accroître la biodisponibilité du phosphore : 1. S'appuyer sur des sélections variétales ; 2. Proposer des modifications des pratiques agricoles ; 3. Utiliser des biostimulants..... 50
- Recommandation 5.** [ MAASA ( DGAL ) & MTEBNICN (DEB) ] La mission recommande de maintenir les évolutions prévues pour les teneurs en cadmium des boues d'épuration. En ce qui concerne l'évolution des flux, la mission préconise (1) de maintenir une évolution du flux annuel de référence à 5 g/ha dans un délai de 3 ans après la publication de l'arrêté et (2) de réaliser des études d'impact régionales pour évaluer plus précisément les impacts d'une évolution du flux de référence annuel à 2 g/ha (afin d'identifier les stations ou zones confrontées à des difficultés ou impossibilités et appréhender les possibilités d'accroissement des surfaces d'épandage ou d'incinération des boues). Les résultats de ces études permettront de mieux appréhender les délais nécessaires pour atteindre le respect de ce flux objectif et adapter la temporalité des évolutions réglementaires (ou alors prévoir des possibilités pour y déroger ponctuellement). .... 57

# Introduction

Le cadmium est un métal lourd qui s'accumule dans l'organisme et peut avoir des effets délétères sur la santé humaine. Une surexposition favorise l'apparition de nombreuses pathologies : atteintes rénales, fragilité osseuse (ostéoporose), troubles de la reproduction et risques accrus de cancers hormonodépendants (prostate, sein, endomètre...). À cet égard, l'imprégnation par le cadmium de la population française de 18 à 74 ans apparaît plus élevée qu'en Allemagne, aux États-Unis ou en Italie. Entre 2006 (étude ENNS) et 2016 (Esteban), elle a augmenté de plus de 40 %. Les mêmes constats sont mesurés chez les enfants. L'exposition de la population française au cadmium constitue donc un enjeu de santé publique, qui a fait l'objet récemment d'une importante couverture médiatique.

En dehors du tabagisme, l'alimentation est la principale source d'exposition identifiée. Certains aliments, comme les algues, les champignons, les mollusques ou encore les abats, concentrent particulièrement le cadmium, mais sont globalement peu consommés. D'autres aliments, comme les céréales ou les pommes de terre, ont des teneurs plus faibles, mais contribuent plus fortement à l'exposition du fait d'une forte consommation. La seconde Étude de l'Alimentation Totale (EAT 2), publiée par l'Anses en 2011, a mis en avant une présence de cadmium dans près de 80 % des échantillons et a estimé que 0,6 % de la population adulte, et près de 15 % des enfants de plus de 3 ans sont exposés via leur alimentation à des doses de cadmium dépassant les doses tolérables au regard des risques sanitaires<sup>1</sup>.

Le cadmium est naturellement présent dans les roches et les sols, mais les activités humaines modifient les concentrations dans l'air, les sols et les eaux, à travers la fertilisation, les émissions industrielles et la pollution urbaine. Les apports actuels de cadmium dans les sols agricoles sont principalement dus aux engrais minéraux et, dans une moindre mesure, aux déjections animales. Les retombées atmosphériques ont beaucoup baissé et restent limitées, de même que les apports par les boues et composts qui ne concernent qu'une petite part des surfaces agricoles. Les mécanismes de transfert du cadmium des sols vers les plantes, et donc les aliments, restent complexes et dépendent de nombreux facteurs.

Face à ces différents constats, l'Anses a conclu dans son avis du 17 juin 2019 « *qu'un flux annuel d'apport en cadmium via les matières fertilisantes n'excédant pas 2 g Cd/ha/an, quelles que soient la nature et la quantité totale de matière(s) fertilisante(s) apportée(s) au sol agricole, constitue le niveau maximal recommandé qui permettrait de maîtriser la pollution des sols agricoles, la contamination des productions agricoles, et par conséquent de diminuer l'exposition alimentaire associée* ». Pour ne pas dépasser ce flux annuel, et au regard des simulations et des itinéraires de fertilisation testés, l'Anses a alors préconisé une teneur en cadmium égale ou inférieure à 20 mg Cd/kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> dans les engrais minéraux phosphatés, et de 1 mg Cd/kg de matière sèche dans les fertilisants d'origine organique.

Dans le sillage de la loi du 10 février 2020 relative à la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire (AGEC), un projet de décret « socle commun » vise à uniformiser et renforcer l'encadrement des matières fertilisantes et supports de culture (MFSC) pour favoriser le recyclage et l'utilisation de déchets. S'inscrivant dans le cadre européen du règlement fertilisant, il fixe des critères d'innocuité et de qualité agronomique, en distinguant quatre catégories de MFSC selon leur nature, leur statut de déchet, les types d'utilisateur et les modes de mise en marché ou d'épandage. Des projets d'arrêtés précisent les teneurs et les flux maximums autorisés pour le cadmium, ainsi que les évolutions envisagées à moyen terme. La détermination de ces seuils et flux maximum est fondée sur le principe ALARA (*As Low As Reasonably Achievable*), qui prône de fixer des niveaux aussi bas qu'il est raisonnablement possible d'atteindre en tenant compte de diverses contraintes (économiques, sociétales, d'approvisionnement, de capacités d'analyse, etc.). Elle répond donc à une exigence de protection du consommateur s'appuyant sur des arguments sanitaires, issus de l'évaluation du risque. Elle doit cependant également s'accorder avec des exigences de faisabilité – pour la préservation des filières –, voire, dans certains cas géopolitiques, pour garantir une sécurité d'approvisionnement.

C'est dans ce contexte que les ministres en charge de l'agriculture et de l'environnement ont commandité cette mission dont l'objet est d'appréhender les effets prévisibles d'un abaissement de la teneur en cadmium des engrais phosphatés et des boues d'épuration sur les approvisionnements en MFSC.

Ce rapport, structuré en quatre chapitres, présente dans un premier temps les enjeux et la réglementation associés au cadmium et dans un second temps les effets potentiels d'une évolution de la réglementation, telle qu'envisagée dans le cadre du socle commun, sur les approvisionnements en engrais phosphatés et la valorisation agronomique des boues d'épuration.

---

<sup>1</sup> Lors de la rédaction de ce rapport, la mission n'avait pas connaissance des données de l'étude EAT 3, dont les premiers résultats ont été publiés en février 2026.

# 1 Le cadmium et les enjeux associés

## 1.1 Le cadmium : un métal lourd naturellement présent dans les roches et les sols

### 1.1.1 Origine, production et utilisations du cadmium

Le cadmium est un métal blanc argent (légèrement bleuté), très malléable et ductile. C'est un élément trace métallique naturellement présent dans la croûte terrestre, à de faibles concentrations (la teneur moyenne de l'écorce terrestre est de 0,15 ppm).



Il n'existe pas de minerai de cadmium en quantités exploitables.

Le cadmium est principalement associé au zinc dans les gisements, avec une teneur comprise entre 0,01 et 0,05 %. La production de cadmium est une activité industrielle connexe à celle du zinc<sup>2</sup> avec des rendements de 1,8 à 6 kg de cadmium par tonne de zinc élaboré (3 kg en moyenne). Le cadmium est également présent dans des minerais de plomb et de cuivre, ainsi que dans des phosphates naturels.

La production mondiale est estimée à 24 000 tonnes (2024). La plupart de la production primaire de cadmium se fait en Asie, les trois principaux producteurs étant la Chine, la Corée et le Japon. En Europe, la production est estimée à 1 770 tonnes (2016) – [source : USGS].

La France n'a plus de production minière de cadmium depuis la fermeture, en décembre 1993, du gisement de zinc-germanium-argent de Saint-Salvy (81). La production provient principalement du recyclage de batteries Ni-Cd.

Les utilisations du cadmium sont nombreuses. On l'utilise notamment pour la fabrication de batteries (en 2016, la production de batteries Ni-Cd représentait plus de 80 % de la consommation mondiale du cadmium<sup>3</sup>), de pigments, d'alliages (son point de fusion permet la fabrication d'alliages spéciaux qui présentent une bonne résistance à la corrosion) ou de revêtements de pièces métalliques ou encore comme stabilisateur pour certaines matières plastiques.

### 1.1.2 Une grande variabilité naturelle de la teneur en cadmium dans les roches et sols

La teneur en cadmium varie fortement selon la nature des roches. Par exemple, les craies et les calcaires sont naturellement riches en cadmium.

La présence de cadmium dans les sols s'expliquant, en partie, du fait de l'altération de la roche mère sous l'influence de processus physiques, chimiques et biologiques, les sols qui se situent sur des roches calcaires comme en Champagne, en Charente ou dans le Jura ont des fortes teneurs naturelles en cadmium<sup>4</sup>. Les teneurs peuvent être aux environs de 1 mg Cd/kg de sol alors que la médiane nationale est de 0,2 mg/kg (RMQS) et ces sols chargés sont des sols agricoles, notamment emblavés.

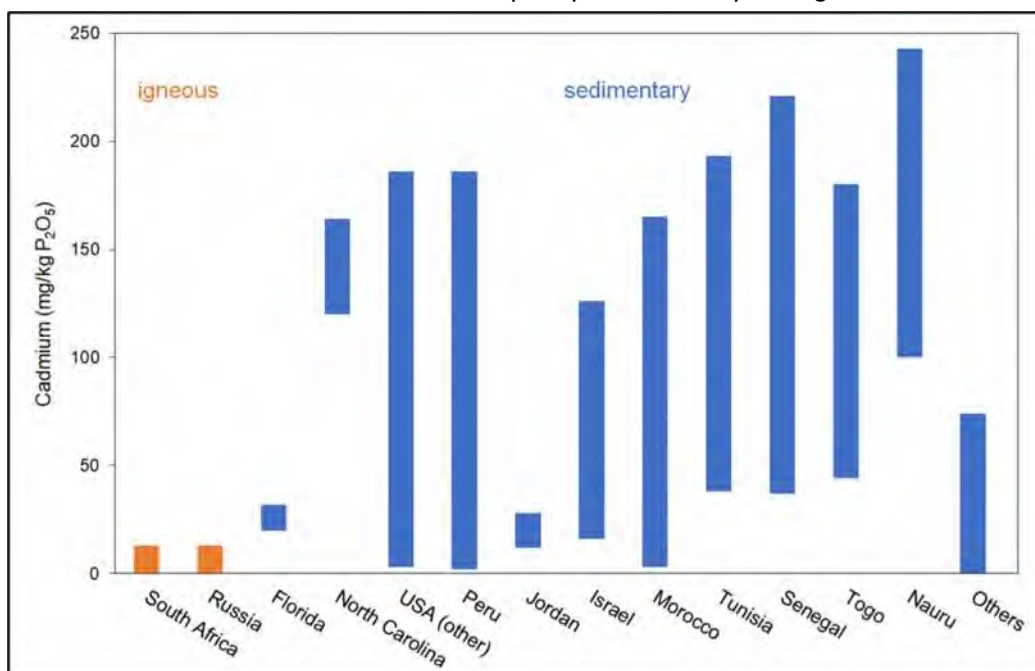
La teneur en cadmium est également très variable dans les différents minerais (zinc, plomb, cuivre...) ainsi dans les sites d'extraction des roches phosphatées (cf. schéma suivant et annexe 4). Il existe deux grandes sources de phosphates naturels, l'une d'origine sédimentaire, avec des teneurs en cadmium pouvant être élevées, l'autre d'origine ignée, avec des teneurs en cadmium faibles.

<sup>2</sup> Le cadmium est récupéré par filtration du gaz provenant de la pyrométallurgie ou récupéré des effluents de l'hydrométallurgie du zinc.

<sup>3</sup> Source USGS. Leur utilisation est interdite en Europe depuis 2006 (directive 2006/66) en dehors des systèmes d'urgence, d'alarme, notamment les éclairages de sécurité, et les équipements médicaux. Cette réglementation a été renforcée par le règlement 2023/1542 du 12 juillet 2023 qui interdit, à partir du 18 août 2025, les batteries NiCd dans les applications portables.

<sup>4</sup> La part naturelle du métal peut y représenter 75 à 80 % du total, voire davantage (source : Thibault Sterckeman).

### Teneurs en cadmium des phosphates bruts par origine



Source : Dittrich and Klose, 2008 ; Kharikov and Smetana, 2000 ; Mar and Okazaki, 2012 ; Oosterhuis et al., 2000 ; Roberts, 2014) in Kubier 2019 – Cadmium in soils and groundwater : A review.

## 1.2 Une évaluation délicate des flux de cadmium liés aux activités humaines au sein des différents compartiments environnementaux

La forme chimique et la concentration de cadmium dans les différents compartiments (sol, air, eau, organismes vivants) peuvent être modifiées par les activités humaines : métallurgie, combustions, épandage de déchets organiques ou d'engrais phosphatés minéraux, qui peuvent être particulièrement riches en cadmium, érosion et lessivage des sols, décharges industrielles...

### 1.2.1 Des retombées atmosphériques en baisse

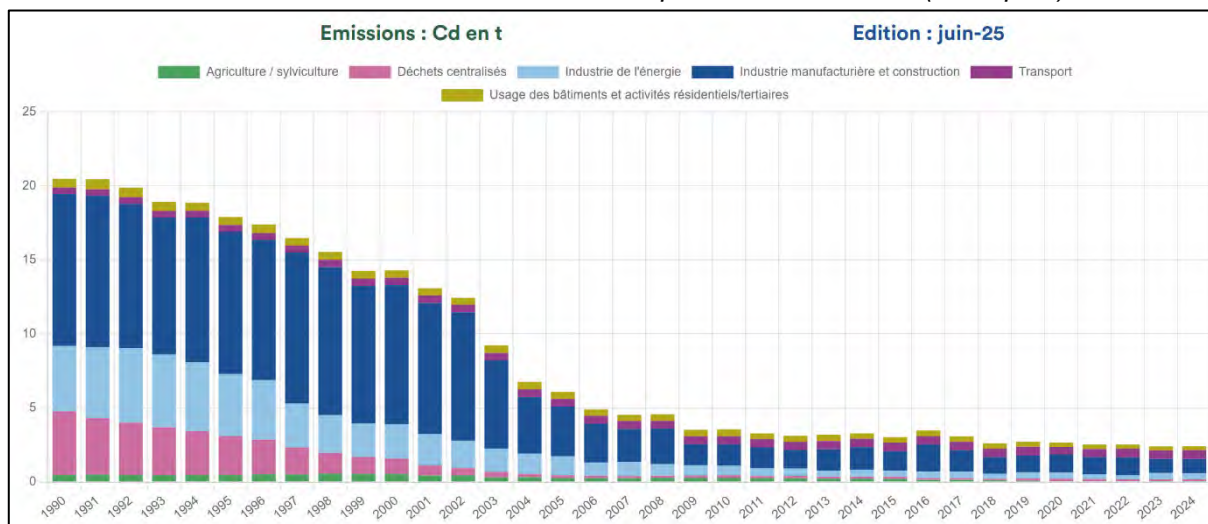
Les émissions anthropiques de cadmium sont induites principalement par la production de zinc et l'incinération de déchets. La combustion des combustibles minéraux solides, du fioul lourd et de la biomasse, entraîne également des émissions importantes. Le cadmium peut également être émis de manière naturelle par entraînement de particules provenant du sol ou par éruptions volcaniques. En France métropolitaine, le taux du cadmium est conforme aux normes de qualité dans l'ensemble des points de mesure dans l'air en 2016. Les rejets de cadmium dans l'air sont d'environ 1,5 tonne par an (moyenne 2011-2015).

Le suivi détaillé assuré par le Citepa montre que les émissions de cadmium ont baissé de près de 90 % entre 1990 et 2025. Cette baisse s'observe dans tous les secteurs, excepté les transports<sup>5</sup> (cf. annexe 5). La métallurgie reste le premier secteur émetteur de Cd avec 31 % des émissions atmosphériques.

La baisse globale des émissions de cadmium s'explique en grande partie par les progrès réalisés dans les secteurs industriels, en particulier la sidérurgie et la métallurgie des métaux non ferreux, et dans le traitement des fumées des usines d'incinération. La baisse la plus importante des émissions a eu lieu entre 2000 et 2005 (- 58 %). Plus récemment, entre 2008 et 2020, le secteur de l'industrie manufacturière a connu une forte réduction de ses émissions du fait d'une meilleure gestion du minerai de fer (contenant moins de métaux lourds) pour fabriquer l'aggloméré dans le procédé sidérurgique, de la mise en place de dépoussiéreurs en 2009 sur plusieurs fours du secteur verrier (verre creux) et, enfin, de la crise économique, qui a entraîné un ralentissement de l'activité.

<sup>5</sup> Les émissions de cadmium dans les transports sont essentiellement dues à combustion de l'huile et suivent l'évolution du trafic routier.

## Évolution des émissions de cadmium depuis 1990 en France (Métropole)



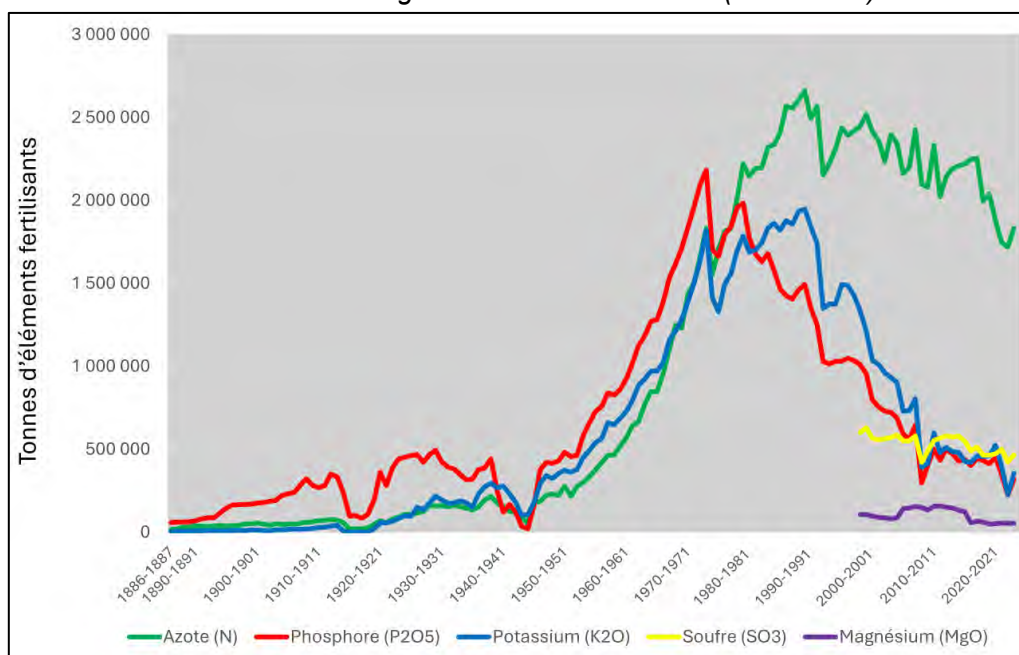
Source : Citepa, 2025. Inventaire des émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre en France.

Les rejets annuels de cadmium dans l'eau (moyenne 2011-2015) sont inférieurs à une tonne. Seules deux masses d'eau de surface (lagune de Bages dans l'Aude et canal de la Deule dans le Pas-de-Calais) ont des concentrations excessives en cadmium et une masse d'eau souterraine présente des concentrations élevées (Moselle). Dans le Nord, les vallées de la Somme et de la Seine aval, la Lorraine et l'Alsace, le cours du Rhône et son delta, certains sites et sols pollués par une activité actuelle ou ancienne sont également sources de dispersion de cadmium.

### 1.2.2 Des apports par les amendements et matières fertilisantes en diminution

Les principales sources d'apport en cadmium liées aux activités agricoles sont les engrais minéraux et plus particulièrement les engrais phosphatés (cf. annexe 6), ainsi que les déjections animales qui, malgré une teneur en cadmium limitée, peuvent constituer un apport important du fait des quantités épandues. L'épandage de boues issues de stations d'épuration apporte également du cadmium, mais leur usage est concentré sur une part limitée de la SAU (cf. annexe 7).

#### Les livraisons d'engrais minéraux en France (1886-2024)



Source : UNIFA.

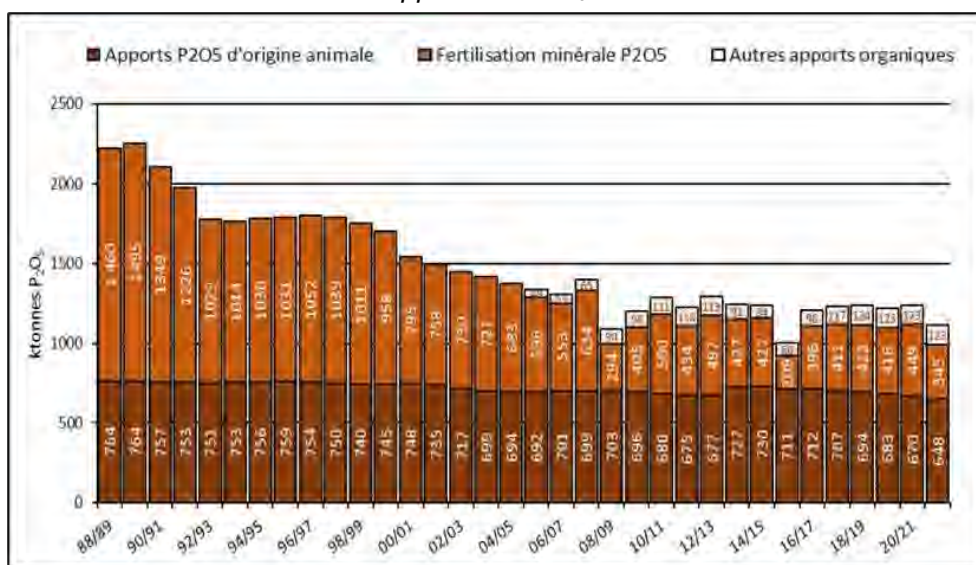
L'évolution des livraisons d'engrais phosphatés depuis la fin du XIX<sup>e</sup> siècle (graphique ci-dessus) montre clairement un accroissement sensible à partir de 1950, pour atteindre un pic vers les années 70-80, avant de décroître fortement jusqu'en 2010 et rester plus ou moins stable jusqu'à nos jours.

Selon l'Observatoire pour la fertilisation minérale et organique<sup>6</sup>, entre 1972 et 2017, les livraisons de phosphore ont chuté de près de 80 % avec environ 430 000 tonnes en 2017 soit 7,3 kg de phosphore vendu par hectare fertilisable<sup>7</sup>, contre 31,5 kg en 1972.

Si on considère tous les apports de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (cf. schéma suivant), on constate que ces derniers ont globalement chuté de 43 % entre 1988 et 2022, avec - 70 % pour le P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> d'origine minérale, - 10 % pour le P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> d'origine animale et + 28 % pour le P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> des autres apports organiques (depuis 2006).

En 2022, la fertilisation minérale représentait 34 % des apports de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, contre 56 % pour les déjections animales et 10 % pour les autres apports organiques. Cette répartition varie entre les régions selon l'importance de l'élevage (cf. annexe 8).

Évolution des apports de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de 1988 à 2022



Source : Léo Bellenger - 16<sup>e</sup> Rencontres Comifer-GEMAS : 21-22 novembre 2023 – Tours.

Cette forte baisse moyenne ne doit pas faire oublier que les pratiques agricoles varient fortement selon les cultures, comme l'illustre le tableau ci-après.

En 2021, un peu moins de la moitié des surfaces de grandes cultures avait reçu des engrais minéraux phosphatés : le blé tendre, l'avoine et le triticale avaient reçu du phosphate sur un peu plus d'un tiers des surfaces, les autres cultures sur environ la moitié, et le maïs grain, les pommes de terre ou le lin fibre sur plus des deux tiers. Il en résulte que les apports de phosphate minéral (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) s'élevaient en moyenne à 52 kg (soit environ 23 kg de phosphore) par hectare fertilisé, ou bien 25 kg (soit environ 11 kg de phosphore) par hectare de grande culture.

Sur une période de cinq ans (de 2017 à 2021), les surfaces de grandes cultures avaient reçu 2,5 apports de phosphates, soit, en moyenne, un apport tous les deux ans.

Au regard des pratiques de fertilisation phosphatée d'autres pays, en Europe ou dans le monde, la France n'apparaît pas dans les plus gros consommateurs d'engrais minéral à l'hectare, quel que soit le type de culture (cf. détail en annexe 8). Elle se situe plutôt dans la moyenne (UE) et bien en dessous de certains pays comme la Chine ou le Japon.

<sup>6</sup> Porté par les organisations professionnelles membres de l'ANPEA (Association Nationale Professionnelle pour les Engrais et Amendements), cet observatoire a pour objectif de réunir les statistiques de l'UNIFA (Union des Industries de la Fertilisation), de la CAS (Chambre syndicale des Améliorants organiques et Supports de culture) et de l'AFCOME (Association Française de Commercialisation et de Mélange d'Engrais) sur les engrais et amendements organiques et minéraux destinés à l'agriculture.

<sup>7</sup> Surface fertilisable : terres labourables + surfaces toujours en herbe (hors parcours et pacages) + cultures fruitières + vignes + cultures maraichères + cultures florales + jardins familiaux + pépinières – jachère agronomique (non fertilisée).

### Apports de phosphore minéral sur quelques cultures

	Part de surface avec apport de phosphore minéral (en %)	Nombre d'années avec apport sur les cinq dernières années (an)	Apport moyen sur l'ensemble des parcelles (en kg/ha)	Apport moyen sur l'ensemble des parcelles fertilisées (en kg/ha)
Blé tendre	38	2,4	18,0	46,9
Blé dur	55	2,7	28,8	52,4
Triticale	32	1,6	12,9	41,0
Colza	53	2,7	33,5	63,3
Tournesol	51	2,8	24,6	48,3
Pois protéagineux	44	2,7	24,6	56,3
Mais fourrage	55	1,8	23,7	43,3
Mais grain	68	3	38,7	56,5
Betterave sucrière	48	2,4	35,3	74,3
Pomme de terre	68	2,4	54,5	80,6
Orge de printemps	50	2,8	26,6	53,3
Orge d'hiver	51	2,6	26,2	51,3
Avoine de printemps	28	1,9	13,4	47,6
Avoine d'hiver	30	1,9	12,4	40,6
Sorgho	45	2,5	22,1	49,3
Lin fibre	72	2,8	17,1	57,3

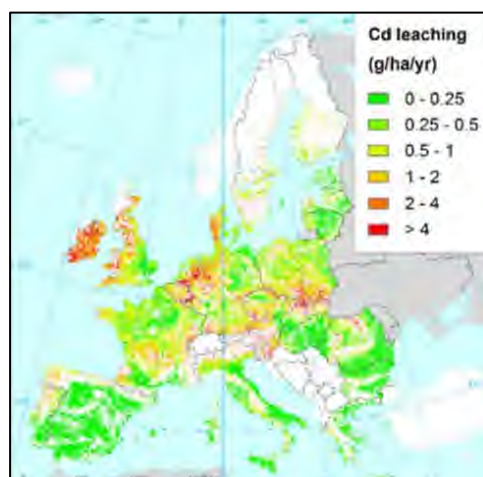
Source : SSP - Agreste - Enquête Pratiques culturales en grandes cultures 2021.

Note de lecture (première ligne) :

- 38 % de la surface de blé tendre a bénéficié d'un apport de phosphore minéral,
- La quantité moyenne de phosphore minéral apporté pour le blé tendre est de 18 kg.

### 1.2.3 Des pertes par lixiviation difficiles à mesurer et très variables

Exceptés des processus d'érosion, le cadmium présent dans les sols peut être exporté par lixiviation. Les études permettant de quantifier in situ ce phénomène sont toutefois peu nombreuses et les résultats obtenus sont difficilement généralisables compte tenu des paramètres qui influencent la diffusion et l'entraînement du cadmium dans les eaux interstitielles.



Des taux de lessivage moyen en Europe de l'ordre de 2,5 g Cd/ha/an avaient été rapportés (Six et Smolders, 2014) mais ces valeurs se sont avérées trop élevées du fait d'artéfacts lors des mesures sur des échantillons de sols. D'autres études ont mis en avant de fortes variations spatiales comme l'illustre la carte ci-contre (cf. Annexe 9).

Un dispositif expérimental récent sur trois sites en Lorraine a permis de mesurer avec précision ces flux et conclut en ces termes « Dans l'ensemble, les concentrations en solution dans l'eau percolant sont très faibles, nettement inférieures à celles estimées par les fonctions de pédotransfert proposées ou utilisées dans de précédents travaux scientifiques, qui de ce fait, conduisent à une surestimation des sorties d'ETM ».

### 1.2.4 Des exportations par la biomasse récoltée

Les récoltes de biomasse constituent l'autre source d'exportation du cadmium contenu dans les sols. À cet égard, les plantes accumulent plus ou moins le cadmium selon l'espèce ou la variété. Les différences d'accumulation mesurée sont au minimum d'un facteur 2 et pour une même variété de blé et un même site, des différences d'accumulation de cadmium dans les grains entre les années, d'un



facteur 2 à 3<sup>8</sup>. Les espèces de grande culture considérées comme les plus accumulatrices en cadmium dans leurs grains ou graines sont le tournesol, le lin, le riz et le blé dur. La moins accumulatrice semble être le maïs. Le blé est dans la moyenne en la matière. Le cadmium s'accumule généralement plus dans les racines, puis les feuilles, les tiges et enfin les grains ou graines.

*Exemple de variabilité des teneurs en cadmium dans les organes récoltés de quelques végétaux*

Végétal	Nombre de parcelles considérées	Cd (mg/kg MS)	
		Minimum	Maximum
Blé tendre	104	0,01	0,35
Blé dur	24	0,02	0,49
Tournesol	31	0,06	1,11

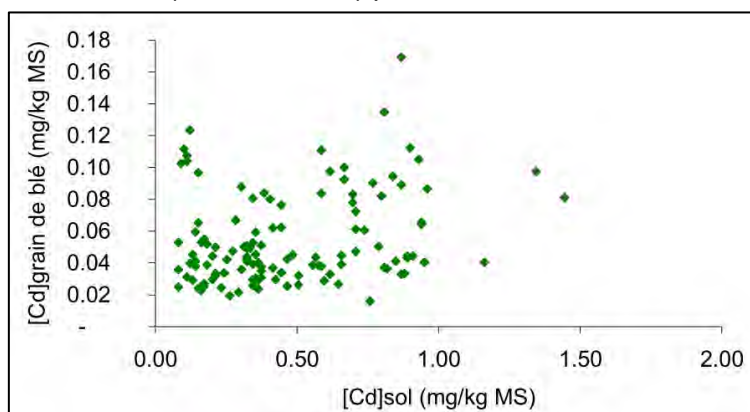
Source : RMT QUASAPROVE

Au-delà du déterminisme génétique, les caractéristiques physico-chimiques du sol gouvernent l'assimilation du cadmium par les plantes. Le cadmium – et le phosphore – se dissolvent dans l'eau du sol et se fixent sur des particules (argile, oxydes de fer, carbonates, matière organique...). Les racines vont puiser dans cette solution et assimiler les éléments nutritifs, mais aussi du cadmium en « passager clandestin ». La fraction de cadmium potentiellement absorbable ou assimilable à un instant donné est qualifiée de biodisponible.

Cette biodisponibilité est donc dépendante des conditions de milieu et notamment du PH qui agit sur la solubilité (plus élevée en conditions acides) et sur les capacités d'absorption-désorption aux particules du sol. Le taux de matière organique est également important : plus il est élevé, moins les métaux, dont le cadmium, auront tendance à passer en solution<sup>9</sup>.

Une relation directe entre la teneur en cadmium des sols et celle des végétaux n'est pas évidente du fait de la biodisponibilité très variable du cadmium, comme l'illustre le graphique ci-dessous.

*Comparaison entre les teneurs totales de cadmium dans les sols et les teneurs dans le grain de blé (variété Trémie) pour l'étude QUASAR*



Source : (d'après Sappin-Didier et al., 2002) in Laurence Denaix, Christophe Nguyen, Valérie Sappin-Didier, André Schneider. Synthèse sur la contamination en cadmium des productions végétales de grandes cultures. 2010.

De fait, si l'apport de phosphore minéral ou organique peut enrichir le sol en cadmium, l'augmentation des teneurs en cadmium des végétaux n'est pas automatique, ni proportionnelle aux quantités apportées. Une étude récente<sup>10</sup>, utilisant le marquage isotopique du cadmium, a

<sup>8</sup> Source : Laurence Denaix, Christophe Nguyen, Valérie Sappin-Didier, André Schneider. Synthèse sur la contamination en cadmium des productions végétales de grandes cultures. 2010.

<sup>9</sup> Le cadmium dans le sol est principalement absorbé sous sa forme cationique (Cd<sup>2+</sup>). Les molécules organiques dans l'humus, issues de la décomposition de matières végétales, de compost, de fumier, d'engrais organiques, transformées par la microflore du sol, sont chargées négativement.

<sup>10</sup> Christoph Bracher, Emmanuel Frossard, Moritz Bigalke, Martin Imseng, Jochen Mayer, Matthias Wiggerhauser. Tracing the fate of phosphorus fertilizer derived cadmium in soil-fertilizer-wheat systems using enriched stable isotope labeling. Environmental Pollution 287. 2021.

montré que seule une petite part (moins de 2,3 %) du cadmium fraîchement appliqué a été absorbée par du blé et plus de 97,7 % sont restés dans le sol. Ce dernier reste majoritairement mobilisable et potentiellement disponible pour le cycle de culture suivant.

Une autre étude<sup>11</sup>, réalisée en serre, ne montre pas de différence significative dans l'absorption du cadmium lorsque l'engrais phosphoré est utilisé avec des niveaux de cadmium variant entre 0,04 et 60 mg Cd/kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Les différences dans les propriétés du sol (acidité et teneur en matière organique), combinées à la teneur en cadmium du sol, contrôlent la variation à court terme (un cycle de récolte) des concentrations de cadmium dans les cultures.

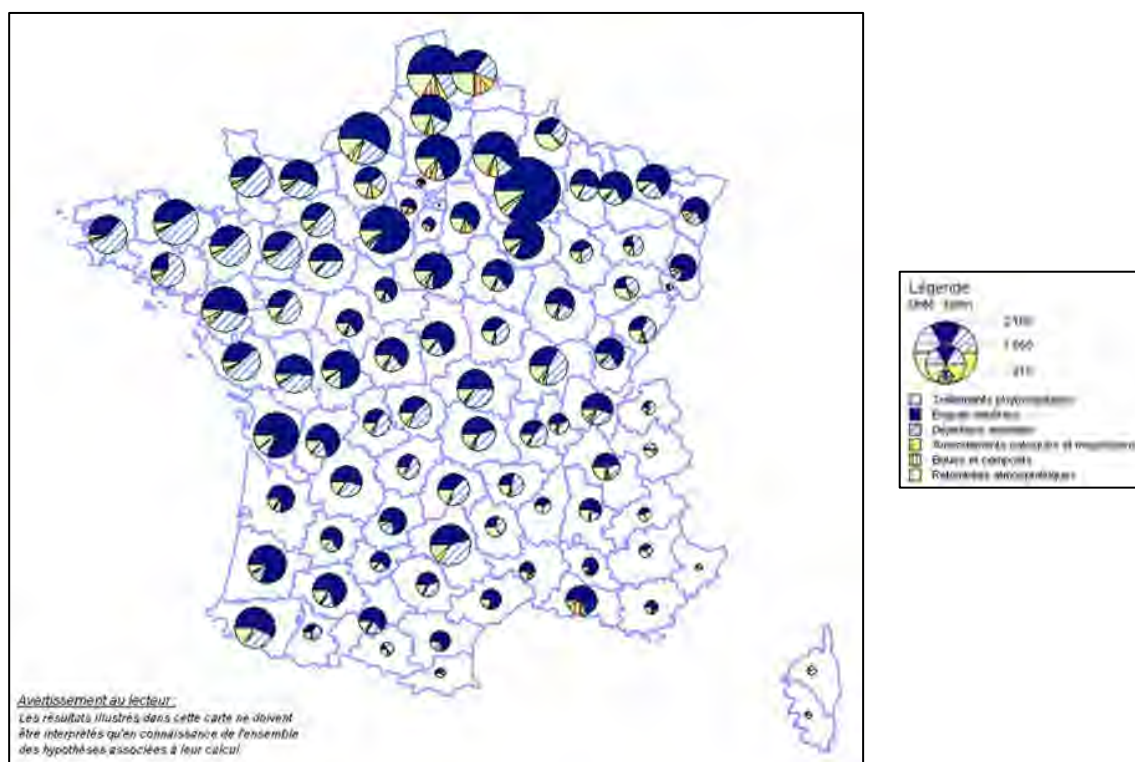
L'annexe 10 détaille quelques résultats d'études relatives aux transferts entre le sol et les plantes.

### 1.2.5 Le poids relatif de différents flux

En 2007, l'ADEME a estimé la contribution des sources de cadmium entrant sur les sols agricoles français à 54 % pour les engrais minéraux, 25 % pour les déjections animales, 14 % pour les retombées atmosphériques, 5 % les boues et composts et 2 % pour les amendements calciques et magnésiens.

La principale source anthropique d'apport de cadmium aux sols provient donc de l'utilisation d'engrais minéraux phosphatés pour l'agriculture. Cette même étude a également permis de mettre en avant des niveaux de contributions relatives variables selon les régions et les principales productions agricoles associées, comme l'illustre la carte ci-dessous.

*Bilan des flux de cadmium entrant sur les sols agricoles de France métropolitaine*

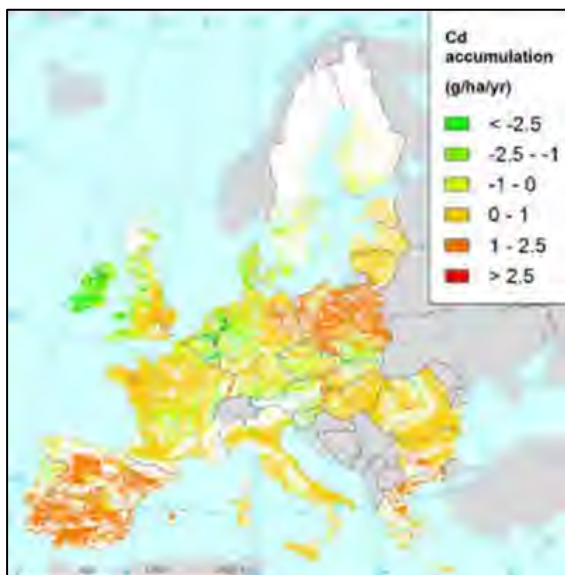


Source : ADEME SOGREAH. Bilan des flux de contaminants entrants sur les sols agricoles de France métropolitaine. 2007.

Une étude plus récente<sup>12</sup> estime que les apports d'engrais phosphorés représentent environ 74 % des apports de cadmium des sols français. Les apports totaux de cadmium sont évalués à 1,89 g Cd/ha/an (très proches de ceux estimés pour la France par Belon et al. 2012 : 1,83 g Cd/ha/an).

<sup>11</sup> Paul Römkens, René Rietra, Hans Kros, Jan Cees Voogd, Wim de Vries. Impacts of cadmium levels in fertilisers on cadmium accumulation in soil and uptake by food crops. Wageningen University and Research 2018.

<sup>12</sup> Thibault Sterckeman, Lucas Gossiaux, Sophie Guimont, Catherine Sirguy, Zhongbing Lin. Cadmium mass balance in French soils under annual crops: Scenarios for the next century. Sci. Total Environ. 639. 2018. Corrigendum Sci. Total Environ. 650. 2019.

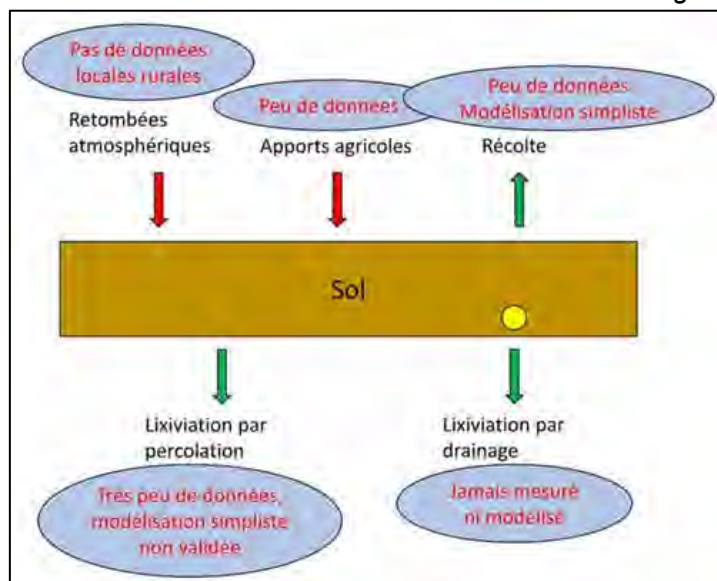


Une étude de 2024<sup>13</sup>, s'intéressant aux sols de l'Union européenne, met en avant un apport moyen de cadmium dans les sols agricoles d'environ 0,7 g/ha/an (soit 0,17 % d'apport de cadmium par an pour les terres agricoles par rapport aux stocks de cadmium). L'étude précise que « évidemment, une partie du Cd est absorbée par les plantes (Haider et al., 2021) mais le cycle complet reste inconnu (par exemple quelle quantité est lessivée, transportée par ruissellement ?) ». L'annexe 9 présente quelques résultats sur les bilans des flux de cadmium actuels par pays au sein de l'Union européenne qui illustrent notamment la variabilité spatiale des résultats. La carte ci-contre présente ainsi l'accumulation nette de cadmium par hectare.

(Source : Paul Römken et al. 2018. Ibid.).

Ces mesures de flux restent très délicates et les difficultés à quantifier un bilan des apports et pertes de cadmium dans les sols sont illustrées par le schéma suivant, issu d'une étude récente in situ en Lorraine.

#### Résumé de l'état de l'art sur le flux d'ETM dans les sols agricoles



La percolation est le passage de l'eau à travers le milieu poreux qu'est le sol. Le drainage est l'évacuation artificielle de l'eau gravitaire par un réseau de tuyaux plastiques flexibles perforés.

Source : Sterckeman Thibault, Pierlot Frédéric, Herber Éric, Turpault Marie-Pierre, 2025. Mesure de flux d'éléments en traces en sols agricoles et forestiers. Projet FETSA (APR IMPACTS 2020). Avril 2025.

## 1.3 Quelle dynamique d'accumulation du cadmium dans les sols ?

### 1.3.1 Au niveau européen, des taux de cadmium dans les sols très disparates

L'ensemble de données du module de sol LUCAS 2018 contient des données pour 18 984 sites, dont 13 375 ont été visités dans le cadre des trois enquêtes (2009/2012, 2015, 2018). La concentration en métaux a été mesurée dans 997 localités (essentiellement 0-20 cm), dont 90 % étaient des ré-échantillonnages de sites de 2009/2012.

<sup>13</sup> Cristiano Ballabio, Arwyn Jones, Panos Panagos. Cadmium in topsoils of the European Union – An analysis based on LUCAS topsoil database. Science of the Total Environment 912. 2024.

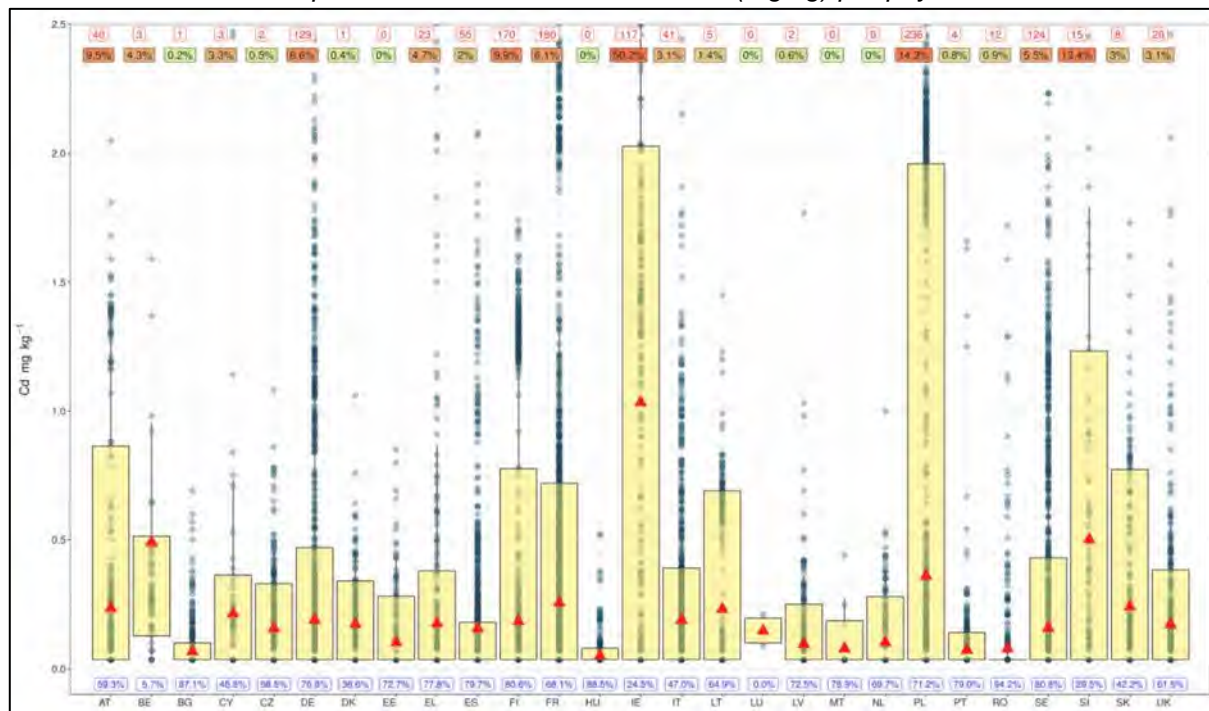
### Résumé de la teneur en cadmium dans les échantillons sélectionnés (g/mg)

< LOD	Minimum	Maximum	Moyenne	Médiane
58	0,20	10,40	0.51	0,40

Source : LUCAS Soil 2018.

Une analyse de ces données a été réalisée en 2024 et permet de mettre en évidence la variabilité des résultats, en fonction du type d'occupation du sol et par pays (cf. annexe 11). Le graphique ci-dessous montre la distribution des teneurs en cadmium mesurées par pays.

### Répartition de la teneur en cadmium (mg/kg) par pays.



Le triangle rouge est la valeur moyenne de cadmium. En bas, les % expriment la proportion d'échantillons en dessous de la limite de détection 0,07 mg/kg. Le nombre d'échantillons et le % (proportion aux échantillons) supérieur au seuil de 1 mg/kg sont en haut. La boîte à moustaches représente le 90<sup>e</sup> percentile.

Source : Cristiano Ballabio, Arwyn Jones, Panos Panagos. Cadmium in topsoils of the European Union – An analysis based on LUCAS topsoil database. Science of the Total Environment 912. 2024.

La valeur moyenne de Cd dans les sols arables de l'UE est de 0,20 mg/kg, légèrement plus élevée dans les prairies (0,24 mg/kg) que dans les terres cultivées (0,17 mg/kg). L'étude montre également que la concentration de phosphore n'est pas statistiquement significative en tant que prédicteur du cadmium. Il n'existe pas de forte corrélation entre le cadmium et les concentrations de phosphore disponible dans les sols, sauf dans le cas de l'Irlande.

Un autre jeu de données collecté pour le projet « Cartographie géochimique des sols agricoles et de pâturages d'Europe » (GEMAS) a rassemblé plus de 4 000 échantillons de sols agricoles et de pâturages dans 33 pays d'Europe. La concentration médiane européenne de cadmium est de 0,182 mg/kg dans les sols agricoles et de 0,197 mg/kg dans les sols des pâturages.

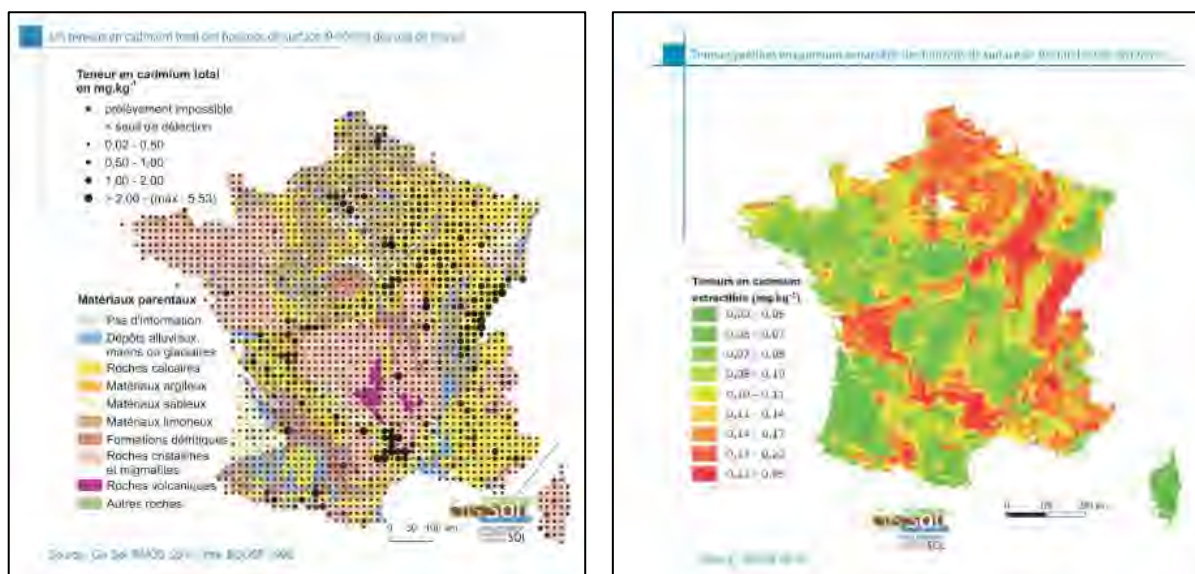
Une étude très récente<sup>14</sup> a développé un cadre d'apprentissage automatique intégré géochimique utilisant des données multisources pour prédire la distribution de la spéciation<sup>15</sup> du cadmium dans les couches arables non industrielles européennes et chinoises. La teneur totale moyenne en cadmium des couches arables chinoises (0,41 mg/kg) était d'environ 10,8 % supérieure à celle de l'Europe, tandis que la teneur moyenne en cadmium dissous (113,2 µg/l) était d'environ 16,8 % supérieure. L'interprétation mécaniste a révélé que la baisse du pH, de la matière organique du sol et de la teneur en ferrihydrite amorphe était principalement attribuée à la biodisponibilité plus élevée en Chine.

<sup>14</sup> Zhang, N., LV, C., LI, Y., Panagos, P., Ballabio, C. et al., Geochemical-integrated machine learning approach predicts the distribution of cadmium speciation in European and Chinese topsoils, COMMUNICATIONS EARTH & ENVIRONMENT, 6. 2025.

<sup>15</sup> En chimie analytique, la spéciation correspond à identification des formes chimiques d'un élément dans un milieu.

### 1.3.2 Des résultats similaires au niveau français

Carte des teneurs en cadmium total des sols entre 0 et 30 cm de profondeur (mg/kg)



Source : GIS Sol – RMQS.

Le GIS sol conduit des campagnes de mesure de la qualité des sols dans le cadre du RMQS. L'analyse des échantillons de la première campagne, réalisée de 2001 à 2010, a permis de dresser une carte des teneurs en cadmium dans les horizons de surface. Plus de la moitié des valeurs mesurées dans le RMQS sont inférieures à 0,2 mg/kg. Les craies et les calcaires sont des roches naturellement riches en cadmium avec des teneurs pouvant dépasser 2 mg/kg. Les sols crayeux et les sols argileux issus de la dissolution de ces roches montrent ainsi souvent des anomalies en cadmium.

Les apports anthropiques peuvent également être remarqués : en effet, on peut observer des contaminations diffuses autour de grands secteurs miniers ou industriels dues aux émissions et retombées atmosphériques autour de ces sites, comme dans le bassin du Nord-Pas-de-Calais connu pour l'exploitation intensive de la houille ou dans le Gard où des mines de zinc ont été exploitées jusqu'en dans les années 1950. Au nord-ouest de la région parisienne, les contaminations observées sont essentiellement dues à la proximité de sites industriels mais également par d'anciens apports de quantités très importantes de boues de station d'épuration.

Dans le cadre des plans d'épandage, deux collectes nationales, initiées par l'ADEME et réalisées par l'INRA en 1998 et en 2009, ont permis de rassembler des résultats d'analyses en éléments traces métalliques sur plus de 73 500 échantillons de sols prélevés en surface (horizons labourés). Le jeu de données comporte principalement des sols agricoles (très peu de sols sous prairies, pas de sols forestiers, d'alpages ou sous végétation spontanée) et des sols situés en positions planes. L'immense majorité des analyses récoltées provient de plans d'épandages de boues d'épuration et dans une moindre mesure de programmes scientifiques. Les médianes nationales sont à des niveaux plutôt faibles (0,28 mg Cd/kg) et corrobore les mesures du RMQS.

### 1.3.3 Un manque de données de suivi, en particulier dans les sols

Les éléments précédents montrent que les niveaux et sources de contaminations des différents compartiments environnementaux ont été progressivement documentés depuis une trentaine d'années. S'agissant d'éléments traces, la qualité des mesures a fortement évolué (méthode, seuil de détection...). D'importantes évolutions sectorielles ont été constatées pendant ces trois décennies : baisse importante des émissions d'origine industrielle, réduction des quantités d'engrais phosphatés épandus.

Le sol étant le réceptacle principal des flux de cadmium, un suivi temporel dans le cadre du réseau RMQS apparaît essentiel. À cet égard, lors de la deuxième campagne de mesure, les teneurs en cadmium des échantillons n'ont pas été mesurées, faute de moyens suffisants.

Le GIS sol conservant tous les échantillons, ces mesures peuvent toutefois être réalisées. À partir des échantillons conservés dans le conservatoire européen des échantillons de sols, la mission recommande d'actualiser les travaux de caractérisation des teneurs et sources de cadmium dans les sols.

En effet, il semble qu'à des doses raisonnables de fertilisation phosphatée, le risque d'accumulation dans les sols soit assez faible. Le cadmium des engrais passe très peu dans la plante car il est minoritaire par rapport au cadmium déjà présent dans le sol (0.2 - 0,3 mg Cd/kg de sol sur l'horizon 0-30 d'après le RMQS). Une dose assez élevée de 50 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> à 60 mg de Cd/kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> apporte 3 g de Cd/ha sur un sol qui en contient sur l'horizon cultivé 1,05 kg Cd/ha (3 500 t de terre/ha, 0,3 mg Cd/kg terre) soit un apport de 0.3 % du stock initial. L'accumulation est donc une problématique pluri-décennales qui peut difficilement expliquer de fortes variations en quelques années dans les plantes. Toutefois, les engrais peuvent localement acidifier le sol (TSP, phosphate d'ammonium) et augmenter la biodisponibilité du cadmium, sans compter des interactions complexes – et peu documentées – au sein de la plante entre le phosphore, le zinc le fer et le cadmium.

**Recommandation 1. [ GIS Sols ] Actualiser les données sur les teneurs et sources de cadmium dans les sols.**

## 1.4 Des enjeux sanitaires majeurs de plus en plus médiatisés

### 1.4.1 Des risques sanitaires associés au cadmium connus de longue date et de plus en plus documentés

Le Plan national santé environnement 2015-2019 (PNSE 3) avait fait de la prévention aux risques liés à l'exposition aux métaux lourds tels que le cadmium une de ses priorités. Dans le PNSE 4, trois polluants, dont le cadmium, ont été identifiés comme prioritaires dans les cas de pollution de sols.

Le cadmium, métal lourd<sup>16</sup>, présente en effet de grands risques. Il s'accumule dans l'organisme (foie, reins avec des demi-vies respectives de 6 à 38 ans et 4 à 19 ans), et peut contribuer à l'apparition de nombreuses pathologies. L'exposition prolongée au cadmium par voie orale induit des atteintes rénales, une fragilité osseuse (ostéoporose<sup>17</sup>), des troubles de la reproduction, ainsi qu'un risque accru de cancer.

Le cadmium et ses composés sont classés dans la catégorie des agents cancérigènes chez l'homme (groupe 1) d'après le CIRC depuis 2012. Il est également classé cancérigène de catégorie 1B, mutagène sur les cellules germinales de catégorie 2 et toxique pour la reproduction de catégorie 2 selon le règlement européen CLP 1. Le cadmium fait partie des substances réglementées dans certaines denrées alimentaires et pour lesquelles on dispose d'une VTR nationale.

Mais l'exposition au cadmium par voie orale peut induire l'apparition d'autres cancers. Une méta-analyse réalisée en 2013 suggère une association positive entre la consommation de cadmium d'origine alimentaire et le risque de certains cancers hormonodépendants tels que celui de la prostate, du sein et de l'endomètre.

Plus récemment, les professionnels de santé ont alerté sur les cancers du pancréas, dont la prévalence en forte hausse serait associée à l'exposition au cadmium. Avec un taux de 9,4 cas pour 100 000 habitants en 2022, la France est le quatrième pays au monde dans le classement de la prévalence de cette maladie.

Dans son avis rendu en 2019, l'Anses indiquait que la concentration en cadmium urinaire ou cadmiurie de 0,5 µg/g de créatinine était retenue comme concentration critique dans les milieux biologiques à ne pas dépasser à 60 ans, en supposant que l'ingestion soit la seule source d'exposition au cadmium. L'Anses propose de retenir pour une exposition chronique par voie orale au cadmium la valeur de référence de 3,5.10<sup>-4</sup> mg/kg/jour<sup>18</sup>.

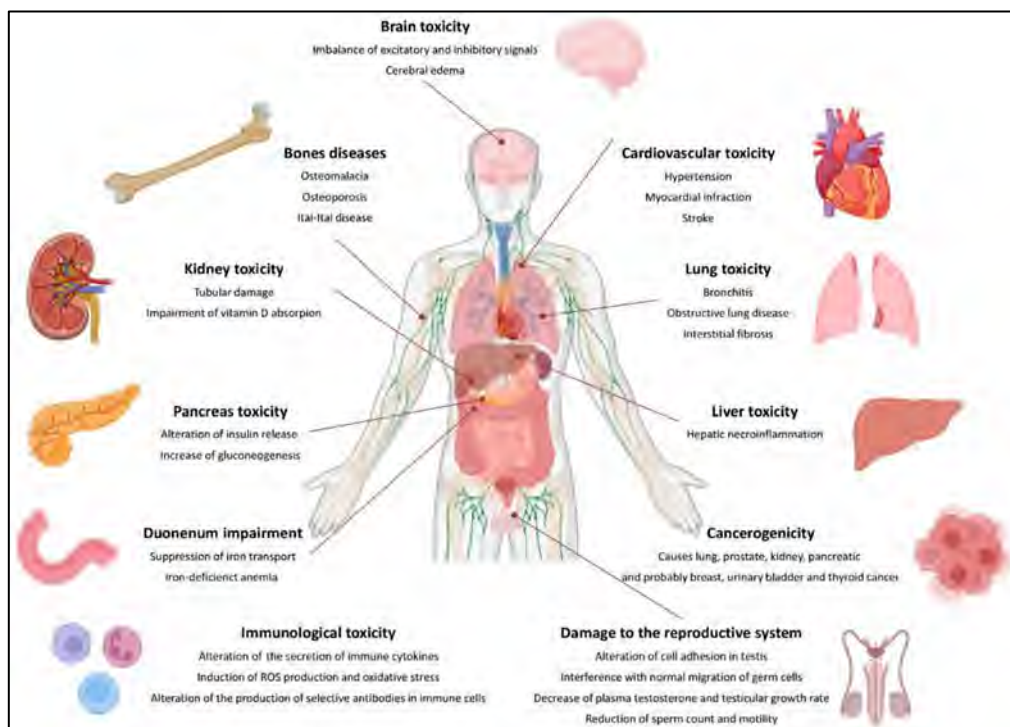
<sup>16</sup> Les métaux lourds sont des éléments métalliques présentant un poids atomique élevé, tels que le mercure, le chrome, le cadmium, l'arsenic et le plomb.

<sup>17</sup> Chez les femmes de plus de 55 ans, 23 % des cas étaient imputables à une exposition au cadmium (source HBM4EU).

<sup>18</sup> Cette VTR chronique par ingestion équivalait à une Dose Hebdomadaire Tolérable (DHT) de 2,45 µg cadmium/kg pc/semaine en supposant que l'ingestion soit la seule source d'exposition.

D'après la HAS, il est recommandé de retenir la concentration urinaire de cadmium de 1 µg/g créatinine comme seuil à partir duquel des effets sanitaires de l'exposition répétée au cadmium sont possibles (1 µg/g créatinine est la valeur guide de l'EFSA pour les effets rénaux chez les adultes de plus de 50 ans). De même, conformément à l'avis du HCSP, il est recommandé de considérer les sols dont la concentration de cadmium dans les 30-50 premiers centimètres est au moins égale à 1 mg/kg de matière sèche comme des sources potentielles de surexposition au cadmium pour les populations qui y séjournent.

### Effets négatifs de l'exposition au cadmium



Source : Paena et al 2022 - Cité par Pierre Souvet (entretien mission).

### 1.4.2 L'imprégnation de la population française en hausse

Deux types de mesures peuvent être considérés pour appréhender l'imprégnation de la population française par le cadmium : les taux urinaires de cadmium (en µg/l ou µg/g de créatinine) qui reflètent principalement l'exposition cumulative au cadmium lors d'expositions à long terme (½ vie de 15 à 30 ans) et les taux sanguins de cadmium qui reflètent les expositions récentes (½ vie de 3 à 4 mois).

Deux études principales évaluent l'imprégnation de la population française et son évolution sur le long terme (mesure de la cadmiurie en µg/g de créatinine) : ENNS 2006-2007 et Esteban 2014-2016.

La dernière étude Esteban 2014-2016<sup>19</sup> dresse les principaux constats suivants.

- L'imprégnation par le cadmium de la population française de 18 à 74 ans a fortement augmenté depuis 2006-2007 (ENNS) : la moyenne a évolué de 0,29 à 0,57 µg/g (augmentation de plus de 40 %). Elle est plus élevée qu'en Allemagne (0,18), aux États-Unis (0,19) ou en Italie (0,26). 47,63 % de la population adulte française avait une cadmiurie supérieure à 0,5 µg/g de créatinine.
- L'imprégnation moyenne chez les enfants est de 0,27 µg/g, soit quatre fois plus qu'en Allemagne et quinze fois plus qu'au Danemark. Elle est équivalente à l'imprégnation moyenne de l'ensemble de la population mesurée en 2006-2007 (ENNS). 18 % des enfants dépassent 0,50 µg/l.

<sup>19</sup> Le dosage du cadmium dans les urines a été réalisé sur 1 052 enfants et 2 419 adultes. Une stratification a été réalisée en fonction de deux variables : la région (8 zones géographiques) et le degré d'urbanisation (5 strates : rural ; < 20 000 habitants ; 20 000-100 000 habitants ; > 100 000 habitants, Paris).

## Principaux résultats des études ENNS et Esteban

Moyenne (90 <sup>e</sup> percentile)	Population de 18 à 74 ans		Population de 6 à 17 ans <sup>20</sup>
	ENNS 2006-2007 <sup>21</sup>	Esteban 2014-2016	
Population totale	<b>0,29</b> <b>(0,68)</b>	<b>0,57</b> <b>(1,65)</b>	<b>0,27</b> <b>(0,68)</b>
Femme <sup>22</sup>	0,33 (0,76)	0,68 (1,86)	0,26 (0,67)
Homme	0,25 (0,44)	0,47 (1,33)	0,28 (0,71)
Fumeur	0,32 (0,82)	0,65 (2,05)	---
Non-fumeur	0,27 (0,62)	0,50 (1,50)	---

Au niveau européen, le programme HBM4EU a analysé les niveaux de cadmium dans des échantillons d'urine d'adultes âgés de 20 à 39 ans, échantillonnés dans toute l'Europe (DK, IS, PL, CZ, HR, PT, DE, FR, LU) entre 2014 et 2021<sup>23</sup>. Les valeurs médianes variaient d'un facteur 3 à 4 entre les sites de l'UE. Sur la plupart des sites d'échantillonnage, 5 % des participants à l'étude ont dépassé les valeurs d'alerte recommandées pour les niveaux de cadmium urinaire. Les dépassements dans les différentes études et sites varient de 1,42 % à 41,98 %. Les études présentant le plus grand dépassement étaient Esteban (France) et POLAES (Pologne). La biosurveillance humaine est actuellement réalisée dans le cadre du partenariat de recherche PARC (*Partnership for the Assessment of Risks from Chemicals*) financé par l'UE.

Une étude récente<sup>24</sup> a exploré, au niveau européen, les expositions croisées à plusieurs métaux lourds (cadmium, plomb, arsenic inorganique et mercure inorganique). En utilisant la méthodologie personnalisée mRPI, l'exposition combinée a dépassé le niveau tolérable de 2 à 14 fois dans dix pays européens, en fonction des statistiques d'exposition, du scénario d'exposition et du pays. En cohérence avec les évaluations individuelles de chaque ETM, le cadmium et le plomb ont fortement contribué au mPRI personnalisé, suivis par l'arsenic inorganique.

L'annexe 12 détaille différentes sources portant sur l'exposition des populations.

### 1.4.3 Une surveillance des différentes sources de contamination

La surveillance officielle est mise en œuvre par la DGAL et la DGCCRF. Elle se décline en plans de surveillance (PS), qui permettent une évaluation de l'exposition du consommateur ou l'acquisition de données pour des substances émergentes non réglementées, et en plans de contrôle (PC) qui ciblent des denrées généralement contaminées et permettent d'évaluer l'efficacité des mesures de gestion.

Dans le domaine alimentaire, la surveillance du cadmium est pilotée par la DGAL. Ainsi, en 2023, 1 634 prélèvements exploitables ont été analysés. 26 prélèvements se sont révélés non conformes (24 animales et 2 végétales), soit un taux de non-conformité de 1,6 %. Seuls trois dépassent la teneur maximale (TM) pour le cadmium (1 foie vache de réforme, 1 chair de thon et 1 chair de calamar). En outre, 1 échantillon d'épinards (Origine France) et 1 échantillon d'artichauts (Origine France) sont proches de la TM pour la teneur en Cd.

<sup>20</sup> Chez les enfants, des études analogues ont montré des cadmiuries quatre fois plus faible en Allemagne et aux Etats-Unis, deux fois plus faible au Mexique... mais plus élevée en Corée.

<sup>21</sup> Les niveaux de ENNS étaient conformes à ceux rencontrés en France lors d'investigations précédentes (InVS en 1997, en 2000 et 2005 ; étude nationale sur les incinérateurs [Fréry 2009]) et à ceux rencontrés dans plusieurs autres pays (États-Unis : étude NHANES en 2003-2004 [CDC 2009] ; Canada dans l'ECMS en 2007-2009 [Santé Canada 2010] ; Tchèque 2005 [NIPH 2005, 2010]).

<sup>22</sup> La raison possible de la charge corporelle plus élevée de Cd chez les femmes est liée à une absorption gastro-intestinale plus élevée de Cd lorsque les réserves de fer sont faibles. Or, en France, il y a environ 25 % de carence en fer chez la femme non ménopausée.

<sup>23</sup> Le tableau de bord européen HBM contient 41 ensembles de données avec des données d'exposition au Cd intégrées et les métadonnées de 74 ensembles de données pour le Cd sont disponibles dans IPCHEM. Les nouvelles données sur le cadmium issues des études alignées HBM4EU sont basées sur 2 510 individus.

<sup>24</sup> R. Corinne Sprong et al. Combined chronic dietary exposure to four nephrotoxic metals exceeds tolerable intake levels in the adult population of 10 European countries, Food Additives & Contaminants: Part A. 2023.



Plusieurs textes juridiques guident également la réalisation des autocontrôles par les professionnels des filières et imposent depuis la loi EGalim n° 2018-938 la remontée des non-conformités aux autorités compétentes.

Hors alimentation, les réglementations européennes (dont REACH) couvrent les utilisations du cadmium, notamment pour les bijoux, la peinture, les plastiques et divers produits de consommation comme les piles et les jouets<sup>25</sup>. En 2023-2024, la DGCCRF a analysé plus de 300 échantillons de bijoux et de jouets pour enfants ; plus de 20 % des articles testés présentaient une teneur en cadmium supérieure aux seuils autorisés. Dans certains cas, les niveaux mesurés dépassaient de 100 à 300 fois la limite légale.

#### 1.4.4 En dehors du tabagisme, l'alimentation est la principale source d'exposition identifiée

Les métaux lourds pénètrent dans l'organisme par inhalation, ingestion ou exposition cutanée. Chez les fumeurs, l'inhalation de fumée de cigarette représente la principale source d'exposition au cadmium ; une cigarette contenant environ 2 µg Cd (particules fines d'oxyde de cadmium)<sup>26</sup>. Les personnes travaillant ou vivant à proximité d'industries relâchant du cadmium dans l'air (métallurgie, par exemple) sont également susceptibles d'en inhaler. Mais la principale voie d'exposition de la population au cadmium est actuellement l'alimentation (90 % de l'exposition pour les non-fumeurs). Les concentrations en cadmium dans l'alimentation humaine, selon différents travaux, sont détaillées dans l'annexe 13.

##### Principales sources d'apports alimentaires de cadmium



Source : Fiche pédagogique Élément Trace Métallique (ETM) – Cadmium. RMT Quasaprove, INRAE, Acta.

Dans la dernière étude de l'alimentation totale française (EAT 2) réalisée par l'Anses entre 2006 et 2011, les plus fortes teneurs moyennes en cadmium sont retrouvées dans les crustacés et mollusques, les abats, les biscuits, le chocolat et les algues. Chez les adultes comme chez les enfants, les contributeurs alimentaires majoritaires à l'exposition au cadmium sont le pain et les produits de panification sèche (biscotte, crackers...), la pomme de terre et ses dérivés, ainsi que les légumes<sup>27</sup>. Ces données sont des moyennes car, pour un même produit, la teneur en cadmium peut fortement varier (cf. 1.2.4).

Une comparaison avec la précédente EAT 1, conduite entre 2001 et 2005, permet d'évaluer l'évolution des teneurs en cadmium des aliments. Les concentrations moyennes en cadmium ont ainsi augmenté pour presque tous les groupes d'aliments. La croissance est même d'un facteur 20 pour les plats composés et biscuits, 30 pour les viennoiseries, sandwiches et casse-croûtes, et même 80 pour le chocolat.

Via l'alimentation, l'exposition moyenne de la population française au cadmium est estimée par EAT 2 à 0,16 µg/kg pc/jour chez les adultes et 0,24 µg/kg pc/jour chez les enfants<sup>28</sup>. Au 95<sup>e</sup> percentile, l'exposition est estimée à 0,27 µg/kg pc/jour chez les adultes (0,24 - 0,30) et 0,45 µg/kg pc/jour chez les enfants (0,41 - 0,55). Ces expositions sont quatre fois plus élevées que celles relevées dans l'EAT 1.

<sup>25</sup> La législation européenne impose une limite maximale de 0,01 % de cadmium en masse dans les parties métalliques des bijoux destinés aux enfants. Pour les jouets, la directive 2009/48/CE fixe aussi des seuils stricts d'exposition dans les matériaux accessibles.

<sup>26</sup> L'étude Esteban montre que l'imprégnation était augmentée de 53,64 % chez les adultes fumeurs par rapport aux adultes non-fumeurs (exposés ou non au tabagisme passif). Cette augmentation était de 16,27 % chez les ex-fumeurs par rapport aux non-fumeurs.

<sup>27</sup> Parmi les facteurs de risques qui déterminaient le niveau de cadmium dans les urines chez les enfants de l'étude Esteban, seule ressortait la consommation des céréales du petit déjeuner. Les enfants qui consommaient presque 20 grammes par jour (19,56 g/j) de céréales du petit déjeuner ont une imprégnation par le cadmium augmentée de 8,63 % [1,37 % ; 16,40 %] par rapport aux enfants qui en consomment très peu (4,07 g/j).

<sup>28</sup> kg pc : kg de poids corporel.

Pour mémoire, la VTR<sup>29</sup> chronique par voie orale a été estimée<sup>30</sup> à 0,35 µg Cd/kg pc/jour.

L'étude EAT 2 indique que 0,6 % des consommateurs adultes, 14,9 % des consommateurs enfants de 3 à 17 ans et jusqu'à 36 % des consommateurs enfants de moins de 3 ans ont des expositions alimentaires dépassant la dose journalière tolérable par ingestion pour le cadmium.

Pour autant, d'autres données compilées et analysées par le groupe de travail sur la surveillance du cadmium dans la chaîne alimentaire<sup>31</sup>, publiées en 2023, montrent que les concentrations en cadmium sont restées stables entre 2010 et 2020 pour l'ensemble des aliments évalués, sauf pour le blé dur pour lequel une baisse significative est observée.

Les données de onze dispositifs de surveillance publique ou privée ont été mutualisées. Ces jeux de données ont permis de constituer une base de près de 75 000 résultats d'analyse des mesures de cadmium dans diverses matrices de 2010 à 2019, couvrant l'alimentation humaine (82 %) et animale (18 %).

Une première analyse des concentrations moyennes estimées pour la période la plus récente (2017-2019) a permis d'identifier les produits les plus contaminés (abats, mollusques bivalves, graines de tournesol, cacao en poudre, épinards...). Inversement, le cadmium était rarement quantifié dans plusieurs matrices, à savoir les muscles d'animaux d'élevage, les chairs de certains poissons (ex : cabillaud, truite, merlu), le miel, les fruits, le lait et les boissons alcoolisées. Ces résultats sont similaires aux observations rapportées par l'EFSA<sup>32</sup>, l'EAT 2 ou encore par de récentes EAT non européennes comme celle de la FDA. Entre les concentrations moyennes les plus faibles (légumes en conserve : 0,007 mg/kg) et les plus élevées (reins d'équins : 12,8 mg/kg) un facteur de presque 2 000 est observé. Par ailleurs, les valeurs extrêmes mesurées s'échelonnent de 0,001 à 64,9 mg/kg (rein d'équin).

Entre 2010 et 2019, ces concentrations en cadmium sont restées stables pour l'ensemble des matrices évaluées, incluant les pommes de terre, les graines oléagineuses, les huîtres ainsi que les moules, voire très fréquemment inférieures aux limites de quantification pour les muscles d'animaux d'élevage. Il n'a pas été mis en évidence d'évolution significative des concentrations en cadmium dans les différentes catégories d'aliments pour lesquelles un nombre suffisant de résultats était disponible à cette étude, à l'exception d'une baisse significative des concentrations en cadmium dans le blé dur observée sur l'ensemble de la période<sup>33</sup>.

### **1.4.5 Explorer toutes les sources de contaminations et expliquer les évolutions constatées**

À la lecture de ces différentes études, l'évolution des teneurs en cadmium dans les aliments apparaît donc délicate. Les très fortes augmentations entre EAT 1 et EAT 2, en moins de dix ans, interpellent et il est difficile de les expliquer. Si les protocoles de mesure n'ont pas changé<sup>34</sup>,

<sup>29</sup> Une valeur toxicologique de référence, ou VTR, est un indice toxicologique qui permet de qualifier ou de quantifier un risque pour la santé humaine. Elle établit le lien entre une exposition à une substance toxique et l'occurrence d'un effet sanitaire indésirable. Les VTR sont spécifiques d'une durée d'exposition (aiguë, subchronique ou chronique) et d'une voie d'exposition (orale ou respiratoire). La construction des VTR diffère en fonction des connaissances ou des hypothèses formulées sur les mécanismes d'action des substances.

<sup>30</sup> Elle a été estimée en considérant le risque d'ostéoporose ou de fractures osseuses et avec une concentration critique de 0,5 µg.g<sup>-1</sup> de créatinine à 60 ans.

<sup>31</sup> Ce groupe de travail au sein de la plateforme Surveillance de la chaîne alimentaire (SCA) a été constitué pour réaliser un état des lieux de la surveillance du cadmium en France. Le groupe, copiloté par INRAE et l'Acta et composé de 15 membres (autorités, professionnels, agences sanitaires, instituts de recherche et instituts techniques).

<sup>32</sup> En 2009 et 2012, l'EFSA a publié des données de contamination pour le cadmium dans un large panel d'aliments, à partir de prélèvements effectués entre 2003 et 2011. Des teneurs moyennes suivantes étaient rapportées : 0,034 mg/kg (UB) pour les céréales en grain ; 0,022 mg/kg (UB) pour les pâtes (cruées) et 0,026 mg/kg (UB) pour les produits de mouture des grains. Ces valeurs sont du même ordre de grandeur que les teneurs observées ici.

<sup>33</sup> Ce travail connaît cependant des limites, dans la mesure où, dans les jeux de données transmis, peu de données concernait les algues et les champignons, alors que ces produits font partie des dix produits les plus contaminés d'après le rapport 2012 de l'EFSA. De même, peu de données ont pu être exploitées pour la catégorie des légumes, des produits de la panification ou encore de l'alimentation infantile.

<sup>34</sup> D'autres augmentations significatives ont été observées pour le nickel et l'aluminium. Parmi les hypothèses qui pourraient expliquer cette tendance, est évoquée l'utilisation de matériel de préparation des échantillons en inox et en aluminium dans l'EAT 2, contrairement à l'EAT 1.

l'évolution des consommations alimentaires pourrait expliquer des différences mais pas d'une telle ampleur. L'Anses souligne ainsi la nécessité de mener des études complémentaires sur la contamination pour identifier les raisons des augmentations observées (produits céréaliers notamment).

Il s'avère également délicat de comparer les résultats du groupe de travail cadmium avec ceux obtenus par l'Anses dans le cadre de l'EAT 2. En effet, si EAT 2 couvre un large panel de produits, il s'agit de produits transformés ou préparés tel que consommés. À l'inverse les données analysées par le groupe de travail couvrent majoritairement des matières premières. Cette différence peut aussi poser la question des aliments importés, dont les flux augmentent. Les enquêtes EAT ne font pas de distinction entre produits d'origine France ou non. L'évolution de la balance commerciale de produits agricoles montre à cet égard une dégradation continue. Néanmoins, si certains produits consommés comme les fruits et légumes sont de plus en plus importés, d'autres comme le blé ou les pommes de terre sont principalement récoltés en France, or ils contribuent de manière significative aux rations et aux apports de cadmium alimentaires.

Ces différences méritent d'être analysées et explicitées. A priori, l'EAT 3 dont les premiers résultats sont attendus en 2026 (cf. encadré ci-dessous) devrait permettre de clarifier la situation. Il reste que l'évolution de l'imprégnation de la population pose un problème de santé publique en France et qu'il est important d'en comprendre clairement les causes en n'excluant aucune piste de contamination potentielle<sup>35</sup>. L'augmentation de la consommation de stupéfiants<sup>36</sup>, avec des incidences possibles dans l'échantillon des adultes, ou bien des expositions environnementales via des objets du quotidien<sup>37</sup>, dont une part croissante est par ailleurs importée (cf. contrôles récents des douanes ou de la DGCCRF), mériteraient d'être investiguées.

### La nouvelle enquête EAT 3

L'Anses s'est autosaisie afin de conduire une troisième EAT sur la population générale. Cette EAT 3 s'appuie sur les données de la dernière enquête Individuelle Nationale des Consommations Alimentaires (INCA 3), conduite en 2014-2015, qui couvre la population générale en France métropolitaine, de 0 à 79 ans. Les enfants de moins de 3 ans, ayant fait l'objet d'une EAT spécifique (EAT infantile) publiée en 2016, ne sont pas inclus dans la population d'étude de l'EAT 3.

276 aliments ont été retenus pour être échantillonnés. Cette sélection permet de couvrir plus de 90 % de la consommation de la plupart des groupes pour les adultes et les enfants. La collecte des aliments s'est déroulée de mai 2021 à août 2022, sur trois départements français (Loiret, Puy-de-Dôme et Hérault). Dans cette nouvelle étude, la consommation d'aliments issus de l'agriculture biologique a été considérée dans l'échantillonnage des aliments.

L'EAT 3 ne comporte donc pas d'échantillons provenant d'une seule région ou un seul département, contrairement aux précédentes EAT françaises sur la population générale, l'EAT 1 et l'EAT 2. En effet, des analyses complémentaires sur les données de l'EAT 2 n'ont pas montré de différences d'exposition importantes entre les différentes régions étudiées.

Les produits de chaque sous-échantillon ont été préparés « tels que consommés » en suivant les instructions définies dans le plan d'échantillonnage sur la base des déclarations des individus enquêtés dans INCA 3, à la fois dans les rappels de 24 heures et dans les questionnaires auto-administrés.

Des ustensiles et du matériel de cuisson domestiques (non professionnels) ont été utilisés lors de la préparation tels qu'un four traditionnel, four micro-ondes, plaques de cuisson, casseroles, poêles, mixeur, etc. ainsi que des produits ménagers du commerce pour nettoyer le matériel, afin de reproduire les habitudes des consommateurs.

Les produits utilisés pour nettoyer la vaisselle ont fait l'objet d'un dosage des ETM afin de s'assurer qu'ils n'étaient pas susceptibles de contaminer les échantillons.

Nota – Lors de la rédaction de ce rapport, la mission n'avait pas connaissance des données de l'étude EAT 3, dont les premiers résultats ont été publiés en février 2026 : [rapport disponible en ligne](#). L'annexe 13 cite les principales conclusions concernant le cadmium, qui ne remettent pas en cause les analyses du présent rapport.

Il reste que la relation entre la teneur en cadmium des engrais minéraux apportés, la disponibilité dans les sols, le passage dans les plantes, puis dans les aliments consommés, ne relève pas d'un déterminisme simple.

<sup>35</sup> L'Anses précise par exemple ne pas avoir trouvé de relation entre les concentrations en cadmium urinaire mesurées et les pratiques d'activités professionnelles ou de loisirs susceptibles d'induire une exposition au cadmium.

<sup>36</sup> Le cannabis est connu pour être une plante fortement accumulatrice de cadmium.

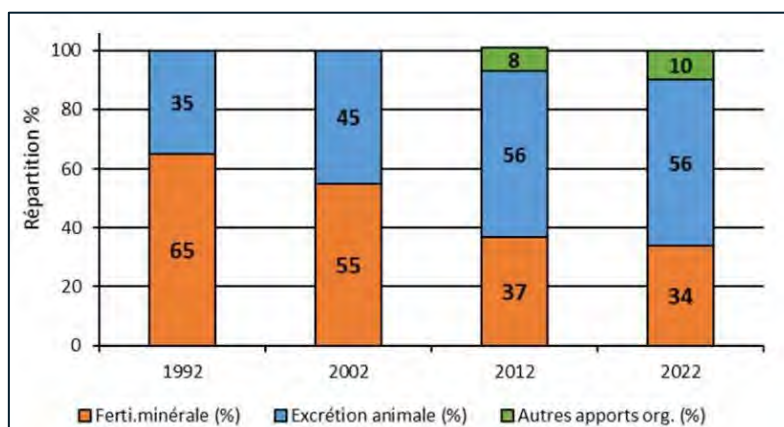
<sup>37</sup> Le cadmium est utilisé en électronique notamment.

La méta-analyse des données existantes dans le programme HBM4EU, représentant la période 2007-2018, a montré des associations incohérentes entre les niveaux d'exposition et les concentrations de cadmium dans le sol selon différents pays, groupes de population ou différents types de biomarqueurs. S'agissant des expositions de la population au cadmium, si aucune tendance géographique distincte n'a été observée par le programme HBM4EU, bien que les études aient révélé des différences d'exposition interne allant jusqu'à un facteur 3 entre les sites d'étude spécifiques de l'UE<sup>38</sup>, des associations positives avec le pourcentage de terres agricoles et/ou cultivées et la consommation d'engrais phosphorés ont été mises en évidence suggérant que ces derniers contribuent de manière significative à l'exposition au cadmium chez les humains<sup>39</sup>.

Dans son étude récente, le JRC<sup>40</sup> précise : « Il existe des études approfondies à l'échelle de l'UE sur la présence de métaux lourds (arsenic, cadmium, cuivre, mercure et zinc) dans la couche arable. Cependant, il manque une évaluation écotoxicologique plus approfondie, notamment en ce qui concerne les risques pour la santé humaine. Suite à l'investissement important de l'UE dans la Soil Mission et aux perspectives offertes par la nouvelle proposition de directive sols, on s'attend à ce que davantage d'informations soient obtenues d'ici 2030 ».

Si les engrais minéraux sont la principale source de cadmium entrant sur les sols agricoles, ces flux ont tendance à diminuer et les apports de phosphore sont de plus en plus assurés par les matières organiques. Focaliser l'essentiel des actions réglementaires sur la partie minérale, même si les teneurs en cadmium peuvent être plus élevées, ne traitera qu'une partie des apports.

Évolution et origine des apports en phosphore



Source : UNIFA - étude P K Mg 2023.

**Recommandation 2. [Anses, INRAE] Face aux interrogations, expliciter la relation entre l'évolution des sources et flux de cadmium, l'évolution de la contamination des aliments et l'évolution de l'imprégnation de la population, en explorant activement toutes les sources potentielles d'exposition.**

<sup>38</sup> En comparant les quatre grandes régions, des niveaux plus élevés ont été observés à l'Ouest et à l'Est qu'au Nord et au Sud, mais après avoir pris en compte les principaux facteurs d'influence (âge, sexe, tabagisme et année d'échantillonnage), les différences entre les régions n'étaient pas statistiquement significatives.

<sup>39</sup> Incidemment, les analyses indiquent que le régime végétarien contribue à des niveaux de cadmium dans l'urine 35 % plus élevés que le régime non végétarien.

<sup>40</sup> Fernandez-Ugalde, O; Scarpa, S; Orgiazzi, A.; Panagos, P.; Van Liedekerke, M; Marechal A. & Jones, A. LUCAS 2018 Soil Module. Presentation of dataset and results, EUR 31144 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg. 2022.

## 2 Le cadmium dans la réglementation relative aux matières fertilisantes

De très nombreuses réglementations, nationales et européennes, sont en vigueur pour diminuer l'exposition environnementale au cadmium, dans tous les domaines :

- protocole d'Aarhus sur les métaux lourds fixant des limites d'émission par pays,
- directive européenne RoHS (*Restriction of Hazardous Substances*) qui limite l'utilisation de six substances dangereuses, dont le cadmium, dans les équipements électriques et électroniques,
- règlement REACH qui classe le cadmium comme substance extrêmement préoccupante et restreint les utilisations du cadmium et ses composés,
- directive 2013/56/UE qui a interdit les batteries NiCd dans les outils électriques sans fil,
- directive cadre sur l'eau qui a classé le cadmium comme substance prioritaire dangereuse,
- règlement CE 1881/2006 portant fixation de teneurs maximales pour certains contaminants dans les denrées alimentaires,
- directive CE 32/2002 du Parlement européen fixant les teneurs maximales en contaminants dans les denrées destinées à l'alimentation animale...

Les réglementations visant à réduire les apports de cadmium aux sols par les matières fertilisantes (engrais phosphatés, boues d'épuration...) constituent un des éléments de cet arsenal juridique visant à réduire l'exposition de la population au cadmium (cf. partie 1 et annexe 14).

### 2.1 La réglementation actuelle autour de la mise en marché et l'utilisation de matières fertilisantes ou support de culture (MFSC)

#### 2.1.1 Le cadre général

Les engrais minéraux et les boues relèvent des matières fertilisantes ou support de culture (MFSC)<sup>41</sup> dont la mise en marché et l'utilisation sont régies par les articles L255-1 (R255-1) et suivants du code rural<sup>42</sup>. Un encadrement de la qualité de ces matières est nécessaire, afin de s'assurer que la fertilisation préserve la qualité des sols et limite les transferts de contaminants dans les végétaux destinés à l'alimentation humaine ou animale. Si le niveau d'exigences a été progressivement renforcé, il reste toutefois variable selon la nature et l'origine de la matière fertilisante ainsi que le type d'autorisation qui permet son utilisation.

L'utilisation d'une MFSC est subordonnée à l'obtention d'une autorisation de mise sur le marché (AMM), mais plusieurs dérogations sont possibles pour :

- les matières conformes à une norme rendue d'application obligatoire (ces normes sont élaborées par le bureau de normalisation de la fertilisation - BN FERTI),
- les matières conformes à un règlement de l'Union européenne n'imposant pas d'autorisation devant être délivrée par un État membre préalablement à leur mise sur le marché ou faisant obstacle à ce qu'une restriction soit portée à leur mise sur le marché et à leur utilisation,
- les matières conformes à un cahier des charges approuvé par voie réglementaire garantissant leur efficacité et leur innocuité<sup>43</sup>,

<sup>41</sup> Les MFSC comprennent les engrais, qui apportent aux plantes des éléments directement utiles à leur nutrition, les amendements, qui améliorent les propriétés des sols, et les biostimulants, qui stimulent les processus naturels des plantes ou du sol afin de faciliter l'absorption des éléments nutritifs et d'augmenter leur résistance aux stress abiotiques. Quant aux supports de culture, ce sont des produits destinés à servir de milieu de culture à certains végétaux et à permettre l'ancrage de leurs organes absorbants pour une mise en contact avec les solutions nutritives.

<sup>42</sup> ou par des dispositions réglementaires européennes (règlements 1609/2009 – 142-2011) pour ce qui concerne les matières fertilisantes dérivées de sous-produits animaux qui fixent notamment des normes en matière de contamination bactérienne acceptable et imposent l'hygiénisation préalable des matières premières ainsi valorisées, excepté s'il s'agit de fumier ou de lisier.

<sup>43</sup> Les matières fertilisantes conformes à un cahier des charges approuvé par un arrêté du ministère en charge de l'agriculture après avis de l'Anses bénéficient d'une dérogation à l'obligation d'AMM et sortent du statut de déchet. Cette disposition a été introduite en 2015 afin de faciliter la valorisation et la commercialisation des digestats de méthanisation dans les zones où la disponibilité en parcelles d'épandage était restreinte. Ainsi, l'arrêté du 22 octobre 2020 approuve un cahier des charges pour la mise sur le marché et l'utilisation de digestats de méthanisation d'intrants agricoles et /ou agro-alimentaires en tant que matières fertilisantes. NOR : AGRG2028614A.

- les substances naturelles à usage biostimulant autorisées,
- les déchets, résidus ou effluents issus d'installations réglementées<sup>44</sup> respectant un plan d'épandage,
- les matières organiques brutes ou les supports de culture d'origine naturelle, sans traitement chimique, constituant des sous-produits d'une exploitation agricole lorsqu'ils sont cédés directement, à titre gratuit ou onéreux, par l'exploitant.

Au-delà de ces dénominations, sont souvent distingués les engrais minéraux et les matières fertilisantes d'origine résiduaire susceptibles d'être épandues (MAFOR), ces dernières regroupant essentiellement les effluents d'élevage, les boues de STEP, les effluents et boues d'IAA, les composts de déchets verts, ménagers ou organiques industriels, les digestats de méthanisation, les cendres...

### 2.1.2 Les engrais phosphatés minéraux

En France, la mise sur le marché d'engrais minéraux peut relever soit de l'AMM, soit de la norme, ou encore du règlement européen sur les fertilisants.

En France, l'entité responsable de l'évaluation et de l'attribution d'une AMM pour les MFSC est l'Anses. Sur validation d'un dossier révélant l'efficacité et l'absence d'effet nocif, elle attribue un numéro d'AMM permettant la mise sur le marché en règle d'un produit.

La norme NF U 42-001 « Engrais - Dénominations et Spécifications » est une norme d'application obligatoire<sup>45</sup> qui a pour objet de fixer des dénominations et spécifications des engrais minéraux (42-001-1), organiques (42-001-2) ou organo-minéraux (42-001-3). Elle définit et caractérise chaque type d'engrais pour en faciliter la distinction et le choix, sans ambiguïté pour l'utilisateur. Cette norme précise les teneurs maximales pour six éléments trace dont le cadmium. Ce dernier doit être analysé selon la norme NF EN 14888 et la teneur maximale en cadmium est fixée à 90 mg/kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Le règlement européen sur les fertilisants (dit aussi « REACH Fertiliser »)<sup>46</sup>, applicable à partir du 16 juillet 2022, vise à établir un cadre harmonisé pour la fabrication, la commercialisation et l'utilisation des engrais dans l'Union européenne, intégrant des critères de qualité, de sécurité et de protection de l'environnement. L'ensemble des mesures a pour objectif de garantir un niveau élevé de protection de la santé humaine et de l'environnement dans toute l'UE.

Ce règlement décrit la composition, la fonction, la qualité et l'étiquetage des fertilisants. Il permet la notion de mélange de deux fertilisants et de deux fonctions de produit. Selon le produit, une certification peut être nécessaire. Dans ce cas, les certificats sont délivrés par des sociétés agréées par l'Union européenne, appelées « organisme notificateur » (ON). Deux niveaux de certification existent, dépendant de la composition et des risques des matières premières, et de la fonction du produit : le premier sur une évaluation du dossier et une analyse de conformité du produit, et le second avec, en plus, un audit du site de fabrication.

Ce règlement stipule que les teneurs en contaminants d'un engrais organo-minéral ne doivent pas dépasser les valeurs limites suivantes pour le cadmium (Cd)<sup>47</sup> :

- lorsqu'un engrais organo-minéral a une teneur en phosphore (P) total inférieure à 5 % en masse d'équivalent P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> : 3 mg/kg de matière sèche,
- lorsqu'un engrais organo-minéral a une teneur en phosphore (P) total égale ou supérieure à 5 % en masse d'équivalent P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (« engrais phosphaté ») : 60 mg/kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

<sup>44</sup> Installations classées pour la protection de l'environnement et installation soumises à déclaration ou autorisation au titre de la protection de l'eau.

<sup>45</sup> Une norme est d'application volontaire. À titre exceptionnel, elle peut toutefois être rendue d'application obligatoire. L'article 17 du décret n°2009-697 du 16 juin 2009 relatif à la normalisation stipule que les normes peuvent être rendues d'application obligatoire par arrêté signé du ministre intéressé. L'application obligatoire d'une norme est caractérisée par la référence à ladite norme dans un texte réglementaire national comme moyen unique de satisfaire aux exigences du texte.

<sup>46</sup> Règlement (UE) 2019/1009 du Parlement européen et du Conseil du 5 juin 2019 établissant les règles relatives à la mise à disposition sur le marché des fertilisants UE, modifiant les règlements (CE) no 1069/2009 et (CE) no 1107/2009 et abrogeant le règlement (CE) no 2003/2003.

<sup>47</sup> Les États Membres peuvent décider de seuils plus restrictifs, qui doivent être notifiés à la Commission européenne.

Lorsqu'un engrais organo-minéral a une teneur en cadmium égale ou inférieure à 20 mg/kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, la mention « Faible teneur en cadmium (Cd) » peut être ajoutée.

Au final, un fertilisant dispose soit d'un code NFU pour les normes, soit d'un numéro d'AMM quand il est certifié par l'Anses, soit le marquage « CE » quand il se réfère au règlement européen. Sa dénomination réglementaire qualifie souvent le produit par rapport à sa fonction et potentiellement sa composition – minéral, organique, NPK... La teneur précise en cadmium des engrais n'est pas une information obligatoire.

En outre, quelle que soit la voie réglementaire choisie, les matières premières et le produit fini doivent être conformes au règlement 1907/2006 (REACH) sur la sécurité d'emploi des substances. Les réglementations pour la mise sur le marché des produits (REACH, REACH Fertiliser) s'appliquent autant aux productions européennes qu'aux importations.

Deux autorités sont responsables de contrôler la conformité des fertilisants mis sur le marché français : la Direction générale de la concurrence, de la consommation et de la répression des fraudes (DGCCRF) surveille le marché intérieur, tandis que la Direction générale des douanes et droits indirects (DGDDI) s'occupe plus spécifiquement des produits d'importation.

### 2.1.3 Les boues

Les prescriptions techniques applicables aux épandages de boues sur les sols agricoles sont fixées par l'arrêté du 8 janvier 1998 pris en application du décret n° 97-1133 du 8 décembre 1997 relatif à l'épandage des boues issues du traitement des eaux usées.

Cet arrêté précise (sans que cela soit exhaustif) les modalités de conception et gestion des épandages<sup>48</sup> ainsi que la qualité des boues et les précautions d'usage<sup>49</sup>. S'agissant des ETM, les boues ne peuvent être épandues dans les situations suivantes.

- a) Les teneurs en éléments-traces métalliques dans les sols dépassent l'une des valeurs limites figurant au tableau 2 de l'annexe I, soit pour le cadmium 2 mg/kg MS.
- b) Tant que l'une des teneurs en éléments ou composés-traces dans les boues excède les valeurs limites figurant aux tableaux 1 a ou 1 b de l'annexe I, soit pour le cadmium, 10 mg/kg de MS, depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2004 (20 mg/kg à la signature de l'arrêté en 1998 puis 15 mg/kg à compter du 1<sup>er</sup> janvier 2001).
- c) Dès lors que le flux, cumulé sur une durée de dix ans, apporté par les boues sur l'un de ces éléments ou composés excède les valeurs limites figurant aux tableaux 1 a ou 1 b de l'annexe I, soit pour le cadmium un flux maximum cumulé apporté par les boues en 10 ans de 0,015 g/m<sup>2</sup>, depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2001 (0,03 g/m<sup>2</sup> à la signature de l'arrêté en 1998<sup>50</sup>).

### 2.1.4 Les autres MFSC

Outre les engrais et les boues, d'autres MFSC peuvent être utilisées et contenir du cadmium à des teneurs variables. Il s'agit essentiellement de MAFOR comme les effluents d'élevages, les composts ou les digestats de méthanisation. Certaines peuvent relever d'une AMM (rarement, compte tenu de la lourdeur et du coût de la procédure, ainsi que de la variabilité des compositions). D'autres sont mises en marché sous couvert d'une norme, par exemple les normes NFU 42-001-2 relative aux engrais organiques, NFU 44-051 relative aux amendements organiques et NFU 44-095 relative aux composts de boues. La plupart retournent aux sols dans le cadre de plans d'épandage (cf. 2.1.3) ou sans restriction particulière (cf. 2.1.1). Les digestats de méthanisation relèvent généralement de la conformité à un cahier des charges approuvé (cf. 2.1.1).

<sup>48</sup> Le contenu de l'étude préalable d'épandage (origine, qualité et quantité des boues ; contraintes liées aux milieux naturels ou activités humaines ; caractéristiques des sols et système de cultures...) – Les conditions de mise à jour de l'étude préalable – Le programme prévisionnel d'épandage (liste des parcelles, analyses de sol, caractérisation des boues, les modalités de surveillance, l'identification des personnes intervenant – La réalisation d'un bilan (boues épandues, registre d'épandage, bilan de fumure – L'implantation et les conditions (techniques et temporelles) de réalisation des ouvrages de stockage des boues. Modalités, si nécessaire, de mélange de boues – Les conditions définissant les quantités de boue applicables – .../...

<sup>49</sup> Les conditions d'épandage selon le pH du sol – Les modalités d'analyse des boues – Les distances d'isolement et les délais de réalisation des épandages – La tenue du registre et la capitalisation des données – Les modalités de contrôle par le Préfet.

<sup>50</sup> Dès la signature de l'arrêté, ce flux avait déjà été fixé à 0,015 g/m<sup>2</sup> pour les pâturages et les sols de pH inférieurs à 6.

## 2.2 Face aux enjeux sanitaires, plusieurs simulations de l'évolution des flux de cadmium et de l'exposition des populations incitent à renforcer la réglementation

### 2.2.1 Des études évaluant l'impact à long terme de plusieurs scénarios (teneurs en cadmium des engrais et pratiques de fertilisation) aux résultats contrastés

En 2013, une première étude<sup>51</sup> montrait qu'à la concentration de cadmium la plus élevée (80 mg/kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), le cadmium du sol devrait rester plutôt constant avec une diminution estimée à seulement 1 % pour la moyenne européenne (entre - 53 et 31 %). À 60 mg de Cd, le Cd du sol devrait évoluer de - 7 % en 100 ans, soit une diminution nette (- 57 à + 22 % pour les 10-90<sup>e</sup> percentiles de ces scénarios). À 40 mg Cd, ces valeurs sont de - 14 % (- 62 à + 14 %) et à 20 mg Cd elles sont de - 20 % (- 66 à - 12 %).

Un peu plus tard, en 2019, une autre étude<sup>52</sup> montrait au contraire que l'accumulation de cadmium dans les sols (plantes arables et prairies) se poursuit si la teneur en Cd dans les engrais phosphatés dépasse 20 mg Cd/kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Les changements relatifs moyens à long terme calculés dans les sols et les cultures arables étaient de l'ordre de grandeur de + 0,2 %, 12,1 % et 16 %, pour des concentrations de cadmium dans les engrais minéraux phosphatés respectivement de zéro, soixante ou quatre-vingts mg Cd/kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. L'étude concluait qu'au niveau européen, en considérant cultures et prairies, un niveau de 20 mg dans les engrais permettait d'atteindre la stabilité.

La différence entre les deux études est principalement due à la prise en compte de la lixiviation qui s'avère beaucoup plus importante dans la première étude (cf. 1.2.3 sur les pertes par lixiviation et 1.2.5 sur les difficultés et les incertitudes de la modélisation des bilans de flux).

En France, une étude conduite par l'INRAE en 2019<sup>53</sup> a également évalué l'impact de différents scénarios sur la teneur en cadmium dans les sols. En gardant les niveaux de la fertilisation phosphatée de l'époque, et en limitant la teneur des engrais entre 60 et 20 mg de Cd/kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, les résultats montrent une diminution du cadmium dans les sols de 1,6 % à 3,8 % après un siècle (+ 3% sans réduction des teneurs des engrais). Si les agriculteurs adoptaient les meilleures pratiques d'application du phosphore en appliquant strictement les recommandations du Comifer (soit - 25 % en moyenne) la teneur en cadmium du sol resterait globalement stable au cours du prochain siècle, mais elle diminuerait de - 5 % avec une réduction de la teneur des engrais à 20 mg/kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Les simulations à long terme s'avèrent donc délicates et sujettes à de fortes incertitudes selon les hypothèses et les équations de transfert retenues. L'annexe 15 détaille quelques résultats de telles simulations.

### 2.2.2 Les recommandations formulées par l'Anses relatives aux teneurs et au flux de matières fertilisantes

Dans son avis 2015-SA-040 du 17 juin 2019 relatif aux niveaux de cadmium dans les matières fertilisantes et supports de culture permettant de maîtriser la pollution des sols agricoles et la contamination des productions végétales, l'Anses a conclu :

- *« qu'un flux annuel d'apport en cadmium via les matières fertilisantes n'excédant pas 2 g Cd/ha/an, quelles que soient la nature et la quantité totale de matière(s) fertilisante(s) apportée(s) au sol agricole, constitue le niveau maximal recommandé qui permettrait de maîtriser la pollution des sols agricoles, la contamination des productions agricoles, et par conséquent de diminuer l'exposition alimentaire associée,*

<sup>51</sup> Source : Erik Smolders & Laetitia Six. Revisiting and updating the effect of phosphate fertilizers to cadmium accumulation in European agricultural soils. 2013.

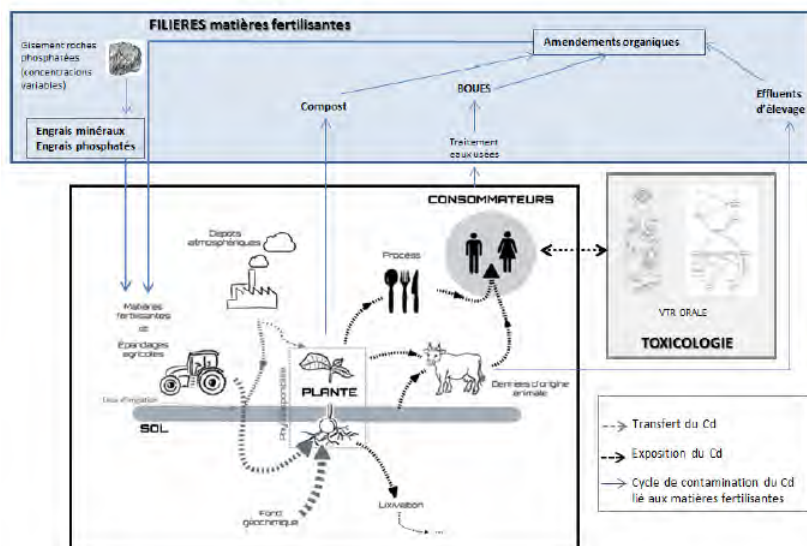
<sup>52</sup> Paul Römkens, René Rietra, Hans Kros, Jan Cees Voogd, Wim de Vries. Impacts of cadmium levels in fertilisers on cadmium accumulation in soil and uptake by food crops. Wageningen University and Research 2018.

<sup>53</sup> Source : Thibault Sterckeman, Lucas Gossiaux, Sophie Guimont, Catherine Sirguey, Zhongbing Lin. Cadmium mass balance in French soils under annual crops: Scenarios for the next century. Sci. Total Environ. 639. 2018. Corrigendum Sci. Total Environ. 650. 2019.



- *qu'au regard des itinéraires de fertilisation testés, une teneur en cadmium égale ou inférieure à 20 mg Cd/kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> dans les engrais minéraux phosphatés, et de 1 mg Cd/kg de matière sèche dans les fertilisants d'origine organique, permet de ne pas dépasser ce flux annuel de 2 g Cd/ha/an. .../... ».*

Les valeurs de flux recommandées s'appuient sur une approche méthodologique modélisant le transfert du cadmium depuis ses sources d'apport dans les sols agricoles jusqu'à l'aliment consommé.



Modélisation de l'exposition humaine au cadmium à partir des apports de matières fertilisantes

Source : Anses. Avis (Saisine n°2015-SA-0140) relatif à l'exposition au cadmium (CAS n° 7440-43-9) - juin 2019.

Les simulations conduites dans le modèle<sup>54</sup> intègrent également comme données d'entrée les flux entrants de cadmium liés aux dépôts atmosphériques et aux eaux d'irrigation, en les ajoutant au « fond géochimique » en cadmium. La lixiviation et

l'exportation par les récoltes<sup>55</sup> constituent les données de sortie. Ces simulations s'appuient sur :

- la prise en compte de la diversité des parcelles agricoles présentes en France (cultures et prairies) parmi les 2 059 sols échantillonnés sur le territoire français par le RMQS-GIS SOL,
- des scénarios d'utilisation des engrais minéraux phosphatés<sup>56</sup> avec des itinéraires de monoculture blé ou de rotation pomme de terre/blé/blé, avec ou sans temps d'impasse, en présence de sols pauvrement pourvus en phosphore, donc plus exigeants en engrais et provoquant un apport accru de cadmium (un tiers des sols agricoles – cultures et prairies – sont concernés),
- des doses d'apport maximalistes sur une durée de 100 ans, qui ne prennent pas en compte l'évolution temporelle des apports phosphatés en fonction de l'évolution de la disponibilité en phosphore du sol liée aux apports précédents,
- Le modèle supposait que le cadmium total était entièrement biodisponible (hypothèse conservatrice et protectrice).

Les vingt scénarios d'itinéraires de fertilisation liés à l'usage d'engrais phosphatés génèrent des flux entrants en cadmium estimés entre 0,67 et 9,00 g Cd/ha/an suivant le scénario. Les flux de cadmium via les engrais minéraux phosphatés ont également été comparés à ceux via les boues d'épuration, le fumier de bétail et les digestats anaérobies actuellement utilisés en France. Les deux types de flux sont pratiquement équivalents (0,67 à 9 g Cd/ha/an pour les engrais minéraux phosphatés contre 1,75 à 7,50 g Cd/ha/an pour les engrais organiques)<sup>57</sup>.

<sup>54</sup> Des concentrations modélisées en cadmium dans le sol (horizons de surface), le blé (grain), la pomme de terre et les eaux lixiviées sont générées sur 99 ans à l'aide de simulations Monte-Carlo. Pour un itinéraire donné, 10 000 parcelles sont simulées.

<sup>55</sup> La modélisation de la sortie du cadmium depuis le sol agricole vers les cultures (grain de blé et pomme de terre) et le lixiviat (en raison de l'absence de données sur le lessivage dans les sols agricoles français, le transfert de Cd via les lixiviats a été estimé à partir d'un environnement australien) s'est appuyée sur l'intégration d'équations de transfert sélectionnées à l'issue d'une recherche bibliographique (Franz et al., 2008, De Vries et al., 2011 37 et 2013, Ran et al., 2016).

<sup>56</sup> Les doses d'apport liées aux itinéraires de fertilisation considérés dans le modèle s'appuient sur les préconisations agronomiques et les grilles de coefficient de ARVALIS-Institut du Végétal et du Comifer sur la fertilisation phosphatée. Monoculture blé : Apport annuel de 80 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha/an et apport de 100 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha/an avec un temps d'impasse de 2 ans. Rotation pomme de terre/blé/blé : Apport annuel de 100 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha/an et apport de 180 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha/an avec un temps d'impasse de 2 ans.

<sup>57</sup> Les apports de cadmium dans les sols provenant des applications d'engrais organiques sont principalement attribués aux quantités élevées d'application, car les concentrations de cadmium dans ces matières organiques sont généralement faibles ou intermédiaires par rapport aux engrais inorganiques.

Comme le précise l'Anses, certains choix ont probablement *pour conséquence une surestimation par la modélisation des apports nécessaires en phosphore et, in fine, celle de la contamination des cultures par le cadmium apporté par les pratiques de fertilisation*. L'Anses justifie ces hypothèses au regard des enjeux (exposition et imprégnation de la population française) et du risque de surexposition locale par le jeu de combinaisons de sol/plante/apports plus défavorables.

À l'examen des paramètres retenus dans la simulation, il se confirme que des choix extrêmes ont été retenus : les doses d'engrais sont particulièrement élevées par rapport aux pratiques moyennes (même si elles peuvent correspondre à quelques cas particuliers) et, de plus, l'évolution des apports en fonction de la disponibilité en phosphore du sol n'est pas prise en considération. Les rotations retenues sont également très rarement conservées sur plusieurs dizaines d'années. L'hypothèse de la biodisponibilité totale du cadmium apporté majore les transferts vers les plantes (cf. au 1.2.4 les études montrant qu'une très faible part du cadmium apporté passait directement dans les plantes). En outre, les équations de transfert sont anciennes et établies dans des sols non européens, faute d'éléments plus précis disponibles.

Si les enjeux sanitaires imposent de prendre des marges de précaution, il reste que ces simulations ne sont pas représentatives de la grande majorité des situations agricoles actuelles.

En tout état de cause, les résultats montrent un début de stabilisation et de réduction de l'accumulation en cadmium dans les sols ainsi que de son transfert vers les plantes dès une teneur en cadmium de 40 mg Cd/kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> dans les engrais phosphatés (selon quelques itinéraires de fertilisation, en présence d'un temps d'impasse de fertilisation de 2 ans)<sup>58</sup>.

L'Anses préconise ainsi qu'à l'exception des engrais minéraux phosphatés présentant une teneur égale ou inférieure à 40 mg Cd/kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, il semble nécessaire de restreindre leurs utilisations en fonction de la typologie du sol agricole récepteur, notamment en présence d'un sol riche en cadmium (> 0,7 mg/kg ; cela représente 7,1 % des sols agricoles liés aux cultures et prairies en France), d'un sol à pH < 6,5 (cela représente 50 % des sols agricoles en France) ou d'un sol à pH > 7,5 (cela représente 30 % des sols agricoles en France).

## 2.3 Vers un socle commun « évolutif »

### 2.3.1 Version consolidée prête à être publiée

Afin de mieux maîtriser la contamination des sols et des cultures par les pratiques de fertilisation, la loi du 10 février 2020 relative à la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire (AGEC) a prévu que soient fixés par voie réglementaire des critères de qualité agronomique et d'innocuité applicables à l'ensemble des MFSC en fonction de leur utilisation. Elle a également prévu une révision des critères sanitaires applicables aux boues d'épuration pour leur retour au sol en fonction de l'évolution des connaissances. En outre, elle incite à la valorisation en agriculture des matières issues du recyclage.

Caractéristiques des quatre catégories de MFSC visées par le « socle commun »

Mise sur le marché		Epandage		
A1	A2	B1	B2	
PRODUITS	DECHETS	SOUS-PRODUITS BRUTS	DECHET	Statut des MFSC
OUI	NON	Non applicable	NON	Sortie du statut de déchet (SSD)
Tous	Professionnel	Professionnel	Professionnel	Type d'utilisateur
AMM Normes NF U Cahiers des charges	Normes NF U	Epandage RSD / ICPE élevage	Epandage ICPE (déchets) ou IOTA (boues)	Voies de mise sur le marché ou d'épandage

Source : DGAL.

<sup>58</sup> En revanche, aux deux plus fortes concentrations en cadmium dans l'engrais minéral phosphaté testées dans le modèle (soit de 60 et 90 mg Cd/kgP<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), une accumulation en cadmium dans le sol ainsi qu'un transfert significatif de celui-ci dans les cultures et l'eau lixiviée sont constatés, quel que soit l'itinéraire de fertilisation en monoculture blé ou rotation pomme de terre/blé/blé, avec ou sans temps d'impasse de 2 ans.

Le projet de décret « socle commun », qui s'inscrit dans le cadre européen du règlement fertilisant, a été soumis à consultation fin 2023. Il fixe des critères d'innocuité et de qualité agronomique en distinguant quatre catégories de matières fertilisantes et supports de culture en fonction du statut des MFSC, du caractère de déchet, du type d'utilisateur et des modes de mise en marché ou d'épandage. Des projets d'arrêtés<sup>59</sup> précisent les teneurs et les flux maximums autorisés pour le cadmium.

*Projet de teneurs maximales et flux maximums autorisés pour le cadmium*

Catégorie	Type de matière fertilisante	Teneur maximale en cadmium	Flux maximum en cadmium
A1	Engrais minéral, engrais organo-minéral	3 mg/kg MS si P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> < 5 % sinon 60 mg/kg de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Flux annuel de référence : 2 g/ha ou 6 g/ha/3 ans Apport ponctuel* : 6 g/ha
	Engrais organique	1,5 mg/kg MS	
	Amendement minéral basique, amendement organique	2 mg/kg MS	
	Autres amendements, supports de culture, biostimulants, autres matières fertilisantes, cendres ou autres matières obtenues par oxydation thermique et leurs dérivés, biochars ou autres matières issues de la pyrolyse et de la gazéification, matières de grande pureté valorisées	1,5 mg/kg MS	
A2	Déchets mis sur le marché	3 mg/kg MS si P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> < 5 % sinon 60 mg/kg de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	
B1 <sup>60</sup>	Sous-produits bruts épandus	néant	néant
B2	Déchets épandus	10 mg/kg MS	Flux annuel de référence : 10 g/ha/an ou 30 g/ha/3 ans Apport ponctuel* : 15 g/ha

\* Uniquement pour un utilisateur professionnel, avec adaptation en conséquence de la fréquence d'utilisation.

Si les limitations de flux à l'hectare existaient historiquement pour les épandages de boues sur sol agricoles (cf. partie 2.1.3), le projet de socle commun prévoit d'étendre cette disposition à toutes les matières fertilisantes (excepté la catégorie B1). L'objectif final étant de maîtriser les flux de cadmium par hectare, cette approche est tout à fait pertinente et cohérente d'un point de vue intellectuel. Pour autant la mise en pratique d'un contrôle des flux à l'hectare risque de s'avérer très complexe.

- En premier lieu, l'absence de connaissance de la teneur en cadmium des engrais appliqués ne permet pas un calcul réel du flux. La teneur maximale réglementée peut bien sûr être utilisée, mais à 60 mg, rien ne dit que l'engrais ne contient pas 59, 30, ou 5 mg, ce qui n'est pas sans incidence sur le calcul.
- En second lieu, le flux est réglementé par catégorie. Sur une même parcelle, pourront donc coexister différents flux apportant chacun une certaine quantité de cadmium maximale et sans contrainte pour un apport de catégorie B1.

In fine, il est légitime de s'interroger sur l'intérêt pratique de cette généralisation des limitations des flux, sauf à exiger un enregistrement de tous les apports fertilisants (avec respect d'un flux total de cadmium), ce qui relèverait d'une complexité administrative dissuasive.

L'application aux épandages particuliers de boues de STEP se comprenait, mais la complexité induite, les impacts générés et l'efficacité partielle sur l'enjeu visé, jettent un doute sur l'extension aux fertilisants A1 et A2.

La coexistence de teneurs et de flux maximums est d'ailleurs redondante et ajoute à la complexité du dispositif, alors que le règlement européen se limite aux teneurs.

Plus globalement, en l'état, ces textes renforcent les exigences relatives aux apports de cadmium, sans atteindre les recommandations de l'Anses, notamment pour les teneurs en cadmium des engrais. Un nouvel abaissement progressif des teneurs a ainsi été étudié.

<sup>59</sup> Arrêté fixant les valeurs et modalités d'appréciation des critères d'innocuité et de sortie de statut de déchet des matières fertilisantes et supports de culture et arrêté fixant les apports maximaux admissibles en éléments traces métalliques et en composés traces organiques lors de l'utilisation des matières fertilisantes.

<sup>60</sup> Ces matières validant un retour au sol possible sans traitement au titre du règlement (UE) n°142/2011 sur les sous-produits animaux ne sont pas soumises à analyses dans le cadre de l'épandage ICPE.

### 2.3.2 Des compléments envisagés des seuils et flux de cadmium à terme

Pour la catégorie B2, des évolutions des teneurs et des flux sont d'ores et déjà intégrées dans les projets d'arrêtés préalablement mentionnés, conformément au tableau ci-dessous.

*Échéancier des teneurs et de flux de cadmium maximum applicables aux MFSC de catégorie B2*

Période considérée		Flux annuel de référence (g/ha)	Apport ponctuel (g/ha)	Apport total (g/ha) sur trois ans
Date de début	Date de fin			
Entrée en vigueur	31/12/2029	10	15	30
01/01/2030	31/12/2032	5	10	15
À partir du 01/01/2033	/	2	6	6

Un autre projet d'arrêté est en cours de préparation pour fixer de nouvelles teneurs maximums en cadmium des MFSC des catégories A1 et A2 applicables trois et six ans après la date d'entrée en vigueur de l'arrêté initial. À ce stade, les évolutions prévues sont résumées dans le tableau suivant.

*Échéancier envisagé des teneurs et de flux de cadmium maximum applicables aux MFSC des catégories A1 et A2*

Teneur maximum en cadmium		
Date entrée en vigueur de l'arrêté initial	Date entrée en vigueur + 3 ans	Date entrée en vigueur + 6 ans
3 mg/kg MS si P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> < 5 %  60 mg/kg de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> si P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> > 5 % en masse	2 mg/kg MS si P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> < 5 %  40 mg/kg de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> si P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> > 5 % en masse	1 mg/kg MS si P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> < 5 %  20 mg/kg de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> si P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> > 5 % en masse

Ces évolutions envisagées conduiraient à converger avec les teneurs recommandées par l'Anses.

## 2.4 Des évolutions réglementaires possibles également au niveau européen

Parallèlement à la publication prochaine du « socle commun », le règlement (UE) 2019/1009 prévoit que la Commission présente, au plus tard le 16 juillet 2026, au Parlement européen et au Conseil, « un rapport évaluant la mise en application du présent règlement et son incidence globale eu égard à la réalisation de ses objectifs, y compris ses effets sur les petites et moyennes entreprises ». L'encadré ci-dessous précise le contenu attendu de ce rapport.

Même si cela ne permet pas de présager des décisions qui seront prises au niveau européen, la Commission avait proposé en 2016 une révision du règlement « fertilisants », intégrant l'abaissement des seuils en cadmium à 60 mg/kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> pendant trois ans à compter de l'adoption du règlement, puis à 40 mg pendant les neuf années suivantes, avant de passer définitivement à 20 mg. En 2017, le Parlement avait alors soutenu ce texte, tout en revoyant son ambition légèrement à la baisse en passant le seuil de 20 mg/kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> à 16 ans au lieu de 12 ans.

À l'époque, plusieurs parties prenantes (producteurs d'engrais phosphatés à forte teneur en cadmium, pays gros utilisateurs de ce type d'engrais...) avaient milité pour ne retenir que le seuil de 60 mg, s'appuyant notamment sur l'étude de Smolders et al. D'autres organismes poussaient pour une réduction de la teneur en cadmium (notamment les producteurs russes d'engrais). Ces luttes d'influence ont continué jusqu'à nos jours<sup>61</sup>. Mais l'échéance de 2026 (évaluation de la mise en application du règlement (UE) 2019/1009) et les nouvelles données, tant sanitaires qu'agronomiques, ont ravivé les débats, avec des échos médiatiques renforcés.

Depuis le début des années 2010, ces seuils de 20 mg, 40 mg et 60 mg/kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> sont régulièrement questionnés. Ils étaient évoqués au niveau européen (Commission 2016 et Parlement 2017) lors

<sup>61</sup> Par exemple, le producteur russe d'engrais PhosAgro a fait pression pour promouvoir l'étude de Romkens, qu'il a partiellement financée (source : Natasha Gilbert. European Union debates controversial plans to limit cadmium in fertilizer. <https://www.science.org/>. 2018.)

des débats sur le règlement fertilisant. Ils se retrouvent avec les mêmes valeurs dans les recommandations de l'Anses et le projet d'arrêté d'abaissement des teneurs en cadmium.

#### **Éléments attendus du rapport évaluant la mise en application du règlement (UE) 2019/1009**

Ce rapport devra comporter :

- a) une évaluation du fonctionnement du marché intérieur des fertilisants, y compris l'efficacité de l'évaluation de la conformité et de la surveillance du marché et une analyse des effets de l'harmonisation facultative sur la production, les parts de marché et les flux commerciaux de fertilisants UE et de fertilisants mis sur le marché conformément aux règles nationales ;
- b) un réexamen des valeurs limites pour la teneur en cadmium des engrais phosphatés, en vue de déterminer s'il est possible de réduire ces valeurs limites à un niveau approprié sur la base des technologies et des données scientifiques disponibles en ce qui concerne l'exposition au cadmium et son accumulation dans l'environnement, en tenant compte de facteurs environnementaux, eu égard en particulier à l'état des sols et aux conditions climatiques, de facteurs de santé, ainsi que de facteurs socio-économiques, y compris des considérations liées à la sécurité d'approvisionnement ;
- c) une évaluation de l'application des restrictions portant sur les teneurs en contaminants énoncées à l'annexe I et une évaluation de toutes nouvelles informations scientifiques pertinentes qui deviennent disponibles en ce qui concerne la toxicité et la carcinogénicité des contaminants, y compris les risques de contamination par l'uranium dans les fertilisants.

Ce rapport devra tenir compte du progrès technique et de l'innovation ainsi que des processus de normalisation.

### 3 Les effets potentiels d'une évolution de la réglementation sur les teneurs maximales en cadmium des engrais minéraux et organo-minéraux

En absence de données précises quant aux teneurs en cadmium des engrais importés et livrés en France, il est difficile de réaliser une évaluation précise des effets potentiels d'une évolution de la réglementation sur les teneurs maximales en cadmium des engrais. Si les différents effets d'une telle évolution peuvent être appréhendés dans leur nature, ils ne peuvent pas véritablement être quantifiés.

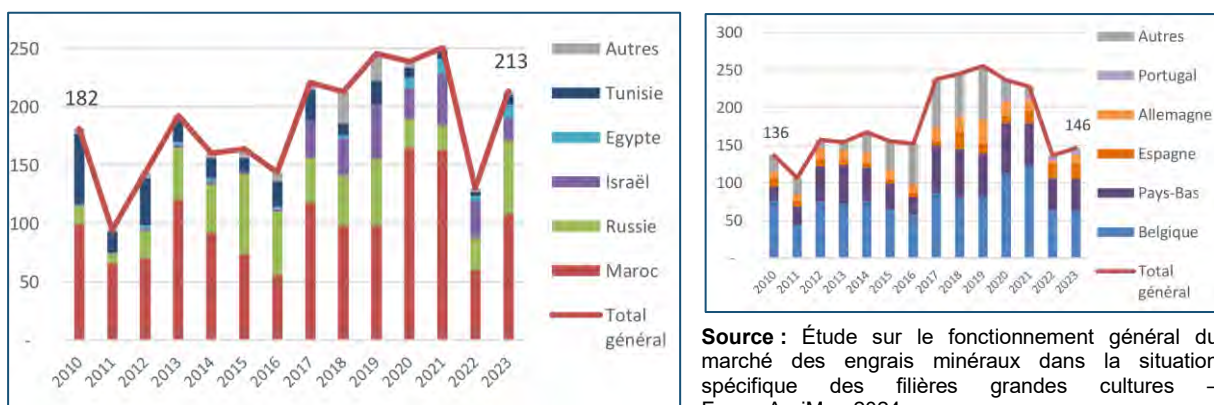
#### 3.1 Vers une restriction des sources d'approvisionnement potentielles en engrais phosphatés

##### 3.1.1 D'ores et déjà, la France et l'Europe dépendent d'un nombre réduit de fournisseurs d'engrais phosphatés

Au niveau mondial, la Chine est, de très loin, le premier producteur de phosphate : sa production en 2023 est estimée à 90 Mt, soit près de 41 % du total mondial, ou près de trois fois plus que son premier concurrent, le Maroc (35 Mt). Récemment, l'Arabie saoudite a su mettre à profit ses réserves de phosphate et son accès à du gaz peu cher pour devenir, en quelques années, un acteur majeur du marché, avec des exportations désormais comparables à celles du Maroc ou des États-Unis. L'annexe 16 détaille les principaux producteurs et les principaux flux mondiaux d'engrais phosphatés.

Au niveau européen, du fait des événements géopolitiques, la part de la Russie dans les approvisionnements a baissé<sup>62</sup>. Cette tendance risque de se confirmer avec l'entrée en vigueur de sanctions européennes qui toucheront les engrais comportant de l'azote, soit les engrais NPK, DAP et MAP<sup>63</sup>.

Importations françaises extra UE (à gauche) et intra UE (à droite) d'engrais phosphatés



Source : Étude sur le fonctionnement général du marché des engrais minéraux dans la situation spécifique des filières grandes cultures – FranceAgriMer. 2024.

<sup>62</sup> L'UE, jusque-là premier client de la Russie, a considérablement réduit sa part dans les exportations russes : comprise entre 17 % et 20 %, elle n'était plus que de 10 % en 2023. Ce recul ne s'explique pas par des sanctions, mais par des mesures volontaires de certains acheteurs, pour des questions réputationnelles ou par crainte des sanctions visant d'autres secteurs (logistique, transactions bancaires, etc.) ou de faire affaire avec des « oligarques » russes sanctionnés par ailleurs (Source : Global Sovereign Advisory. Engrais : après quatre années de crise, un marché fortement recomposé. Mars 2025.).

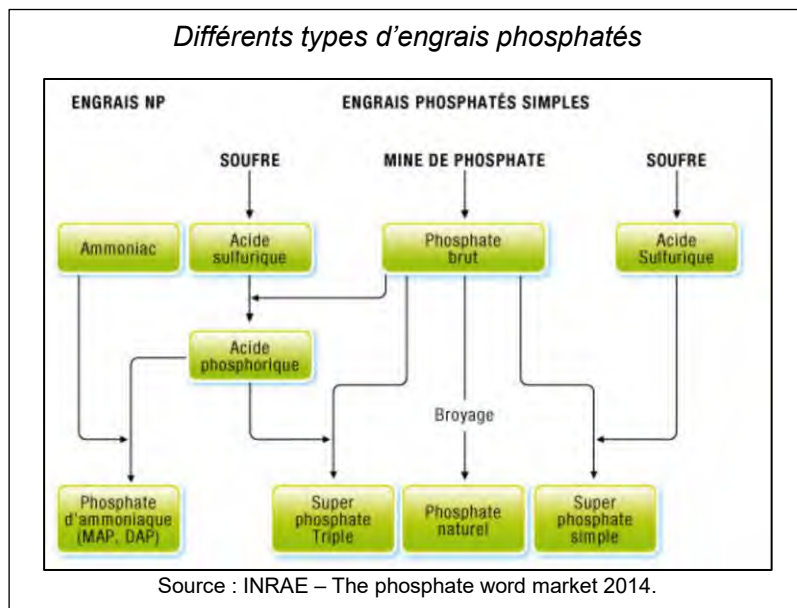
<sup>63</sup> Actuellement, les droits de douanes en vigueur pour les engrais minéraux et matières premières liées aux frontières de l'Union européenne sont de 0 % sur les roches phosphates et 6,5 % sur les engrais minéraux, avec une exception de 0 % pour les engrais minéraux provenant de la région MENA (Middle East and North Africa : Moyen-Orient, Égypte et Maghreb) et Trinidad. Le règlement (UE) 2025/1227 du 17 juin 2025 porte modification des droits de douane applicables aux importations de certains produits originaires de la Fédération de Russie et de la République de Biélorussie ou exportés à partir de ces pays. Certains produits, dont les engrais comprenant de l'azote (codes 3105 20, 3105 30, 3105 40, 3105 51, 3105 59 et 3105), sont soumis à un droit de douane calculé comme suit : 6,5 % ad valorem + 45 €/tonne du 1<sup>er</sup> juillet 2025 au 30 juin 2026, + 70 €/tonne du 1<sup>er</sup> juillet 2026 au 30 juin 2027, + 95 €/tonne du 1<sup>er</sup> juillet 2027 au 30 juin 2028 et + 430 €/tonne à partir du 1<sup>er</sup> juillet 2028. Les engrais phosphatés sans azote (P, PK) ne sont pas concernés.

En France, la production d'engrais composés NK/NPK suit une tendance à la baisse progressive sur la dernière décennie, avec une rupture plus nette en 2022-2023, notamment liée à l'arrêt de la production sur l'usine Yara de Montoir. La fermeture de l'usine TIMAC AGRO Tonnay-Charente en 2023 voit une perte de production d'environ 200 000 t de composés PK.

La France demeure le neuvième importateur net d'engrais phosphatés. Malgré une variabilité annuelle des quantités et des sources d'approvisionnement, les différents schémas précédents illustrent clairement la dépendance de la France vis-à-vis de 4 ou 5 pays fournisseurs.

Sur la période 2019-2024, le Maroc et la Russie représentent 75 % des importations françaises d'engrais phosphatés (en ajoutant Israël et l'Égypte, 93 % des importations proviennent de quatre pays).

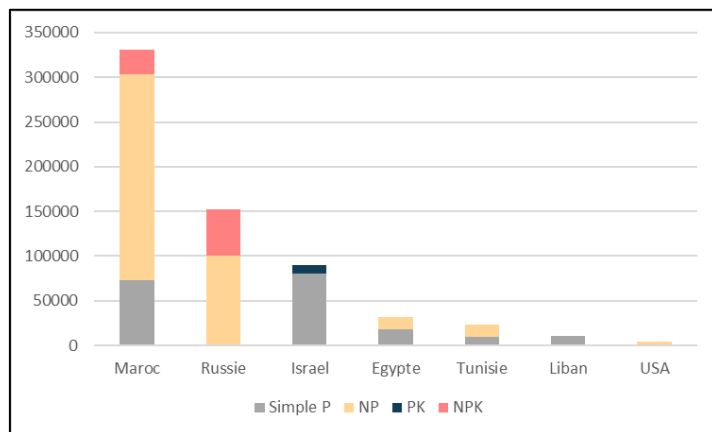
### 3.1.2 Une dépendance accentuée pour certains types d'engrais



Les engrais minéraux phosphatés sont utilisés sous des formes variées, depuis la roche brute jusqu'à des associations avec d'autres éléments (azote notamment), comme l'illustre le schéma ci-dessous. L'acide phosphorique est un intermédiaire essentiel dans les chaînes de fabrication.

L'utilisation varie selon le type d'engrais. Les engrais sans azote sont utilisés comme engrais de fond.

*Importations françaises annuelles (moyenne sur la période 2019-2024) des principaux types d'engrais contenant du phosphate en provenance de pays-tiers*



Données : COMEXT.

Les principaux pays-tiers fournisseurs de NPK sont le Maroc et la Russie ; Israël est le principal fournisseur de PK. Une part significative des engrais composés est importée d'Espagne auprès de Fertiberia et Fertinagro, et de Belgique auprès de Yara et EuroChem. L'approvisionnement pour chaque type d'engrais dépend donc très fortement de deux pays.

Une enquête réalisée par l'AFCOME auprès de ses adhérents permet d'appréhender les sources d'approvisionnement actuelles selon le type d'engrais et les taux de cadmium des engrais et les éventuelles difficultés d'approvisionnement pour certains engrais « low cadmium ».

## Données déclarées par Adhérents AFCOME - Achat d'engrais contenant du phosphate

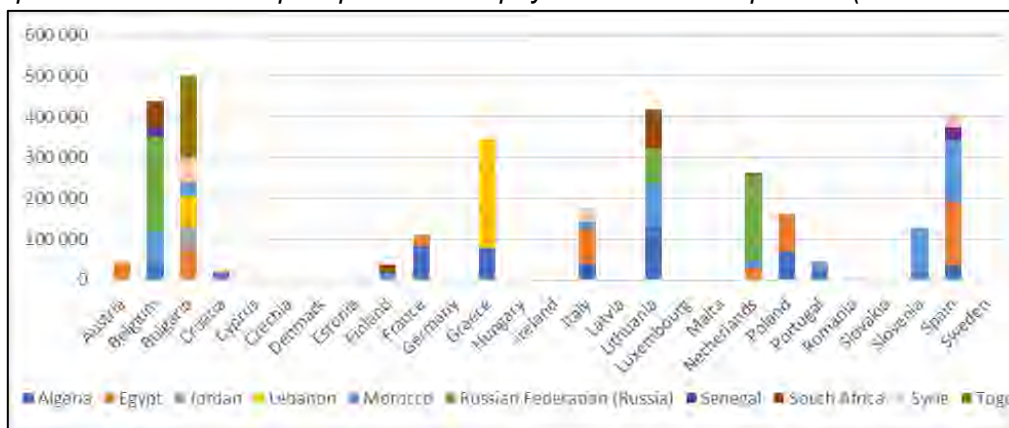
Provenances :	Israël	Tunisie	UE	Egypte	Maroc	Russie
	>40mg	>40mg	>40mg (Belgique, Pays-Bas, Lituanie, Espagne et France)	<40mg	<40mg Voir <20mg dans certains cas	<20mg
■ SIMPLE P	●	●	●	●	●	
■ PK	●		●			
■ NPK	●	●	●	●	●	●
■ NP	●		●		●	●

Source : AFCOME entretien.

### 3.1.3 La France dépend également d'un nombre réduit de fournisseurs pour son approvisionnement en roches phosphatées brutes

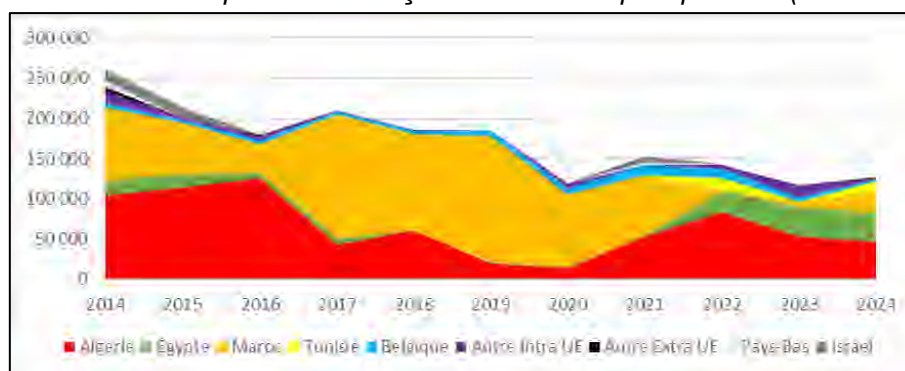
Les engrais phosphatés fabriqués dans l'UE le sont à partir de matières premières ayant pour origine des roches phosphatées essentiellement marocaines, algériennes, égyptiennes, libanaises ou russes. La France importe tout son phosphate naturel<sup>64</sup>, de même que l'Europe<sup>65</sup>. L'annexe 16 détaille les principaux producteurs (ainsi que les réserves connues) et les principaux flux mondiaux de roches phosphatées.

#### Importations de roches phosphatées des pays de l'union européenne (données 2022)



Source : Eurostat – traitement mission.

#### Évolution des importations françaises de roches phosphatées (en tonnes)



Source : Eurostat – traitement mission.

<sup>64</sup> Jusqu'à l'arrêt de l'exploitation du minerai de fer lorrain et la production de scories de déphosphoration à partir de la minette de Lorraine qui contient de 1,5 à 2 % de phosphore, la production était, par exemple en 1995-96 de 92 763 t de scories soit 11 942 t en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

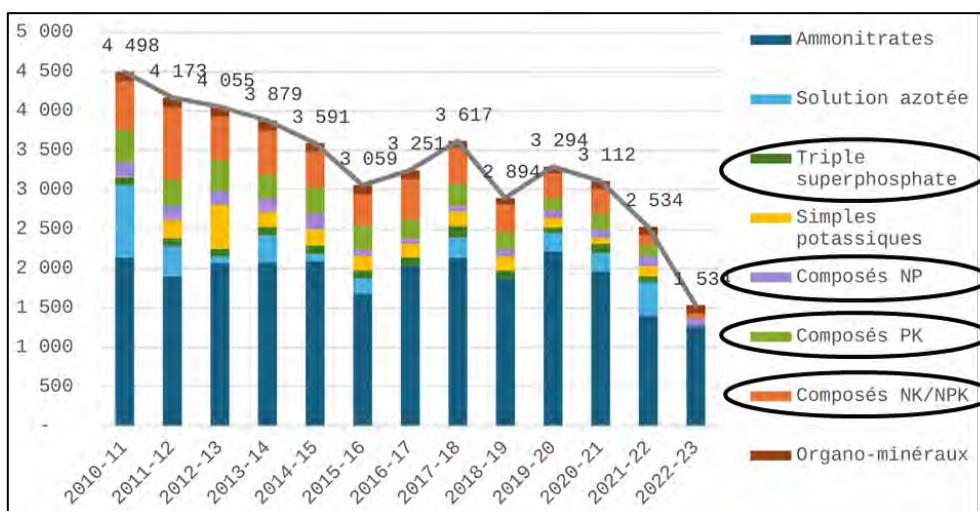
<sup>65</sup> La seule mine de phosphates en activité dans l'Union européenne, exploitée par Yara, est située en Finlande, à Siilinjärvi. Sa production, en 2020, a été de 995 000 t.



Depuis cinq ans, on note que la France a commencé à diversifier des sources d'approvisionnement en roches phosphatées et fortement réduit les importations en provenance du Maroc.

La tendance reste à la baisse de la production française d'engrais, avec une accentuation lors de la campagne 2022-2023 qui voit également la disparition de plusieurs catégories : le TSP, les simples potassiques et les engrais PK. La baisse de la production étant plus importante que celle des livraisons, le taux d'auto-approvisionnement en engrais finis chute également, nous rendant encore plus dépendant des importations.

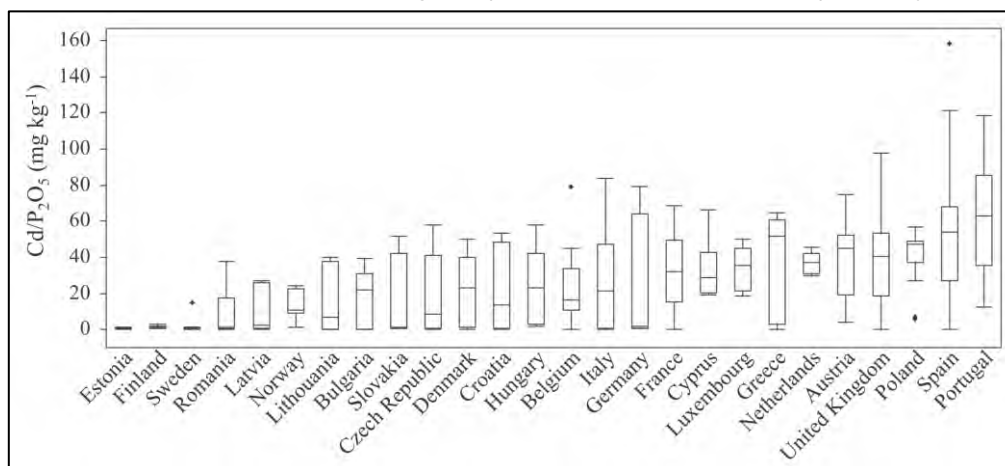
*Production apparente<sup>66</sup> estimée par grandes catégories d'engrais et par année de campagne (kt de produit)*



Source : élaboration AND, données COMEXT, UNIFA in Étude sur le fonctionnement général du marché des engrais minéraux dans la situation spécifique des filières grandes cultures. AND International et CERES PRESS pour FranceAgriMer. Octobre 2024.

### 3.1.4 Un approvisionnement majoritairement dans des pays avec des taux élevés de cadmium et des possibilités de diversification des approvisionnements relativement limitées à court terme

Teneur en cadmium des engrais (sur la base de l'unité P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) par pays,



Les traits correspondent aux quantiles min - P25 - P50 - P75 - max et les points sont des valeurs aberrantes.

Source : Mieke Verbeeck, Peter Salaets, Erik Smolders. Trace element concentrations in mineral phosphate fertilizers used in Europe: A balanced survey. Science of the Total Environment 712. 2020.

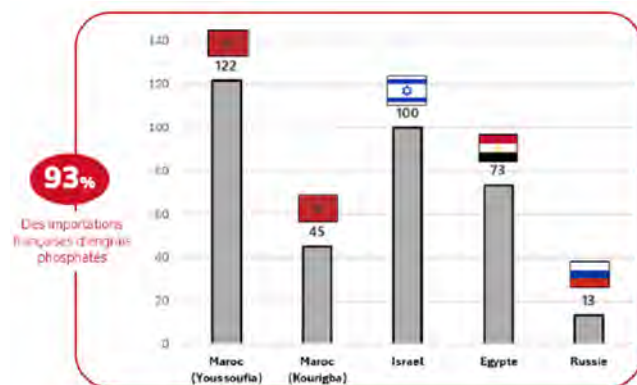
<sup>66</sup> Une estimation de la production française a pu être réalisée sur la base des données d'échanges d'Eurostat et des données de livraison de l'UNIFA, pour des grandes catégories d'engrais minéraux. Le décalage entre les deux pas de temps (respectivement en année civile et année de campagne) et l'effet du stockage ne permettent pas de disposer de données véritablement annuelles ; les ordres de grandeurs obtenus et leur évolution sont néanmoins réalistes et pour étayés par les retours d'entretiens.

Les teneurs en cadmium des roches phosphatées sont très variables (cf. 1.1.2) : elles sont faibles (< 20 mg de Cd/kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) dans les roches ignées et, en moyenne, bien plus élevées dans les roches sédimentaires (de 20 à 250 mg de Cd/kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>).

Le cadmium présent dans les minerais se retrouve dans les produits commercialisés au fil des transformations et des mélanges. Du fait de la variabilité des teneurs en cadmium des gisements (cf. 1.1.1) et des multiples sources d’approvisionnement pour les différentes formes d’engrais, il est difficile de caractériser les teneurs moyennes en cadmium des produits utilisés dans un pays (cf. annexe 6).

En Europe, une teneur moyenne a été estimée à environ 36 mg/kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, avec de fortes variations<sup>67</sup>.

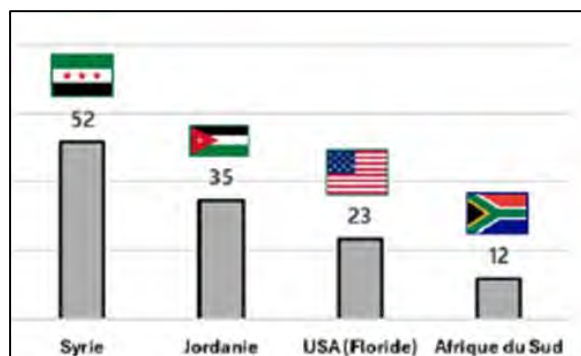
Comme l’illustrent les graphiques suivants, les roches phosphatées des principaux fournisseurs de la France sont majoritairement à teneurs en cadmium élevées.



*Teneur en cadmium des quatre principaux fournisseurs d’engrais phosphatés pour la France (93 % des importations)*

Source : AFCOME – Données : Davister A. – Studies and research on processes for the elimination of cadmium from phosphoric acid – 1996.

À ce jour, il existe peu d’alternatives pour importer des roches phosphatées à faible teneur en cadmium. Quelques sources « bas cadmium » existent mais, elles ne sont pas compétitives ou ne sont pas exploitées.



*Pays disposant de ressources bas cadmium (avec la teneur en mg de Cd/Kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)*

Source : AFCOME entretien mission.

Les trois premiers pays (Syrie, Jordanie et USA) ne sont pas couverts par un accord de libre-échange avec l’UE, ce qui implique des coûts logistiques (fret et assurance) importants. L’Afrique du Sud n’a pas réellement développé sa capacité d’exploitation et d’exportation d’engrais phosphatés.

Toutefois, certains opérateurs considèrent que le gisement de phosphate à Bjerkreim-Sokndal/Storeknuten (Norvège), constitué de roches ignées à faible teneur en cadmium, pourrait constituer une source d’approvisionnement majeur à long terme<sup>68</sup>.

### 3.1.5 S’orienter vers la décadmiation

Face aux débats et en prévision d’une évolution du règlement fertilisant européen, OCP a investi dans la recherche-développement pour procéder à la décadmiation. La mise au point du procédé à une échelle industrielle a exigé un investissement important (de source indirecte, il a été rapporté à la mission un montant d’investissement de 60 M€).

De fait, OCP Nutricrops a annoncé en juin 2025 être en mesure de respecter la mention « low cadmium », c’est-à-dire de fournir des engrais contenant moins de 20 mg de cadmium par kilogramme de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Lors de l’entretien avec les représentants d’OCP Nutricrops, ces derniers ont affirmé que dorénavant, tous les engrais exportés vers l’Europe sont « low cadmium » (pas les roches phosphatées brutes).

<sup>67</sup> Source : Gilbert, 2018 in Cristiano Ballabio, Arwyn Jones, Panos Panagos. Cadmium in topsoils of the European Union – An analysis based on LUCAS topsoil database. Science of the Total Environment 912. 2024.

<sup>68</sup> La société norvégéo-britannique Norge Mining a fait une découverte considérable il y a cinq ans dans la région montagneuse du sud-ouest du Rogaland : un gisement de phosphate qui contiendrait 70 milliards de tonnes de minerai (source : The Independent. Juillet 2023).

Si on considère le marché actuel, cela signifie que 75 % des importations extra UE d'engrais (Maroc et Russie) devraient pouvoir aujourd'hui bénéficier de l'étiquette « low cadmium ».

En conclusion, à l'heure actuelle, un abaissement des teneurs en cadmium autorisées dans les engrais phosphatés pourrait avoir plusieurs conséquences :

- des difficultés d'approvisionnement pour certains engrais produits uniquement dans des pays avec des taux > 60 mg ou 40 mg de Cd/kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>,
- une diminution du nombre de fournisseurs potentiels, ceux pouvant répondre à de nouvelles caractéristiques techniques se trouvant alors en situation d'oligopole ; situation du Maroc où l'OCP a investi dans des procédés de décadmiation,
- quant au développement d'échanges avec de nouveaux fournisseurs, le potentiel semble restreint à court terme et implique pour les importateurs de disposer d'une période d'adaptation suffisamment importante nous développer de nouvelles relations contractuelles fiables.

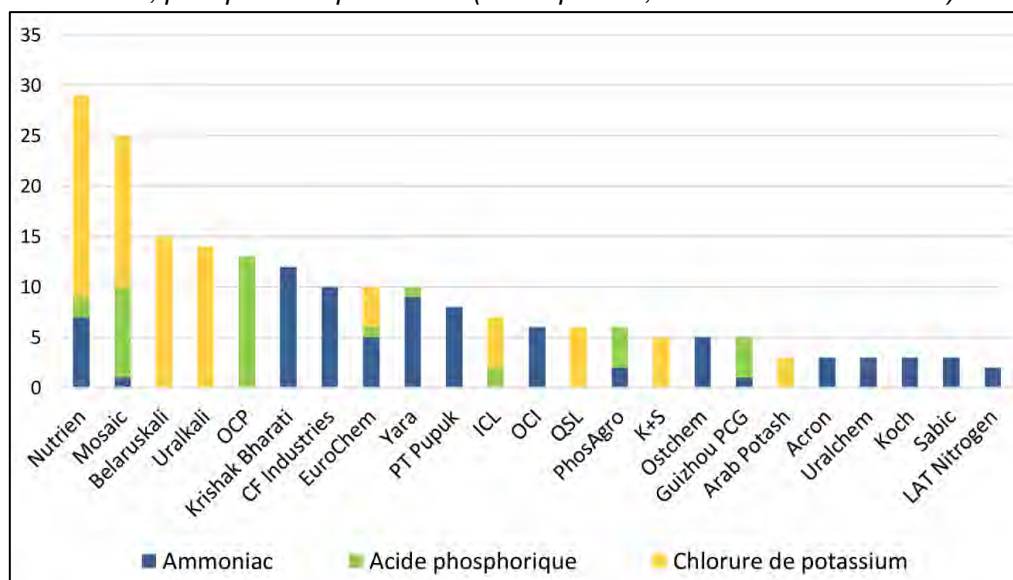
## 3.2 Une augmentation du coût des engrais

### 3.2.1 Un marché mondial dominé par quelques grands groupes avec le rôle majeur de quelques États

Les acteurs majeurs miniers pour les phosphates sont le groupe américain Mosaic, le groupe marocain OCP et à, un degré moindre, les acteurs ICL (Israël), PhosAgro (Russie) et Guizhou PCG (Chine). Ces entreprises sont à la fois productrices de minerais et d'engrais.

Certains producteurs industriels d'azote se sont diversifiés dans la production d'engrais composés, soit en s'approvisionnant en externe pour le phosphore, soit en acquérant des mines de phosphates comme Yara (Norvège).

*Capacité de production des principaux producteurs d'engrais en matières premières des chaînes azote, phosphore et potassium (Mt de produit, données 2021 ou 2022)*



Source : AND International, d'après les données issues des rapports annuels d'activité des entreprises, de l'USGS, et des comparatifs de marché réalisés par Nutrien, ICL, Uralchem et le site Elementarium.

Dans plusieurs pays, les pouvoirs publics cherchent à pallier l'impossibilité pour les acteurs privés de recourir à des contrats d'approvisionnement de long terme en concluant des accords bilatéraux d'État à État (ainsi, en octobre 2023, l'Inde et le Maroc ont signé un accord pour un approvisionnement en phosphates).

Une étude détaillée récente de FranceAgriMer<sup>69</sup> apporte de nombreux éléments sur le fonctionnement du marché des engrais dans le monde, en Europe et en France. L'annexe 17 présente quelques extraits de cette étude, notamment des fiches sur les principaux acteurs du marché.

En France, l'approvisionnement du marché est assuré pour la majorité des volumes par des importations et, dans une moindre mesure, par la production de quelques acteurs sur le territoire : il existe une demi-douzaine d'entreprises produisant des engrais simples et engrais composés sur le territoire métropolitain, notamment TIMAC AGRO, filiale du groupe Roullier, positionnée sur l'aval de la chaîne de production. Jusqu'en 2023 et la fermeture du site de Tonnay-Charente, l'entreprise a produit des engrais PK. Son activité se concentre désormais principalement sur la fabrication d'engrais composés par mélange d'éléments azote, phosphore, potassium et magnésiens importés. Yara (Le Havre) et LAT Nitrogen (Grand-Quevilly, Grandpuits, Ottmarsheim), producteurs d'ammoniaque, importent aussi les éléments phosphore et potassium, utilisés pour la production d'engrais composés. Fertemis, filiale d'Eliard-SCPC, se positionne sur le même segment des engrais composés. Plusieurs producteurs internationaux disposent de sites de production d'engrais composés en France. C'est le cas de l'espagnol Fertinagro et de l'israélien Haifa. Ces entreprises proposent des produits différenciés qui leur permettent de sécuriser une part de marché.

La distribution française est structurée par des réseaux de coopératives et négociants qui maillent l'ensemble du territoire. Les coopératives en assurent 70 % et les négociants 30 %. La coopérative InVivo est devenue, avec le rachat du négociant Soufflet, le groupe leader sur la distribution d'engrais en France, avec 1 Mt de tonnes par an.

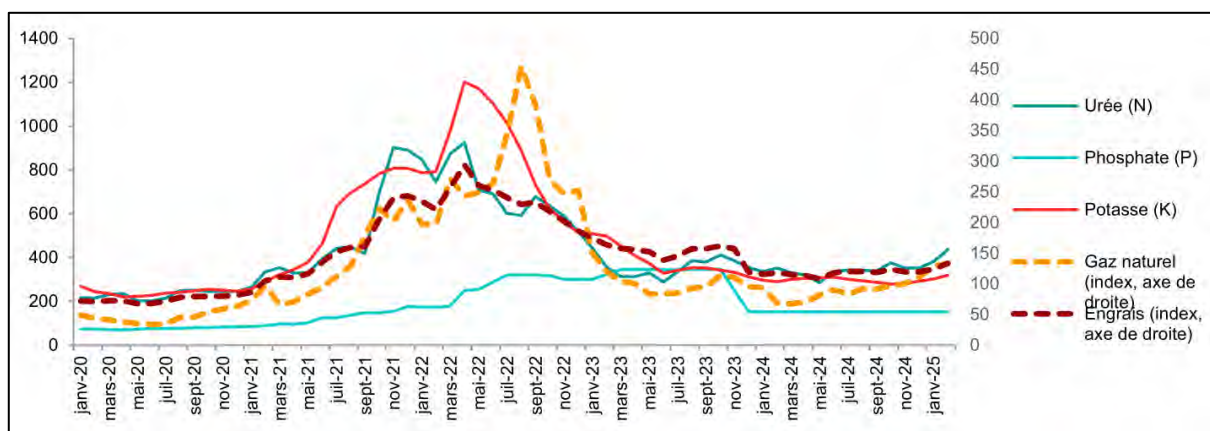
### 3.2.2 Des prix très fluctuants, dans le temps et selon les régions, à la merci de tensions géopolitiques et des prix de l'énergie

Les producteurs et distributeurs français d'engrais réalisent l'ensemble de leurs achats en contrats spot (ou « contrats au comptant »), risqués dans un contexte de prix volatils. À l'échelle de la distribution, une stratégie d'achat-revente simultanée « back to back » est mise en œuvre par de nombreux acteurs. Cette option s'accompagne d'une logistique tendue, minimisant le stockage par le recours à des petits lots en s'appuyant sur les outils logistiques du fret routier et du big bag.

Entre 2021 et 2023, les engrais phosphatés ont vu leur coût fortement augmenter, en raison de la hausse des coûts de l'énergie et des restrictions à l'importation d'engrais et de produits intermédiaires dont l'UE est dépendante pour une grande part de la Russie.

Le prix contractuel de l'OCP marocain, second producteur et principal exportateur mondial, utilisé comme référence notamment par la Banque mondiale, est stable depuis novembre 2023. Ce cours relativement faible s'explique par la concurrence d'autres producteurs, comme l'Égypte, qui obligent le géant marocain à maintenir des cours faibles (Source : *Global Sovereign Advisory*).

Cours des trois principales classes d'engrais, en USD/tonne



Source : Banque mondiale in Global Sovereign Advisory (ibid.)

<sup>69</sup> Étude sur le fonctionnement général du marché des engrais minéraux dans la situation spécifique des filières grandes cultures. AND International et CERES PRESS pour FranceAgriMer. Octobre 2024.

Dans ce contexte, la réduction des teneurs en cadmium autorisées dans les engrais en France pourrait se traduire par une augmentation des coûts des engrais pour deux raisons principales.

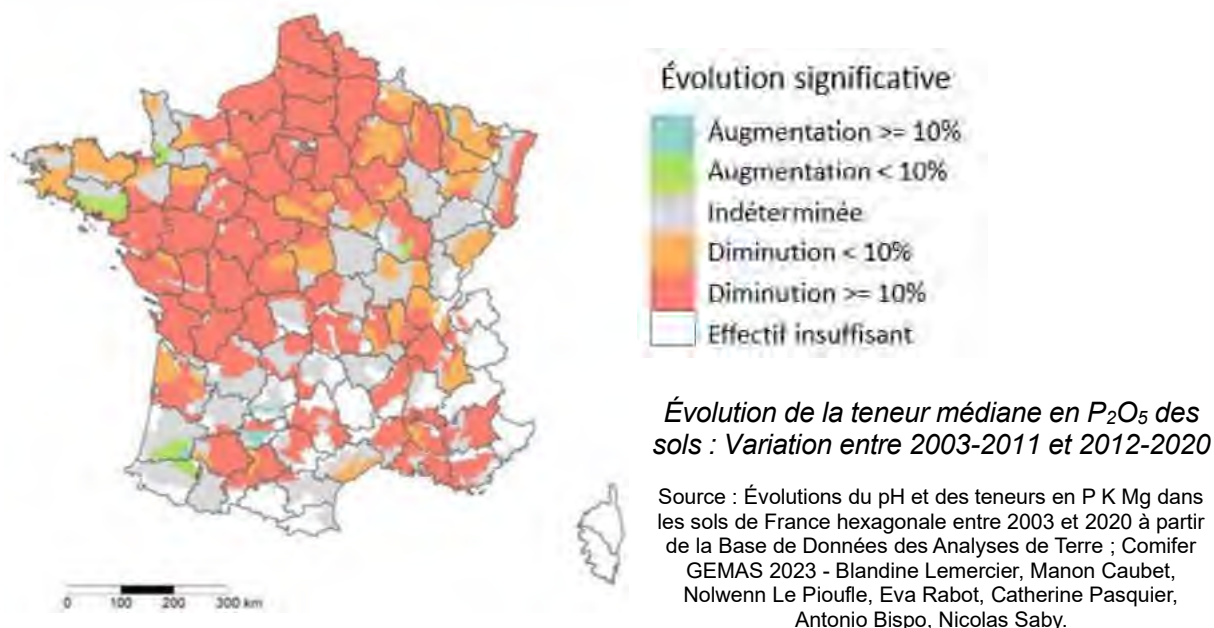
- La mise en position d'oligopole voire de duopole de quelques fournisseurs – Les marchés européen et français représentant respectivement 9 % et 2 % du marché mondial des engrais phosphatés, les importateurs ne disposent pas d'un très fort pouvoir de négociation. Aussi, le renforcement du caractère oligopolistique du marché pourrait encore réduire les capacités de négociations des importateurs, et ainsi engendrer une augmentation du prix d'importation des engrais.
- Le coût de la décadmiation – Il est très mal connu et relève du secret des affaires (cf. annexe 19). Une estimation réalisée Thibault Sterckeman (INRAE) en 2018 précise que « *Le coût de la décadmiation des engrais phosphatés oscille entre 30 et 100 dollars par tonne d'engrais phosphatés. En supposant un maximum de 100 euros par tonne, le surcoût serait de l'ordre de 2 euros pour la fertilisation actuelle d'un hectare de blé. Ce surcoût représente moins de 0,2 % du coût de la culture de blé de l'ordre de 1 600 euros par hectare en 2014. La décadmiation des engrais est probablement moins un problème économique que technique, puisque le procédé n'a pas encore été éprouvé à l'échelle industrielle* ». Plus que son incidence directe sur le prix des engrais<sup>70</sup>, c'est la distorsion de concurrence avec des producteurs français qui risque d'être inflationniste, ces derniers dépendant de sources d'approvisionnement en roches phosphatées ou acide phosphorique qu'il faudrait décadmier avec un coût beaucoup plus important du fait de faibles volumes.

À ce niveau, il faut noter que, à ce jour, le seul opérateur ayant développé la décadmiation à l'échelle industrielle n'a pas répercuté le coût du procédé sur les prix de vente des engrais. Toutefois, rien ne garantit que cette politique perdurerait si les exigences réglementaires devaient se durcir et si la situation d'oligopole tendait vers un quasi-monopole.

### 3.3 Conséquence indirecte : un risque de sous-fertilisation phosphatée ?

#### 3.3.1 Une diminution importante du phosphore assimilable dans les sols français

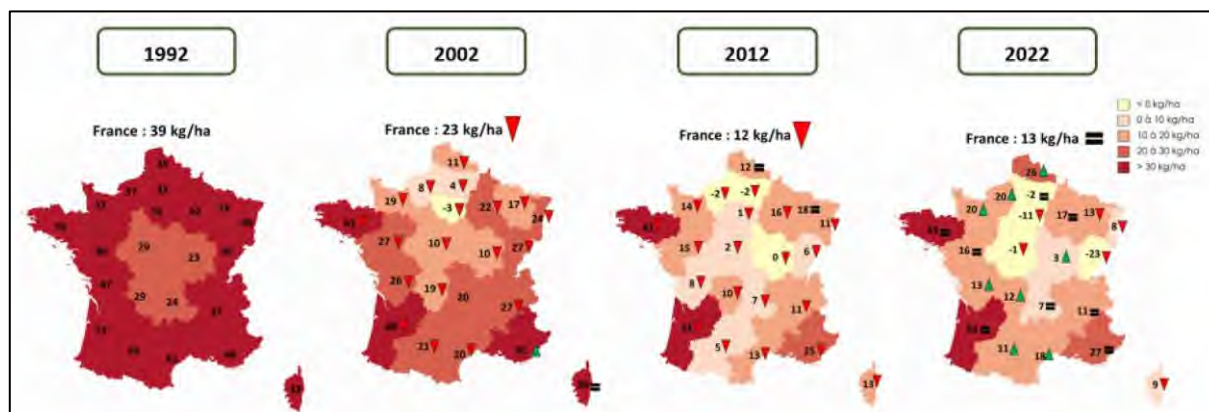
L'analyse de l'évolution du phosphore équivalent Olsen (méthode utilisée pour évaluer le phosphore assimilable, bien adaptée pour les sols calcaires ou à pH élevé) entre 2003 et 2020 montre une baisse sur 68 % de la SAU (53 % de la SAU ayant une baisse supérieure à 10 %) et une augmentation sur seulement 2 % de la SAU.



Cette tendance n'est pas nouvelle et accompagne la baisse régulière des apports d'engrais phosphatés. Voici dix ans, l'application des bonnes pratiques de fertilisation phosphatée indiquait qu'une baisse d'environ 25 % des apports était possible<sup>71</sup>. Aujourd'hui, la marge de progrès s'est réduite<sup>72</sup> et le contexte de prix élevés des engrais laisse penser que le temps d'une sur-fertilisation touche à sa fin.

L'étude de FranceAgriMer souligne également le changement de situation et précise que « selon certains opérateurs, une grande part de la baisse de consommation observée entre 2020 et 2024, qui serait de l'ordre de 25 %, pourrait être durable. Alors que l'apport d'engrais organiques reste, dans beaucoup de régions, insuffisant pour compenser la baisse d'utilisation en engrais minéraux, cette tendance de long terme suscite des inquiétudes sur une possible déplétion des sols en phosphore et en potassium, avec des conséquences à moyen terme sur les rendements ».

Carte représentant l'évolution du solde moyen en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>



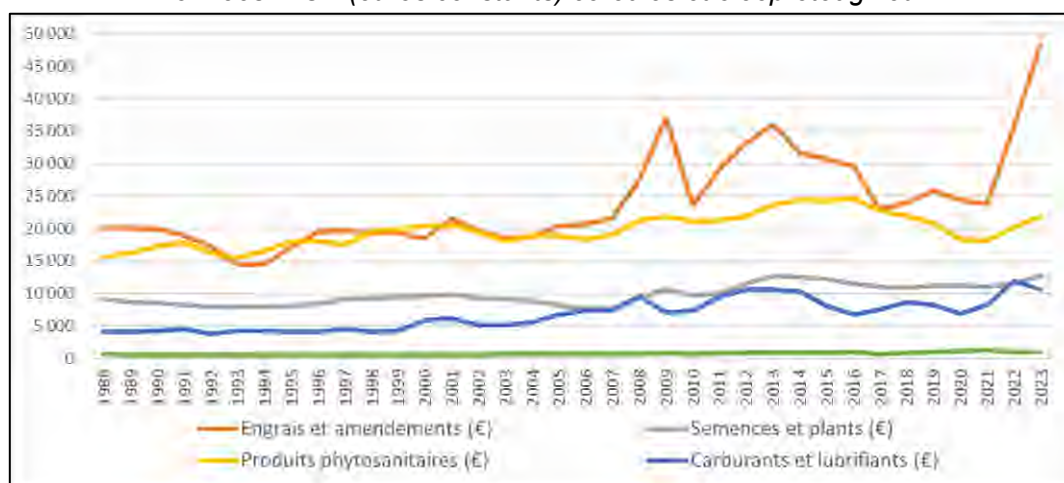
Source : Léo Bellenger - 16<sup>e</sup> Rencontres Comifer-GEMAS : 21-22 novembre 2023 – Tours.

### 3.3.2 Dans un contexte économique difficile pour les agriculteurs, des risques « d'impasses » répétées pour les engrais de fond et des pertes de rendement associées

#### Des risques d'impasse pour les engrais de fonds :

L'évolution globale du prix des engrais (cf. 3.2.2 et annexe 18) se traduit par des charges accrues pour les agriculteurs, comme l'illustre le graphique suivant à partir des données RICA.

Données RICA (euros constants) céréales et oléoprotéagineux



Source : RICA, traitement mission.

<sup>71</sup> Source : Thibault Sterckeman.

<sup>72</sup> Si la marge est réduite, elle existe néanmoins toujours, en particulier dans certaines régions (cf. paragraphe 1.2.4).

Avec des prix de vente des produits agricoles qui ne suivent pas, les agriculteurs sont de plus en plus tentés de faire l'impasse sur les fertilisations de fond, en comptant sur les réserves des sols. La fertilisation azotée, essentielle pour la production, est privilégiée.

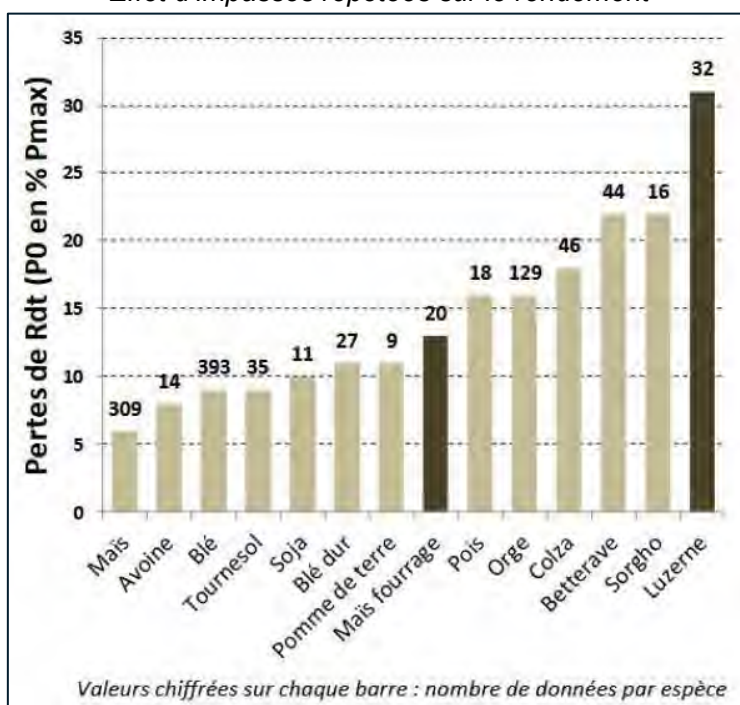
Les pertes de rendement en cas d'impasse en phosphore vont bien évidemment dépendre de l'exigence des cultures et des teneurs du sol, comme l'illustre le tableau suivant.

*Perte de rendement en cas d'impasse en phosphore, exprimée en pourcentage*

Teneur du sol	Sol pauvre x < teneur renforcement	Sol à l'entretien teneur renforcement < x < teneur d'impasse	Sol riche x > teneur d'impasse
Exigence des cultures			
Cultures fortement exigeantes : colza, pomme de terre, betterave	17 %	3,2 %	0,5 %
Cultures moyennement exigeantes : blé/blé, blé dur, orge, maïs ensilage, ray-grass	10,1 %	3,1 %	3,1 %
Cultures peu exigeantes : blé tendre, maïs grain, seigle, tournesol	11,8 %	5,5 %	3,7 %

Source : ARVALIS.

*Effet d'impasses répétées sur le rendement*



Source : Comifer.

### Des risques d'apports insuffisants liés au flux maximal de 2 g/ha

Dans ce contexte, le respect du flux de 2 g Cd/ha/an impliquerait d'utiliser des engrais à faible teneur en cadmium, au risque de multiplier des apports insuffisants en phosphore pour certaines cultures, dans des sols pauvres en phosphore, comme l'illustre le tableau suivant.

Ainsi, avec déjà une forte pression due aux prix, la diminution des teneurs autorisées en cadmium dans les engrais phosphatés risque d'accroître les impasses, à la fois pour des raisons économiques et pour respecter le flux maximum de 2 g de Cd/ha. Dans certains cas (selon le type de sol et la culture), l'utilisation d'engrais « low cadmium » sera indispensable pour que les quantités de phosphore apportées puissent couvrir les besoins de la culture (luzerne, colza...).

Le phosphate bas cadmium d'origine russe est, pour le marché français, uniquement disponible sous forme d'engrais combiné avec l'azote (DAP-NP-NPK) et il n'est pas disponible à travers des produits de type TSP ou PK. La provenance russe ne pourrait donc se substituer à d'autres pour la fertilisation de fond (cf. 3.1.4).

*Estimation des besoins résiduels en phosphore de différentes cultures en fonction de la teneur en cadmium des engrais phosphatés pour un flux maximum de 2 g Cd/ha (selon la méthode du Comifer)*

<b>Parcelle avec une faible teneur en P</b>	Betterave	Pomme de terre	Colza	Luzerne	Maïs	Blé	
Rendement en t/ha	85	50	3,5	12	10	8,5	
Besoin en kg de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> / ha	42,5	53	90	70	60	55	
Exigence vis-à-vis du P	Forte	Forte	Forte	Forte	Peu	Moyenne	
Coefficient Comifer (cf. annexe 10)	1,5	1,5	1,5	1,5	1	1	
<b>Carence en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> pour respecter un flux maximum de 2 g Cd/ha</b>	Engrais 60 mg Cd	- 30	- 46	- 102	- 72	- 27	- 22
	Engrais 40 mg Cd	- 14	- 30	- 85	- 55	- 10	- 5
	Engrais 20 mg Cd	36	21	- 35	- 5	40	45

Source : AFCOME (entretien mission).

À l'aune de ces éléments, la mission retient les analyses suivantes concernant les différents seuils de teneur proposés dans le projet de socle commun :

- Seuil à 60 mg – Pas d'impact ni contraintes, car déjà appliqué par les fournisseurs du fait de la réglementation européenne.
- Seuil à 40 mg – Quelques contraintes (restriction ou sélection plus difficile des sources d'approvisionnement) et un risque d'augmentation du prix des engrais. Pour laisser le temps aux entreprises françaises de réorganiser leur approvisionnement, dans un contexte géopolitique difficile et une concurrence exacerbée (annonce de l'OCP de fourniture d'engrais « low cadmium »), le choix de ce seuil devrait laisser un délai suffisant – trois ans au minimum.
- Seuil à 20 mg : une telle évolution serait favorable sur le plan sanitaire tout en permettant des apports suffisants de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> en respectant un flux maximal de 2 g/ha, mais entraînerait de plus fortes contraintes sur les approvisionnements (augmentation de notre dépendance et désindustrialisation) et les coûts (alors que la situation économique des agriculteurs en grandes cultures se fragilise). Elle impliquerait au mieux une forte adaptation des opérateurs qui nécessite du temps ; pour rappel, la Commission européenne avait proposé un délai de 9 ans. Dans un tel cas de figure, la réalisation préalable d'une étude d'impact 2 ou 3 ans après être passé à 40 mg serait utile, d'autant plus si cette évolution est uniquement nationale (et pas à l'échelle européenne).

Dans tous les cas, l'idéal serait qu'une telle évolution réglementaire soit en harmonie avec les éventuelles évolutions du règlement européen fertilisant dont un rapport sur la mise en œuvre doit être réalisé en 2026 en vue d'une éventuelle modification des seuils.

**Recommandation 3. [ MAASA ( DGAL ) & MTEBNICN ( DEB ) ] 1 – Adopter immédiatement une teneur maximale de 60 mg de Cd/kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> : mesure peu contraignante et en harmonie avec le règlement européen. 2 – Maintenir une évolution du seuil à 40 mg en laissant une période minimum de 3 ans aux entreprises françaises pour adapter sereinement leurs approvisionnements. 3 – Pour déterminer les conditions optimales (délais, modalités...) d'évolution vers une teneur maximale de 20 mg (recommandations Anses) : réaliser une étude d'impact 2 ans après l'application du seuil intermédiaire de 40 mg (évaluation du rapport coût-bénéfice en prenant en considération les évolutions du marché, les évolutions géopolitiques, les évolutions des connaissances sur la relation entre emplois d'engrais et teneurs des aliments en cadmium et évaluation des modifications nécessaires de l'outil industriel et de distribution français et des délais nécessaires). 4 – Dans la mesure du possible, et pour éviter les distorsions de concurrence, aligner les évolutions réglementaires françaises sur les évolutions du règlement européen fertilisant qui prévoit la possibilité d'évolution des seuils.**



### 3.4 Ne pas négliger les alternatives du fait de l'évolution de la réglementation

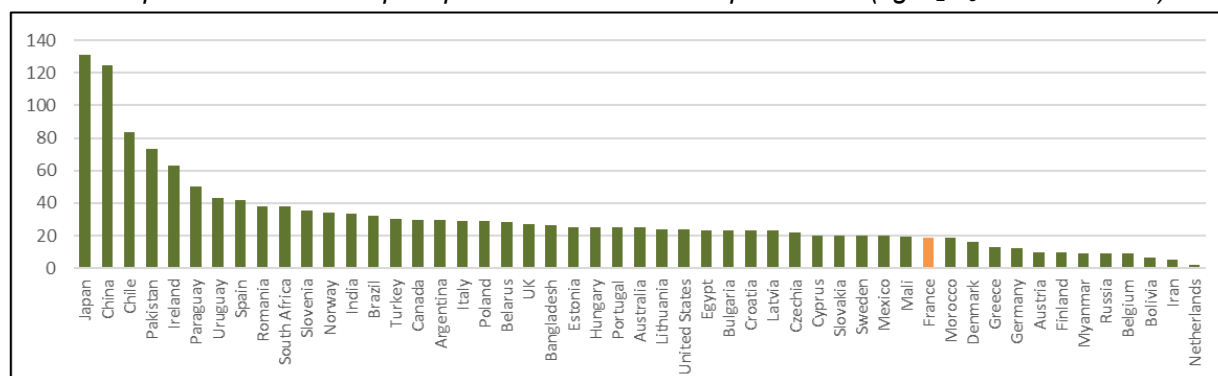
L'évolution de la réglementation française et/ou européenne quant aux teneurs maximales dans les engrais minéraux ne doit pas faire passer au second plan les autres options pour réduire les apports d'engrais et, par conséquent, la contamination des sols, plantes et aliments par le cadmium.

#### 3.4.1 Analyser les possibilités de réduire les apports de phosphore

Plusieurs voies peuvent être considérées pour réduire les apports de phosphore et les apports de cadmium associés (cf. aussi annexe 20) :

1. **Accélérer la transition agroécologique** – Ce sujet dépasse largement le cadre de cette mission, toutefois, un changement de paradigme relatif à la production agricole (agroécologie, agriculture biologique, polyculture-élevage...) pourrait conduire à réduire fortement les apports en engrais phosphatés.
2. **Optimiser les apports de phosphore** – Même si l'époque de la sur-fertilisation est aujourd'hui révolue, une étude récente<sup>73</sup> au niveau européen s'est attachée à estimer dans quelle mesure et où les apports de phosphore dans les sols agricoles (terres cultivées et prairies) de l'UE peuvent être optimisés. En supposant que les concentrations optimales de phosphore dans le sol (Olsen) soient comprises entre 20 et 40 mg/kg, les calculs montrent que les apports actuels de phosphore dans l'UE peuvent être réduits de 21 % sans effets négatifs sur la production agricole. Les zones dans lesquelles il est possible de réduire les apports de phosphore se situent principalement dans le nord de la France, en Flandre, aux Pays Bas, en Allemagne, au Danemark, en Pologne et en Irlande. L'annexe 8 présente ces résultats sous forme de cartes, ainsi que les pratiques de fertilisation phosphatée dans différents pays de l'UE dans le Monde pour quelques grandes cultures. Le graphique ci-dessous illustre le cas du blé.

Pratiques de fertilisation phosphorée dans le monde pour le blé (kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha 2017-2018)



Source : IFA, traitement mission.

3. **Accroître la biodisponibilité du phosphore** – Divers travaux scientifiques<sup>74</sup> permettent de mieux comprendre les processus limitant la disponibilité du phosphore. La transposition de ces connaissances en termes d'applications agronomiques permet de proposer quelques pistes pour améliorer la biodisponibilité de cet élément.
  - **L'amélioration variétale** – Elle constitue un véritable enjeu à relever en proposant de nouveaux critères de sélection des variétés « efficaces pour le phosphore » basés sur des caractères phénotypiques impliqués dans l'acquisition du phosphore, comme l'exploration du sol (architecture du système racinaire, poils racinaires) ou l'association avec des micro-organismes bénéfiques (capacité de mycorhization, production d'exsudats

<sup>73</sup> Lex4bio 2022 - Van Eynde, E., Ros, G. H., Yunta, F., Muntwyler, A., Hinsinger, P., Fendrich, A. N., & Panagos, P. (2025). Opportunities for optimizing phosphorus inputs in EU agricultural soils. *Environmental Science and Policy*, 171. 2025.

<sup>74</sup> Améliorer la biodisponibilité du phosphore : comment valoriser les compétences des plantes et les mécanismes biologiques du sol ? - Plassard C., Robin A., Le Cadre E., Marsden C., Trap J., Herrmann L., Waitthaisong K., Lesueur D., Blanchart E., Chapuis-Lardy L., Hinsinger P. - *Innovations Agronomiques* 43 (2015), 115-138.

Avancées et perspectives sur l'amélioration de la disponibilité du phosphore dans les systèmes de culture - Michel-Pierre Faucon (UniLaSalle), Etienne Michel ; Hans Lambers (The University of Western Australia), David Houben (UniLaSalle) - *Revue AGRONOMIE, environnement et sociétés* – Volume n°6 - Juin 2016.

racinaires stimulant une population microbienne bénéfique ou favorisant la désorption du phosphore). En outre, les différences variétales dans l'accumulation de cadmium sont bien mises en évidence (cf. 1.2.4). Elles montrent que la sélection variétale est une piste prometteuse d'amélioration.

- **La valorisation des différentes formes de phosphore du sol, qu'elles soient organiques ou minérales, via la stimulation des activités biologiques du sol par des pratiques culturales adaptées** – Une meilleure coordination des nutriments azotés et phosphatés pourrait permettre d'accéder à des formes de phosphore jugées a priori non disponibles en influençant la biogéochimie du phosphore à proximité des racines ou en favorisant l'activité de micro-organismes bénéfiques. La conception d'engrais de synthèse par les industries des engrais en combinant forme d'azote, vitesse de libération et placement pourrait également répondre en partie à la problématique de raréfaction de la ressource en phosphore en favorisant la libération de phosphore aux stades clefs.

D'autres approches pourraient également être analysées, comme les effets des cultures à plusieurs espèces et, plus particulièrement, les traits fonctionnels des plantes sur la disponibilité du phosphore et la productivité de biomasse, préalablement démontrés dans les écosystèmes herbacés et forestiers<sup>75</sup>.

- **L'utilisation de biostimulants** – La disponibilité du phosphore pour les plantes dans le sol est limitée en raison de sa fixation sous forme de composés insolubles, et même si des engrais phosphorés sont appliqués. Jusqu'à 90 % de ce phosphore peut être fixé dans le sol sous des formes insolubles (par exemple, le phosphate tricalcique dans les sols calcaires), ce qui le rend indisponible pour l'absorption par les plantes. Le phosphore insoluble du sol peut être rendu disponible pour l'absorption par les plantes grâce à l'action des micro-organismes du sol, comme les bactéries, qui sont capables de solubiliser les phosphates inorganiques ou de minéraliser les pools organiques.

La composante biologique des sols peut être également mise à contribution, en favorisant l'inoculation microbienne (enrobage des semences, apport d'inoculum fongique d'espèces endomycorhiziennes).

4. **Interdire les engrais contenant du cadmium** – À cet égard, une proposition de loi a été déposée en ce sens fin décembre 2025 à l'Assemblée nationale<sup>76</sup>. Elle s'inscrit dans un contexte de questions parlementaires récurrentes (exemple : question n° 8677 de juillet 2025 sur abaissement à 20 mg Cd/kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) et elle demande d'interdire dès le 1<sup>er</sup> janvier 2027 l'importation, la vente et l'utilisation d'engrais inorganiques ou organo-minéraux phosphatés contenant du cadmium en France. Cela reviendrait à arrêter toute fertilisation phosphatée non organique, ce qui paraît très difficile dans le contexte économique actuel, en créant une distorsion de concurrence avec les agricultures d'autres pays et en risquant une perte de souveraineté alimentaire.

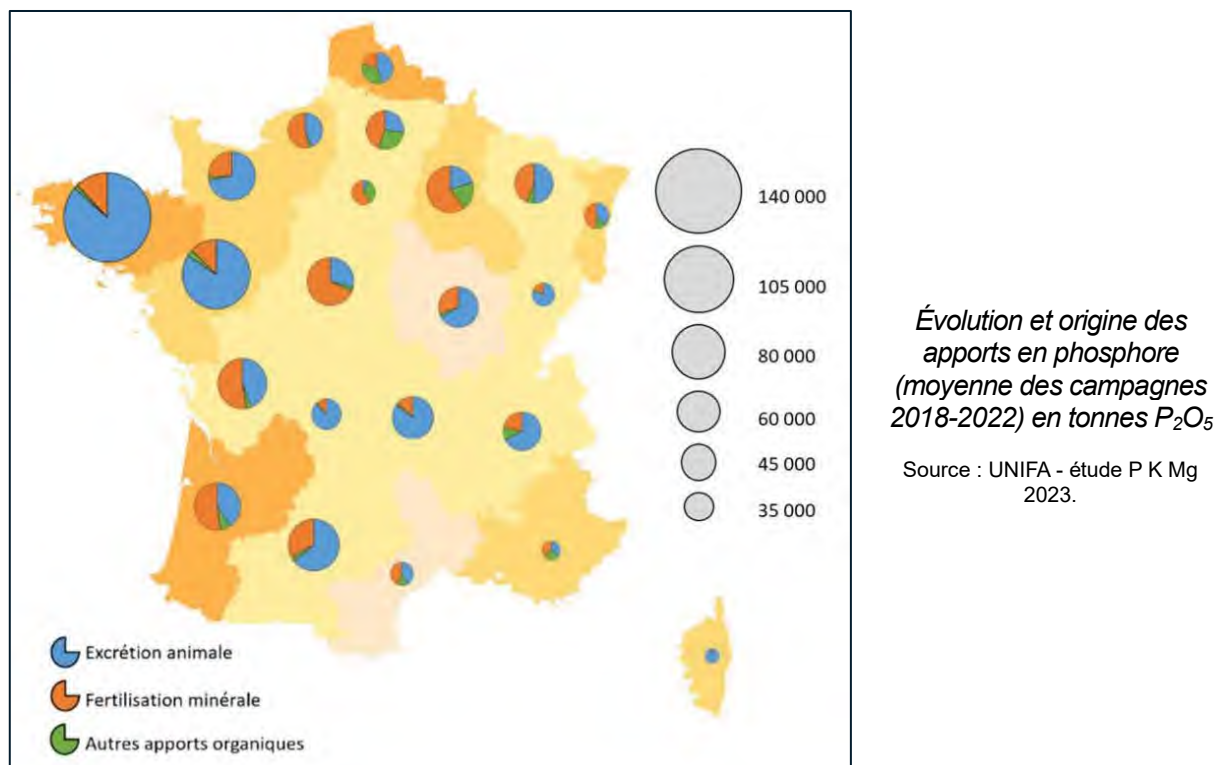
**Recommandation 4. [INRAE & organismes professionnels agricoles] Développer les recherches et expérimentations pour accroître la biodisponibilité du phosphore : 1. S'appuyer sur des sélections variétales ; 2. Proposer des modifications des pratiques agricoles ; 3. Utiliser des biostimulants.**

<sup>75</sup> On peut aussi tenter (ce qui a trop rarement été testé) d'apporter des organismes tels que les vers de terre (Stockdill, 1982). En effet, certains travaux pionniers mettent en évidence la modification de la biogéochimie du phosphore en présence de vers de terre. Si ces travaux sont confirmés dans des contextes pédoclimatiques variés, les techniques de travail simplifiées voire de non labour pourraient permettre une remobilisation du phosphore.

<sup>76</sup> Proposition de loi visant à protéger l'alimentation des Français et des Françaises des contaminations au cadmium, présentée par M. Benoît Biteau, Mme Clémentine Autain, Mme Marie Pochon, Mme Lisa Belluco, M. François Ruffin, M. Nicolas Thierry, Mme Sandrine Rousseau, M. Boris Tavernier, M. Arnaud Bonnet, Mme Léa Balage El Mariky, Mme Cyrielle Chatelain, Mme Christine Errighi, M. Pouria Amirshahi, M. Karim Ben Cheikh, M. Nicolas Bonnet, M. Alexis Corbière, M. Hendrik Davi, M. Emmanuel Duplessy, M. Charles Fournier, Mme Marie-Charlotte Garin, M. Damien Girard, M. Steevy Gustave, Mme Catherine Hervieu, M. Jérémie Iordanoff, Mme Julie Laernoës, M. Tristan Lahais, M. Benjamin Lucas-Lundy, Mme Julie Ozenne, M. Sébastien Peytavie, M. Jean-Claude Raux, Mme Sandra Regol, M. Jean-Louis Roumégas, Mme Eva Sas, Mme Sabrina Sebaihi, Mme Danielle Simmonet, Mme Sophie Taillé-Polian, Mme Dominique Voynet. Proposition renvoyée à la commission des affaires économiques de l'Assemblée.

### 3.4.2 S'engager dans le recyclage et l'utilisation des ressources organiques

À plus long terme, la situation de dépendance aux importations de roche ou d'engrais phosphatés pourrait être améliorée, soit en visant une utilisation optimale des sources organiques produites en France, soit en développant le recyclage du phosphore par récupération dans les urines, les stations d'épuration ou les méthaniseurs<sup>77</sup>. La carte des utilisations actuelles des apports de phosphore par les déjections animales montre que leur utilisation est variable selon les régions.



S'agissant du recyclage, l'UE a adopté en avril 2024 un règlement sur l'approvisionnement en matières critiques<sup>78</sup>, qui inclut le phosphore, ce dernier étant également utilisé de manière croissante dans l'industrie automobile pour la fabrication de batteries (technologie LFP). L'UE a fixé des niveaux de référence à atteindre en termes d'autonomie stratégique sur les matières premières concernées : la consommation annuelle de l'UE doit provenir pour 10 % de l'extraction intra-UE, pour 40 % de la transformation intra-UE et pour 25 % du recyclage intra-UE<sup>79</sup>. Par ailleurs, aucun pays tiers ne doit concentrer plus de 65 % de l'approvisionnement externe de l'UE. Concernant le phosphore, ces objectifs visent principalement à assurer l'autonomie de l'industrie automobile dans un contexte de transition vers la mobilité électrique. Néanmoins, ses conséquences en termes d'initiatives européennes sur la production (renouveau minier, filières de recyclage) et de politiques commerciales (club des matières premières critiques, accords bilatéraux, antidumping) ne seront probablement pas sans conséquences sur la chaîne d'approvisionnement de l'industrie des engrais.

Par ailleurs, la révision de la Directive sur les eaux résiduaires urbaines (DERU 2) renforce les obligations de traitement afin d'éliminer davantage de phosphore (et d'azote), avec une mise en œuvre progressive jusqu'en 2045.

<sup>77</sup> L'ESCo MAFOR de 2014 signalait déjà que « la récupération du P (struvites) est un procédé prometteur pour récupérer le P d'effluents liquides tels que les digestats liquides, et qui pourrait permettre de séparer la ressource en P pour pouvoir la valoriser sans contrainte de gestion d'éléments associés tels que le N. Mais l'intérêt de ces méthodes devra être validé par l'analyse du bilan environnemental de l'extraction par rapport à une utilisation de la Mafor directe sans traitement ».

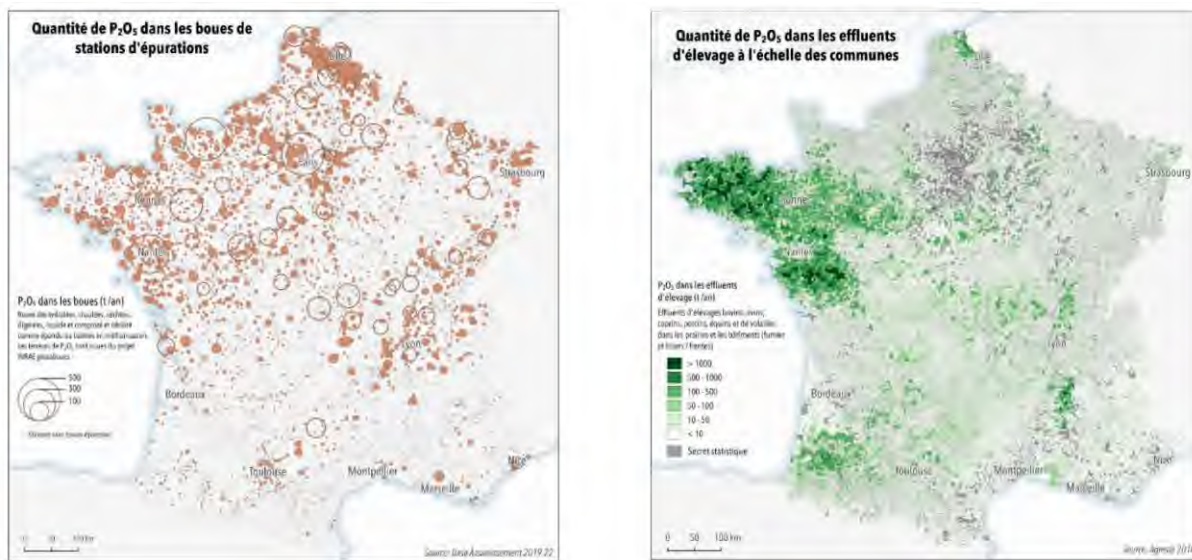
<sup>78</sup> Règlement (UE) 2024/1252 établissant un cadre visant à garantir un approvisionnement sûr et durable en matières premières critiques et modifiant les règlements (UE) no 168/2013, (UE) 2018/858, (UE) 2018/1724 et (UE) 2019/1020.

<sup>79</sup> En outre, au plus tard le 1<sup>er</sup> janvier 2027, la Commission adopte des actes délégués afin de compléter le présent règlement en énonçant des niveaux de référence pour la capacité de recyclage de l'Union, exprimés en pourcentage des matières premières stratégiques disponibles dans les flux de déchets concernés.

Ces orientations sont de nature à faciliter le recyclage du phosphore et plusieurs actions incitatives peuvent être saisies par les entreprises, au niveau européen comme national (appel à projets ciblés dans le cadre de France 2030 et France Nation Verte, crédit d'impôt au titre des investissements dans l'industrie verte...)<sup>80</sup>.

Récemment, le projet RECYPEE<sup>81</sup> visait à évaluer finement le potentiel de substitution des engrais phosphatés par du phosphore issu des matières fertilisantes d'origine résiduaire (MAFOR) après recyclage. Des stratégies de recyclage adaptées aux besoins et à la disponibilité du phosphore à l'échelle des territoires ont été étudiées selon des approches techniques, socio-économiques et environnementales pertinentes.

*Carte des quantités de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> disponibles dans les boues de STEU et estimée dans les effluents d'élevage (à l'échelle des communes)*



Source : Synthèse du projet RECYPEE.

L'annexe 21 présente quelques données concernant le recyclage.

### 3.5 Un besoin d'information plus précise sur la qualité des engrais commercialisés

In fine, l'absence d'informations rend délicate une véritable estimation des effets prévisibles d'une évolution de la réglementation des teneurs maximales en cadmium dans les engrais minéraux, comme cela est mentionné en introduction de cette partie.

Pour le futur, et afin de renforcer les capacités d'analyse des impacts d'un renforcement de la réglementation, il serait souhaitable de disposer d'informations plus précises. Il semble difficile d'exiger de tous les fournisseurs de renseigner la teneur précise en cadmium de tous les lots d'engrais mis sur le marché. Toutefois, en cohérence avec les évolutions réglementaires et comme cela est mentionné dans le règlement européen pour les engrais ayant une teneur inférieure à 20 mg Cd/kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, il pourrait être envisagé d'améliorer les informations sur les engrais distribués en exigeant un étiquetage du taux de cadmium selon trois classes : « low » ou « bas » (inférieur à 20 mg) , « moyen » (entre 20 et 40 mg) et « élevé » (> 40 mg).

Outre le caractère informatif pour de futures études, cela pourrait faciliter des démarches volontaires d'utilisation d'engrais « low cadmium », fondées sur les préférences des consommateurs et d'éventuelles opérations de marketing.

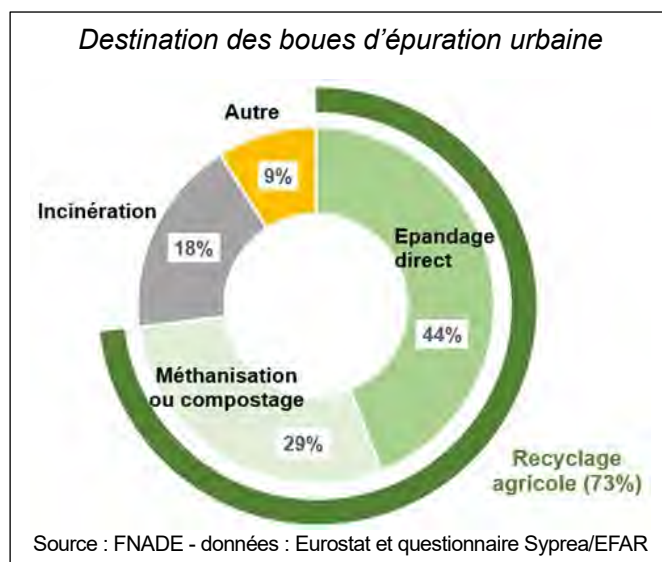
<sup>80</sup> Par exemple, ICL commercialise un engrais granulé à base de phosphore recyclé. Issu des résidus organiques domestiques, le Puraloop®, fabriqué dans l'usine ICL à Amsterdam.

<sup>81</sup> Pradel Marilyns, Aissani Lynda, Thiriet Pierre, Piron Emmanuel, Sauvée Loïc. Impact du RECYclage du phosphore (P) à partir de biomasse résiduaire pour la production de fertilisants déchet -sourcés : potentialités techniques, économiques et environnementales – Synthèse du projet RECYPEE. 10 pages. 2025.

## 4 Les effets potentiels d'une évolution de la réglementation sur les flux et teneurs maximums en cadmium des boues d'épuration

### 4.1 La production de boues de STEP urbaine en France

La production de boues urbaines est estimée, en France, à 1,1 million de tonnes de matière sèche (MS) par an<sup>82</sup>.



Près des  $\frac{3}{4}$  de ces boues retournent au sol et sont valorisées pour un usage agronomique dont 60 % par épandage direct (environ 485 000 tonnes de MS) et 40 % après méthanisation et/ou compostage.

Le reste est incinéré ou destiné à un usage non fertilisant sans retour au sol.

En France, les boues qui retournent au sol (boues brutes ou compostées) sont épandues sur une surface de l'ordre de 800 000 hectares, soit environ 3 % de la surface agricole utile.

L'épandage agricole constitue la principale voie de valorisation des boues, car il présente de nombreux avantages.

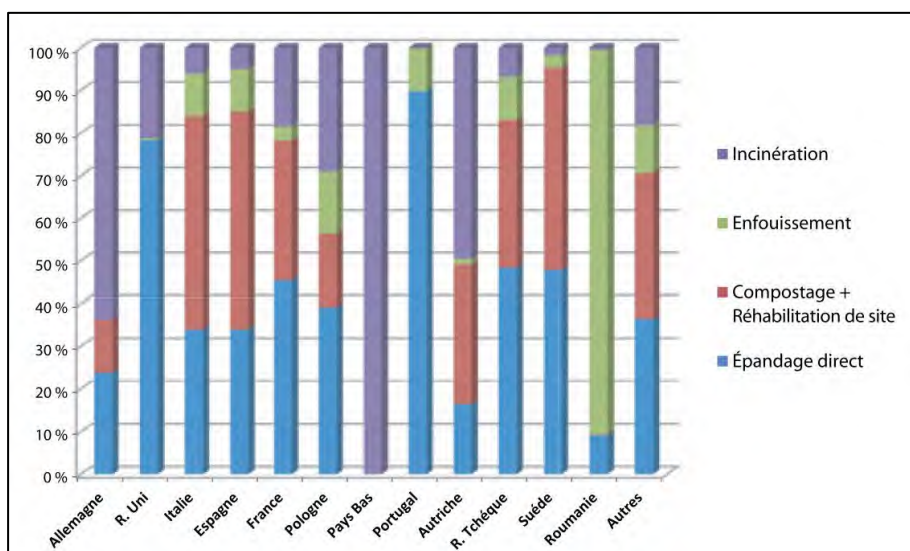
- Il évite d'avoir à traiter « un déchet », la seule autre voie d'élimination des boues étant l'incinération qui est coûteuse et pas sans effet sur l'environnement : production de déchets ultimes (les mâchefers), transport, etc. De plus, l'incinération empêche le recyclage des matières organiques et des éléments nutritifs (P, N) que les boues contiennent.
- Il permet de fertiliser le sol, car les boues sont riches en matières organiques, en azote et en phosphore, et d'améliorer les qualités physiques et chimiques des sols en contribuant au maintien des stocks de carbone. Les boues se substituent partiellement aux engrais de synthèse et participent au recyclage du phosphore.
- Il permet de réduire les coûts de production pour les exploitations agricoles, car l'épandage ne nécessite pas d'investissement important pour les agriculteurs et les boues sont le plus souvent fournies gratuitement.

Mais les boues contiennent aussi des substances indésirables : des éléments traces potentiellement toxiques, dont le cadmium, des micropolluants organiques (hydrocarbures aromatiques polycycliques, antibiotiques, résidus de médicaments, hormones, pesticides, microplastiques, PFAS, etc.) et des organismes pathogènes (vers, bactéries, virus) qui nécessitent que les boues soient chauffées ou chaulées.

Le transfert de ces substances indésirables depuis les sols récepteurs vers les plantes cultivées et, de manière plus générale, vers les aliments constitue souvent un risque sanitaire.

Face à ce dilemme, entre les effets bénéfiques de l'épandage et les risques sanitaires associés, les réponses des différents États européens divergent et la part des boues qui retournent au sol est très variable (incinération à 100 % aux Pays Bas, recyclage agricole majoritaire au Portugal...), comme l'illustre le graphique suivant.

<sup>82</sup> Source : ICARE 2020 - Étude prospective fixant des objectifs stratégiques d'augmentation de la part de fertilisants issus de ressources renouvelables. Rapport final. 148 pp.].



*Destination des boues d'épuration dans les pays de l'Union européenne*

Source : Dossier compostage boues de STEP – ASTEE – 2020.

Aujourd'hui on observe :

- un souci croissant de la qualité des produits agro-alimentaires,
- une prise en compte croissante du « principe de précaution » et une volonté de traçabilité,
- une méfiance envers l'épandage des boues qui peut amener des transformateurs, distributeurs ou consommateurs à formuler des exigences se concrétisant par des « chartes de qualité » ou des « labels » excluant les épandages...

La garantie de la qualité des boues (et des contrôles associés) constitue un élément fondamental de l'acceptabilité de l'épandage des boues d'épuration. Sans garantie quant à la qualité des boues et à la maîtrise des risques sanitaires associés, l'épandage des boues d'épuration risque fortement d'être remis en question. Un fort niveau d'exigence quant à la teneur en ETM et à la maîtrise des flux constitue un atout à la fois pour les consommateurs (risques sanitaires) et pour les agriculteurs (préservation du capital sol et accès aux marchés).

## 4.2 Évaluation des impacts des évolutions réglementaires envisagées via le « socle commun »

### 4.2.1 Un impact quasi nul des teneurs autorisées pour les boues

Les entretiens et les retours de la consultation publique font apparaître que « *La conformité des MIATE<sup>83</sup> aux teneurs de la catégorie B2 ne semble pas poser de difficultés* ».

En complément, la mission a procédé à une analyse rapide des données disponibles issues à la fois de la BD SILLAGE (boues épandues en France sauf dans la région Grand Est) et de la BD utilisée pour la région Grand Est. Les données recueillies représentent 426 stations d'épuration, environ 182 000 tonnes de MS de boues et 1 307 données d'analyse de la teneur en cadmium. Les résultats traduisent une teneur moyenne en cadmium de 0,83 mg/kg MS et le tableau suivant précise la ventilation en classes de teneurs.

	T > 10 mg	T entre 10 et 5 mg	T entre 5 et 2 mg	T < 2 mg
Nombre analyses	0	2	48	1 257
Nombre de stations	0	1	17	408

Source : Bases de données SILLAGE et Grand Est. Traitement mission.

Si on considère les résultats de cet échantillon (qui représente 38 % des boues épandues), cela signifie que :

- tous les épandages de boues seraient conformes avec le taux de 10 mg prévu à la date d'entrée en vigueur du socle commun,

<sup>83</sup> Matières d'intérêt agronomique issues du traitement des eaux.

- une station (sur 426 ayant renseigné les teneurs en cadmium) ne serait plus en mesure d'épandre les boues produites avec une teneur maximale de 5 mg/kg de MS.

Ces ordres de grandeur, confirmés par les principaux opérateurs rencontrés, montrent que les teneurs maximales (en mg Cd/kg MS) prévues ne constituent pas une contrainte pour l'épandage des boues issues des stations d'épuration.

#### 4.2.2 Un impact significatif des flux

L'estimation de l'impact des flux de cadmium autorisés sur l'épandage des boues est plus délicate à réaliser. En effet, elle nécessiterait à la fois :

- d'évaluer le caractère restrictif des flux, ce qui implique de disposer des données qualitatives et quantitatives des boues épandues par parcelle, et ce pour une période minimale de trois ans ;
- d'évaluer les possibilités de valorisation des boues « écartées » du fait de dépassement des flux, ce qui impliquerait de caractériser les possibilités locales d'augmentation des surfaces d'épandage autour des stations d'épuration concernées ;
- d'appréhender l'éventuelle évolution des pratiques des agriculteurs confrontés à une diminution des apports possibles et l'acceptabilité de l'épandage des boues par de nouveaux agriculteurs ;
- d'évaluer les possibilités et les coûts de traitement des boues écartées du fait des flux et en absence d'autres possibilités de valorisation<sup>84</sup>.

La mission n'a pas été en mesure de réaliser une évaluation aussi précise qui nécessiterait une complétude des données pluriannuelles à la parcelle et la réalisation d'études localisées (SAU disponible, évolution potentielle des pratiques, acceptabilité de l'épandage de boues, etc.).

Néanmoins plusieurs sources d'information peuvent permettre d'appréhender l'impact des flux :

- 1) **Une analyse réalisée lors de l'élaboration du socle commun** mentionne que les tonnages de boues épandues impactés par le texte socle commun (en considérant la version 2023 avec un flux ponctuel de cuivre multiplié par 3) seraient les suivant.
  - Tonnage MS concerné par la limitation des flux : 172 000 t de MS (soit 37,5 % des boues).
  - Tonnage MS qui ne pourrait plus être épandu sans surface supplémentaire : 31 000 t de MS (soit 6,5 % des boues).
  - Surface épandable (ha) supplémentaire nécessaire pour épandre les tonnages impactés : 3 800 ha.

Bien évidemment, les flux de cadmium n'étant pas les seuls flux considérés dans le socle commun, certains tonnages sont impactés du fait d'autres ETM.
- 2) **Une enquête réalisée par AMORCE auprès de ses adhérents** montre que le pourcentage de tonnage de boues non conformes entre l'apport moyen annuel comparé au flux de référence annuel serait inférieur à 2 % pour le premier seuil d'évolution des flux, mais qu'il pourrait dépasser 40 % pour le seuil ultime à savoir 2 g/ha. Ces chiffres doivent être considérés uniquement comme des ordres de grandeur, car l'échantillon ne peut prétendre à une réelle représentativité des boues d'épuration françaises.
- 3) **Les estimations formulées par les différents opérateurs**, à savoir que les flux maximums de cadmium autorisés constitueraient une contrainte pour environ 15 % des boues aujourd'hui épandues. Cela signifie, non pas que ces boues ne pourront plus être épandues, mais qu'elles devront l'être sur des surfaces plus importantes.
- 4) **Une analyse sommaire réalisée par la mission** à partir des données concernant une partie des boues d'épuration urbaine épandue dans la région Grand Est, converge également vers les mêmes ordres de grandeur.

<sup>84</sup> Les professionnels rencontrés citent des coûts d'incinération de 200-240 € par tonne (avec TGAP), avec 150 €/t de plus pour la déshydratation dans le cas de boues liquides. En comparaison la valorisation de ces matières coûte 30-50 €/t MB compostée ou épandue.

À partir des données sur les quantités de boues épandues, des résultats des analyses de cadmium (la mission a considéré un taux moyen par station) et des surfaces d'épandage, un flux annuel a pu être déterminé pour l'année 2023. Cette analyse concerne 170 stations pour une quantité totale de boues équivalente à 26 600 t de MS. En comparant le flux annuel (2023) avec les flux annuels de référence et les seuils d'apports ponctuels du socle commun, on obtient alors des résultats suivants.

		Apport annuel (2023) selon le flux annuel de référence				
		Apport annuel < 2	Apport annuel entre 2 et 5	Apport annuel entre 5 et 10	Apport annuel > 10	Total
Stations	Nombre	127	38	2	3	170
	%	74,7 %	22,3 %	1,2 %	1,8 %	100 %
MS de boue	Quantité	14 172	10 279	1 545	648	26 644
	%	53,2 %	38,6 %	5,8 %	2,4 %	100 %

		Apport annuel (2023) selon les seuils d'apports ponctuels				
		Apport annuel < 6	Apport annuel entre 6 et 10	Apport annuel entre 10 et 15	Apport annuel > 15	Total
Stations	Nombre	167	0	2	1	170
	%	98,2 %	0,0 %	1,2 %	0,6 %	100 %
MS de boue	Quantité	25 996	0	457	191	26 644
	%	97,6 %	0,0 %	1,7 %	0,7 %	100 %

Les données concernant uniquement une seule année, elles ne peuvent pas permettre de tirer des enseignements précis (pour cela il faudrait connaître l'apport moyen sur 3 ans ainsi que l'apport annuel maximum sur chaque parcelle d'épandage). On peut néanmoins noter que :

- entre 2,5 % et 8,5 % des boues épandues ne pourront pas à terme respecter le seuil correspondant à un flux annuel de 5 g/ha (avec un apport ponctuel de 10 g/ha),
- au moins 54 % des boues épandues ne seront pas impactées par la définition des flux de cadmium.

Ces différentes sources d'information permettent d'appréhender les ordres de grandeur des tonnages de boues concernées par la mise en œuvre de nouveaux flux maximum pour le cadmium. À ce stade, et même s'il faut rester prudent du fait de l'imprécision des données et calculs, la mission considère que :

- avec un flux annuel de référence équivalent à 5 g/ha, le tonnage des boues concernées reste mesuré (estimation : 7,5 % ± 5 % des tonnes de MS) ;
- avec un flux annuel de référence équivalent à 2 g/ha, le tonnage des boues concernées pourrait devenir significatif et remettre en question ce mode de valorisation des boues, au moins dans certains territoires (estimation : 35 % ± 10 % des tonnes de MS).

#### **4.2.3 La nécessité d'analyses régionales multicritères pour évaluer l'impact de l'évolution des réglementations (programmées et envisageables)**

Il est important de donner de la visibilité aux opérateurs concernés par l'épandage et ce pour deux raisons principales.

- **L'appréhension du risque dans la prise de décision.**

De manière générale, pour les agriculteurs et leurs bailleurs, il est important de garantir de manière stricte l'innocuité des boues épandues à la fois pour préserver leur capital sol et pour garantir, autant que possible, une qualité des aliments produits. Autrement, il est probable que les consommateurs et/ou certaines industries agro-alimentaires revendiquent voire exigent des aliments produits sur des terrains sans épandage de boues. Les agriculteurs doivent intégrer ce risque dans leur décision en le confrontant aux intérêts de l'épandage (coût, charge de travail...). Une réduction des flux peut modifier cet équilibre :

- un flux peu contraignant peut réduire la confiance quant à l'innocuité des boues,
- un flux très contraignant peut réduire la quantité de boues et donc de matières fertilisantes apportées sur une parcelle et remettre en question certaines pratiques.



La simulation présentée dans le tableau suivant illustre ce phénomène.

*Exemple d'une réduction des apports à l'hectare avec le projet de réglementation sur les MFSC s'appliquant à la catégorie B2*

	Socle commun B2		Exemple	
	Flux annuel de référence (g/ha)	Apport ponctuel (g/ha)	Flux annuel de référence (g/ha)	Apport ponctuel (g/ha)
Entrée en vigueur au 31/12/2029	10	15	$7,14 / 3 = 2,38$ g/ha	7,14 g/ha
Du 01/01/2030 au 31/12/2032	5	10	$7,14 / 3 = 2,38$ g/ha	7,14 g/ha
À partir du 01/01/2033	2	6	Réduction dose $3,52 * 1,7 / 3 = 2$ g/ha	Réduction dose $6 / 1,7 = 3,52$ t MS/ha soit 11,7 t de boue

Hypothèses : Epannage d'une boue à 30 % de MS à une dose de 14 t/h, soit 4,2 tMS/ha par apport.  
Retour tous les 3 ans. Cd à 1,7 mg/kg MS.

Quant aux incertitudes auxquelles les collectivités sont confrontées (évolution des textes réglementaires : délais, intégration de nouveaux critères...), elles peuvent inciter certaines d'entre elles à renoncer à l'utilisation agronomique des boues d'épuration pour ne pas s'exposer à des risques futurs de non-conformité. Une telle évolution serait dommageable, par le surenchérissement du prix de l'eau pour les consommateurs, par la perte de matière fertilisante bon marché pour les agriculteurs et par une diminution du recyclage.

- **Les délais de mise en conformité**

Selon les différentes situations dans les territoires, les délais de mise en conformité avec de nouvelles exigences réglementaires peuvent demander des délais très variables.

- Si l'adaptation consiste à identifier de nouvelles surfaces d'épandage, un délai de mise en œuvre de 3 ans, comme envisagé actuellement, semble pertinent.
- Par contre, si localement il n'est pas envisageable d'augmenter les surfaces d'épandage (absence de surfaces disponibles dans un rayon géographique suffisamment restreint ou réticence des agriculteurs) ou si les tonnages de boues ne pouvant plus être épandues venaient à augmenter du fait d'autres critères qualitatifs relatifs aux boues (PFAS par exemple ?), d'autres solutions devront être envisagées et pourront exiger des délais plus importants pour être mises en œuvre (la construction d'un nouvel incinérateur peut exiger plus de 6 ans !).

Pour ne pas conduire les collectivités et gestionnaires de boues d'épuration dans des impasses, il est essentiel, de leur assurer une stabilité à moyen terme quant à l'évolution des textes réglementaires (visibilité) et de leur laisser une période d'adaptation cohérente avec les délais requis pour mettre en œuvre les différentes options de traitement ou valorisation des boues.

**Recommandation 5. [ MAASA ( DGAL) & MTEBNICN (DEB) ] La mission recommande de maintenir les évolutions prévues pour les teneurs en cadmium des boues d'épuration. En ce qui concerne l'évolution des flux, la mission préconise (1) de maintenir une évolution du flux annuel de référence à 5 g/ha dans un délai de 3 ans après la publication de l'arrêté et (2) de réaliser des études d'impact régionales pour évaluer plus précisément les impacts d'une évolution du flux de référence annuel à 2 g/ha (afin d'identifier les stations ou zones confrontées à des difficultés ou impossibilités et appréhender les possibilités d'accroissement des surfaces d'épandage ou d'incinération des boues). Les résultats de ces études permettront de mieux appréhender les délais nécessaires pour atteindre le respect de ce flux objectif et adapter la temporalité des évolutions réglementaires (ou alors prévoir des possibilités pour y déroger ponctuellement).**

## Conclusion

Un projet de décret « socle commun », négocié depuis plusieurs années et attendu par les professionnels, vise à uniformiser et renforcer l'encadrement des matières fertilisantes et supports de culture (MFSC). Il précise des critères d'innocuité et de qualité agronomique selon la nature des MFSC, le statut de déchet, les types d'utilisateur et les modes d'utilisation.

Des réductions progressives des teneurs et flux maximums en cadmium des MFSC, notamment des engrais, sont envisagées pour rejoindre à terme, les valeurs cibles préconisées par l'Anses. Ces dernières ont été calculées, par précaution, à partir de situations extrêmes de fertilisation phosphatée.

Les impacts d'une telle trajectoire de réduction restent difficiles à mesurer, ne serait-ce qu'en l'absence de données précises sur la teneur réelle en cadmium des engrais importés et livrés en France. Des conséquences en termes de sécurité des approvisionnements, de niveaux de prix des engrais, de sous-fertilisation ou de pérennité des outils industriels sont toutefois à prendre en compte.

Alors que la France importe la totalité de son phosphore minéral, une réduction des fournisseurs potentiels, du fait de teneurs trop élevées, va créer de facto une situation d'oligopole. Le risque de rupture des importations d'engrais est faible puisque, selon les informations déclarées, environ 75 % des importations d'engrais phosphatés ne seraient pas impactées car « low cadmium ». D'un point de vue financier, le risque d'augmentation des prix serait plus lié à une concentration de l'offre qu'aux éventuels surcoûts engendrés par la décadmiation qui a priori semblent limités. Une telle situation d'oligopole, sans réelle possibilité de mise en concurrence des fournisseurs, pourrait donc fragiliser la sécurité de nos approvisionnements en engrais phosphatés dans des contextes géopolitiques instables.

Dans ce contexte, après des décennies de sur fertilisation « de confort », des situations de sous fertilisation risquent d'apparaître pour certaines cultures et dans certains territoires. D'une part, des prix trop élevés peuvent conduire des agriculteurs à privilégier la fertilisation azotée au détriment des fertilisations de fond, l'équilibre économique des exploitations ne permettant plus de couvrir les charges d'intrants. D'autre part, l'existence d'une limite de flux à l'hectare réduit, dans certains cas, les possibilités d'apport des quantités de phosphore nécessaires, sauf à jongler avec les différentes catégories de MFSC.

Quelques sites industriels en France produisent des engrais à partir de roches phosphatées importées. Une baisse des teneurs maximales des engrais va réduire leurs possibilités d'approvisionnement et va accentuer la concurrence d'importations « low cadmium », d'autant plus que les perspectives de développement d'unités de décadmiation restent très limitées du fait des volumes et circuits de distribution. En outre, en l'absence de clause de sauvegarde, la commercialisation en France d'engrais en provenance d'autres pays européens et respectant le règlement européen va défavoriser ces producteurs si les teneurs maximales européennes restent moins restrictives. Le risque de désindustrialisation n'est pas à écarter.

En dehors des engrais minéraux, l'abaissement des flux maximaux de cadmium à l'hectare pour l'utilisation de boues va demander, dans certains cas, d'augmenter les surfaces d'épandage, avec les difficultés à trouver de nouvelles parcelles et à modifier les autorisations. Il est probable que certains volumes de boues prennent le chemin de l'incinération, avec les surcoûts y afférents. Dans le doute, et faute de confiance dans l'avenir, certaines collectivités vont passer à l'incinération par sécurité. Une telle dynamique risque d'être accentuée avec la prise en considération d'autres contaminants des boues d'épuration et tout particulièrement les PFAS (mission IGEDD-CGAAER en cours sur le sujet).

Aussi bien pour les engrais que pour les boues, le projet de « socle commun » envisage trois phases dans le temps, avec des seuils (teneur et flux) à respecter de plus en plus restrictifs : un premier palier à la signature du décret, puis un second et un troisième palier un peu plus tard.

- Le premier (harmonisation sur le règlement européen actuel), à la signature, apportera très peu de contraintes nouvelles dans la mesure où il est déjà pratiquement respecté.
- Le second niveau nécessite des adaptations qui appellent à laisser un délai suffisant aux acteurs pour y faire face, de l'ordre de trois ans comme cela est envisagé dans les projets de textes.

- Le dernier niveau impliquerait, par contre, des transformations majeures, tant des circuits commerciaux et des outils industriels de fabrication des engrais, que de la valorisation, voire du changement de traitement des boues (incinération).

Face à ces différents enjeux et aux impacts attendus, il apparaît essentiel à la mission :

- d'améliorer les connaissances sur les sources d'imprégnation de la population et les différentes voies d'exposition ;
- relativement aux engrais minéraux, de prévoir une étude d'impact deux ans après le passage au deuxième niveau, en associant l'inspection du ministère de l'industrie pour les engrais, afin de bien appréhender les conséquences sur l'outil industriel ;
- relativement à la valorisation agronomique des boues d'épuration, réaliser des analyses régionales pour estimer les localités où les épandages de boues seraient les plus impactés, en caractérisant les solutions alternatives : surfaces supplémentaires ou incinération. Au-delà du cadmium, de telles analyses devraient être conduites en considérant l'ensemble des critères qui pourraient influencer cette pratique (autres ETM, PFAS, etc.) ;
- de poursuivre les recherches agronomiques visant à augmenter l'efficacité de la fertilisation phosphatée (adjuvants, biostimulants, bonnes pratiques...) et à réduire l'assimilation du cadmium par les plantes (sélection variétale...) ;
- de vérifier le caractère applicable des mesures réglementaires envisagées, à l'aune de l'objectif de simplification et d'efficacité des politiques publiques. À cet égard, les recommandations de l'Anses portent sur un flux maximum de 2 g par hectare tout compris, alors que le projet de réglementation s'applique séparément, par type de matière fertilisante, et sans contrainte sur les sous-produits bruts ;
- de ne pas être en discordance avec le règlement européen fertilisant, sous le couvert duquel des produits pourront être utilisés en dehors de la réglementation française.

**Michel HERMELINE**



**Inspecteur général**

**CGAER**

**Frédéric SAUDUBRAY**



**Inspecteur général**

**IGEDD**

# Annexes

# Annexe 1. Lettre de mission



**GOVERNEMENT**

*Liberté  
Égalité  
Fraternité*

Paris, le 31 JUL. 2025

Le directeur de cabinet de la ministre de  
l'agriculture et de la souveraineté alimentaire

Le directeur de cabinet de la ministre de la  
transition écologique, de la biodiversité, de la  
forêt, de la mer et de la pêche.

à

Madame la Vice-Présidente du Conseil  
général de l'alimentation, de l'agriculture et  
des espaces ruraux

Monsieur le Chef de service de l'Inspection  
générale de l'environnement et du  
développement durable

N/Réf : SCR/2025D/239

V/Réf :

Objet : Mission relative aux effets prévisibles d'un abaissement de la teneur en cadmium des engrais phosphatés et des boues d'épuration sur les approvisionnements en matières fertilisantes

PJ : Projet de textes réglementaires

Le cadmium (Cd) est un « *métal toxique omniprésent dans notre environnement qui peut contaminer les sols, l'eau ou encore l'air* » (ANSES) et présente un caractère préoccupant pour la santé du fait de ses caractères bioaccumulable, toxique et cancérigène de groupe 1 (CIRC). Hormis chez les fumeurs, la principale source d'exposition humaine est constituée par l'alimentation, *via* des aliments de grande consommation, tels que les céréales et les pommes de terre qui peuvent en présenter des teneurs élevées lorsqu'ils ont été produits sur des terres qui en contiennent.

Depuis plus de dix ans, les études de biosurveillance mettent en évidence un niveau relativement élevé d'imprégnation de la population française, supérieur à celui des autres États membres de l'Union européenne. Il est préoccupant chez les jeunes enfants, avec plus d'un tiers des enfants de moins de trois ans dépassant les seuils d'exposition.

L'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses) a publié en juin 2021 un rapport sur les risques sanitaires liés à la présence de Cd dans les matières fertilisantes. Pour éviter l'accumulation dans les sols et le transfert aux productions végétales, l'Anses a recommandé de limiter les apports en Cd à 2 grammes par hectare et par an et, également, de limiter la teneur en Cd des engrais minéraux phosphatés, qui sont des fertilisants fortement contributeurs, à 20 milligrammes (mg) par kilogramme (kg) de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Les boues issues des stations de traitement des eaux usées peuvent également constituer une source significative de contamination des sols en Cd, en fonction de leur origine géographique et selon l'importance et l'ancienneté des apports. L'encadrement des plans d'épandage par le gouvernement n'a

78, rue de Varenne  
75349 PARIS 07 SP  
Tél : 01 49 55 49 55

pas été modifié depuis 1998 et autorise encore des niveaux élevés de teneur pour les matières épandues sur les terres agricoles.

La loi n° 2020-105 du 10 février 2020 relative à la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire a prévu qu'une réglementation transversale encadre la qualité et l'innocuité de toutes les matières fertilisantes, selon leurs usages, afin de renforcer les normes sanitaires et améliorer la disponibilité en matières fertilisantes issues du recyclage et présentant une qualité suffisante.

Les ministères chargés de l'agriculture, de l'environnement et de la santé ont élaboré un projet de réglementation, composé de deux décrets et deux arrêtés. Il classe notamment les matières fertilisantes en quatre catégories et définit pour chacune d'entre elles, des teneurs maximales pour les principaux contaminants ainsi que des limites d'apports annuels à ne pas dépasser. Il a fait l'objet d'une consultation du public en décembre 2023 et son adoption est prévue d'ici la fin de l'année 2025.

Il fixe de nouvelles normes pour les teneurs et les apports en Cd, avec l'objectif d'un alignement à terme avec les recommandations de l'Anses. Il s'agit donc de diviser par un coefficient supérieur à trois les limites actuelles, qui sont variables selon la voie d'autorisation de la matière fertilisante. Un abaissement de cette amplitude nécessite de définir une trajectoire permettant de concilier au mieux les impératifs sanitaires et les capacités d'adaptation du secteur.

Les informations concernant la teneur moyenne en Cd des engrais phosphatés mis sur le marché en France ne sont pas concordantes. Les opérateurs déclarent être déjà alignés avec la norme du règlement européen d'application volontaire (60 mg de Cd/kg de  $P_2O_5$ ), voire avec la recommandation de l'Anses (20 mg de Cd/kg de  $P_2O_5$ ) pour certains d'entre eux. Mais la perspective d'un abaissement de la norme française (90 mg de Cd/kg de  $P_2O_5$ ) suscitait encore de fortes réserves de leur part il y a quelques années seulement.

Nous souhaitons que vous établissiez un point de situation sur les approvisionnements du marché français en engrais minéraux phosphatés, les caractérisiez selon leur origine et que vous objectiviez les impacts économiques de la trajectoire envisagée pour la baisse des teneurs maximales en Cd (60 mg Cd/kg de  $P_2O_5$  à l'entrée en vigueur, 40 mg Cd/kg de  $P_2O_5$  après trois ans et 20 mg Cd/kg de  $P_2O_5$  après trois années supplémentaires). Le cas échéant, vous pourrez proposer une évolution de cet échéancier, ou tout autre condition susceptible de faciliter la transition de la situation actuelle vers la situation souhaitée. Sur cette base, vous établirez des propositions d'approvisionnement en engrais phosphatés pour les années à venir.

Vous évaluerez également dans quelle mesure l'abaissement envisagé pour les teneurs et flux en Cd des boues de traitement des eaux usées destinées à l'épandage (10 mg/kg de matière sèche (MS) à l'entrée en vigueur et 5 mg/kg de MS après trois ans) pourrait agir sur la disponibilité des fertilisants organiques issus du recyclage, et globalement faire évoluer la dépendance aux importations de fertilisants minéraux.

La publication de ces textes étant prévue pour la fin de l'année 2025, nous vous remercions de nous communiquer votre rapport d'ici le 24 octobre 2025.

  
Grégoire HALLIEZ

  
Quentin GUERINEAU

## Annexe 2. Liste des personnes rencontrées

Nom	Prénom	Organisme	Fonction	Date de rencontre
SOUVET	Pierre	Association Santé Environnement France (ASEF)	Président	23/09/2025
BISPO	Antonio	INRAE	Directeur de l'unité de Recherche Info&Sols	24/09/2025
STERCKEMAN	Thibault	INRAE	Ingénieur de recherche Laboratoire Sols et environnement	24/09/2025
PRUNAUX	Olivier	MASA / DGAL / SAS / SDSPV	Adjoint au sous-directeur	25/09/2025
PRINTZ	Bruno	MASA / DGAL / SAS / SDSPV / BIB	Chef de bureau	25/09/2025
THEVENIN	Nicolas	MASA / DGAL / SAS / SDSPV / BIB	Chargé d'étude réglementation des matières fertilisantes et des supports de culture	25/09/2025
MARIE-MALIKITE	Alima	Santé publique France	Directrice de cabinet	26/09/2025
DENYS	Sébastien	Santé publique France	Directeur santé environnement travail	26/09/2025
FILLOL	Clémence	Santé publique France	Responsable de l'unité surveillance des expositions	26/09/2025
LEFRANC	Agnès	MTEBFMP / DGPR / SSEEC / SDSE	Sous-directrice santé-environnement, produits chimiques, agriculture	29/09/2025
PELISSIER	Fanny	MTEBFMP / DGPR / SSEEC / SDEC / BGD	Adjointe au chef du bureau de la gestion des déchets	29/09/2025
POSTIC CLAIRE	Claire	MASA / DGAL / SAS / SDSSA	Sous-directrice adjointe sécurité sanitaire des aliments	01/10/2025
NOEL	Laurent	MASA / DGAL / SAS / SDSSA / BAMRA	Chef de bureau	01/10/2025
CHERRIER	Dylan	MASA / DGAL / SAS / SDSSA / BAMRA	Adjoint au chef de bureau	01/10/2025
CUZUCCOLI	Diane	MASA / DGAL / SPSSI / SDEIGIR / BGIR	Cheffe du bureau de la gestion intégrée du risque	01/10/2025
RIFFAUT	Léa	MASA / DGAL / SPSSI / SDEIGIR / BGIR	Chargée d'études	01/10/2025
NGUYEN	Christophe	INRAE – UMR ISPA	Directeur de recherche	13/10/2025
NYS	Florence	UNIFA	Déléguée générale	15/10/2023
COTTEN	Gildas	UNIFA	Responsable agriculture environnement & animateur de la section engrais simples et composés	15/10/2025
MAGNARD	Laure-Anne	MTEBFMP / DGALN / DEB / EARM5 - Bureau qualité de l'eau et agriculture	Cheffe de bureau	17/10/2025
BUISSON	Emma	MTEBFMP / DGALN / DEB / EARM5 - Bureau qualité de l'eau et agriculture	Chargée de mission pollutions diffuses et nutriments	17/10/2025
NICOLAS	Véronique	MTEBFMP / DGALN / DEB / EARM5 – Bureau de la lutte contre les pollutions domestiques et industrielles	Cheffe de bureau	17/10/2025
FERNANDEZ	Elodie	MTEBFMP / DGALN / DEB / EARM5 – Bureau de la lutte contre les pollutions domestiques et industrielles	Chargée de mission déchets et rejets STEU-SISPEA	17/10/2025
SCHULER	Matthieu	Anses	Directeur général délégué du pôle sciences pour l'expertise	22/10/2025

Nom	Prénom	Organisme	Fonction	Date de rencontre
VIAL	Éric	Anses / Direction de l'évaluation des risques au pôle sciences pour l'expertise	Directeur	22/10/2025
TACK	Karine	Anses / Direction de l'évaluation des risques au pôle sciences pour l'expertise	Cheffe de l'unité Évaluation des risques liés aux aliments	22/10/2025
CARNE	Géraldine	Anses / Direction de l'évaluation des risques au pôle sciences pour l'expertise	Scientifique au sein de l'unité Évaluation des risques liés aux aliments	22/10/2025
SIROT	Véronique	Anses / Direction de l'évaluation des risques au pôle sciences pour l'expertise	Cheffe de projet (EAT)	22/10/2025
CHAMPION	Morgane	Anses / Direction de l'évaluation des risques au pôle sciences pour l'expertise	Chargée de projet (EAT)	22/10/2025
LAURENT	Brice	Anses / Direction Sciences sociales, économie et société au pôle sciences pour l'expertise	Directeur	22/10/2025
LE BODO	Yann	Anses / Direction Sciences sociales, économie et société au pôle sciences pour l'expertise	Chargé de projets	22/10/2025
POULAIN	Cécile	DGPE	Chargée de mission économie circulaire au bureau de l'eau, du sol et de l'économie circulaire	03/11/2025
STEINMANN	Emmanuel	DGPE	Chef du bureau de l'eau, du sol et de l'économie circulaire	03/11/2025
HENNART	Paul	DGPE	Sous-directeur adjoint « Performance environnementale et valorisation des territoires »	03/11/2025
VALLIN	Estelle	AFCOME Association Française de Commercialisation et de Mélanges d'Engrais	Directrice	07/11/2025
DANDOY	Guillaume	AFCOME Association Française de Commercialisation et de Mélanges d'Engrais	Administrateur en charge de la commission économique (Directeur des achats d'une union coopérative agricole)	07/11/2025
BONHOMME	Richard	AFCOME Association Française de Commercialisation et de Mélanges d'Engrais	Administrateur, suppléant en charge de la commission économique (Acheteur pour une centrale d'achat)	07/11/2025
SNIDARO	Denis	SUEZ Eau France	Directeur technique adjoint Réfèrent national épuration	14/11/2025
MARONNE	Philippine	FNADE	Chargée de mission Valorisation organique	17/11/2025
TAMPON	Pascal	FNADE	Directeur innovation SUEZ Organique	17/11/2025
BATTEUX	Romain	FNADE	Administrateur Directeur Pôle organique PAPREC Group	17/11/2025
DELESTRE	Arnaud	Chambres d'Agriculture France	Président de la commission Territoires Président de la chambre d'agriculture de l'Yonne	17/11/2025



Nom	Prénom	Organisme	Fonction	Date de rencontre
DEGENNE	Laurent	Chambres d'Agriculture France	Membre commission PV Agronomie Président de la chambre régionale d'agriculture des Hauts-de-France	17/11/2025
ERNOU	Frédéric	Chambres d'Agriculture France	Responsable du service agri- environnement	17/11/2025
LOBO	Elena	Chambres d'Agriculture France	Chargée de mission économie circulaire	17/11/2025
FOURIÉ	Laetitia	Afaïa	Présidente	20/11/2025
TIPREZ	Stéphanie	Afaïa	Directrice	20/11/2025
FLORITE	Claire	AMORCE	Responsable du pôle eau	21/11/2025
DA PRATO	Jérémy	AMORCE	Chargé de mission eau	21/11/2025
FORRAY	Nicolas	FNE	Secrétaire général de « Eau et Rivières de Bretagne »	21/11/2025
LORPHELIN	Evelyne	FNE	Secrétaire générale adjointe de « Eau et Rivières de Bretagne »	21/11/2025
BOUZOM	Mathilde	TIMAC AGRO	Responsable Affaires réglementaires	28/11/2025
HARPILLARD	François-Victor	TIMAC AGRO	Responsable Affaires réglementaires « matières premières »	28/11/2025
WALLEZ	Bénédicte	OCP Nutricrops	<i>Public Affairs Head – Europe &amp; North America</i>	28/11/2025
HAMMA	Abdellah	OCP Nutricrops	<i>Agronomy Head</i>	28/11/2025
EL AZZOUZY	Abderrahim	OCP Nutricrops	Département qualité	28/11/2025
LACHHED	Adnane	OCP Nutricrops	<i>Public Affairs manager</i>	28/11/2025
COHAN	Jean-Pierre	ARVALIS	Directeur Recherche et Développement	17/12/2025
DEGAN	Francesca	ARVALIS	Ingénieur R/D (fertilisation)	17/12/2025
MELEARD	Benoît	ARVALIS	Responsable pôle qualité	17/12/2025
PARIZOT	Virginie	DGCCRF	Cheffe du bureau des produits d'origine animale et intrants (bureau 4B)	22/12/2025
MAZEROLLES	Oriane	DGCCRF	Inspectrice en charge des matières fertilisantes et supports de culture (Bureau 4B)	22/12/2025

## Annexe 3. Glossaire des sigles et acronymes

Acta	Association de coordination technique agricole
ADEME	Agence de la transition écologique
afaïa	Syndicat professionnel des fabricants d'amendements organiques, engrais organiques, engrais organo-minéraux, supports de culture, paillages et biostimulants
AFCOME	Association française de commercialisation et de mélange d'engrais
AFNOR	Association française de normalisation
AGEC	Anti-gaspillage économie circulaire
ALARA	<i>As low as reasonably achievable</i>
AMM	Autorisation de mise sur le marché
AMORCE	Association nationale des collectivités territoriales et de leurs partenaires pour la gestion de l'énergie, des déchets, de l'eau et de l'assainissement, de la propreté, en faveur de la transition écologique et de la protection du climat
AND	AND International (cabinet d'études)
ANPEA	Association nationale professionnelle pour les engrais et amendements
Anses	Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail
ARVALIS	Institut du végétal
ASTEE	Association des professionnels de l'eau et des déchets
BAMRA	Bureau d'appui à la maîtrise des risques alimentaires
BD	Base de données
BGD	Bureau de la gestion des déchets
BGIR	Bureau de la gestion intégrée du risque
BN FERTI	Bureau de normalisation de la fertilisation
CAS	Chambre syndicale des améliorants organiques et supports de culture
Cd	Cadmium
CEC	Capacité d'échange cationique
CGAAER	Conseil général de l'alimentation, de l'agriculture et des espaces ruraux
CIRC	Centre international de recherche sur le cancer
CITEPA	Centre interprofessionnel technique d'études de la pollution atmosphérique
CLP	<i>Classification, labelling, packaging</i> (règlement)
COMEXT	Base de données statistiques sur le commerce intra et extra-communautaire gérée par Eurostat
COMIFER	Comité français d'étude et de développement de la fertilisation raisonnée
DAP	Phosphate diammonique ( <i>diammonium phosphate</i> )
DEB	Direction de l'eau et de la biodiversité

DGAL	Direction générale de l'alimentation
DGALN	Direction générale de l'aménagement, du logement et de la nature
DGCCRF	Direction générale de la concurrence, de la consommation et de la répression des fraudes
DGDDI	Direction générale des douanes et droits indirects
DGPR	Direction générale de la prévention des risques
DHT	Dose hebdomadaire tolérable
EARM5	Bureau de la qualité de l'eau et agriculture
EAT	Étude de l'alimentation totale
ECMS	Enquête canadienne sur les mesures de la santé
EFAR	<i>European federation for agricultural recycling</i>
EFSA	<i>European food safety authority</i>
EGalim (loi)	Loi pour l'équilibre des relations commerciales dans le secteur agricole et alimentaire et une alimentation saine, durable et accessible à tous
EN (norme)	<i>European norm</i>
ENNS	Étude nationale nutrition santé
ESCo	Expertise scientifique collective
Esteban	Étude de santé sur l'environnement, la biosurveillance, l'activité physique et la nutrition
ETM	Élément trace métallique
Eurostat	Direction générale de la Commission européenne, institut officiel de statistique
FDA	<i>Food and drug administration</i>
FNADE	Fédération nationale des activités de la dépollution et de l'environnement
FNE	France Nature Environnement
FranceAgriMer	Établissement national des produits de l'agriculture et de la mer
GEMAS	Groupement d'études méthodologiques et d'analyses des sols
GIS	Groupement d'intérêt scientifique
HAS	Haute autorité de santé
HBM4EU	<i>European Human Biomonitoring Initiative</i>
HCSP	Haut Conseil de la santé publique
IAA	Industrie agroalimentaire
ICL	Groupe ICL ( <i>Israël Chemicals</i> )
ICPE	Installation classée pour la protection de l'environnement
IGEDD	Inspection générale de l'environnement et du développement durable
INCA	Enquête individuelle nationale des consommations alimentaires
INRAE	Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement
IOTA	Installations, ouvrages, travaux et activités (nomenclature loi sur l'eau)

IPCHEM	Information platform for chemical monitoring (UE)
JRC	<i>Joint research centre</i>
K	Potassium
LB	<i>Lower bound (mean)</i>
LFP	Lithium-fer-phosphate (batterie)
LUCAS	<i>Land use and coverage area frame survey</i>
MAASA	Ministère de l'agriculture, de l'agro-alimentaire et de la souveraineté alimentaire
MAFOR	Matières d'origine résiduaire
MAP	Phosphate mono-ammonique ( <i>monoammonium phosphate</i> )
MB	<i>Middle bound (mean)</i>
MENA	<i>Middle East and North Africa</i>
MFSC	Matières fertilisantes et supports de culture
mRPI	<i>Modified reference point index</i>
MS	Matière sèche
MTEBNICN	Ministère de la transition écologique, de la biodiversité et des négociations internationales sur le climat et la nature
N	Azote
NF (norme)	Norme française
NF U	Norme française de la classe de domaine « agriculture et produits agro-alimentaires »
NHANES	<i>National health and nutrition examination survey</i>
Ni	Nickel
NIPH	<i>National Institute of Public Health (Tchéquie)</i>
NOR	Système normalisé de numérotation
OCP	Groupe OCP (anciennement Office chérifien des phosphates)
ON	Organisme notificateur
P	Phosphore
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Pentoxyde de phosphore
PARC	<i>Partnership for the assessment of risks from chemicals</i>
PC	Plan de contrôle
PFAS	Substances perfluoroalkylées et polyfluoroalkylées ( <i>per - and polyfluoroalkyl substances</i> )
PH	Potentiel hydrogène
PNSE	Plan national santé environnement
ppm	Partie par million
PS	Plan de surveillance
QUASAPROVE	Qualité sanitaire des productions végétales de grande culture (réseau)

REACH	<i>Registration, evaluation, authorisation and restriction of chemicals</i> (règlement)
RICA	Réseau d'information comptable agricole
RMQS	Réseau de mesures de la qualité des sols
RMT	Réseau mixte technologique
RoHS	<i>Restriction of hazardous substances</i>
RSD	Règlement sanitaire départemental
SAS	Service des actions sanitaires
SAU	Superficie agricole utilisée
SCA	Surveillance de la chaîne alimentaire
SDEC	Sous-direction de l'environnement et du climat
SDEIGIR	Sous-direction de l'Europe, de l'international et de la gestion intégrée du risque
SDSSA	Sous-direction de la sécurité sanitaire des aliments
SOGREAH	Société grenobloise d'études et d'applications hydrauliques
SPPSI	Service du pilotage de la performance sanitaire et de l'international
SSEEC	Service santé environnement, environnement et économie et économie circulaire
SSP	Service de la statistique et de la prospective
STEP	Station d'épuration
STEU	Station de traitement des eaux usées
TGAP	Taxe générale sur les activités polluantes
TM	Teneur maximale
TSP	Triple super phosphate
UB	<i>Upper bound (mean)</i>
UE	Union européenne
UMR ISPA	Unité mixte de recherche « Interactions sol plante atmosphère »
UNIFA	Union des industries de la fertilisation
USGS	<i>United States Geological Survey</i>
VTR	Valeur toxicologique de référence

## Annexe 4. Sources mondiales et teneurs en cadmium des différents gisements de roches phosphatées

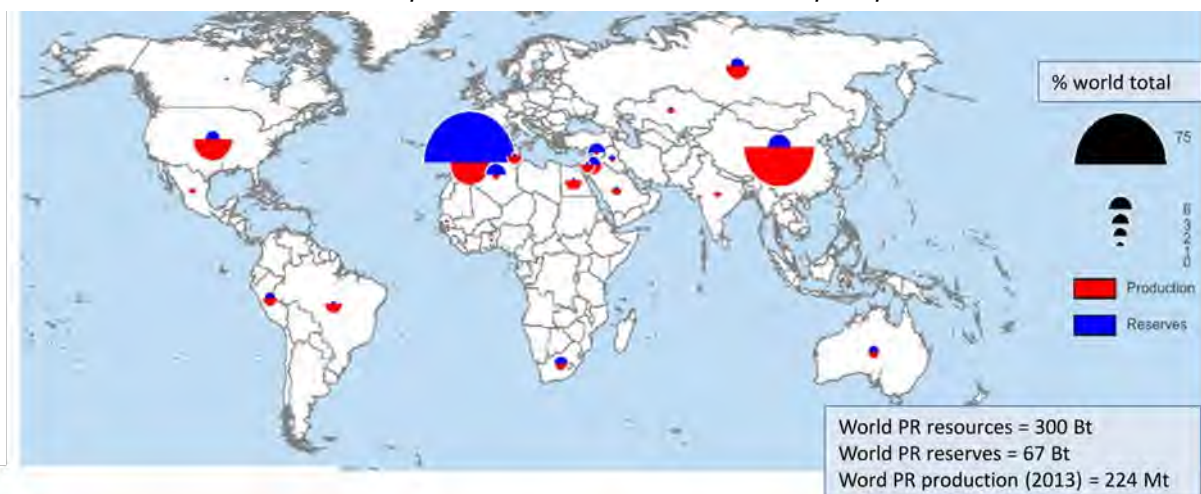
### Annexe 4.1. Réserves et production mondiales de roches phosphatées

Continent et pays	Réserves avérées	Bases de réserves supposées et réserves
	(millions de tonnes)	
<b>Amérique du Nord</b>		
Canada	37	37
Etats-Unis	1 260	22 587
Mexique	208	2 416
	1 505	25 040
<b>Amérique du Sud</b>		
Brésil	551	558
Pérou	428	1 353
Autre	120	211
	1 099	2 122
<b>Afrique</b>		
Algérie	250	435
Afrique du Sud	1 800	6 781
Maroc et Sahara occidental	2 100	62 575
Sénégal	155	200
Tunisie	70	1 021
Autre	82	1 216
	4 457	72 228
<b>Asie</b>		
Chine	170	1 000
Irak	296	296
Israël	70	449
Jordanie	530	1 542
Autre	241	807
	1 307	4 094
<b>Océanie</b>		
Australie	340	850
Autre	51	51
	391	901
<b>Europe</b>		
Finlande	-	46
Pays de l'ex-Union Soviétique	6 500	8 000
	6 500	8 046
<b>Total du monde</b>	<b>15 259</b>	<b>112 431</b>

#### Réserves mondiales de roches phosphatées

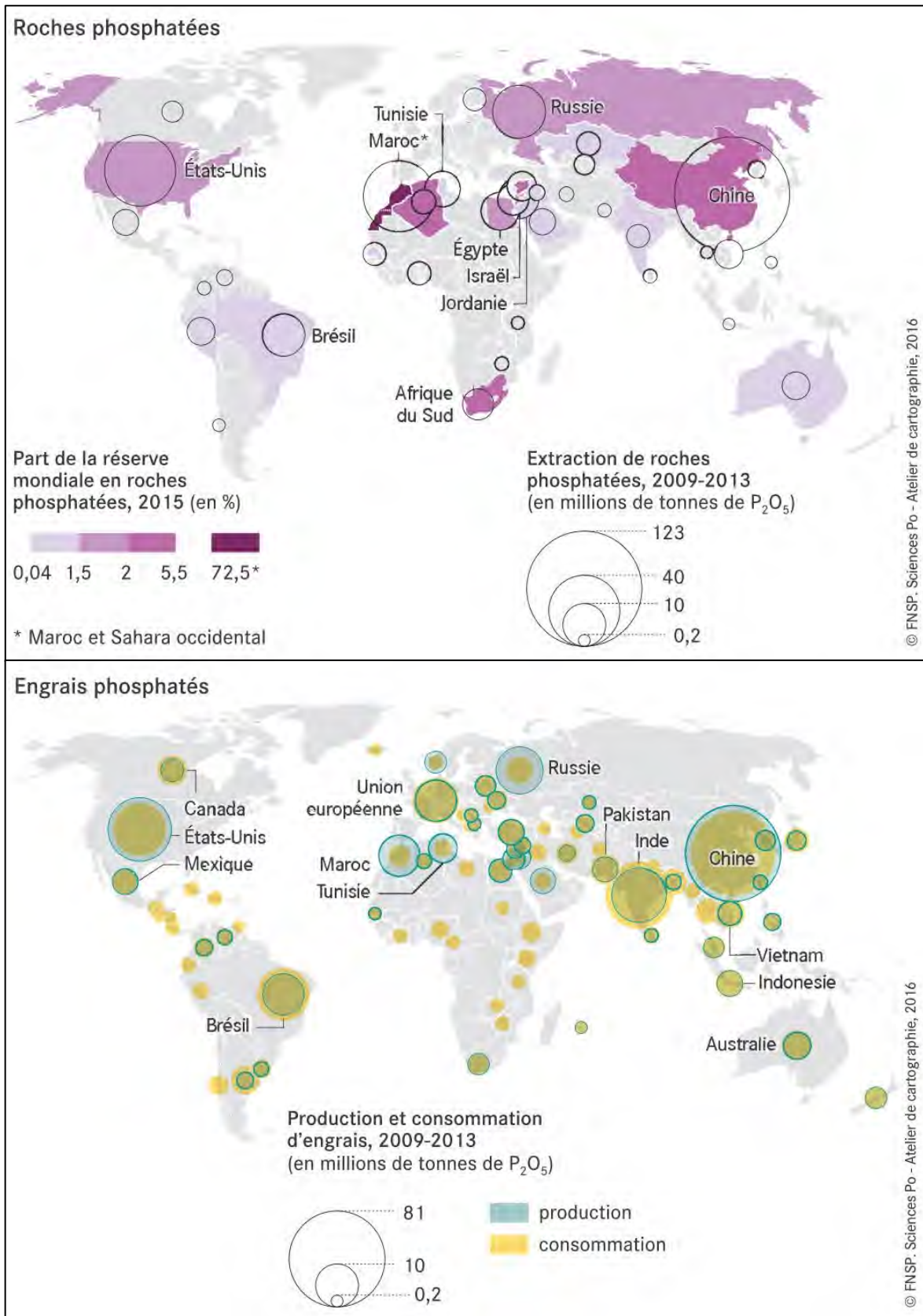
Source : Sheldon, 1987 in F. Zapata et R.N. Roy. Utilisation des phosphates naturels pour une agriculture durable. FAO. 2004.

#### Réserves et production mondiales de roches phosphates



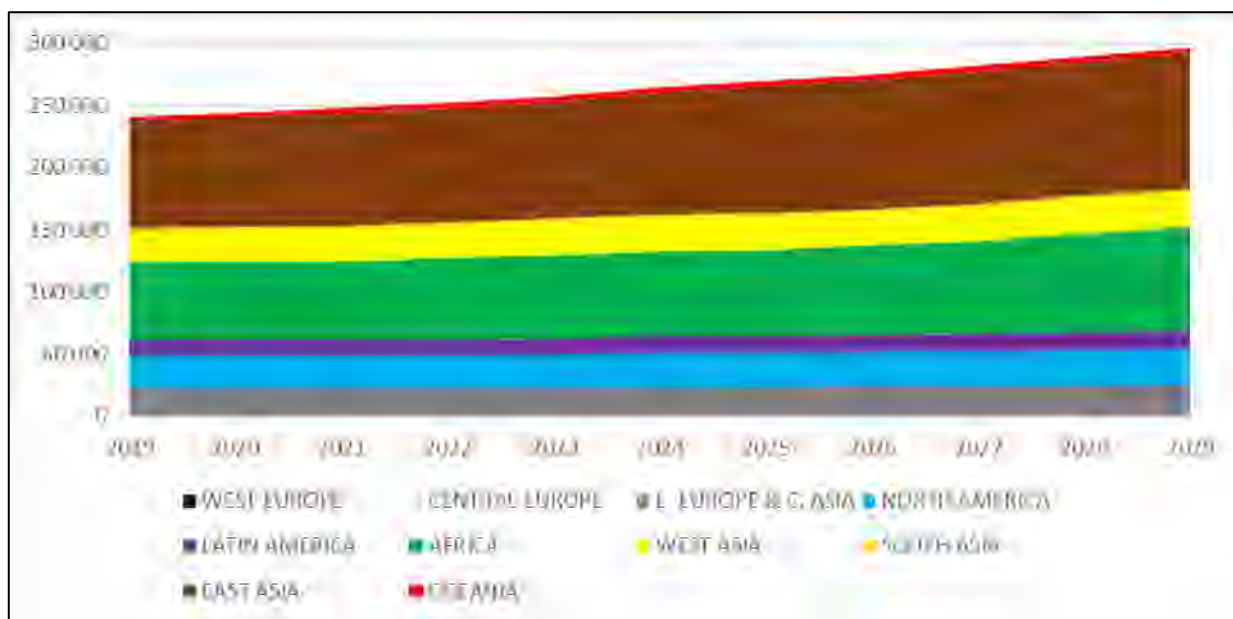
Source : Bérengère Lecuyer, Vincent Chatellier, Karine Daniel. The world phosphates market: What risk for the European Union ? Fertilizer Working Group - European Commission, Communauté Economique Européenne (CEE). Jun 2014.

## Répartition de la production et de la consommation de roches phosphatées



Source : Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt – Centre d'étude et de prospective. Vers une gestion durable du phosphore, ressource critique pour l'agriculture. Analyse n°93. Novembre 2016.

## Aperçu régional des développements de capacités existants et annoncés en roches phosphatées



Source : IFA. World Phosphate Rock Capability 2025.

### Production mondiale d'acide phosphorique

On estime que la production mondiale d'acide phosphorique a augmenté de 5 % en 2024, pour atteindre un niveau record de 89,6 Mt, grâce à l'amélioration des taux d'utilisation. La production de MAP+DAP a également augmenté de 5 % sur un an pour atteindre 67,2 Mt, soit le deuxième volume annuel le plus élevé depuis 2020. La baisse de la production en Asie du Sud, en Amérique du Nord et en Europe centrale a été compensée par une production plus élevée en Asie de l'Est et en Afrique. La Chine et le Maroc ont été les principaux contributeurs à cette croissance, avec des hausses respectives de 11 % et 4 %. Les échanges d'acide phosphorique ont augmenté de 1 % à 8,3 Mt, soit le volume annuel le plus élevé des cinq dernières années. Les échanges MAP+DAP ont également augmenté de 1 % à 29,1 Mt malgré les restrictions à l'exportation de la Chine au premier trimestre 2024. La hausse des exportations de l'Arabie saoudite, de la Russie et du Maroc a compensé la baisse des volumes chinois.

La *capacity* d'acide phosphorique devrait croître de 14 % entre 2024 et 2029, pour atteindre 71,7 Mt  $P_2O_5$  d'ici la fin de la prévision. L'Afrique, l'Asie de l'Ouest et l'Asie de l'Est devraient tirer cette croissance, les ajouts les plus substantiels étant prévus pour 2027 et 2028, sur la base des investissements déjà en cours. Conformément à la tendance de l'année dernière, la plupart des nouvelles capacités sont développées par des producteurs existants au Maroc et en Arabie saoudite. Des expansions plus modestes sont également prévues en Jordanie, en Égypte et en Tunisie. En Chine, la croissance des capacités devrait être stimulée par la hausse de la demande intérieure pour des utilisations autres que les engrais, en particulier dans le secteur des véhicules électriques. Tous les nouveaux projets d'acide phosphorique en Chine inclus dans les prévisions sur cinq ans concernent la capacité d'acide phosphorique purifié (PPA), en plus de l'acide conventionnel de qualité marchande. En dehors de la Chine, la plupart des nouvelles capacités de PPA devraient provenir du Canada, avec un projet majeur dont la mise en service est prévue en 2028.

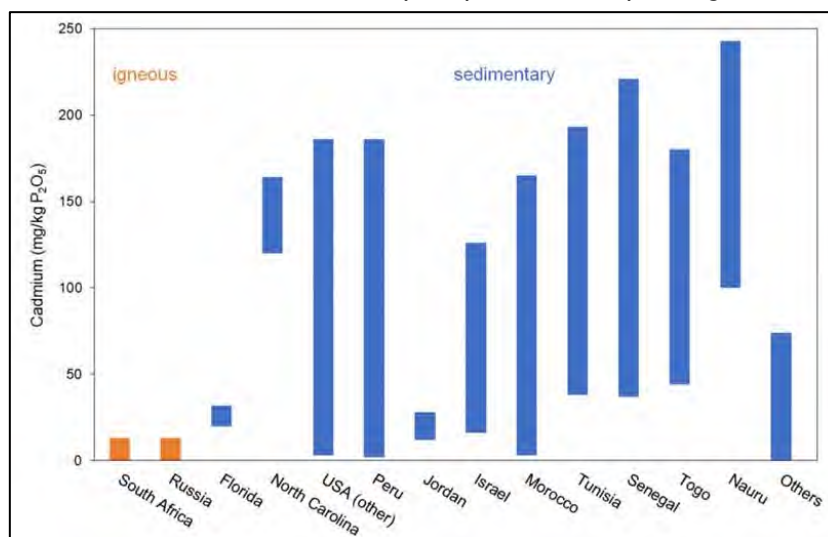
La *capability* d'acide phosphorique devrait passer de 54,9 Mt  $P_2O_5$  en 2024 à 61,4 Mt  $P_2O_5$  en 2029, soit une augmentation de 12 %. Les principaux contributeurs à cette croissance seront le Maroc, l'Arabie saoudite, la Chine et le Canada. Comme la capacité devrait dépasser la demande, le bilan du phosphate devrait se détendre, passant d'un excédent de 4,4 Mt  $P_2O_5$  en 2024 à 5,9 Mt  $P_2O_5$  en 2027. Bien que la croissance de la demande d'engrais phosphate ralentisse, elle est largement compensée par une augmentation de la demande mondiale d'acide phosphorique purifié (PPA). Cette croissance de la demande devrait entraîner une stabilisation de l'équilibre du phosphate d'ici la fin du moyen terme, en supposant une croissance de la demande de PPA de 5 % par an.

Source : IFA. Medium term fertilizer outlook 2025-2029. Juin 2025.



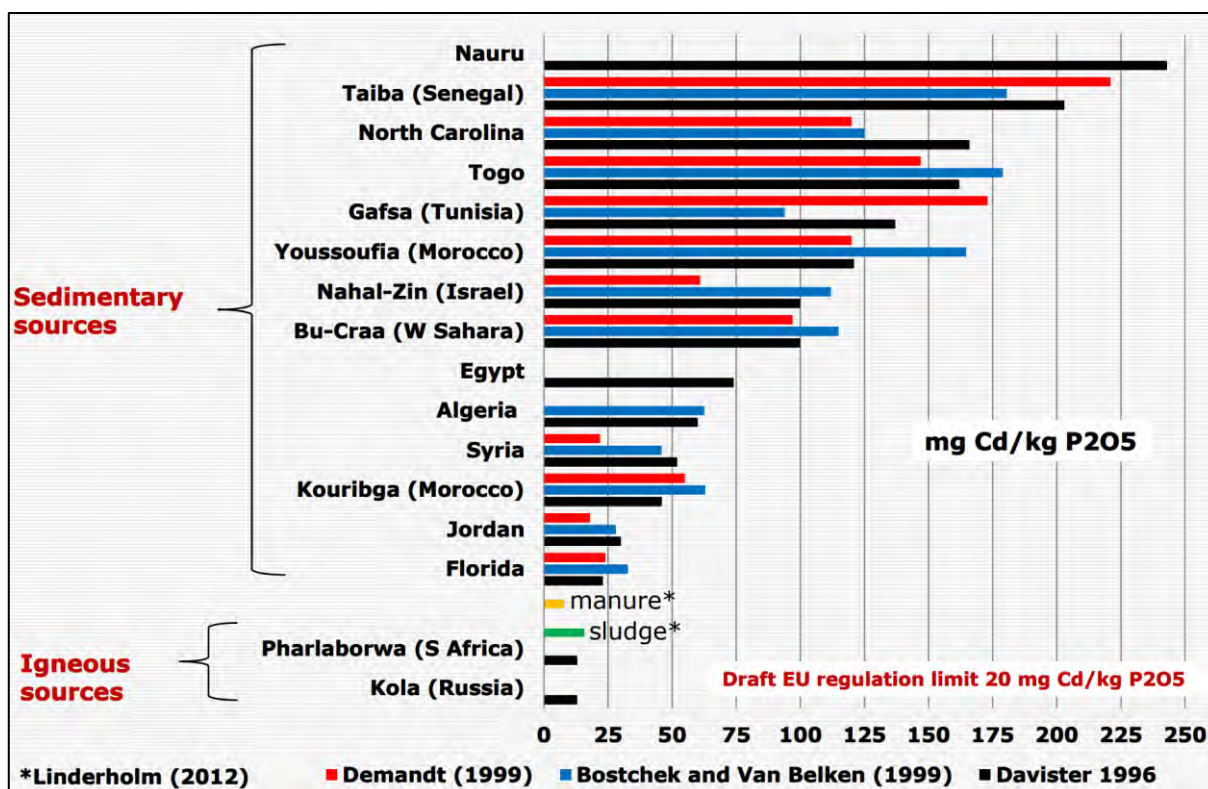
## Annexe 4.2. Variété des teneurs en cadmium des différents gisements mondiaux de phosphates

Teneurs en cadmium des phosphates bruts par origine.



Source : (Dittrich and Klose, 2008 ; Kharikov and Smetana, 2000 ; Mar and Okazaki, 2012; Oosterhuis et al., 2000 ; Roberts, 2014) in Andreas Kubier, Richard T. Wilkin, Thomas Pichler. Cadmium in soils and groundwater: A review. Applied Geochemistry 108. 2019.

Teneurs en cadmium dans les roches phosphatées (en mg Cd/Kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)



Source : Rosemarin A. (2006). Global Status of Phosphorus. Phosphorus a Limited Resource – Closing the Loop. Stockholm Environment Institute: Malmö, Suède.

*Concentration en oligo-éléments dans le Triple Superphosphate (TSP). La concentration en cadmium est exprimée en mg par kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Source : Institut mondial du phosphate)*

Country	Deposit	P205(%wt)	Elements (in mg cadmium/ kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )					Pb
			As	Cd	Cr	Hg	Ni	
<b>Sediment deposits</b>								
Algeria	Djebel Onk	28,8	7,4	53,2	285,7	0,3		2,3
	Djebel Onk	27,9		29,3				
Australia		28,8	23,0	9,9	57,5	0,1		7,7
Burkina Fasso		25,4	11,2	5,4	54,0	0,2		1,7
China	?	31,1	39,5	5,5	50,2	7,6		1,4
	Kaiyang	35,9	11,9	3,8	23,7	0,3		3,7
Colombia	Media Luna	30,1		20,3				
	Sardinalia	36,2		29,1				
Egypt	Abu Tartur	29,9	55,4	13,0	39,5	0,1		14,1
	Hamrawen	22,2	55,4	46,0	370,6	0,2		1,0
	West Makamid	26,5	10,7	15,4	133,8	0,2		12,5
India	Mussoorie	25,0	149,4	21,8	105,9	3,2		22,2
	Rajasthan	36,7		1,9				
Israel	Arad	32,4	8,0	30,0	189,7	0,2	58,4	1,4
	Zin	31,1	15,2	67,4		0,3		3,6
	Oron	33,6	11,3	10,1	150,6	0,2		0,7
	?	32,8		50,2	327,3			3,4
Jordan	El Hasa Ruseife	32,4	11,7	11,3	134,3	0,1	24,8	1,4
		30,8	16,9		353,1			
	Shidyia	30,5	14,0	13,4	76,0	0,1		1,5
Mali		28,8	18,1	18,9	37,8	0,0		15,4
Morocco	Boucraa	35,1		72,7			25,6	
	Khourbiga	32,6	19,4	31,5	290,1	1,2	46,4	6,8
	Youssoufia	32,1	13,6	61,9	374,2	0,2		9,7
	?	32,4	17,8	54,6	407,2	0,1		
Nauru		37,5	3,8	154,6				
Niger		34,3	5,5	7,9	67,6	0,1		5,2
Peru		30,1	20,9	56,5	201,1	0,2		8,8
Senegal		35,9	22,9	164,3	184,4	0,4	69,8	3,7
Syria		31,9	5,9	6,4	155,6	0,0	37,1	2,1
Tanzania		28,6	13,2	2,4	26,5	0,1		1,6
Togo		36,7	12,9	108,3	130,1	0,5	45,1	4,8
Tunisia		29,3	7,3	139,3	232,4	0,2	25,8	3,0
USA	Central Florida	31,9	16,8	19,4	88,9	0,3	59,3	11,8
	North Florida	31,2	10,6	13,3	98,5		33,3	8,5
	North Carolina	29,9	17,7	86,9	249,9	0,4		5,9
	Idaho	31,7	35,4	198,1	950,2	0,4	126,8	8,4
Venezuela		27,9	6,8	9,8	55,9	0,1		1,6
<b>Mean</b>		<b>31,2</b>	<b>20,0</b>	<b>45,4</b>	<b>195,5</b>	<b>0,6</b>	<b>53,0</b>	<b>5,7</b>
<b>Igneous deposits</b>								
South Africa		38,2	16,1	2,3	1,2		43,3	6,4
Brazil	Araxa	37,0	22,4	4,6	38,3	0,1		13,2
	Catalão	37,4	19,0	3,6	45,5	0,1		17,2
Burundi		40,4	2,3	3,4	36,3	0,0		5,5
Finland		39,5	3,6	3,4	16,8	0,0		2,2
Uganda		38,6	4,9	1,8	13,5	0,0		20,7
Russia	Kola	35,9	13,2	2,3			2,6	20,4
Sri Lanka		36,4	34,7	4,1	129,9	0,3		7,3
Sweden	Grangesburg	37,8	469,1	1,8	25,0	0,1		11,7
	Kjiruna	37,2	945,7	0,0		0,2		6,0
Zimbabwe		33,1	8,6	2,1	14,3	0,1		4,0
<b>Mean</b>		<b>37,4</b>	<b>153,0</b>	<b>2,7</b>	<b>34,1</b>	<b>0,1</b>		<b>8,9</b>

Source : Commission européenne. Commission staff working document - Impact assessment - Limits for cadmium in phosphate fertilisers. SWD(2016) 64 final. 2016.

## Annexe 5. Émissions et retombées atmosphériques

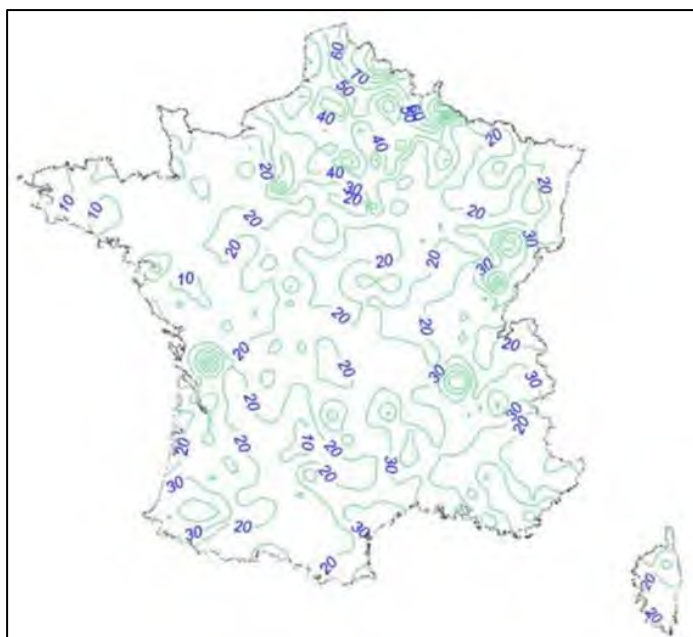
### Annexe 5.1. Mesures des dépôts atmosphériques de cadmium

Émissions mondiales moyennes de cadmium dans l'atmosphère au milieu des années 90

Source	Cadmium (t/a)	Reference
Natural sources		
Soil particles	24,000	a
Forest and bush fires	13,000	
Sea salt	2000	
Volcanoes	1600	
Meteoric dust	$1,4 \times 10^{-4}$	
Anthropogenic sources		
Non-ferrous metal production	2171	b
Iron and steel production	64	
Stationary fossil fuel combustion	691	
Cement production	17	
Waste disposal (incineration)	40	
<i>Sum</i>	43,600	

<sup>a</sup>Richardson et al. (2001); <sup>b</sup> Pacyna and Pacyna (2001).

Source : Andreas Kubier, Richard T. Wilkin, Thomas Pichler. Cadmium in soils and groundwater : A review. Applied Geochemistry 108. 2019.



Carte des isovaleurs des flux de retombées atmosphériques ( $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{an}$ ), obtenue par kriegage des données du réseau mousse-métaux – campagne 2000

Laurence Denaix, Emma Vivien. Fiche pédagogique Élément Trace Métallique (ETM) – Cadmium. 2019.

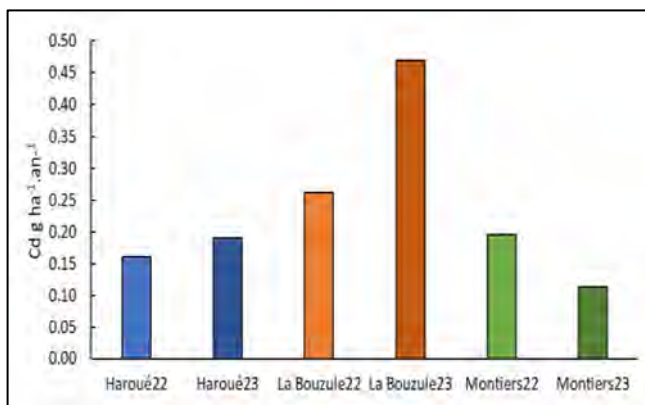
Type dépôt	Site	Cd
Insoluble	Haroué	0,07
	La Bouzule	0,08
Soluble	Haroué	0,41
	La Bouzule	0,54
Total	Haroué	0,5
	La Bouzule	0,6

Dépôts atmosphériques annuels insoluble, soluble et total dans les sites agricoles d'Haroué et La Bouzule ( $\text{g}/\text{ha}/\text{an}$ )

Sterckeman Thibault, Pierlot Frédéric, Herber Éric, Turpault Marie-Pierre, 2025. Mesure de flux d'éléments en traces en sols agricoles et forestiers. Projet FETSA (APR IMPACTS 2020). Avril 2025.

**Retombées atmosphériques totales (formes solubles et insolubles) pour le cadmium, les trois sites suivis et les deux années communes (2022 et 2023)**

Sterckeman Thibault, Pierlot Frédéric, Herber Éric, Turpault Marie-Pierre, 2025. Mesure de flux d'éléments en traces en sols agricoles et forestiers. Projet FETSA (APR IMPACTS 2020). Avril 2025.



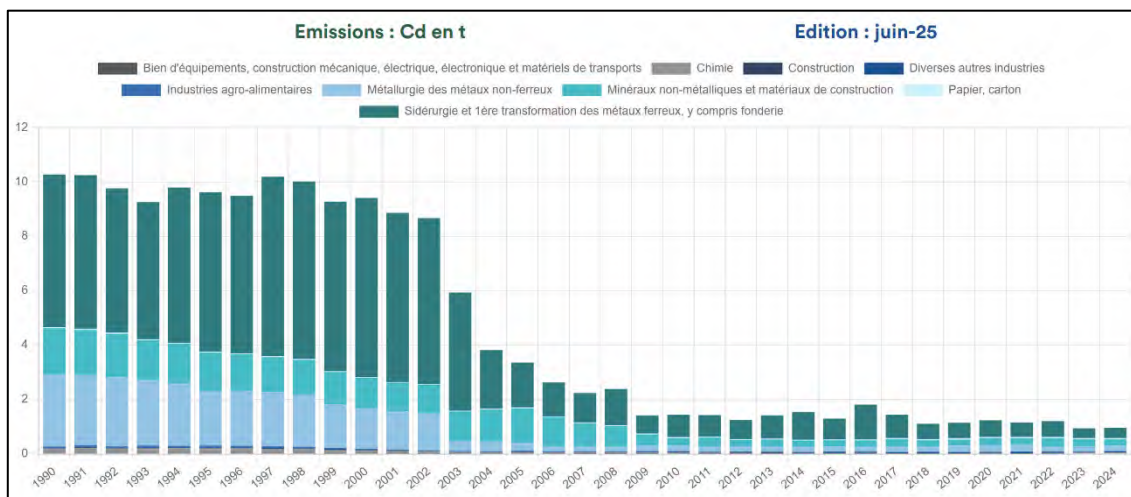
**Estimation des retombées atmosphériques sur une période longue**

[...] Les différences enregistrées entre 1938 et 1999 dans les parcelles « sans rien » permettent d'évaluer les apports par retombées atmosphériques. On constate en effet une augmentation continue des stocks de Cd à raison de 48,9 mg/m<sup>2</sup> au total sur 61 ans. Ceci représente une augmentation moyenne de 8,0 g/ha/an, à comparer avec 6,0 g/ha/an pour la période 1960-1984 à Versailles (Juste et Tauzin, 1986) et 14 g/ha/an pour la période 1970-1991 à Rothamsted (Johnston & Jones, 1992).

Source : Denis Baize et Serge Bourgeois. Estimation des apports agricoles et des retombées atmosphériques en éléments en traces et majeurs grâce à un essai de longue durée (dispositif Dehérain à Grignon). 2005.

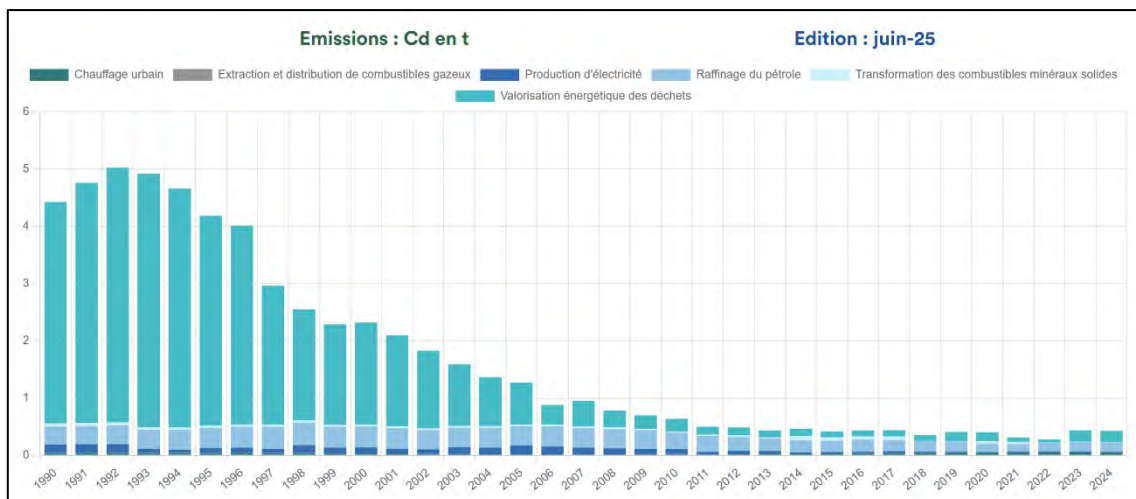
**Annexe 5.2. Évolution des émissions de cadmium en France par secteur depuis 1990**

**Évolution des émissions de cadmium depuis 1990 dans le secteur de l'industrie en France (Métropole)**



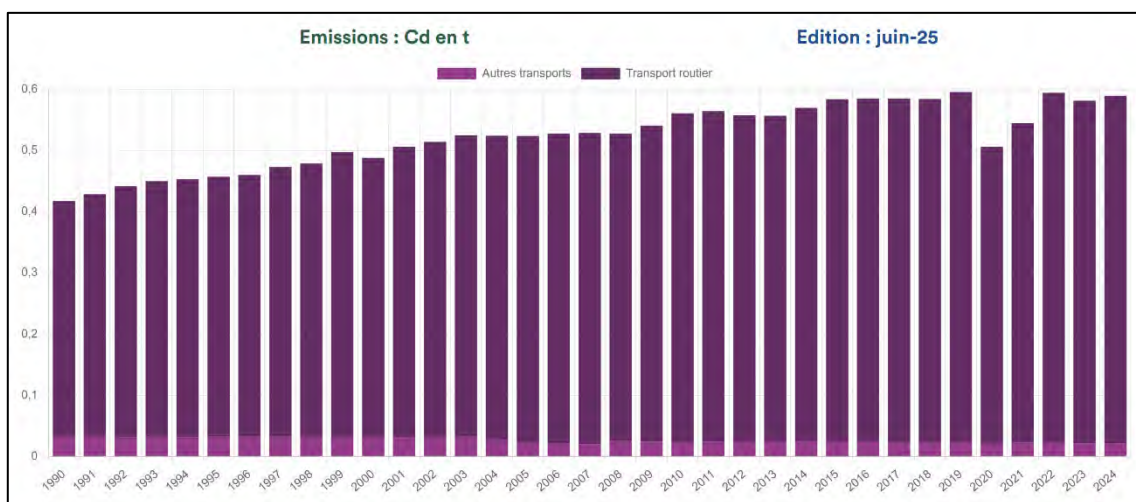
Source : Citepa, 2025. Inventaire des émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre en France.

### Évolution des émissions de cadmium depuis 1990 dans le secteur de l'énergie en France (Métropole)



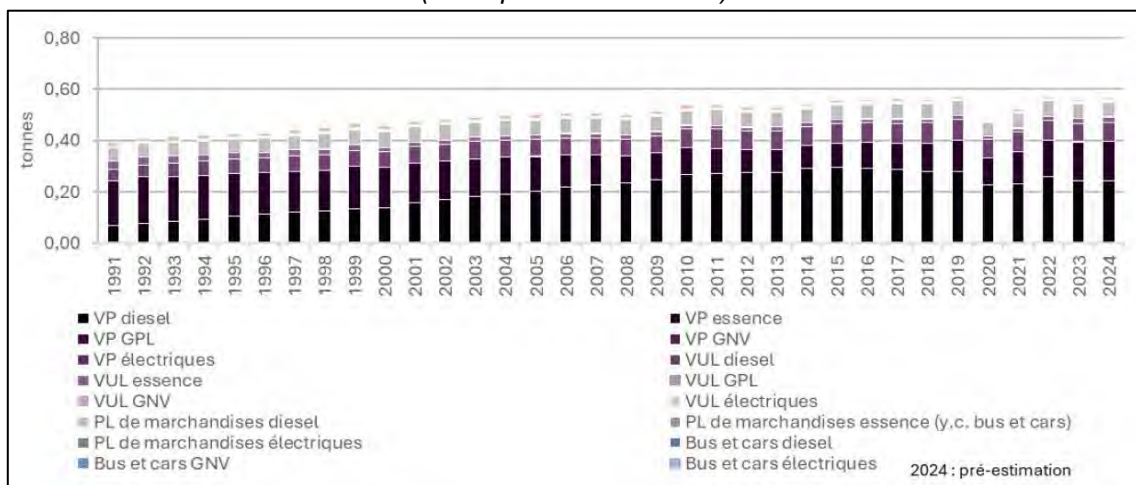
Source : Citepa, 2025. Inventaire des émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre en France.

### Évolution des émissions de cadmium depuis 1990 dans le secteur des transports en France (Métropole)



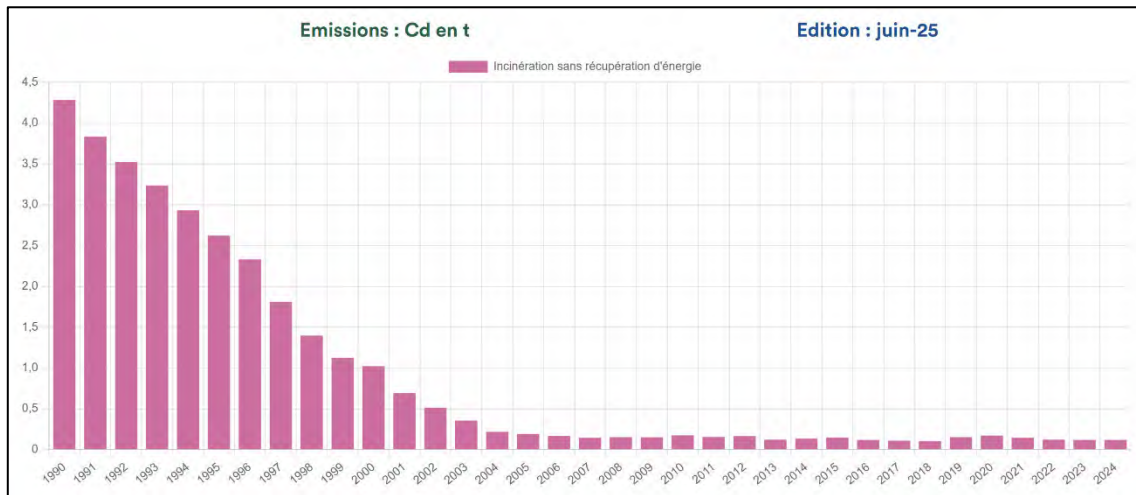
Source : Citepa, 2025. Inventaire des émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre en France.

### Évolution des émissions de cadmium depuis 1990 dans le secteur du transport routier en France (métropole et Outre-mer)



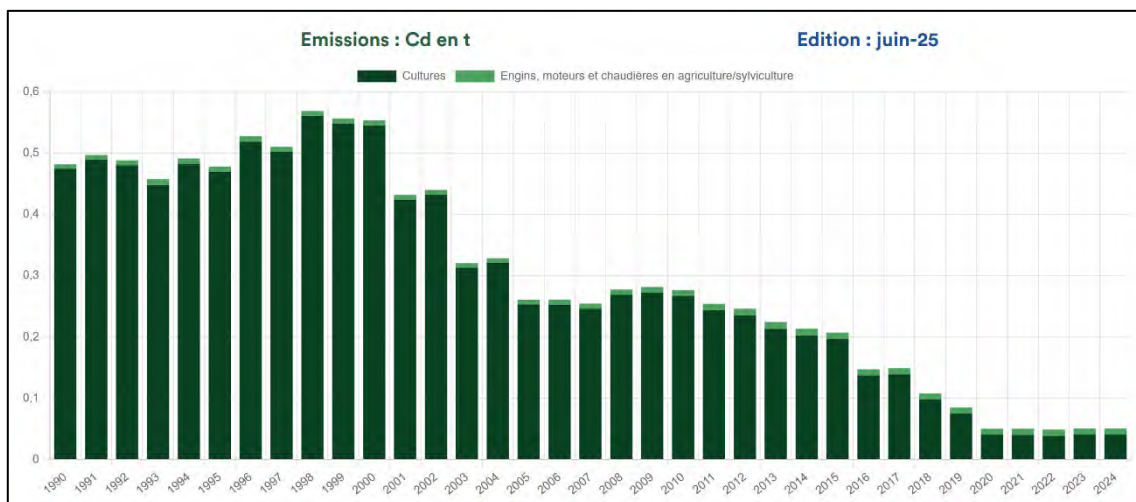
Source : Citepa, 2025. Inventaire des émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre en France.

Évolution des émissions de cadmium depuis 1990 dans le secteur de l'incinération en France (Métropole)



Source : Citepa, 2025. Inventaire des émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre en France.

Évolution des émissions de cadmium depuis 1990 dans le secteur de l'agriculture en France (Métropole)

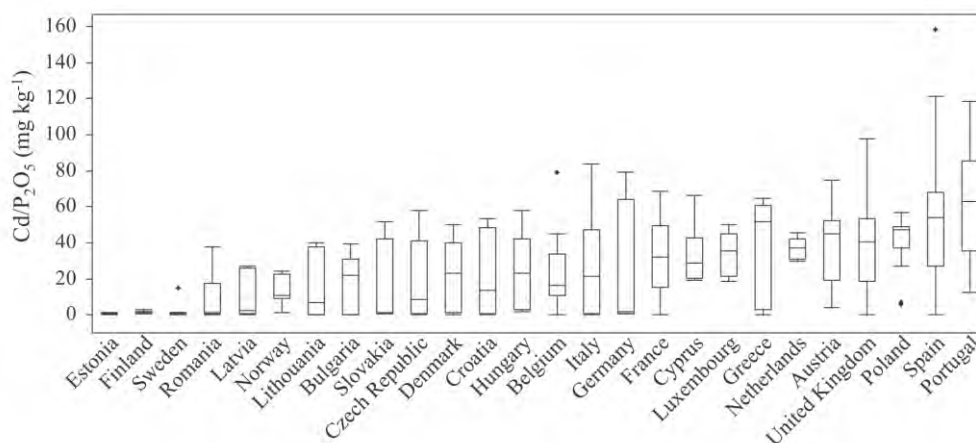


Source : Citepa, 2025. Inventaire des émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre en France.

## Annexe 6. Teneur en cadmium des matières fertilisantes

### Annexe 6.1. Concentration en cadmium dans les engrais phosphatés utilisés en Europe

Teneur en Cd des engrais (sur la base de l'unité  $P_2O_5$ ) par pays, les tracés quantiles montrent (en lignes) min-P25 -P50-P75-max et les valeurs aberrantes (points).



Source : Mieke Verbeeck, Peter Salaets, Erik Smolders. Trace element concentrations in mineral phosphate fertilizers used in Europe: A balanced survey. Science of the Total Environment 712. 2020.

#### Statistiques descriptives de la teneur en cadmium des engrais minéraux phosphatés de 414 échantillons européens (mg de Cd par kg d'engrais)

[...] Cette étude visait à étudier les concentrations d'ET dans les engrais minéraux phosphorés consommés dans 25 des pays de l'UE-28 plus la Norvège (UE-28+1), afin d'améliorer les estimations de l'apport d'ET à l'échelle de l'UE dans les sols agricoles. Différents engrais minéraux phosphatés ( $n = 414$ ) ont été collectés dans l'UE-28+1 avec une stratégie d'échantillonnage équilibrée en fonction de la consommation.

	Cd mg kg <sup>-1</sup>
Mean LOQ	0.16
#samples <LOQ	104
Min	0.07
Max	51
<b>Mean</b>	<b>6.26</b>
Median	3.2
SD <sup>a</sup>	8.1

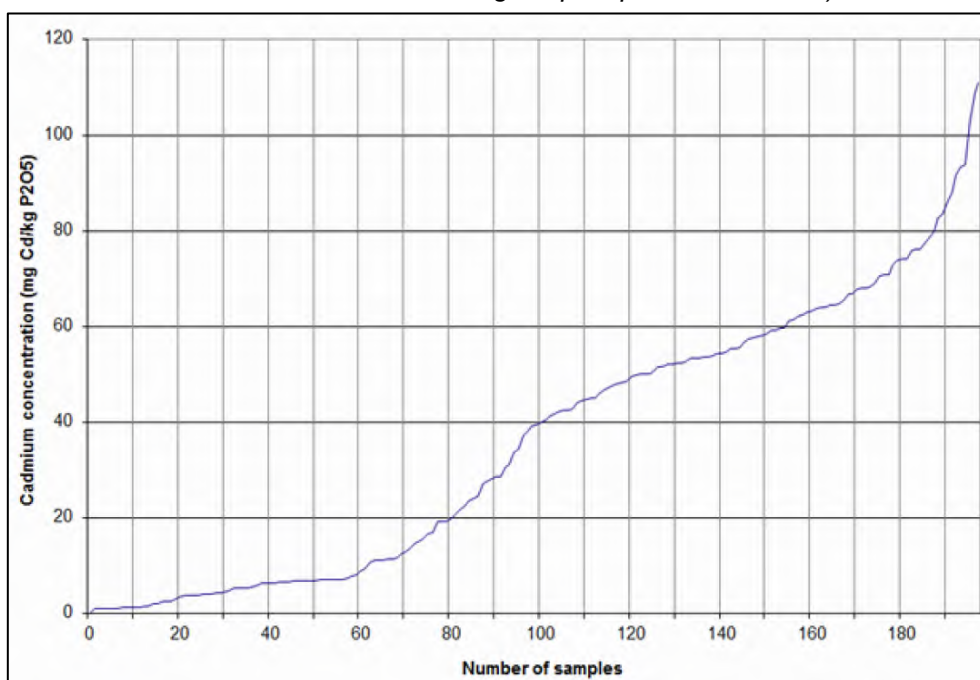
La concentration moyenne en cadmium est présentée en gras. Les concentrations de la limite de quantification (LOQ) de chaque lot ont été converties en LOQ/2 moyenne des 12 lots analytiques. Le pourcentage de  $P_2O_5$  de chaque échantillon varie de 3 à 60 %, avec une moyenne à 21 %.

Source : Mieke Verbeeck, Peter Salaets, Erik Smolders. Trace element concentrations in mineral phosphate fertilizers used in Europe: A balanced survey. Science of the Total Environment 712. 2020.

[...] La teneur moyenne en cadmium des engrais dans l'UE est estimée à environ 36 mg/kg d'anhydride de phosphate ( $P_2O_5$ ), mais le niveau peut atteindre 200 mg Cd/kg, selon la source de phosphate naturel (Gilbert, 2018).

Source : Cristiano Ballabio, Arwyn Jones, Panos Panagos. Cadmium in topsoils of the European Union – An analysis based on LUCAS topsoil database. Science of the Total Environment 912. 2024.

*Distribution de cadmium dans 197 échantillons d'engrais phosphatés (D'après les données de Nziguheba et Smolders (2007). Les données ne sont pas nécessairement représentatives de la situation du marché des engrais phosphatés dans l'UE)*



Source : Commission européenne. Commission staff working document - Impact assessment - Limits for cadmium in phosphate fertilisers. SWD(2016) 64 final. 2016.

## Annexe 6.2. Concentration en cadmium dans les différentes catégories d'engrais utilisés en France







*Concentrations du cadmium dans les catégories d'engrais (mg/kg MS)*

Catégories d'Engrais	CdMoy	CdMin	CdMax
Simple N : ammonitrates	0,7	0,5	1
Simple N : solutions	0	0	0
Simple N : urée	0,2	0,2	0,2
Simple N : autres	0,24	0	0,6
Simple P : TSP	19,56	8	31,9
Simple P : autres superphosphates	12,3	10,3	17,2
Simple P : autres	15,26	8,1	26
Simple K : chlorure de potassium	0,23	0,05	0,5
Simple K : sulfate de potassium	0,14	0,1	0,2
Simple K : autres	0,01	0,01	0,01
Binaires PK : superpotassiques	6,89	2,9	12,5
Binaires PK : phospho-potassiques	6,89	2,9	12,5
Binaires PK : autres PK	6,89	2,9	12,5
Engrais NP. NK. NPK : DAP. MAP	14,15	0,2	42,1
Engrais NP. NK. NPK : autres NP	7,11	0,2	31,9
Engrais NP. NK. NPK : NK. NPK	6,17	0,2	14,6
Engrais NP. NK. NPK : organo-minéraux	9,9	0,5	24

Source : E. Belon, M. Boisson, I.Z. Deportes, T.K. Eglin, I. Feix, A.O. Bispo, L. Galsomies, S. Leblond, C.R. Guellier. An inventory of trace elements inputs to French agricultural soils. Science of the Total Environment 439. 2012.



## Données déclarées par Adhérents AFCOME - Achat d'engrais contenant du phosphate

Provenances :	Israël	Tunisie	UE	Egypte	Maroc	Russie
						
	>40mg	>40mg	>40mg (Belgique, Pays-Bas, Lituanie, Espagne et France)	<40mg	<40mg Voir <20mg dans certains cas	<20mg
■ SIMPLE P	●	●	●	●	●	
■ PK	●		●			
■ NPK	●	●	●	●	●	●
■ NP	●		●		●	●

Les engrais phosphatés fabriqués en UE sont fabriqués à partir de matières premières ayant pour origine des roches phosphatées israéliennes, marocaines, tunisiennes, algériennes, égyptiennes ou russes.

Source : AFCOME – Entretien mission.

### Résultats du traitement des données NiPERA\* sur les engrais phosphatés

	n	As			Cd		
		min	moy	max	min	moy	max
TSP	14	3.4	6.9	9.3	8.0	19.6	31.9
Superphosphates	6	0.8	14.4	54.2	10.3	12.3	17.2
PK	8	0.2	6.1	25.2	2.9	6.9	12.5
DAP-MAP	10	4.5	15.8	44.9	0.2	14.2	42.1
NP	13	2.1	15.8	56.1	0.2	7.1	31.9
NPK	30	0.2	5.7	21.9	0.2	6.2	14.6
<b>Total</b>	<b>81</b>	<b>0.2</b>	<b>9.5</b>	<b>56.1</b>	<b>0.2</b>	<b>10.1</b>	<b>42.1</b>
<b>Moyenne France</b>	<b>18</b>	<b>&lt;0.4</b>	<b>3.9</b>	<b>8.8</b>	<b>&lt;0.4</b>	<b>8.7</b>	<b>34.6</b>

\* Les « données NiPERA » (Smolders, Nziguheba, Ref n°26) étaient issues d'une étude sur les engrais phosphatés en vente en Europe. Dans cette étude, 196 engrais phosphatés ont été échantillonnés dans 12 pays de l'Union Européenne et analysés pour 8 ETM (3 répétitions) dans le même laboratoire. Une seule méthode (non normalisée) a été utilisée pour la détermination des teneurs. Pour la France, 18 échantillons ont été analysés.

Source : ADEME et SOGREAH. Bilan des flux de contaminants entrants sur les sols agricoles de France métropolitaine. 2007.

## Annexe 6.3. Concentration en cadmium dans les matières fertilisantes autres que les engrais, utilisées en France

### Teneurs en cadmium dans les boues de STEP et les composts (mg/kg MS)

Catégorie	CdMoy	CdMin	CdMax
Boues épandues en agriculture	1,6	0,037	50
Compost de déchets verts	1,37	0,1	17,1
Compost de boues de STEP	1,62	0,1	12
Compost de biodéchets	1,07	0,5	3,5
Boues de papeterie (primaires et mixtes)	1	0	4

Données obtenues d'après : [AND International, 2002; Charonnat et al., 2001; Jumeau et al., 2001]

Source : E. Belon, M. Boisson, I.Z. Deportes, T.K. Eglin, I. Feix, A.O. Bispo, L. Galsomies, S. Leblond, C.R. Guellier. An inventory of trace elements inputs to French agricultural soils. Science of the Total Environment 439. 2012.

### Concentration en cadmium des effluents d'élevage (mg/kg MS)

Catégorie Effluents	CdMoy	CdMin	CdMax
Bovins - émis au champ	0,27	0,1	0,96
Bovins - fumier	0,27	0,1	0,96
Bovins - lisier	0,27	0,1	0,96
Porcin - émis au champ	0,49	0,4	0,64
Porcin - fumier	0,25	0,2	0,3
Porcin - lisier	0,49	0,4	0,64
Poulets chair/dinde - fumier	0,25	0,2	0,3
Poulets chair/dinde - lisier	0,25	0,2	0,3
Poules pondeuses - lisier	0,49	0,4	0,64
Ovins - émis au champ	0,32	0,02	1,18
Ovins - fumier	0,32	0,02	1,18
Caprins - émis au champ	0,28	0,02	1,11
Caprins - fumier	0,28	0,02	1,11
Equins - émis au champ	0,2	0,2	0,2
Equins - fumier	0,2	0,2	0,2

Données issues de [Plateau, 2001], [Levasseur, 2005]

Source : E. Belon, M. Boisson, I.Z. Deportes, T.K. Eglin, I. Feix, A.O. Bispo, L. Galsomies, S. Leblond, C.R. Guellier. An inventory of trace elements inputs to French agricultural soils. Science of the Total Environment 439. 2012.

### Concentration en cadmium pour les amendements Ca et Mg (mg/kg MS)

Catégories d'amendements	CdMoy	CdMin	CdMax
Chaux vives calciques	0,35	0,01	41,24
Chaux vives magnésiennes	1,05	0,025	18,6
Carbonates	0,15	0,005	3,8
Dolomies	0,6	0,005	7,4
Ecumes de sucrerie	0,64	0,09	2
Boues de désencrage	0,02	0	1,54
Amendements engrais	1,73	0	9,86

Données obtenues d'après : [AFNOR, 2001; CE et al.; Ministère de l'agriculture et de la pêche, 2003]

Source : E. Belon, M. Boisson, I.Z. Deportes, T.K. Eglin, I. Feix, A.O. Bispo, L. Galsomies, S. Leblond, C.R. Guellier. An inventory of trace elements inputs to French agricultural soils. Science of the Total Environment 439. 2012.

### Teneurs en cadmium dans les composts

Type de compost		As	Cd
		mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>
Verts	Moyenne	8,94	1,37
	Ecart-type	4,87	2,09
	Nombre	22	106
	Médiane	7,32	0,80
	Max	21,20	17,10
	Min	2,7	0,10
Biodéchets	Moyenne	9,05	1,07
	Ecart-type	3,63	0,71
	Nombre	12	26
	Médiane	9,20	0,86
	Max	17,30	3,50
	Min	4,00	0,50
OM	Moyenne	12,69	4,62
	Ecart-type	8,54	11,30
	Nombre	9	46
	Médiane	Nbre≤10	1,66
	Max	27,00	74,90
	Min	1,43	0,24

STEP	Moyenne	3,30	1,62
	Ecart-type	1,93	1,88
	Nombre	12	91
	Médiane	3,75	1,08
	Max	6,80	12,00
	Min	0,31	0,10
Déjections animales	Moyenne	5,49	1,00
	Ecart-type	2,80	0,40
	Nombre	15	18
	Médiane	4,40	1,05
	Max	13,10	1,50
	Min	2,10	0,07
Mélanges	Moyenne		1,02
	Ecart-type		0,59
	Nombre		12
	Médiane	nd	1,00
	Max		2,30
	Min		0,20

Unité : mg/kg de matière sèche

Source : ADEME et SOGREAH. Bilan des flux de contaminants entrants sur les sols agricoles de France métropolitaine. 2007.

### Exemple de gamme de teneurs en cadmium pour quelques produits

SUPPORT DE CULTURE	Cadmium (mg/kg MS)	Seuil Normes (réglementation nationale) (mg/kg MS)	Seuil Règlement UE 2017/1009 (réglementation européenne) (mg/kg MS)
MINIMUM	0,05	2 mg/kg	1,5 mg/kg
MAXIMUM	0,54		
MOYENNE	0,22		
MEDIANE	0,20		

Nombre de données	24
Unité	mg/kg

AMENDEMENT ORGANIQUE ELABORE	Cadmium (mg/kg MS)	Seuil Normes (réglementation nationale) (mg/kg MS)	Seuil Règlement UE 2017/1009 (réglementation européenne) (mg/kg MS)
MINIMUM	0,22	3 mg/kg	2 mg/kg
MAXIMUM	0,56		
MOYENNE	0,36		
MEDIANE	0,33		

Nombre de données	21
Unité	mg/kg

Source : Afaïa – Entretien mission.

Type	Prélèvement		Matière sèche	Cd
	Lieu	Date	g kg <sup>-1</sup>	
Ammonitrate NELIX	La Bouzule	juin-22	978	< 0,098
Digestat de méthaniseur	La Bouzule	juin-juillet 22	71	0,21
Digestat de méthaniseur	La Bouzule	sept-octobre 23	107	0,42
Digestat de méthaniseur	Houot <i>et al.</i> (2014)		44-340	0,26-1,0
Amendement organique	Afnor NFU 44-051, maximum autorisé		-	3

#### Teneur en matière sèche et en Cd (mg/kg MS) dans les différents fertilisants utilisés à La Bouzule et Haroué

Source : Sterckeman Thibault, Pierlot Frédéric, Herber Eric, Turpault Marie-Pierre, 2025. Mesure de flux d'éléments en traces en sols agricoles et forestiers. Projet FETSA (APR IMPACTS 2020). Avril 2025.

## Annexe 6.4. Contrôles de conformité par la DGCCRF

[...] Sur 2022-2023, la DGCCRF a contrôlé 873 établissements à tous les stades de la commercialisation et à 289 analyses de produits. Le taux de non-conformité pour les 289 analyses effectuées s'est élevé à plus de 41 % (117 produits concernés).

Concernant particulièrement la composition et l'innocuité des produits, les analyses ont révélé un taux de non-conformité de 49 %.

Des dépassements de seuils en métaux lourds (dans des supports de culture notamment) et une anomalie sur des critères microbiologiques ont également été révélés. Le respect des obligations en matière de composition et d'innocuité n'est pas satisfaisant car de nombreux opérateurs ne réalisent pas les analyses obligatoires, ou ne les font que de manière partielle.

Il a été également constaté que des produits étrangers commercialisés en France sont souvent vendus sans autorisation de mise sur le marché (AMM) ou sans respecter les conditions dérogatoires à l'AMM.

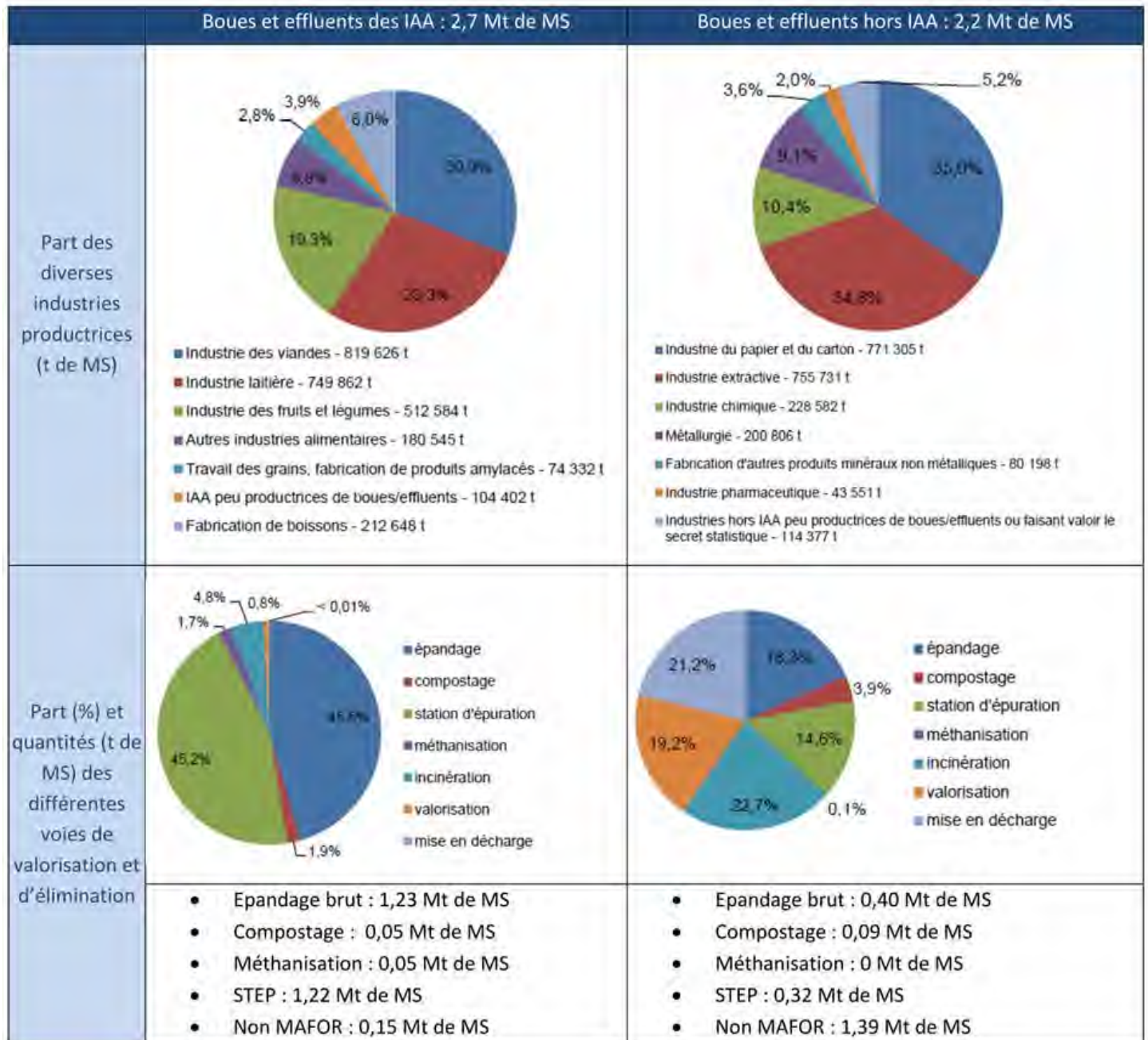
Il ressort de l'ensemble de ces contrôles que les investigations méritent d'être reconduites dans ce secteur pour maintenir une forte pression de contrôle au regard notamment des anomalies relatives aux règles de mise sur le marché et d'étiquetage qui sont, pour certaines, récurrentes.

Source : DGCCRF - Plan de contrôle sur les fertilisants supports de culture (juin 2025).

## Annexe 7. Flux de cadmium dans les boues

### Annexe 7.1. Production de boues en France

#### Boues et effluents des industries



d'après INSEE-SSP-Agreste, chiffres 2008.

Source : INRA-CNRS-Irstea. Expertise scientifique collective - Valorisation des matières fertilisantes d'origine résiduaire sur les sols à usage agricole ou forestier - Impacts agronomiques, environnementaux, socio-économiques. 2014.

## Tonnages de boues produites, voies de valorisation existantes et part valorisée

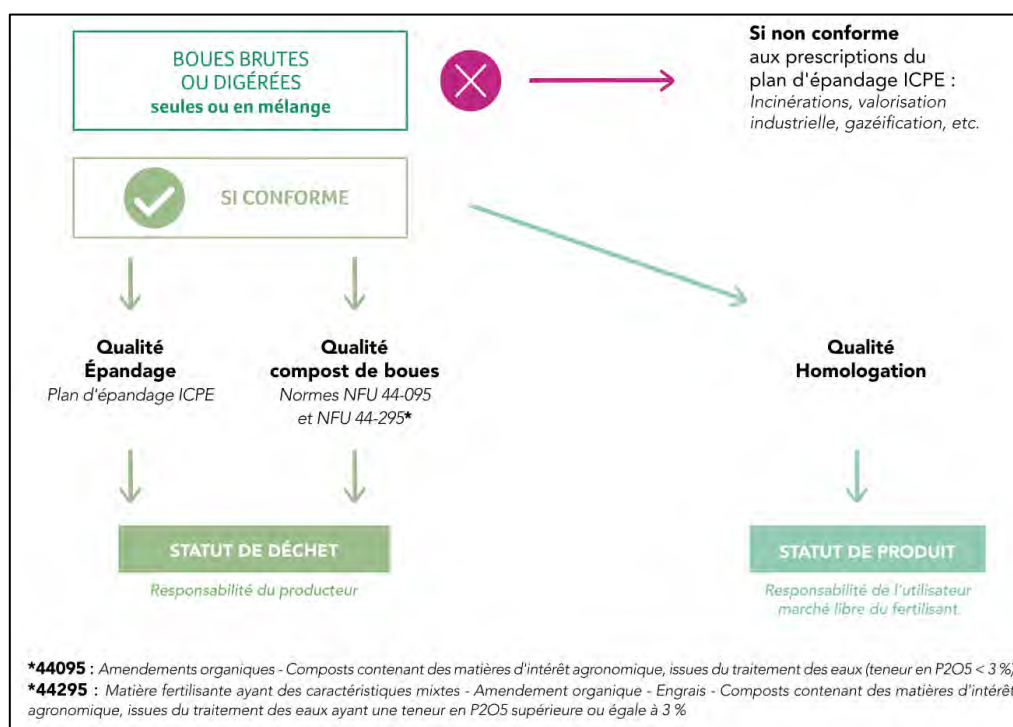
Production (t MS/an)	Caractéristiques physico-chimiques	Voies de valorisation existantes	% Valorisé
Potabilisation de l'eau	156 000 Peu de texture, peu de MO	Rejet dans le milieu naturel Valorisation organique agricole appelées « terres de décantation » Rejet dans le réseau d'assainissement Stockage déchets non dangereux Valorisation sous forme d'adjuvants (cimenteries, briquetteries)	NA
Stations d'épuration urbaines (STEP)	1 060 000 Concentrations assez stables, quantités qui varient en fonction du nombre d'habitants et des filières de traitement	Epandage agricole Stockage centres de déchets non dangereux Incinération	38 % épandues directement sur sols agricoles 28% épandues après compostage et méthanisation 34% sont enfouies ou incinérées
Stations d'épuration industrielle	4 900 000 Concentrations plus variables en polluants, grande diversité de la nature des boues produites selon le type d'industries	Epandage agricole Stockage en centres de déchets non dangereux Incinération Utilisation en cimenteries ou briquetteries	33 % épandues au sol directement 4% sont épandues après compostage et méthanisation 30% des eaux sont transférées à des STEP urbaines 33% sont enfouies ou incinérées

d'après : ESCo Mafor 2014.

Source : INRA-CNRS-Irstea. Expertise scientifique collective - Valorisation des matières fertilisantes d'origine résiduaire sur les sols à usage agricole ou forestier - Impacts agronomiques, environnementaux, socio-économiques. 2014.

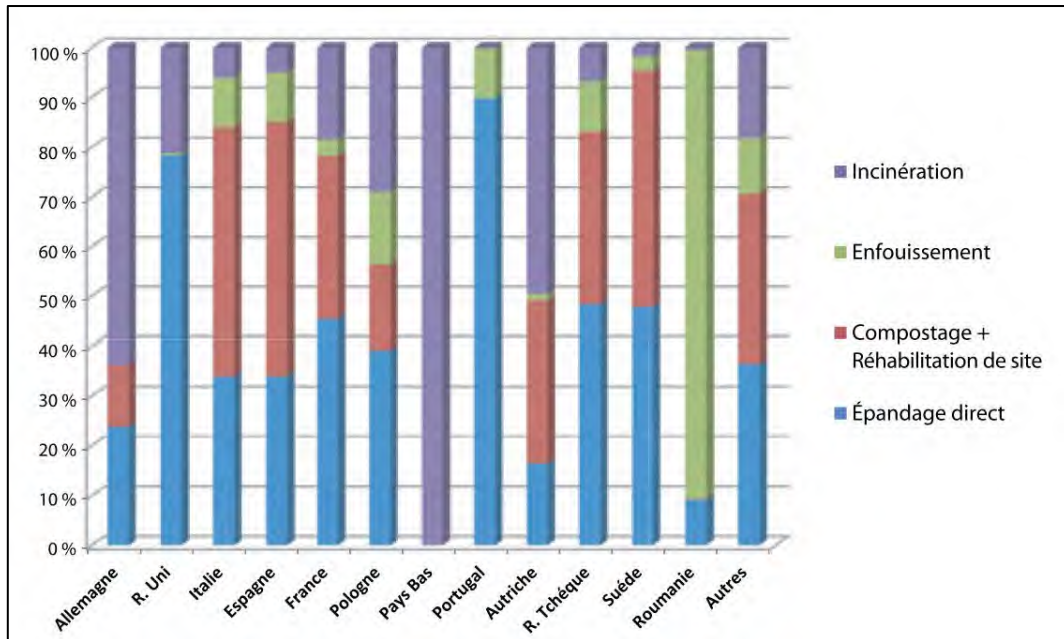
## Annexe 7.2. Valorisation des boues produites

### Schéma de valorisation des boues



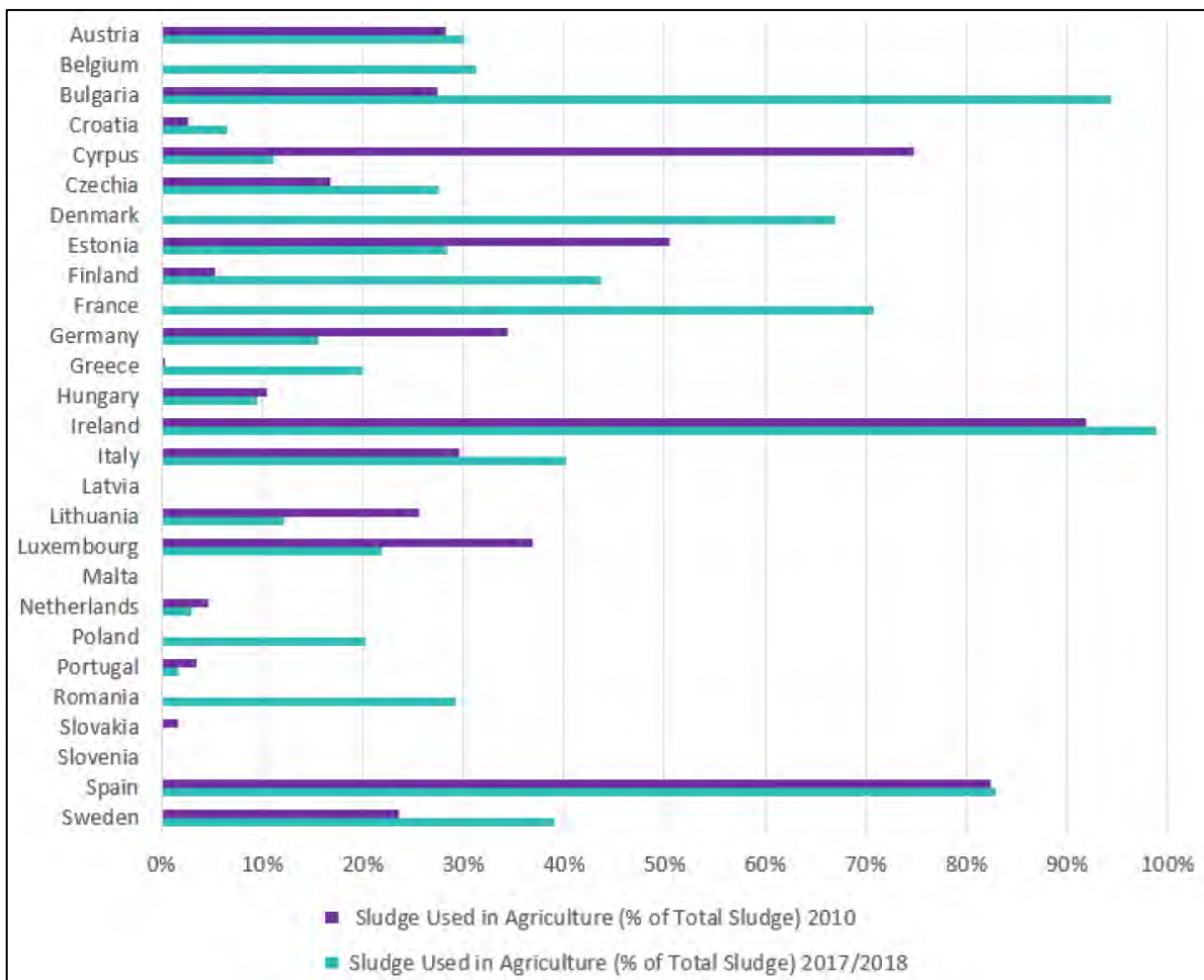
Source : GRDF. Méthanisation des boues de stations d'épuration - Externalités et retour au sol (synthèse de deux études sur la composition des boues et les externalités de leur méthanisation).

*Destination des boues urbaines au sein des différents pays de l'Union Européenne*



Source : ASTEE. Dossier sur le compostage des boues d'épuration urbaines. Fiche ressource. 2020.

*Part des boues d'épuration utilisées en agriculture (en % du total des boues produites)*



Source : Commission européenne. Implementation Report of the Sewage Sludge Directive 86/278/EEC -Final implementation report. 2022.

### Exemple du canton de Vaud (Suisse)

Dans le canton de Vaud (Suisse), jusqu'en 2008, la moitié des boues d'épuration (principalement celles des STEP rurales), était utilisée comme matière fertilisante pour l'agriculture. Les boues de STEP urbaines, contenant plus de substances toxiques, étaient déshydratées, puis séchées pour être incinérées dans des unités adéquates. Devant le risque d'accumulation de substances nocives dans les sols, la Confédération a interdit l'épandage des BE en agriculture.

Les boues d'épuration sont désormais éliminées dans les installations d'incinération cantonales et extra-cantonales, conformément au plan cantonal de gestion des déchets.

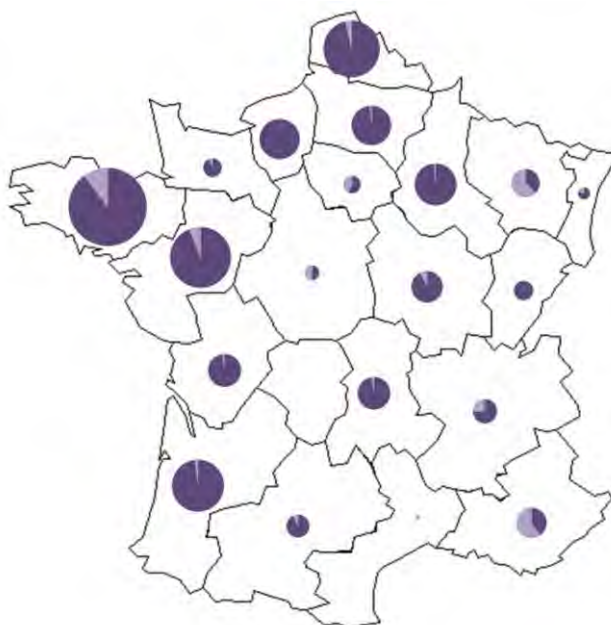
L'obligation de récupération du phosphore à partir du 1<sup>er</sup> janvier 2026 va fortement influencer les filières d'élimination. La concrétisation des mesures de récupération est coordonnée au niveau national par la plateforme SwissPhosphor. Les détenteurs des fours d'incinération des boues reprenant des boues vaudoises (Epora et Saidef) anticipent ces mesures en participant à un avant-projet d'installation de récupération du phosphore à partir des cendres d'incinération (Phos4Life).

Sources : Les boues d'épuration. <https://www.vd.ch/environnement/dechets/boues-depuration>

### Aperçu sur les boues



Source : FNADE et SYPREA. La valorisation agronomique des boues : solution d'avenir en France et en Europe. Pollutec. Octobre 2023.



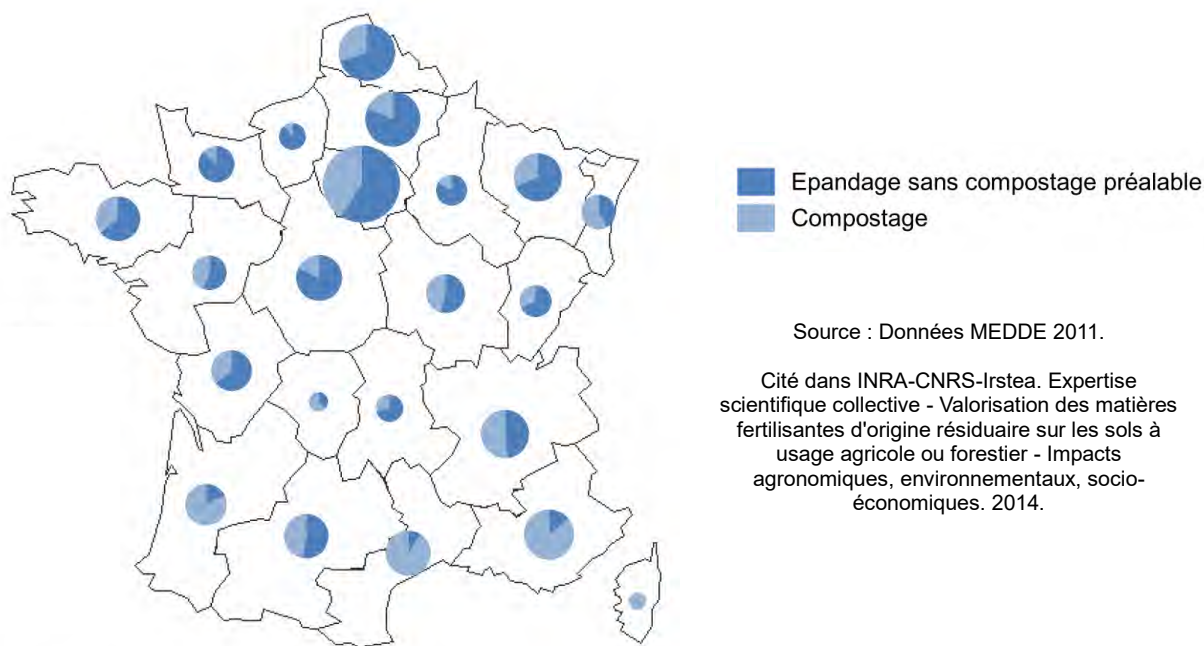
Répartition géographique des quantités de déchets et d'effluents industriels destinées à la valorisation agronomique en 2008

- Epandage direct
- Compostage ou méthanisation

Source : INSEE-Agreste-SSP 2008

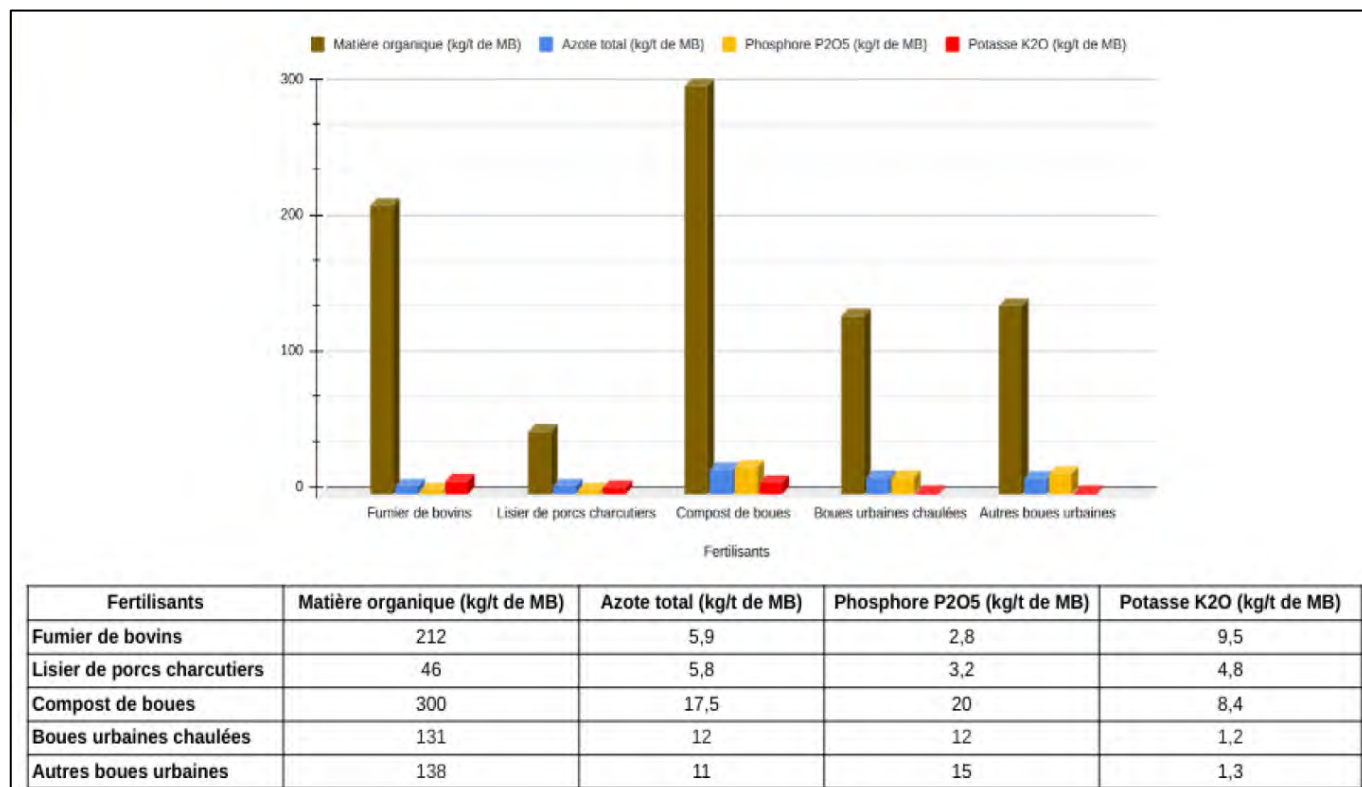
Cité dans INRA-CNRS-Irstea. Expertise scientifique collective - Valorisation des matières fertilisantes d'origine résiduaire sur les sols à usage agricole ou forestier - Impacts agronomiques, environnementaux, socio-économiques. 2014.

## Répartition des quantités de boues d'épuration urbaines destinées à la valorisation agricole en 2011



### Annexe 7.3. Intérêt agronomique des boues

#### Valeur agronomique moyenne des boues versus effluents élevage



Source : FNADE et SYPREA. La valorisation agricole des boues : solution d'avenir en France et en Europe. Pollutec. Octobre 2023.



## Siccité et teneurs en éléments nutritifs (C, N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O) des boues

		Boue liquide	Boue digérée	Boue déshydratée	Boue compostée	Boue chaulée	Boue séchée
		Boue activée épaissie de façon gravitaire	Boue standard digérée anaérobie	Boue digérée anaérobie et déshydratée par centrifugation	Boue digérée anaérobie, déshydratée et compostée	Boue déshydratée chaulée	Boue digérée anaérobie, déshydratée et séchée
MS	%	3,70	3,30	24,20	67,00	24,60	88,50
C	kg C / t MS	412,80	257,70	346,83	207,00	243,50	498,00
N	kg N / t MS	62,22	32,90	43,25	25,37	40,00	44,50
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> / t MS	47,71	44,53	56,66	56,81	41,00	40,77
K <sub>2</sub> O	kg K <sub>2</sub> O / t MS	5,28	3,76	6,89	1,57	3,50	0,96

Source : Murielle Richard. Analyse du Cycle de Vie des filières de valorisation des boues issues du traitement des eaux usées. Sciences de l'environnement. 2013.

## Quantités d'engrais à apporter à la culture pour la fertiliser et quantités d'engrais évitées

	Quantité d'engrais à apporter (kg/t MS)			Quantité d'engrais évitée (kg/t MS)		
	Ammonitrate	Triple superphosphate	Chlorure de potasse	Ammonitrate	Triple superphosphate	Chlorure de potasse
Épandage de boue liquides	4,14	0,00	5,18	230,34	346,05	24,35
Épandage de boue solide chaulée	6,56	0,00	4,63	134,04	346,05	18,71
Épandage de boue compostée	14,12	0,00	6,96	17,55	346,05	6,06
Épandage de boue séchée	6,04	0,00	5,02	149,85	346,05	5,16
Épandage de boue digérée	7,24	0,00	5,03	130,59	346,05	18,52
Épandage de boue déshydratée	10,32	0,00	6,05	104,99	346,05	26,65

Source : Murielle Richard. Analyse du Cycle de Vie des filières de valorisation des boues issues du traitement des eaux usées. Sciences de l'environnement. 2013.

## Annexe 7.4. Teneurs en cadmium des boues

### Teneur de cadmium dans les boues de STEP

Source de la donnée	Type de boues	Référence géographique	Date	AS	As	As	As	As	As	As	As	As	Cd	Cd	Cd	Cd	Cd	Cd	Cd	Cd			
				g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g
Wart et Verdier	"Boues de stations d'épuration urbaines dont 80% de effluent totalisé d'origine domestique"	France	1952-1994										224	5,3						4,5	8		
Rapport S. Facompé - Données SJBRA	"Boues d'épuration urbaines"	Bassin Artois Flandre	1995										350	3,67	0,5	94	8,25		1,9	2,3	3		
AROMIS (Assessment and reduction of heavy metal input into agro-ecosystems) Base de données Aromis	"Sewage sludge"	Nord de la France	1997										350	3,7									
Laboratoire Wolf Environnement - SAS	"Boues de stations d'épuration d'effluents urbains"	France	1998-2000										4218	1,6	0,037	50	2,6		0,8	1,2	1,6		
AROMIS (Assessment and reduction of heavy metal input into agro-ecosystems) Données transmises par la France	"Sewage sludge"	France	2000											1,9									
Etude AGHTM	Boues de stations d'épuration urbaines	France	2000-01										60	2,6	<4	14							
Rapport A. Fourm - SESAR - Comité Départemental des Boues de la Vienne	"Boues de stations d'épuration"	Département de la Vienne	2004										208	1,992	0,1	27,7	2,09		1,2	1,6	2,3		
Rapport à la Commission des comptes et de l'économie de l'environnement - MEDD	"Boues d'épuration urbaines"	France	2005											2,5									
Swedish Environmental Protection Agency	"Sewage sludge"	Suède	2001	48	4,7	1,6	14	2,6	2,5	3	4,1	5,4	7,5	48	1,4	0,58	11	1,5	0,78	0,91	1,2	1,5	1,7

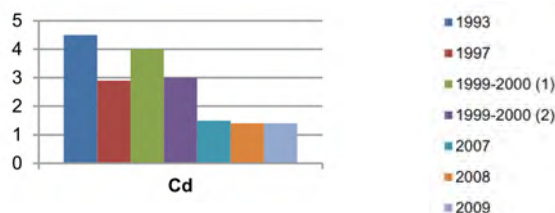
Source : ADEME et SOGREAH. Bilan des flux de contaminants entrants sur les sols agricoles de France métropolitaine. 2007.

### Teneurs moyennes des boues de stations d'épuration en métaux lourds (en mg/kg)

	Valeur limitée pour épandage (Union Européenne)	Teneur constatée dans les trois premiers pays (ordre décroissant)	France	États-Unis	Rapport entre les Etats Unis et le premier pays de l'U.E.
Cadmium	20	Autriche : 3 ; Finlande : 2,9 ; Royaume-Uni : 3,2	2,5	26	8,6

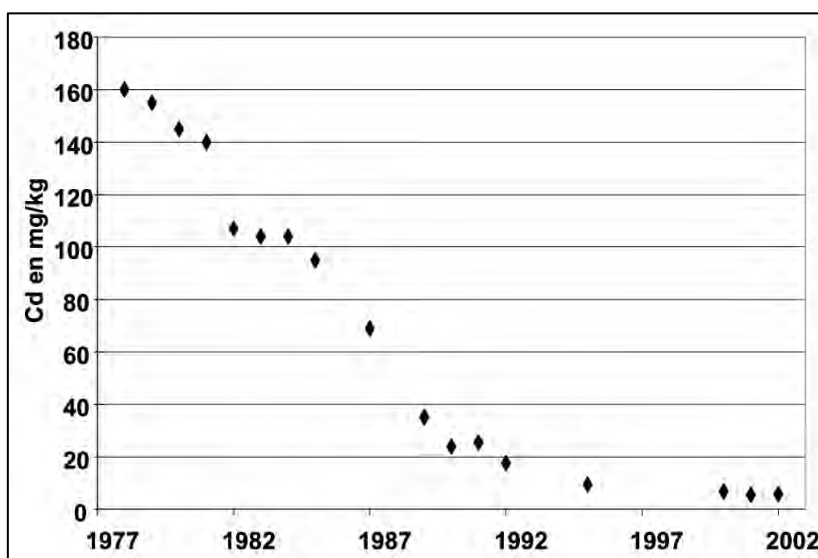
Source : ADEME - Situation du recyclage des boues d'épuration urbaine en Europe - 1999 - Annexe 4 - Traitement OPECST in Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (OPECST). Rapport sur les effets des métaux lourds sur l'environnement et la santé. 2001.

### Évolution des concentrations en ETM dans les boues en France entre 1993 et 2009



Sources : 1993 : CSHPF ; 1997, 1999-2000 (1) et (2) : Huyard et al., 2004 ; 2007 à 2009 : Commission européenne  
 In : Denis Baize, Christian Courbe, Olivier Suc, Christophe Schwartz, Martine Tercé, Antonio Bispo, Thibault Sterckman, Henri Ciesielski. Épandages de boues d'épuration urbaines sur des terres agricoles : impacts sur la composition en éléments en traces des sols et des grains de blé tendre. Courrier de l'environnement de l'INRA n°53, décembre 2006.

### Concentrations moyennes annuelles en cadmium des boues d'Achères (Seine aval) en fonction du temps.



Source : Denis Baize, Christian Courbe, Olivier Suc, Christophe Schwartz, Martine Tercé, Antonio Bispo, Thibault Sterckman, Henri Ciesielski. Épandages de boues d'épuration urbaines sur des terres agricoles : impacts sur la composition en éléments en traces des sols et des grains de blé tendre. Courrier de l'environnement de l'INRA n°53, décembre 2006.

Valeurs limites dans les boues (en mg/kgMS) pour quelques pays européens (Rapport EU, Final implementation report for the sewage sludge directive 86/278/EEC, 2012)

	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
<b>Europe</b>	<b>20-40</b>	<b>Pas de limite</b>	<b>1000-1750</b>	<b>16-25</b>	<b>300-400</b>	<b>750-1200</b>	<b>2500-4000</b>
Allemagne	10	900	800	8	200	900	2500
Autriche	0,7-10	70-500	70-500	0,4-10	25-100	45-500	200-2000
Belgique (Flandres)	6	250	375	5	50	300	900
Belgique (Wallonie)	5	500	600	5	100	500	2000
Danemark	0,8	100	1000	0,8	30	120	4000
France	10	1000	1000	10	200	800	3000
Italie	20	Pas de limite	1000	10	300	750	2500
Pays-Bas	1,25	75	75	0,75	50	100	300

ASTEE. Dossier sur le compostage des boues d'épuration urbaines. Fiche ressource. 2020.

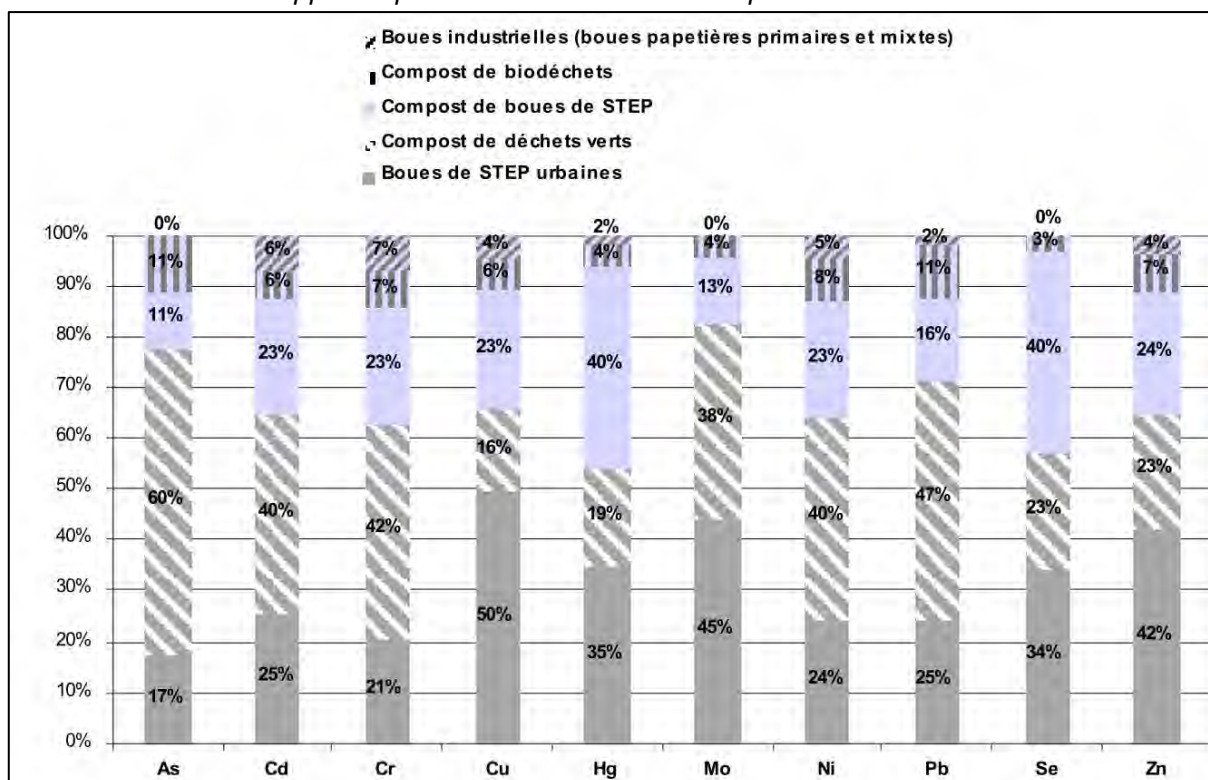
## Annexe 7.5. Flux d'ETM apportés par les boues

Estimation des flux sur les surfaces concernées pour les boues et composts

Source considérée	AsMoy	AsMax	CdMoy	CdMax
	g/ha/an	g/ha/an	g/ha/an	g/ha/an
Cas 1: flux à l'épandage				
Boues de STEP urbaines	7.1	21.0	2.4	75.0
Composts de déchets verts	26.8	63.6	4.1	51.3
Composts de boues de STEP	9.9	20.4	4.9	36.0
Composts de biodéchets	27.2	51.9	3.2	10.5
Boues papetières primaires et mixtes			2.0	8.0
Cas 2: flux moyenné sur la fréquence d'apport lorsqu'elle est connue				
Boues de STEP urbaines	2.4	7.0	0.8	25.0
<b>Rappel seuil homologation des matières fertilisantes et supports de culture - flux maximaux annuels (moyens sur 10 ans)</b>				
	<b>90</b>		<b>14</b>	

Source : ADEME et SOGREAH. Bilan des flux de contaminants entrants sur les sols agricoles de France métropolitaine. 2007.

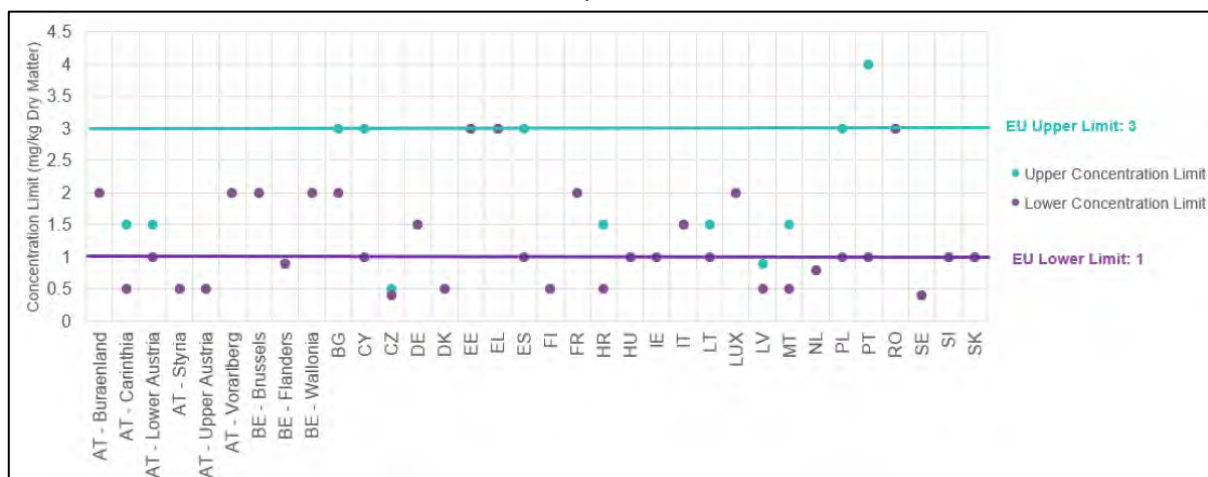
Représentation de la part des types de boues et composts dans la quantité totale d'ETM apportés par l'ensemble boues & composts en France



Source : ADEME et SOGREAH. Bilan des flux de contaminants entrants sur les sols agricoles de France métropolitaine. 2007.

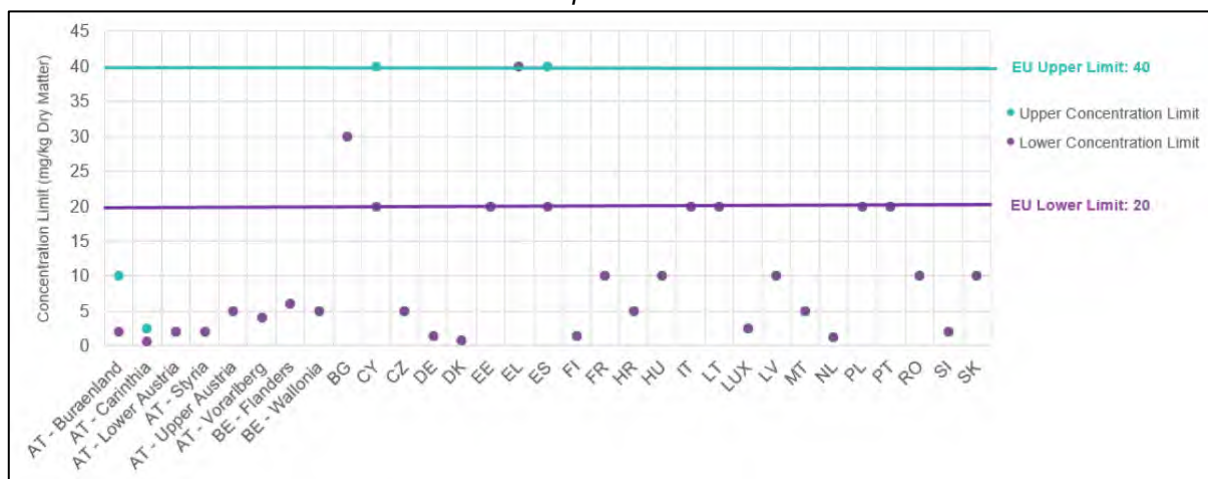
## Annexe 7.6. Apports maximaux déterminés au niveau européen

Valeurs limites des États membres de l'UE pour la concentration de cadmium dans les sols



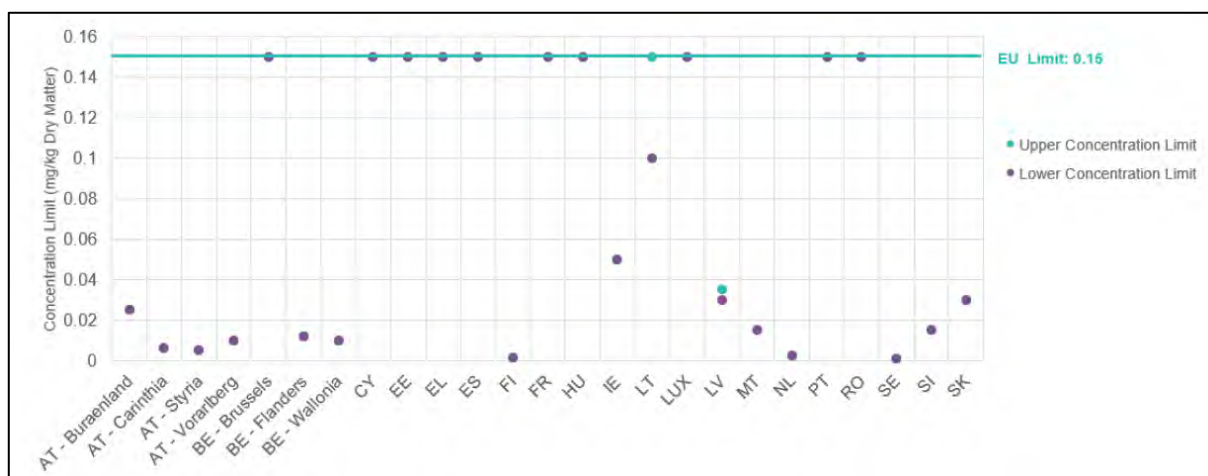
Source : Commission européenne. Implementation Report of the Sewage Sludge Directive 86/278/EEC - Final implementation report, 2022.

Valeurs limites des États membres de l'UE pour la concentration de cadmium dans les boues



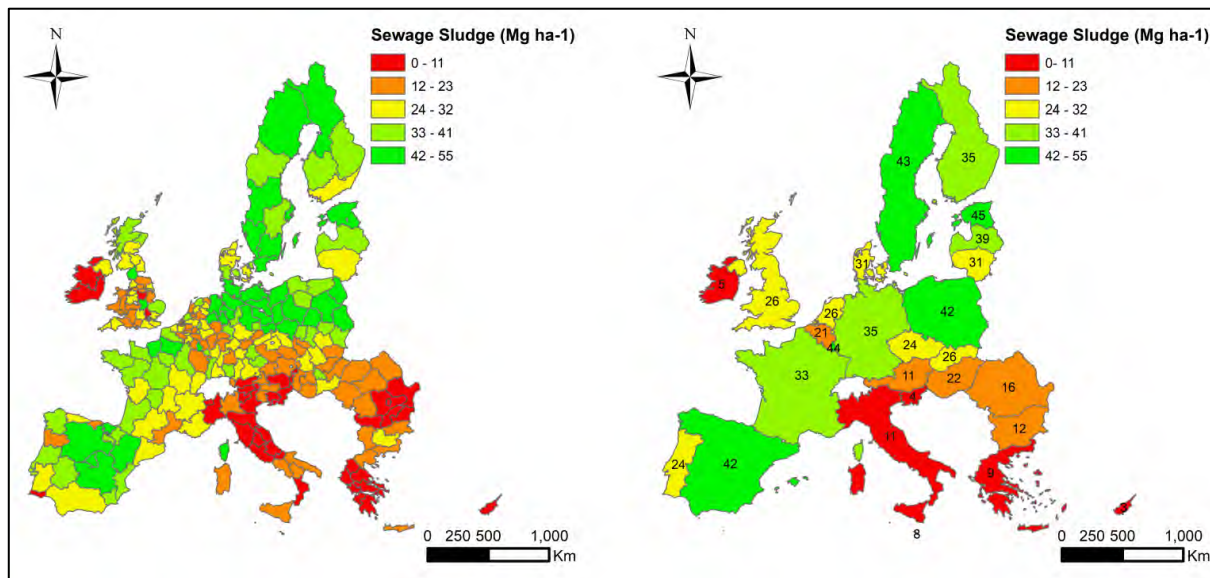
Source : Commission européenne. Implementation Report of the Sewage Sludge Directive 86/278/EEC - Final implementation report, 2022.

Valeurs limites des États membres de l'UE pour les concentrations de cadmium pouvant être ajoutées annuellement sur des terres agricoles



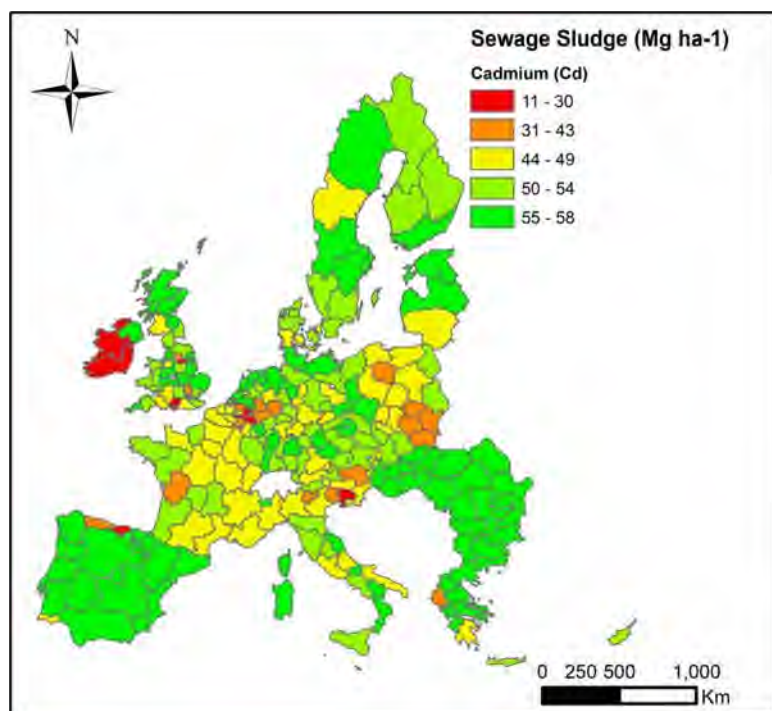
Source : Commission européenne. Implementation Report of the Sewage Sludge Directive 86/278/EEC - Final implementation report, 2022.

Quantité maximale globale de boues d'épuration (Mg/ha) pouvant être épandue au niveau NUTS2 (carte de gauche) et par pays (carte de droite), en tenant compte des valeurs limites inférieures de l'UE pour la concentration de métaux lourds (mg/kg) dans les sols (EU\_LL) et des valeurs limites supérieures pour les concentrations de métaux lourds (mg/kg) dans les boues d'épuration destinées à l'agriculture (SS\_UL).



Les étiquettes sur la carte de droite indiquent les quantités moyennes (Mg/ha) de MES par pays qui peuvent être appliquées sur les terres agricoles sans dépasser les valeurs limites.

Source : Felipe Yunta, Calogero Schillaci, Panos Panagos, Elise Van Eynde, Piotr Wojda, Arwyn Jones. Ecological risk assessment of heavy metals from application of sewage sludge on agricultural soils in Europe. Eur J Soil Sci. 2024.



Quantités maximales de boues d'épuration à épandre au niveau NUTS2 pour le cadmium, en tenant compte des valeurs limites inférieures plus strictes des métaux lourds dans les sols (EU\_LL) et des valeurs limites supérieures des concentrations de métaux lourds (mg/kg de boues destinées à l'agriculture (SS\_UL)

La densité apparente (1 200 kg/m<sup>3</sup>) et une profondeur de sol de 0,2 m ont été utilisées pour convertir les mg/kg en mg/ha.

Source : Felipe Yunta, Calogero Schillaci, Panos Panagos, Elise Van Eynde, Piotr Wojda, Arwyn Jones. Ecological risk assessment of heavy metals from application of sewage sludge on agricultural soils in Europe. Eur J Soil Sci. 2024.

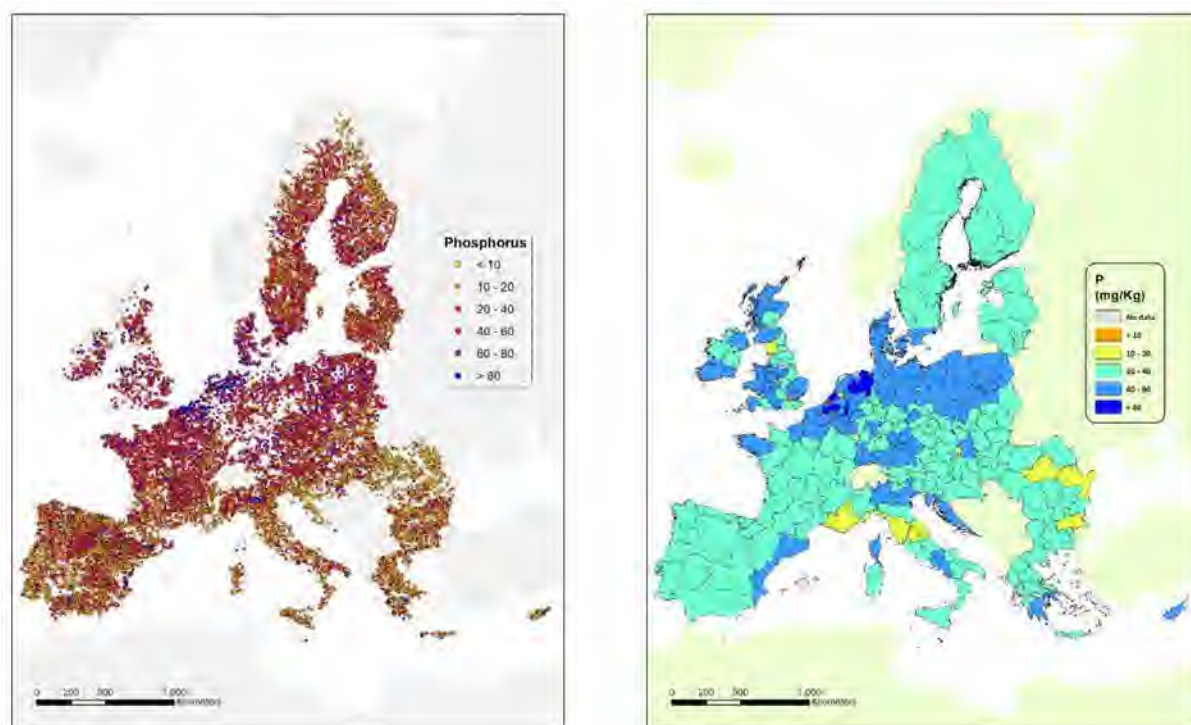
[...] En moyenne, 97 % de la concentration initiale de chaque métal lourd appliqué dans le sol par épandage de MES restera dans le sol après 10 ans. L'application de boues augmente la concentration globale moyenne de cadmium dans le sol de 20 %.

Source : Felipe Yunta, Calogero Schillaci, Panos Panagos, Elise Van Eynde, Piotr Wojda, Arwyn Jones. Ecological risk assessment of heavy metals from application of sewage sludge on agricultural soils in Europe. Eur J Soil Sci. 2024.

## Annexe 8. Mesures et apports de phosphore dans les sols

### Annexe 8.1. Teneur en phosphore des sols et bilan des flux de phosphore en Europe

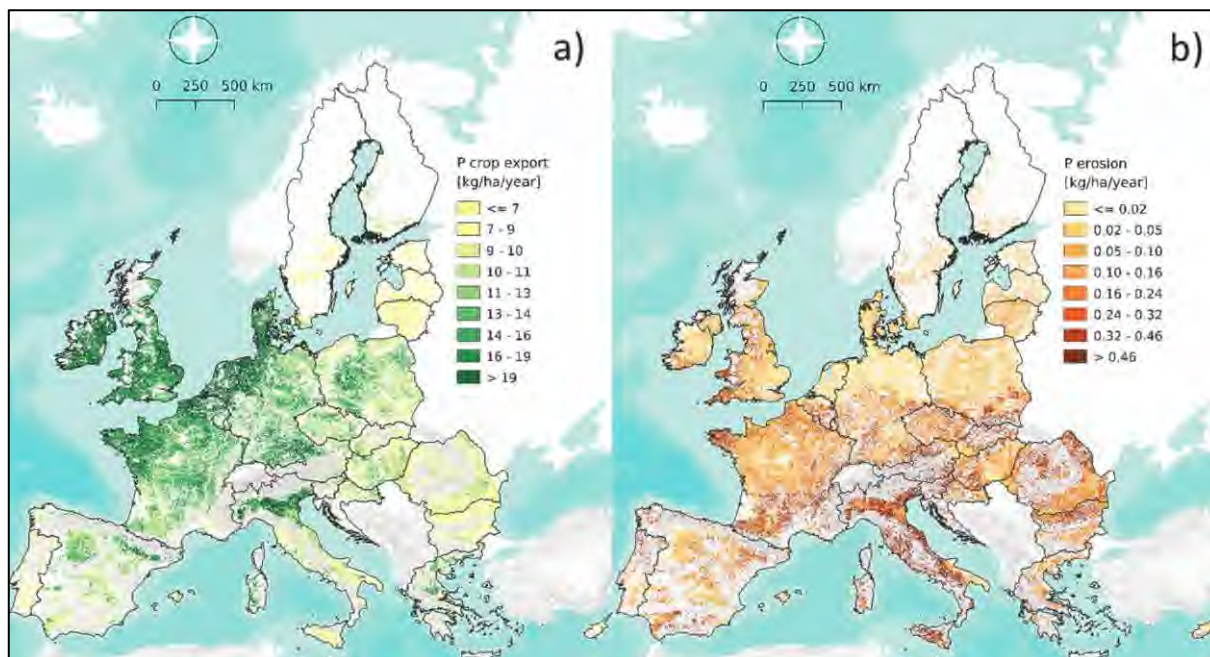
Teneur en phosphore (tous les points du module LUCAS Soil 2018) présentée (a) sous forme de données ponctuelles (mg/kg) et (b) en moyenne globale



Source : Fernandez-Ugalde, O; Scarpa, S; Orgiazzi, A.; Panagos, P.; Van Liedekerke, M; Marechal A. & Jones, A. LUCAS 2018 Soil Module. Presentation of dataset and results, EUR 31144 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg. 2022.

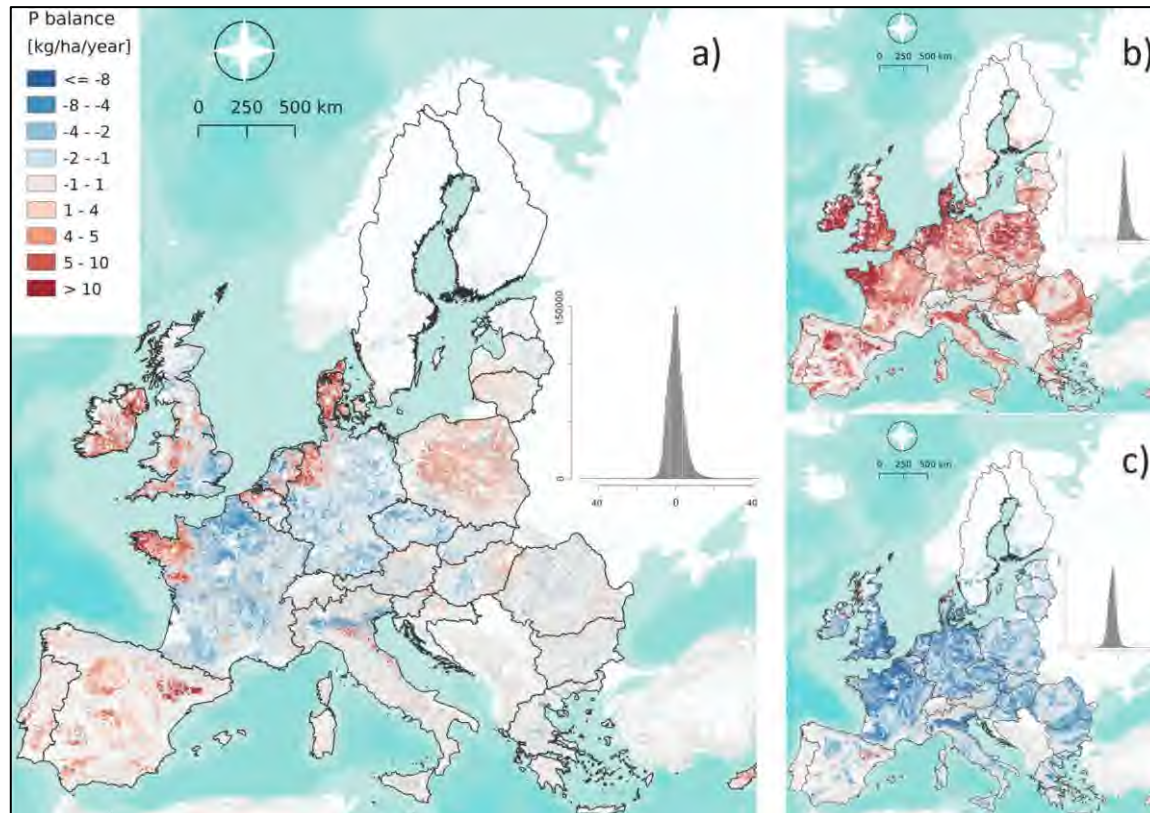
L'ensemble de données du module de sol LUCAS 2018 contient des données pour 18 984 sites. 16 556 sites ont fait l'objet de visites répétées des personnes échantillonnées en 2015, tandis que 75 % ont également été échantillonnés en 2009/2012. Au total, 13 375 sites ont été visités dans le cadre des trois enquêtes (2009/2012, 2015, 2018).

Exportation moyenne de phosphore des sols agricoles de l'UE et du Royaume-Uni par récolte (a) et érosion nette de phosphore (kg P/ha/an) (b) au cours de la période 2010-2019.



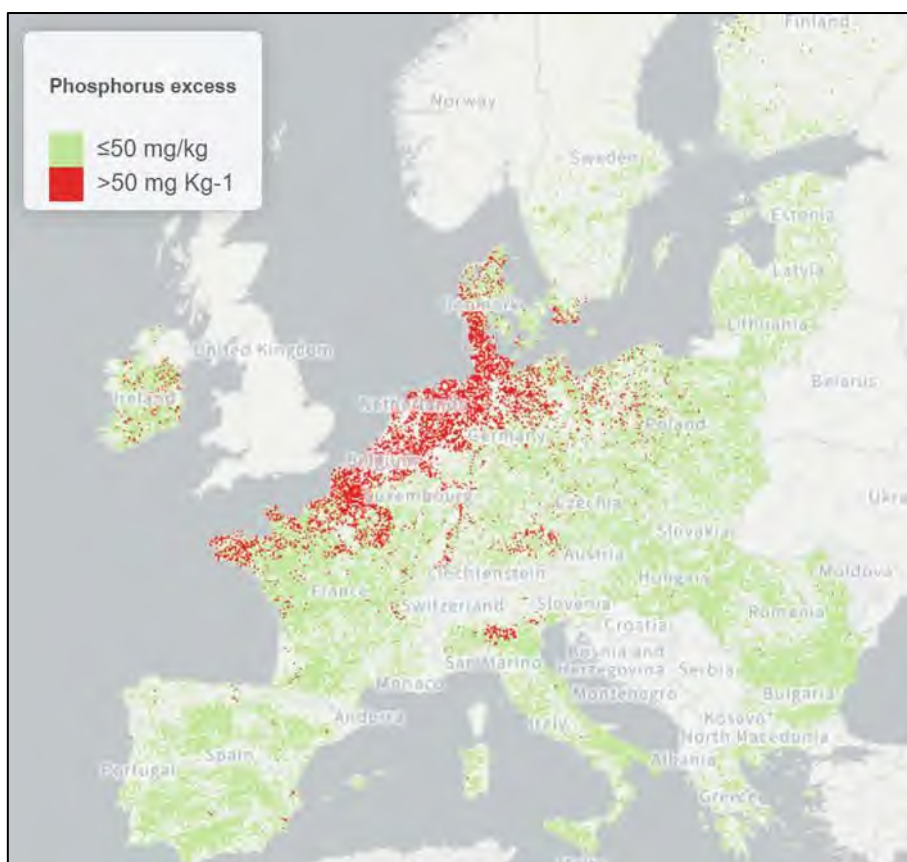
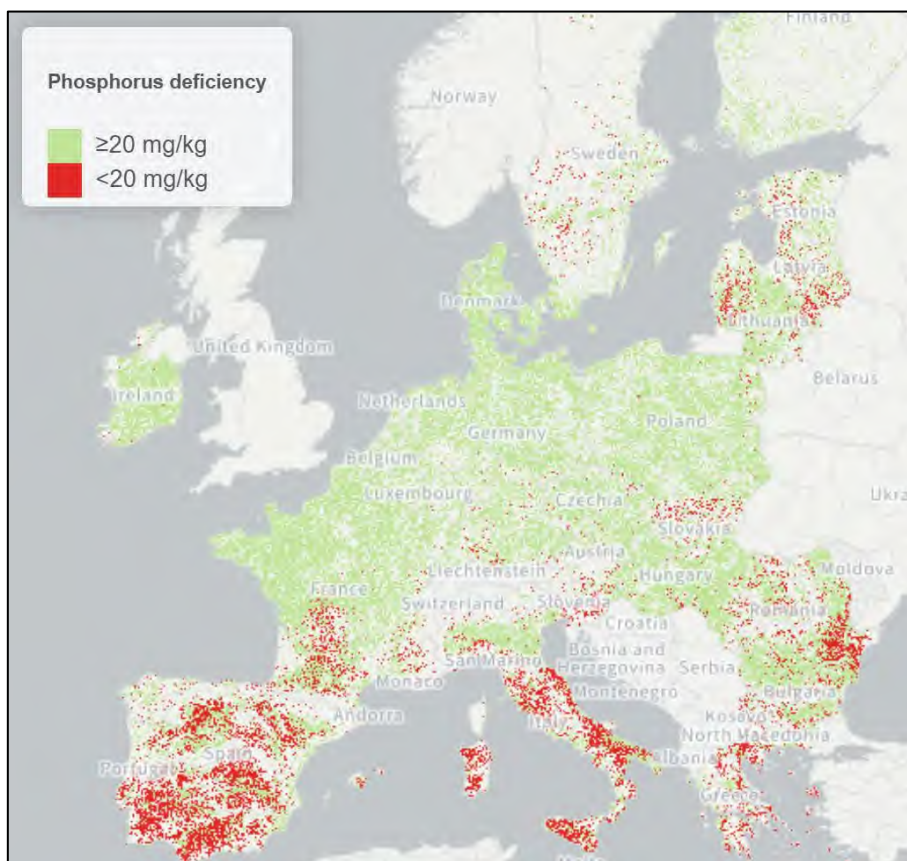
Source : Anna Muntwyler, Panos Panagos, Stephan Pfister, Emanuele Lugato. Assessing the phosphorus cycle in European agricultural soils: Looking beyond current national phosphorus budgets. Science of the Total Environment 906. 2024.

Bilan P moyen pour la période 2010-2019 (a) – bilans P moyens issus de l'exécution du modèle avec une capacité de sorption maximale élevée (1,5 fois) et une affinité de sorption maximale (b) – et de l'exécution du modèle avec une capacité de sorption maximale faible (0,5 fois) et une affinité de sorption minimale (c). Les histogrammes affichent la distribution de fréquence des balances P au niveau des pixels.



Source : Anna Muntwyler, Panos Panagos, Stephan Pfister, Emanuele Lugato. Assessing the phosphorus cycle in European agricultural soils: Looking beyond current national phosphorus budgets. Science of the Total Environment 906. 2024.

## Évaluation des carences et excès de phosphore dans les sols européens

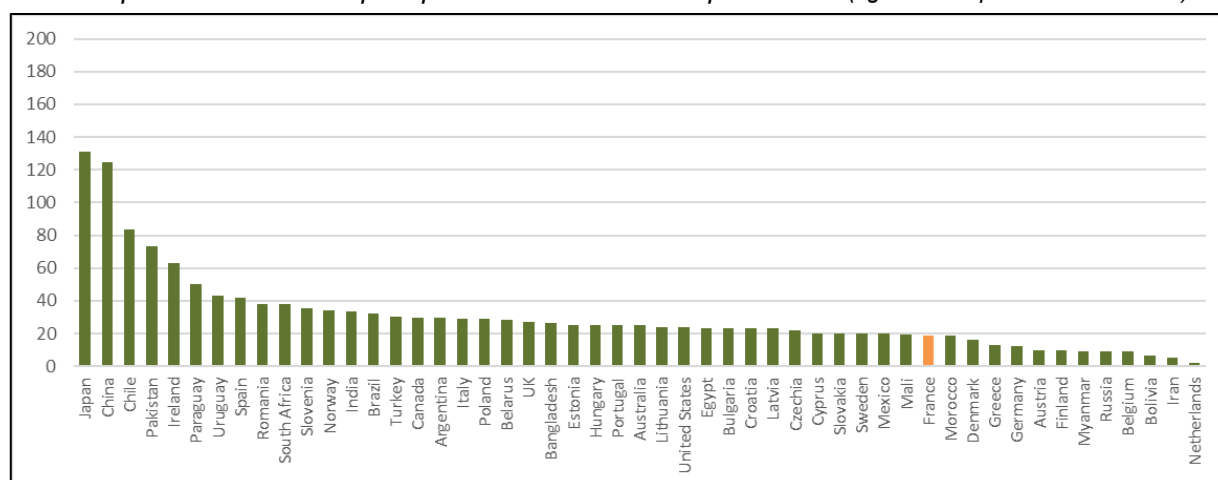


Source : EUSO Soil Degradation Dashboard – <https://esdac.jrc.ec.europa.eu/esdacviewer/euso-dashboard/>



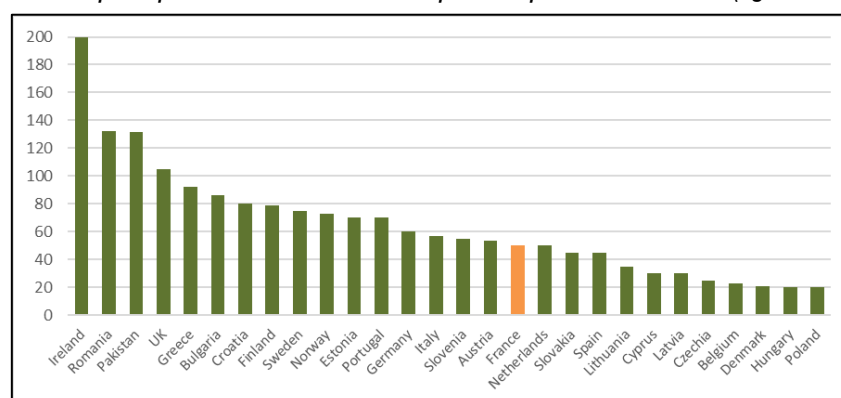
## Annexe 8.2. Pratiques de fertilisation dans le monde et en Europe

Pratiques de fertilisation phosphorée dans le monde pour le blé (kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha période 2017-2018)



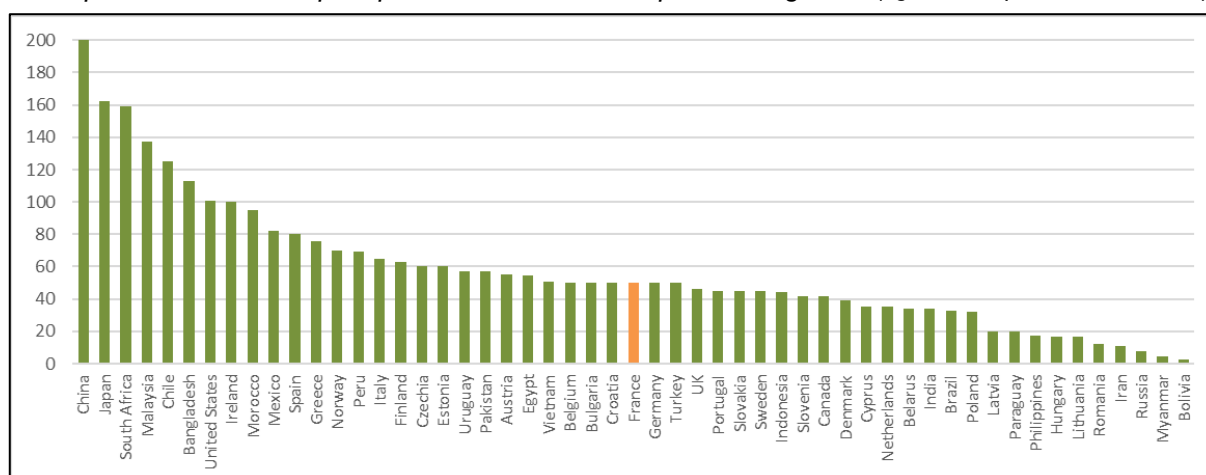
Source : International Fertilizer Association. Traitement mission.

Pratiques de fertilisation phosphorée dans le monde pour la pomme de terre (kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha période 2017-2018)



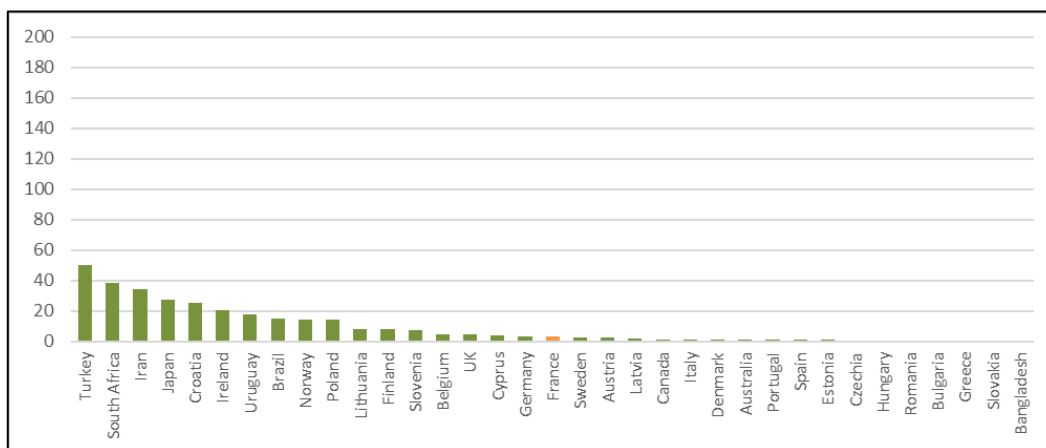
Source : International Fertilizer Association. Traitement mission.

Pratiques de fertilisation phosphorée dans le monde pour les légumes (kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha période 2017-2018)

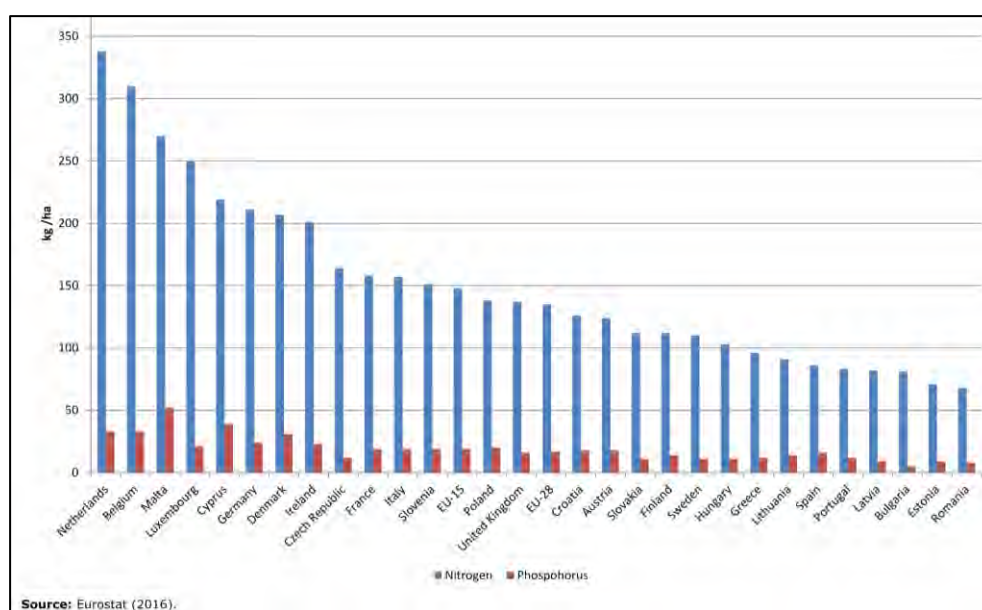


Source : International Fertilizer Association. Traitement mission.

Pratiques de fertilisation phosphorée dans le monde pour les prairies (kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha période 2017-2018)



Source : International Fertilizer Association. Traitement mission.



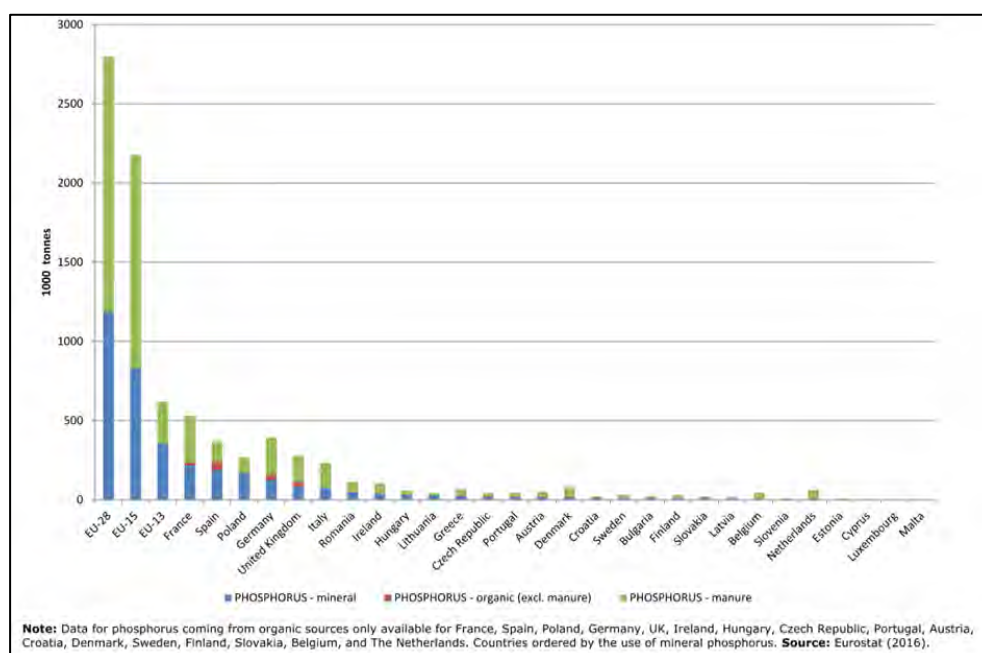
Source : Eurostat (2016).

Consommation d'azote et de phosphore dans les États membres de l'UE en 2013 (kg/ha)

Source : Justus WESSELER et Dušan DRABIK (Wageningen University).

Economic Aspects of the Regulatory Framework in the Area of Fertilizers – in depth analysis.

European Parliament, Directorate general for internal policies. Avril 2017.



Note: Data for phosphorus coming from organic sources only available for France, Spain, Poland, Germany, UK, Ireland, Hungary, Czech Republic, Portugal, Austria, Croatia, Denmark, Sweden, Finland, Slovakia, Belgium, and The Netherlands. Countries ordered by the use of mineral phosphorus. Source: Eurostat (2016).

Utilisation de phosphore par source dans les États membres de l'UE en 2013 (en milliers de tonnes)

Source : Justus WESSELER et Dušan DRABIK (Wageningen University).

Economic Aspects of the Regulatory Framework in the Area of Fertilizers – in depth analysis.

European Parliament, Directorate general for internal policies. Avril 2017.

## Apports d'engrais phosphatés dans les pays de l'Union européenne

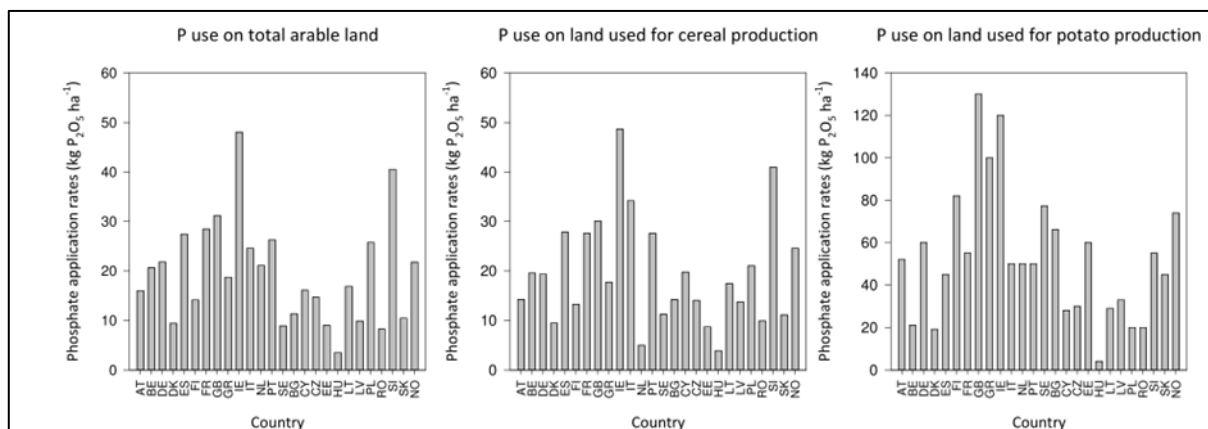


Figure 12 Phosphate application rates (kg  $P_2O_5$   $ha^{-1}$ ) on a) total arable land, b) land for cereal production and c) potato fields, for each EU27+1 member state (based on Fertilizers Europe data).

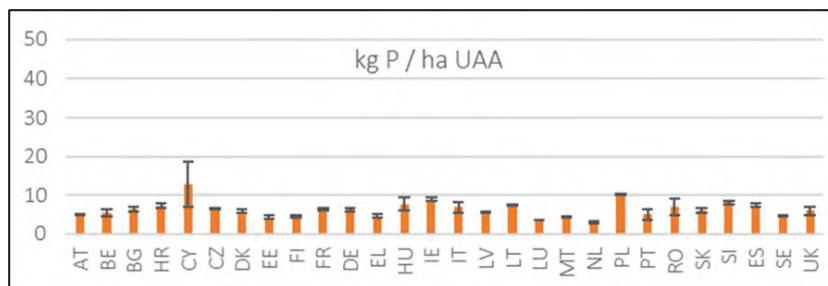
Table 7 Annual P fertilizer inputs (kg  $P_2O_5$   $ha^{-1}$ ) for the EU-27+1 countries for the most important cropping systems (Fertilizer Europe statistics) in 2010-2011.

Country	Cereals	Potato	Vegetables	total arable land	total agricultural land
Austria	14	52	46	16	9
Belgium	20	21	32	21	20
Bulgaria	14	66	30	11	10
Cyprus	20	28	35	16	18
Czech Republic	14	30	20	15	11
Denmark	9	19	36	9	9
Estonia	9	60	50	9	8
Finland	13	82	63	14	15
France	28	55	50	28	18
Germany	19	60	55	22	17
Greece	18	100	80	19	9
Hungary	4	4	7	3	3
Ireland	49	120	85	48	11
Italy	34	50	65	25	17
Latvia	14	33	22	10	6
Lithuania	17	29	14	17	13
Netherlands	5	50	38	21	13
Poland	21	20	37	26	25
Portugal	28	50	45	26	10
Romania	10	20	10	8	6
Slovakia	11	45	14	10	8
Slovenia	41	55	50	41	22
Spain	28	45	75	27	17
Sweden	11	77	36	9	8
United Kingdom	30	130	35	31	12
Norway	25	74	70	22	20
<b>EU 27 +1 average</b>	<b>21 (11)</b>	<b>45 (31)</b>	<b>50</b>	<b>22*</b>	<b>14</b>
<b>(standard deviation)</b>					

\*  $P_{10} = 9$  kg  $P_2O_5$   $ha^{-1}$ ;  $P_{90} = 30$  kg  $P_2O_5$   $ha^{-1}$ , taking into account difference in surface per country

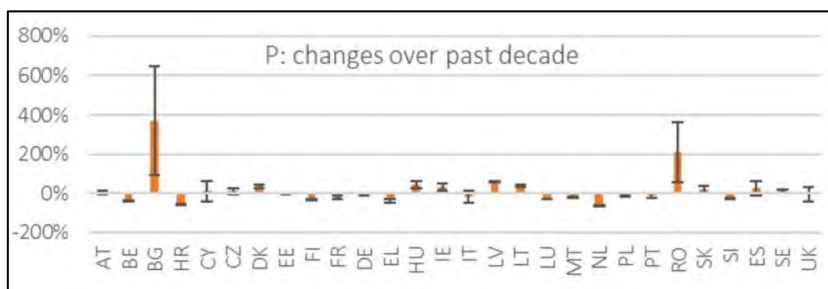
Source : Erik Smolders & Laetitia Six. Revisiting and updating the effect of phosphate fertilizers to cadmium accumulation in European agricultural soils. 2013.

*Utilisation d'engrais dans l'Union européenne (moyenne sur les saisons de croissance 2016/17 à 2018/19)*



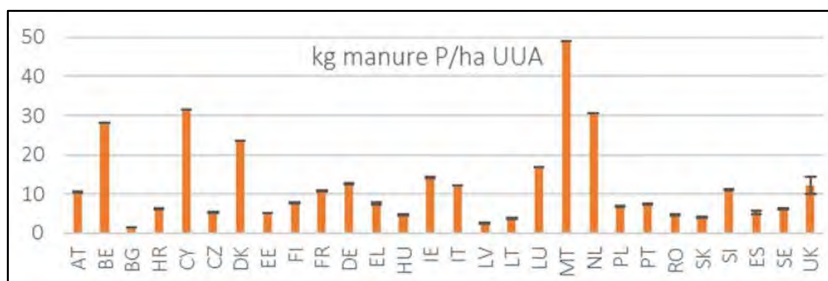
Source : Lex4bio 2022 - Socio-economic impacts of current products and practices, incl. non-accounted externalities. Deliverable 7.1 – D29 – WP7.

*Changements dans l'application d'engrais au cours de la dernière décennie (comparaison des saisons de croissance 2016/17 à 2018/19 et 2006/07 à 2008/09)*



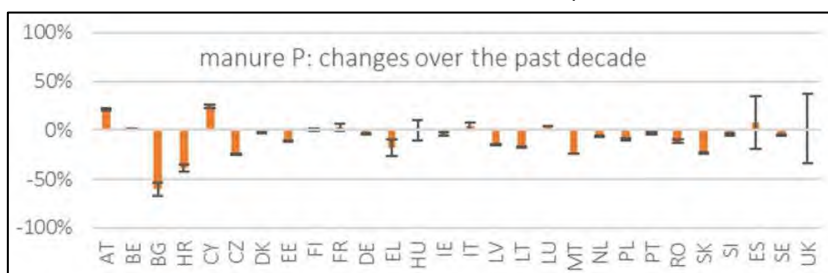
Source : Lex4bio 2022 - Socio-economic impacts of current products and practices, incl. non-accounted externalities. Deliverable 7.1 – D29 – WP7.

*Épandage actuel de fumier dans l'Union européenne (moyenne 2014-2017)*



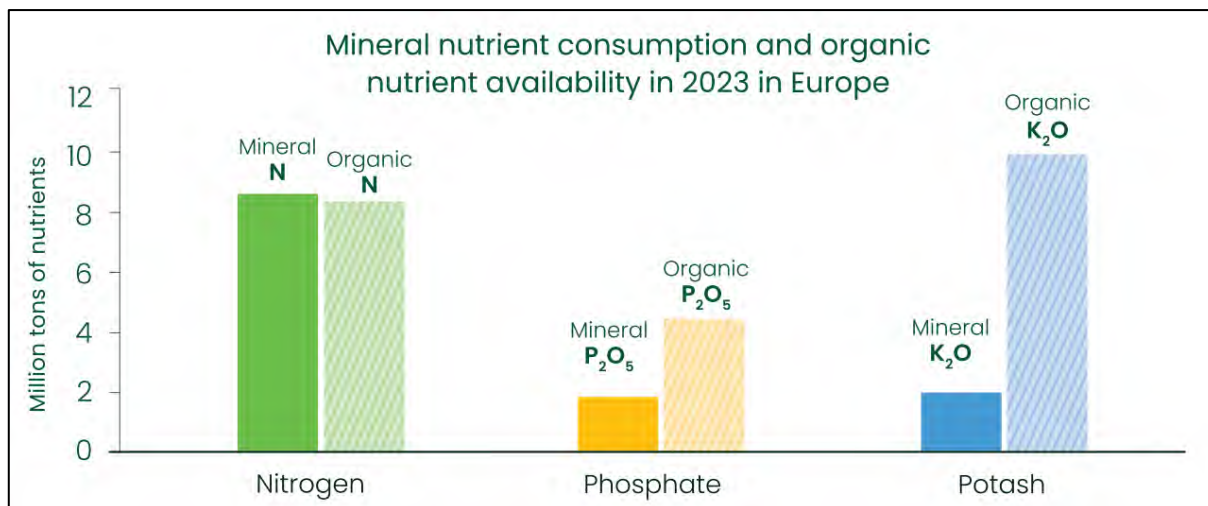
Source : Lex4bio 2022 - Socio-economic impacts of current products and practices, incl. non-accounted externalities. Deliverable 7.1 – D29 – WP7.

*Évolution de l'épandage de fumier au cours de la dernière décennie (comparaison des périodes 2004-2007 et 2014-2017)*



Source : Lex4bio 2022 - Socio-economic impacts of current products and practices, incl. non-accounted externalities. Deliverable 7.1 – D29 – WP7.

## Consommation de nutriments minéraux et disponibilité de nutriments organiques en 2023 en Europe



Source : Fertilizer Europe.

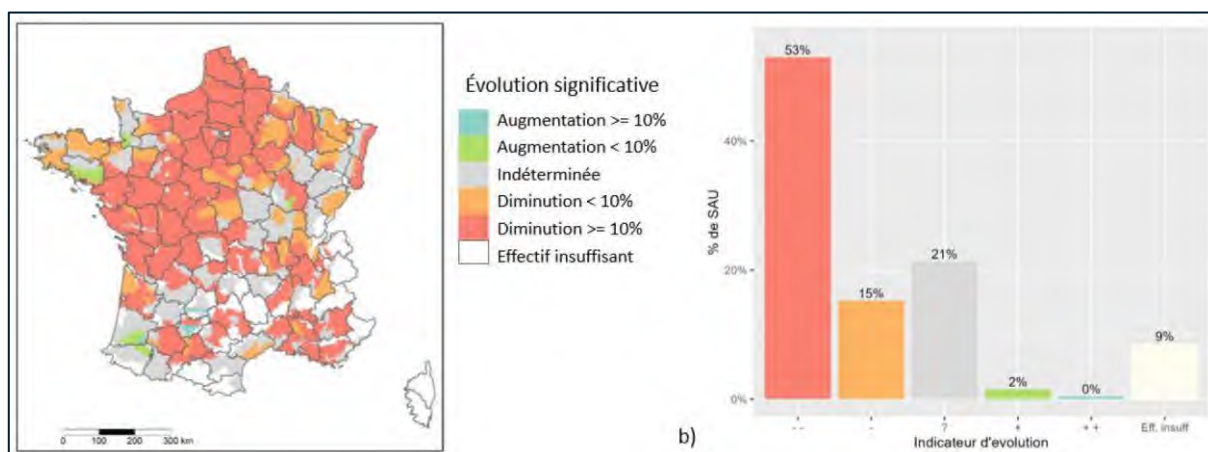
Pour le phosphate, 4,5 millions de tonnes de nutriments d'origine organique ont été consommées en 2023, complétant les 2,0 millions de tonnes de phosphate provenant d'engrais minéraux appliqués au cours de la saison.

[...] Diminution structurelle de la consommation d'engrais par l'agriculture européenne. Cette tendance, à l'œuvre depuis la fin des années 1980, se poursuit : la consommation est passée de 160 kg/ha de terres arables en 2017 à 124 kg/ha en 2022 selon la Banque mondiale. L'association professionnelle *Fertilizers Europe* anticipe, d'ici à 2032, une réduction de consommation de 4 % pour l'azote, de 1 % pour les engrais phosphatés, et une hausse de 2 % pour les engrais potassiques.

Global Sovereign Advisory. Engrais : après quatre années de crise, un marché fortement recomposé. Mars 2025.

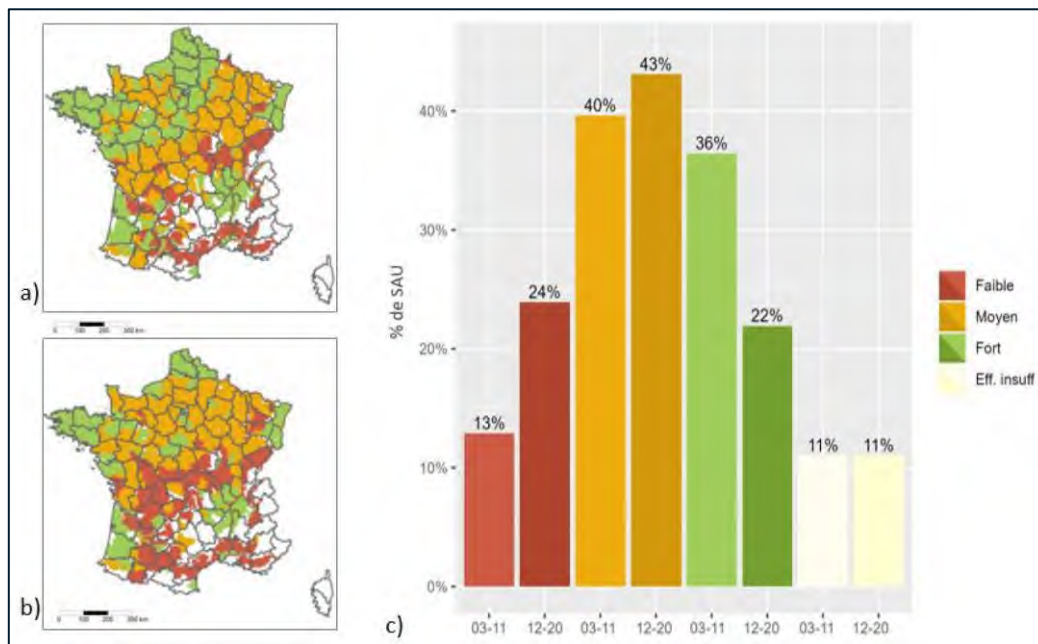
## Annexe 8.3. Évolution des teneurs en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> des sols en France

Carte des évolutions significatives des médianes des teneurs en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> équivalent Olsen par Petites Régions Agricoles entre les périodes 2003-2011 et 2012-2020



Source : Blandine Lemerrier, Manon Caubet, Nolwenn Le Pioufle, Eva Rabot, Catherine Pasquier, Antonio Bispo, Nicolas Saby. Évolutions du pH et des teneurs en P K Mg dans les sols de France hexagonale entre 2003 et 2020 à partir de la Base de Données des Analyses de Terre. 16<sup>e</sup> Rencontres Comifer-GEMAS : 21-22 novembre 2023 – Tours.

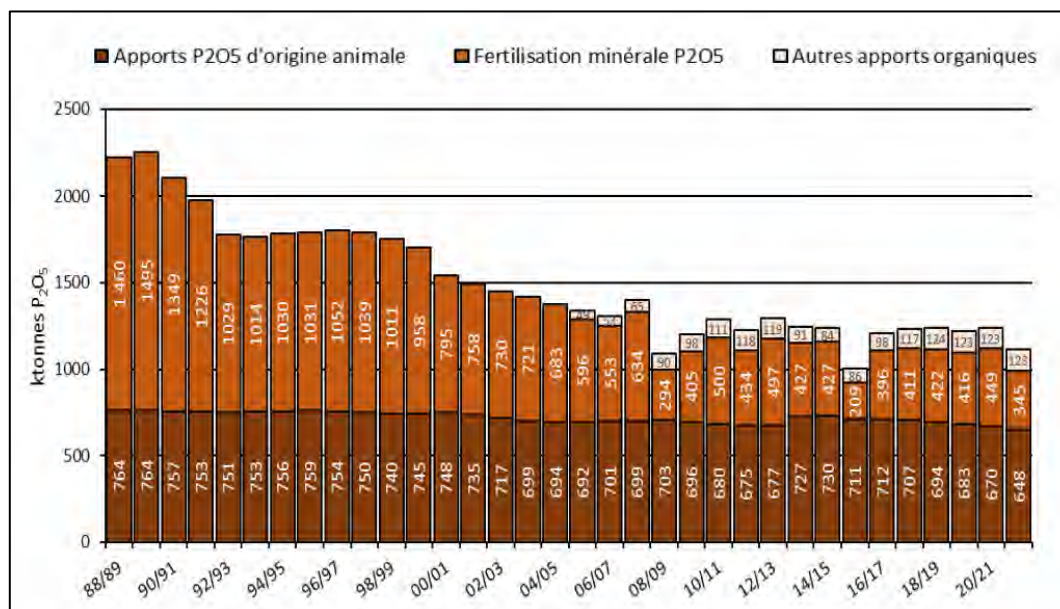
Cartes de la classe dominante du diagnostic de fertilité RegiFert® pour les teneurs en  $P_2O_5$  équivalent Olsen par Petites Régions Agricoles sur les périodes (a) 2003-2011 et (b) 2012-2020.



Source : Blandine Lemerrier, Manon Caubet, Nolwenn Le Pioufle, Eva Rabot, Catherine Pasquier, Antonio Bispo, Nicolas Saby. Évolutions du pH et des teneurs en P K Mg dans les sols de France hexagonale entre 2003 et 2020 à partir de la Base de Données des Analyses de Terre. 16<sup>e</sup> Rencontres Comifer-GEMAS : 21-22 novembre 2023 – Tours.

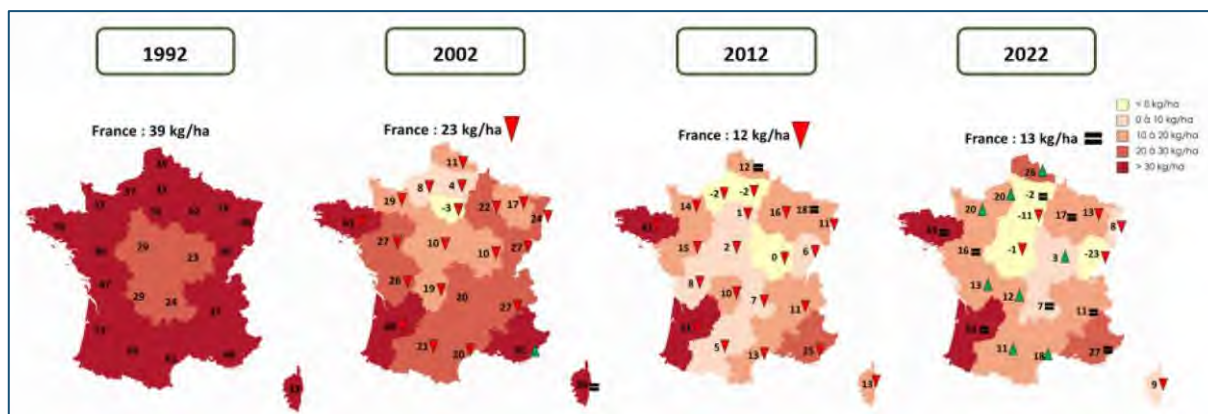
Les niveaux de fertilité diminuent (sauf pour le Mg), mais restent globalement corrects. Point de vigilance sur le P qui montre une diminution importante et étendue. Nécessité de suivis des bilans minéraux.

Évolution des apports de  $P_2O_5$



Léo Bellenger - 16<sup>e</sup> Rencontres Comifer-GEMAS : 21-22 novembre 2023 – Tours.

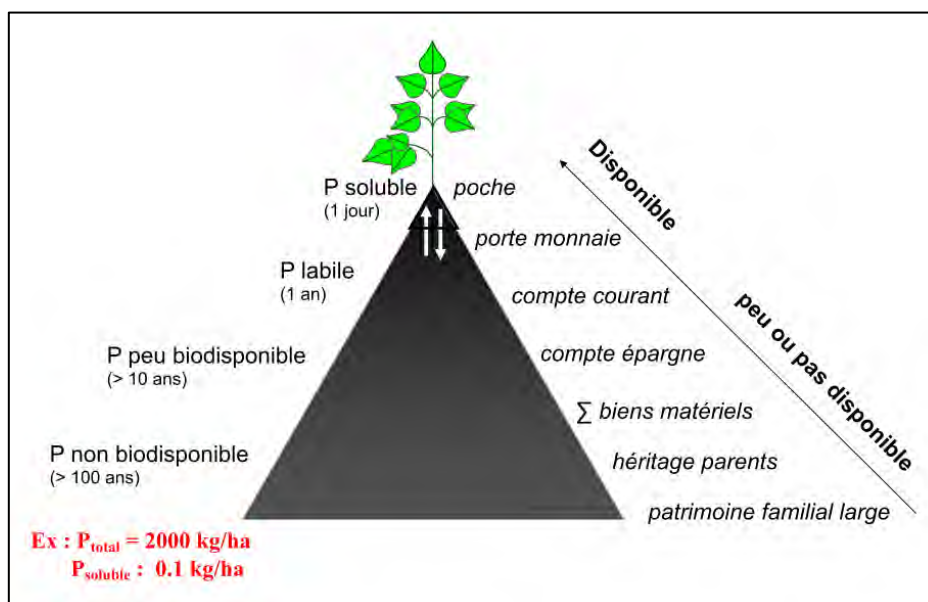
### Carte représentant l'évolution du solde moyen en $P_2O_5$



Léo Bellenger - 16<sup>e</sup> Rencontres Comifer-GEMAS : 21-22 novembre 2023 – Tours.

## Annexe 8.4. Les apports de phosphore en France

Représentation schématique des différentes espèces chimiques en solution, et analogie avec la disponibilité en argent en fonction des différentes localisations de ses économies



Source Comifer, dont « La fertilisation P, K, Mg – Les bases du raisonnement ». 2019.

### Éléments sur l'alimentation des plantes en phosphore et le rôle des engrais

[...] Les plantes s'alimentent en éléments nutritifs sous leur forme ionique présente dans la solution du sol. Pour phosphore, il s'agit des ions de la famille des phosphates ( $H_2PO_4^-$ ,  $HPO_4^{2-}$ , en proportion variable en fonction du pH du sol) qui sont pratiquement la forme stable très dominante du phosphore dans la biosphère. Les plantes n'absorbent pas les composés organiques, qui doivent être d'abord minéralisés par l'activité biologique des sols (vers, arthropodes, bactéries, champignons...). Les phosphates en solution sont généralement en équilibres dynamiques avec des formes sorbées sur la matrice du sol, qui permettent de réapprovisionner la fraction disponible dans la solution du sol.

Pour le phosphore, il existe des formes minérales multiples dans le sol : outre le phosphore en solution, ultra-minoritaire, on retrouve du phosphore lié (fixé) aux hydroxydes de fer et d'aluminium, aux argiles, au calcium, ou cristallisé au sein de minéraux généralement calcaires. Cette classification complexe n'a pas d'utilité opérationnelle pour la définition d'un indicateur de nutrition

des plantes, c'est pourquoi on considérera globalement la part de ce phosphate qui peut passer de la phase solide à la solution du sol sous le nom de « P diffusible ». La quantification précise de cette fraction fait encore l'objet de nombreuses recherches. Aussi, en pratique, un indicateur de nutrition passera par une extraction chimique.

Dans le cas des engrais et amendements organiques, on est dans une situation intermédiaire entre les engrais et les résidus : le K est immédiatement disponible, Mg et P sont majoritairement présents sous forme minérale. La disponibilité du P organique complémentaire va dépendre de la composition globale de l'amendement (notamment proportion C/N/P), relativement à celle de l'humus.

La grille Comifer est une grille de coefficients multiplicatifs : Dose conseillée = quantité exportée prévue \* coefficient multiplicatif des exportations. Le raisonnement de la fertilisation PK se distingue en particulier de celui de la fertilisation azotée sur deux critères : i) il n'intègre pas l'aspect qualitatif des récoltes ; les connaissances des effets de la nutrition P K Mg sur la qualité sont encore trop lacunaires pour que ce critère soit pris en compte dans les règles de la fertilisation à l'exception de quelques productions. ii) la minéralisation nette (minéralisation brute - organisation) de P du compartiment de la matière organique du sol (MOS) est négligeable à l'échelle de temps du suivi analytique des sols. On néglige donc la libération de phosphore par minéralisation de la MOS.

Source Comifer, dont « La fertilisation P, K, Mg – Les bases du raisonnement ». 2019.

**Dose  $P_2O_5$  ou  $K_2O$  conseillée (en kg/ha) = Coefficient multiplicatif des exportations \* Rendement prévu (unité de rendement aux normes) \* Teneur en  $P_2O_5$  ou  $K_2O$  dans les exportations (kg  $P_2O_5$  ou  $K_2O$  par unité de rendement aux normes)**

avec un supplément éventuel dû aux exportations de résidus du précédent

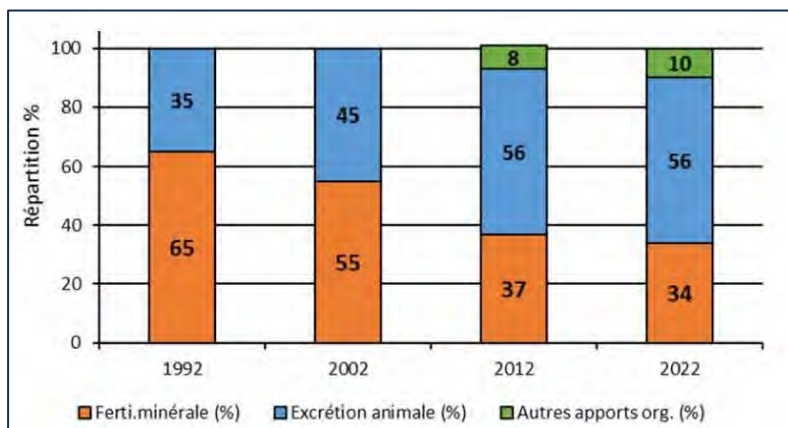
**Grille de calcul des doses de phosphore ( $P_2O_5$ ) à apporter**  
Grille de coefficients multiplicatifs des exportations, appliquée à la récolte principale (grains le plus souvent)

$P_2O_5$	Nbr. d'années sans apport depuis la dernière fertilisation	Teneur du sol					
		Positionner la teneur par rapport aux seuils					
		Teneur faible	Temp. -10%	Temp.	Temp. +10%	2x Temp.	3x Temp.
<b>Cultures très exigeantes</b> Betterave sucrière Colza - Luzerne Foin de terre	0	1.2	1.5	1.2	1.0	0.8	0
	1 an	1.3	2.0	1.5	1.2	1.0	0
	1 an ou +	1.7	2.7	2.0	1.5	1.2	0.8
<b>Moyennement exigeantes</b> Blé / Blé - Blé dur Maïs fourrage - Pois Orge - R.G. - Sorgho	0	1.6	1.0	1.0	0	0	0
	1 an	1.8	1.2	1.0	1.0	0.8	0
	1 an ou +	2.0	1.7	1.5	1.2	1.0	0.6
<b>Cultures peu exigeantes</b> Avoine - Blé tendre Maïs grain - Seigle Soja - Tournesol	0	1.3	1.0	0.8	0	0	0
	1 an	1.6	1.0	1.0	0	0	0
	1 an ou +	1.6	1.2	1.0	1.0	0.8	0

Supplément de kg  $P_2O_5$ /ha sur la culture qui suit = Masse de résidus récoltés (t/ha) x teneur en kg  $P_2O_5$ /t

- Cette grille P s'applique à toutes les cultures y compris fourragères, à leur récolte principale, mais ne s'applique pas aux résidus à enlèvement facultatif (pailles).
- Si les résidus de la culture précédente sont récoltés (paille, fanes...), un supplément de dose est proposé selon la règle suivante :
  - pas de supplément en cas de sol à teneur élevée (teneur >  $T_{imp}$ ) qu'il y ait un conseil de dose nulle ou non d'après la grille ;
  - le supplément correspond à l'exportation de  $P_2O_5$  des pailles sur la culture qui suit dans les autres cas (teneur <  $T_{imp}$ ).

Source Comifer, dont « La fertilisation P, K, Mg – Les bases du raisonnement ». 2019.



### Évolution et origine des apports en phosphore

Source : UNIFA - étude P K Mg 2023.



## Apports organiques et minéraux de fertilisants sur grandes cultures en France

Part de surface, en %

Espèce	Fumure organique	Azote minéral	Phosphore minéral	Potasse minérale	Soufre
Blé tendre	9	96	38	22	58
Blé dur	4	97	55	20	67
Triticale	31	89	32	25	32
Colza	38	97	53	32	75
Tournesol	17	78	51	36	18
Pois protéagineux	8	4	44	38	16
Maïs fourrage	81	86	55	21	10
Maïs grain	35	91	68	41	21
Betterave sucrière	68	92	48	56	30
Pomme de terre	42	96	68	80	36
Féverole	7	4	29	23	13
Soja	10	7	33	36	7
Lin fibre	8	84	72	61	21
Lin Oléagineux	14	82	44	29	40
Orge de printemps	12	95	50	30	52
Orge d'hiver	15	97	51	30	62
Avoine de printemps	26	73	28	19	25
Avoine d'hiver	23	79	30	24	36
Sorgho	14	85	45	29	17
Mélange de céréales avec protéagineux	34	20	11	7	7

Source : SSP - Agreste - Enquête Pratiques culturales en grandes cultures 2021

Note de lecture : 9 % de la surface de blé tendre a bénéficié d'un apport de fumure organique.

Source : SSP - Agreste - Enquête Pratiques culturales en grandes cultures 2021.

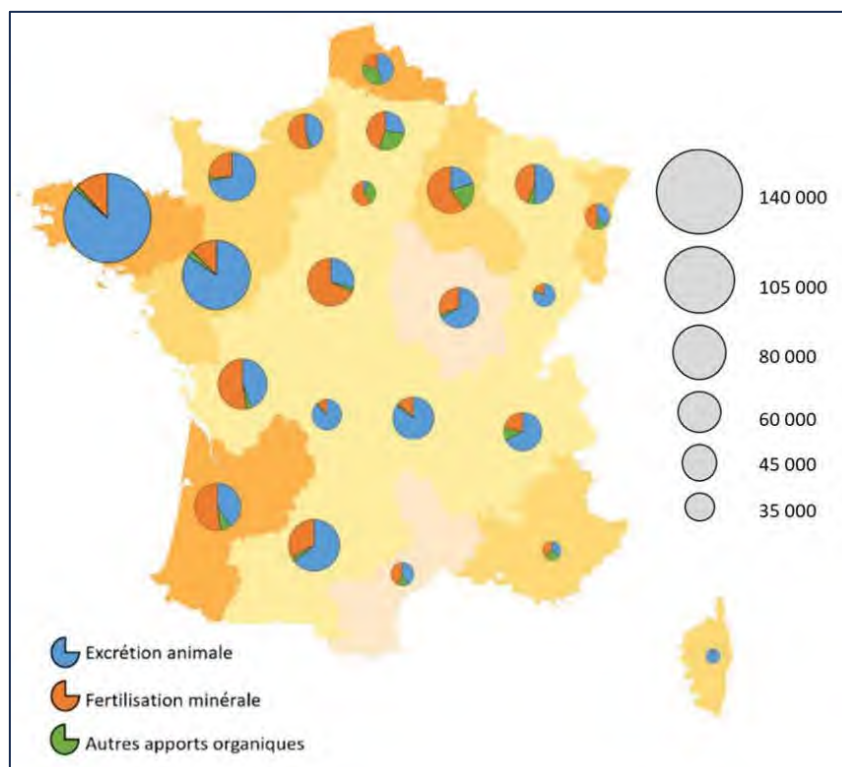
## Apports moyens sur l'ensemble des parcelles de grandes cultures en France

En kg/ha

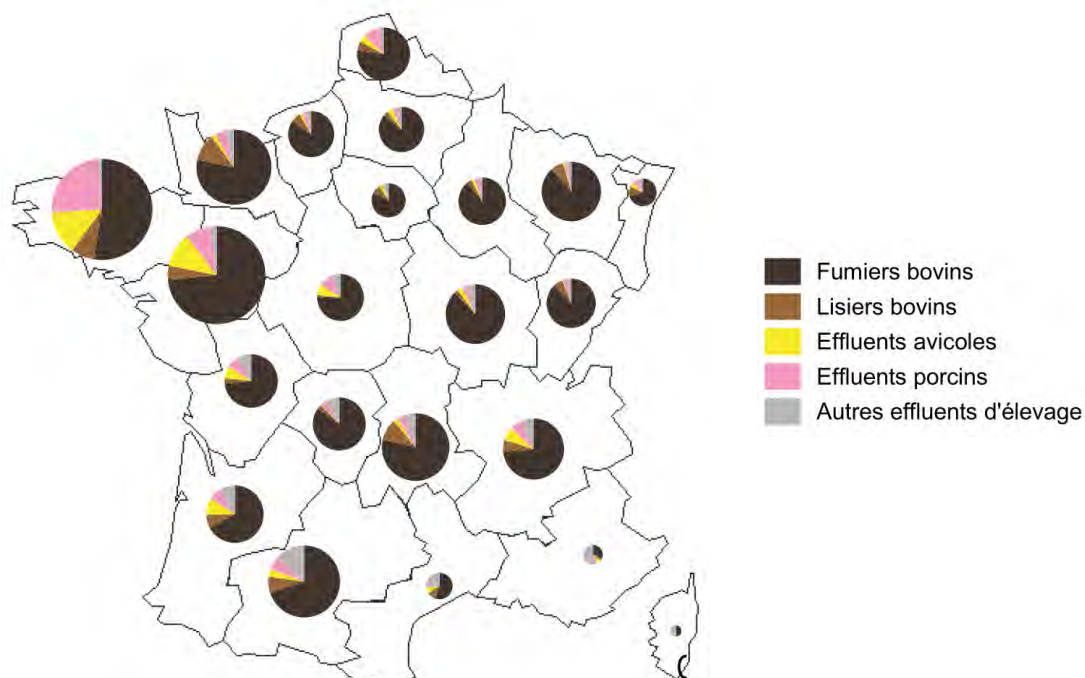
Espèce	Azote organique	Azote minéral	Phosphore minéral	Potasse minérale	Soufre
Blé tendre	9,1	166,2	18,0	10,0	29,7
Blé dur	3,9	192,3	28,8	7,3	37,0
Triticale	36,1	93,7	12,9	10,8	16,3
Colza	38,2	155,5	33,5	18,3	54,0
Tournesol	16,5	44,2	24,6	17,0	6,7
Pois protéagineux	6,1	1,2	24,6	23,5	7,6
Maïs fourrage	145,9	71,8	23,7	13,0	4,3
Maïs grain	55,9	143,0	38,7	29,2	8,8
Betterave sucrière	76,9	94,0	35,3	82,2	18,2
Pomme de terre	55,8	145,0	54,5	170,0	41,2
Féverole	5,0	0,8	14,1	13,1	5,3
Soja	10,6	2,7	17,1	20,6	3,6
Lin fibre	7,4	29,5	41,1	55,1	9,8
Lin Oléagineux	10,0	69,0	23,7	12,3	18,6
Orge de printemps	12,4	118,2	26,6	15,4	25,4
Orge d'hiver	14,4	130,2	26,2	14,2	31,8
Avoine de printemps	29,5	64,7	13,4	8,6	11,9
Avoine d'hiver	22,6	72,6	12,4	9,3	15,6
Sorgho	14,8	93,6	22,1	14,1	6,9
Mélange de céréales avec protéagineux	29,0	14,1	4,5	1,8	7,4

Source : SSP - Agreste - Enquête Pratiques culturales en grandes cultures 2021.

Évolution et origine des apports en phosphore (moyenne des campagnes 2018-2022) en tonnes  $P_2O_5$

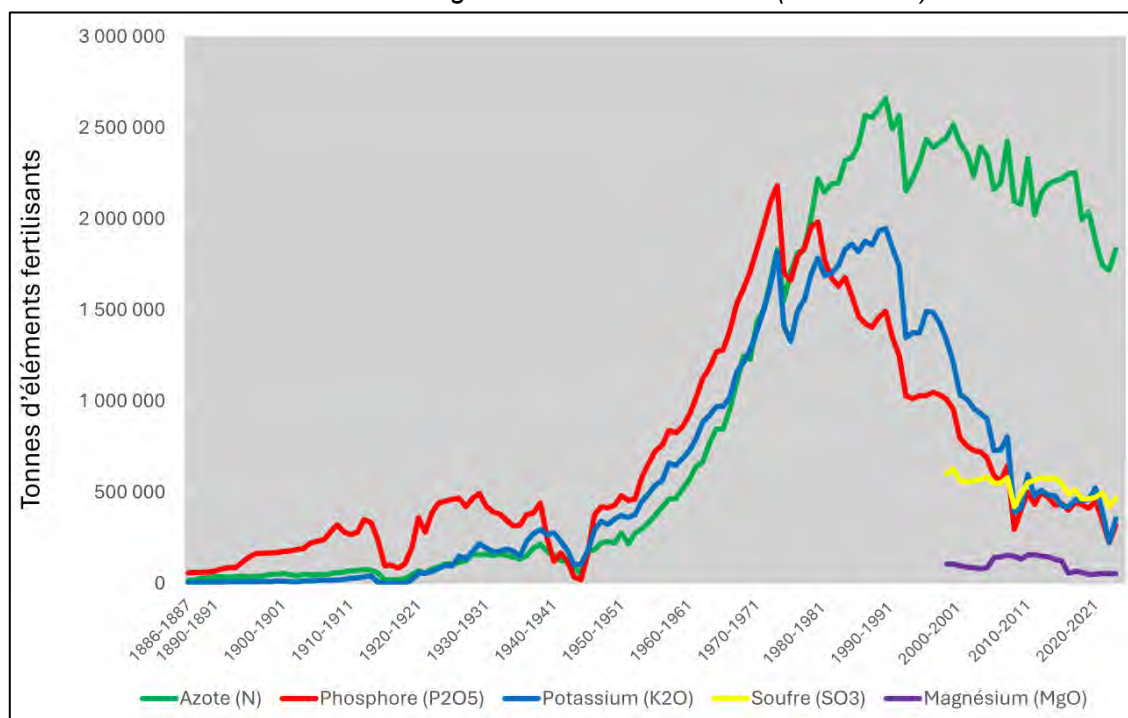


Répartition géographique de la production d'effluents d'élevage récupérables en France en 2000-2001



D'après l'enquête Pratiques Culturelles 2011, de l'ordre de 109 Mt MB d'effluents bruts ont été épandues en 2012 (dont 87,3 Mt d'effluents bovins), ainsi qu'environ 4,2 Mt MB de composts d'effluents d'élevage.

## Les livraisons d'engrais minéraux en France (1886-2024)



Source : UNIFA.

### Fertilisants organiques et minéraux commercialisés en 2023 (milliers de tonnes)

En milliers de tonnes	Tonnages produits	Matière Organique	Valeur Neutralisante	Éléments nutritifs totaux					Source principale
				Azote N	Phosphore P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Potassium K <sub>2</sub> O	Magnésium MgO	Soufre SO <sub>3</sub>	
(1) Amendements minéraux basiques	2 855	0	1 390	0	0	0	53	0	UNIFA
(2) Engrais minéraux	6 508	0	0	1 780	222	202	42	415	UNIFA
(3) Engrais organo-minéraux	112	0	0	6	4	8	1	1	UNIFA
(4) Engrais organiques élaborés	244	130	0	11	10	7	4	3	AFAÏA/autres
(5) Engrais organiques bruts	2 963	1 214	0	12	12	73	39	32	AFAÏA/autres
(6) Amendements organiques élaborés	299	123	0	4	5	2	2	3	AFAÏA
(7) Amendements organiques bruts	4 785	1 254	0	11	13	5	5	0	AFAÏA/autres
<b>Total fertilisation minérale (1+2+3)</b>	<b>9 475</b>	<b>0</b>	<b>1 390</b>	<b>1 786</b>	<b>226</b>	<b>210</b>	<b>97</b>	<b>416</b>	
<b>Total fertilisation organique (4+5+6+7)</b>	<b>8 291</b>	<b>2 720</b>	<b>0</b>	<b>39</b>	<b>40</b>	<b>87</b>	<b>51</b>	<b>38</b>	
<b>Total France métropole</b>	<b>17 766</b>	<b>2 720</b>	<b>1 390</b>	<b>1 825</b>	<b>266</b>	<b>297</b>	<b>147</b>	<b>454</b>	
Evolution par rapport à la moyenne des années 2020-2022 :									
<b>Minéral</b>	-14,8%	-100,0%	+13,4%	-13,7%	-45,0%	-54,7%	-8,2%	-15,3%	
<b>Organique</b>	+12,1%	+20,7%		-55,7%	-53,7%	+2,4%	+8,2%	-2,0%	
<b>Total</b>	-4,0%	+19,2%	+13,4%	-15,4%	-46,5%	-45,8%	-3,2%	-14,3%	

Source : UNIFA.

[...] Les acteurs interrogés témoignent d'une forte élasticité de la consommation d'engrais phosphatés et potassiques. De nombreux agriculteurs ont fait l'impasse sur ces engrais en 2021 et 2022, privilégiant des apports azotés également plus coûteux mais plus directement liés au rendement des cultures. La campagne 2022-2023 a vu une reprise modérée de la consommation à la fois en engrais phosphatés et potassiques. En l'absence d'une anticipation suffisante des importateurs et distributeurs, cette reprise s'est traduite par des situations de pénurie. Selon certains opérateurs, une grande part la baisse de consommation observée entre 2020 et 2024, qui serait de l'ordre de 25 % en équivalent élément P, pourrait être durable. Alors que l'apport d'engrais organiques reste, dans beaucoup de régions, insuffisant pour compenser la baisse d'utilisation en engrais minéraux, cette tendance de long terme suscite des inquiétudes sur une possible déplétion des sols en phosphore et en potassium, avec des conséquences à moyen terme sur les rendements.

Source : FranceAgriMer. Étude sur le fonctionnement général du marché des engrais minéraux dans la situation spécifique des filières grandes cultures. 2024.

## Annexe 8.5. Les réductions potentielles d'apport de phosphore

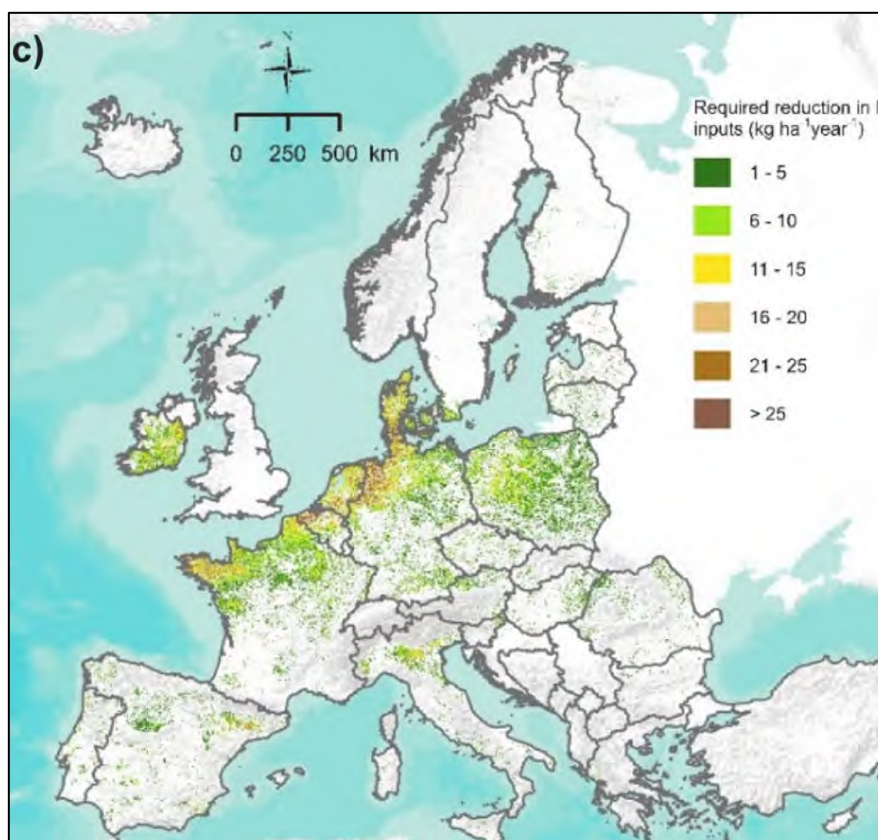
[...] Les politiques européennes récemment proposées visent à optimiser les apports de phosphore et à atténuer les concentrations excessives de phosphore dans le sol. Nous présentons un cadre pour estimer dans quelle mesure et où les apports de phosphore dans les sols agricoles (terres cultivées et prairies) de l'UE peuvent être optimisés. Le cadre, avec des hypothèses sur les concentrations optimales de P dans le sol et les bilans modélisés de P dans le sol, permet de calculer dans quelle mesure la superficie agricole de l'UE connaît une accumulation ou un maintien des concentrations de P dans le sol. Ensuite, nous avons calculé dans quelle mesure les apports de P peuvent être réduits pour atteindre une situation de maintenance (apports égaux aux résultats) ou pour atteindre des concentrations optimales de P dans le sol.

En supposant que les concentrations optimales de P dans le sol (Olsen) soient comprises entre 20 et 40 mg/kg, nous avons calculé que les apports actuels de P dans l'UE peuvent être réduits de 21 % sans effets négatifs sur la production agricole.

Les zones dans lesquelles il est possible de réduire les apports de P se situent principalement dans le nord de la France, en Flandre, aux Pays Bas, en Allemagne, au Danemark, en Pologne et en Irlande. Notre étude souligne que les taux d'application de P actuels et requis varient considérablement entre et au sein des États membres de l'UE, ce qui souligne la nécessité d'objectifs régionaux, de politiques et d'une réflexion sur le transport des nutriments entre les États membres.

Source : Lex4bio 2022 - Van Eynde, E., Ros, G. H., Yunta, F., Muntwyler, A., Hinsinger, P., Fendrich, A. N., & Panagos, P. (2025). Opportunities for optimizing phosphorus inputs in EU agricultural soils. *Environmental Science and Policy*, 171. 2025.

*Réduction des apports de P nécessaire pour que les pratiques de gestion durable soient conformes aux concentrations de P dans le sol et pour atteindre les concentrations optimales de P en 41 ans.*



Source : Lex4bio 2022 - Van Eynde, E., Ros, G. H., Yunta, F., Muntwyler, A., Hinsinger, P., Fendrich, A. N., & Panagos, P. (2025). Opportunities for optimizing phosphorus inputs in EU agricultural soils. *Environmental Science and Policy*, 171. 2025.

*Quantités de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> appliquées aux cultures annuelles en France et dans sa région selon les scénarios de pratiques actuelles (CPA) et de bonnes pratiques (GPPA). Pour la France, le calcul est effectué soit à partir de la moyenne des régions, soit à partir du modèle du bilan national.*

Spatial unit	CPA	GPPA	Variation
	kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup> (100 years) <sup>-1</sup>		%
Alsace	5492	3830	-30
Aquitaine	4787	2195	-54
Auvergne	2801	1439	-49
Bourgogne	3513	2245	-36
Bretagne	1920	2395	25
Centre	3557	3994	12
Champagne-Ardenne	4349	3851	-11
Corse	3271	4464	36
Franche-Comté	3736	1788	-52
Ile de France	2004	3173	58
Languedoc-Roussillon	2873	2828	-2
Limousin	1736	1075	-38
Lorraine	2887	1885	-35
Midi-Pyrénées	3325	1946	-41
Nord-Pas de Calais	2645	1763	-33
Basse-Normandie	2258	1180	-48
Haute-Normandie	2403	2797	16
Pays de Loire	1357	690	-49
Picardie	1757	4097	133
Poitou-Charentes	2202	2376	8
Provence-Alpes- Côte d'Azur	1864	2728	46
Rhône-Alpes	3015	2067	-31
France (mean of Regions)	2807	2458	-12
France (nat. balance model)	2788	2098	-25

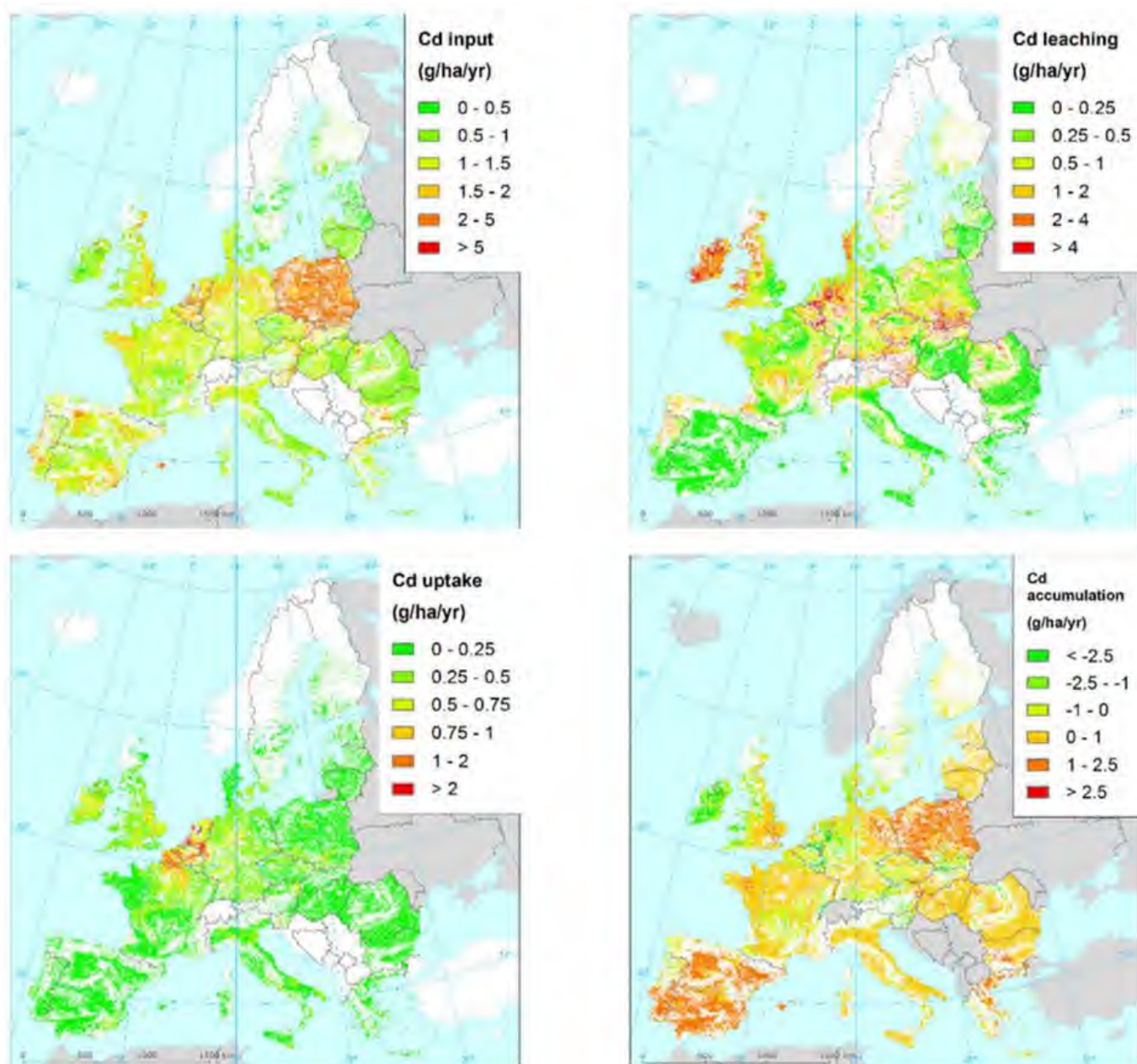
Source : Thibault Sterckeman, Lucas Gossiaux, Sophie Guimont, Catherine Sirguy, Zhongbing Lin. Cadmium mass balance in French soils under annual crops: Scenarios for the next century. *Sci. Total Environ.* 639. 2018. Corrigendum *Sci. Total Environ.* 650. 2019.

En France, les apports de phosphore sur les cultures annuelles sont excessifs et pourraient être réduits d'environ 12 à 25 %, tout en satisfaisant les besoins des cultures.

## Annexe 9. Bilans des flux de cadmium dans les sols

### Annexe 9.1. Bilans et flux de cadmium dans les sols en Europe

*Distribution des différents apports par pays*



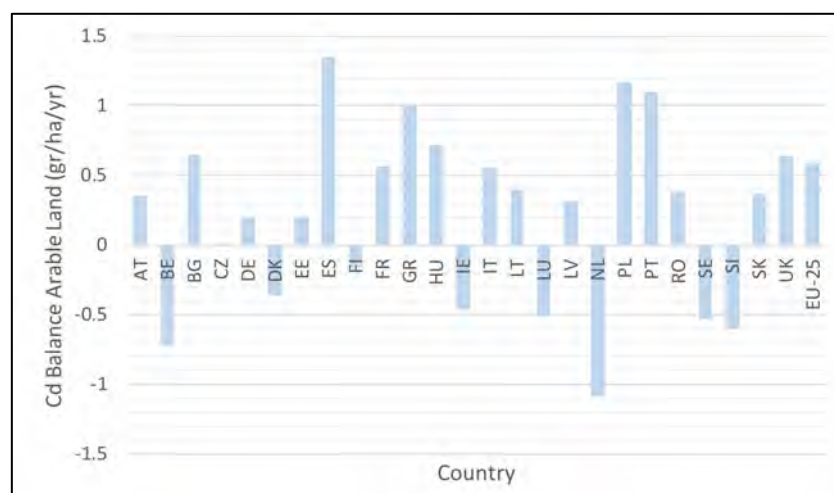
Paul Römkens, René Rietra, Hans Kros, Jan Cees Voogd, Wim de Vries. Impacts of cadmium levels in fertilisers on cadmium accumulation in soil and uptake by food crops. Wageningen University and Research 2018.

## Contribution relative de diverses sources à l'apport total de cadmium dans les sols pour divers États

		Total Cd input g Cd/ha/yr	Relative contribution of various sources to total cadmium input in soil					Other organic wastes
			Atmospheric deposition	Phosphate fertiliser	Manure	Sewage sludge	Lime	
Austria	Arable land	3,43	61,22 %	22,94 %	13,50 %	1,17 %		1,17 %
	Grassland	3,353	62,63 %	10,44 %	24,55 %	1,19 %		1,19 %
Belgium	Region 1	3,89	38,56 %	27,25 %	33,93 %	0,26 %		
	Region 2	6,04	60,43 %	17,55 %	21,85 %	0,17 %		
	Region 3	38,89	93,85 %	2,73 %	3,39 %	0,03 %		
Czech Republic		1,66	78,31 %	15,66 %	6,02 %			
Denmark	Cereals	4,144	9,89 %	33,59 %	11,78 %	34,99 %	9,65 %	0,10 %
	Root crop	3,552	11,54 %	22,52 %	13,74 %	40,82 %	11,26 %	0,11 %
	Grassland	3,448	11,89 %	20,19 %	14,15 %	42,05 %	11,60 %	0,12 %
Finland		0,605	33,06 %	4,13 %	53,22 %		5,79 %	3,80 %
France		5,35	31,78 %	68,22 %				
Germany		7,94	21,41 %	70,53 %	8,06 %			
Greece	Kopaida	0,971	3,19 %	82,39 %	4,12 %		10,30 %	
	Koropi	0,955	4,71 %	73,30 %	9,42 %		12,57 %	
	Thessaloniki	0,981	4,18 %	71,36 %	14,27 %		10,19 %	
	Lorissa	0,771	4,02 %	64,85 %	18,16 %		12,97 %	
	Biotia	1,324	3,32 %	86,10 %	3,02 %		7,55 %	
	Chalkidiki	0,59	6,78 %	74,58 %	1,69 %		16,95 %	
	Biotia-Kopaida	0,721	4,30 %	83,22 %	5,55 %		6,93 %	
Ireland		4,0747	36,81 %	40,98 %	22,09 %	0,12 %		
Sweden	Min	0,96	67,71 %	27,08 %	5,21 %			
	Max	1,47	44,22 %	52,38 %	3,40 %			
UK		3,98	45,23 %	54,77 %				
Norway	Min	0,88	56,82 %	13,64 %	4,55 %	22,73 %	2,27 %	
	Max	0,97	51,55 %	21,65 %	4,12 %	20,62 %	2,06 %	

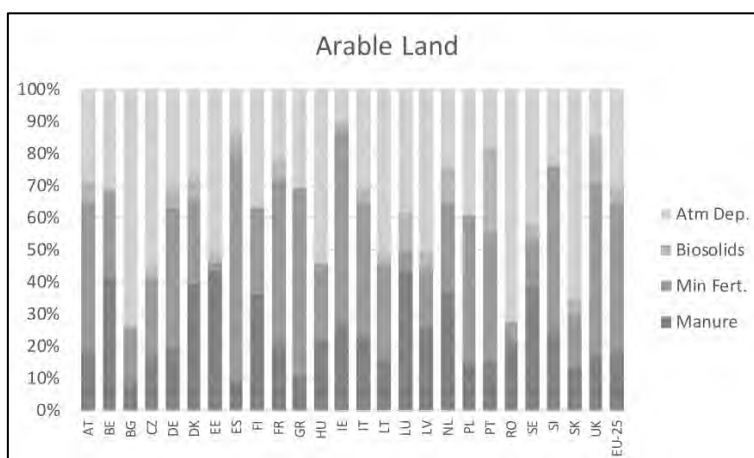
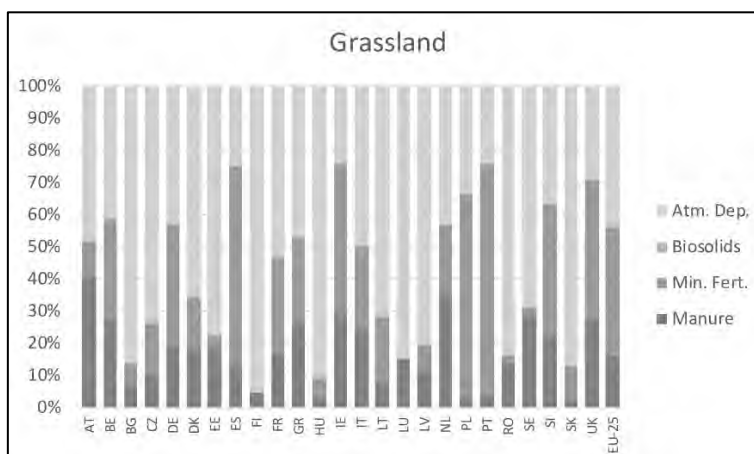
Commission européenne. Commission staff working document - Impact assessment - Limits for cadmium in phosphate fertilisers. SWD(2016) 64 final. 2016.

### Bilans des flux de cadmium actuels par pays



Paul Römkens, René Rietra, Hans Kros, Jan Cees Voogd, Wim de Vries. Impacts of cadmium levels in fertilisers on cadmium accumulation in soil and uptake by food crops. Wageningen University and Research 2018.

### Contribution de différentes sources aux apports en cadmium par pays



Paul Römken, René Rietra, Hans Kros, Jan Cees Voogd, Wim de Vries. Impacts of cadmium levels in fertilisers on cadmium accumulation in soil and uptake by food crops. Wageningen University and Research 2018.

[...] Nous estimons un apport moyen de cadmium dans les sols agricoles à environ 0,7 g/ha/an. Cela correspond à environ 0,17 % d'apport de cadmium par an pour les terres agricoles par rapport aux stocks de cadmium. Évidemment, une partie du cadmium est absorbée par les plantes (Haider et al., 2021) mais le cycle complet reste inconnu (par exemple quelle quantité est lessivée, transportée par ruissellement).

Source : Ballabio 2024 – Cadmium in topsoils of the European Union – An analysis based on LUCAS topsoil database.

Balances	
<b>Input</b>	
atmospheric deposition	+0.3 g Cd/ha/y
phosphate fertilisers	+0.7 g Cd/ha/y
manure, sludge and lime	+0.2 g Cd/ha/y
<b>Output</b>	
leaching	-2.0 g Cd/ha/y
removal with harvested crop	-0.2 g Cd/ha/y
<b>Net balance</b>	<b>-1.0 g Cd/ha/y</b>
<b>Current stock</b>	<b>750 g Cd/ha</b>

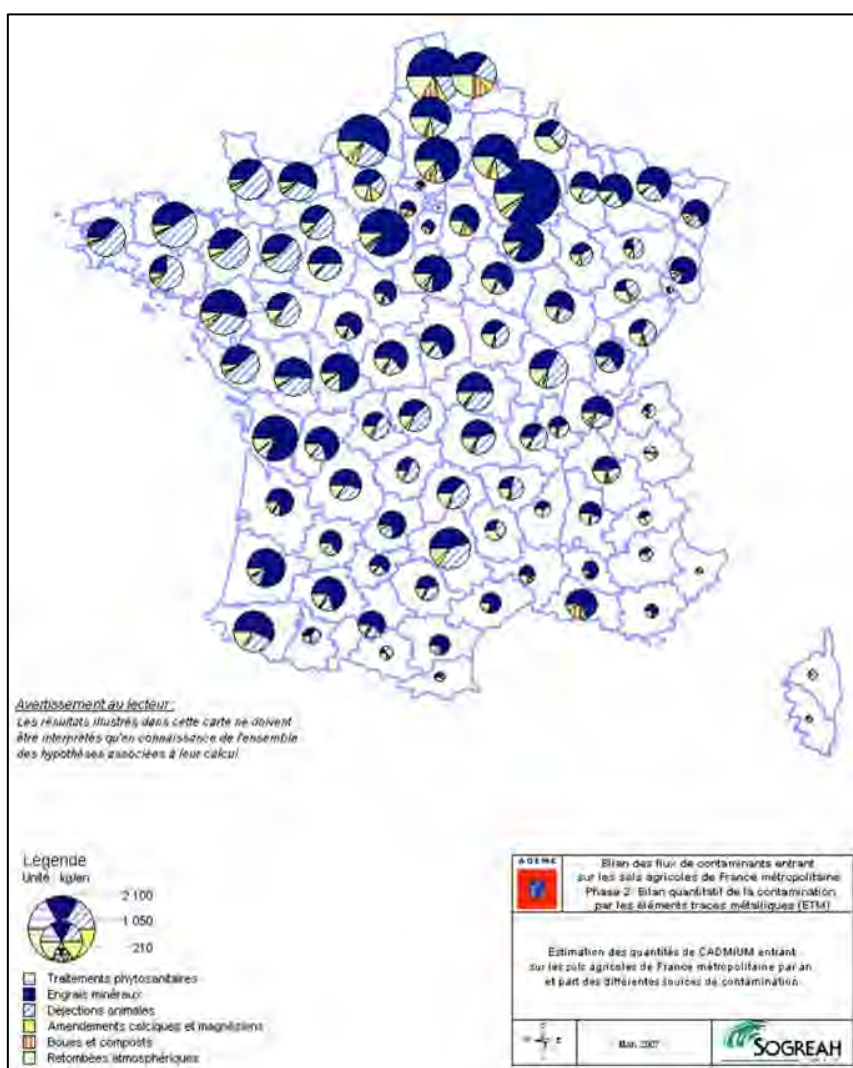
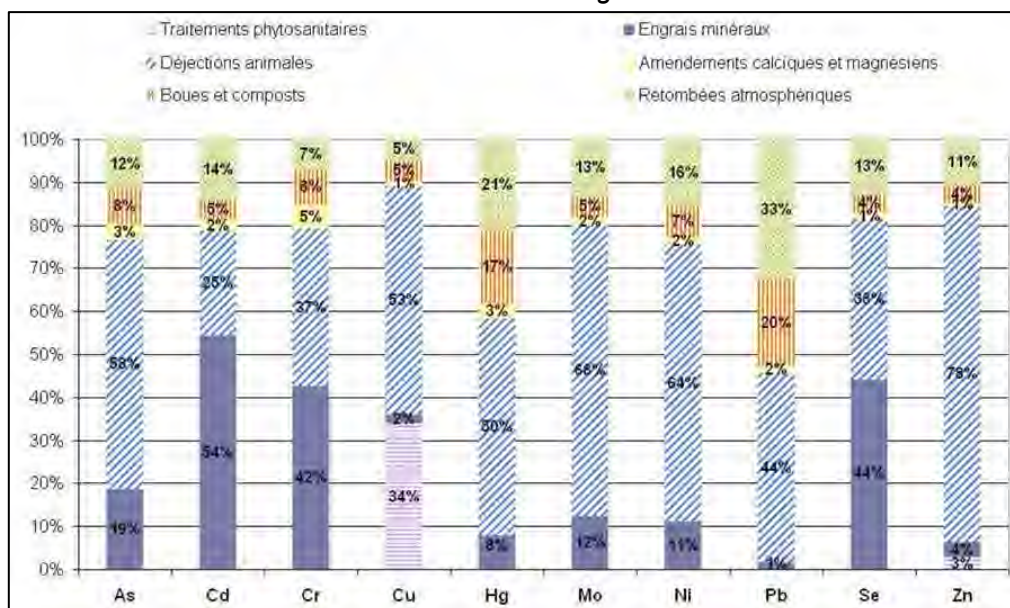
*Flux de cadmium pris en compte dans les bilans massiques de cadmium dans la moyenne des sols agricoles (arables) européens.*

Source : Parlement européen - Scientific aspects underlying the regulatory framework in the area of fertilisers – state of play and future reforms. 2017.



## Annexe 9.2. Bilans et flux de cadmium dans les sols en France

Part des différentes sources de contamination dans l'estimation des quantités totales d'ETM entrant sur les sols agricoles



ADEME et SOGREAH. Bilan des flux de contaminants entrants sur les sols agricoles de France métropolitaine. 2007.

## Estimation des flux moyens de cadmium (g Cd/ha/an) dans la couche labourée (25 cm) du sol français moyen sous cultures annuelles pour différents scénarios

Scénario	Inputs				Outputs			Balance	
	P fertilizers	Organic amendments	Liming	Atmosphere	Total	Leaching	Crop offtake		Total
CPA: Current P application rates	1.42	0.25	0.02	0.20	1.89	2.83	0.93	3.76	-1.86
CPA <sub>L6</sub> : Idem CPA, with leaching rate/6	1.42	0.25	0.02	0.20	1.89	0.53	1.04	1.56	0.33
CPA <sub>L12</sub> : Idem CPA, with leaching rate/12	1.42	0.25	0.02	0.20	1.89	0.28	1.11	1.39	0.50
GPPA: P application according to good practice	1.07	0.25	0.02	0.20	1.54	2.78	0.91	3.69	-2.15
GPPA <sub>L6</sub> : Idem CPA, with leaching rate/6	1.07	0.25	0.02	0.20	1.54	0.52	1.02	1.54	0.00
GPPA <sub>L12</sub> : Idem CPA, with leaching rate/12	1.07	0.25	0.02	0.20	1.54	0.26	1.03	1.29	0.25
EUR: Current P application rates with EU regulation limiting Cd in fertilizers	0.64	0.25	0.02	0.20	1.11	2.74	0.90	3.63	-2.53
EUR <sub>L6</sub> : Idem CPA, with leaching rate/6	0.64	0.25	0.02	0.20	1.11	0.51	1.00	1.51	-0.41
EUR <sub>L12</sub> : Idem CPA, with leaching rate/12	0.64	0.25	0.02	0.20	1.11	0.26	1.02	1.27	-0.17
GPEU: P application according to good practice with EU regulation limiting Cd in fertilizers	0.47	0.25	0.02	0.20	0.94	2.71	0.89	3.60	-2.66
GPEU <sub>L6</sub> : Idem GPEU, with leaching rate/6	0.47	0.25	0.02	0.20	0.94	0.51	1.00	1.50	-0.56
GPEU <sub>L12</sub> : Idem GPEU, with leaching rate/12	0.47	0.25	0.02	0.20	0.94	0.26	1.01	1.26	-0.32
OA: Organic agriculture	0.83	0.08	0.02	0.20	1.13	2.77	0.55	3.32	-2.19
OA <sub>L6</sub> : Same as OA, with leaching rate/6	0.83	0.08	0.02	0.20	1.13	0.52	0.60	1.12	0.01
OA <sub>L12</sub> : Same as OA, with leaching rate/12	0.83	0.08	0.02	0.20	1.13	0.26	0.61	0.87	0.26
OAEU: Same as OA, with EU regulation limiting Cd in fertilizers	0.40	0.08	0.02	0.20	0.70	2.72	0.54	3.26	-2.56
OAEU <sub>L6</sub> : Same as OAEU, with leaching rate/6	0.40	0.08	0.02	0.20	0.70	0.51	0.59	1.10	-0.40
OAEU <sub>L12</sub> : Same as OAEU, with leaching rate/12	0.40	0.08	0.02	0.20	0.70	0.26	0.60	0.86	-0.16
Belon et al. (2012), France	1.02	0.56	0.00	0.25	1.83	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Six and Smolders (2014), Europe	0.79	0.06	0.09	0.35	1.29	2.56	0.20	2.76	-1.47

Source : Thibault Sterckeman, Lucas Gossiaux, Sophie Guimont, Catherine Sirguey, Zhongbing Lin. Cadmium mass balance in French soils under annual crops: Scenarios for the next century. *Sci. Total Environ.* 639. 2018. Corrigendum *Sci. Total Environ.* 650. 2019.

[... ] Les apports de cadmium (1,89 g Cd/ha/an) sont très proches de ceux récemment estimés pour la France par Belon et al. (2012) (1,83 g de Cd/ha/an).

En France, les apports d'engrais phosphatés représentent environ 74 % des apports de cadmium des sols. En maintenant les pratiques agricoles actuelles, la teneur en cadmium du sol augmenterait de 3 à 5 % après un siècle.

Dans les scénarios avec les taux d'application actuels de P (CPA, CPA L6, CPA L12), les apports totaux étaient de 1,89 g Cd/ha/an, l'application d'engrais P représentant 1,42 g Cd/ha/an, soit 73,8 % de l'apport de cadmium dans le sol. Le cadmium provenant des dépôts atmosphériques représentait 11,1 % des apports, tandis que les amendements représentaient chacun < 4,0 % des apports de cadmium.

En agriculture conventionnelle, une réduction de la teneur en cadmium dans l'engrais P (scénario EUR) réduirait l'apport moyen de cadmium de 55 % par rapport au scénario CPA (de 1,42 à 0,64 g Cd/ha/an). L'application de bonnes pratiques de fertilisation au P (scénario GPPA) aurait un effet deux fois moins important que le scénario EUR, avec un apport de cadmium dû à l'engrais au P de 1,07 g Cd/ha/an.

Source : Thibault Sterckeman, Lucas Gossiaux, Sophie Guimont, Catherine Sirguey, Zhongbing Lin. Cadmium mass balance in French soils under annual crops: Scenarios for the next century. *Sci. Total Environ.* 639. 2018. Corrigendum *Sci. Total Environ.* 650. 2019.

## Annexe 9.3. Mesures localisées de cadmium dans les sols

### Évolution temporelle des teneurs en carbone, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et cadmium dans les horizons de surface

		1938	1956	1980	1999
Carbone org. g.100 g <sup>-1</sup>	NPK	1,340	1,050	1,040	1,035
	Sans rien	1,155	0,935	0,860	0,770
	Fumier	1,445	1,270	1,360	1,245
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> g.100 g <sup>-1</sup>	NPK	0,190	0,176	0,213	0,196
	Sans rien	0,122	0,114	0,116	0,112
	Fumier	0,168	0,153	0,163	0,161
Cadmium mg.kg <sup>-1</sup>	NPK	0,381	0,408	0,458	0,461
	Sans rien	0,303	0,318	0,336	0,381
	Fumier	0,349	0,332	0,398	0,411

Denis Baize et Serge Bourgeois. Estimation des apports agricoles et des retombées atmosphériques en éléments en traces et majeurs grâce à un essai de longue durée (dispositif Dehérain à Grignon). 2005.

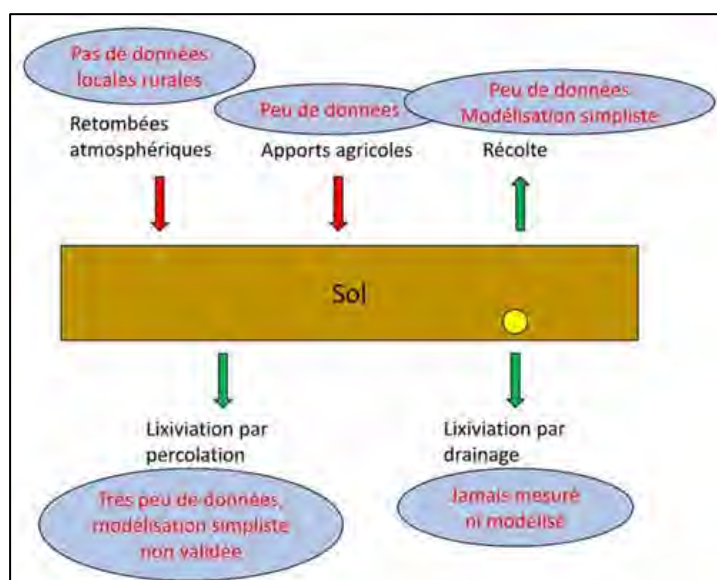
### Évolution temporelle des stocks calculés sur les 30 premiers centimètres

		1938	1956	1980	1999	Évolution sur 61 ans
Cadmium mg.m <sup>-2</sup>	NPK	140,7	163,0	186,3	200,1	59,4
	Sans rien	123,7	134,5	146,3	172,6	48,9
	Fumier	127,4	137,2	165,5	180,0	52,6

Denis Baize et Serge Bourgeois. Estimation des apports agricoles et des retombées atmosphériques en éléments en traces et majeurs grâce à un essai de longue durée (dispositif Dehérain à Grignon). 2005.

[...] L'augmentation des stocks de cadmium est nettement supérieure dans les parcelles "fumier" et "NPK" à celle observée dans les parcelles "sans rien" : 10,5 mg/m<sup>2</sup> de cadmium peuvent être imputés aux seuls engrais phosphatés sur 61 ans, soit un apport moyen annuel de 1,72 g/ha, valeur cohérente avec les données de la littérature (2 g/ha/an à Rothamsted depuis 1940 pour un apport annuel de 0,4 t/ha de superphosphates). En outre, 3,7 mg/m<sup>2</sup> de cadmium peuvent être imputés aux épandages de fumier, soit un apport moyen de 0,6 g/ha/an (1,54 g/ha/an à Versailles).

Denis Baize et Serge Bourgeois. Estimation des apports agricoles et des retombées atmosphériques en éléments en traces et majeurs grâce à un essai de longue durée (dispositif Dehérain à Grignon). 2005.



#### Résumé de l'état de l'art sur le flux d'ETM dans les sols agricoles.

La percolation est le passage de l'eau à travers le milieu poreux qu'est le sol. Le drainage est l'évacuation artificielle de l'eau gravitaire par un réseau de tuyaux plastiques flexibles perforés.

Sterckeman Thibault, Pierlot Frédéric, Herber Éric, Turpault Marie-Pierre, 2025. Mesure de flux d'éléments en traces en sols agricoles et forestiers. Projet FETSA (APR IMPACTS 2020). Avril 2025.

[...] Au plan mondial, on dispose de très peu de données sur les flux de lixiviation des ETM en sols agricoles. En outre, les données de retombées atmosphériques en milieu rural sont rares. Le premier objectif de ce projet est de mesurer les flux d'ETM sortant des sols par lixiviation dans deux sites cultivés et d'un site forestier en Lorraine, et d'évaluer des modèles de prévision des flux de lixiviation.

Dans l'ensemble, les concentrations en solution dans l'eau percolant sont très faibles, nettement inférieures à celles estimées par les fonctions de pédotransfert proposées ou utilisées dans de précédents travaux scientifiques, qui de ce fait, conduisent à une surestimation des sorties d'ETM.

Sterckeman Thibault, Pierlot Frédéric, Herber Éric, Turpault Marie-Pierre, 2025. Mesure de flux d'éléments en traces en sols agricoles et forestiers. Projet FETSA (APR IMPACTS 2020). Avril 2025.

*Bilan des moyennes des flux d'ETM sur les trois parcelles de La Bouzule pour les trois années de suivi (01/10/2021 au 30/09/2024).*

La moyenne des quantités et compositions des récoltes de blé (grain et paille) et de maïs (ensilage) n'a pas été calculée.

Sterckeman Thibault, Pierlot Frédéric, Herber Éric, Turpault Marie-Pierre, 2025. Mesure de flux d'éléments en traces en sols agricoles et forestiers. Projet FETSA (APR IMPACTS 2020). Avril 2025.

<b>01/10/2021 au 30/09/2024</b>		<b>Cd</b>
<b>Retombées atmosphériques</b>	Insolubles (g/ha/an)	0,08
	Solubles (g/ha/an)	0,32
	<b>Totales (g/ha/an)</b>	<b>0,39</b>
<b>Engrais azoté</b>	Masse (kgMF/ha/an)	247
	Concentration (mg/kgMF)	0,05
	<b>Flux (g/ha/an)</b>	<b>0,013</b>
<b>Pesticides</b>	Masse (kgMF/ha/an)	4,1
	Concentration (mg/kgMF)	5,5
	<b>Flux (g/ha/an)</b>	<b>0,02</b>
<b>Amendement (Digestat)</b>	Masse (kgMF/ha/an)	26667
	Concentration (mg/kgMF)	0,03
	<b>Flux (g/ha/an)</b>	<b>0,80</b>
<b>Récolte</b>	Masse (kgMS/ha/an)	
	Concentration (mg/kgMS)	
	<b>Flux (g/ha/an)</b>	<b>0,17</b>
<b>Lixiviation</b>	Volume (mm)	209
	Concentration (µg/L)	0,008
	<b>Flux (g/ha/an)</b>	<b>0,016</b>
<b>Entrées</b>	g/ha/an	1,23
	mmol/ha/an	10,9
<b>Sorties</b>	g/ha/an	0,18
	mmol/ha/an	1,64
<b>Bilan</b>	g/ha/an	<b>1,04</b>
	mmol/ha/an	<b>9,3</b>

## Annexe 10. Dynamique du cadmium dans les sols et les plantes

*De l'engrais à la plante : quelle dynamique du cadmium dans le sol ?*

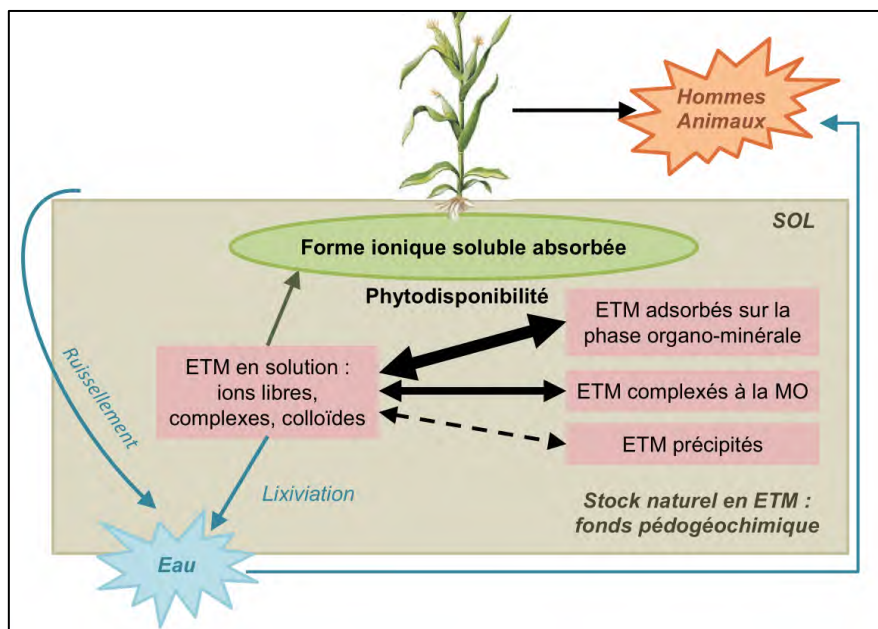
[...] Le lien n'est pas direct entre le cadmium de l'engrais et celui retrouvé dans la plante cultivée : le cadmium passe toujours par le sol, sorte de garde-manger dont on entretient les réserves. Le cadmium et le phosphore se dissolvent dans l'eau du sol, se collent sur les particules de sol — argile, oxydes de fer, humus — et restent là. Ils y sont en équilibre, avec une petite concentration dans la solution du sol, dans laquelle la racine va puiser pour absorber les éléments pour se nourrir : le phosphore, dont elle a besoin ; mais aussi, par inadvertance, le cadmium, qui est inessentiel. Dans le sol français, il est en moyenne présent à hauteur de 0,32 mg/kg de terre, alors que dans le grain de blé on le retrouve en moyenne à hauteur de 0,03 mg/kg : la plante agit comme un filtre.

Les plantes accumulent plus ou moins le cadmium selon l'espèce ou la variété. C'est génétiquement déterminé. Le blé est dans la moyenne en la matière. Le blé dur a d'ailleurs tendance à en accumuler davantage que le blé tendre, panifiable.

Le cadmium dans le sol, c'est un ion  $CD^{2+}$ , chargé positivement. L'humus est composé de molécules organiques issues de la décomposition de matières végétales, de compost, de fumier, d'engrais organiques, transformées par la microflore du sol : elles sont chargées négativement. Plus vous en ajoutez, plus vous avez tendance à favoriser le "collage électrostatique" du cadmium sur l'humus du sol. Cela limite son passage dans la solution du sol, et donc son absorption par les racines des plantes. Comme les agriculteurs apportent beaucoup de matière organique en bio, surtout en maraîchage, la migration du cadmium vers les plantes est moindre. Je ne sais pas si c'est si vrai pour les céréales, en grandes cultures, sachant que l'on dispose de fumier et autres amendements organiques en quantités limitées. Ce sujet mériterait d'être étudié.

Thibault Sterckeman. Exposition au cadmium : que peuvent faire artisans, agriculteurs ou consommateurs ?  
La Toque magazine. Juillet 2025.

*Les principaux processus intervenant dans le devenir des contaminants minéraux dans l'environnement*



INRA-CNRS-Irstea. Expertise scientifique collective - Valorisation des matières fertilisantes d'origine résiduaire sur les sols à usage agricole ou forestier - Impacts agronomiques, environnementaux, socio-économiques. 2014.

[...] La fraction d'ETM potentiellement absorbable ou assimilable à un instant donné, dénommée fraction biodisponible, varie selon la nature de la Mafor et du sol récepteur, et avec le temps. La biodisponibilité d'un ETM ne peut être simplement déduite de sa mobilité. Elle dépend de la forme chimique sous laquelle l'élément se trouve dans la Mafor lors de l'épandage (spéciation de

l'élément) mais aussi de son interaction avec la phase solide (sorption, complexation) du sol. Pour les plantes, il faut également tenir compte des modifications de la mobilité et de la biodisponibilité des ETM par le sol récepteur, ainsi que de la localisation de la Mafor par rapport au système racinaire (épandage en surface, enfouissement).

Des cas d'augmentations des concentrations dans les plantes sont observés pour les ETM les plus mobiles (Zn, Cd, B, Mo et Co), mais en conditions favorables à cette mobilité : sol acide, faible CEC, apports élevés de Mafor. En revanche, en conditions défavorables à la mobilité des ETM, les augmentations dans les plantes ne sont pas observées.

INRA-CNRS-Irstea. Expertise scientifique collective - Valorisation des matières fertilisantes d'origine résiduaire sur les sols à usage agricole ou forestier - Impacts agronomiques, environnementaux, socio-économiques. 2014.

### Principaux facteurs favorisant potentiellement le transfert des ETM du sol vers la plante

<b>ETM</b>	Forte mobilité dans le sol et la plante (Cd, Zn, As, Cu, B par exemple)
<b>Sol et Mafor</b>	Richesse du substrat en ETM
	pH bas, pour les cations (Cd, Pb...) ; pH élevé, pour les anions (As, B, Se...)
	Peu de phases sorbantes et complexantes (matière organique, argiles, oxydes, carbonates)
	Rapport entre éléments : ex : Cd/Zn élevé
<b>Plante</b>	Espèces ou variétés fortement accumulatrices (tournesol, laitue, blé dur pour le Cd)
	Nature de l'organe : Racines > feuilles, tiges > fruits/grains
<b>Pratiques</b>	Enfouissement des Mafor dans la zone d'enracinement maximale
	Apport d'intrants modifiant la phytodisponibilité : action sur le pH (acidifiant pour les cations, alcalinisant pour les anions), apport de ligand formant des complexes labiles avec les ETM (par exemple les chlorures avec Cd)

INRA-CNRS-Irstea. Expertise scientifique collective - Valorisation des matières fertilisantes d'origine résiduaire sur les sols à usage agricole ou forestier - Impacts agronomiques, environnementaux, socio-économiques. 2014.

### Apport moyen de cadmium avec application d'engrais P et prélèvement de Cd pour chaque culture et trois scénarios contrastés

Crop	P fertilizer input				Offtake		
	CPA <sub>L12</sub>	GPEU <sub>L12</sub>	OAEU <sub>L12</sub>	CPA <sub>L12</sub> -GPEU <sub>L12</sub>	CPA <sub>L12</sub>	GPEU <sub>L12</sub>	OAEU <sub>L12</sub>
	g Cd ha <sup>-1</sup> year <sup>-1</sup>				% CPA <sub>L12</sub>	g Cd ha <sup>-1</sup> year <sup>-1</sup>	
Barley	1.53	0.33	0.23	78.5	0.49	0.47	0.35
Durum wheat	1.43	0.58	0.45	59.3	0.85	0.82	0.62
Field pea			0.49				0.11
Forage maize	1.28	0.52	0.38	59.5	2.81	2.69	2.03
Grain maize	2.09	0.62	0.48	70.1	0.32	0.31	0.23
Rape	1.89	0.69	0.51	63.6	0.15	0.14	0.11
Sugar beet	2.40	1.05	0.82	56.2	11.40	10.97	8.27
Sunflower	1.22	0.03	0.50	97.6	0.95	0.92	0.69
Triticale	0.71	0.22	0.16	69.3	0.26	0.25	0.19
Wheat	1.02	0.40	0.30	60.4	0.33	0.32	0.24

Source : Thibault Sterckeman, Lucas Gossiaux, Sophie Guimont, Catherine Sirguy, Zhongbing Lin. Cadmium mass balance in French soils under annual crops: Scenarios for the next century. *Sci. Total Environ.* 639. 2018. Corrigendum *Sci. Total Environ.* 650. 2019.

Au niveau national, les cultures les plus riches en apports de cadmium sont la betterave sucrière, le maïs grain et le colza, qui reçoivent la plus forte fertilisation en P, tandis que celles qui exportent le plus le métal sont la betterave sucrière, le maïs fourrager, le tournesol et le blé dur.

### Étude du transfert de cadmium du sol vers la plante par marqueurs isotopiques

[...] Cette étude examine le sort du cadmium (Cd<sub>diff</sub>) dérivé des engrais P dans les systèmes sol-blé en utilisant une nouvelle combinaison de bilans de masse d'isotopes stables enrichis de Cd, d'extractions séquentielles et de modèles bayésiens de mélange d'isotopes.

Dans le sol neutre, les concentrations de cadmium dans le sol et le blé ont augmenté avec l'augmentation des taux d'application d'engrais minéraux P dans le passé. Ce n'était pas le cas dans le sol fortement acide. Moins de 2,3 % du Cd<sub>diff</sub> fraîchement appliqué a été absorbé par la plante de blé entier. La majeure partie du Cd<sub>diff</sub> est restée dans le sol et a été principalement (> 95 % du Cd<sub>diff</sub> fraîchement appliqué) divisée en la fraction soluble de l'acide acétique (F1) facilement mobilisable et la fraction réductible potentiellement mobile (F2).

Le pH du sol était le facteur déterminant pour la répartition du Cd<sub>diff</sub> en F1, comme le révèle une récupération d'environ 40 % du Cd<sub>diff</sub> fraîchement appliqué dans F1 dans le sol à pH neutre, contre environ 60 % dans le sol fortement acide. Les modèles de mélange d'isotopes ont montré que F1 était la source prédominante de cadmium pour le blé sur les deux sols et qu'elle contribuait à plus de 80 % du cadmium absorbé par le blé. En retraçant le devenir du Cd<sub>diff</sub> dans des systèmes sol-plante entiers à l'aide de différentes approches de traçage des sources d'isotopes, nous montrons que la majorité du Cd<sub>diff</sub> reste mobilisable et est potentiellement disponible pour les plantes dans le cycle de culture suivant.

Les concentrations de cadmium dans le sol ont augmenté avec l'augmentation des taux d'engrais minéraux P dans le sol neutre, mais pas dans le sol fortement acide.

Seule une petite part (moins de 2,3 %) du Cd<sub>diff</sub> fraîchement appliqué a été absorbée par la plante de blé. Plus de 97,7 % du Cd<sub>diff</sub> fraîchement appliqué est resté dans le sol.

Le Cd<sub>diff</sub> resté dans le sol était principalement (plus de 95 % du Cd<sub>diff</sub> appliqué) divisé en fractions solubles (F1) et réductibles (F2) de l'acide acétique. Cd<sub>diff</sub> divisé en F1 est considéré comme facilement mobilisable et potentiellement disponible.

Les modèles de mélange bayésiens ont montré que plus de 80 % du cadmium présent dans les pousses provenait de F1, confirmant ainsi la forte disponibilité végétale potentielle du Cd<sub>diff</sub> réparti en F1.

Le pH du sol était le facteur déterminant pour la répartition de Cd<sub>diff</sub> en F1. Le rôle du pH du sol a été mis en évidence par une récupération de Cd<sub>diff</sub> d'environ 40 % de Cd<sub>diff</sub> fraîchement appliqué en F1 dans le sol neutre contre environ 60 % dans le sol fortement acide.

Le Cd<sub>diff</sub> fraîchement appliqué reste mobilisable et potentiellement disponible pour le cycle de culture suivant.

Christoph Bracher, Emmanuel Frossard, Moritz Bigalke, Martin Imseng, Jochen Mayer, Matthias Wiggerhauser.  
Tracing the fate of phosphorus fertilizer derived cadmium in soil-fertilizer-wheat systems using enriched stable isotope labeling.  
Environmental Pollution 287. 2021.

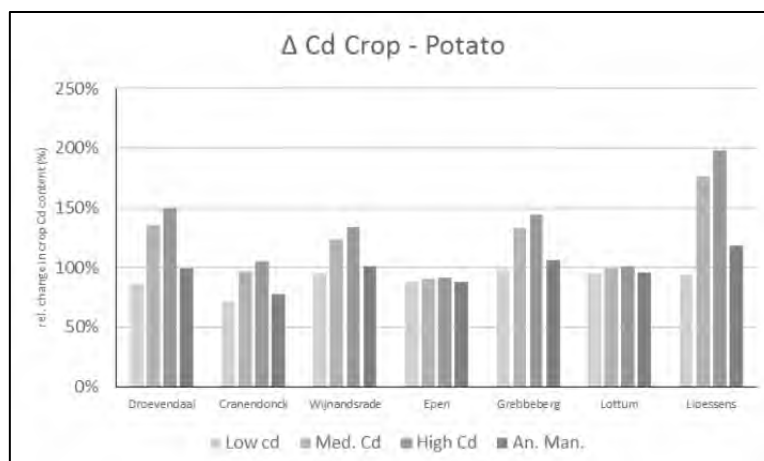
### *Étude en serre des transferts de cadmium des engrais vers les plantes*

[...] Pour déterminer si les niveaux de métaux dans les engrais affectent ou non l'absorption du cadmium et d'autres métaux par les cultures agricoles, une étude en serre a été réalisée pour mesurer l'absorption du cadmium et d'autres métaux provenant de 7 sols différents traités avec soit des engrais minéraux avec des niveaux croissants de cadmium et un type de fumier animal (fumier de bétail). Les résultats montrent qu'il n'y a pas de différence significative dans l'absorption du cadmium ni sur d'autres métaux lorsque l'engrais P est utilisé avec des niveaux de cadmium variant entre 0,04 et 60 mg Cd/kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Les différences dans les propriétés du sol (par exemple, l'acidité et la teneur en matière organique), combinées à la teneur en cadmium du sol, contrôlent la variation à court terme (1 cycle de récolte) des concentrations de cadmium dans les cultures.

Les effets varient fortement selon le type de sol et la culture : les légumes à feuilles montrent des réductions ou augmentations plus marquées que, par exemple, la pomme de terre, et les sols sableux légèrement acides sont particulièrement sensibles. Les engrais de type fumier conduisent en moyenne à des teneurs plus faibles en cadmium dans les cultures que les engrais minéraux riches en cadmium.

Paul Römkens, René Rietra, Hans Kros, Jan Cees Voogd, Wim de Vries. Impacts of cadmium levels in fertilisers on cadmium accumulation in soil and uptake by food crops. Wageningen University and Research 2018.

### Exemple de simulation à partir de résultats en serre des teneurs en cadmium dans les pommes de terre en différentes situations



Paul Römken, René Rietra, Hans Kros, Jan Cees Voogd, Wim de Vries. Impacts of cadmium levels in fertilisers on cadmium accumulation in soil and uptake by food crops. Wageningen University and Research 2018.

### Mécanismes de prélèvement racinaire du cadmium

[...] Prédire le prélèvement du cadmium par la plante s'est imposé dès le début, dans le contexte de la production alimentaire comme dans celui de la phytoextraction du métal pour la remédiation des sols. Le Laboratoire sol et environnement (LSE) a choisi de la traiter à partir d'une modélisation mécaniste, envisagée à la fois comme outil de recherche pour tester des hypothèses que comme, à terme, outil d'aide à la décision. Dans cette approche, il a bénéficié de la collaboration de Christian Moyne du LEMTA (UL - CNRS) et de l'équipe BIONET de l'unité ISPA (INRAE à Bordeaux). La modélisation du prélèvement racinaire a été envisagée comme un transport réactif par diffusion et convection dans le voisinage des racines (la rhizosphère). Elle a montré que la spéciation dynamique du cadmium dans la rhizosphère, et notamment sa complexation par les ligands organiques était primordiale pour prévoir son prélèvement par les racines. Le cadmium étant principalement absorbé sous sa forme cationique ( $Cd^{2+}$ ), sa complexation par certains composés organiques réduit normalement la disponibilité du métal pour les racines, mais de façon variable, selon la capacité du complexe à se dissocier au voisinage des racines. En outre, on ne peut exclure que dans certaines situations, la complexation augmente le prélèvement de cadmium par la plante. La capacité des molécules exsudées par les racines à réagir avec le cadmium fait l'objet des recherches actuelles, tant théoriques qu'expérimentales. C'est ainsi que le LSE est parti à la recherche des ligands du cadmium en empruntant une approche métabolique des exsudats racinaires.

Source : INRAE et Université de Lorraine – Laboratoire sol et environnement.  
<https://lse.univ-lorraine.fr/article/actualites-cadmium-dans-les-sols-les-travaux-du-lse-sur-ce-metal-lourd-toxique>

### Les difficultés à mesurer le lessivage réel du cadmium

[...] Une évaluation rigoureuse du bilan massique du cadmium dans les sols (Cd) dans les sols agricoles nécessite des données précises sur le lessivage du cadmium. Les concentrations de cadmium rapportées lors d'études in situ sont souvent inférieures d'un ordre de grandeur à celles prédites par les modèles empiriques, calibrés à partir des données d'eau interstitielle de sols stockés. On suppose que cet écart est lié à l'écoulement préférentiel de l'eau (non-équilibre) et/ou aux artefacts causés par l'assèchement et la réhumidification des sols avant l'analyse de l'eau interstitielle.

L'incubation a augmenté le cadmium de l'eau interstitielle d'un facteur 4, en moyenne, et jusqu'à un facteur 16. Cette augmentation était statistiquement liée à la diminution du pH de l'eau interstitielle et à



l'augmentation du nitrate, toutes deux principalement liées à la nitrification induite par l'incubation. Après correction des deux facteurs, l'augmentation du cadmium était également la plus élevée à une teneur en Ca plus élevée dans l'eau interstitielle. Cela suggère qu'une teneur en Ca plus élevée dans le sol élargit les gradients de concentration en cadmium entre les classes de pores dans les sols frais du champ.

Les prédictions ont dépassé les observations jusqu'à un facteur 30 pour les eaux interstitielles fraîches, mais correspondaient bien à celles des sols incubés.

Nos résultats démontrent que les modèles empiriques doivent être recalibrés avec des données d'eau interstitielle fraîche sur le terrain pour établir des bilans de masse précis du cadmium dans le sol dans les évaluations des risques.

Benoit Bergen, Claudia Moens, Eriil Smolders. Les concentrations de cadmium dans les eaux interstitielles peuvent augmenter considérablement pendant l'incubation du sol : artefacts ayant des conséquences sur les limites de cadmium dans les engrais. Sci Total Environ 941. Septembre 2024.

### *Quelques éléments sur l'accumulation du cadmium par les plantes*

[...] Plusieurs études ont été réalisées dans le monde pour recenser les niveaux de contaminations des productions de grande culture (céréales et oléagineux) en conditions d'agriculture classique, non soumise à des pollutions identifiées. Ces études montrent que, dans la plupart des cas, les valeurs moyennes ou médianes sont inférieures aux valeurs actuellement réglementées en Europe pour l'alimentation humaine (EC 1881/2006 : 0,2 mg/kg MF pour le blé, le riz et le soja, 0,1 mg/kg MF pour les autres céréales). Par contre, les maximas sont systématiquement supérieurs à ces valeurs sauf pour l'avoine dans l'étude finlandaise, le blé dans l'étude française et le maïs doux.

De nombreuses études ont montré des différences de prélèvement de cadmium entre différentes espèces végétales. Un classement des capacités d'accumulation des différentes familles végétales (Kuboi et al., 1986) a permis de distinguer les familles peu accumulatrices (Légumineuses), les familles modérément accumulatrices (Graminées, Liliacées, Cucurbitacées et Ombellifères) et les familles fortement accumulatrices (Chénopodiacées, Crucifères, Solanacées, Composées). Le cadmium s'accumule généralement plus dans les racines, puis les feuilles, les tiges et enfin les grains ou graines.

Les espèces de grande culture considérées comme les plus accumulatrices en cadmium dans leurs grains ou graines sont le tournesol, le lin, le riz et le blé dur. La moins accumulatrice semble être le maïs.

Des différences importantes s'expriment entre différentes variétés d'un même végétal. Les différences d'accumulation mesurées sont au minimum d'un facteur 2 et elles peuvent aller jusqu'à 12 dans le cas d'une étude particulièrement exhaustive conduite en Chine sur l'orge, espèce plutôt accumulatrice de cadmium. Ces différences ne semblent pas constantes en fonction des sols. Plusieurs pays ont déjà sélectionné des variétés de blé dur ou de blé tendre à faible teneur en cadmium (Clarke et al., 2009 a et b, Grant et al., 2008, Kubo et al., 2008).

Pour une même variété de blé et un même site, il apparaît très clairement des différences d'accumulation de cadmium dans les grains entre les années, d'un facteur 2 à 3. Il est possible que ces différences soient liées à des années climatiques particulières puisque le prélèvement du cadmium par le blé augmente lorsque le flux de transpiration du végétal augmente (Tani et Barrington, 2005).

Il a été démontré par de nombreuses études qu'il n'y a aucun lien direct entre la teneur totale en cadmium du sol et la concentration dans les végétaux, notamment les concentrations dans les grains de céréales ou les graines oléagineuses (McLaughlin et Singh, 1999, Grant et al., 1998) comme le montre la figure ci-dessous. En effet, pour qu'un élément soit assimilé par une plante, il faut qu'il soit biodisponible et qu'il passe en solution.

Il n'est donc pas possible d'utiliser des cartes de teneurs totales pour en déduire des risques de transferts et de contamination des cultures. Le passage en solution du cadmium va se faire sous l'influence de différents facteurs, dont le plus important est le pH. Ceci est dû à l'effet du pH sur la mobilité du cadmium : plus le pH est acide, plus le cadmium aura tendance à passer de la matrice solide du sol vers la solution du sol, dans laquelle les racines puisent les éléments traces. Mais

des teneurs élevées en cadmium dans les grains de blé ont également été retrouvées dans certains sols alcalins (Sappin-Didier et al., 2002), sans qu'aucune explication n'ait pu être trouvée.

La teneur en matière organique du sol a aussi une influence sur la biodisponibilité : plus un sol est organique, moins les métaux, dont le cadmium, auront tendance à passer en solution.

Pour prédire les concentrations dans les grains, d'autres auteurs utilisent des régressions multiples avec des facteurs du sol tels que le pH, la CEC, la teneur en matière organique (Adams et al. 2004). Mais ces relations n'expliquent souvent que moins de 50 % de la variabilité lorsque les jeux de données sont importants.

De nombreuses études ont montré qu'une augmentation de pH suite à un chaulage conduisait à une diminution de la biodisponibilité et une diminution du prélèvement par les végétaux (Krebbs et al., 1998 ; Tyler and Olsson, 2001). Les résultats sont clairs si on s'intéresse à des productions végétales de type « feuilles » telles que la laitue ou l'épinard (Lehoczy et al, 2000). Par contre, pour les céréales, les résultats sont moins nets (Hooda et Alloway, 1996): la diminution de concentration dans les grains est soit faible (Oliver et al., 1996) soit non significative. De plus, il existe très peu d'études conduites en plein champ sur des sols agricoles non contaminés.

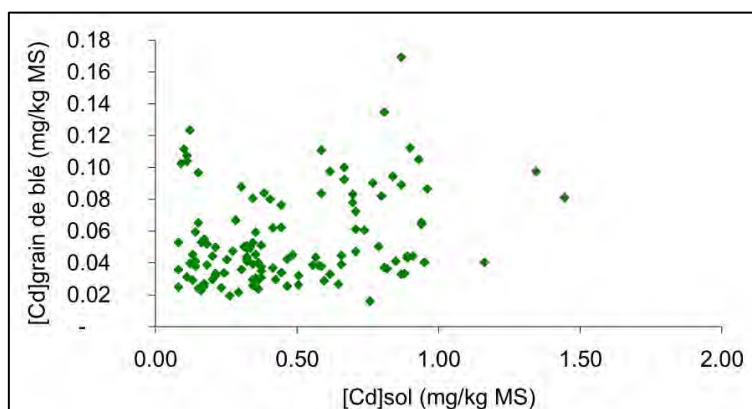
L'apport de matières organiques va avoir une influence sur la mobilité du cadmium et va avoir tendance à diminuer sa biodisponibilité. Ainsi, des apports de fumiers, lisiers ou boues vont contribuer à piéger le cadmium. Cet effet est notable dans le cas de sols fortement contaminés (Ram et Verloo, 1985) mais beaucoup plus faible dans le cas de sols agricoles non contaminés (Narwal et Singh, 1998). Là encore, les essais en plein champ sont rares.

L'apport de phosphate au sol va conduire à un apport de cadmium, puisque celui-ci est présent en impuretés dans ce fertilisant, en quantité non négligeable et dépendant de la provenance de la roche phosphatée. Un apport répété de phosphate conduit à une augmentation modérée de la concentration en cadmium dans les sols. Par contre, les effets sur les végétaux sont moins clairs. Sauf dans les cas de phosphates fortement contaminés (He and Singh, 1995), il n'a pas pu être démontré un effet notable sur l'accumulation dans les végétaux de grande culture (Grant et al., 1999).

L'apport de fertilisant azoté ou phosphaté peut conduire à une augmentation du prélèvement de cadmium liée à une augmentation de la mobilité du métal sous l'effet de l'augmentation de la force ionique en solution ou d'une modification du pH du sol (Choudhary et al. 1994, Grant et al., 1996 , Mitchell et al., 2000).

Source : Laurence Denaix, Christophe Nguyen, Valerie V. Sappin-Didier, Andre Schneider. Synthèse sur la contamination en cadmium des productions végétales de grandes cultures. 2010.

#### *Comparaison entre les teneurs totales de cadmium dans les sols et les teneurs dans le grain de blé (variété Trémie) pour l'étude QUASAR (d'après Sappin-Didier et al., 2002)*



Source : Laurence Denaix, Christophe Nguyen, Valerie V. Sappin-Didier, Andre Schneider. Synthèse sur la contamination en cadmium des productions végétales de grandes cultures. 2010.

## Niveau de contamination en cadmium mesuré dans des grains ou graines récoltés en plein champ

Végétal	Origine de l'étude	n	Unité	Année(s)	Minimum	Maximum	Moyenne	Médiane	Auteur(s)
Blé tendre	Pays Bas	84	mg/kg MF	1976-1977	0.02	0.35	0.07	0.06	Wiersma et al., 1986
	USA	288	mg/kg MF		<0.0017	0.207	0.043	0.030	Wolnik et al., 1983
	Grande-Bretagne	242	mg/kg MS	1982	0.016	0.18	0.052	0.045	Chaudri et al., 1995
		369		1992	0.008	0.27	0.042	0.035	
	330		1993	0.004	0.31	0.038	0.034		
	France	128	mg/kg MS	1998	0.015	0.169	0.054	0.045	Sappin-Didier et al., 2002
Blé dur	France		mg/kg MS	1997-1999				0.108-0.196 <sup>1</sup>	Baize et al., 2003
Orge	Pays Bas	45	mg/kg MF	1976-1977	0.01	0.54	0.13	0.11	Wiersma et al., 1986
	Finlande	47	mg/kg MF		0.004	0.037	0.021	-	Varo et al., 1980
Avoine	Pays Bas	39	mg/kg MF	1976-1977	0.03	0.22	0.09	0.08	Wiersma et al., 1986
	Finlande	36	mg/kg MF		0.004	0.068	0.041	-	Varo et al., 1980
Riz	USA	166	mg/kg MF		<0.001	0.23	0.012	0.0045	Wolnik et al., 1985
Soja	USA	322	mg/kg MF		0.02	1.11	0.059	0.041	Wolnik et al., 1983
Maïs doux	USA	268	mg/kg MF		<0.0001	0.039	0.0031	0.0017	Wolnik et al., 1983
Maïs grain	USA	277	mg/kg MF		<0.001	0.32	0.012	0.0035	Wolnik et al., 1985
Maïs ensilage	Pays Bas	46	mg/kg MS	1976-1977	0.14	6.8	0.43	0.24	Wiersma et al., 1986

Source : Laurence Denaix, Christophe Nguyen, Valerie V. Sappin-Didier, Andre Schneider. Synthèse sur la contamination en cadmium des productions végétales de grandes cultures. 2010.

### La prédiction des teneurs en cadmium dans les grains de blé grâce à Bléssûr

[...] Bléssûr a été développé par l'unité de recherche Ispa (INRAE, Bordeaux) et ARVALIS Institut du végétal avec le soutien financier de l'Agence Nationale pour le Recherche (ANR, projet Cadon ANR 15-CE21-0001-04 et programme d'investissements d'avenir au sein du LabEx COTE ANR-10-LABX-45).

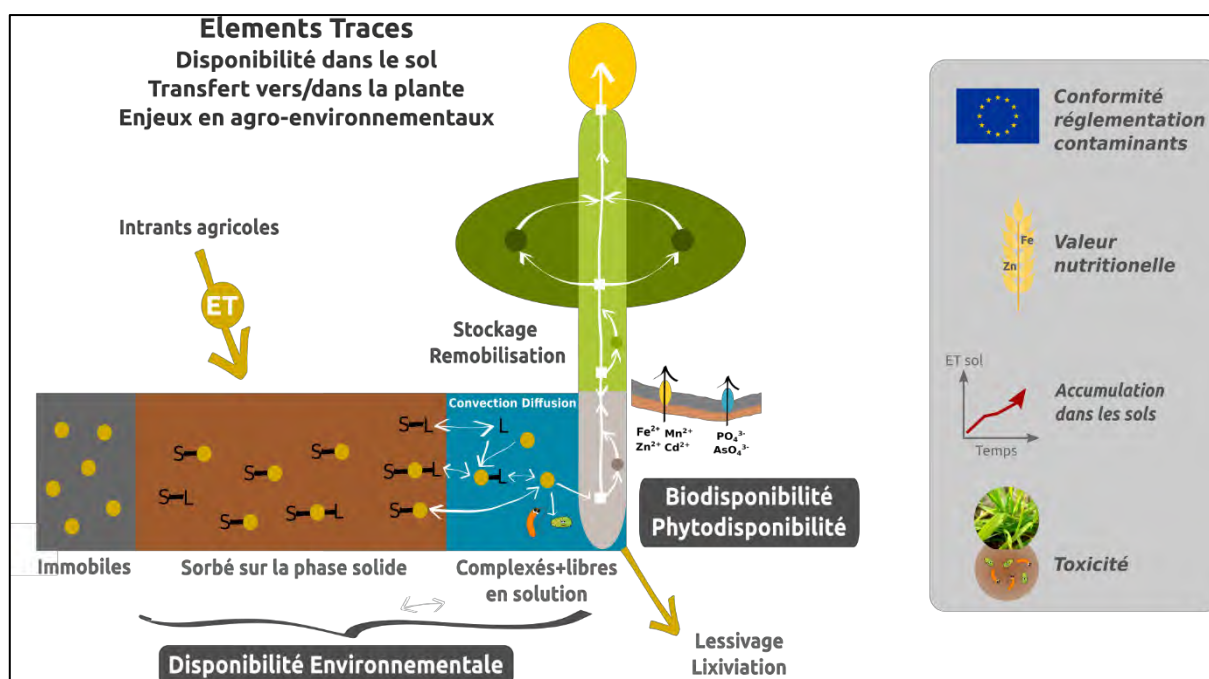
Bléssûr est un ensemble de modèles qui ont été développés lors de travaux de recherche conduits conjointement par l'INRAE de Bordeaux et ARVALIS Institut du végétal. Il s'agit de modèles statistiques employant les méthodes d'apprentissage automatique récentes ('machine learning'). Ces modèles ont pu être calibrés à partir de l'analyse de plusieurs centaines d'échantillons de terre et de grains prélevés chez des agriculteurs dans différents bassins de productions du blé dur en France.

Les contaminants métalliques que l'on retrouve dans les grains de blé proviennent de l'absorption par les racines de la fraction phytodisponible des métaux qui se trouvent naturellement dans les sols. La fraction phytodisponible des contaminants métalliques traités par Bléssûr est fortement déterminée par le pH du sol, sa teneur en matière organique et sa texture. L'intensité de l'accumulation dépend également des caractéristiques génétiques de la variété.

Les performances de prédictions de Bléssûr ont été testées sur des échantillons indépendants qui n'ont pas servi à calibrer les modèles. En moyenne, pour le cadmium, Bléssûr détecte plus de 80 % des cas de non-conformité pour le cadmium.

La plante absorbe les ET généralement sous la forme d'ion libre ( $Cd^{2+}$ ,  $Pb^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ , etc..), dont la concentration à la racine est régie par de nombreux mécanismes en interaction, qui sont les mêmes pour les contaminants et les oligoéléments. Ces mécanismes sont : le transport vers la racine par diffusion et advection avec l'eau absorbée par la plante, la complexation des ET en solution avec

des ligands organiques ou inorganiques, la sorption sur la phase solide avec des énergies de liaison variables, la précipitation/dissolution, l'oxydoréduction. L'humidité du sol, sa teneur en argiles, limons et oxyhydroxydes de fer, d'aluminium, de manganèse, sa teneur en matière organique, la nature de cette dernière et la présence de cations compétiteurs dont le proton (pH) sont les facteurs majeurs influant la disponibilité des ET. La teneur totale d'un sol en ET n'est donc généralement pas suffisante pour prédire la biodisponibilité qui est un phénomène complexe. La grande majorité de l'absorption des ET par les plantes se fait par le système racinaire. L'absorption foliaire est limitée sauf en cas de fertilisation foliaire. L'absorption racinaire des ET peut être passive mais la majorité est assurée par des canaux ou transporteurs cellulaires dont le manque de spécificité conduit à ce que les contaminants soient également absorbés (Clemens et Ma, 2016). Une fois dans la plante les ET circulent dans la sève brute par la transpiration et dans la sève élaborée avec les photoassimilats. Un certain nombre de transporteurs de métaux régissent l'homéostasie des ET dans les différents tissus de la plante en fonction des besoins physiologiques pour les oligo-éléments. À nouveau, le manque de spécificité des transporteurs contribue à distribuer les contaminants dans toute la plante mais des mécanismes de régulation assurent de les tenir en grande partie à l'écart des compartiments sensibles notamment par séquestration dans les vacuoles. Les racines sont un organe important de séquestration expliquant que les teneurs des contaminants et de certains oligoéléments suivent généralement une hiérarchie racines>feuilles+tiges>fruit, graines (Clemens, 2019).



[...] Les contaminants se retrouvent donc dans les organes consommés et l'enjeu agronomique est de réduire ces teneurs sans pénaliser la nutrition de la culture pour les oligo-éléments. Pour cela, on peut agir sur la disponibilité des ET dans le sol et sur le végétal. L'action sur le sol est limitée car les ET ne se dégradent pas (ce sont des éléments chimiques et non des molécules), et il est difficile d'appauvrir rapidement un sol en ET pour le décontaminer. Il faut donc intervenir sur la disponibilité en surveillant la qualité des intrants et en surveillant la variable la plus importante, le pH, qui doit être neutre à légèrement alcalin et surtout pas en dessous de 6.5. On le corrigera donc et on évitera les engrais acidifiants, comme les engrais ammoniacaux. On peut aussi apporter de la matière organique qui complexe les ET mais son effet dépend de sa nature et est plus difficile à prévoir (McLaughlin et al., 1999).

Les leviers d'actions sur le sol sont donc limités et le levier le plus facile est d'intervenir sur le végétal en évitant de cultiver sur un sol à risque, des espèces végétales et des variétés qui ont un fort potentiel d'accumulation des ET contaminants. Pour une disponibilité du sol en ET donnée, l'accumulation dans la plante dépend de l'espèce et du cultivar (variété). Par exemple, au niveau de l'espèce, Broadley et al. (2001) a établi le classement suivant pour la teneur moyenne en cadmium des parties aériennes (feuilles + tiges) : avoine = pois < soja < blé tendre = carotte <

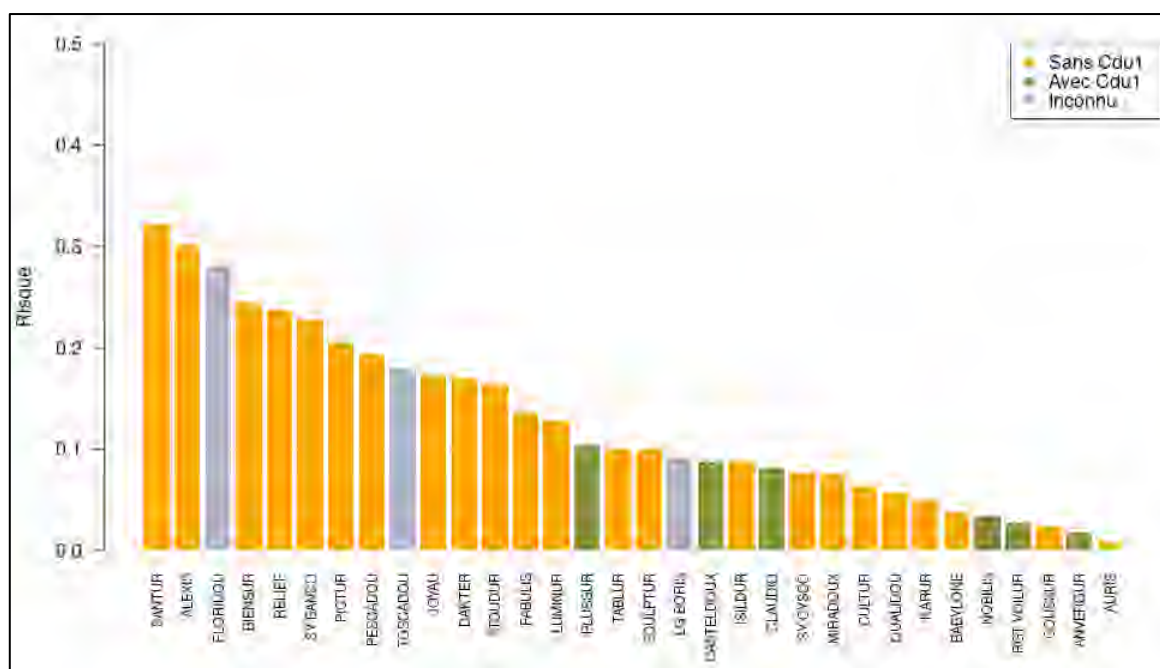
tomate = maïs < radis < colza < épinards < tabac < blé dur. Au sein des céréales, le blé dur est l'espèce la plus accumulatrice de cadmium. Il existe une variabilité génétique d'accumulation du cadmium entre les variétés de blé dur. L'accumulation du Cd dans les grains varie en moyenne d'un facteur 3 entre les variétés les moins accumulatrices et celles qui le sont le plus. Une grande partie de cette variabilité est liée au gène *Cdu1* qui renforce la séquestration du cadmium dans les racines (pour être précis, il s'agit d'un allèle du gène).

Au Canada, premier producteur mondial de blé dur, lorsque les discussions sur les réglementations de teneur en Cd du blé ont été engagées dans les années 90, un programme de sélection variétale a été conduit pour produire des variétés peu accumulatrices. Il a été ainsi identifié un gène *Cdu1* qui favorise la séquestration du Cd dans les racines et qui réduit d'un facteur de 2 à 3 l'allocation du Cd aux parties aériennes et donc aux grains (Grant et al., 2008 ; Maccaferri et al., 2019).

Le règlement européen EC1881/2006 fixant la teneur maximale de certains aliments en contaminants minéraux dont le cadmium a fait l'objet de plusieurs projets de révision vers des seuils plus bas, notamment pour le blé dur qui accumule plus fortement le cadmium que le blé tendre. Le seuil en vigueur de 0,2 mg Cd/kg blé dur aurait dû être ainsi abaissé à 0,1 mg/kg. Les travaux que nous avons conduits avec ARVALIS-Institut du Végétal montrent que plus de 20 % des parcelles en blé dur n'auraient pas été conformes. Face à cette menace pour la filière, de nouvelles discussions ont abouti à des propositions de seuils de 0,15 (8 % de taux de rejets) puis 0,175 mg/kg (5,4 % de rejets). En 2014, le projet de révision du seuil pour le blé dur avait été abandonné au profit de recommandations pour diminuer la contamination. Mais en août 2021, le seuil est finalement abaissé de 0,2 à 0,18 mg/kg (EC1323/2021). Il est alors estimé qu'en moyenne, environ 5 % des parcelles de blé dur françaises seraient non conformes, avec des taux plus élevés qui pourraient atteindre 15-20 % dans certains départements où la biodisponibilité du cadmium dans les sols est plus importante.

Bléssûr - <https://ispa.bordeaux.inra.fr/services/blesur/>

### Classement des variétés de blé dur selon leur capacité à accumuler les ETM

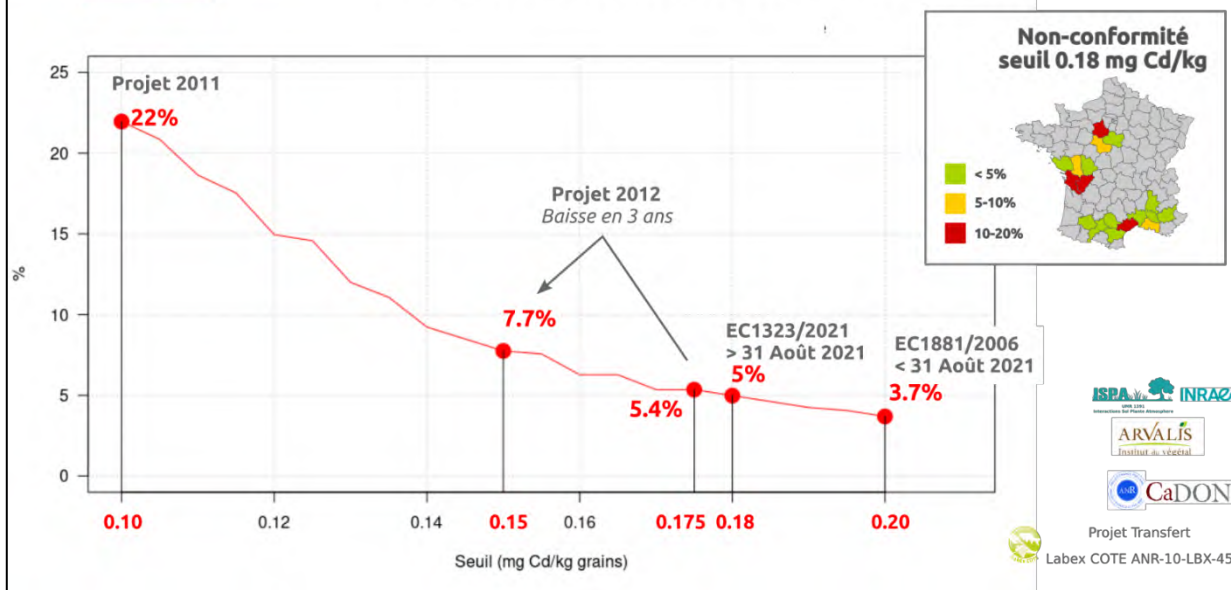


Les variétés sont classées selon la fréquence prédite de dépassement des seuils de 0,18 mg Cd/kg, pour plus de 250 sols couvrant le bassin de production français.

Bléssûr - <https://ispa.bordeaux.inra.fr/services/blesur/>



## Non-conformité des parcelles Françaises de blé dur aux seuils réglementaires pour le Cd

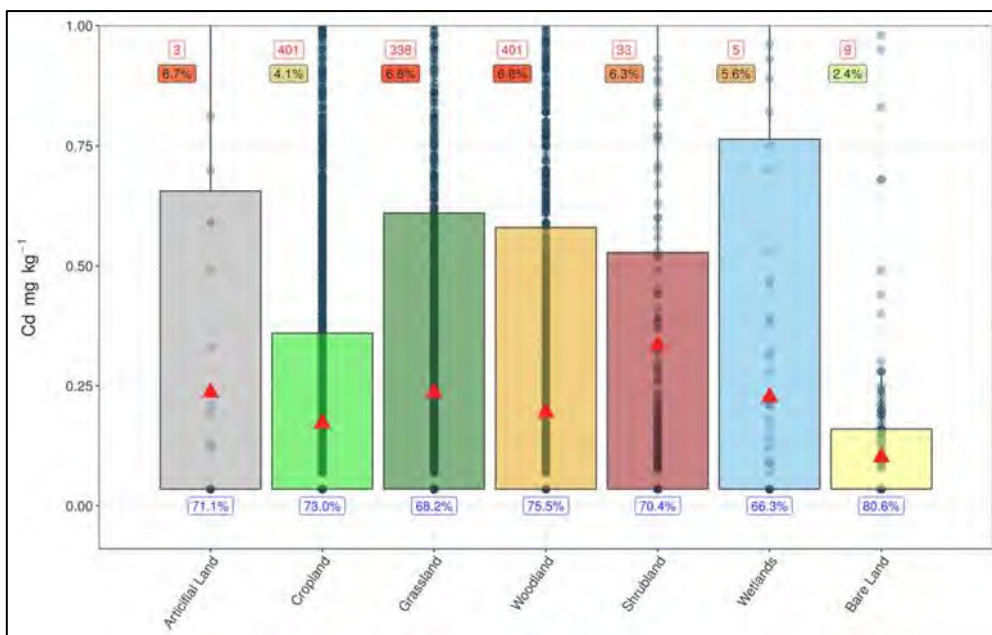


Bléssûr - <https://ispa.bordeaux.inra.fr/services/blesur/>

# Annexe 11. Mesures du cadmium dans les sols

## Annexe 11.1. En Europe : le réseau LUCAS Soil

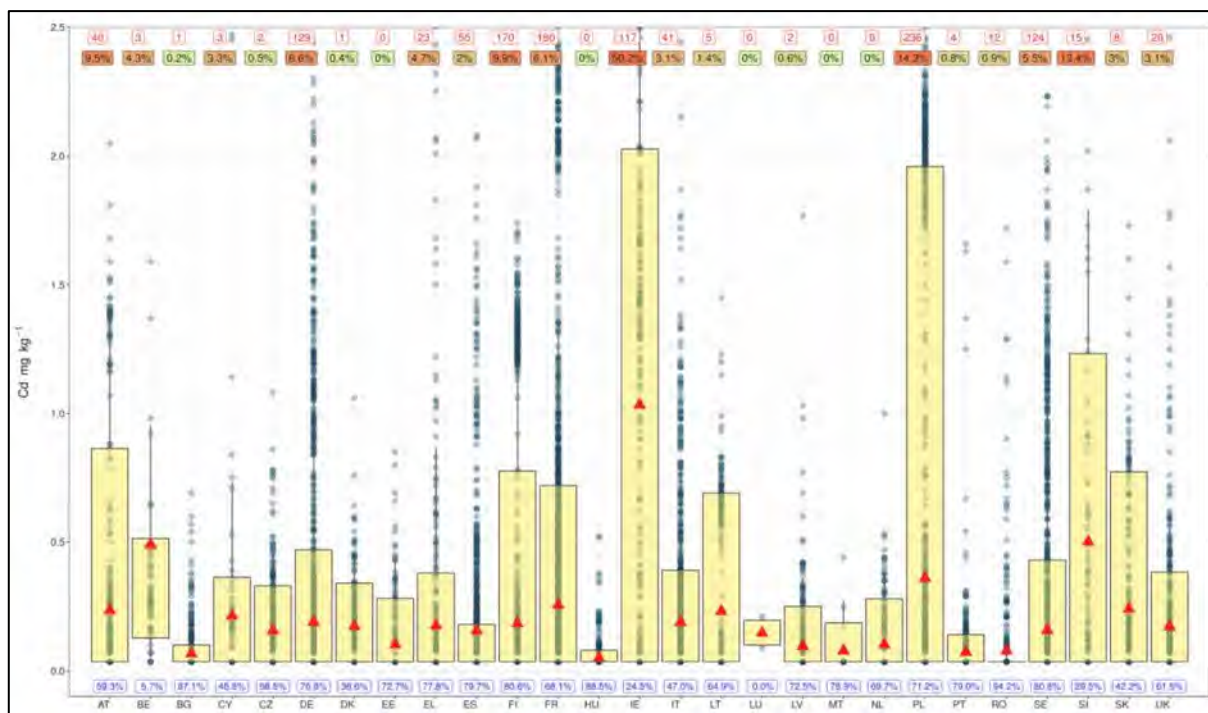
Concentration de cadmium par groupe de couverture terrestre de LUCAS en mg/kg



Le triangle rouge est la valeur moyenne de Cd. En bas, les % expriment la proportion d'échantillons en dessous de la limite de détection de 0,07 mg/kg. Le nombre d'échantillons et le % (proportion aux échantillons) supérieur au seuil de 1 mg/kg sont en haut. La boîte à moustaches représente le 90<sup>e</sup> percentile.

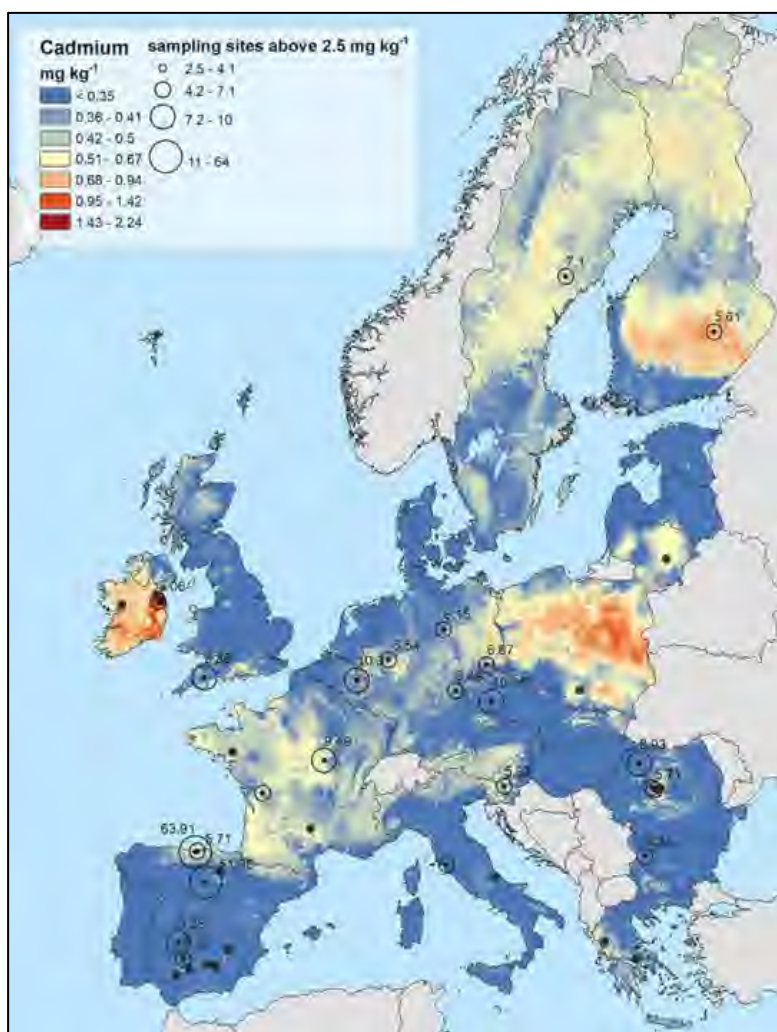
Source : Cristiano Ballabio, Arwyn Jones, Panos Panagos. Cadmium in topsoils of the European Union – An analysis based on LUCAS topsoil database. Science of the Total Environment 912. 2024.

Répartition de la teneur en cadmium (mg/kg) par pays



Le triangle rouge est la valeur moyenne de cadmium. En bas, les % expriment la proportion d'échantillons en dessous de la limite de détection 0,07 mg/kg. Le nombre d'échantillons et le % (proportion aux échantillons) supérieur au seuil de 1 mg/kg est en haut. La boîte à moustaches représente le 90<sup>e</sup> percentile.

Source : Cristiano Ballabio, Arwyn Jones, Panos Panagos. Cadmium in topsoils of the European Union – An analysis based on LUCAS topsoil database. Science of the Total Environment 912. 2024.



Concentration de cadmium avec les valeurs aberrantes superposées sous forme de cercles noirs. La dimension du cercle indique la concentration pour la valeur aberrante donnée, les concentrations supérieures à 5 mg/kg sont également indiquées par leur valeur numérique

La concentration de P n'est pas statistiquement significative en tant que prédicteur du Cd. Il n'existe pas de forte corrélation entre le Cd et les concentrations de phosphore disponible dans les sols, sauf dans le cas de l'Irlande.

Source : Cristiano Ballabio, Arwyn Jones, Panos Panagos. Cadmium in topsoils of the European Union – An analysis based on LUCAS topsoil database. Science of the Total Environment 912. 2024.

[...] L'ensemble de données du module de sol LUCAS 2018 contient des données pour 18 984 sites. 16 556 sites ont fait l'objet de visites répétées des personnes échantillonnées en 2015, tandis que 75 % ont également été échantillonnés en 2009/2012. Au total, 13 375 sites ont été visités dans le cadre des trois enquêtes (2009/2012, 2015, 2018).

La concentration en métaux a été mesurée dans 997 localités (essentiellement 0-20 cm), dont 90 % étaient des rééchantillonnages de sites de 2009/2012. Les oligo-éléments sont extraits à l'eau régale. La solution résultante est analysée par spectrométrie d'émission optique-plasma à couplage inductif. Limites de détection (LOD) du cadmium est de 0,2 mg/kg et 58 échantillons < LOD.

**Résumé de la teneur en cadmium dans les échantillons sélectionnés (g/mg)**

< LOD	Minimum	Maximum	Moyenne	Médiane
58	0,20	10,40	0.51	0,40

Fernandez-Ugalde, O; Scarpa, S; Orgiazzi, A.; Panagos, P.; Van Liedekerke, M; Marechal A. & Jones, A. LUCAS 2018 Soil Module. Presentation of dataset and results, EUR 31144 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg. 2022.

[...] L'étude la plus récente sur les teneurs en cadmium dans les sols, *LUCAS Topsoil Survey* publiée en 2023, a été pilotée par la Commission européenne. Ses conclusions, fondées sur l'analyse de 22 000 prélèvements, sont formelles : 90 % des sols agricoles français affichent une concentration de cadmium inférieure à 0,75 mg/kg. La valeur moyenne de Cd dans les sols arables de l'UE est de 0,20 mg/kg, légèrement plus élevée dans les prairies (0,24 mg/kg) que dans les terres cultivées (0,17 mg/kg) dans cette même étude.

Source : UNIFA (entretien mission)



*Concentrations totales de Cd mesurées dans les sols agricoles telles que rapportées dans le rapport d'évaluation des risques de l'UE en 2007 et mises à jour. Les données sont des moyennes avec des valeurs médianes entre parenthèses ou une plage de concentrations minimales et maximales de Cd dans le sol. Les lettres indiquent les références utilisées et sont répertoriées sous le tableau.*

*Table 3 Measured total Cd concentrations in agricultural soils as reported in the EU risk assessment report in 2007 and updated values. Data are means with median values between brackets or the range between minimum–maximum soil Cd concentrations. Letters indicate the references used and are listed below the table.*

Country	EU (2007)‡	others		Country	EU (2007)‡	others	
Austria		0.24	a	Malta			
Belgium	0.25	0.33	a	Netherlands	<0.1–1.6		
	0.3				0.3–0.87		
	0.32				0.5 (0.4)		
	0.27			Poland		0.41	b
Bulgaria		0.4	c	Portugal			
Cyprus		0.34	e	Romania			
Czech Republic		0.27	a	Slovakia		0.15–1.01	
Denmark	0.25 (0.22)	0.22		Slovenia			
Estonia		0.5	d	Spain	0.37–0.51 (Catalonia)		g
Finland	0.2	0.21	a		0.26 (Salamanca)		h
France	0.39 (0.30)	0.41 (0.25)	a	Sweden	0.26 (0.22)	0.23	a
	0.41 (0.25)					0.21–0.29	b
Germany	0.31	0.4 (sand)		UK	0.33–0.43	0.23	a
		1.0 (loam)			0.27–0.42		
		1.5 (clay)			0.34–0.47		
Greece		0.34–0.42 (North)	a	Norway		0.11	j
		0.4 (Central)		<b>EU-27+1</b>		<b>0.3</b>	
		0.38–0.46 (South)		<b>FOREGS</b>		<b>0.28</b>	
Hungary				<b>This study</b>		<b>0.28</b>	
Ireland		0.54 (South-East)	a				

‡ References cited in the CSTE report (2002)

a Risk assessment reports from Member states performed in 2000 for the European Commission.

b Kabata-Pendias and Dudka (1991)

c Atanassov et al. (2008)

d Alumaa et al. (2001)

e Akun et al. (2011)

f Abollino et al. (2002)

g Schuhmacher (1994)

h Crisanto Herrero and Lorenzo Martin (1993)

i Ursinyova et al. (1997)

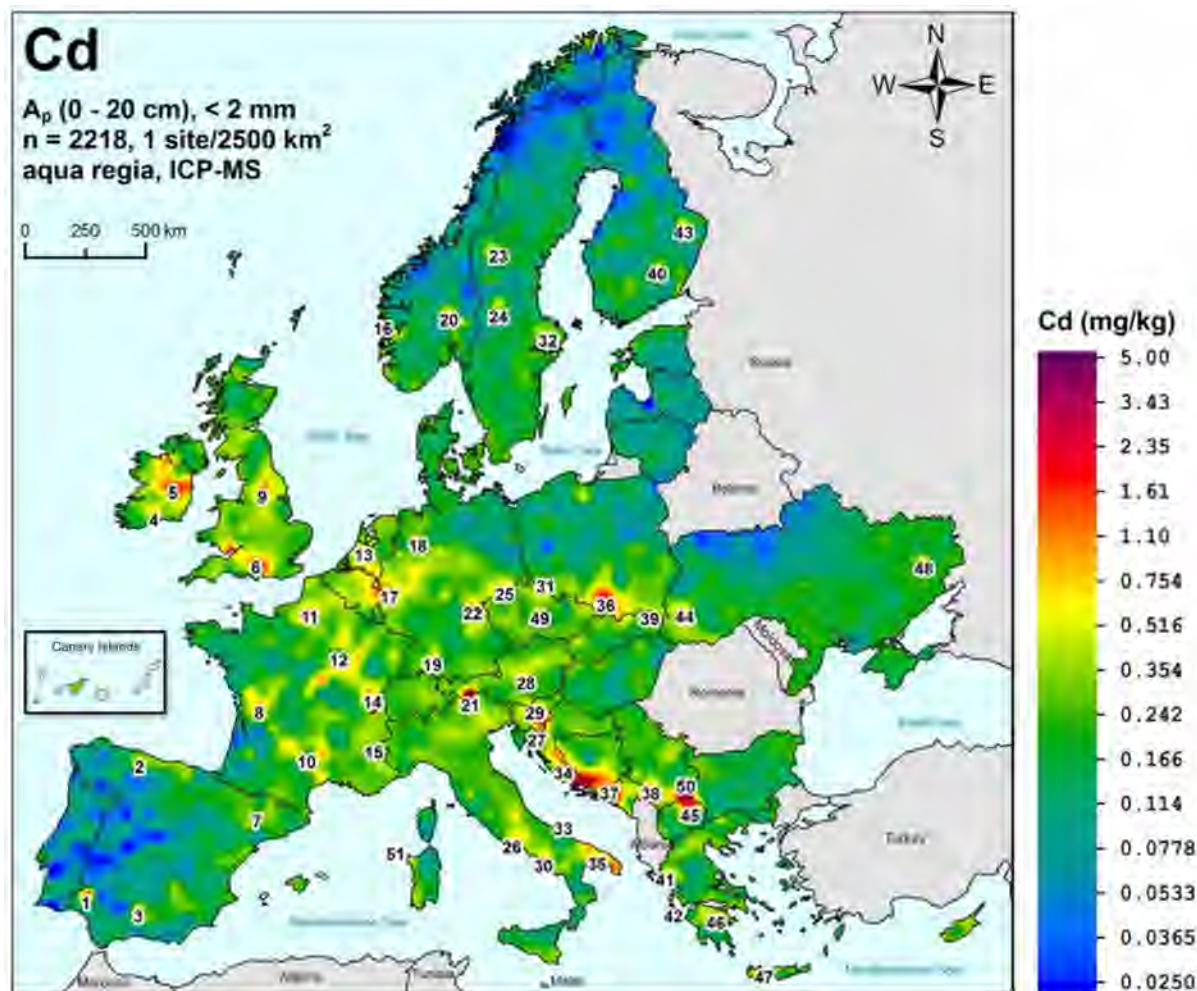
j Esser (1996)

Source : Erik Smolders & Laetitia Six. Revisiting and updating the effect of phosphate fertilizers to cadmium accumulation in European agricultural soils. 2013.

[...] La répartition spatiale du cadmium dans la couche arable dans l'UE et au Royaume-Uni a été évaluée à l'aide des 21 682 échantillons de sol du module de sol LUCAS (avec un échantillonnage effectué en 2009). Parmi ces échantillons, 5,5 % présentaient des concentrations de cadmium supérieures à 1 mg/kg. Ce seuil est une limite définie par le ministère finlandais de l'Environnement et correspond à la limite inférieure de cadmium dans les sols dans la directive sur les boues d'épuration (Directive 86/278/CEE) (Commission européenne, 1986).

Arias-Navarro, C., Baritz, R. and Jones, A. editor(s).  
The state of soils in Europe. Publications Office of the European Union. 2024.

Répartition du cadmium dans les sols agricoles européens (en mg/kg, extraction à l'eau régale de la fraction granulométrique < 2 mm)



8 : Lithologie : altérites riches en fer de l'Éocène sur roches du Crétacé, utilisation d'engrais (?)

10 : Lithologie : altérites riches en Fe, exploitation minière de Pb (?)

11 : Lithologie : altérites riches en fer de l'Éocène sur roches du Crétacé

12 : Lithologie : Sols ferreux sur roches calcaires, enrichissement en Cd dans les formations plio-quaternaires du Graben du Forez

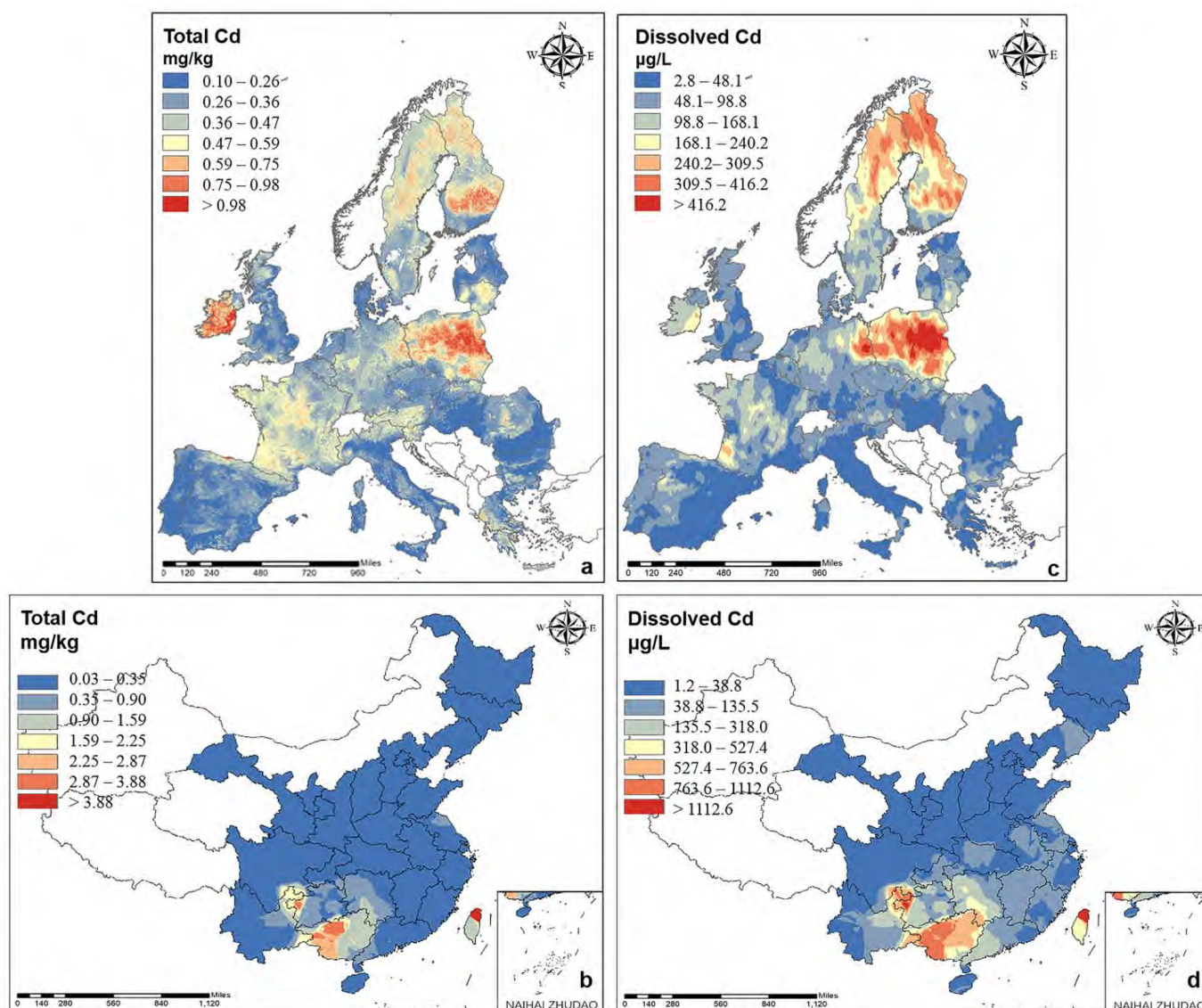
14 : Lithologie : sols riches en argile sur roches calcaires (oolithiques)

15 : Lithologie : sols riches en argile développés sur des roches calcaires (oolithiques)

[...] Plus de 4 000 échantillons de sols agricoles et de pâturages ont été collectés dans 33 pays d'Europe pour le projet « Cartographie géochimique des sols agricoles et de pâturages d'Europe » (GEMAS) réalisé par le groupe d'experts en géochimie d'EuroGeoSurvey. Tous les échantillons ont été analysés par ICP-MS après une extraction à l'eau régale. La concentration médiane européenne de Cd est de 0,182 mg/kg dans les sols agricoles et de 0,197 mg/kg dans les sols des pâturages (y compris l'est de l'Ukraine). La carte démontre l'existence de deux régimes géochimiques différents en Europe du Nord et du Sud, séparés par la limite sud de la glaciation quaternaire. Le cadmium présente des concentrations de fond deux fois plus élevées dans les sols d'Europe du Sud, plus anciens et plus altérés, que dans les sols d'Europe du Nord.

Manfred Birke, Clemens Reimann, Uwe Rauch, Anna Ladenberger, Alecos Demetriades, Fabian Jähne-Klingberg, Koen Oorts, Mateja Gosar, Enrico Dinelli, Josip Halamić, The GEMAS Project Team. GEMAS: Cadmium distribution and its sources in agricultural and grazing land soil of Europe — Original data versus clr-transformed data. *Journal of Geochemical Exploration* 173. 2017.

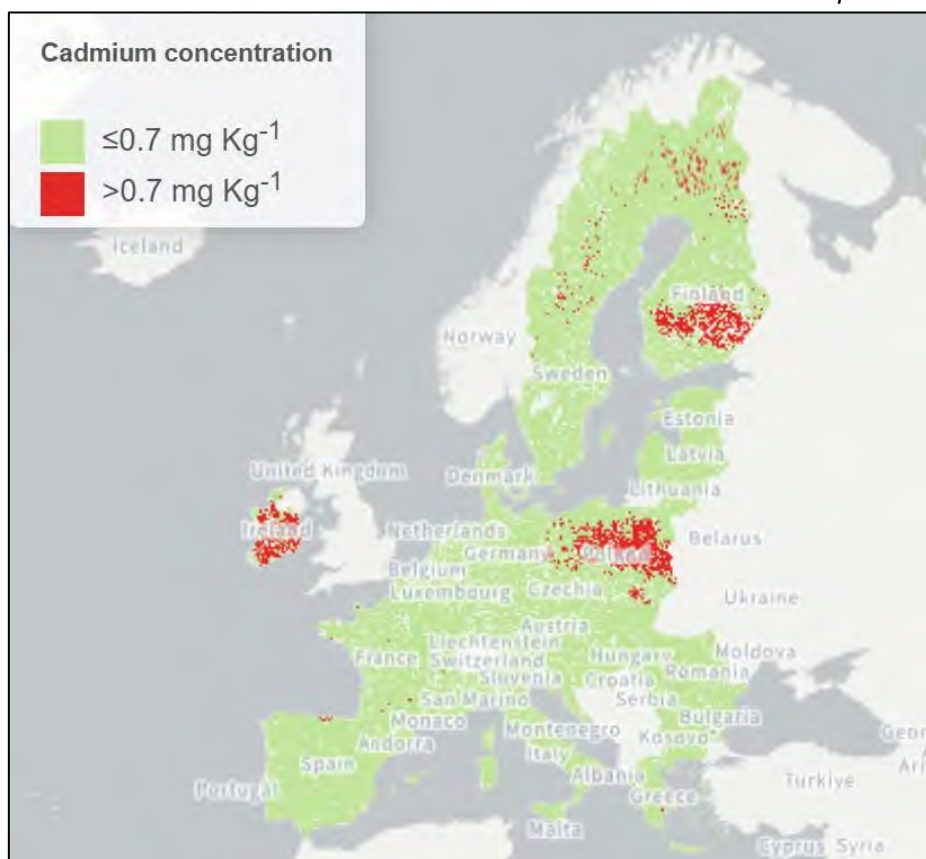
Carte d'interpolation spatiale du Cd total et dissous : carte européenne du Cd total (a), carte chinoise du Cd total (b), carte européenne du Cd dissous (c), carte chinoise du Cd dissous (d)



« Nous avons développé un cadre d'apprentissage automatique intégré géochimique utilisant des données multisources pour prédire la distribution de la spéciation du cadmium dans les couches arables non industrielles européennes et chinoises. La teneur totale moyenne en cadmium des couches arables chinoises (0,41 mg/kg) était d'environ 10,8 % supérieure à celle de l'Europe, tandis que la teneur moyenne en cadmium dissous (113,2 µg/l) était d'environ 16,8 % supérieure. L'interprétation mécaniste a révélé que la baisse du pH, de la matière organique du sol et de la teneur en ferrihydrite amorphe était principalement attribuée à la biodisponibilité plus élevée en Chine ».

Zhang, N., LV, C., LI, Y., Panagos, P., Ballabio, C. et al., Geochemical-integrated machine learning approach predicts the distribution of cadmium speciation in European and Chinese topsoils, COMMUNICATIONS EARTH & ENVIRONMENT, 6. 2025.

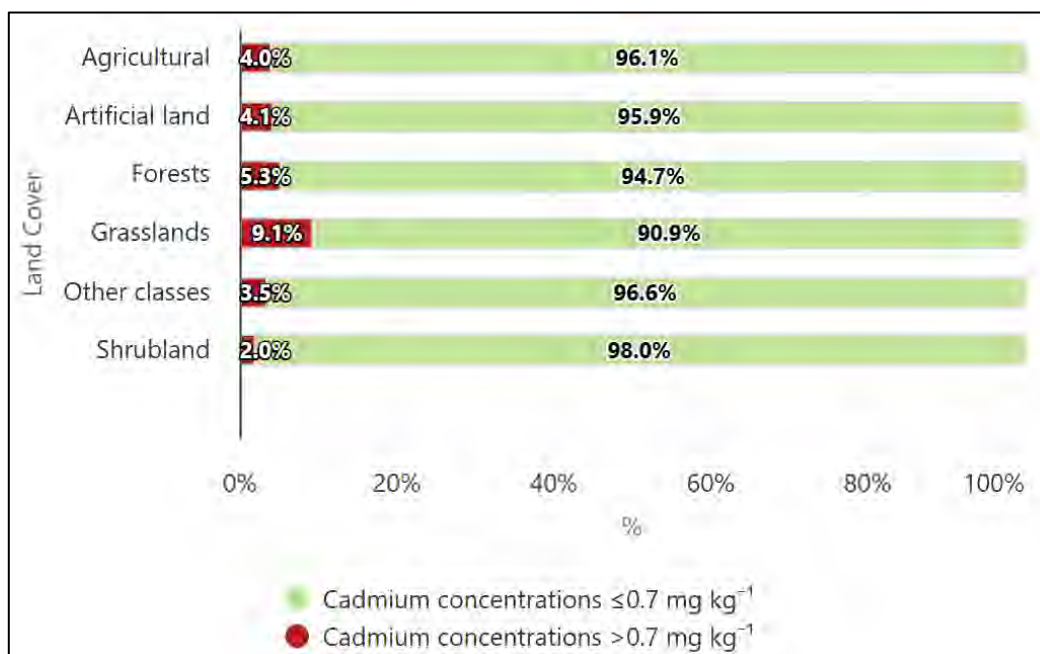
### Distribution des concentrations en cadmium des sols en Europe



Issu de Ballabio, C., Jones, A. and Panagos, P., 2024. Cadmium in topsoils of the European Union—An analysis based on LUCAS topsoil database. *Science of The Total Environment*, 912: 168710

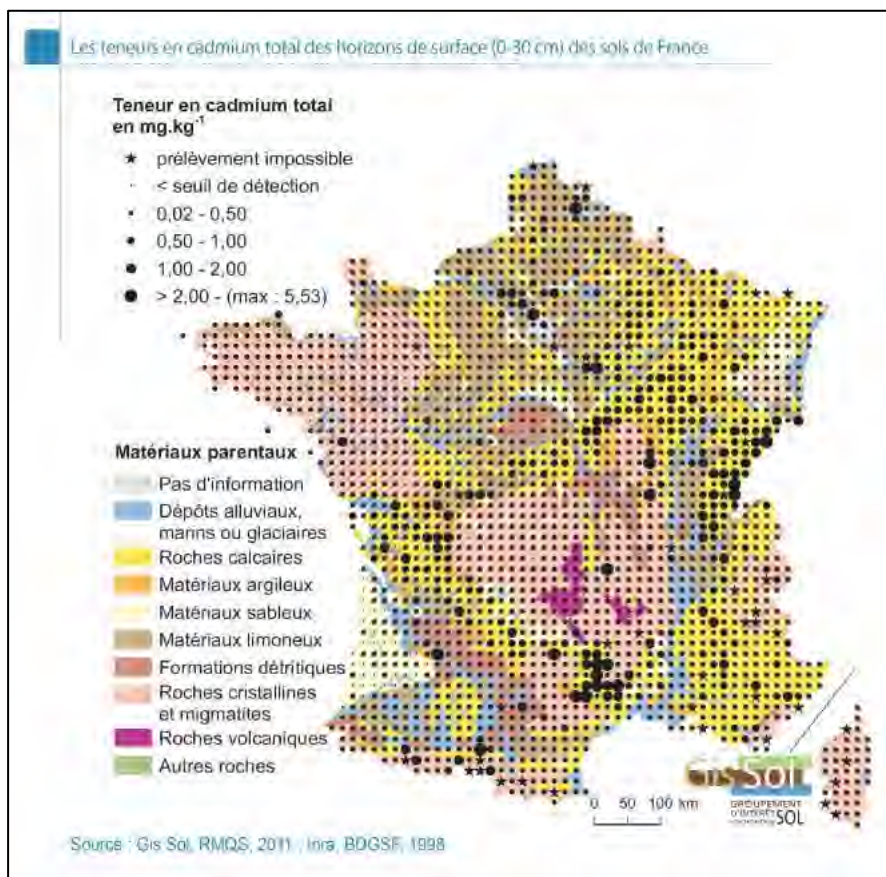
Source : EUSO Soil Degradation Dashboard – <https://esdac.jrc.ec.europa.eu/esdacviewer/euso-dashboard/>

### Distribution des concentrations en cadmium dans différents types de sols en Europe



Source : EUSO Soil Degradation Dashboard – <https://esdac.jrc.ec.europa.eu/esdacviewer/euso-dashboard/>

## Annexe 11.2. En France : les données du RMQS du GIS Sol

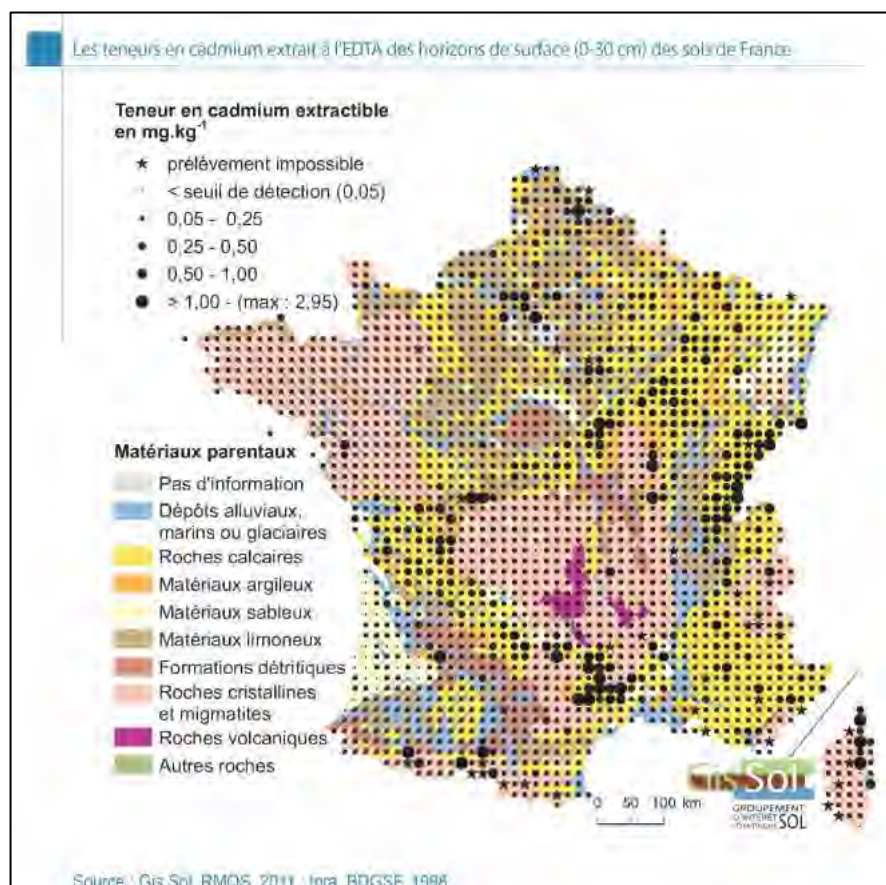


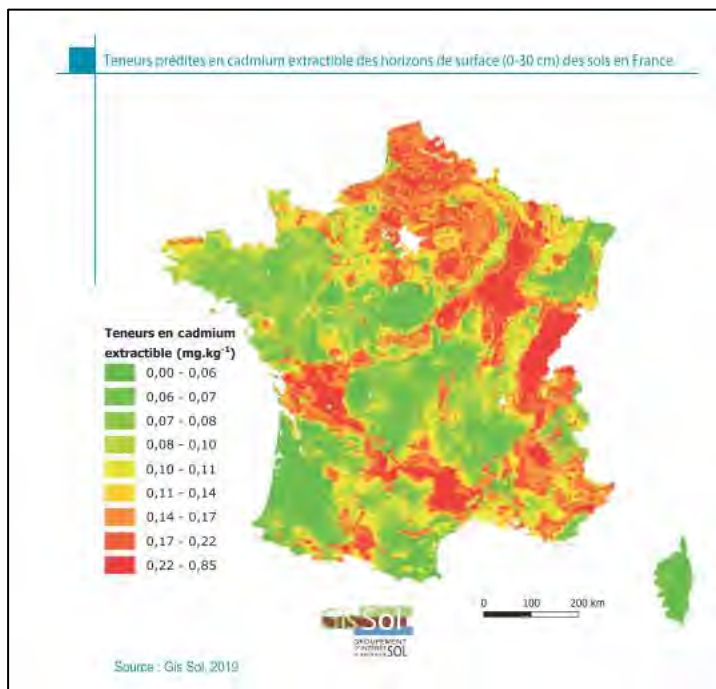
Les teneurs en cadmium total des horizons de surface (0-30 cm) des sols de France

Cette carte est issue du RESF. L'utilisateur s'engage à citer le [rapport sur l'état des sols de France](#).

Les teneurs en cadmium extrait à l'EDTA des horizons de surface (0-30 cm) des sols de France

Cette carte est issue du RESF. L'utilisateur s'engage à citer le [rapport sur l'état des sols de France](#).

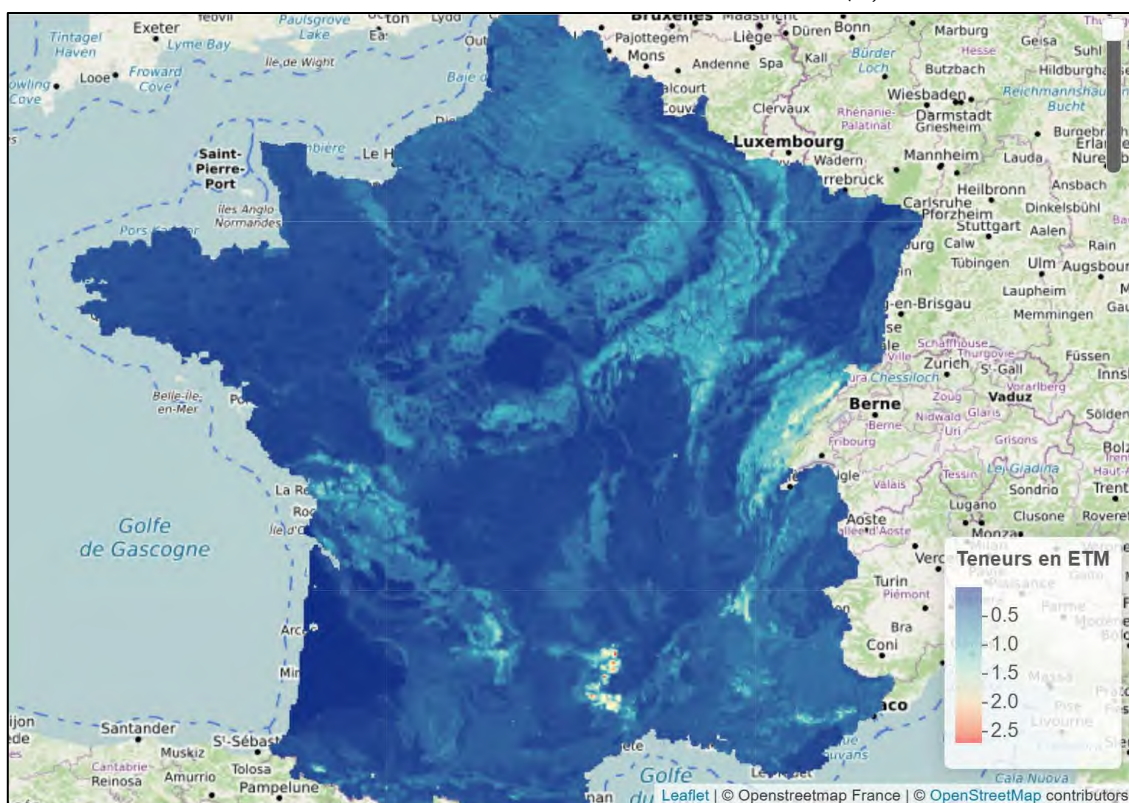




### Carte des teneurs prédites en cadmium extractible des horizons de surface des sols en France

Cette carte se base sur les mesures des sites du Réseau de Mesure de la Qualité des Sols (RMQS), première campagne, pour fournir les estimations spatialisées, à une résolution de 1 000 m, produites à l'aide d'un algorithme géostatistique robuste, des teneurs en cadmium extractible sur l'horizon de surface (0-30 cm).

### Teneurs en cadmium total issues des données du RMQS, GIS Sol



<https://ispa.bordeaux.inra.fr/services/blesur/>

[...] Les distributions des teneurs en cadmium en France sont semblables pour le cadmium total ou le cadmium extrait à l'EDTA (fraction considérée comme plus mobile).

Elles montrent des tendances régionales marquées, traduisant l'influence des roches-mères dans lesquelles les sols se sont développés et des processus d'altération et de pédogenèse. Les sols développés à partir de roches calcaires (Champagne, Charente, Jura, etc.) ont de fortes teneurs naturelles en cadmium. C'est particulièrement le cas dans le Jura où les sols argileux, souvent peu épais, résultent de l'altération lente d'une épaisseur considérable de calcaire, à l'origine d'une forte concentration de cadmium en surface. Dans les sols des Causses et du sud du Massif central, les teneurs sont également très fortes.

Source : Groupement d'intérêt scientifique Sol (GIS Sol) - www.gissol.fr

### *Base de données ETM en lien avec les épandages de boues*

[...] Il existe une base de données des ETM. Les teneurs en sept éléments traces métalliques (ETM) sont déterminées (Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn) sur des échantillons de sols prélevés en surface (horizons labourés) des terrains agricoles susceptibles de recevoir des épandages de boues de station d'épuration urbaine. Plus de 73 500 analyses regroupées dans une base de données : deux collectes nationales, initiées par l'ADEME et réalisées par l'INRA en 1998 et en 2009, ont permis de rassembler des résultats d'analyses en éléments traces métalliques et parfois des analyses de caractérisation agropédologique réalisées sur les mêmes échantillons. La répartition des sites n'est pas homogène sur le territoire, traduisant le caractère non supervisé de l'échantillonnage. Le jeu de données comporte principalement des sols agricoles (très peu de sols sous prairies, pas de sols forestiers, d'alpages ou sous végétation spontanée) et des sols situés en positions planes.

Les médianes nationales sont à des niveaux plutôt faibles (en mg/kg) : Cd = 0,28. Les teneurs les plus fréquemment supérieures au seuil réglementaire pour l'épandage des boues d'épuration sont celles du nickel (> 50 mg/kg), soit 2,76 % des sites analysés.

Source : Groupement d'intérêt scientifique Sol (GIS Sol) - www.gissol.fr

## **Annexe 11.3. Autres données sur le cadmium dans les sols français**

### *Teneurs des sols en ETM en mg/kg de terre sèche*

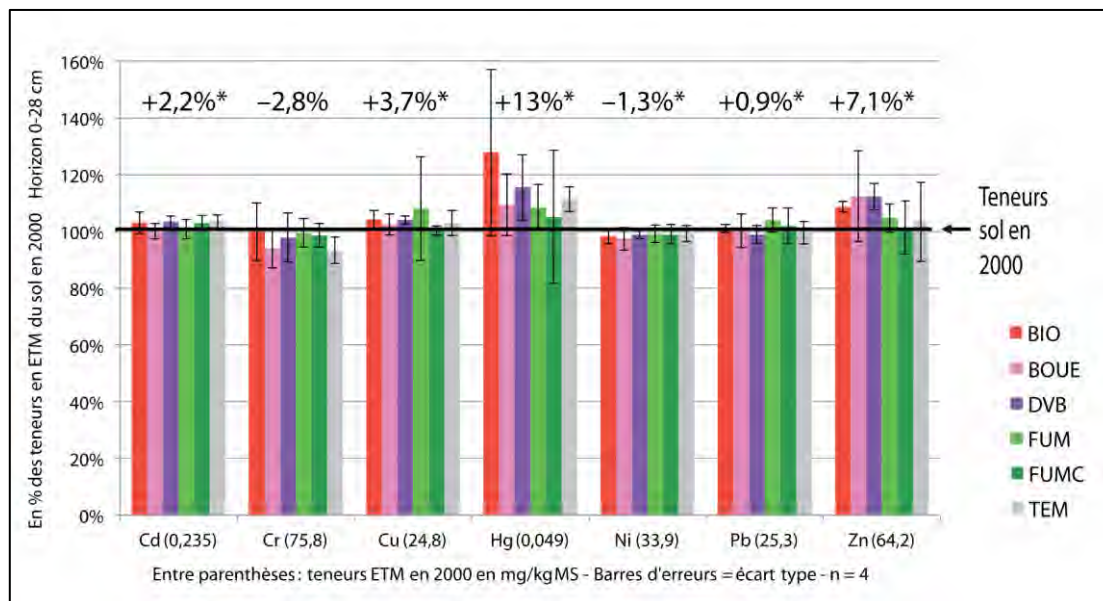
	Cd	Pb	Cr	Cu	Ni	Zn
<b>Mediane*</b>	<b>0,16</b>	<b>34,1</b>	<b>66,3</b>	<b>12,8</b>	<b>31</b>	<b>80</b>
<b>Moyenne*</b>	<b>0,42</b>	<b>64,8</b>	<b>75</b>	<b>14,9</b>	<b>41,3</b>	<b>149</b>
<b>Maximum (hors anomalies)</b>	<b>6,29</b>	<b>3.000</b>	<b>691</b>	<b>107</b>	<b>478</b>	<b>3.820</b>
<b>Anomalies naturelles</b>	<b>16</b>	<b>3.000</b>	<b>3.180</b>	<b>100</b>	<b>2.000</b>	<b>3.800</b>
<b>Seuil d'épandage des boues</b>	<b>2</b>	<b>100</b>	<b>150</b>	<b>100</b>	<b>50</b>	<b>300</b>

Source : Courrier de l'environnement de l'INRA - février 2000 in Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (OPECST). Rapport sur les effets des métaux lourds sur l'environnement et la santé. 2001.

[...] Le cadmium présent dans les sols cultivés français est en moyenne à parts égales d'origine naturelle et anthropique. Mais cette proportion est très variable. Dans certains secteurs, comme le Nord-Pas-de-Calais, c'est plus lié à la pollution industrielle. Dans d'autres, comme le Jura, Les Charentes, certains endroits de Bourgogne ou du bassin parisien – dont les sols sont formés sur des roches calcaires naturellement enrichies en cadmium –, la part naturelle du métal peut représenter 75-80 % du total, voire davantage.

Thibault Sterckeman. Exposition au cadmium : que peuvent faire artisans, agriculteurs ou consommateurs ?  
La Toque magazine. Juillet 2025

*Effet de 15 ans d'apports de produit résiduaire organique (PRO) sur les teneurs en ETM dans les sols du site PRO'spective à Colmar (exprimées en % des teneurs initiales dans les sols)*



Les variations marquées d'un astérisque sont significatives

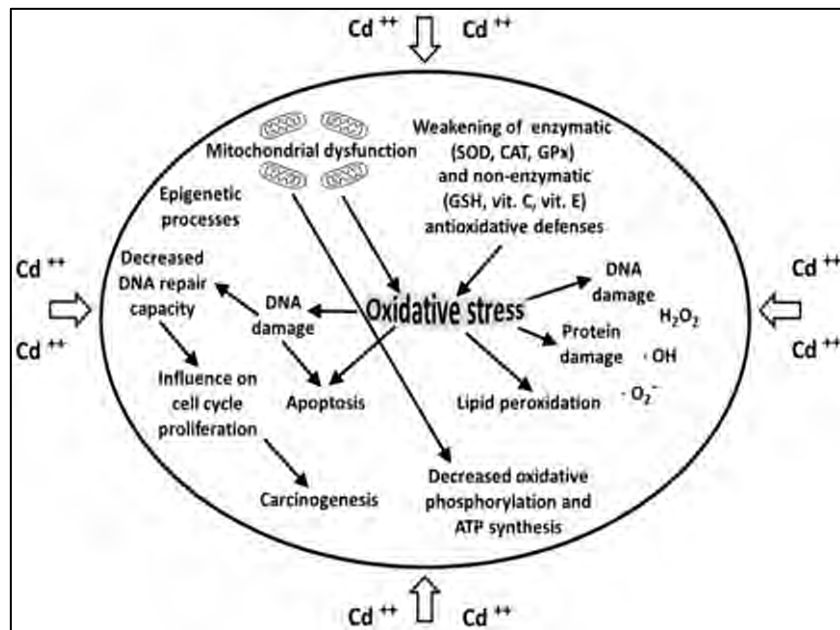
ASTEE. Dossier sur le compostage des boues d'épuration urbaines. Fiche ressource. 2020.



## Annexe 12. Exposition des populations au cadmium

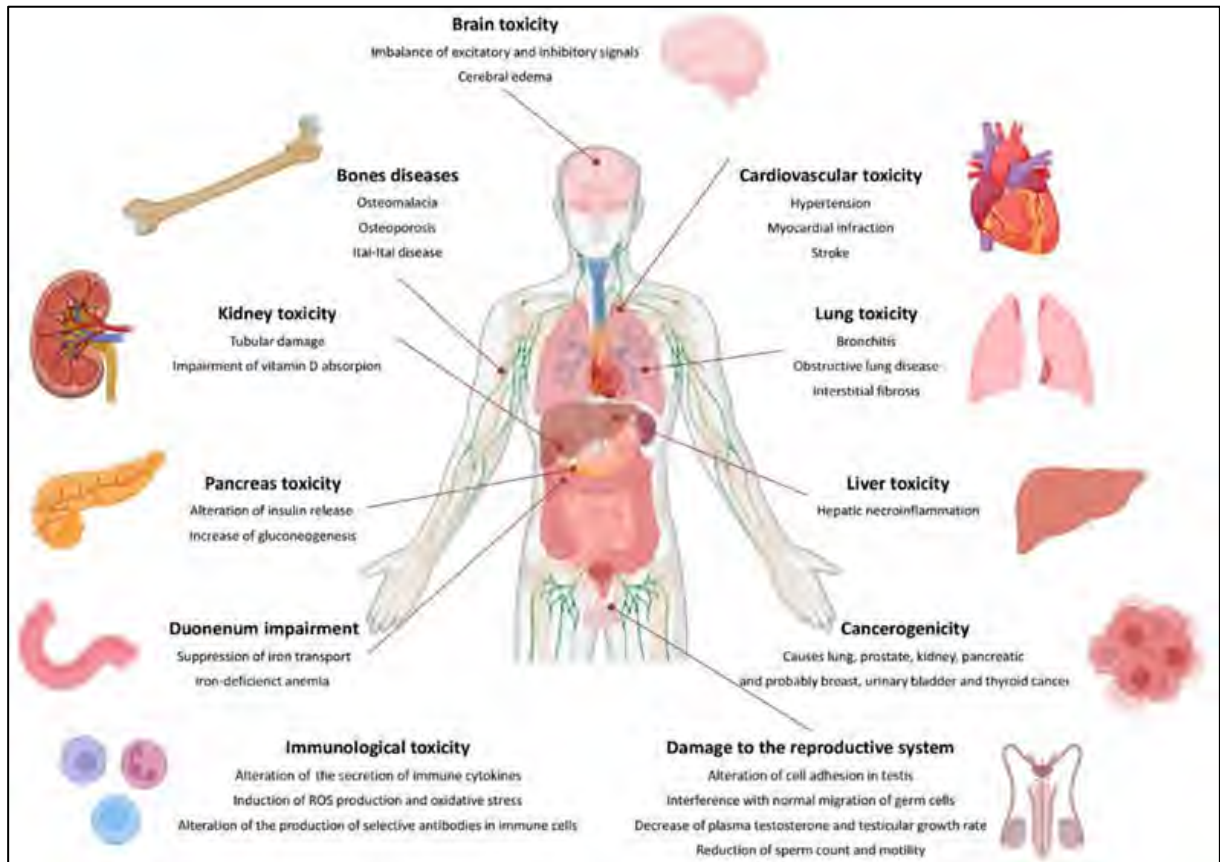
### Annexe 12.1. Les effets du cadmium sur la santé humaine

*The Effects of Cadmium Toxicity Genchi et al. 2020*

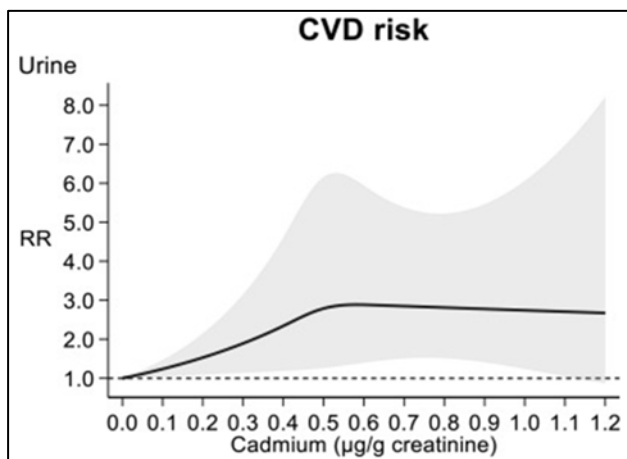


Source : Entretien avec Professeur Souvet.

*Conséquences de l'exposition au cadmium (Massimiliano Peana et al. Biological Effects of Human Exposure to Environmental Cadmium. 2022)*



Source : Entretien avec Professeur Souvet.



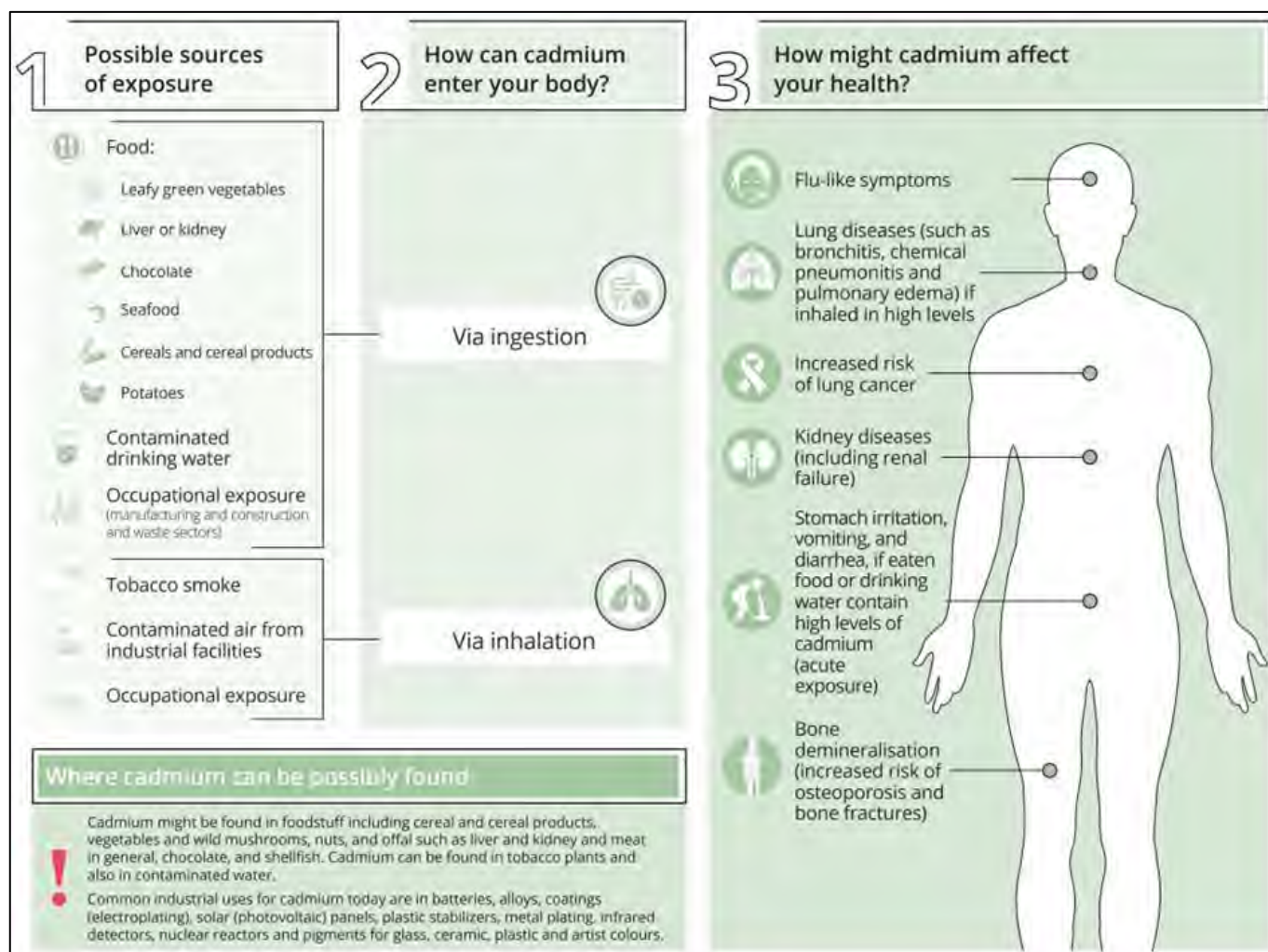
[...] L'association de l'exposition au cadmium est liée à la mortalité globale par maladie cardiovasculaire (*Cardiovascular disease - CVD*), les risques d'insuffisance cardiaque, de maladie coronarienne, d'accident vasculaire cérébral global, tandis que pour l'accident vasculaire cérébral ischémique, il y avait une association positive avec la mortalité uniquement.

26 études éligibles publiées entre 2005 et 2023 (graphique ci-contre). Lorsque le cadmium urinaire était utilisé comme biomarqueur, l'association était linéaire jusqu'à 0,5 µg/g de créatinine.

Source : Cadmium exposure and cardiovascular disease risk (CVD) : A systematic review and dose-response meta-analysis. Verzelloni et al 2024.

## Annexe 12.2. Le projet européen HBM4EU

[...] En termes d'effets sur la santé, le cadmium affecte particulièrement les reins, mais les données HBM4EU identifient également que l'exposition au cadmium contribue au risque d'ostéoporose. Chez les femmes de plus de 55 ans, 23 % des cas étaient imputables à une exposition au cadmium. Le cadmium est également classé comme cancérogène pour l'homme.



[...] Sur la base de la valeur guide de l'EFSA pour l'apport quotidien toléré de 1 µg/g de créatinine pour les effets rénaux chez les adultes (> 50 ans) et sur la base d'une modélisation pharmacocinétique physiologique (PBPK), HBM4EU a dérivé des valeurs d'alerte en fonction de l'âge pour éviter de dépasser la valeur guide de 1 µg/g de créatinine à un âge plus avancé (> 50 ans). Ceux-ci ont été fixés à 0,1 µg/g de créatinine (crt) pour les enfants de 10 ans ou moins, 0,2 µg/g de crt pour les 11 à 20 ans, 0,3 µg/g de crt pour les 21 à 30 ans, 0,5 µg/g de crt pour les 31 à 40 ans, 0,8 µg/g de crt pour les 41 à 50 ans.

HBM4EU a analysé les niveaux de cadmium dans des échantillons d'urine d'adultes âgés de 20 à 39 ans, échantillonnés dans toute l'Europe (DK, IS, PL, CZ, HR, PT, DE, FR, LU) entre 2014 et 2021. Les valeurs médianes variaient d'un facteur 3 à 4 entre les sites de l'UE. Les données HBM4EU (2014-2020) pour la population adulte européenne âgée de 20 à 39 ans montrent que sur la plupart des sites d'échantillonnage, 5 % des participants à l'étude ont dépassé les valeurs d'alerte recommandées pour les niveaux de cadmium urinaire. Les dépassements dans les différentes études et sites varient de 1,42 % à 41,98 %. Les études dans lesquelles la plupart des adultes dépassaient la valeur indicative provenaient d'Europe occidentale et orientale.

Le tableau de bord européen HBM contient 41 ensembles de données avec des données d'exposition au Cd intégrées et les métadonnées de 74 ensembles de données pour le Cd sont disponibles dans IPCHEM. Les nouvelles données sur le cadmium issues des études alignées

HBM4EU sont basées sur 2 510 individus. Les concentrations P50 et P95 de cadmium urinaire se situent dans la plage de 0,10 à 0,37 µg/g crt et de 0,26 à 1,71 µg/g crt dans les études menées chez l'adulte. Pour la sous-population de non-fumeurs, les concentrations P50 et P95 de cadmium urinaire se situent dans la plage de 0,09 à 0,36 µg/g crt et de 0,23 à 1,56 µg/g crt dans les études menées chez les adultes.

Aucune tendance géographique distincte n'a été observée, bien que les études alignées HBM4EU aient révélé des différences d'exposition interne allant jusqu'à un facteur 3 entre les sites d'étude spécifiques de l'UE. En comparant les quatre régions, des niveaux plus élevés ont été observés à l'Ouest et à l'Est qu'au Nord et au Sud, mais après avoir pris en compte les principaux facteurs d'influence (âge, sexe, tabagisme et année d'échantillonnage), les différences entre les régions n'étaient pas statistiquement significatives.

Le couplage des données HBM et environnementales a révélé qu'il existe une contribution significative à l'exposition au Cd chez l'homme provenant des engrais phosphorés. La méta-analyse des données existantes dans HBM4EU, représentant la période 2007-2018, a montré des associations incohérentes entre les niveaux déterminés par HBM et les concentrations de cadmium dans le sol selon différents pays, groupes de population ou différents types de biomarqueurs. Cependant, de fortes associations positives ont été observées pour certains groupes dans certaines zones, suggérant une association potentielle entre le Cd présent dans le sol et l'exposition via la consommation d'aliments locaux dans ces zones et/ou groupes de population. Cela a également été confirmé par les associations positives entre les données HBM et le pourcentage de terres agricoles et/ou cultivées et la consommation d'engrais phosphorés. Ce dernier a été observé dans 3 ensembles de données sur 4 pour lesquels des données sur les engrais étaient disponibles ainsi que dans les études alignées HBM4EU. Cette découverte suggère que les engrais phosphorés contribuent de manière significative à l'exposition au cadmium chez les humains. En outre, les données des études alignées HBM4EU ont révélé que le régime végétarien contribue à des niveaux de cadmium dans l'urine 35 % plus élevés que le régime non végétarien.

Sur la base des données d'exposition internes des enfants européens (2010-2012), l'exposition urinaire au Cd de certains enfants dans l'UE dépasse les valeurs d'alerte recommandées. Pour les études comportant des dépassements, l'étendue du dépassement (= P95/valeur d'alerte) dans les différentes études et emplacements varie de 1,03 à 3,40 pour 0,1 µg/g de crt et de 1,19 à 1,7 pour 0,2 µg/g de crt. Les études présentant le plus grand dépassement provenaient du Luxembourg, de la Pologne et de la Hongrie. Sur la base des données d'exposition internes de la population adulte européenne (20-39 ans) (2014-2020), l'exposition urinaire au Cd de certains adultes dans l'UE dépasse les valeurs d'alerte recommandées. Les études présentant le plus grand dépassement étaient Esteban (France) et POLAES (Pologne). Les dépassements dans les différentes études et sites varient de 1,42 % à 41,98 %. Les études dans lesquelles la plupart des adultes dépassaient la valeur indicative provenaient d'Europe occidentale et orientale. Les études soutiennent la recommandation de l'EFSA de réduire l'exposition au cadmium puisque l'exposition alimentaire moyenne estimée des adultes dans l'UE est proche ou dépasse légèrement la dose hebdomadaire tolérable. Il convient de noter que les enquêtes HBM4EU montrent des dépassements des HBM-GV pour l'exposition au cadmium, ce qui indique que jusqu'à présent, la réglementation ne protège pas suffisamment la population.

Sur la base des données HBM disponibles, la dose quotidienne moyenne de cadmium est comprise entre 0,1 et 0,7 µg/kg pc/jour, les niveaux les plus élevés étant observés en Pologne, ce qui indique que les individus fortement exposés pourraient être proches de la dose hebdomadaire tolérable par l'EFSA de 2,5 µg/kg pc/semaine. Cela montre que les réglementations et mesures actuelles concernant le cadmium ne sont pas suffisamment protectrices et qu'une réduction supplémentaire de l'exposition au cadmium dans la population générale est nécessaire.

Source : Projet HBM4EU - <https://www.hbm4eu.eu>

## Annexe 12.3. L'étude Esteban en France

[...] Le cadmium et ses composés sont classés dans la catégorie des agents cancérigènes chez l'homme (groupe 1) d'après le CIRC depuis 2012. Il est également classé cancérigène de catégorie 1B, mutagène sur les cellules germinales de catégorie 2 et toxique pour la reproduction de catégorie 2 selon le règlement européen CLP 1. Le cadmium fait partie des substances réglementées dans certaines denrées alimentaires et pour lesquelles on dispose d'une VTR nationale.

L'avis rendu en 2019 indiquait que la concentration en cadmium urinaire ou cadmiurie de 0,5 µg /g de créatinine était retenue comme concentration critique dans les milieux biologiques à ne pas dépasser à 60 ans, en supposant que l'ingestion soit la seule source d'exposition au cadmium. Considérant la cadmiurie de 0,5 µg /g de créatinine et après modélisation, la VTR chronique par voie orale dérivée pour le cadmium était la Dose Journalière Tolérable (DJT) de 0,35 µg cadmium/kg pc/jour. Cette VTR chronique par ingestion équivalait à une Dose Hebdomadaire Tolérable (DHT) de 2,45 µg cadmium/kg pc/semaine en supposant que l'ingestion soit la seule source d'exposition.

Le dosage du cadmium dans les urines a été réalisé sur l'ensemble des participants enfants et adultes ayant réalisé un examen de santé et dont on disposait de quantité suffisante d'urines pour le dosage des métaux soit 1 052 enfants et 2 419 adultes. La stratification a été réalisée en fonction de deux variables : la région (8 zones géographiques) et le degré d'urbanisation (5 strates : rural ; < 20 000 habitants ; 20 000-100 000 habitants ; > 100 000 habitants, Paris).

*Distribution des niveaux de cadmium urinaire (µg/g de créatinine) des enfants âgés de 6 à 17 ans en France continentale (2014-2016)*

	n	MG	IC à 95% MG	P10	P25	P50	P75	P90	P95	IC à 95% P95
<b>Total</b>	1052	0,27	[0,25 ; 0,29]	0,11	0,16	0,25	0,43	0,68	1,01	[0,82 ; 1,22]
<b>Âge (ans)</b>										
[6-10]	477	0,31	[0,28 ; 0,35]	0,13	0,19	0,28	0,52	0,80	1,25	[0,94 ; 1,93]
[11-14]	389	0,26	[0,24 ; 0,29]	0,11	0,16	0,24	0,40	0,66	0,91	[0,72 ; 1,12]
[15-17]	186	0,21	[0,19 ; 0,24]	0,09	0,13	0,21	0,33	0,50	0,67	[0,51 ; 0,10]
<b>Sexe</b>										
Garçon	535	0,28	[0,25 ; 0,31]	0,11	0,16	0,25	0,45	0,71	1,09	[0,82 ; 1,37]
Fille	517	0,26	[0,24 ; 0,29]	0,11	0,16	0,25	0,41	0,67	0,89	[0,73 ; 1,15]

Source : Santé publique France – Institut de veille sanitaire. Étude de santé sur l'environnement, la biosurveillance, l'activité physique et la nutrition – ESTEBAN.

Seuil HBM I : Sur les 1 052 enfants, 183 soit une prévalence en population de 18,14 % [14,22 % ; 22,06 %] avaient des concentrations en cadmium urinaire supérieures à 0,5 µg/l, seuil HBM I. Ce seuil représente la concentration en cadmium urinaire en dessous de laquelle, il n'y a aucun risque d'effets défavorables sur la santé selon les connaissances du moment.

Seuil HBM II : Sur les 1 052 enfants, 3 avaient des concentrations en cadmium urinaire supérieures à 2 µg/l (HBM II). La valeur HBM-II représente la concentration en cadmium au-dessus de laquelle il y a un risque accru d'effets défavorables sur la santé chez les individus sensibles de la population générale et, par conséquent, un besoin aigu de mesures de réduction d'exposition et le recours à des soins ou conseils sanitaires.

**Niveaux de cadmium urinaire observés dans les études antérieures en France et à l'étranger chez les enfants ( $\mu\text{g/l}$  ou  $\mu\text{g/g}$  de créatinine)**

Pays	Années d'étude	Étude	n	Âge (ans)	MG $\mu\text{g L}^{-1}$ ( $\mu\text{g g}^{-1}$ creat.)	P95 $\mu\text{g L}^{-1}$ ( $\mu\text{g g}^{-1}$ creat.)	LOD/LOQ ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	> LOQ %
France	2014-2016	Esteban	1052	6-17	0,28 (0,27)	0,84 (1,0)	LOD=0,002 ; LOQ=0,005	100,0%
France <sup>(1)</sup>	2014-2016	Esteban	1013	6-17	0,28 (0,26)	0,85 (0,89)	LOD=0,002 ; LOQ=0,005	100,0%
Allemagne	2003-2006	GerES IV [42]	1734	3-14	0,07	0,22	LOQ=0,05	70%
Allemagne	2011-2012	Democophes [46]	119	6-11	0,05	ND	LOQ=0,05	61%
Belgique	2011-2012	Democophes [47]	125	6-11	0,04	ND	LOQ=0,01	86%
Espagne	2012	[45]	261	6-9	0,22 (0,74)	0,71 (4,8)	LOD=0,03	91,6 (>LOD)
Espagne *	2010	[48]	120	6-11	0,18 (0,18)	(0,43)	LOQ=0,012	100%
Danemark	2011-2012	Democophes [49]	142	6-11	0,02	ND	LOD=0,004	32,6 (>LOD)
Europe <sup>(2)</sup>	2011-2012	Democophes [50, 51]	1689	5-12	(0,07)	(0,23)	LOQ=0,001 à 0,2	70%
Japon	2008-2009	[52]	229	9-10	0,21 (0,34)	ND	LOQ=0,2	67%
Corée	2012-2014	KorEHS-C [53]	2379	3-19	0,40 (Med)	1,07	LOD=0,031 à 0,071	100%
Canada	2016-2017	ECMS 5 [54]	538	6-11	NC (P50 <LOD)	0,19 (0,22 $\mu\text{g/g}$ )	LOD=0,066	27,4% (>LOD)
Canada	2016-2017	ECMS 5 [54]	534	12-19	NC (P50 <LOD)	0,26 (0,16 $\mu\text{g/g}$ )	LOD=0,066	41,4% (>LOD)
États-Unis	2015-2016	NHANES [55]	379	6-11	NC (P50 <LOD)	0,13 (0,16 $\mu\text{g/g}$ )	LOD=0,036	ND
États-Unis	2015-2016	NHANES [55]	402	12-19	0,06	0,25 (0,15 $\mu\text{g/g}$ )	LOD=0,036	ND

(1) Créatinine comprise entre 0,3 et 3 g/l

Source : Santé publique France – Institut de veille sanitaire. Étude de santé sur l'environnement, la biosurveillance, l'activité physique et la nutrition – ESTEBAN.

**Distribution des niveaux de cadmium urinaire ( $\mu\text{g/g}$  de créatinine) des adultes âgés de 18 à 74 ans en France continentale (2014-2016)**

	n	MG	IC à 95% MG	P10	P25	P50	P75	P90	P95	IC à 95% P95
<b>Total</b>	2419	0,57	[0,54 ; 0,60]	0,20	0,33	0,55	0,99	1,65	2,15	[2,04 ; 2,29]
<b>Âge (ans)</b>										
[18-29]	161	0,31	[0,26 ; 0,36]	0,12	0,16	0,31	0,44	0,73	1,20	[0,73 ; 1,79]
[30-44]	609	0,47	[0,43 ; 0,51]	0,18	0,27	0,45	0,72	1,25	1,82	[1,44 ; 2,13]
[45-59]	893	0,68	[0,63 ; 0,73]	0,27	0,41	0,66	1,09	1,74	2,24	[1,96 ; 2,73]
[60-74]	756	0,88	[0,82 ; 0,94]	0,36	0,54	0,87	1,39	2,15	2,76	[2,36 ; 3,19]
<b>Sexe</b>										
Homme	1060	0,47	[0,44 ; 0,50]	0,17	0,27	0,45	0,79	1,33	1,96	[1,63 ; 2,14]
Femme	1359	0,68	[0,63 ; 0,74]	0,25	0,40	0,65	1,13	1,86	2,39	[2,11 ; 3,00]
<b>Statut tabagique</b>										
Fumeurs	508	0,65	[0,58 ; 0,73]	0,24	0,37	0,59	1,12	2,05	2,95	[2,19 ; 4,10]
Ex fumeurs	636	0,64	[0,58 ; 0,70]	0,23	0,39	0,63	1,05	1,71	2,27	[1,95 ; 3,11]
Non-fumeurs exposés ou non au tabagisme passif	1275	0,50	[0,47 ; 0,54]	0,17	0,29	0,50	0,90	1,50	1,88	[1,77 ; 2,06]

Source : Santé publique France – Institut de veille sanitaire. Étude de santé sur l'environnement, la biosurveillance, l'activité physique et la nutrition – ESTEBAN.

[...] Parmi les facteurs de risques qui déterminaient le niveau de cadmium dans les urines chez les enfants de l'étude Esteban, seule la consommation des céréales du petit déjeuner ressortait comme facteur de risque. Les enfants qui consommaient presque 20 grammes par jour (19,56 g/j) de céréales du petit déjeuner ont une imprégnation par le cadmium augmentée de 8,63 % [1,37 % ; 16,40 %] par rapport aux enfants qui en consomment très peu (4,07 g/j).

Seuil HBM I : Sur les 2 419 adultes, 269 soit une prévalence en population de 12,15 % [10,15 % ; 14,16 %] avaient des concentrations en cadmium urinaire supérieures à 1 µg/l, seuil HBM I.

Seuil HBM II : Sur les 2 419 adultes, 2 individus avaient des concentrations en cadmium urinaire supérieures à 4 µg/l (HBM II).

L'Anses dans son avis de 2019 relatif à l'exposition au cadmium a proposé des valeurs sanitaires repères dans les milieux biologiques en fonction de l'âge. La concentration critique de cadmium urinaire retenue par l'Anses dans son avis était de 0,5 µg/g de créatinine à ne pas dépasser à 60 ans en supposant que l'ingestion soit la source d'exposition de cadmium.

Lorsque l'on considère la population adulte d'Esteban âgée de 18 à 60 ans (N = 1 716), 47,63 % [43,84 % ; 51,41 %] soit un peu moins de la moitié de la population adulte française avait une cadmiurie supérieure à 0,5 µg/g de créatinine. Cette prévalence pourrait s'expliquer par la prise en compte de toutes les voies d'exposition au cadmium dans la détermination des niveaux d'imprégnation au cadmium de la population Esteban et aussi par le fait que l'imprégnation par le cadmium de la population française est généralement plus élevée par rapport à d'autres pays européens ou nord-atlantiques.

*Niveaux de cadmium urinaire observés dans les études antérieures en France et à l'étranger chez les adultes (µg/l ou µg/g de créatinine)*

Pays	Années d'étude	Étude	n	Âge (ans)	MG µg L <sup>-1</sup> (µg g <sup>-1</sup> créat.)	P95 µg L <sup>-1</sup> (µg g <sup>-1</sup> créat.)	LOD/LOQ (µg L <sup>-1</sup> )	> LOQ %
France	2014-2016	Esteban	2419	18-74	0,43 (0,57)	1,46 (2,15)	LOD=0,002 ; LOQ=0,005	100,0%
France <sup>(1)</sup>	2014-2016	Esteban	2102	18-74	0,45 (0,51)	1,50 (1,94)	LOD=0,002 ; LOQ=0,005	100,0%
France	2008-2010	IMEPOGE [56]	1910	20-59	0,37 (0,33)	1,33 (1,10)	LOD=0,0017	98,7% (>LOD)
France <sup>(1)</sup>	2006-2007	ENNS [5]	1939	18-74	0,32 (0,29)	0,95 (0,91)	LOD=0,004 ; LOQ=0,013	100,0%
France	2005	UIOM [57]	1033	30-65	0,30 (0,27)	(0,95)	LOD=0,05 ; LOQ=0,15	89% (>LOD)
France	2011	Elfe * [32]	990	18-47	0,12 (0,17)	0,49 (0,44)	LOD=0,02 ; LOQ=0,05	87,8%
Angleterre	2014**	[60]	123	18-66	0,13 (Med)	0,52	LOQ=0,08	68%
Allemagne	1998	GerES III [61]	4740	18-69	0,23 (0,18)	0,96 (0,73)	LOQ=0,05	96,8%
Danemark	2011-2012	Democophes [49]	142	31-52	0,12 (0,12)	ND	LOD=0,04	91,6 (>LOD)
Belgique	2011-2012	Democophes [47]	125	27-45	0,21	0,3 (P75)	LOQ=0,01	99%
Belgique	2010-2011	[59]	1022	18-80	0,23 (0,23)	1,06 (0,83)	LOD=0,009 ; LOQ=0,026	96% (>LOD)
Belgique Flandres	2012-2015	FLEHS III [62]	207	49-65	(0,40)	ND	LOD=0,019	100 (>LOD)
Europe <sup>(2)</sup>	2011-2012	Democophes [50]	1685	24-52	0,22	0,6 (P90)	LOQ=0,001 à 0,2	94%
Europe <sup>(2)</sup>	2011-2012	Democophes [51]	360	24-52 fumeuses	(0,24)	(0,76)	LOQ=0,001 à 0,07	ND
Europe <sup>(2)</sup>	2011-2012	Democophes [51]	1272	24-52 non fumeuses	(0,18)	(0,54)	LOQ=0,001 à 0,07	ND
Italie	2012-2015	SIVR Study [58]	260	18-60	0,26 (0,26)	0,90 (0,88)	LOQ=0,02	100%
Slovénie	2008-2014	First National HBM [63]	1001	18-49	0,19 (0,20)	0,7 (0,6)	LOD=0,03	98,6% (>LOD)
Corée	2012-2014	[64]	6469	>19	0,38	1,36	ND	100% (>LOD)
Canada	2016-2017	ECMS 5 [54]	375	20-39	0,13 (0,12)	0,84 (0,59)	LOD=0,066	68% (>LOD)
Canada	2016-2017	ECMS 5 [54]	360	40-59	0,25 (0,23)	1,5 (1,2)	LOD=0,066	88% (>LOD)
Canada	2016-2017	ECMS 5 [54]	355	60-79	0,36 (0,42)	2,2 (1,8)	LOD=0,066	92% (>LOD)
États-Unis	2015-2016	NHANES [55]	1794	>=20	0,17 (0,19)	1,08 (0,9)	LOD=0,036	ND

Source : Santé publique France – Institut de veille sanitaire. Étude de santé sur l'environnement, la biosurveillance, l'activité physique et la nutrition – ESTEBAN.

[...] Par rapport aux adultes non-fumeurs (exposés ou non au tabagisme passif), l'imprégnation était augmentée de 53,64 % chez les adultes fumeurs. Cette augmentation était de 16,27 % chez les ex-fumeurs par rapport aux non-fumeurs.

La variation de l'imprégnation entre ENNS et Esteban en pourcentage représente une augmentation de 40,6 %. Les résultats de l'EAT 2 montraient également que l'exposition alimentaire est supérieure à celle de l'EAT 1 pour le cadmium.

Pour presque tous les groupes d'aliments d'EAT 2, les concentrations moyennes en cadmium sont supérieures à celles présentées dans l'EAT 1, d'un facteur 20 (plats composés, biscuits...), 30 (viennoiseries, sandwiches et casse-croûtes...), voire 80 (chocolat).

Concernant le niveau élevé d'imprégnation de la population française en 2014-2016 par rapport à il y a 10 ans, MG = 0,45 µg/l, IC [0,43 ; 0,48] dans Esteban et 0,32 µg/l IC [0,31 ; 0,33] dans ENNS, d'autres pays comme la Norvège ont fait le même constat. En effet, les concentrations de plomb ont diminué aussi bien en France qu'en Norvège depuis les années 1990 tandis que les concentrations de cadmium sont restées essentiellement inchangées pendant toute la période de 24 ans en Norvège. D'après l'étude norvégienne, ces niveaux élevés pourraient s'expliquer par la difficulté de réduire la présence du cadmium dans les denrées alimentaires.

Cependant, dans l'étude NHANES aux États-Unis, dans la population adulte entre 1988 et 2008, le pourcentage de diminution de la moyenne géométrique de cadmiurie était de 34,3 % [29,9, 38,4]. Cette diminution s'expliquait par la baisse des taux de tabagisme et de l'exposition à la fumée de tabac. Aussi, en Flandres en Belgique, les niveaux de cadmium urinaire ont baissé entre l'étude FLEHS I (*Flemish Environment and Health Study*) en 2002-2006 et FLEHS III en 2012-2015. La MG est passée de 0,62 µg/g de créatinine en FLEHS I (n = 1 535) à 0,40 µg/g de créatinine en FLEHS III. Dans l'étude coréenne KoNEHS, les niveaux de cadmium (MG) chez les adultes avaient également baissé de 0,58 µg/l (KoNEHS I) à 0,38 µg/l (KoNEHS II).

Dans l'étude Esteban, conformément à la littérature, une augmentation des concentrations en cadmium avec l'âge [5, 51, 70] a été observée chez les adultes. En effet, les concentrations de cadmium urinaire reflètent une exposition cumulative en lien avec une demi-vie longue.

Contrairement à ENNS, dans l'étude Esteban, il n'a pas été observé d'augmentation de la cadmiurie avec l'augmentation de la fréquence de consommation de pommes de terre et d'eau du robinet. Nous n'avons pas non plus retrouvé de relation entre les concentrations en cadmium urinaire mesurées et la pratique d'activité professionnelle ou de loisirs susceptibles d'induire une exposition au cadmium.

Afin de construire les valeurs de référence d'exposition (VRE) du cadmium, il a été décidé de conserver les individus ayant une créatinine < 0,3 ou > 3 g/l ainsi que les individus qui ont fumé dans les 2 heures précédant le recueil urinaire.

*Valeurs de référence d'exposition (VRE) à partir des concentrations en cadmium (µg/l) dans les urines de la population vivant en France continentale, Esteban 2014-2016*

Biomarqueur	Effectif	Classe d'âge	P95 (IC95%)	VRE <sub>95</sub>
Cadmium	1052	6-17 ans	0,84 [0,76 ; 0,97]	<b>0,8</b>

Biomarqueur	Effectif	Classe d'âge	Catégorie	P95 (IC95%)	VRE <sub>95</sub>
Cadmium	491	18-39 ans	Fumeurs ou non	1,15 [1,01 ; 1,26]	<b>1,1</b>
Cadmium	357	40 ans et plus	Fumeurs	2,02 [1,64 ; 2,30]	<b>2</b>
Cadmium	1 013	40 ans et plus	Non-fumeurs	1,34 [1,15 ; 1,53]	<b>1,3</b>

Source : Santé publique France – Institut de veille sanitaire. Étude de santé sur l'environnement, la biosurveillance, l'activité physique et la nutrition – ESTEBAN.



## Annexe 12.4. Le cadmium dans les aliments : les études d'alimentation totales (EAT) et les travaux du groupe de travail « Surveillance du Cadmium dans la chaîne alimentaire »

[...] Les résultats [ de l'étude EAT 2 ] montrent que l'exposition est supérieure à celle de l'EAT 1 (cadmium, aluminium, antimoine, nickel, cobalt). Cette augmentation varie de + 25 % (nickel) à + 400 % (cadmium). Parmi les hypothèses qui pourraient expliquer cette tendance, on peut évoquer pour certains éléments (nickel et aluminium) l'utilisation de matériel de préparation des échantillons en inox et en aluminium dans l'EAT 2, contrairement à l'EAT 1. L'évolution des consommations alimentaires pourrait également expliquer ces différences. Pour le cadmium, les résultats soulignent la nécessité de mener des études complémentaires sur la contamination pour identifier les raisons des augmentations observées (produits céréaliers notamment).

Source : Anses. Étude de l'alimentation totale française 2 (EAT 2) - Contaminants inorganiques, minéraux, polluants organiques persistants, mycotoxines, phyto-estrogènes. Avis de l'Anses. Juin 2011.

### Synthèse des résultats d'exposition au cadmium et pourcentage de dépassement de la DJT (estimation et intervalle de confiance à 95 %)

		Moyenne ( $\mu\text{g (kg pc)}^{-1} \text{j}^{-1}$ )	95 <sup>e</sup> centile ( $\mu\text{g (kg pc)}^{-1} \text{j}^{-1}$ )	% de dépassement de la DJT ( $0,35 \mu\text{g (kg pc)}^{-1} \text{j}^{-1}$ )
Enfants	LB	0,27 [0,25 - 0,28]	0,52 [0,51 - 0,53]	23 [20 - 27]
	UB	0,28 [0,26 - 0,29]	0,54 [0,53 - 0,56]	27 [23 - 31]
Adultes	LB	0,14 [0,14 - 0,15]	0,26 [0,26 - 0,27]	1,4 [0,68 - 2,7]
	UB	0,15 [0,15 - 0,16]	0,27 [0,27 - 0,28]	1,6 [0,86 - 2,9]

DJT : dose journalière tolérable, LB : *lowerbound*, UB : *upperbound*

Source : Anses. Étude de l'alimentation totale française 3 (EAT3). Résultats - Tome 1 Acrylamide, aluminium, argent, cadmium, mercure et plomb. Rapport d'expertise collective. Janvier 2026

[...] Chez les enfants, l'exposition moyenne a augmenté de façon statistiquement significative par rapport à celle précédemment estimée lors de l'EAT2 (Anses 2011a) quelle que soit l'hypothèse LB/UB (+ 11 %,  $p < 0,05$ ). Cependant, cette augmentation de l'exposition est à relativiser du fait du changement de méthode de recueil des consommations entre les deux études<sup>85</sup> (Anses 2017a).

Chez les adultes, l'exposition moyenne a diminué de façon statistiquement significative quelle que soit l'hypothèse LB/UB (entre - 6 et - 8 %,  $p < 0,05$ ).

Les principaux groupes d'aliments contributeurs à l'exposition moyenne au cadmium sont, de manière similaire aux résultats de l'EAT 2, les pommes de terre, responsables de 18 à 19 % (minimum – maximum) de l'exposition des enfants et 16 à 17 % de l'exposition des adultes, le groupe « pain et panification sèche raffinés », responsable de 11 à 12 % de l'exposition des enfants et 19 à 20 % de l'exposition des adultes, les légumes, responsables de 8,3 à 8,8 % de l'exposition des enfants et de 10 à 11 % de l'exposition des adultes, et les viennoiseries, pâtisseries, gâteaux et biscuits sucrés, responsables de 11 à 12 % de l'exposition des enfants et de 5 à 6 % de l'exposition des adultes. Chez les enfants, les pâtes, riz et blé raffinés sont responsables de 6 % de l'exposition moyenne, de même que les plats à base de pomme de terre ou de céréales. Chez les adultes, les soupes sont responsables de 8 % de l'exposition moyenne. Chez les individus dont l'exposition dépasse la DJT, les contributions sont du même ordre de grandeur, à l'exception des crustacés et mollusques chez les adultes, dont la contribution à l'exposition moyenne s'élève à 15 à 20 % contre 4 % dans la population adulte totale.

Selon l'hypothèse LB/UB, respectivement 23 % [20 - 27] et 27 % [23 - 31] des enfants dépassent la DJT de  $0,35 \mu\text{g/kg pc/j}$ . Parmi les enfants dont l'exposition dépasse la DJT, le niveau d'exposition

<sup>85</sup> Dans INCA, les consommations hors repas (par exemple les boissons) ont été mieux enregistrées. Il n'est pas possible de savoir ce qui relève d'une réelle augmentation de consommation (et donc d'exposition) de ce qui relève d'un artefact méthodologique.

représente en moyenne 1,3 fois la DJT. Selon l'hypothèse LB/UB, chez les adultes, on note respectivement 1,4 % [0,68 - 2,7] et 1,6 % [0,86 - 2,9] de dépassement de la DJT. Parmi les adultes dont l'exposition dépasse la DJT, le niveau d'exposition représente en moyenne 1,2 fois la DJT.

Dans l'EAT2 (Anses 2011a), la dose hebdomadaire tolérable de 2,5 µg/kg pc/sem (EFSA 2009) avait été utilisée, soit environ 0,36 µg/kg pc/j. Chez les enfants, il était observé 14,9 % de dépassements de cette VTR, et 0,6 % chez les adultes. En tenant compte de la nouvelle DJT retenue pour l'EAT 3 (0,35 µg/kg pc/j.), le pourcentage de dépassement a augmenté de façon statistiquement significative chez les enfants par rapport à celui réestimé à partir des expositions de l'EAT2 (Anses 2011a), quelle que soit l'hypothèse LB/UB (+7,7 et +8,3 points de pourcentage,  $p < 0,05$ ). Cependant, de la même façon que pour les expositions, cette augmentation du pourcentage de dépassement de la DJT est à relativiser du fait du changement de méthode de recueil des consommations entre les deux études (Anses 2017a). Chez les adultes, le pourcentage de dépassement de la DJT n'a pas évolué de façon statistiquement significative

Source : Anses. Étude de l'alimentation totale française 3 (EAT3). Résultats - Tome 1 Acrylamide, aluminium, argent, cadmium, mercure et plomb. Rapport d'expertise collective. Janvier 2026

[...] En France, la dernière Étude de l'Alimentation Totale conduite par l'Anses dans la population adulte et chez les enfants de plus de 3 ans (EAT 2 publiée en 2011) a montré que 0,6 % de la population adulte et 15 % des enfants (3-17 ans) étaient exposés à des concentrations journalières supérieures à la valeur toxicologique de référence établie par l'EFSA en 2008 (2,5 µg/kg de poids corporel/sem).

La comparaison des EAT 1 et 2 a mis en évidence une augmentation des concentrations moyennes en cadmium pour presque toutes les catégories d'aliments entre 2000 (année d'échantillonnage de l'EAT 1) et 2007-2009 (EAT 2), sans que la cause ne soit identifiée. Une augmentation de l'imprégnation de la population française a également été observée par Santé publique France en confrontant les résultats de l'étude Esteban à ceux de l'étude ENNS.

Si l'on se réfère au seuil d'ingestion hebdomadaire conseillé par l'Agence américaine des substances toxiques (ATSDR) de 0,7 µg Cd/kg/semaine, la plupart des populations seraient surexposées à ce métal par l'alimentation de façon chronique. En considérant le seuil fixé par l'Autorité européenne de sécurité des aliments (EFSA), qui est trois fois plus élevé (2,5 µg Cd/kg/semaine), on constate que les populations d'Europe (2,04 µg Cd/kg/semaine) sont en moyenne juste sous la limite, une partie d'entre elles étant surexposée.

Source : Plateforme de surveillance de la chaîne alimentaire. Rapport final du groupe de travail « Surveillance du Cadmium dans la chaîne alimentaire ». 2023.

## Annexe 12.5. Estimation de l'exposition au cadmium

### *Exposition conjointe à plusieurs métaux lourds*

[...] Lorsque l'exposition alimentaire à ces métaux ainsi qu'au mercure inorganique et à l'arsenic inorganique a été combinée selon une approche classique ou personnalisée de l'indice de point de référence modifié (mRPI), non seulement les estimations d'exposition élevée (95<sup>e</sup> percentile), mais également la moyenne, ont dépassé l'apport tolérable du mélange dans tous les pays étudiés. Le cadmium et le plomb ont contribué le plus à l'exposition combinée, suivis par l'arsenic inorganique et le mercure inorganique.

Étant donné que l'exposition combinée aux quatre métaux a dépassé l'apport tolérable, nous recommandons une évaluation des risques liés au mélange (ARM) affinée basée sur un effet néphrotoxique commun et spécifique et des facteurs de puissance relative (RPF) basés sur une taille d'effet similaire.

À l'aide d'un modèle à un compartiment décrivant la relation entre l'exposition alimentaire au cadmium et l'excrétion urinaire de cadmium chez les femmes suédoises (Amzal et al. Citation 2009)

et d'un facteur d'ajustement chimique spécifique de 3,9 pour la variation interindividuelle du cadmium urinaire, l'EFSA a dérivé une valeur guide fondée sur la santé de 0,36 µg Cd/kg pc/j (et par la suite une DHT de 2,5 µg Cd/kg de poids corporel). Cette valeur de 0,36 µg Cd/kg pc/j a été utilisée dans cette étude comme ESRV (*endpoint specific reference value* - valeur de référence spécifique au point final) pour le cadmium.

Country	Cadmium	
	Mean	P95
AT	0.3 [0.2-0.4]	0.8 [0.4-1.5]
CY	0.2 [0.2-0.3]	0.5 [0.4-0.7]
CZ	0.3 [0.2-0.4]	0.7 [0.5-1.4]
DK	0.3 [0.2-0.4]	0.5 [0.3-1.1]
FR	0.4 [0.3-0.5]	1.1 [0.6-2.4]
HR	0.3 [0.2-0.4]	1.0 [0.6-2.0]
IT	0.3 [0.2-0.4]	0.6 [0.5-1.1]
NL	0.2 [0.2-0.3]	0.5 [0.3-0.7]
PT	0.3 [0.2-0.5]	0.9 [0.6-1.7]
SI	0.3 [0.2-0.6]	0.4 [0.3-1.1]

#### Estimations de l'exposition (µg/kg pc/j) au cadmium dans dix pays européens

L'évaluation de l'exposition a été réalisée en attribuant aux échantillons déclarés une valeur inférieure à la limite de quantification (LOQ) ou à la limite de détection (LOD) avec une valeur de zéro (scénario de la limite inférieure [LB]) ou avec la valeur respective de la LOQ ou de la LOD de l'échantillon (scénario UB) conformément aux pratiques de l'EFSA et de l'OMS (EFSA Citation 2010a ; mICPS Citation 2020).

R. Corinne Sprong, Annick D. van den Brand, Gerda van Donkersgoed, Urska Blaznik, Despo Christodoulou, Amélie Crépet, Maria da Graça Dias, Bodil Hamborg Jensen, Angelo Morretto, Elke Rauscher-Gabernig, Jiri Ruprich, Darja Sokolić, Jacob D. van Klaveren, Mirjam Luijten & Marcel J. B. Mengelers (2023) Combined chronic dietary exposure to four nephrotoxic metals exceeds tolerable intake levels in the adult population of 10 European countries. Food Additives & Contaminants: Part A, volume 40. 2023.

AT	0.6 [0.5-0.8]	1.4 [0.9-2.2]
CY	0.5 [0.4-0.7]	0.9 [0.6-1.7]
CZ	0.5 [0.4-0.7]	1.1 [0.8-1.6]
DK	0.5 [0.3-0.8]	1.0 [0.6-1.7]
FR	0.7 [0.5-0.9]	1.6 [1.1-2.8]
HR	0.5 [0.4-0.6]	1.3 [0.9-2.2]
IT	0.5 [0.4-0.7]	1.1 [0.8-1.5]
NL	0.5 [0.4-0.7]	1.1 [0.7-1.5]
PT	0.6 [0.4-0.9]	1.5 [0.9-2.2]
SI	0.6 [0.4-0.9]	1.2 [0.7-2.1]

[...] LB est un scénario de limite inférieure. Dans ce scénario, les valeurs analytiques inférieures à la limite de détection ou à la limite de quantification ont été supposées égales à 0.

UB est un scénario de limite supérieure. Dans ce scénario, les valeurs analytiques inférieures à la limite de détection ou à la limite de quantification ont été supposées égales à la valeur de la limite respective.

Concernant le cadmium, les estimations de l'exposition moyenne dans le scénario LB étaient juste en dessous ou autour de l'ESRV de 0,36 µg/kg pc/j. Dans le scénario UB, toutes les estimations d'exposition moyenne dépassaient

l'ESRV du cadmium d'environ un facteur 1,5. La VERS du cadmium a également été dépassée au P95 d'exposition dans les scénarios LB (environ d'un facteur 2 à 3) et UB (d'un facteur 2 à 4).

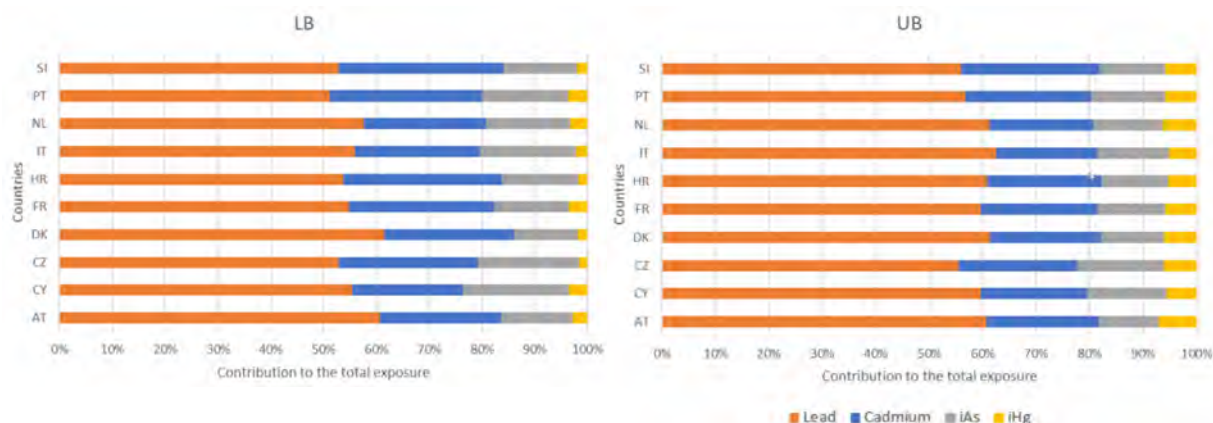
Dans le scénario LB, l'exposition combinée moyenne dépassait l'ESRV du composé de référence, le cadmium, d'un facteur 2,5 (Slovénie) à 3,7 (Autriche et France). Les niveaux d'exposition combinés élevés dépassaient l'ESRV du cadmium d'un facteur 4,5 (Slovénie) à 7,4 (France). Pour le scénario UB, un dépassement de 5,8 (Slovénie) à 8,3 (Autriche) de l'ESRV du cadmium a été observé pour l'exposition combinée moyenne.

Pour le cadmium, l'ESRV a été obtenue en divisant la DHT de l'EFSA de 2,5 µg Cd/kg de poids corporel (EFSA Citation 2009a, Citation 2009b) pour obtenir une dose quotidienne de 0,36 µg Cd/kg de poids corporel.

Cette étude de cas montre que l'exposition alimentaire des adultes au cadmium seul peut déjà dépasser le niveau d'apport tolérable. Lorsque l'exposition au cadmium, au plomb, à l'arsenic inorganique et au mercure inorganique a été combinée dans une approche basée sur les composants utilisant la méthodologie personnalisée mPRI, l'exposition combinée a dépassé le niveau tolérable de 2 à 14 fois dans 10 pays européens, en fonction des statistiques d'exposition, du scénario d'exposition et du pays. Comme prévu d'après les évaluations de métaux individuels, le cadmium et le plomb ont fortement contribué au mPRI personnalisé, suivis par l'arsenic inorganique.

Source : R. Corinne Sprong, Annick D. van den Brand, Gerda van Donkersgoed, Urska Blaznik, Despo Christodoulou, Amélie Crépet, Maria da Graça Dias, Bodil Hamborg Jensen, Angelo Morretto, Elke Rauscher-Gabernig, Jiri Ruprich, Darja Sokolić, Jacob D. van Klaveren, Mirjam Luijten & Marcel J. B. Mengelers (2023) Combined chronic dietary exposure to four nephrotoxic metals exceeds tolerable intake levels in the adult population of 10 European countries. Food Additives & Contaminants: Part A, volume 40. 2023.

*Contribution relative des métaux individuels au mRPI personnalisé des métaux pertinents pour la maladie rénale chronique.*



R. Corinne Sprong, Annick D. van den Brand, Gerda van Donkersgoed, Urska Blaznik, Despo Christodoulou, Amélie Crépet, Maria da Graça Dias, Bodil Hamborg Jensen, Angelo Morretto, Elke Rauscher-Gabernig, Jiri Ruprich, Darja Sokolić, Jacob D. van Klaveren, Mirjam Luijten & Marcel J. B. Mengelers (2023) Combined chronic dietary exposure to four nephrotoxic metals exceeds tolerable intake levels in the adult population of 10 European countries. *Food Additives & Contaminants: Part A*, volume 40. 2023.

[...] Les médecins se basent sur une méta-analyse de 2014, qui montre que bio est moins contaminé que le conventionnel. C'est possible. L'étude est ancienne et il n'y a pas beaucoup de données françaises ceci dit. Le bio a un avantage, à mon avis, c'est qu'il utilise moins de phosphate. Les agriculteurs mettent moins de cadmium mais, surtout, ils enrichissent leurs sols en matières organiques. Or, l'humus retient le cadmium.

Thibault Sterckeman. Exposition au cadmium : que peuvent faire artisans, agriculteurs ou consommateurs ?  
La Toque magazine. Juillet 2025.

[...] La DGCCRF constate que certains articles non conformes continuent de circuler, en particulier sur les places de marché numériques, dans les bazars, les solderies ou via des importations directes.

En 2023-2024, la DGCCRF a analysé plus de 300 échantillons de bijoux et de jouets pour enfants. Résultat : plus de 20 % des articles testés présentaient une teneur en cadmium supérieure aux seuils autorisés. Dans certains cas, les niveaux mesurés dépassaient de 100 à 300 fois la limite légale.

La législation européenne impose une limite maximale de 0,01 % de cadmium en masse dans les parties métalliques des bijoux destinés aux enfants. Pour les jouets, la directive 2009/48/CE fixe aussi des seuils stricts d'exposition dans les matériaux accessibles.

Source : DGCCRF 2025.

## Annexe 12.6. Les seuils d'exposition et d'imprégnation au cadmium

[...] Chez l'homme, le rein est la principale cible : néphropathie irréversible, pouvant conduire à une insuffisance rénale. L'atteinte fonctionnelle tubulaire rénale apparaît lorsque la concentration en cadmium dans le cortex rénal atteint environ 200 µg/g de tissu rénal. L'exposition par inhalation induit des troubles respiratoires. Des atteintes du squelette, liées à une interférence avec le métabolisme du calcium sont observées surtout par voie orale. Des effets cardiovasculaires inconstants sont décrits.

Chez l'homme, plusieurs études de cohorte ou des études cas-témoin ont été menées afin de déterminer le risque de cancers lié à une exposition au cadmium en milieu professionnel. La plupart rapportent des cancers pulmonaires et de la prostate. Une seule étude a identifié un cancer du sein ou de l'endomètre lors d'exposition par voie orale.

Chez l'homme, des atteintes de la fertilité ou de la fonction endocrinienne sont suspectées mais ne sont pas clairement démontrées.

L'Ineris propose de retenir pour une exposition subchronique au cadmium par voie orale le MRL (*Minimal Risk Levels*) de  $5 \cdot 10^{-4}$  mg Cd/kg/jour de l'*Agency for Toxic Substances and Disease Registry* (ATSDR).

L'Anses propose de retenir pour une exposition chronique par voie orale au cadmium la valeur de  $3,5 \cdot 10^{-4}$  mg/kg/jour.

L'Ineris propose de retenir pour une exposition aiguë au cadmium par inhalation la VTR chronique de 0,45 µg Cd/m<sup>3</sup> de l'Anses.

Source : INERIS – Portail des substances chimiques – Cadmium. <https://substances.ineris.fr/substance/7440-43-9>

*Seuils de cadmium inférieurs utilisés dans diverses évaluations internationales des risques en dessous desquels des effets nocifs sur la santé ne sont pas attendus. Les valeurs en gras sont celles qui ont été utilisées dans les deux évaluations européennes des risques les plus récentes.*

Compartiment	
<b>Body burden threshold (urine)</b>	
ECB 2007 risk assessment, no effect on kidney	<b>0.67 µg/g creatinine<sup>§</sup></b>
EFSA 2009 opinion: no effect on kidney	<b>1.00 µg/g creatinine<sup>§§</sup></b>
WHO/FAO (JECFA) 2010: effect on kidney	5.24 µg/g creatinine
<b>Dietary thresholds</b>	
EFSA opinion (2009)	<b>25 µg/day</b> (at 70 kg BW)
FAO/WHO (2011)	58 µg/day (at 70 kg BW)

§ effect level of 2 µg/g divided by a margin of safety of 3; §§ effect level of 3,9 µg/g divided by 3,9 accounting for inter-individual variation.

Source : Parlement européen - Scientific aspects underlying the regulatory framework in the area of fertilisers – state of play and future reforms. 2017.

[...] L'*European Food Safety Authority* (EFSA) a publié le 30 Janvier 2009 (EFSA, 2009), une recommandation spécifiant que l'exposition humaine au cadmium (Cd) par voie alimentaire ne devrait pas dépasser 2,5 µg Cd par kilogramme de masse corporelle par semaine. Ce seuil est presque 3 fois inférieur au précédent proposé par l'OMS (7 µg Cd/kg de masse corporelle).

Source : Laurence Denaix, Christophe Nguyen, Valerie V. Sappin-Didier, Andre Schneider. Synthèse sur la contamination en cadmium des productions végétales de grandes cultures. 2010.

[...] En l'absence de sources d'exposition spécifiques (par exemple, du fait de la pollution des sols), les apports alimentaires de cadmium sont 500 à 1 000 fois plus élevés que les expositions respiratoires chez les non-fumeurs et environ 10 fois plus élevés que celles des fumeurs consommant 20 cigarettes par jour.

L'excrétion du cadmium est urinaire et fécale. Elle est très lente : chaque jour, seulement environ 0,01 à 0,02 % de la charge corporelle sont éliminés, pour moitié seulement dans les urines. La demi-vie d'excrétion urinaire est de 21 à 43 ans. L'excrétion lactée est très faible : le rapport des concentrations lait/sang est d'environ 1/10.

Il est recommandé de retenir la concentration urinaire de cadmium de 1 µg/g créatinine comme seuil à partir duquel des effets sanitaires de l'exposition répétée au cadmium sont possibles.

La charge corporelle de cadmium augmente pendant au moins les 5 premières décennies de la vie, pour culminer entre 50 et 60 ans. Pour prévenir l'élévation de la concentration urinaire de cadmium à 1 µg/g créatinine à l'âge de 50 ans ou plus tard, il est recommandé que la concentration ne dépasse pas les seuils suivants :

- 0,3 µg/g créatinine, avant 21 ans ;
- 0,3 µg/g créatinine, entre 21 et 30 ans ;
- 0,5 µg/g créatinine, entre 31 et 40 ans ;
- 0,8 µg/g créatinine, entre 41 et 50 ans ;
- 1 µg/g créatinine, à partir de 51 ans.

Conformément à l'avis du HCSP, il est recommandé de considérer les sols dont la concentration de cadmium dans les 30-50 premiers centimètres est au moins égale à 1 mg/kg de matière sèche comme des sources potentielles de surexposition au cadmium pour les populations qui y séjournent.

Source : Haute Autorité de santé - Dépistage, prise en charge et suivi des personnes potentiellement surexposées au cadmium du fait de leur lieu de résidence. Juillet 2024.

## Annexe 13. Contamination des aliments par le cadmium

Exposition alimentaire moyenne aux métaux lourds (en µg/personne /jour) - Comparaison internationale

	Plomb	Cadmium	Mercure
Cuba	557	12	
Japon	85	29	160 à 280
France	52	17	109
Pays-Bas	47	23	
Danemark	27	17	118
Royaume-Uni	24	14	63
États-Unis	8	11	

Source : DGAL : notre alimentation - n° 24 - janvier 2000 in rapport Sénat ETM 2001

### Annexe 13.1. Les travaux du groupe de travail « Surveillance du Cadmium dans la chaîne alimentaire »

[...] La surveillance du cadmium est encadrée par plusieurs textes juridiques qui définissent les modalités des plans de contrôles officiels (fréquence, stratégie d'échantillonnage, etc.) pilotés par la DGAL, guident la réalisation des autocontrôles par les professionnels des filières et imposent depuis la loi EGalim la remontée des non-conformités aux autorités compétentes.

La surveillance officielle se décline en plans de surveillance (PS), qui permettent une évaluation de l'exposition du consommateur ou l'acquisition de données pour des substances émergentes non réglementées et en plans de contrôle (PC) qui ciblent des denrées généralement contaminées et permettent d'évaluer l'efficacité des mesures de gestion.

Les données de onze dispositifs de surveillance publique ou privée ont été mutualisées. La mutualisation de ces jeux de données a permis de constituer une base de près de 75 000 résultats d'analyse des mesures de cadmium dans diverses matrices de 2010 à 2019, couvrant l'alimentation humaine (82 %) et animale (18 %). L'état des lieux a montré qu'il existe une grande hétérogénéité entre les dispositifs privés, certains ayant déjà développé un réseau de collaborations tandis que d'autres fonctionnent davantage isolément.

Une première analyse des concentrations moyennes estimées pour la période la plus récente (2017-2019) a permis d'identifier les abats (0,040-12,8 mg/kg), les mollusques bivalves (0,170-0,436 mg/kg), les graines de tournesol (0,354 mg/kg) et le cacao en poudre (0,190 mg/kg) comme les matrices présentant les concentrations les plus élevées. Parmi les légumes frais, les épinards (0,064 mg/kg) présentent des concentrations moyennes sensiblement plus élevées que les autres produits de cette catégorie (0,005-0,025 mg/kg). Inversement, le cadmium était rarement quantifié dans plusieurs matrices, à savoir les muscles d'animaux d'élevage, les chairs de certains poissons (ex : cabillaud, truite, merlu), le miel, les fruits, le lait et les boissons alcoolisées. Un facteur de presque 2 000 entre les moyennes les plus faibles (légumes en conserve : 0,007 mg/kg) et les plus élevées (reins d'équins : 12,8 mg/kg) est observé. Par ailleurs, les valeurs quantifiées s'échelonnent de 0,001 à 64,9 mg/kg (rein d'équin)

Les matrices dont les concentrations en cadmium semblent avoisiner le plus fréquemment les teneurs réglementaires sont les abats d'équins (ces produits ont été retirés de la commercialisation depuis 2019), les poissons et les mollusques (principalement les huîtres). Un nombre de dépassements relativement important au regard du faible effectif échantillonné est observé pour les fines herbes (12/70), sans que l'on puisse toutefois conclure sur des non-conformités en l'absence d'information sur l'incertitude.

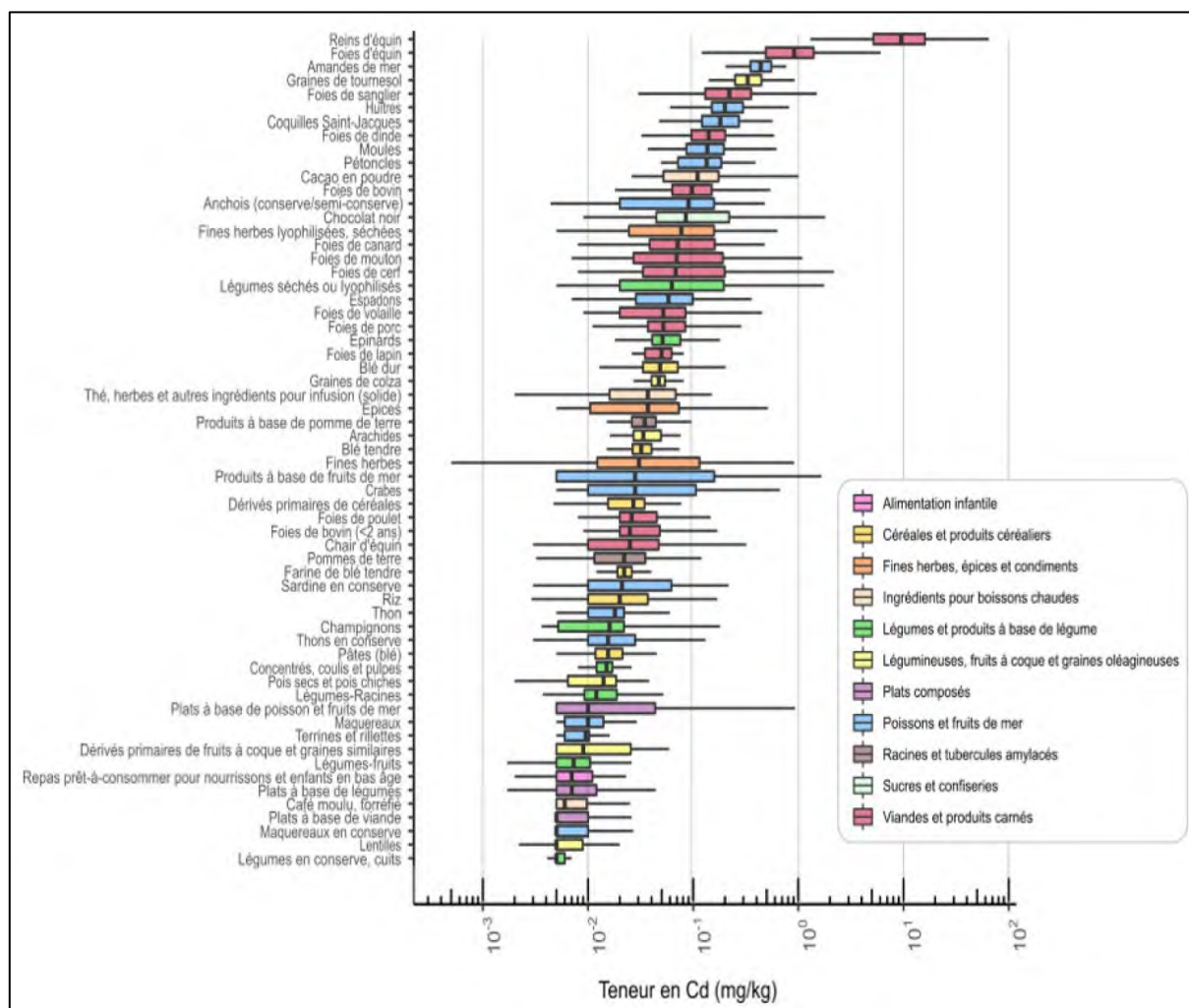
En 2009 et 2012, l'EFSA a publié des données de contamination pour le cadmium dans un large panel d'aliments, à partir de prélèvements effectués entre 2003 et 2011. L'EFSA rapportait des

teneurs moyennes suivantes : 0,034 mg/kg (UB) pour les céréales en grain ; 0,022 mg/kg (UB) pour les pâtes (cru)es) et 0,026 mg/kg (UB) pour les produits de mouture des grains. Dans l'ensemble, les résultats obtenus ici sont cohérents avec les résultats rapportés par l'EFSA avec des teneurs estimées du même ordre de grandeur pour les matrices qui ont pu être comparées.

En revanche, il a été plus difficile de comparer les résultats à ceux obtenus par l'Anses dans le cadre de l'EAT 2 (2007-2009) car si l'étude couvre un large panel de produits, il s'agit de produits transformés ou préparés tel que consommés. À l'inverse les données analysées ici couvrent majoritairement des matières premières. L'Anses a souligné lors d'un entretien le besoin d'avoir accès au facteur de conversion d'un produit transformé pour déterminer la conformité des données.

Entre 2010 et 2019, les concentrations en cadmium sont restées stables pour l'ensemble des matrices évaluées, incluant les pommes de terre, les graines oléagineuses, les huîtres ainsi que les moules, voire très fréquemment inférieures aux limites de quantification pour les muscles d'animaux d'élevage. Il n'a pas été mis en évidence d'évolution significative des concentrations en cadmium dans les différentes catégories d'aliments pour lesquelles un nombre suffisant de résultats était disponible à cette étude, à l'exception d'une baisse significative des concentrations en cadmium dans le blé dur observée sur l'ensemble de la période. Ce travail connaît cependant des limites, dans la mesure où, dans les jeux de données transmis, peu de données concernaient les algues et les champignons, alors que ces produits font partie des dix produits les plus contaminés d'après le rapport 2012 de l'EFSA. De même, peu de données ont pu être exploitées pour la catégorie des légumes, des produits de la panification ou encore de l'alimentation infantile.

### Teneurs en cadmium de différents aliments



Source : Plateforme de surveillance de la chaîne alimentaire. Rapport final du groupe de travail « Surveillance du Cadmium dans la chaîne alimentaire ». 2023.

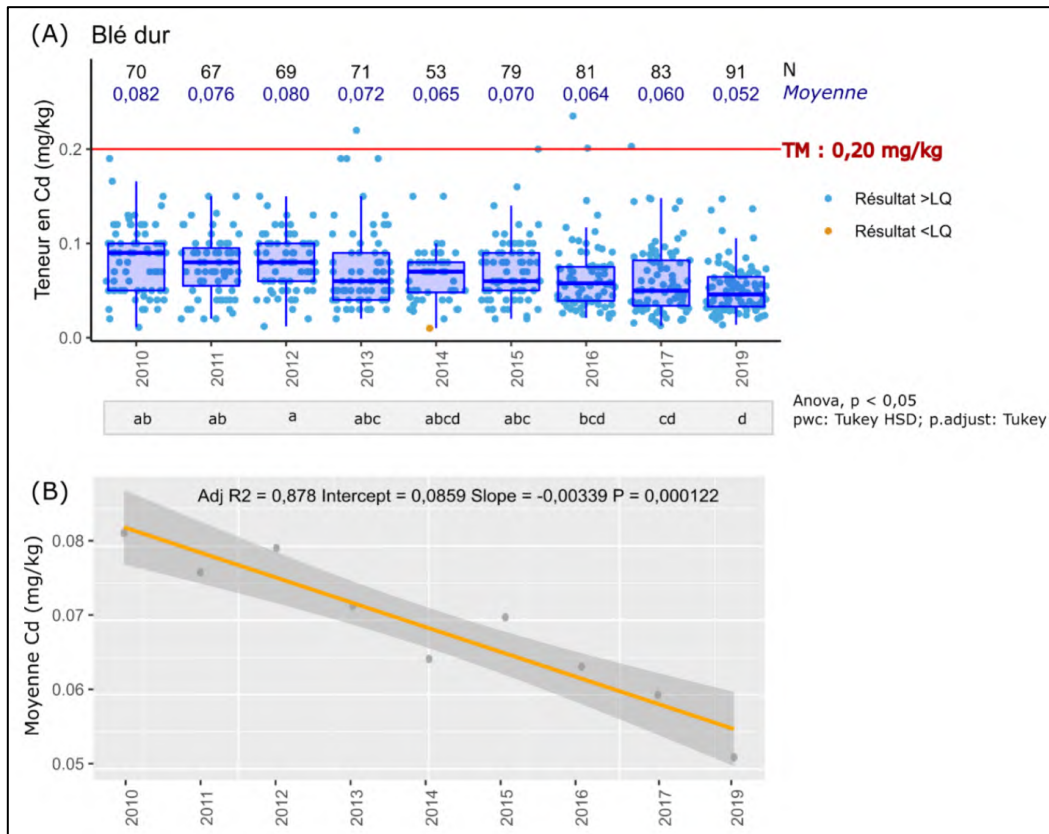


*Description statistique des concentrations en cadmium (2017-2019) pour la catégorie « Céréales et produits céréaliers », exprimées en mg/kg.*

	Effectif total	% censure	Moyenne (arith.)	Écart-type	Moyenne (géo.)	P25	Médiane	P75	P95	Max
Céréales pour la consommation humaine	1092	7,9	0,036	0,001	0,031	0,025	0,033	0,042	0,075	0,203 UB
> Blé dur	174	0,0	<b>0,056</b>	0,002	0,048	0,033	0,048	0,071	0,121	0,203 UB
> Blé tendre	735	3,3	0,034	0,001	0,032	0,027	0,032	0,040	0,055	0,120 UB
> Riz	135	44	0,025	0,002	0,018	0,010	0,02	0,037	-	0,170 UB
			0,015	0,002	-	0,00	0,007	0,020	-	LB
Dérivés primaires de céréales	27	7,4	0,028	0,004	0,021	0,016	0,027	-	-	0,077 UB
			0,017	0,001	0,014	0,010	0,014	0,020	-	UB
Pâtes et produits similaires	76	13	0,016	0,001	-	0,010	0,014	0,019	-	0,055 LB
> Pâtes (blé)	60	5,0	0,019	0,001	0,016	0,012	0,016	0,021	-	0,055 UB
Produits de mouture des grains	583	1,2	0,025	0,001	0,023	0,019	0,022	0,026	0,042	<b>0,210</b> UB
> Farine de blé tendre	522	0,8	0,024	0,001	0,023	0,019	0,022	0,026	0,038	0,150 UB
Biscuits, gâteaux et viennoiseries	61	12	0,018	0,003	0,013	0,008	0,013	0,016	-	0,122 UB

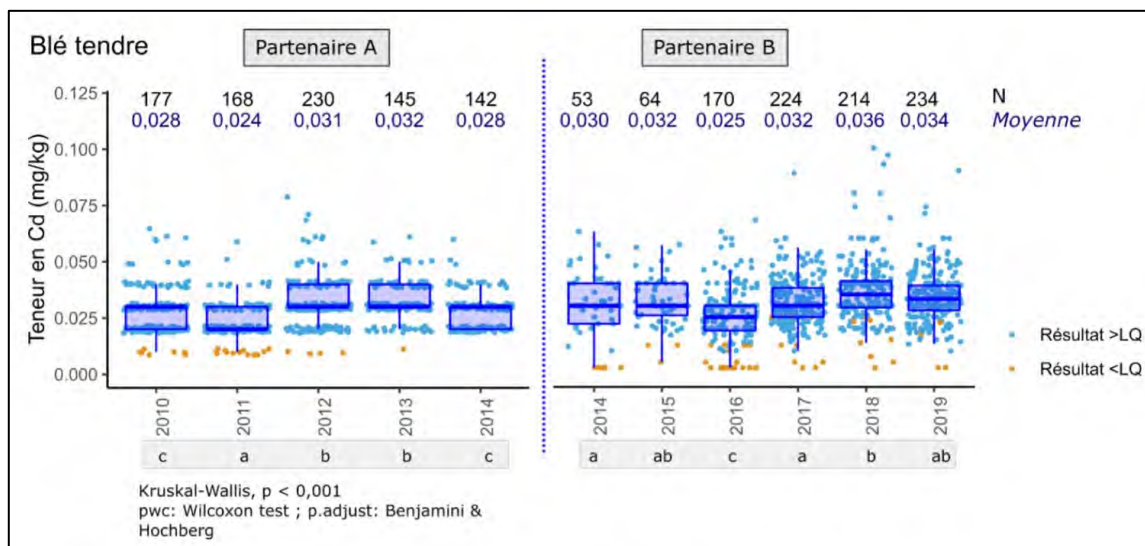
Source : Plateforme de surveillance de la chaîne alimentaire. Rapport final du groupe de travail « Surveillance du Cadmium dans la chaîne alimentaire ». 2023.

*Évolution temporelle des teneurs en cadmium dans le blé dur. (A) Distribution annuelle des résultats d'analyse du cadmium dans le blé dur (B) Régression linéaire à partir des moyennes*



Source : Plateforme de surveillance de la chaîne alimentaire. Rapport final du groupe de travail « Surveillance du Cadmium dans la chaîne alimentaire ». 2023.

### Distribution annuelle des teneurs en cadmium dans le blé tendre.



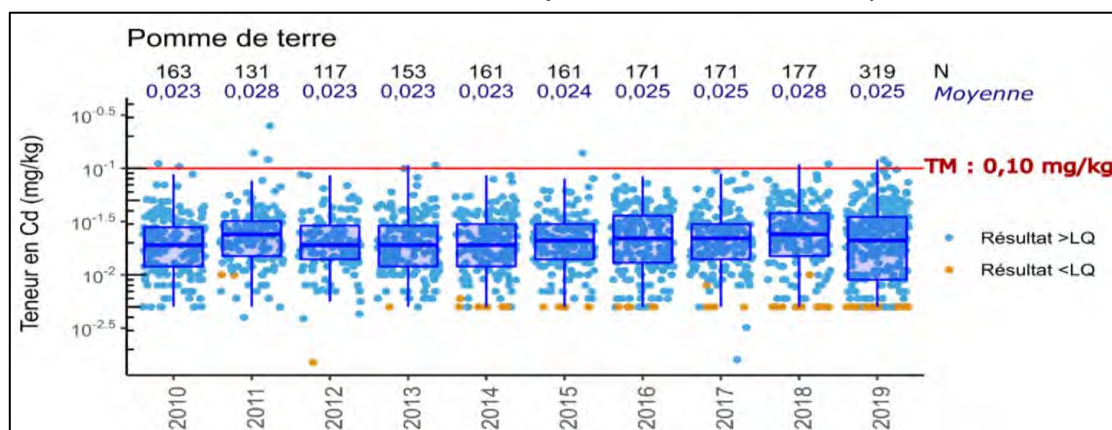
Source : Plateforme de surveillance de la chaîne alimentaire. Rapport final du groupe de travail « Surveillance du Cadmium dans la chaîne alimentaire ». 2023.

### Description statistique des concentrations en cadmium (2017-2019) pour la catégorie « Racines et tubercules amyliacés »

	Effectif total	% censure	Moyenne (arith.)	Écart-type	Moyenne (géo.)	P25	Médiane	P75	P95	Max	
<b>Pommes de terre et produits à base de pommes de terre</b>	733	9,4	0,027	0,001	0,021	0,013	0,023	0,036	0,062	0,127	UB
> Pommes de terre	667	10	0,026	0,001	0,020	0,012	0,022	0,035	0,060	0,120	UB
> Produits à base de pommes de terre	66	0,0	0,041	0,003	0,036	0,026	0,035	0,044	0,0922	0,127	UB

Source : Plateforme de surveillance de la chaîne alimentaire. Rapport final du groupe de travail « Surveillance du Cadmium dans la chaîne alimentaire ». 2023.

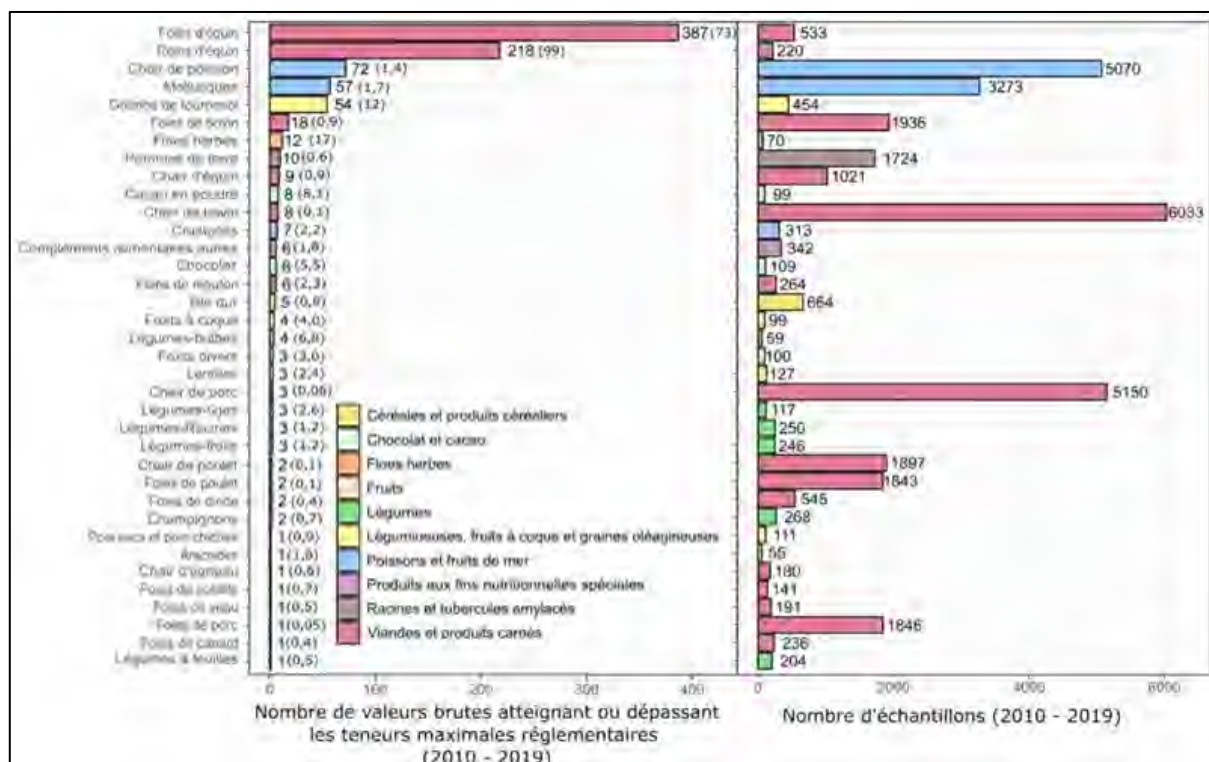
### Distribution annuelle des résultats d'analyse du cadmium dans les pommes de terre.



Source : Plateforme de surveillance de la chaîne alimentaire. Rapport final du groupe de travail « Surveillance du Cadmium dans la chaîne alimentaire ». 2023.

[...] Entre 2010 et 2019, aucune différence significative n'est observée après comparaison des concentrations en cadmium observées annuellement pour les pommes de terre.

*Synthèse du nombre de résultats bruts (ou proportion) atteignant ou dépassant les teneurs maximales fixées par le règlement CE 1881/2006 (alimentation humaine) en vigueur entre 2010-2019*



Source : Plateforme de surveillance de la chaîne alimentaire. Rapport final du groupe de travail « Surveillance du Cadmium dans la chaîne alimentaire ». 2023.

## Annexe 13.2. Les études d'alimentation totale

[...] Trois EAT ont déjà été conduites en France. Une première EAT (EAT 1), conduite entre 2001 et 2005, a ciblé la population générale à partir de 3 ans et a porté sur l'analyse de 39 substances chimiques (INRA 2004). Une seconde EAT (EAT 2), conduite entre 2006 et 2011, a de nouveau ciblé la population générale à partir de 3 ans mais a porté cette fois sur l'analyse de 445 substances (Anses 2011a, 2011b). Enfin, une EAT spécifique aux enfants de moins de 3 ans (EAT infantile) a été conduite entre 2010 et 2016, avec la recherche de 670 substances (Anses 2016). L'Anses s'est autosaisie afin de conduire une troisième EAT sur la population générale afin de poursuivre la surveillance de la sécurité sanitaire de l'alimentation en France, et de contribuer activement à protéger la santé des consommateurs, à aider à l'orientation des politiques publiques et à informer les consommateurs. Cette troisième EAT (EAT 3), ciblant plus de 250 substances, s'appuie sur les données de la dernière enquête Individuelle Nationale des Consommations Alimentaires (INCA 3), conduite en 2014-2015 (Anses 2017b), qui couvre la population générale en France métropolitaine, de 0 à 79 ans. Les enfants de moins de 3 ans, ayant fait l'objet d'une EAT spécifique (EAT infantile) publiée en 2016, ne sont pas inclus dans la population d'étude de l'EAT 3.

Dans cette nouvelle étude, la consommation d'aliments issus de l'agriculture biologique a été considérée dans l'échantillonnage des aliments.

La 3<sup>e</sup> étude Individuelle Nationale des Consommations Alimentaires (INCA 3) est une enquête transversale visant à estimer les consommations alimentaires et les comportements en matière d'alimentation (Anses 2017b; Dubuisson et al. 2019). L'étude a été menée entre février 2014 et septembre 2015 auprès d'un échantillon représentatif d'individus vivant en France métropolitaine (hors Corse). Au total, 5 855 individus répartis en 2 698 enfants de la naissance à 17 ans et 3 157

adultes âgés de 18 à 79 ans ont participé à l'étude. Pour EAT 3, in fine, 276 aliments ont été retenus pour être échantillonnés. Cette sélection permet de couvrir plus de 90 % de la consommation de la plupart des groupes pour les adultes et les enfants.

La collecte des aliments s'est déroulée de mai 2021 à août 2022, sur trois départements français (Loiret, Puy-de-Dôme et Hérault), choisis car ils comportent tous une ville de plus de 100 000 habitants, distantes d'au moins 200 km les unes des autres. L'EAT 3 ne comporte donc pas d'échantillons provenant d'une seule région ou un seul département, contrairement aux précédentes EAT françaises sur la population générale, l'EAT 1 et l'EAT 2. En effet, des analyses complémentaires sur les données de l'EAT 2 n'ont pas montré de différences d'exposition importantes entre les différentes régions étudiées (Anses 2013).

Les produits de chaque sous-échantillon ont été préparés « tels que consommés » en suivant les instructions définies dans le plan d'échantillonnage sur la base des déclarations des individus enquêtés dans INCA 3, à la fois dans les rappels de 24 heures et dans les questionnaires auto-administrés.

Des ustensiles et du matériel de cuisson domestiques (non professionnels) ont été utilisés lors de la préparation tels qu'un four traditionnel, four micro-ondes, plaques de cuisson, casseroles, poêles, mixeur, etc. ainsi que des produits ménagers du commerce pour nettoyer le matériel, afin de reproduire les habitudes des consommateurs. Les produits utilisés pour nettoyer la vaisselle ont fait l'objet d'un dosage des ETM afin de s'assurer qu'ils n'étaient pas susceptibles de contaminer les échantillons.

Source : Anses. Étude de l'alimentation totale française 3 (EAT 3) - Rapport méthode (saisine 2019-SA-0010). 2025.

[...] Le cadmium est détecté dans 89 % des 718 échantillons analysés. Selon les matrices, les limites de détection et de quantification varient de 0,003 à 0,333 µg/kg et de 0,01 à 1,3 µg/kg, respectivement. Les concentrations les plus élevées sont retrouvées dans un échantillon de chocolat noir (290 µg/kg) du groupe « confiserie et chocolat », de rognon (270 µg/kg) du groupe « abats », et de moule (250 µg/kg) du groupe « crustacés et mollusques ». Aucun échantillon ne dépasse la TM réglementaire (Commission Européenne 2023).

Les niveaux de concentration des aliments de l'EAT3 sont plus bas que ceux des aliments de l'EAT2 (Anses 2011a), en moyenne de - 57 %, IC95% [- 65 ; - 47] (p<0,01). Les diminutions concernent 72 % des aliments, et les diminutions les plus importantes entre les deux EAT sont observées pour des boissons, notamment des eaux embouteillées, des boissons rafraichissantes sans alcool et des jus de fruits (- 93 à - 99 %). En revanche, la concentration a augmenté pour 28 % des aliments, notamment pour les pommes de terre et certains produits céréaliers, en particulier pour les céréales pour petit déjeuner avec une augmentation d'un facteur 3,5. Une des raisons de cette augmentation pourrait être liée à la présence de chocolat dans plusieurs des échantillons de produits céréaliers (JECFA 2023).

Dans la mesure où les résultats des tests statistiques ne sont pas convergents, il n'est pas possible de conclure quant à une différence entre les concentrations en cadmium dans l'ensemble des aliments bio et conventionnels

Source : Anses. Étude de l'alimentation totale française 3 (EAT3). Résultats - Tome 1 Acrylamide, aluminium, argent, cadmium, mercure et plomb. Rapport d'expertise collective. Janvier 2026

## Annexe 13.3. Les campagnes annuelles de contrôle des aliments

[...] 1 634 prélèvements exploitables en 2023.

- 26 prélèvements sont non conformes (24 animales et 2 végétales), soit un taux de non-conformité de 1,6 %. Seul trois pour le cadmium.
- Autres légumes frais ou surgelés (dont épinards surgelés) : 2 échantillons présentent une concentration en ETM proche de la TM établie par le Règlement (UE) 2023/915 : • 1 échantillon d'épinards (Origine France) pour la teneur en Cd • 1 échantillon d'artichauts (Origine France) pour la teneur en Cd
- Foie de bovin : 1 foie vache de réforme dépasse la TM pour le Cd
- Chair de poissons de mer ou d'eau douce : 1 chair de thon dépasse la TM en Cd
- Chair de mollusque : 1 chair de céphalopode (calamar) dépasse la TM pour le Cd

[...] 2 354 prélèvements exploitables en 2022 et 2280 en recherche de cadmium

- Sur les 2 354 prélèvements réalisés et exploités, 52 non-conformités ont été relevées. Elles concernaient pour le cadmium 4 foies de bovins, 3 foies d'ovins, 3 muscles d'équins, 2 foies de volailles, 9 foies et un muscle de gibier sauvage, 1 chair de mollusque,
- On note une majorité de non-conformités sur la matrice gibier sauvage. Le niveau de contamination suggère fortement que cette non-conformité observée est due à la composition des munitions utilisées pour abattre l'animal. Ainsi, les métaux utilisés se retrouvent dans les organes des animaux chassés.
- En 2022, la DGCCRF était en charge du contrôle de la contamination par les éléments-traces métalliques dans des denrées alimentaires d'origine végétale. 488 prélèvements analysés. Un échantillon de rhubarbe a été considéré comme impropre à la consommation compte tenu de la teneur en cadmium (2 fois supérieure à la limite réglementaire du règlement (CE) 1881/2006 portant fixation de teneurs maximales pour certains contaminants dans les denrées alimentaires).

Source : DGAL contrôles annuels des aliments.

## Annexe 14. Réglementation relative au cadmium

### Annexe 14.1. De nombreuses réglementations multisectorielles ont été mises en œuvre pour limiter l'exposition au cadmium

#### Évolution des émissions

Le Protocole d'Aarhus sur les métaux lourds (adopté en 1998 et amendé en 2012) impose à la France de ne pas dépasser le niveau d'émission de cadmium atteint en 1990 soit 20,4 tonnes émises par an. La France respecte cet objectif depuis 1990 puisque ses émissions de cadmium sont globalement en baisse depuis cette année de référence.

#### Limitation de l'utilisation

La directive européenne RoHS – *Restriction of Hazardous Substances* – (2002/95/CE) vise à limiter l'utilisation de six substances dangereuses, dont le cadmium, dans les équipements électriques et électroniques.

Le règlement n°834/2012 de la commission, modifiant l'annexe du règlement REACH relative aux restrictions applicables au cadmium et ses composés, restreint l'emploi du cadmium pour la coloration des matières plastiques et des peintures, pour la stabilisation des polymères et copolymères du chlorure de vinyle, pour le cadmiage des métaux, pour la fabrication des bijoux et des métaux d'apport pour le brassage fort.

La directive 2013/56/UE a interdit l'inclusion de batteries NiCd dans les outils électriques sans fil à compter du 31 décembre 2016.

#### Classement du cadmium et ses composés

La directive-cadre sur l'eau 2000/60/CE a classé le cadmium comme substance prioritaire dangereuse dans les eaux de surface et eaux souterraines.

Le cadmium et l'oxyde de cadmium ont été ajoutés à la liste des substances extrêmement préoccupantes du règlement REACH en 2013 (ainsi que le sulfate de cadmium en 2014).

#### Teneur maximale de cd dans l'alimentation humaine et animale

Le cadmium est soumis à la Directive CE 32/2002 du Parlement européen fixant les teneurs maximales en contaminants dans les denrées destinées à l'alimentation animale à une teneur de 1 mg/kg de matière sèche. Dans l'alimentation humaine, le cadmium est réglementé à 0,2 mg/kg de matière sèche (CE 1881/2006).

Source : compilation mission.

## Annexe 14.2. Les réglementations sur les matières fertilisantes

### Réglementation non harmonisée au niveau européen - Réglementation française pour les MFSC

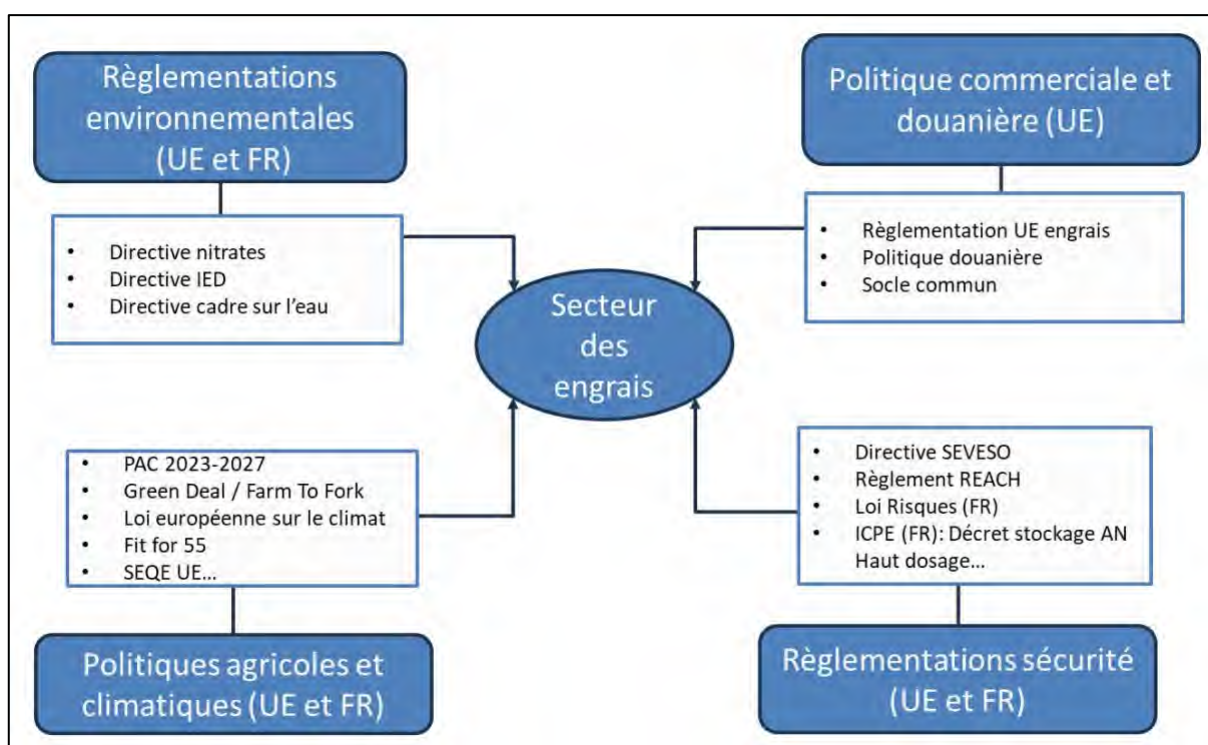
- Code rural et de la pêche maritime - Chapitre V, titre V, titre II : Mise sur le marché et utilisation des matières fertilisantes, des adjuvants pour matières fertilisantes et des supports de culture
  - Section 1 : Définitions. (Article L.255-1)
  - Section 1 bis : réduction des émissions d'ammoniacque (Article L.255-1-1)
  - Section 2 : Mise sur le marché et utilisation des matières fertilisantes, des adjuvants pour matières fertilisantes et des supports de culture. (Articles L.255-2 à L.255-13)
  - Section 3 : Mesures de surveillance des effets et de l'efficacité des produits (Articles L.255-14 et L.255-15)
  - Section 4 : Mesures d'urgence. (Articles L.255-16)
  - Section 5 : Contrôles et sanctions. (Articles L.255-17 et L.255-18)
- Décret n°80-478 du 16 juin 1980 modifié portant application des articles L.412-1 du code de la consommation en ce qui concerne les matières fertilisantes et les supports de culture, et les arrêtés d'application relatifs notamment aux contrôles et aux vérifications auxquels doit procéder le responsable de la mise sur le marché.

## Réglementation européenne pour les MFSC

- Règlement (UE) 2019/1009 du Parlement européen et du Conseil du 5 juin 2019 établissant les règles relatives à la mise à disposition sur le marché des fertilisants UE, modifiant les règlements (CE) n° 1069/2009 et (CE) n° 1107/2009 et abrogeant le règlement (CE) n° 2003/2003 (Texte présentant de l'intérêt pour l'EEE).
- Règlement (CE) n° 1069/2009 modifié du 21 octobre 2009 établissant des règles sanitaires applicables aux sous-produits animaux et produits dérivés non destinés à la consommation humaine.
- Règlement (UE) n° 142/2011 du 25 février 2011 modifié portant application du Règlement (CE) n° 1069/2009 et portant application de la directive 97/78/CE en ce qui concerne certains échantillons et articles exemptés des contrôles vétérinaires effectués aux frontières en vertu de cette directive.

Source : Direction générale des entreprises – <https://www.entreprises.gouv.fr/espace-entreprises/s-informer-sur-la-reglementation/matieres-fertilisantes-et-supports-de-culture>

### Principales réglementations européennes et françaises intervenant sur le secteur des engrais



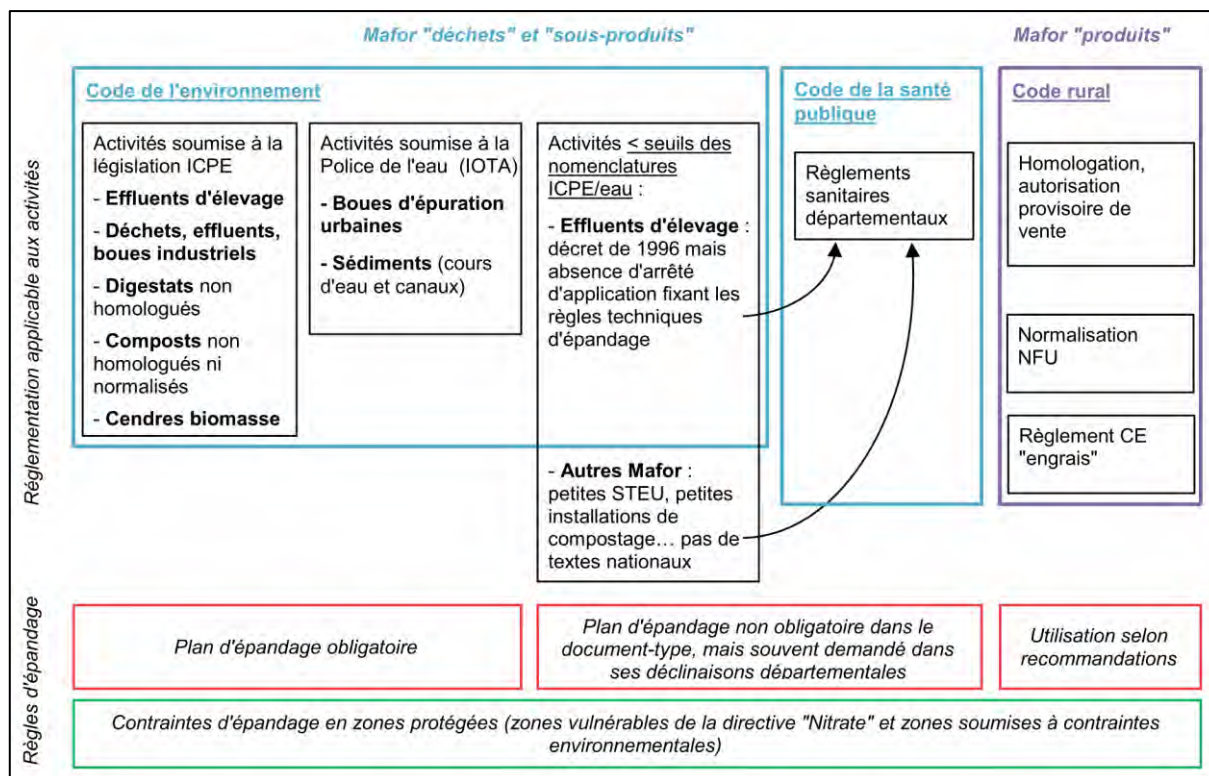
[...] La réglementation s'appliquant au marché français des engrais minéraux est en partie spécifique au territoire national, du fait d'une part de modalités particulières de transposition de directives européennes, d'autre part de textes de loi nationaux hors transposition. Concernant la mise sur le marché des produits, le règlement REACH et le règlement fertilisant s'appliquent directement à la France comme aux autres États Membres.

Le règlement fertilisant de 2019 (2019/1009, aussi dit « REACH Fertiliser ») recense les engrais en fonction de leurs caractéristiques spécifiques et les tolérances associées, dont des seuils maximums en éléments traces métalliques. Les États Membres peuvent décider de seuils plus restrictifs, qui doivent être notifiés à la Commission européenne. Le règlement définit aussi 11 catégories de matériaux composants dont l'enregistrement REACH est obligatoire, en complément des produits chimiques déjà couverts par cette directive.

Les réglementations pour la mise sur le marché des produits (REACH, REACH Fertiliser) s'appliquent autant aux productions européennes qu'aux importations.

Source : Clément Lepeule, Julien Potier, Rose Cahagne, Violaine Romieu, Alexis Dufumier. Étude sur le fonctionnement général du marché des engrais minéraux dans la situation spécifique des filières grandes cultures. AND International et CERES PRESS pour FranceAgriMer. Octobre 2024.

## Encadrement juridique et principales NFU pouvant s'appliquer aux Mafor



Norme	Type de produit	Exemple de Mafor concernées	Types de critères normatifs	
			Critères agronomiques	Critères relatif aux teneurs limites en contaminants
NFU 42-001, 42-001-1 et 42-001/A10	engrais	Fientes de volailles, guano Vinasse viticole Sous-produits animaux (corne broyée, farine de plume, poudre d'os, sang séché) et cendres animales Scories de déphosphoration	Teneurs minimales en N, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ou K <sub>2</sub> O variables en fonction des dénominations Teneur déclarée en N organique pour les engrais organiques Teneurs déclarées éventuelles en éléments fertilisants secondaires (Ca, Mg, Na, S)	Seuils maximaux en 6 ETM dans la norme engrais minéraux 42-001-1
NFU 42-002 et 42-003	engrais à teneur déclarée en oligo-éléments	Dénominations de la NFU 42-001, enrichies en oligo-éléments	Teneurs minimales en oligo-éléments variables en fonction des dénominations. Flux d'oligo-éléments maximum annuels (B, Co, Cu, Mo, Zn)	Pas de critères d'innocuité spécifiques
NFU 44-001	amendements minéraux basiques	Ecumes de sucrerie	Valeur neutralisante minimale	Seuils maximaux en ETM Analyses annuelles sur 10 ETM
NFU 44-003 en discussion	amendements basiques	Boues chaulées issues d'un procédé biologique de traitement des eaux usées urbaines	Taux de chaulage minimum Valeur neutralisante minimale Teneurs max en N, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , K <sub>2</sub> O pH minimum	Teneurs et flux max en 10 CTO et en 9 ETM, en certains micro-organismes et agents pathogènes Interdit sur cultures maraichères
NFU 44-051	amendements organiques	Fumiers, déjections animales avec et sans litière ; Composts ou lombricomposts divers, ayant subi une digestion anaérobie ou non ; Matières végétales (tourteaux, fruits ou légumes, tailles de vergers, vinasses...) Mélanges de matières animales et végétales ayant subi ou non un compostage	Teneurs max en N, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , K <sub>2</sub> O Teneurs minimales en MO et MS	Teneurs et flux max en 3 CTO et 9 ETM, en certains micro-organismes et agents pathogènes, en éléments inertes
NFU 44-095	amendements organiques	Composts contenant des matières issues du traitement des eaux usées (compost de boues d'épuration urbaines et de certaines boues industrielles)		Teneurs et flux max en 10 CTO et 9 ETM, en certains micro-organismes et agents pathogènes, en éléments inertes

INRA-CNRS-Irstea. Expertise scientifique collective - Valorisation des matières fertilisantes d'origine résiduaire sur les sols à usage agricole ou forestier - Impacts agronomiques, environnementaux, socio-économiques. 2014.

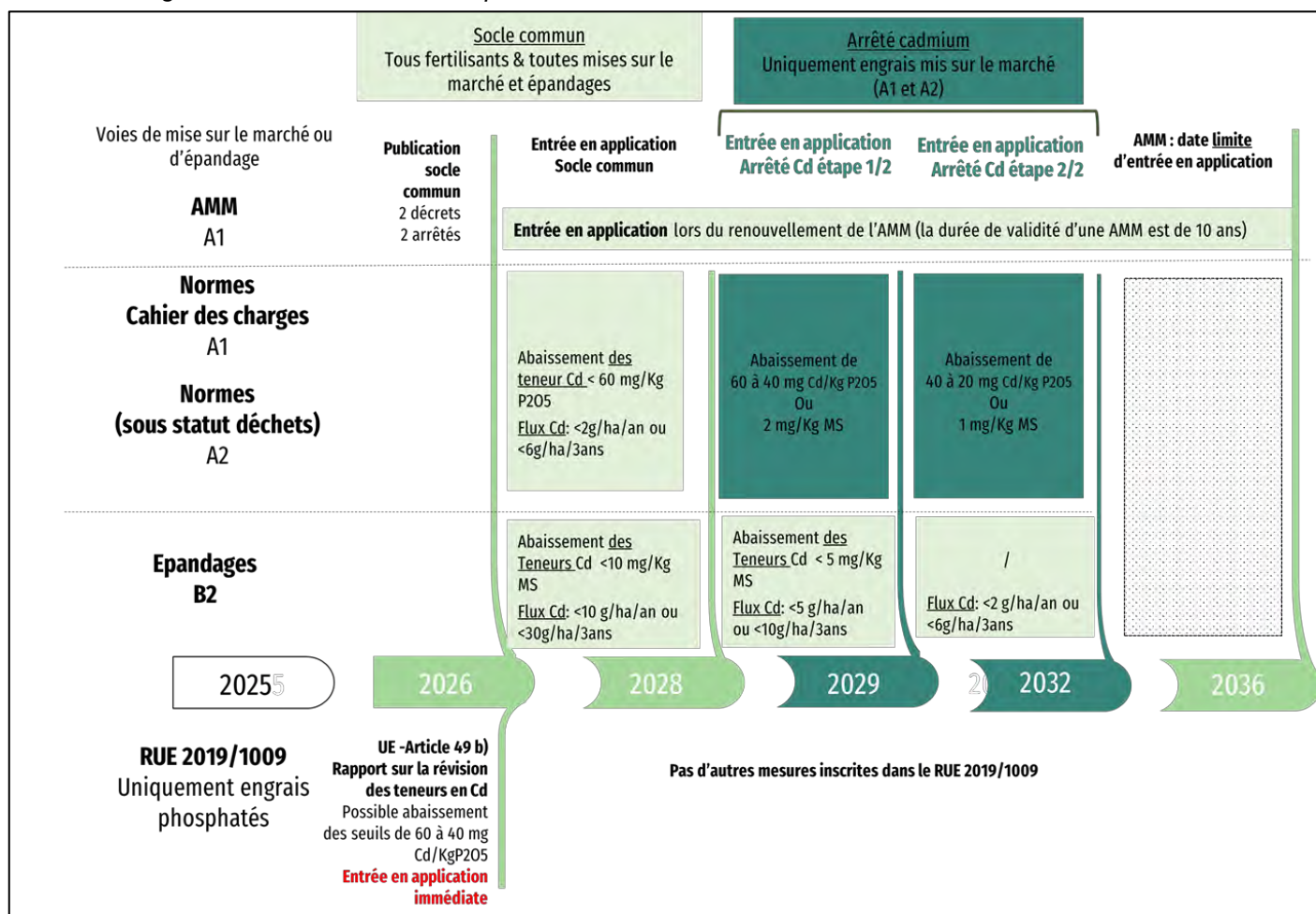


## Annexe 14.3. Le projet de « socle commun »

[...] Prévues par la loi EGalim de 2018, la définition d'un « socle commun » vise à encadrer la valorisation de l'ensemble des matières fertilisantes et supports de cultures (MFSC), y compris celles issues des déchets alimentaires, déchets verts et boues d'épuration. Le projet de décret « socle commun », qui s'inscrit dans le cadre européen du règlement fertilisant, a été soumis à consultation fin 2023.

Source : Clément Lepeule, Julien Potier, Rose Cahagne, Violaine Romieu, Alexis Dufumier. Étude sur le fonctionnement général du marché des engrais minéraux dans la situation spécifique des filières grandes cultures. AND International et CERES PRESS pour FranceAgriMer. Octobre 2024.

### Chronologie de mise en œuvre des dispositions visant à abaisser la teneur et les flux en Cd dans les fertilisants



Source : Ministère chargé de l'agriculture – Direction générale de l'alimentation.

[...] Catégorie A1 : usage par des utilisateurs professionnels ou non professionnels des matières fertilisantes et supports de culture mis sur le marché et utilisés dans les conditions prévues par les articles L. 255-2 à L. 255-4 et par le 1° et le 3° de l'article L. 255-5.

Catégorie A2 : usage réservé aux utilisateurs professionnels, en dehors d'un plan d'épandage, des matières fertilisantes et supports de culture mis sur le marché et utilisés dans les conditions prévues par les articles L.255-2 à L.255-4, par le 1° et 3° de l'article L.255-5.

Catégorie B1 : usage réservé aux utilisateurs professionnels dans le cadre d'un plan d'épandage mentionné par le 5° de l'article L. 255-5 des matières listées en annexe.

Catégorie B2 : usage réservé aux utilisateurs professionnels dans le cadre d'un plan d'épandage mentionné par le 5° de l'article L. 255-5 de matières autres que celles de la catégorie B1.

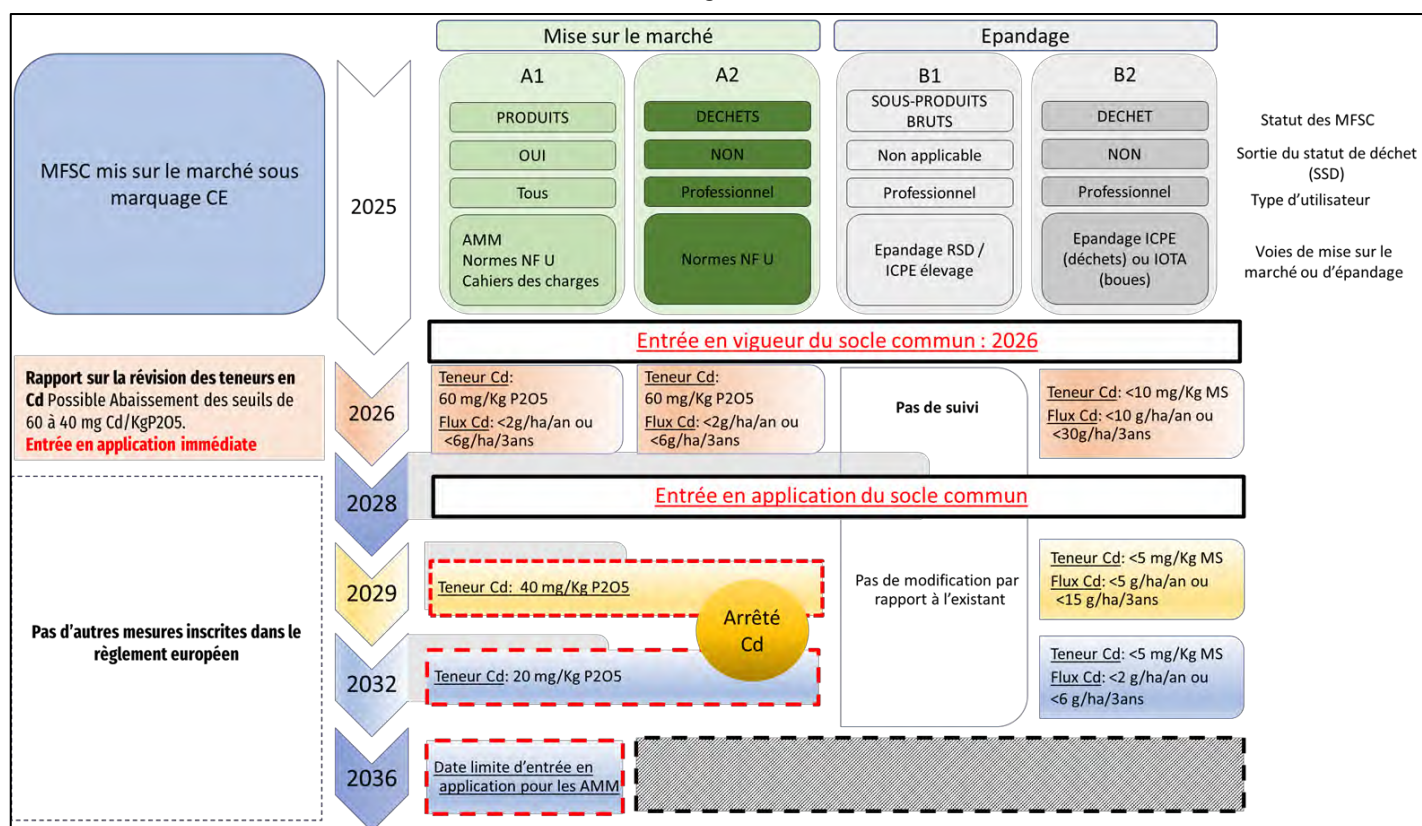
Matières fertilisantes de la catégorie B1 : le lisier avec ou sans litière, le guano non minéralisé et le contenu de l'appareil digestif, y compris les fumiers et les fientes de volailles, tel que mentionné à l'article 9(a) du règlement (CE) n°1069/2009 ; le lait cru, le colostrum ainsi que leurs produits

dérivés obtenus, conservés, éliminés ou utilisés dans l'exploitation d'origine ; les eaux de pluie qui ruissellent sur les aires découvertes accessibles aux animaux ; les eaux usées et les jus (d'ensilage par exemple) issus de l'activité d'élevage et des constructions annexes telles que les bâtiments de stockage de paille et de fourrage, les silos, les installations de stockage, de séchage et de fabrication des aliments destinés aux animaux, les équipements d'évacuation, de stockage et de traitement des effluents, les aires d'ensilage, les salles de traite.

Compte tenu de l'existence d'un seuil harmonisé dans le règlement 2019/1009, l'application du « socle commun » nécessitera, si la Commission n'a pas abaissé le seuil UE, une notification préalable au titre de l'article 114, paragraphe 4, du TFUE (maintien de certaines mesures nationales plus strictes que les dispositions d'une mesure d'harmonisation de l'UE). Le règlement UE 2019/1009 prévoit que la Commission rende un rapport, accompagné si besoin d'une proposition législative, pour abaisser le seuil UE de 60 mg/kg d'ici juillet 2026 (article 49, point b du règlement).

Source : Ministère chargé de l'agriculture – Direction générale de l'alimentation.

### Chronologie de mise en œuvre des dispositions visant à abaisser la teneur et les flux en Cd en fonction des catégories de fertilisants



Source : Ministère chargé de l'agriculture – Direction générale de l'alimentation.

### Réglementation Cadmium par typologie de produit

Typologie de produits	Réglementation nationale	Réglementation européenne (RUE 2019/1009) Cat. A1	Soile commun Cat. A2
Supports de culture	2 mg/kg MS (NF U44-551)	1,5 mg/kg MS	3 mg/kg MS
Amendements organiques	3 mg/kg MS (NF U44-051) (NF U44-095)	2 mg/kg MS	3 mg/kg MS
Engrais organiques	3 mg/kg MS (NF U42-001-2)	1,5 mg/kg MS	3 mg/kg MS
Engrais organo-minéraux	90 mg/kg de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> si P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ≥ 5 % 5 mg/kg de MS si P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> < 5 % (NF U42-001-3)	60 mg/kg MS (si teneur P ≥ 5% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) 3 mg/kg MS (si teneur P < 5% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	60 mg/kg MS (si teneur P ≥ 5% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) 3 mg/kg MS (si teneur P < 5% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )
Biostimulants	/	1,5 mg/kg MS	3 mg/kg MS
MFSC	1 mg/kg MS (AMM)		

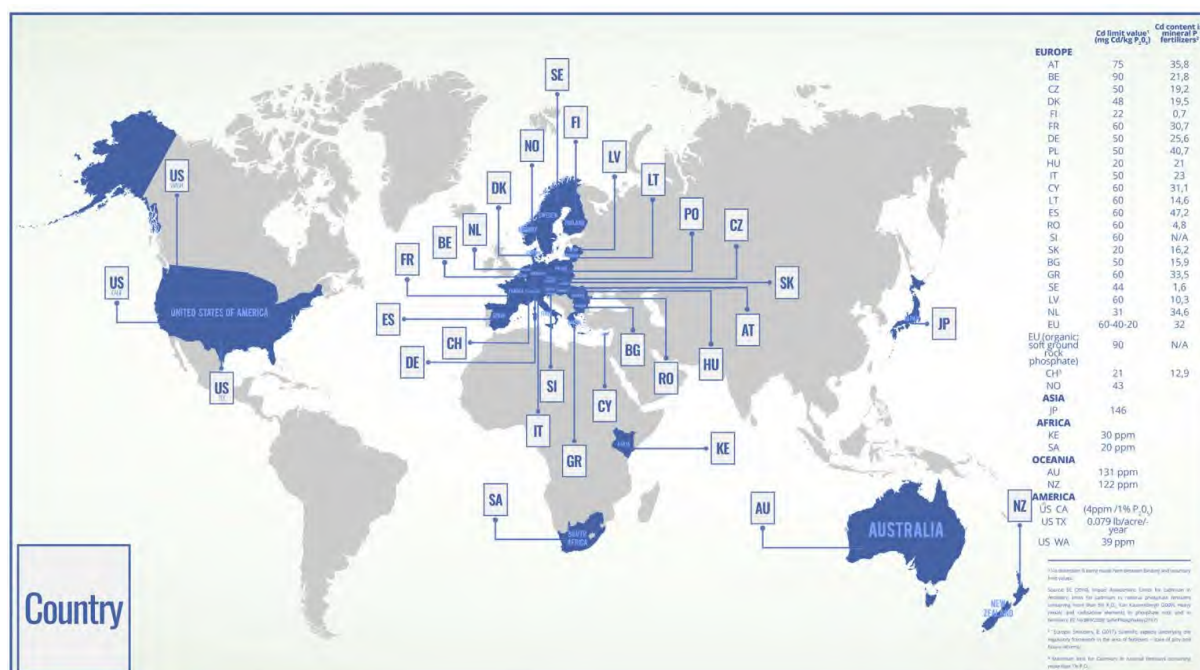
Source : Afaïa. Entretien mission.

### Annexe 14.4. Les teneurs maximales en cadmium des dans différents pays européens

Pays	Teneur max Cd (mg/kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	Remarque principale
Finlande	≈ 22 mg Cd/kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Dérogation ancienne, seuil autour de 22 mg Cd/kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> pour engrais phosphatés. <a href="#">goodplanet</a> <sup>11</sup>
Hongrie	20 mg Cd/kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Limite nationale stricte pour engrais phosphatés. <a href="#">goodplanet</a> <sup>11</sup>
Slovaquie	20 mg Cd/kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Même niveau que la Hongrie. <a href="#">goodplanet</a> <sup>11</sup>
Suède	≈ 44 mg Cd/kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Limite nationale inférieure au plafond UE. <a href="#">phosagro</a>
Pays-Bas	≈ 31 mg Cd/kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Limite nationale intermédiaire. <a href="#">phosagro</a>
Danemark	≤ 60 mg Cd/kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Annoncé parmi les États avec plafonds ≤ 60 mg Cd/kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . <a href="#">saferphosphates</a> <sup>11</sup>
Autres États (plusieurs)	≤ 60 mg Cd/kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Environ 14–21 États membres ont fixé des plafonds nationaux égaux ou inférieurs à 60 mg Cd/kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . <a href="#">goodplanet</a> <sup>11</sup>

Source : Entretien avec Professeur Souvet.

## Géographie des teneurs limites en cadmium par pays



L'industrie européenne des engrais a confirmé qu'elle pouvait respecter les limites de 60 mg et éventuellement de 40 mg, alors que la limite de 20 mg serait un défi.

Andrea E. Ulrich. Cadmium governance in Europe's phosphate fertilizers: Not so fast? Science of the Total Environment 650. 2019.

## Annexe 14.5. Les craintes exprimées quant à une évolution réglementaire des taux et flux de cadmium

*Des difficultés à couvrir les besoins des plantes les plus exigeantes*

*Estimation des besoins résiduels en phosphore de différentes cultures en fonction de la teneur en cadmium des engrais phosphatés pour une teneur admissible annuelle en cadmium de 2 g/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (selon la méthode du Comifer)*

Pour une parcelle avec une faible teneur en P dans le sol et une fertilisation phosphatée réalisée l'année dernière						
	Betterave	Pomme de T	Colza	Luzerne	Mais	Blé
Rendement en t/ha	85	50	3,5	12	10	8,5
Besoin en Kg de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> / ha	42,5	53	90	70	60	55
Exigence vis-à-vis du P	forte	forte	forte	forte	peu	moyenne
Coefficient COMIFER	1,5	1,5	1,5	1,5	1	1
<b>↓ Carence en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> pour respecter la limite de flux de 2g de Cadmium / Ha</b>						
Engrais P à 60 mg/kg de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-30	-46	-102	-72	-27	-22
Engrais P à 51* mg/kg de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-25	-40	-96	-66	-21	-16
Engrais P à 40 mg/kg de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-14	-30	-85	-55	-10	-5
Engrais P à 20 mg/kg de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	36	21	-35	-5	40	45

\* Teneur moyenne estimée en France (<https://factuel.univ-lorraine.fr/node/9061>)

Source : AFCOME. Entretien mission.

L'instauration de flux aura un impact sur la fertilisation de fond et le rendement des cultures.

→ Pour des cultures exigeantes comme la luzerne ou le colza : les quantités de phosphore apportées ne permettent pas de couvrir les besoins de la culture.

→ Risque d'impasse technique si aucun engrais bas cadmium n'est disponible sur le marché (impossible d'anticiper les sources disponibles plusieurs années à l'avance).

Source : AFCOME. Entretien mission.

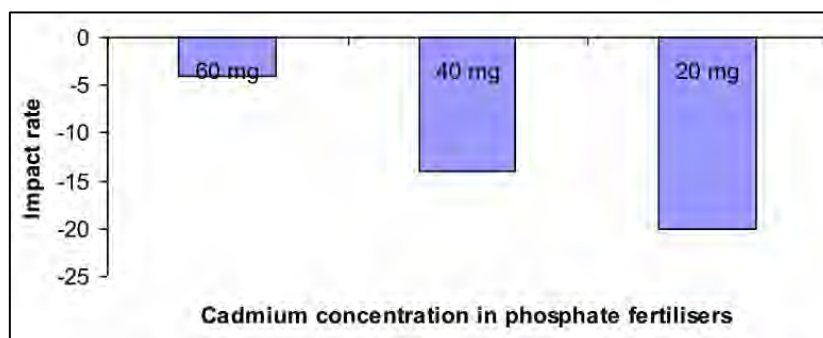
[...] Les acteurs s'interrogent aussi sur l'application de ce socle commun aux matières fertilisantes importées et leur prise en compte dans les apports globaux des contaminants à l'échelle de la parcelle. « Il existe un doute sur l'application des seuils sur les flux aux matières fertilisantes importées, souligne l'expert technique cycle de l'eau de la FNCCR. Nous avons interrogé formellement le ministère sur cette question qui nous semble fondamentale ». Sans réponse pour l'instant.

Source : Dorothée Laperche. Épandage des boues d'épuration : le projet socle commun inquiète toujours les acteurs de la filière. Actu Environnement. Décembre 2023.

[...] La hausse des exportations russes s'est accompagnée d'une redistribution substantielle de ses marchés d'exportation. L'UE, jusque-là son premier client, a considérablement réduit sa part dans les exportations russes : jusque-là comprise entre 17 % et 20 %, elle n'était plus que de 10 % en 2023. Ce recul ne s'explique pas par des sanctions, qui n'ont jamais touché le secteur des engrais russes, mais par des mesures volontaires de certains acheteurs, pour des questions réputationnelles ou par crainte des sanctions visant d'autres secteurs (logistique, transactions bancaires, etc.) ou de faire affaire avec des « oligarques » russes sanctionnés par ailleurs.

Source : Global Sovereign Advisory. Engrais : après quatre années de crise, un marché fortement recomposé. Mars 2025.

### Évaluation par les PME des impacts de la fixation de limites de cadmium sur les engrais



Le taux d'impact est le score obtenu en notant les réponses selon le tableau suivant et en résumant le résultat : Fortement bénéfique : + 2 Légèrement bénéfique : + 1 Aucun effet : 0 Légèrement préjudiciable : - 1 Fortement préjudiciable : - 2. Le taux d'impact maximum réalisable pour un total de 40 entreprises serait donc de  $\pm 80$ .

Source : Commission européenne. Commission staff working document - Impact assessment - Limits for cadmium in phosphate fertilizers. SWD(2016) 64 final. 2016.

[...] L'effet économique d'un changement de réglementation au niveau de l'exploitation peut être considéré comme faible. L'utilisation de phosphate minéral varie entre environ 1,99 kg/ha de surface agricole utilisée (SAU) aux Pays Bas et 12,10 kg par hectare de SAU en Pologne. Cela équivaut à des coûts en moyenne compris entre 1,00 et 13,00 euros par hectare. Si l'on considère qu'environ 20 pour cent du phosphate minéral pourrait potentiellement poser problème et devrait être remplacé, cela représente des coûts compris entre 0,20 et 0,50 euro par hectare en moyenne. Les effets régionaux peuvent être différents, mais il est difficile d'imaginer que le changement de réglementation au niveau des exploitations agricoles devienne une question importante du point de vue des coûts.

La situation est différente au niveau global ou sectoriel. L'utilisation totale de phosphore minéral comme engrais était d'environ 1 185 646 tonnes en 2013 dans l'Union européenne, avec une valeur marchande d'environ 930 millions d'euros. Si environ 20 % du phosphore minéral était concerné, cela entraînerait une valeur marchande d'environ 200 millions d'euros, soit environ 150 000 euros en moyenne par entreprise productrice d'engrais. Selon les détails de la réglementation de la teneur en cadmium des engrais, le coût variera, mais la réglementation affectera très probablement l'ensemble du secteur si une certification est nécessaire. Comme ce type de réglementation implique presque toujours des coûts irrécupérables, elle nuira davantage aux petites entreprises productrices d'engrais qu'aux grandes, contribuant ainsi à une concentration dans l'industrie.

Nous ne constatons pas que le changement de réglementation aura un impact sur les préoccupations sanitaires et environnementales liées à l'exposition des humains et de l'environnement au cadmium.

Imposer des normes minimales volontaires pour le cadmium dans les engrais inorganiques augmentera les coûts au niveau de l'industrie des engrais ainsi qu'au niveau administratif entre les États membres de l'UE sans générer d'avantages supplémentaires. Ce genre de politique ne devrait pas être suivi.

La concentration de cadmium dans l'environnement et dans les aliments au sein de l'Union européenne montre une tendance à la baisse. Une teneur maximale obligatoire et contraignante de cadmium dans les engrais inorganiques ne devrait pas non plus entraîner d'avantages supplémentaires justifiant les coûts supplémentaires.

Considérant qu'en fin de compte, les impacts sur la santé humaine constituent les implications les plus importantes du cadmium sur l'environnement, compte tenu de la grande incertitude scientifique établissant la cause et l'effet entre l'utilisation d'engrais phosphorés et les accumulations de cadmium chez l'homme, et compte tenu du déclin de l'application d'engrais minéraux phosphorés, compte tenu des effets négatifs sur l'industrie des engrais, des stratégies alternatives devraient être envisagées.

Une telle stratégie alternative pourrait consister à renforcer la surveillance de la teneur en cadmium des produits alimentaires et à fournir aux consommateurs des informations sur la manière d'éviter des niveaux élevés de cadmium dans la consommation alimentaire. Compte tenu de la situation et des tendances actuelles, une réglementation de l'industrie des engrais à cet égard pourrait ne pas générer d'avantages et ne faire qu'augmenter les coûts. Une surveillance plus étroite de la teneur en cadmium des aliments peut constituer une alternative rentable.

L'utilisation du fumier au niveau des exploitations agricoles ainsi que le commerce du fumier ne devraient pas être davantage réglementés. Les réglementations actuelles concernant l'utilisation d'engrais dans l'agriculture, combinées à plusieurs réglementations environnementales au niveau européen et national, couvrent les effets négatifs potentiels sur l'environnement et fournissent des instruments pour réduire l'utilisation du fumier si nécessaire. L'application des réglementations existantes devrait être prioritaire. Ajouter une charge administrative aux agriculteurs ne générera pas de bénéfices environnementaux supplémentaires et pourrait même avoir le résultat inverse.

Les nouveaux produits fertilisants entrant sur le marché européen peuvent bénéficier de l'harmonisation des normes en réduisant le coût de commercialisation des produits. Les normes devraient se concentrer sur les contaminants les plus importants, comme mentionné dans la Commission européenne (2016c).

Source : Justus WESSELER et Dušan DRABIK (Wageningen University). Economic Aspects of the Regulatory Framework in the Area of Fertilizers – in depth analysis. European Parliament, Directorate general for internal policies. Avril 2017.

## Annexe 15. Scénarios et modélisation de teneurs de cadmium dans les sols

Différentes équipes de recherche ont procédé à des modélisations de l'évolution des teneurs en Cd des sols en fonction des pratiques agricoles. Les différents articles présentés sommairement ci-dessous illustrent la variabilité des résultats et mettent en avant les principaux points de divergence (lixiviation, pratiques agricoles considérées, etc.).

Le dernier article mentionné évoque la modélisation réalisée par l'ANSES pour déterminer les 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 (Saisine n°2015-SA-0140), valeurs qui ont servi de référence pour préparer la nouvelle réglementation.

**Source : Thibault Sterckeman, Lucas Gossiaux, Sophie Guimont, Catherine Sirguey, Zhongbing Lin. Cadmium mass balance in French soils under annual crops: Scenarios for the next century. Sci. Total Environ. 639. 2018. Corrigendum Sci. Total Environ. 650. 2019.**

*Évolution de la teneur en Cd dans la couche labourée (25 cm) du sol français moyen en cultures annuelles, selon différents scénarios.*

Scenario	Soil Cd content, mg kg <sup>-1</sup>				Variation, %		
	Initial	10 years	20 years	100 years	10 years	20 years	100 years
CPA: Current P application rates	0.31	0.303	0.299	0.257	-2.2	-3.6	-17.3
CPA <sub>L6</sub> : Same as CPA, with leaching rate/6	0.31	0.309	0.311	0.319	-0.3	0.4	2.9
CPA <sub>L12</sub> : Same as CPA, with leaching rate/12	0.31	0.310	0.313	0.326	-0.2	1.0	5.2
GPPA: P application according to good practices	0.31	0.302	0.295	0.249	-2.7	-4.8	-19.7
GPPA <sub>L6</sub> : Same as GPPA, with leaching rate/6	0.31	0.308 <sup>a</sup>	0.309	0.310	-0.6	-0.5	-0.1
GPPA <sub>L12</sub> : Same as GPPA, with leaching rate/12	0.31	0.309 <sup>a</sup>	0.310	0.317	-0.4	0.0	2.2
EUR: Current P application rates with EU regulation limiting Cd in fertilizers	0.31	0.302	0.295	0.238	-2.5	-4.8	-23.2
EUR <sub>L6</sub> : Same as EUR, with leaching rate/6	0.31	0.309	0.309	0.298	-0.4	-0.4	-3.8
EUR <sub>L12</sub> : Same as EUR, with leaching rate/12	0.31	0.309	0.311	0.305	-0.3	0.3	-1.6
GPEU: P application according to good practices with EU regulation limiting Cd in fertilizers	0.31	0.301	0.294	0.234	-2.8	-5.3	-24.4
GPEU <sub>L6</sub> : Same as GPEU, with leaching rate/6	0.31	0.308	0.307	0.294	-0.7	-0.9	-5.2
GPEU <sub>L12</sub> : Same as GPEU, with leaching rate/12	0.31	0.308	0.308	0.301	-0.5	-0.5	-3.0
OA: Organic agriculture	0.31	0.302	0.296	0.248	-2.6	-4.7	-20.0
OA <sub>L6</sub> : Same as OA, with leaching rate/6	0.31	0.308 <sup>a</sup>	0.309	0.310	-0.5	-0.3	0.0
OA <sub>L12</sub> : Same as OA, with leaching rate/12	0.31	0.309 <sup>a</sup>	0.311	0.317	-0.3	0.2	2.3
OAEU: Same as OA, with EU regulation limiting Cd in fertilizers	0.31	0.302	0.294	0.237	-2.7	-5.0	-23.4
OAEU <sub>L6</sub> : Same as OAEU, with leaching rate/6	0.31	0.308	0.308	0.298	-0.6	-0.6	-3.7
OAEU <sub>L12</sub> : Same as OAEU, with leaching rate/12	0.31	0.309	0.309	0.305	-0.4	-0.2	-1.5

<sup>a</sup> This minimum value is the consequence of the high crop offtake of sunflower in year 7, made visible by a scenario with little variation in Cd balance over the century.

[...] En supposant la fertilisation phosphatée actuelle, l'application d'une réglementation limitant la teneur en cadmium dans les engrais phosphatés, comme le propose l'Union européenne, entraînerait une diminution du cadmium dans les sols, de 1,6 % à 3,8 % après un siècle.

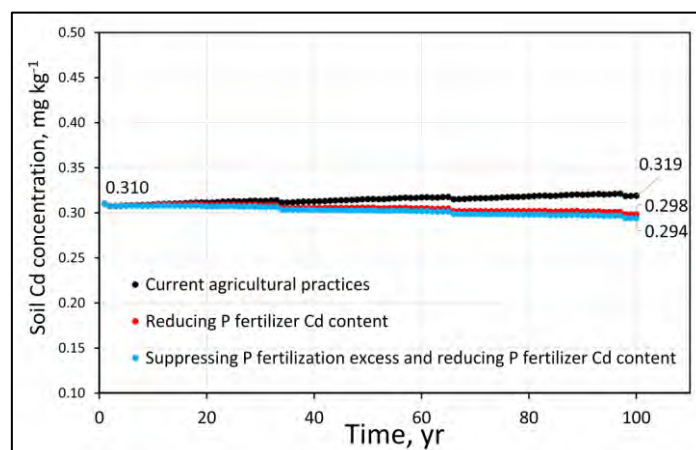
Le bilan Cd que nous avons calculé pour la France est assez différent de celui simulé pour l'UE par Six et Smolders (2014), qui est nettement négatif (- 1,47 g Cd/ha/an). Deux facteurs expliquent cette différence : une teneur plus élevée en Cd dans les engrais P appliqués en France (51 mg/kg d'engrais contre 36 mg) et un lessivage du Cd plus faible dans les sols français.

### Thibault Sterckeman. Trop de cadmium dans les engrais français ? The Conversation. 2018

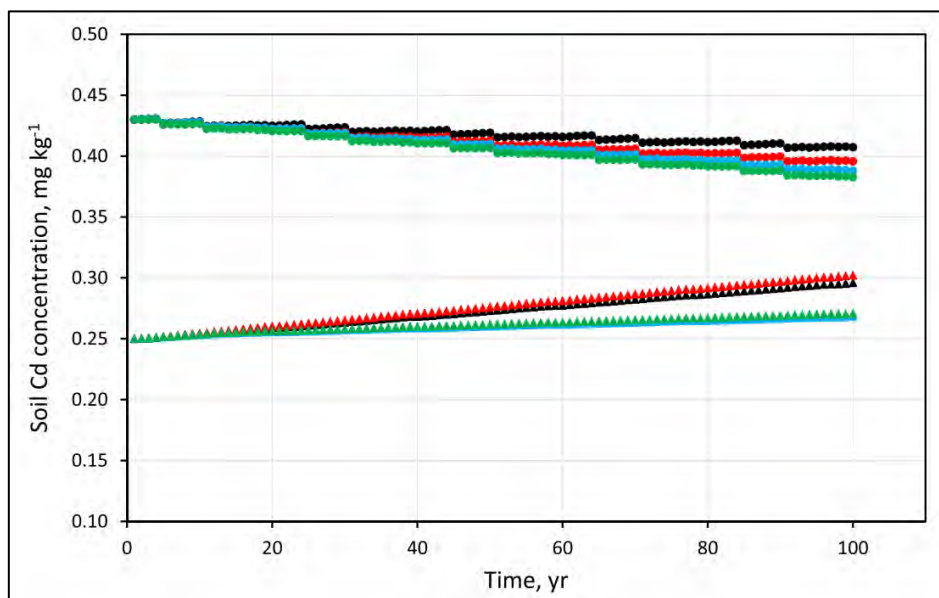
Confronté aux données d'expériences de plein champ et de longue durée menées dans le cadre du SOERE-PRO (Système d'observatoires, d'expérimentations et de recherche en environnement de produits résiduels organiques), le modèle utilisé dans l'étude à l'échelle européenne surestime de 5 à 12 fois les sorties de cadmium par les eaux de drainage. En surestimant les sorties de cadmium du sol, cette étude exagère donc la baisse du cadmium prédite pour les sols européens, voire en inverse la tendance.

Le scénario GPPA L6 (adoption par tous les agriculteurs des meilleures pratiques d'application du phosphore en appliquant strictement les recommandations du Comifer (1995), soit - 25 %) ne prévoit aucune variation de la teneur en Cd du sol au cours du prochain siècle.

### Évolution des teneurs en cadmium des sols sur 100 ans



Évolution de la concentration en Cd dans la couche labourée (25 cm) des sols sous cultures annuelles dans les régions Centre (triangles) et Nord-Pas-de-Calais (cercles) selon quatre scénarios avec le lessivage du Cd le plus faible.



Les scénarios sont CPAL12 (noir), GPPAL12 (rouge), EURL12 (bleu) et GPEUL12 (vert). Les discontinuités des courbes Nord-Pas-de-Calais sont dues aux prélèvements de betterave sucrière, résultant d'un rendement élevé (90,5 t/ha) et d'un TF relativement élevé (0,41).



**G. Carne, S. Leconte, V. Sirot, N. Breyse, P.-M. Badot, A. Bispo, I.Z. Deportes, C. Dumat, G. Rivière, A. Crépet. Mass balance approach to assess the impact of cadmium decrease in mineral phosphate fertilizers on health risk: The case-study of French agricultural soils. Science of the Total Environment, volume 760. 2021.**

*Apports de Cd liés aux applications d'engrais organiques testés dans le modèle*

Fertilization scenario	Mean Cd concentration in fertilizing matter (mg.kg <sup>-1</sup> DM <sup>+</sup> )	Total amount of nitrogen (kg.t <sup>-1</sup> DM <sup>+</sup> )	Amount of fertilizing matter applied at the Nitrate Directive threshold of 170 kg N.ha <sup>-1</sup> (t DM <sup>+</sup> .ha <sup>-1</sup> .year <sup>-1</sup> )	Cd flux added to the soil in one application (g.ha <sup>-1</sup> .year <sup>-1</sup> )
Sewage sludges (S)	1.60	Not applicable	3**	4.80
Cattle manure (CM)	0.30	20	8.50	2.55
Farm anaerobic digestate (FAD)	0.70	68	2.50	1.75
Max Cd farm anaerobic digestate (MaxCdFAD)***	Regulatory Cd threshold in digestate	Total amount of nitrogen (kg.t <sup>-1</sup> DM)	Amount of fertilizing material applied at the threshold of 170 kgN.ha <sup>-1</sup> (t DM.ha <sup>-1</sup> .year <sup>-1</sup> )	Cd flux added to the soil in one application (g.ha <sup>-1</sup> .year <sup>-1</sup> )
	3	68	2.50	7.50

[...] Les flux de Cd via les engrais minéraux phosphatés ont été comparés à ceux via les boues d'épuration, le fumier de bétail et les digestats anaérobies actuellement utilisés en France. L'inclusion de ces matières fertilisantes repose sur la disponibilité de données donnant des résultats sur les pratiques agronomiques françaises courantes pour les plans de fertilisation en monoculture de blé. Par rapport aux flux de Cd dérivés des engrais minéraux phosphatés, les flux de ces engrais organiques sont quasiment équivalents (0,67 à 9 g Cd/ha/an pour les engrais minéraux phosphatés contre 1,75 à 7,50 g Cd/ha/an pour les engrais organiques). Les apports de Cd dans les sols provenant des applications d'engrais organiques sont principalement attribués aux quantités élevées d'application, car les concentrations de Cd dans ces matières organiques sont généralement faibles ou intermédiaires par rapport aux engrais inorganiques.

*Scénarios représentatifs et protecteurs des apports d'engrais minéraux phosphatés vis-à-vis de la contamination au cadmium des sols agricoles français, utilisés pour les monocultures de blé ou les rotations pommes de terre/blé/blé*

	Phosphate fertilization plan (Ph) scenario (Ph/fertilizer dose/Cd level)	Quantity of fertilizer applied (kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> .ha <sup>-1</sup> )	Cd concentration in fertilizer (mg.kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> <sup>-1</sup> )	Cd inflow to the soil (g.ha <sup>-1</sup> )	Annual Cd flux (g.ha <sup>-1</sup> .year <sup>-1</sup> )
Annual application for wheat monoculture	Ph/80b/90	80	90	7.20	7.20
	Ph/80b/60		60	4.80	4.80
	Ph/80b/40		40	3.20	3.20
	Ph/80b/20		20	1.60	1.60
	Ph/80b/60-40-20*		60 (Year 1-3) 40 (Year 4-15) 20 (Year 16-99)	4.80 (Year 1-3) 3.20 (Year 4-15) 1.60 (Year 16-99)	4.80 (Year 1-3) 3.20 (Year 4-15) 1.60 (Year 16-99)
Application every three years for wheat monoculture	Ph/100b/90	100	90	9	3
	Ph/100b/60		60	6	2
	Ph/100b/40		40	4	1.33
	Ph/100b/20		20	2	0.67
	Ph/100b/60-40-20*		60 (Year 1-3) 40 (Year 4-15) 20 (Year 16-99)	6 (Year 1-3) 4 (Year 4-15) 2 (Year 16-99)	2 (Year 1-3) 1.33 (Year 4-15) 0.67 (Year 16-99)
Annual application for a potato/wheat/wheat rotation	Ph/100 bp/90	100	90	9	9
	Ph/100 bp/60		60	6	6
	Ph/100 bp/40		40	4	4
	Ph/100 bp/20		20	2	2
	Ph/100 bp/60-40-20*		60 (Year 1-3) 40 (Year 4-15) 20 (Year 16-99)	6 (Year 1-3) 4 (Year 4-15) 2 (Year 16-99)	6 (Year 1-3) 4 (Year 4-15) 2 (Year 16-99)
Application every three years for a potato/wheat/wheat rotation	Ph/180 bp/90	180	90	16.20	5.40
	Ph/180 bp/60		60	10.80	3.60
	Ph/180 bp/40		40	7.20	2.40
	Ph/180 bp/20		20	3.60	1.20
	Ph/180 bp/60-40-20*		60 (Year 1-3) 40 (Year 4-15) 20 (Year 16-99)	3.60 (Year 1-3) 2.40 (Year 4-15) 1.20 (Year 16-99)	3.60 (Year 1-3) 2.40 (Year 4-15) 1.20 (Year 16-99)

*Pourcentage moyen (%) de variation de la concentration en Cd dans les matrices (sol, grain de blé/ou pomme de terre et lixivié) sur une période de 99 ans (10, 20, 60 et 99 ans) par rapport à la première année d'application de l'engrais minéral phosphaté avec une teneur en Cd témoin (90, 60, 40 et 20 mg/kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) en fonction du plan de fertilisation phosphatée.*

Phosphate fertilization plan	Matrix															
	Soil				Crop plant								Leachate			
					Wheat grain				Potato tuber							
	Period (year)				Period (year)				Period (year)				Period (year)			
	10	20	60	99	10/11	20	60	99	10	22	61	97	10	20	60	99
Ph/80b/90	+7	+14	+40	+61	+7	+15	+42	+64	-	-	-	-	+15	+22	+49	+72
Ph/80b/60	+4	+7	+21	+32	+4	+8	+22	+34	-	-	-	-	+11	+15	+29	+42
Ph/80b/40	+2	+3	+9	+15	+2	+3	+10	+15	-	-	-	-	+8	+11	+18	+23
Ph/80b/20	-1	-1	-3	-4	-1	-1	-3	-4	-	-	-	-	+7	+6	+4	+3
Ph/80b/60-40-20*	+2	+2	0	-2	+2	+2	0	-2	-	-	-	-	+10	+7	+6	+6
Ph/100b/90	+1	+2	+6	+11	+1	+2	+7	+11	-	-	-	-	+8	+10	+16	+19
Ph/100b/60	0	-1	-1	0	0	-1	-1	0	-	-	-	-	+7	+7	+6	+7
Ph/100b/40	-1	-2	-6	-8	-1	-2	-6	-8	-	-	-	-	+5	+5	+2	-1
Ph/100b/20	-2	-4	-11	-15	-2	-4	-11	-16	-	-	-	-	+5	+3	-5	-7
Ph/100b/60-40-20*	-1	-3	-9	-14	-1	-3	-10	-15	-	-	-	-	+7	+5	-2	-8
Ph/100 bp/90	+8	+16	+44	+66	+8	+15	+44	+67	+6	+14	+34	+48	+13	+11	+37	+58
Ph/100 bp/60	+4	+8	+23	+35	+4	+8	+23	+36	+3	+7	+18	+26	+10	+3	+16	+28
Ph/100 bp/40	+1	+3	+8	+13	+1	+3	+8	+13	+1	+2	+6	+10	+8	-2	+3	+7
Ph/100 bp/20	-1	-2	-6	-9	-1	-2	-6	-9	-1	-2	-5	-7	+5	-7	-11	-13
Ph/100 bp/60-40-20*	+2	+2	-2	-5	+2	+2	-3	-6	+2	+1	-2	-5	+8	-2	-7	-10
Ph/180 bp/90	+3	+6	+16	+26	+3	+6	+18	+28	+2	+5	+14	+20	+9	+1	+11	+20
Ph/180 bp/60	+1	+1	+4	+7	+1	+2	+5	+8	+1	+1	+4	+6	+6	-3	-1	+2
Ph/180 bp/40	-1	-2	-3	-5	-1	-1	-3	-4	-1	-1	-3	-4	+5	-7	-8	-10
Ph/180 bp/20	-2	-5	-12	-17	-2	-5	-12	-18	-2	-4	-10	-14	+3	-10	-17	-21
Ph/180 bp/60-40-20*	-1	-3	-11	-16	-1	-2	-11	-16	-1	-3	-9	-13	+5	-7	-15	-20

[...] Notre modèle a fourni une teneur maximale moyenne en Cd lessivé pour chaque simulation de 2,4 g Cd/ha/an, alors que Six et Smolders (2014) ont rapporté un taux de lessivage moyen en Europe de 2,56 g Cd/ha/an. Nos modèles étaient donc appropriés pour mener une évaluation quantitative des risques sanitaires.

En raison de l'absence de données sur le lessivage dans les sols agricoles français, le transfert de Cd via les lixiviats a été estimé à partir d'un environnement australien à l'aide de l'équation dérivée de De Vries et al. (2011, De Vries et McLaughlin, 2013). Sterckerman et coll. (2018a) ont indiqué que la précision de la masse peut être améliorée grâce à une meilleure évaluation de la lixiviation du cadmium.

Une autre difficulté consistait à estimer la proportion réelle de Cd biodisponible par rapport à l'application d'engrais. Nos modèles supposaient que le Cd total était entièrement biodisponible, ce qui constitue une hypothèse conservatrice et protectrice. Grâce aux caractéristiques du sol (pH, carbonates, etc.) incluses dans les équations de transfert, la distribution du Cd a été considérée, puis indirectement, comme la spéciation du Cd. Cependant, la spéciation du Cd dépend en réalité des caractéristiques du sol.

Quoi qu'il en soit, l'application d'engrais minéraux phosphatés à des teneurs supérieures à 40 mg Cd/kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (liées à des flux de Cd supérieurs à 2 g Cd/ha/an) est incompatible avec la typologie du sol agricole récepteur.

Plus précisément, en France, le seuil le plus ancien de flux de Cd prévu par la réglementation nationale en vigueur (notice accompagnant la demande d'AMM (guide n° 50644#01) de 15 g Cd/ha/an (Ministère de l'Agriculture et de la Pêche 2001) doit être réduit d'un facteur 7 pour atteindre le niveau que nous préconisons ici.

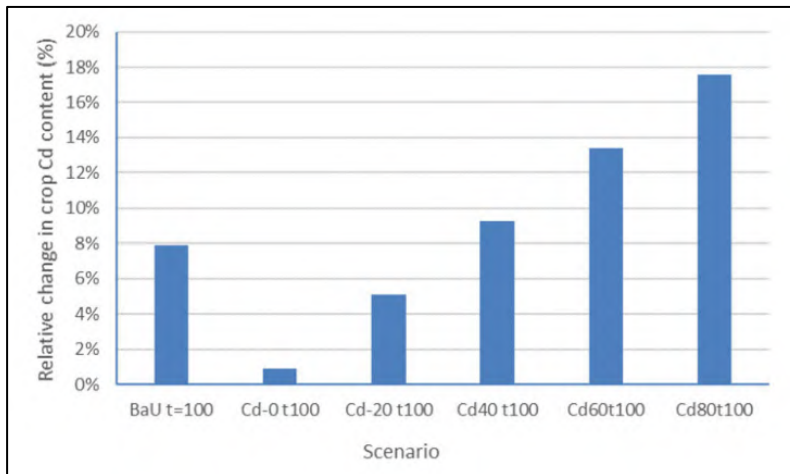
Les résultats ont montré qu'une teneur en Cd inférieure à 1 mg Cd/kg de matière sèche (MS) dans les engrais organiques respecterait ce flux de 2 g Cd/ha/an (la concentration moyenne en Cd est de 0,7 mg/kg MS pour les digestats anaérobies agricoles). Bien que la France ait instauré un seuil réglementaire de Cd dans le digestat de 3 mg/kg MS par arrêté du 13 juin 2017, cette limite n'est pas suffisante selon nos simulations pour réduire l'accumulation de Cd dans les sols et les cultures, et pour respecter un flux de Cd de 2 g Cd/ha/an.

[...] Des calculs à long terme (100 ans) à l'échelle du champ et de la région montrent cependant que la teneur en Cd des engrais phosphatés affecte à la fois les niveaux dans le sol et ceux dans les cultures. Les simulations de modèles dynamiques au niveau de l'UE indiquent que l'accumulation de Cd dans les sols (plantes arables et prairies) se poursuit si la teneur en Cd dans les engrais P dépasse 20 mg Cd/kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Si plus de Cd est appliqué via les engrais P, les changements relatifs moyens à long terme calculés dans les sols et les cultures arables par rapport aux niveaux actuels sont de l'ordre de grandeur de + 0,2 %, à 12,1 % à 16 % si, au niveau européen, la concentration de Cd dans les engrais minéraux P est en moyenne de zéro, 60 ou 80 mg Cd /kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> respectivement.

Les prairies tendent à perdre du Cd (bilan négatif) en raison de doses plus faibles d'engrais P et de pH souvent plus acides favorisant le lessivage, alors que les terres arables accumulent généralement du Cd dans tous les scénarios sauf celui sans Cd dans les engrais.

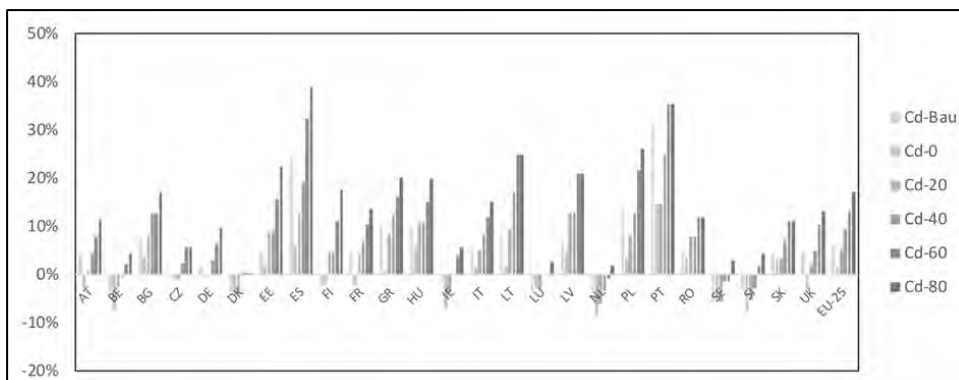
Si on considère au niveau européen, cultures et prairies, un niveau de 20 mg dans les engrais permet d'atteindre la stabilité. La différence avec d'autres études antérieures qui prônaient 73 mg est due à la prise en compte de la lixiviation.



*Évolution relative des teneurs en cadmium dans les récoltes de pommes de terre, laitues et épinards à différents niveaux de teneur en cadmium des engrais, au bout de 100 ans*

*Évolution relative des teneurs en cadmium dans les sols selon différentes teneurs des engrais*

Scenario	Relative change in soil Cd levels at t=100 years from now		
	All Agricultural land	Arable	Grassland
BaU	2.4%	6.4%	-7.2%
Cd-0	-4.4%	0.2%	-15.6%
Cd-20	-0.1%	4.2%	-10.7%
Cd-40	4.1%	8.1%	-5.8%
Cd-60	8.3%	12.1%	-1.0%
Cd-80	12.5%	16.0%	3.8%



*Évolution relative des teneurs en cadmium dans les sols arables selon différentes teneurs des engrais par pays*

## Comparaison avec l'étude de Smolders

**Table 5.8** Comparison of average inputs and outputs considered in the balance and resulting EU average Cd balance in current arable cropping systems (in g Cd ha<sup>-1</sup>yr<sup>-1</sup>; data at country level)

Input source	Smolders (2017)	Integrator (arable soils only)		
		Min EU-27	Average EU27	Max EU-27
Manure/biosolids/lime	0.2	0.09	0.34	1.10
Mineral fertiliser	0.7	0.01	0.64	1.08
Atmospheric deposition	0.3	0.16	0.42	0.91
Plant uptake	0.2	0.05	0.26	1.52
<i>Partial balance (no leaching)</i>	<i>+1.0</i>	<i>+0.30</i>	<i>+1.14</i>	<i>+2.15</i>
Leaching	2.0	0.08	0.55	2.51
<i>Full Balance</i>	<i>-1.0</i>	<i>-1.08</i>	<i>0.59</i>	<i>1.35</i>

**Table 5.9** Predicted relative changes in soil Cd levels for the BaU and Cd-0 to Cd-80 scenario

Scenario	Relative change in soil Cd (in % compared to current Cd levels in soil)			
	Smolders (2017)	Integrator		
	EU-average	All soils	Arable	Grassland
Business as Usual	-16	2.4%	6.4%	-7.2%
Cd-0	Not included	-4.4%	0.2%	-15.6%
Cd-20	-21	-0.1%	4.2%	-10.7%
Cd-40	-13	4.1%	8.1%	-5.8%
Cd-60	-5	8.3%	12.1%	-1.0%
Cd-80	+3	12.5%	16.0%	3.8%

**Source : Erik Smolders & Laetitia Six. Revisiting and updating the effect of phosphate fertilizers to cadmium accumulation in European agricultural soils. 2013.**

[...] À la concentration de Cd la plus élevée, 80 mg de Cd, le Cd du sol devrait rester plutôt constant avec une diminution estimée à seulement 1 % pour la moyenne européenne (entre - 53 et 31 %). À 60 mg de Cd, le Cd du sol devrait évoluer de - 7 % en 100 ans, soit une diminution nette (- 57 à + 22 % pour les 10-90<sup>e</sup> percentiles de ces scénarios). À 40 mg Cd, ces valeurs sont de - 14 % (- 2 à + 14 %) et à 20 mg Cd elles sont de - 20 % (- 66 à - 12 %).

En d'autres termes, pour des engrais faibles à moyens en Cd (concentrations de 0 à 40 mg de Cd), le Cd du sol a tendance à s'accumuler relativement lentement dans les scénarios avec un lessivage limité et un pH du sol élevé, mais diminue dans la majorité des scénarios après 100 ans d'application d'engrais P. Pour les engrais avec des concentrations de Cd de 60 à 80 mg de Cd, une légère diminution est attendue en Europe pour le scénario moyen et l'accumulation devrait être au maximum de 45 % (drainage de 0,1 m/an, pH 7,5 et 4 % OC).

L'analyse de sensibilité montre que le pH du sol est le facteur qui affecte le plus sensiblement le bilan net.

Le lessivage constitue la principale production nette de cadmium et est susceptible de dépasser l'apport net de cadmium dans les sols de l'UE à la concentration moyenne actuelle de cadmium dans les engrais de 36 mg de cadmium dans les sols agricoles qui ont, en moyenne, un pH de 5,8.

**Natasha Gilbert. European Union debates controversial plans to limit cadmium in fertilizer. <https://www.science.org/>. 2018.**

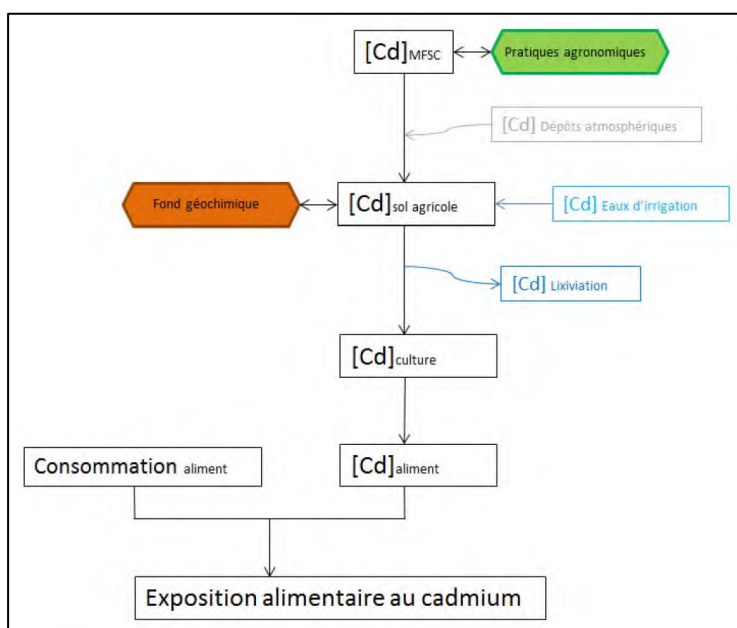
[...] Deux études apparemment opposées sont au cœur de la polémique. Le livre blanc de Smolders, publié en 2016, prédit que les niveaux de cadmium dans les sols européens diminueront de 5 % au

cours des 100 prochaines années si la limite de 60 mg Cd/kg est adoptée, et de 21 % si la limite la plus stricte de 20 mg Cd/kg est adoptée. En revanche, une étude de 2017 dirigée par Paul Römkens, spécialiste des sols et de la sécurité alimentaire à l'Université de Wageningen aux Pays Bas, prédit que même sous la limite la plus stricte, les niveaux de cadmium augmenteront d'environ 1 % au cours du prochain siècle ; sous la limite plus souple de 60 mg de Cd/kg, elle augmenterait de près de 10 %. L'étude de Smolders a retenu l'attention de l'OCP et de pays comme l'Espagne et la Pologne, qui produisent également des engrais riches en cadmium ; Le producteur russe d'engrais PhosAgro fait pression pour promouvoir l'étude de Romkens, qu'il a partiellement financée.

Mais les chercheurs affirment que leurs prédictions ne sont pas si différentes. La principale différence réside dans le fait que les études utilisent des hypothèses différentes sur la vitesse à laquelle le cadmium s'infiltré dans les profondeurs du sol et hors de portée des cultures. Les deux études reconnaissent que le taux de lessivage est très variable dans les sols à travers l'Europe, à tel point que les niveaux de cadmium projetés dans un scénario de 60 mg de Cd/kg pourraient chuter d'environ 60 % ou augmenter d'environ 50 % dans l'étude de Smolders, selon les hypothèses ; la baisse de 5 % annoncée par l'OCP n'est qu'un scénario moyen. Dans l'étude Romkens, le résultat projeté après un siècle se situe entre une baisse de 11 % et une augmentation de 25 %. Les deux groupes de recherche affirment que les limites proposées permettront au mieux d'obtenir des réductions mineures des niveaux de cadmium dans le sol sur de très longues périodes.

Et avec la diminution de l'utilisation d'engrais, certains chercheurs se demandent si les nouvelles réglementations sont même nécessaires. « *L'exposition au cadmium est déjà en baisse* », déclare Justus Wesseler, économiste agricole également à l'université de Wageningen, qui a rédigé un livre blanc pour le Parlement européen sur l'impact économique de la réglementation. « *Il semble qu'il n'y ait pas beaucoup de preuves que nous soyons confrontés à un problème* ».

**Anses. Avis (Saisine n°2015-SA-0140) 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. Juin 2019.**



*Schéma de modélisation du transfert du cadmium depuis l'apport en cadmium dans les sols agricoles par la matière fertilisante jusqu'au consommateur par l'intermédiaire des productions végétales*

[...] Des concentrations modélisées en cadmium dans le sol (horizons de surface), le blé (grain), la pomme de terre et les eaux lixiviées sont générées sur 99 ans à l'aide de simulations Monte-Carlo. Pour un itinéraire donné, 10 000 parcelles sont simulées.

La modélisation de la sortie du cadmium depuis le sol agricole vers

les cultures (grain de blé et pomme de terre) et le lixiviat s'est appuyée sur l'intégration d'équations de transfert sélectionnées dans ce travail à l'issue d'une recherche bibliographique (Franz et al., 2008, De Vries et al., 2011 et 2013, Ran et al., 2016).

En raison de la difficulté d'estimer la part réelle de cadmium biodisponible relative à l'apport de matière fertilisante, la modélisation a considéré le cadmium total entièrement biodisponible (situation jugée protectrice d'un point de vue sanitaire).

Les itinéraires de fertilisation les plus exigeants en apport d'engrais minéraux phosphatés dans les sols agricoles et liés à des sols pauvrement pourvus en phosphore par rapport aux exigences des plantes en phosphore ont donc été considérés. Cette situation représentant une situation maximaliste en nécessitant le plus d'apport en engrais phosphatés concerne un tiers des sols agricoles (cultures et prairies) en France (RMQS – GIS SOL). Les doses d'apport liées aux itinéraires de fertilisation considérés dans le modèle s'appuient sur les préconisations agronomiques et les grilles de coefficient de ARVALIS-Institut du Végétal et du Comifer sur la fertilisation phosphatée.

Les itinéraires de fertilisation considérés pour le modèle sont les suivants :

- Monoculture blé : Apport annuel de 80 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha/an ; et apport de 100 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha/an avec un temps d'impasse de 2 ans.
- Rotation pomme de terre/blé/blé : Apport annuel de 100 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha/an ; et apport de 180 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha/an avec un temps d'impasse de 2 ans.

Les vingt scénarios d'itinéraires de fertilisation liés à l'usage d'engrais phosphatés correspondent à des flux entrants en cadmium estimés entre 0,67 et 9,00 g Cd/ha/an suivant le scénario.

Il a été simulé dans le modèle les flux d'apports en cadmium relatifs aux :

- digestats de méthanisation avec un flux annuel dérivé de 1,75 g Cd/ha/an sur la base de la concentration moyenne en cadmium identifiée dans le fertilisant et de 7,50 g Cd/ha/an en considérant le seuil réglementaire en cadmium dans les digestats 40 ;
- fumiers bovins avec un flux annuel dérivé de 2,55 g Cd/ha/an ;
- boues de STEP avec un flux annuel dérivé de 4,80 g /ha/an.

Les résultats des simulations, testées dans le modèle dans un premier temps avec des itinéraires de fertilisations liés à l'emploi d'engrais minéraux phosphatés avec différents teneurs en cadmium dans le produit (au regard des matrices sol plante (grain de blé, pomme de terre) - lixiviation), montrent, sur la durée de simulation (projection de 0 jusqu'à 99 ans) du modèle, un début de stabilisation et de réduction de l'accumulation en cadmium dans les sols ainsi que de son transfert vers les plantes dès une teneur en cadmium de 40 mg Cd/kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> dans les engrais phosphatés (selon quelques itinéraires de fertilisation, en présence d'un temps d'impasse de fertilisation de 2 ans).

En revanche, aux deux plus fortes concentrations en cadmium dans l'engrais minéral phosphaté testées dans le modèle (soit de 60 et 90 mg Cd/kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), une accumulation en cadmium dans le sol ainsi qu'un transfert significatif de celui-ci dans les cultures et l'eau lixiviée sont constatés, quel que soit l'itinéraire de fertilisation en monoculture blé ou rotation pomme de terre/blé/blé, avec ou sans temps d'impasse de 2 ans.

La comparaison des résultats de modélisation des fertilisations par les engrais minéraux phosphatés d'une part et par les fertilisants d'origine organique d'autre part montre que, quels que soient la nature du fertilisant et les itinéraires de fertilisations testés, un flux d'apport en cadmium, inférieur à 2 g Cd/ha/an permet une diminution de l'accumulation du cadmium dans le sol agricole et son transfert dans l'environnement.

À l'exception des engrais minéraux phosphatés présentant une teneur égale ou inférieure à 40 mg Cd/kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, il semble nécessaire de restreindre leurs utilisations en fonction de la typologie du sol agricole récepteur, notamment en présence :

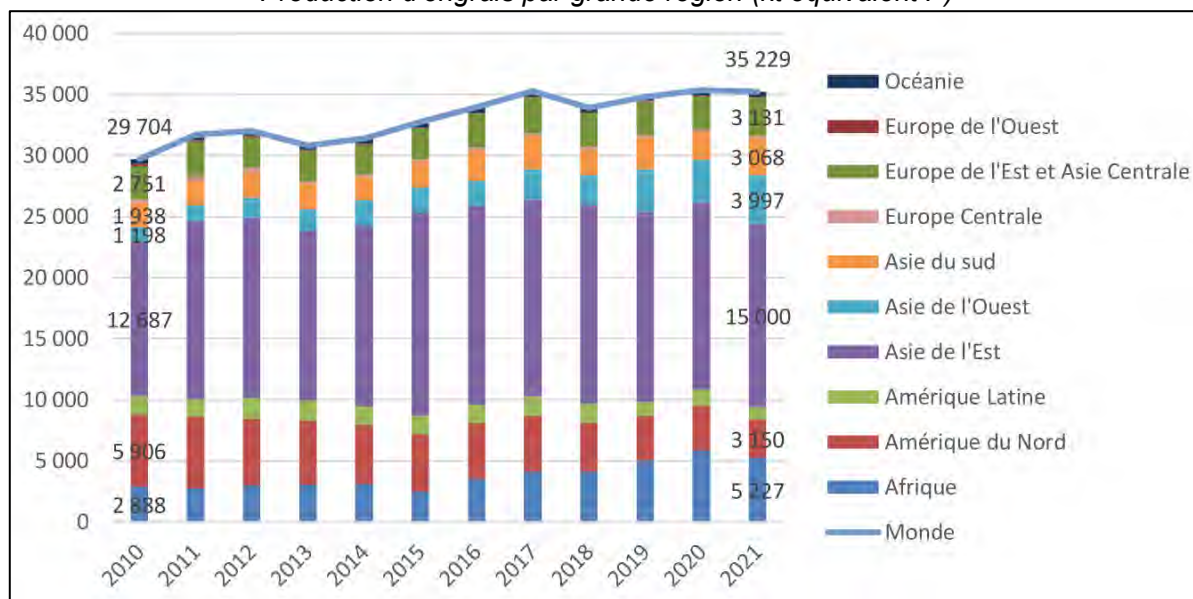
- d'un sol riche en cadmium (> 0,7 mg/kg ; cela représente 7,1 % des sols agricoles liés aux cultures et prairies en France) ;
- d'un sol à pH < 6,5 (cela représente 50 % des sols agricoles en France) ;
- et d'un sol à pH > 7,5 (cela représente 30 % des sols agricoles en France).

## Annexe 16. Flux commerciaux des roches et engrais phosphatés

Sauf mention particulière, les graphiques et textes de cette annexe sont extraits de l'étude de FranceAgriMer sur le fonctionnement général du marché des engrais minéraux dans la situation spécifique des filières grandes cultures (2024)<sup>86</sup>.

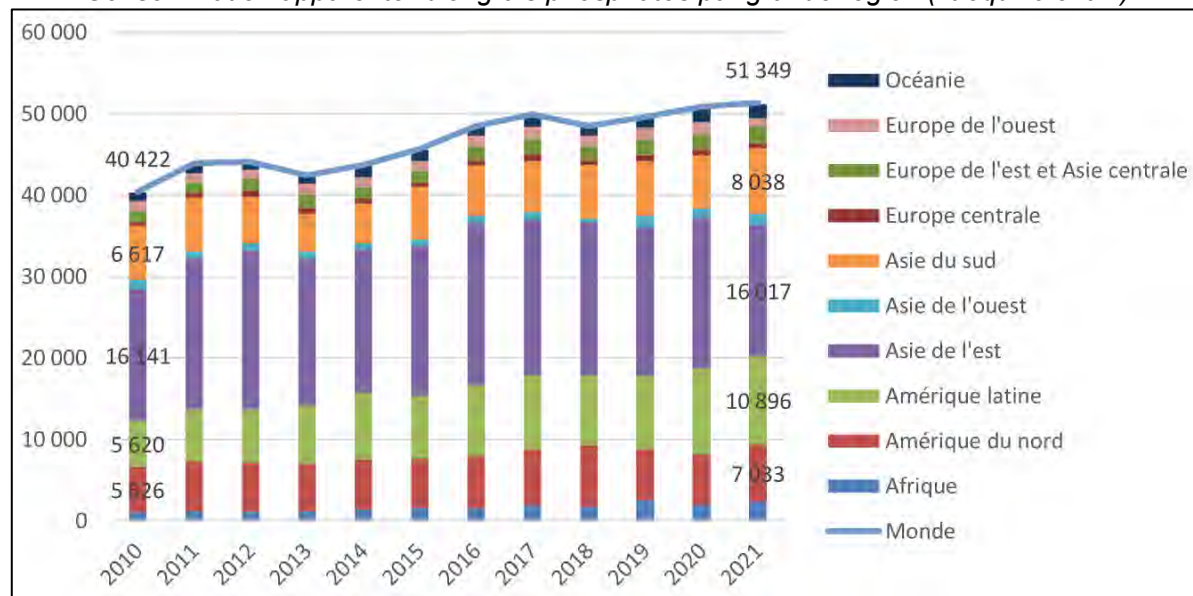
### Annexe 16.1. Production, consommation, exportation et importation d'engrais dans le monde

Production d'engrais par grande région (kt équivalent P)



Source : IFASTAT – (roche phosphate et acide phosphatique exclus).

Consommation apparente\* d'engrais phosphatés par grande région (kt équivalent P)

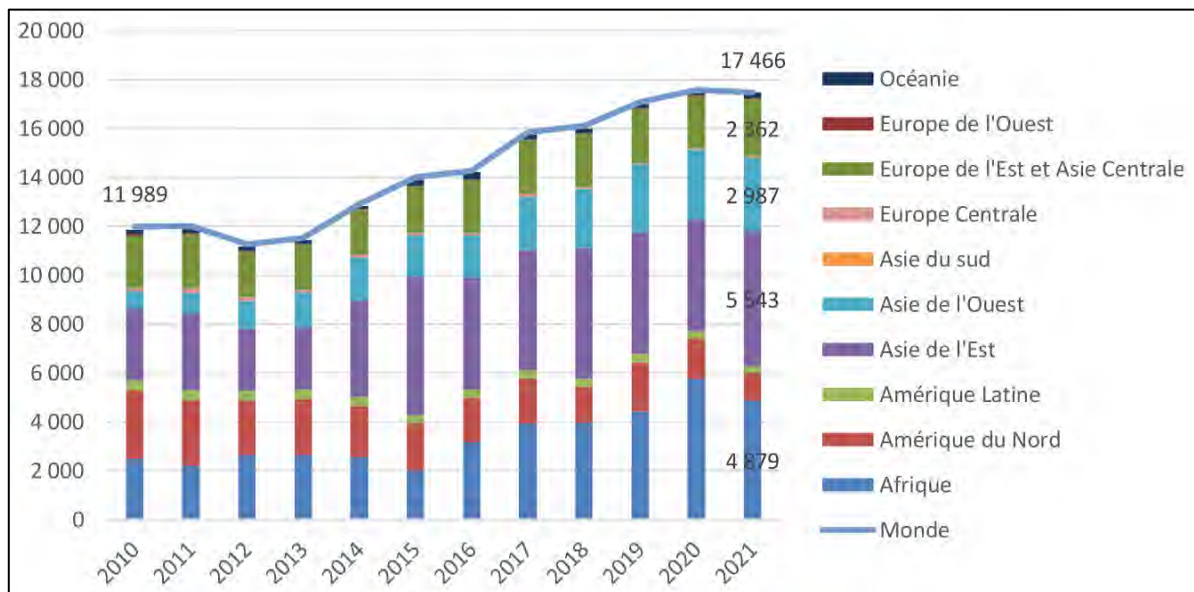


\* La consommation apparente désigne la quantité de produits supposée utilisée sur le territoire. Elle est calculée en ajoutant à la production nationale le bilan des échanges commerciaux (importations - exportations)

Source : IFASTAT – (roche phosphate et acide phosphatique exclus).

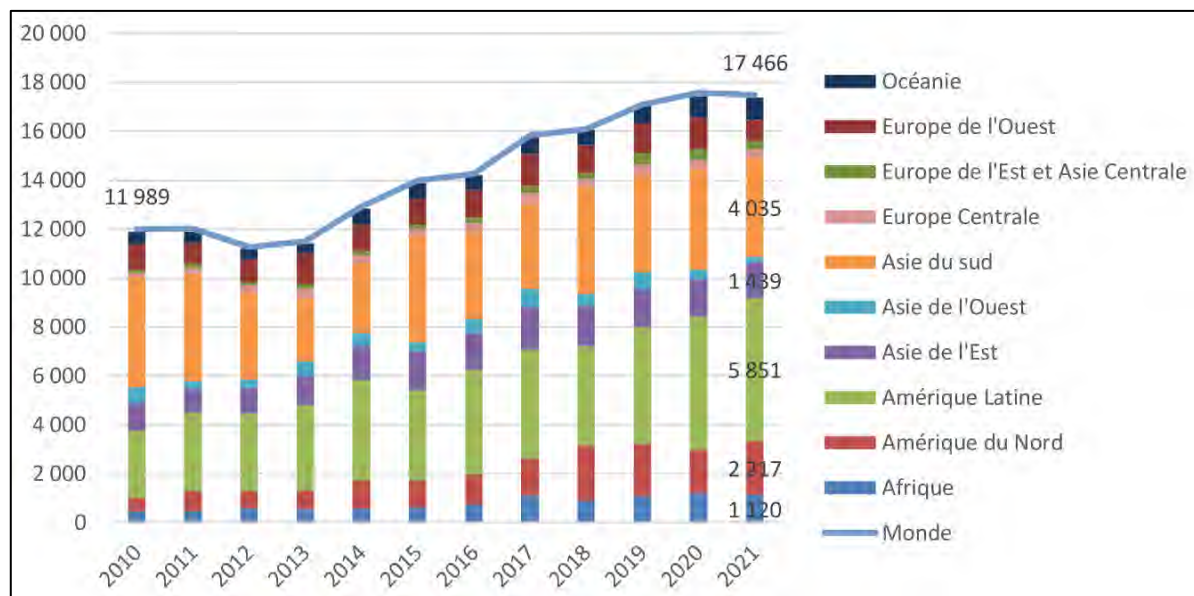
<sup>86</sup> Clément Lepeule, Julien Potier, Rose Cahagne, Violaine Romieu, Alexis Dufumier. Étude sur le fonctionnement général du marché des engrais minéraux dans la situation spécifique des filières grandes cultures. AND International et CERES PRESS pour FranceAgriMer. Octobre 2024.

### Exportations d'engrais phosphatés par grande région (kt équivalent P)



Source : IFASTAT – (roche phosphate et acide phosphatique exclus).

### Importations d'engrais phosphatés par grande région (kt équivalent P)



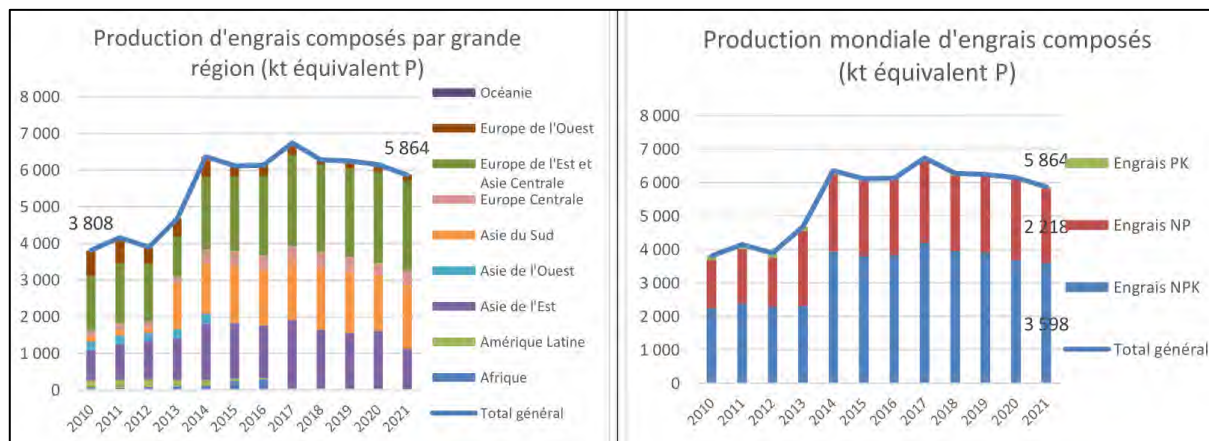
Source : IFASTAT – (roche phosphate et acide phosphatique exclus).



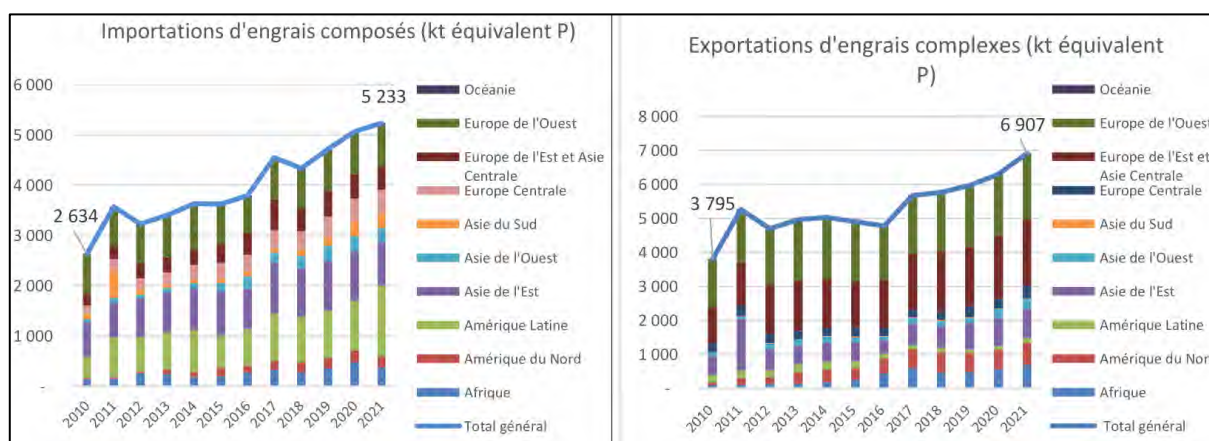
## Taux d'auto-apvisionnement (production/consommation) en engrais phosphatés (équivalent élément) par grande région

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Evol 21/10 en pts
Afrique	279%	233%	273%	264%	223%	161%	232%	218%	238%	199%	294%	224%	- 55,7
Amérique du Nord	105%	95%	91%	90%	79%	77%	71%	67%	52%	58%	60%	45%	-60,2
Amérique Latine	26%	22%	25%	23%	18%	19%	18%	17%	18%	13%	12%	9%	-17,0
Asie de l'Est	79%	79%	76%	78%	85%	90%	82%	85%	87%	85%	83%	94%	15,0
Asie de l'Ouest	104%	153%	184%	187%	244%	254%	213%	230%	497%	241%	310%	283%	179,0
Asie du sud	29%	30%	36%	45%	39%	32%	41%	43%	31%	39%	36%	38%	8,9
Europe Centrale	63%	67%	47%	26%	40%	40%	34%	36%	38%	21%	25%	28%	-35,4
Europe de l'Est et Asie Centrale	207%	217%	170%	163%	176%	177%	170%	156%	169%	149%	145%	155%	-51,7
Europe de l'Ouest	14%	12%	13%	7%	3%	3%	3%	3%	2%	2%	3%	4%	-9,8
Océanie	36%	40%	41%	36%	30%	35%	39%	29%	30%	24%	26%	24%	-11,8
<b>Monde</b>	<b>73%</b>	<b>72%</b>	<b>73%</b>	<b>73%</b>	<b>72%</b>	<b>72%</b>	<b>70%</b>	<b>71%</b>	<b>70%</b>	<b>70%</b>	<b>70%</b>	<b>69%</b>	<b>-4,9</b>

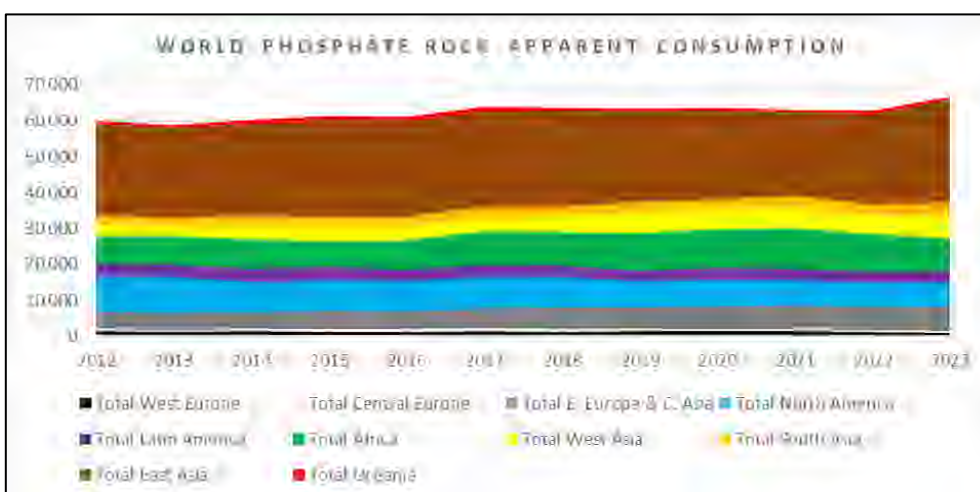
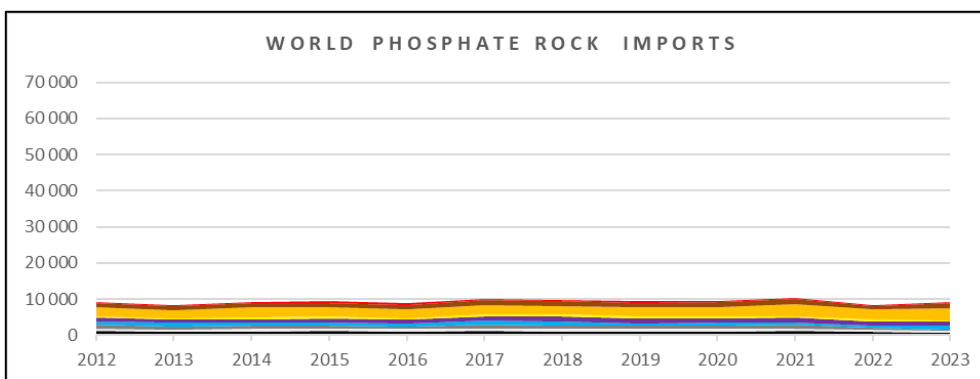
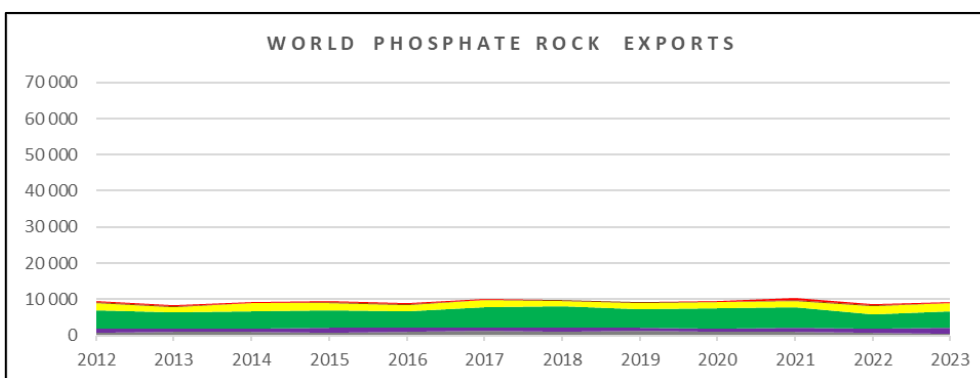
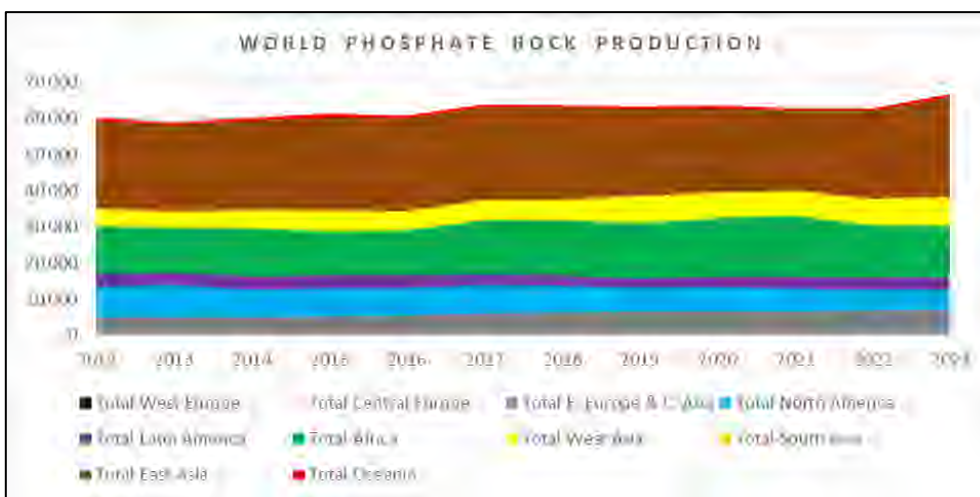
## Production d'engrais composés phosphatés

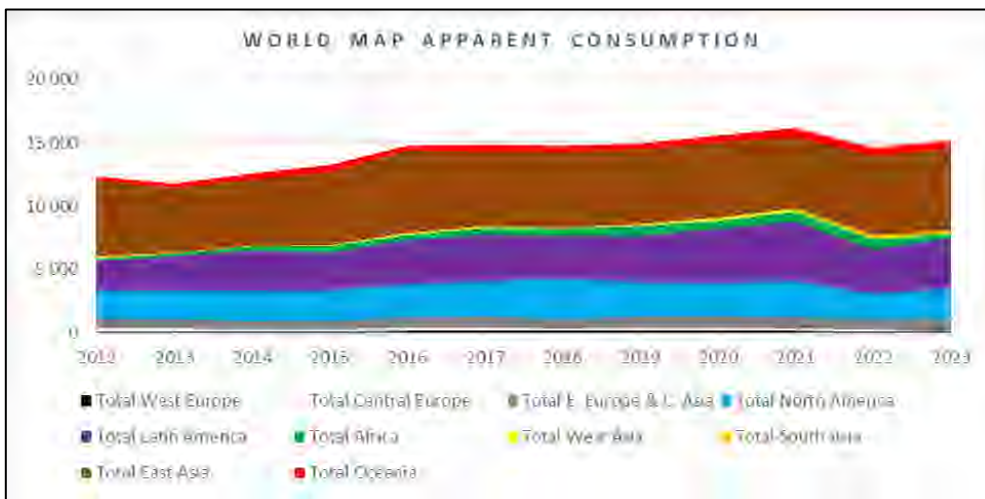
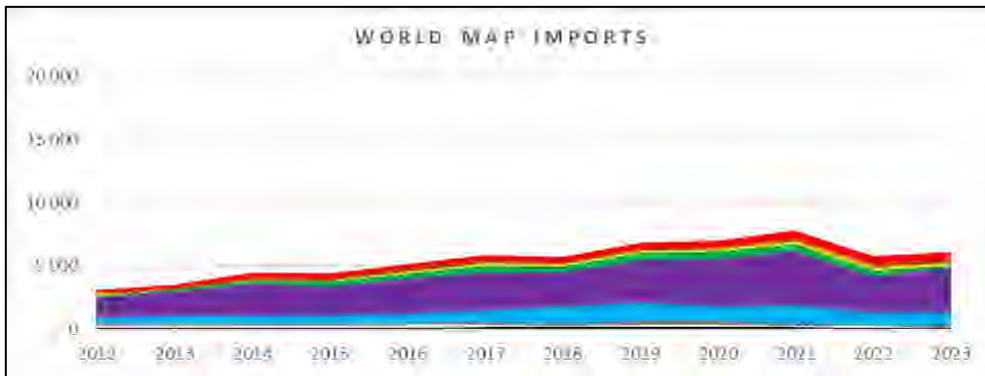
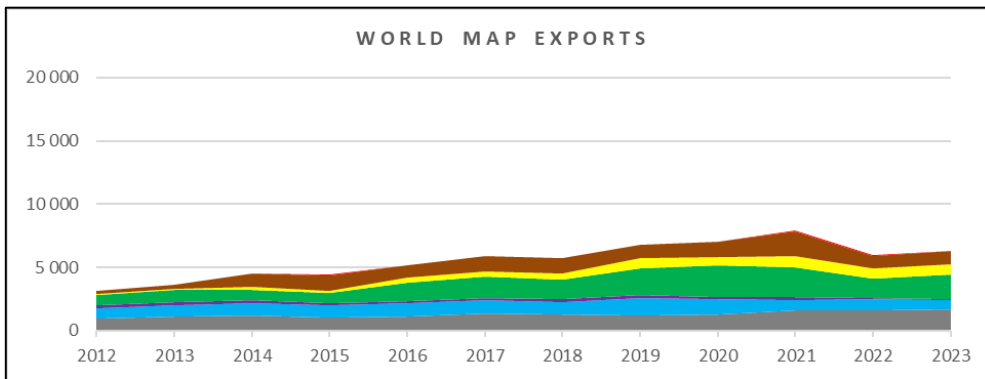
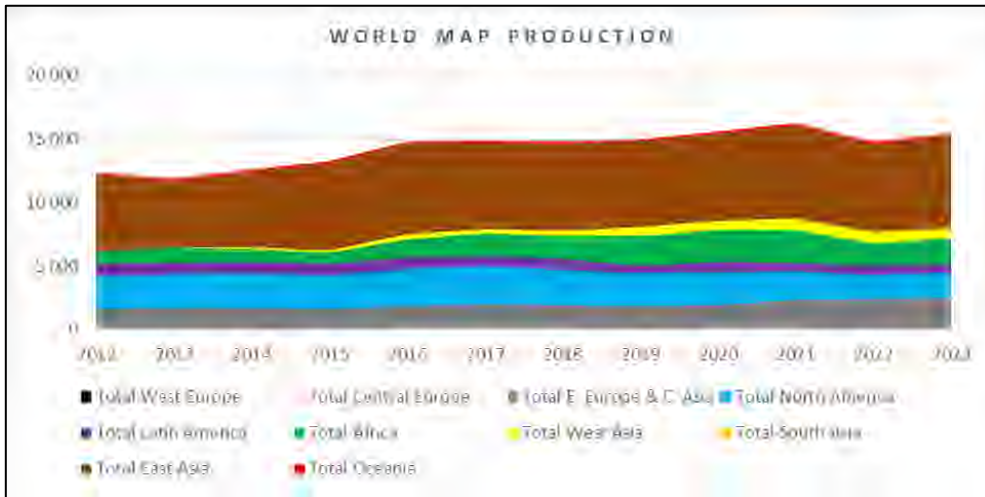


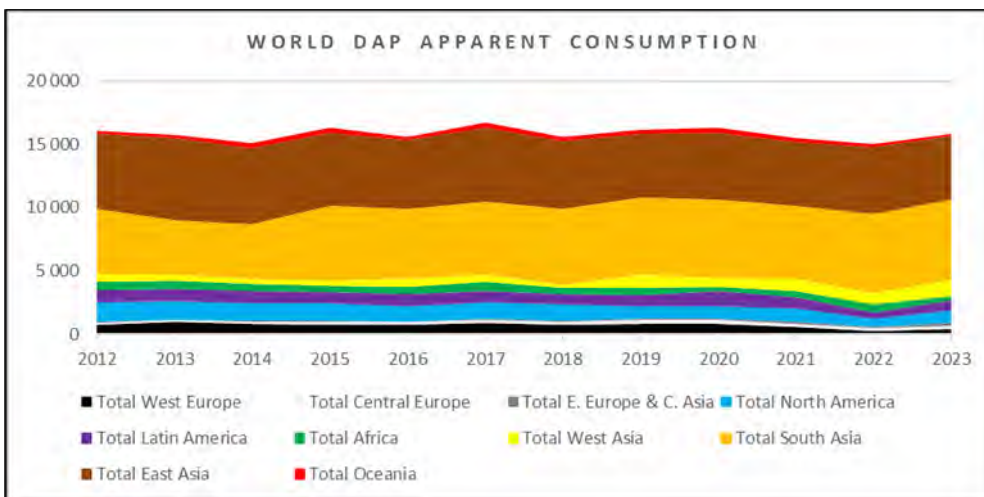
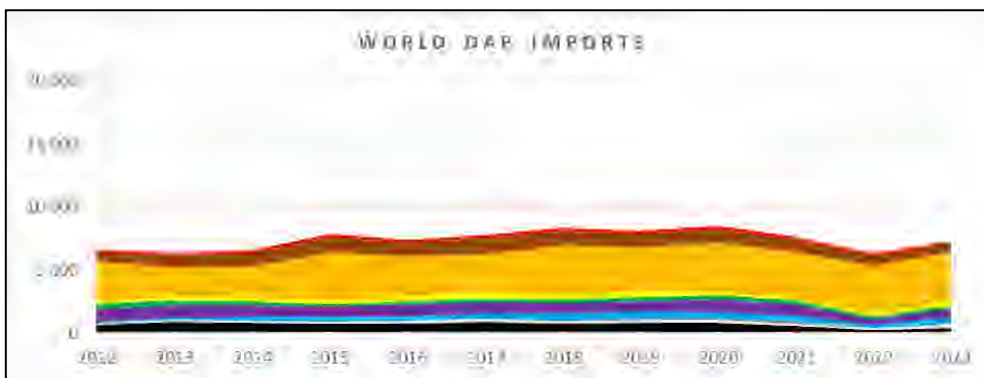
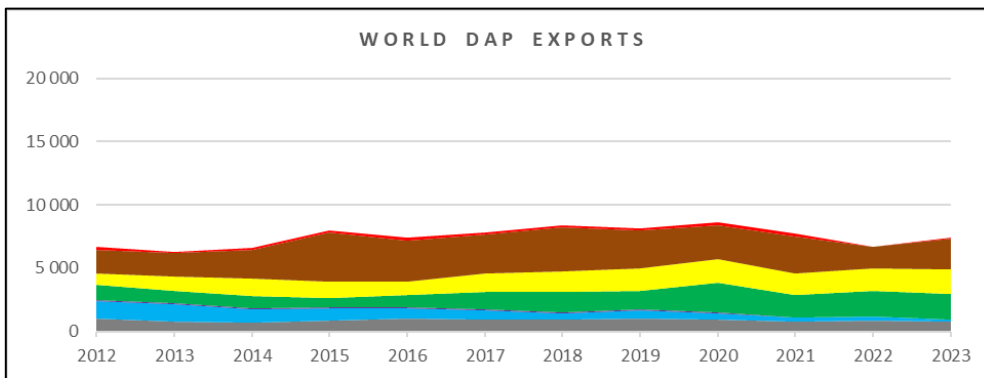
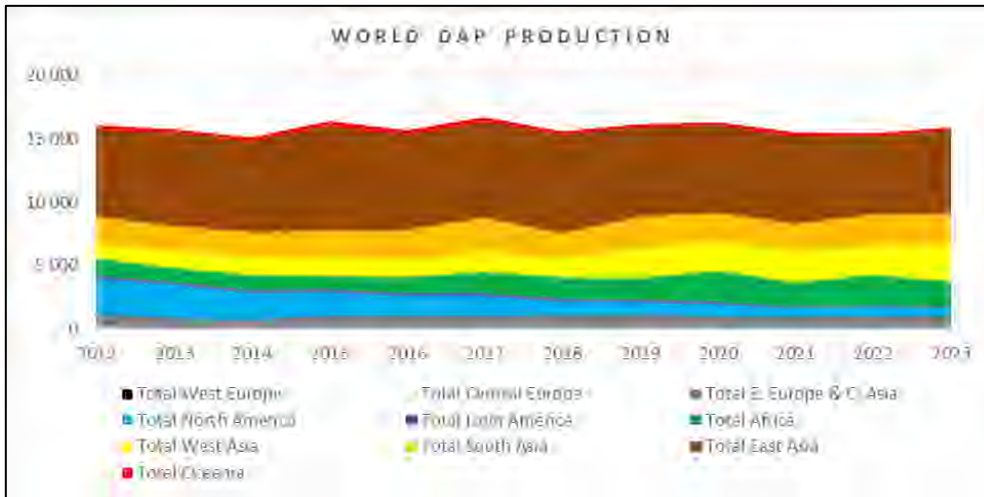
## Importations et exportations d'engrais composés phosphatés

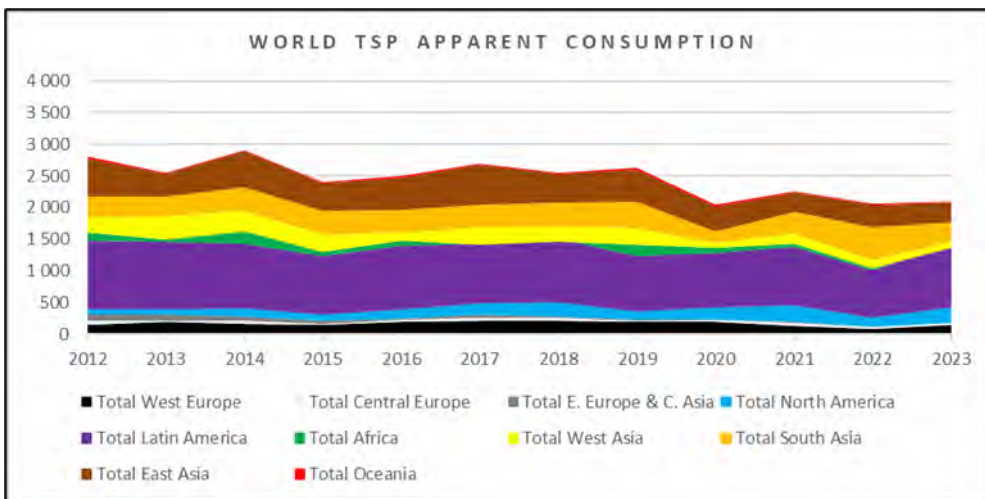
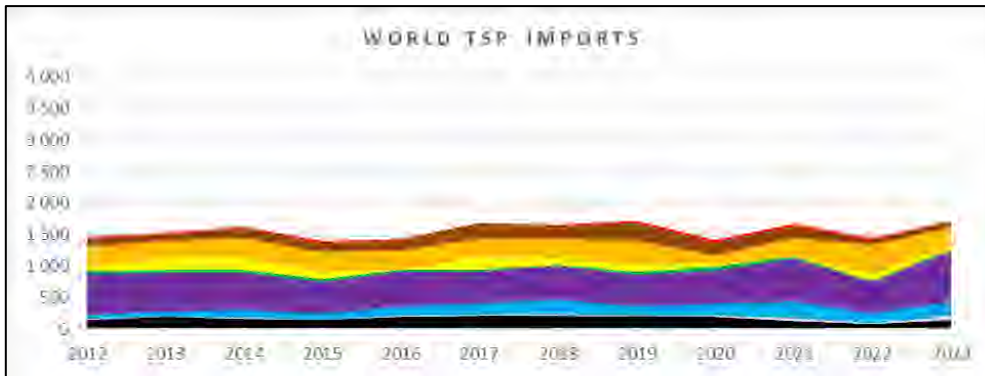
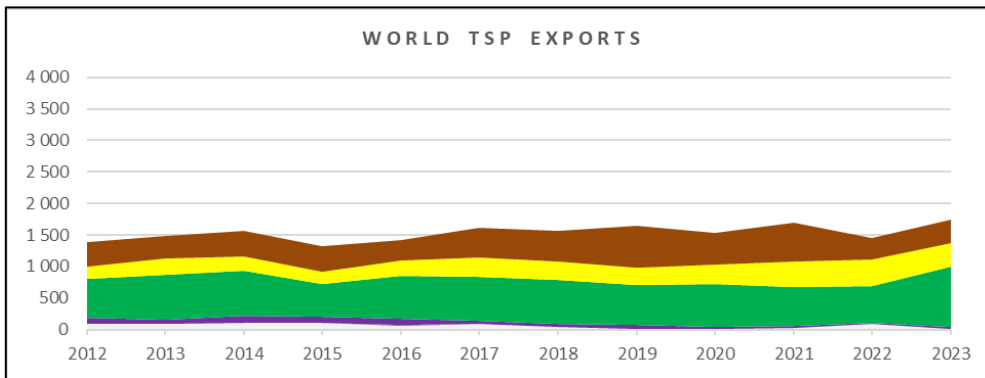
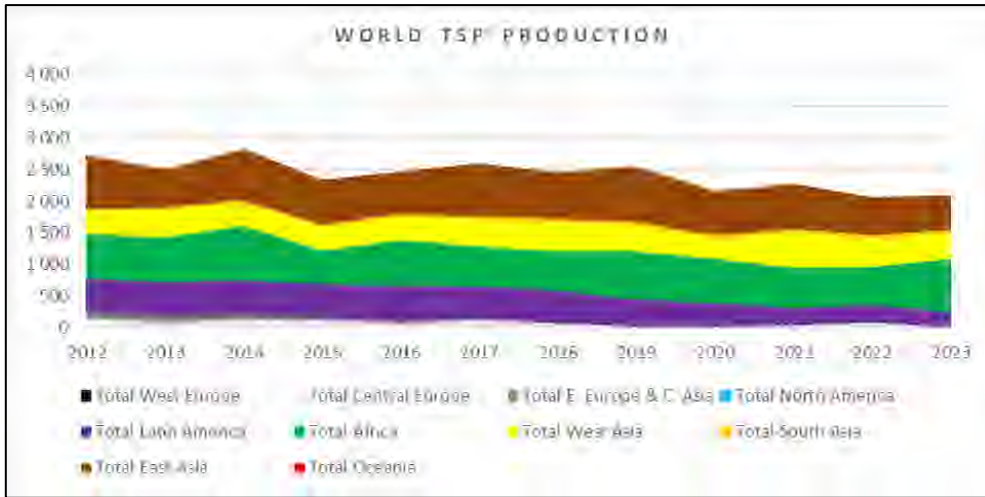


Les graphiques suivants sont produits par la mission à partir des données de l'IFA. Ils complètent les éléments précédents avec les années 2022 et 2023.









## Annexe 16.2. Évolution récente sur le marché mondial

[...] La Chine est, de très loin, le premier producteur de phosphate : sa production en 2023 est estimée à 90 Mt, soit près de 41 % du total mondial 52, ou près de trois fois plus que son premier concurrent, le Maroc (35 Mt).

Pékin a multiplié les mesures de limitation des exportations, pour garantir la disponibilité des engrais et empêcher que les hausses de prix sur les marchés internationaux ne se répercutent trop directement sur son marché. En 2021, les autorités ont introduit des certificats d'inspection qui revenaient à bannir de facto les exportations, avant d'adopter des restrictions temporaires sur les exportations de phosphates (2022) puis sur l'urée (2023).

La Russie a renforcé sa position de leader des exportations mondiales, avec une part passée de 16 % à près de 19 % entre 2019 et 2023 : la décision de l'Europe de réduire ses achats de gaz russe a provoqué un excédent de gaz en Russie, permettant aux producteurs russes d'augmenter leur production d'ammoniac et d'urée. La Russie est parvenue à maintenir sa production de phosphate et de potasse, lui permettant de produire des engrais complexes en quantité.

Pour le Kremlin les exportations d'engrais sont stratégiques : elles génèrent des revenus en devises, et sont un outil diplomatique, Moscou promettant des livraisons à tarif préférentiel à certains pays en échange de leur soutien, notamment aux Nations unies.

Les exportations russes se sont principalement reportées vers l'Inde et le Brésil, et sont restées élevées vers la Chine. Mais les États-Unis sont aussi restés un important acheteur d'engrais russes, avec une part d'environ 10 %, inchangée depuis 2021.

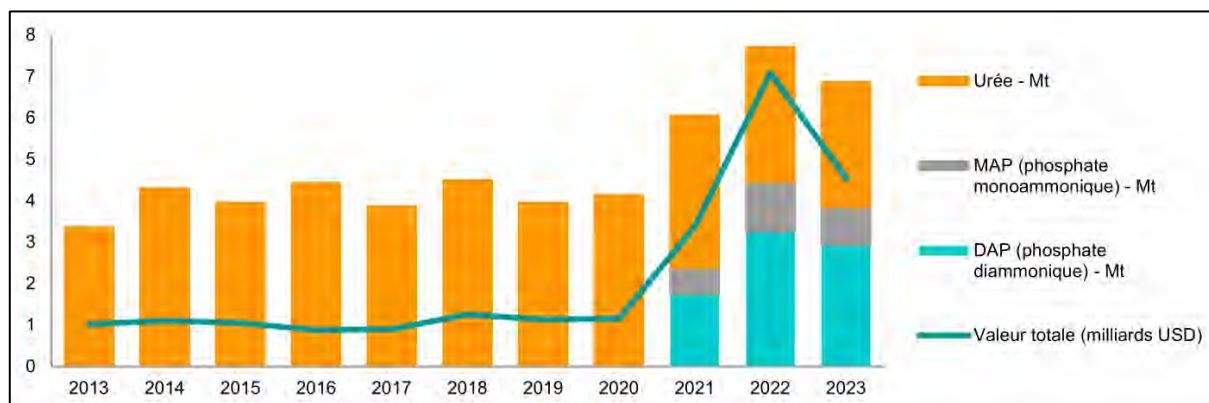
Enfin, l'Arabie saoudite a su mettre à profit ses réserves de phosphate et son accès à du gaz peu cher pour devenir, en quelques années, un acteur majeur du marché, avec des exportations désormais comparables à celles du Maroc ou des États-Unis.

Disposant d'importantes réserves de phosphates (estimées à 1,4 milliard de tonnes, les huitièmes mondiales), l'Arabie saoudite s'est longtemps contentée d'extraire et exporter cette matière première sans grande valeur ajoutée. Mais le royaume a massivement investi pour mettre à profit son autre atout – la disponibilité de gaz naturel à coût modéré – afin de développer une chaîne de valeur intégrée des engrais, notamment binaires DAP et MAP, à base d'ammoniac et de phosphate. Avec succès : désormais deuxième exportateur d'engrais DAP, derrière le Maroc, l'Arabie saoudite a vu sa part des exportations mondiales d'engrais pratiquement tripler entre 2019 et 2023, passant de 2,2 % à 5,7 % du total (graphique 3). Et elle entend augmenter encore significativement sa production dans les prochaines années.

Les engrais produits en Arabie saoudite étant presque intégralement vendus à l'étranger, cette hausse de la production a permis un accroissement significatif des exportations ces dernières années, grâce notamment à l'inauguration des usines d'engrais complexes (DAP et MAP), que l'Arabie saoudite n'exporte en quantités notables que depuis 2021.

Source : Global Sovereign Advisory. Engrais : après quatre années de crise, un marché fortement recomposé. Mars 2025.

Exportations saoudiennes d'engrais par type en volume (Mt) et valeur (USD)



Source : données UNCOMTRADE, analyse Global Sovereign Advisory.

[...] Quant au Maroc, le pays a produit en 2023 37 millions de tonnes de phosphate, soit une augmentation de près de 23 % par rapport à la période 2014-2018. Pour répondre à ce défi de l'eau, Fitch rappelle que le gouvernement mise sur le dessalement de l'eau de mer. En novembre 2024, la Banque européenne pour la reconstruction et le développement a accordé un prêt de 200 millions d'euros à l'OCP pour développer de nouvelles installations.

Rachid Mahmoudi. Fitch : Le Maroc reste un géant mondial des engrais. <https://industries.ma/>. Janvier 2025.

## Annexe 16.3. Fiche d'informations par type d'engrais

### Fiche résumé sur les roches phosphatées

Phosphate naturel, roche phosphate

**Formule :**  $PO_4^{3-}$

**Synthèse :** broyage de phosphate brute extrait de mines de phosphate

**Teneur en phosphore :** 30 % de phosphore

**Forme de commercialisation :** poudre

**Utilisation :** intermédiaire à la production d'engrais phosphatés et utilisation directe comme engrais

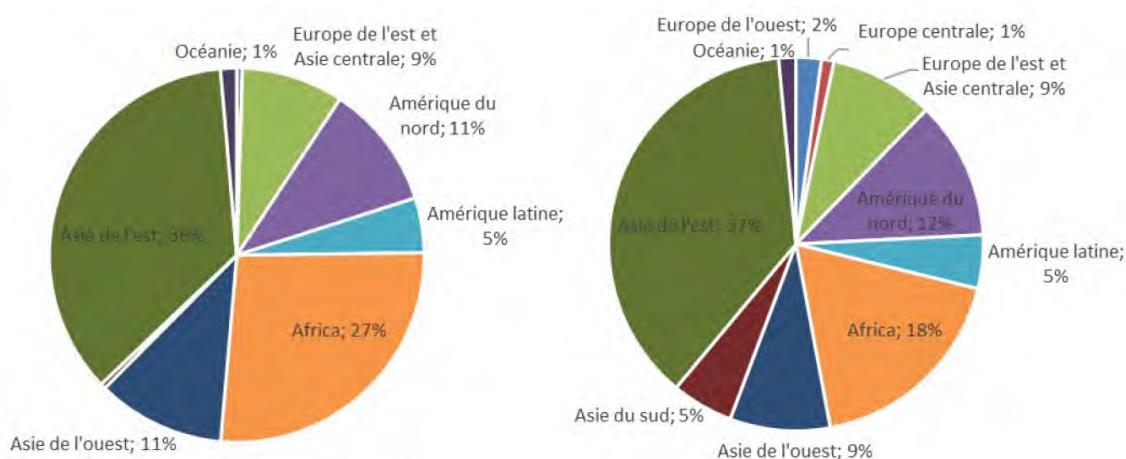
- tout type de culture
- application dans le sol

**Production et consommation mondiale**

- 204 441 kt de produit en 2021
- 62 945 kt équivalent phosphate en 2021

Principales régions de production en 2021 : Asie de l'Est et Afrique

Prix moyen 2022 : 248 €/tonne



Production et consommation de phosphate naturel en 2021

Source : IFASTAT.

## Fiche résumé sur l'acide phosphorique (PA)

**Formule :**  $H_3PO_4$

**Synthèse :** à partir d'apatite (mine de phosphate ; sous forme de chlorapatite, fluorapatite et hydroxyapatite) et d'acide sulfurique

- Chlorapatite:  $Ca_5(PO_4)_3Cl + 5 H_2SO_4 + 10 H_2O \rightarrow 3 H_3PO_4 + 5 (CaSO_4, 2 H_2O) + HCl$
- Fluorapatite:  $Ca_5(PO_4)_3F + 5 H_2SO_4 + 10 H_2O \rightarrow 3 H_3PO_4 + 5 (CaSO_4, 2 H_2O) + HF$
- Hydroxyapatite:  $Ca_5(PO_4)_3OH + 5 H_2SO_4 + 9 H_2O \rightarrow 3 H_3PO_4 + 5 (CaSO_4, 2 H_2O)$

**Teneur en phosphore :** 53%

**Forme de commercialisation :** liquide

**Utilisation :** intermédiaire à la production d'engrais phosphatés

- MAP et DAP
- Superphosphate triple

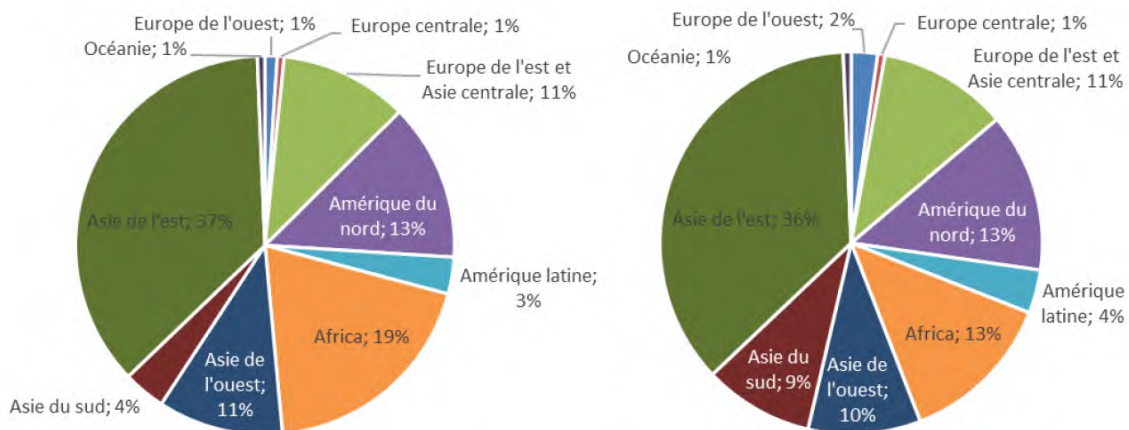
**Production et consommation mondiale**

- 83 923 kt de produit en 2021
- 44 936 kt équivalent phosphate en 2021

Principales régions de production en 2021 : Asie de l'est et Afrique

Prix : 1 341 €/tonne (moyenne 2022 calculée aux États-Unis, en Chine et en Europe)

### Production et consommation d'acide phosphorique en 2021



Source : IFASTAT.

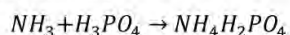


## Fiche résumé sur le phosphate de monoammonium (MAP)

Engrais binaire composé de phosphore et d'azote

**Formule :**  $NH_4H_2PO_4$

**Synthèse :** ammoniacque et acide phosphorique



Formation simultanée de phosphate d'ammonium  $(NH_4)_3PO_4$ , de phosphate de monoammonium et de phosphate de diammonium  $(NH_4)_2HPO_4$  en quantité proportionnelles en fonction des concentrations initiales

**Teneur en éléments :** 52% de phosphore, 11% d'azote

**Forme de commercialisation :** poudre cristalline

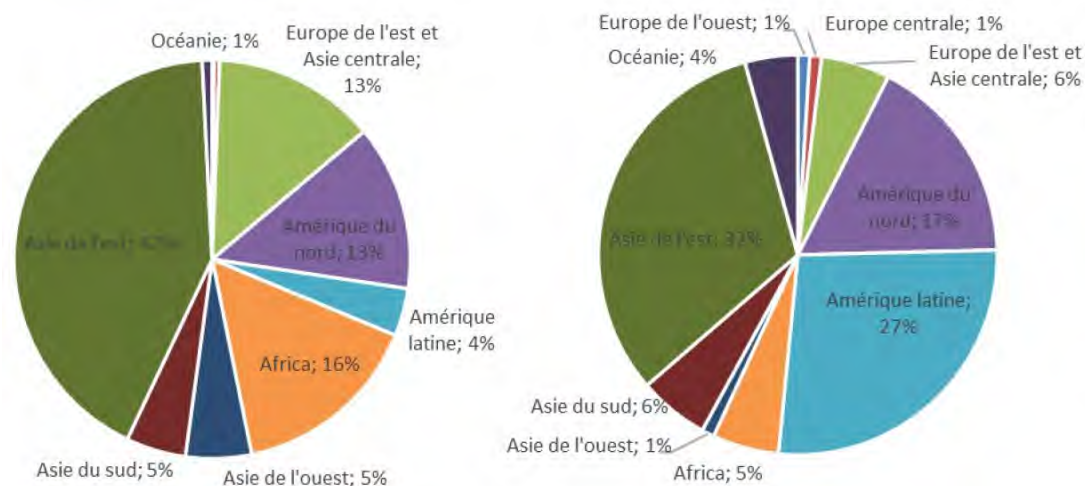
**Utilisation :** tout type de culture

### Production et consommation mondiale

- 33 548 kt de produit en 2021
- 17 101 kt équivalent phosphate en 2021

Principale région de production en 2021 : Asie de l'Est

Prix : 865 €/tonne (moyenne 2022 calculée aux États-Unis, en Chine et en Europe)



Production et consommation de MAP en 2021

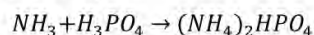
Source : IFASTAT.

## Fiche résumé sur le phosphate de diammonium (DAP)

Engrais binaire composé de phosphore et d'azote

**Formule :**  $(NH_4)_2HPO_4$

**Synthèse :** ammoniacque et acide phosphorique



Formation simultanée de phosphate d'ammonium  $(NH_4)_3PO_4$ , de phosphate de monoammonium et de phosphate de monoammonium  $NH_4HPO_4$  en quantité proportionnelles en fonction des concentrations initiales

**Teneur en éléments :** 46% de phosphore, 18% d'azote

**Forme de commercialisation :** poudre cristalline

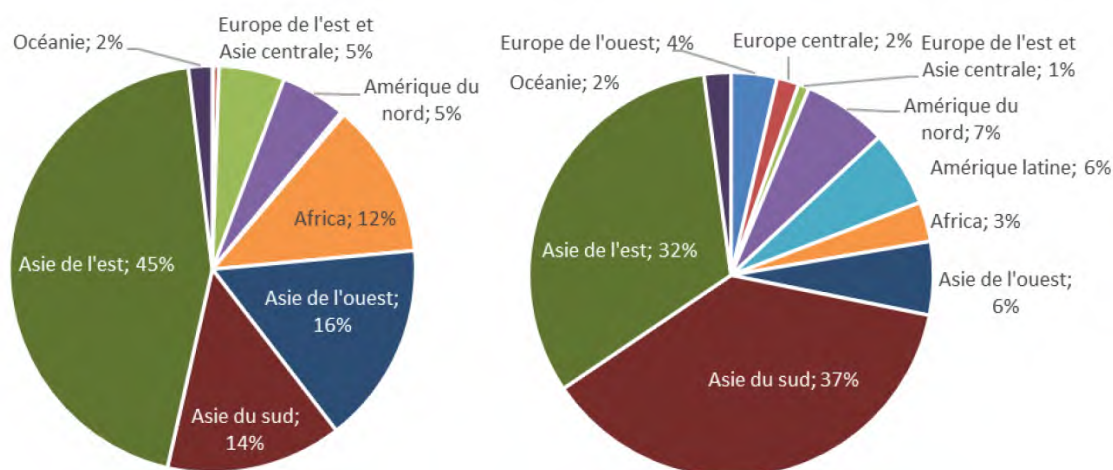
**Utilisation :** tout type de culture

### Production et consommation mondiale

- 33 677 kt de produit en 2021
- 15 517 kt équivalent phosphate en 2021

Principales régions de production en 2021 : Asie (de l'Est, du Sud, de l'Ouest)

Prix : 718 €/tonne



Production et consommation de DAP en 2021

Source : IFASTAT.

## Fiche résumé sur le Superphosphate triple (TSP)

**Formule :**  $Ca(H_2PO_4)_2$

**Synthèse :** TSP issu de phosphate brut et d'acide phosphorique

**Teneur en phosphore :** 45-46%

**Forme de commercialisation :** granulé

**Utilisation :**

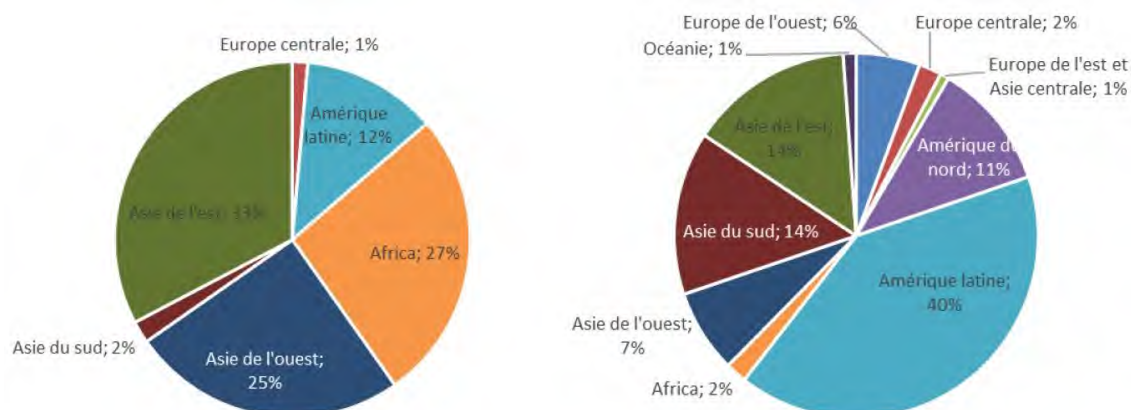
- tout type de culture et tout type de sol (plantes comme la pomme de terre, le colza et la luzerne ont des besoins élevés en phosphore, contrairement à l'avoine et le tournesol)
- 200 à 500 kg / ha
- phosphates libérés rapidement sous forme d'ions phosphates libres en milieu aqueux

**Production et consommation mondiale**

- 4 984 kt de produit en 2021
- 2 285 kt équivalent phosphate en 2021

Principales régions de production en 2021 : Asie de l'Est, de l'Ouest et Afrique

Prix : 668 €/tonne

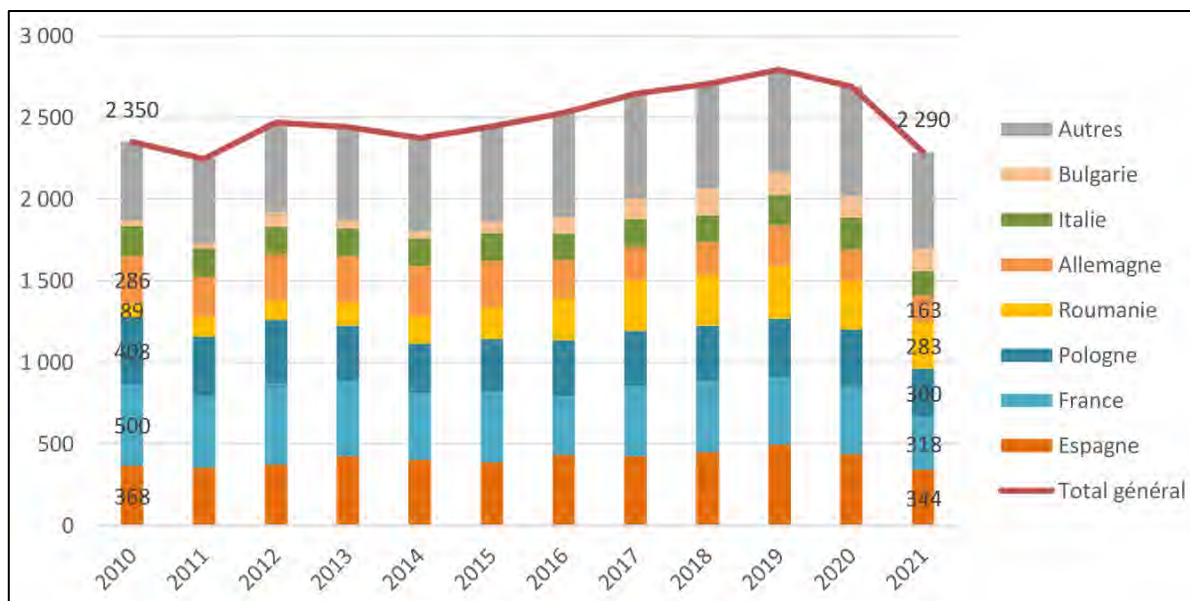


*Production et consommation de TSP en 2021*

Source : IFASTAT.

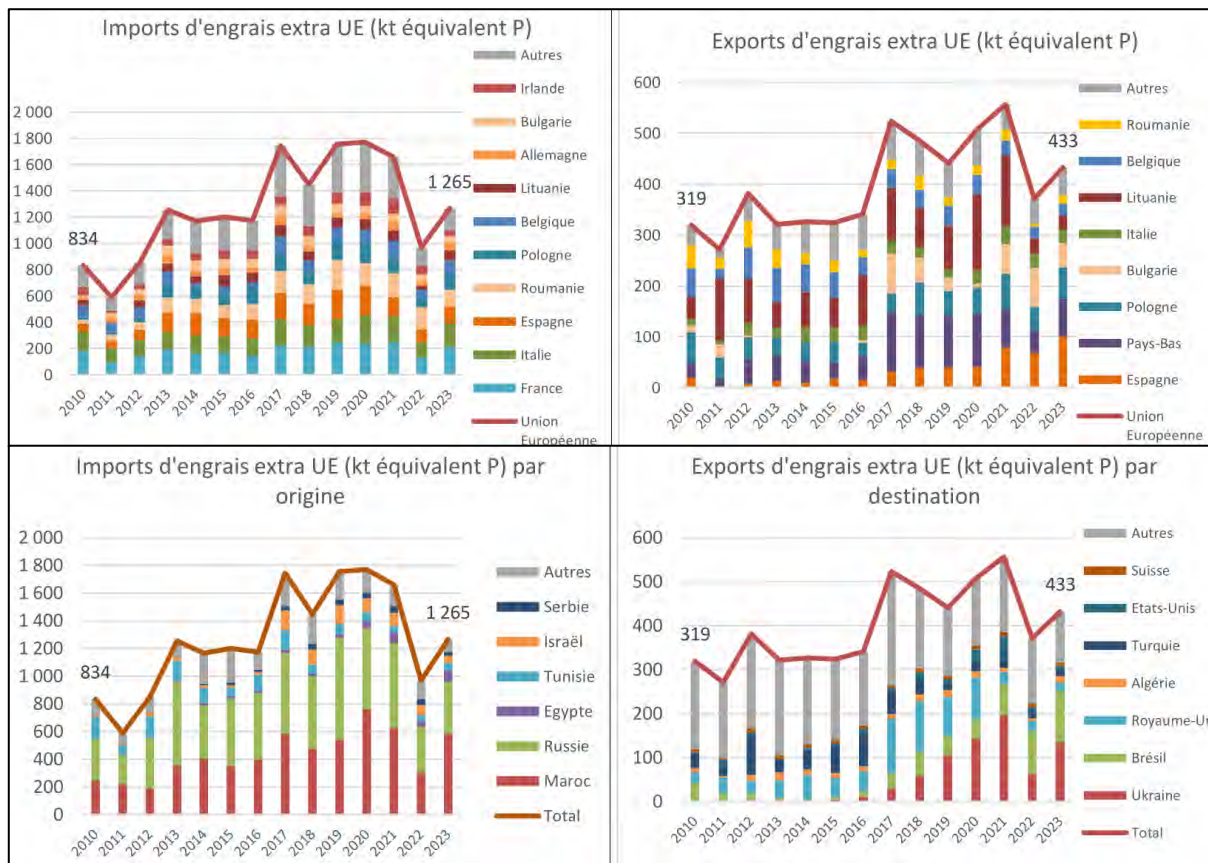
## Annexe 16.4. Production, consommation, exportation et importation d'engrais en Europe

Consommation apparente tout engrais en Europe (kt équivalent P)



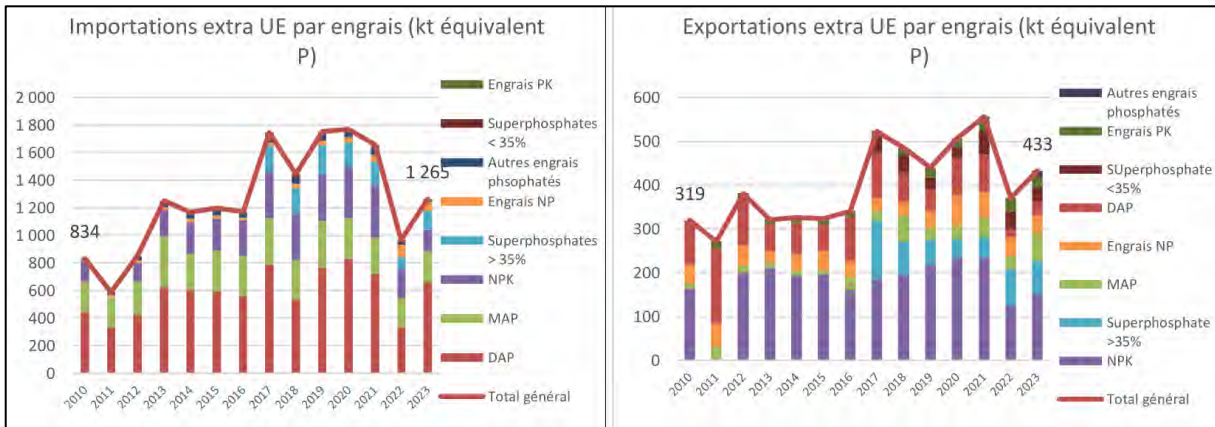
Source : IFASTAT – (roche phosphate et acide phosphatique exclus).

Importations et exportations extra UE tout engrais par l'Union européenne (en kt équivalent P)



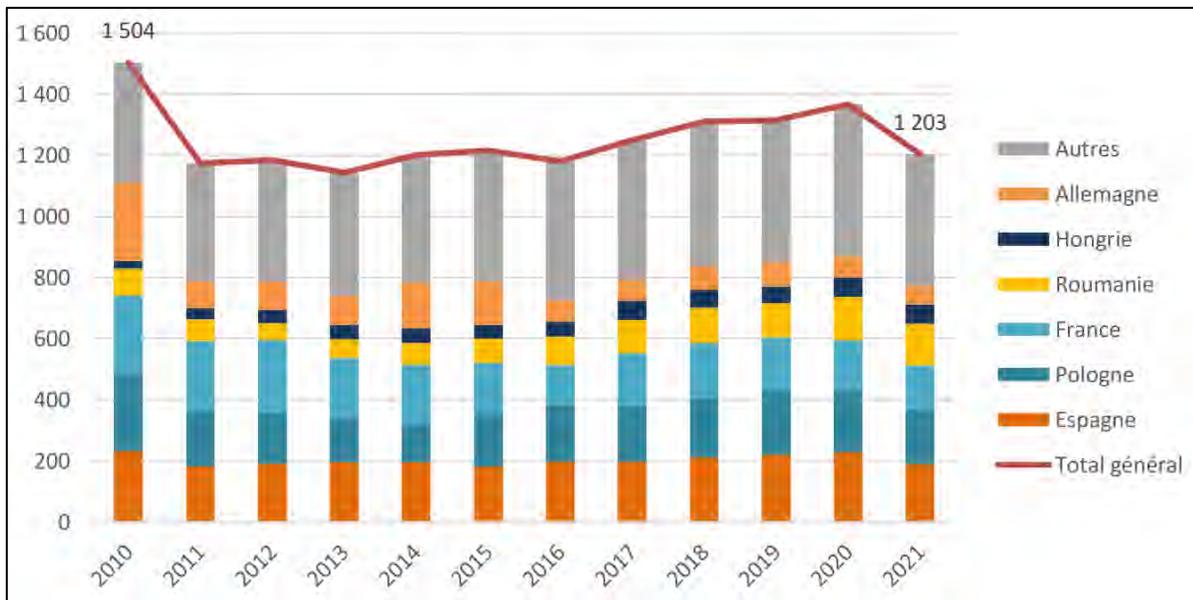
Source : élaboration AND, COMEXT.

**Importations et exportations extra UE par engrais par l'Union européenne (en kt équivalent P)**



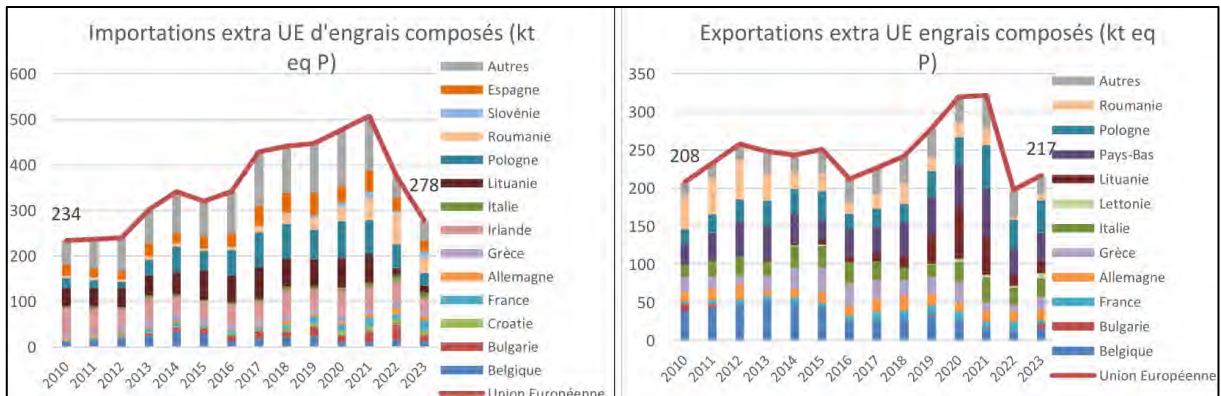
Source : élaboration AND, COMEXT.

**Consommation apparente d'engrais composés (kt équivalent P)**



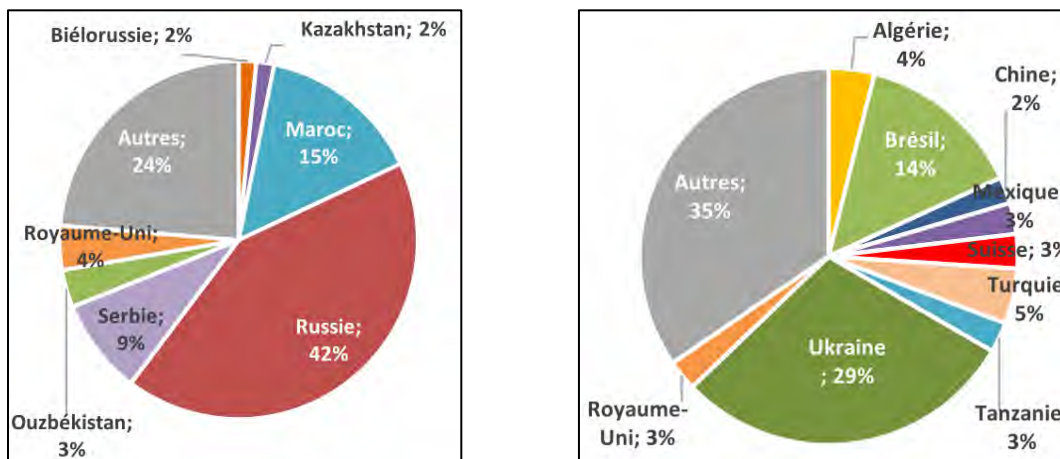
Source : IFASTAT.

**Importations et exportations extra UE d'engrais composés par pays (kt équivalent P)**



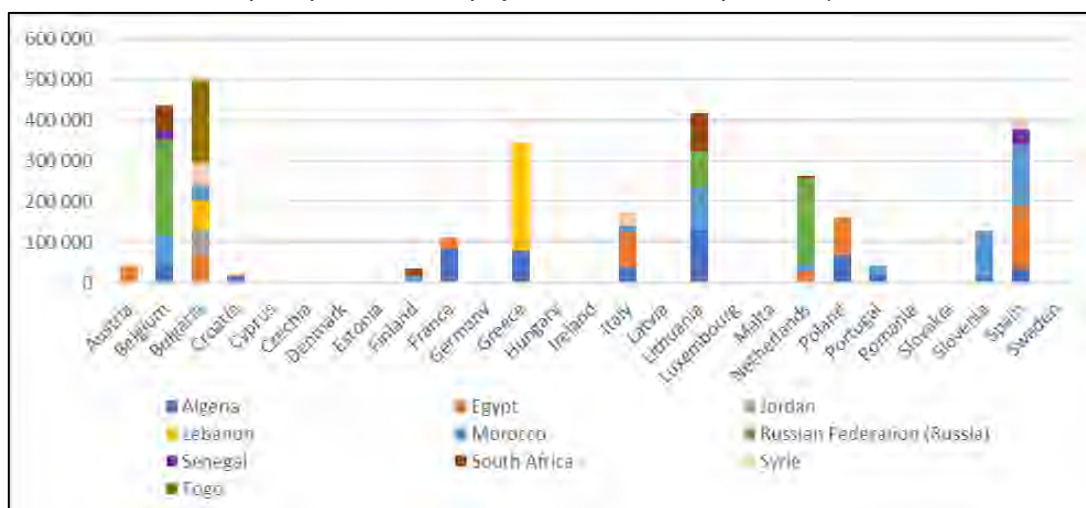
Source : élaboration AND, COMEXT.

Origine des importations extra UE (à gauche) et destination des exportations extra UE (à droite) d'engrais composés en 2023 (équivalent phosphate)



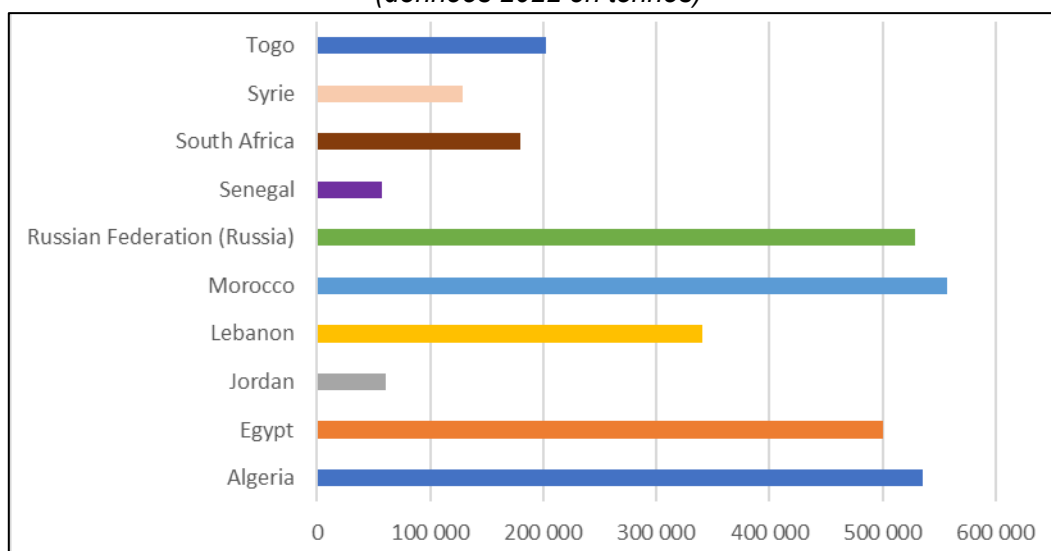
Source : élaboration AND, COMEXT.

Importations de roches phosphatées des pays de l'union européenne (données 2022 en tonnes)



Source : données commerciales Eurostat – traitement mission.

Principaux pays d'origine des importations de roches phosphatées par l'union européenne (données 2022 en tonnes)



Source : données commerciales Eurostat – traitement mission.

## Annexe 16.5. Le marché des engrais en France

[...] Les marchés des engrais minéraux en Europe et en France subissent comme d'autres régions du monde l'évolution des prix et flux sur le marché mondial. Les appels d'offres indiens ont pu tendre l'approvisionnement et les prix des phosphates en provenance d'Afrique du Nord. L'approvisionnement de l'UE en engrais phosphatés est particulièrement concentré sur sa proximité géographique, avec 65 % des importations en provenance Afrique du Nord (dont 52 % du Maroc, 13 % d'Égypte et 13 % de Tunisie) et 24 % en provenance de Russie.

Entre 2020 et 2021, la Russie a renforcé sa position de deuxième fournisseur d'engrais phosphatés, avec une hausse des volumes importés (+ 8 %) quand ceux en provenance du Maroc, premier fournisseur, chutaient de 20 % (- 10 % pour l'ensemble des importations). Entre 2021 et 2022, les importations en provenance des deux pays chutent et en 2023, le rebond des importations a davantage profité au Maroc (+ 91 %) qu'à la Russie (+ 53 %). Entre 2020 et 2023, la position des principaux fournisseurs en engrais phosphatés demeure inchangée. Le Maroc demeure le premier fournisseur de l'UE (52 % de l'approvisionnement) devant la Russie (24 %). Le principal changement vient de l'Égypte qui double sa part (de 4 % à 8 %) dans l'approvisionnement européen et devient le troisième fournisseur de l'UE, devant Israël (de 7 % à 5 %). En termes de produits consommés, l'analyse quantitative de la période entre 2020 et 2021 montre une baisse plus marquée pour le MAP/DAP que pour les autres engrais phosphatés comme le superphosphate ou le TSP.

La France demeure le neuvième importateur net d'engrais phosphatés. Les importations fournissent près 75 % des engrais azotés et 100 % des matières premières ou engrais finis phosphatés et potassiques.

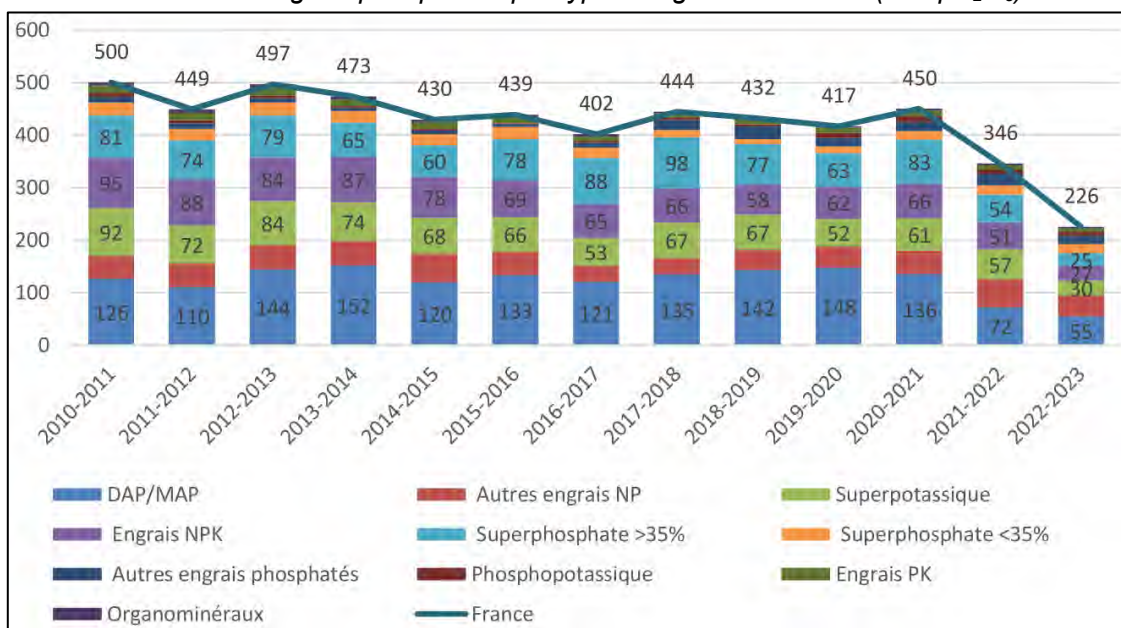
*Principaux engrais minéraux livrés sur le marché français, volumes, part dans le total et évolution sur les 10 dernières années*

Engrais (catégorie UNIFA)	Volume de produit (kt)	Part du volume total	Évolution 2014-2023
Ammonitrates	1904	29%	-33%
Autres engrais azotés	344	5%	26%
Solution azotée	1650	26%	-31%
Urée	1185	18%	60%
Autres engrais phosphatés	59	1%	91%
Superphosphate <35%	65	1%	-32%
Superphosphate >35%	45	1%	-69%
DAP/MAP	118	2%	-64%
Autres engrais potassiques	197	3%	-33%
MOP	118	2%	-65%
Autres engrais NP	218	3%	-7%
Engrais NPK, NK	317	5%	-63%
Engrais PK	233	4%	-55%
<b>Total</b>	<b>6455</b>	<b>100%</b>	<b>-29%</b>

Source : AND, d'après les données UNIFA pour les campagnes 2013-2014 et 2022-2023.

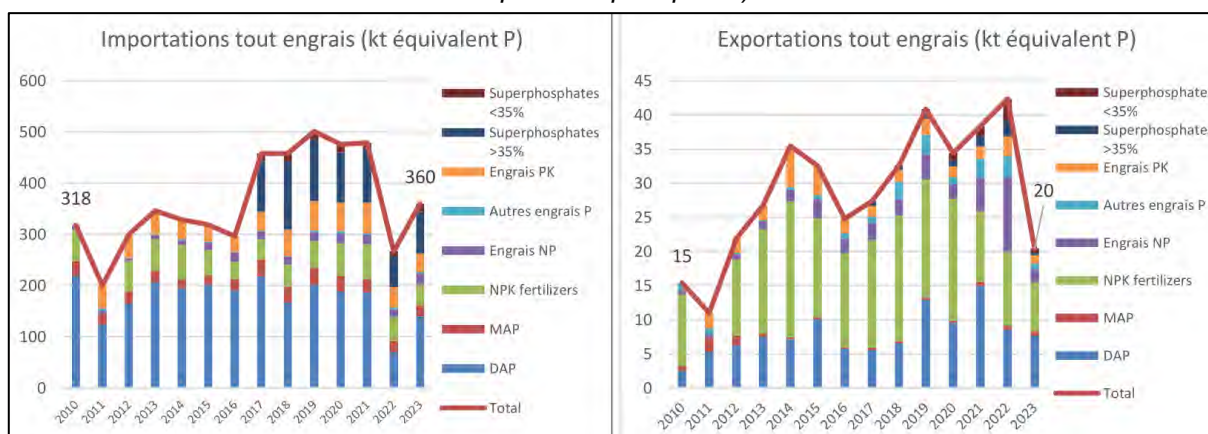
[...] Les droits de douane en vigueur pour les engrais minéraux et matières premières liées aux frontières de l'Union européenne sont de 0 % sur les roches phosphates et 6,5 % sur les engrais minéraux, avec une exception de 0 % pour les engrais minéraux provenant de la région MENA (*Middle East and North Africa* : Moyen-Orient, Égypte et Maghreb) et Trinidad.

### Livraison d'engrais phosphatés par type d'engrais en France (kt eq P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)



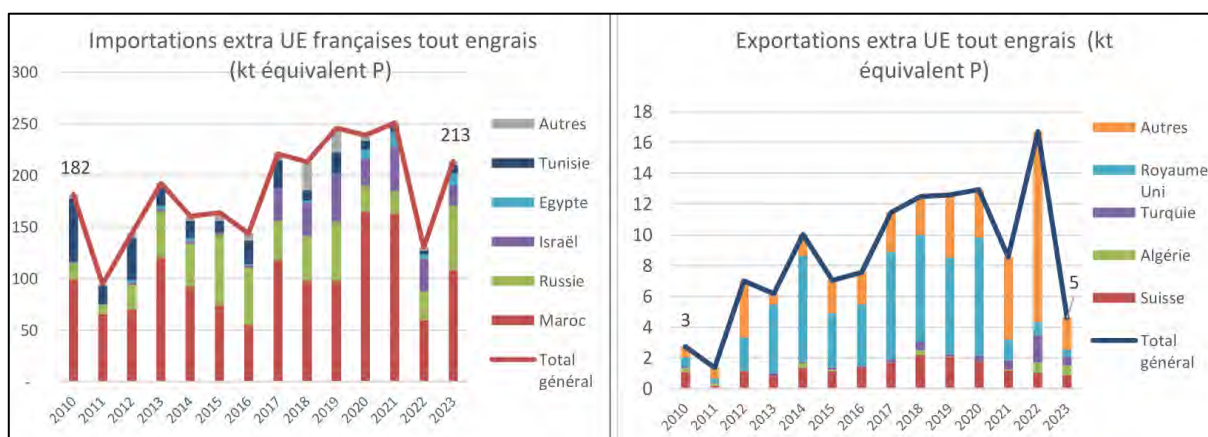
Source : UNIFA.

### Importations et exportations françaises tous engrais phosphatés, hors roche phosphate (en kt équivalent phosphate)



Source : élaboration AND, COMEXT.

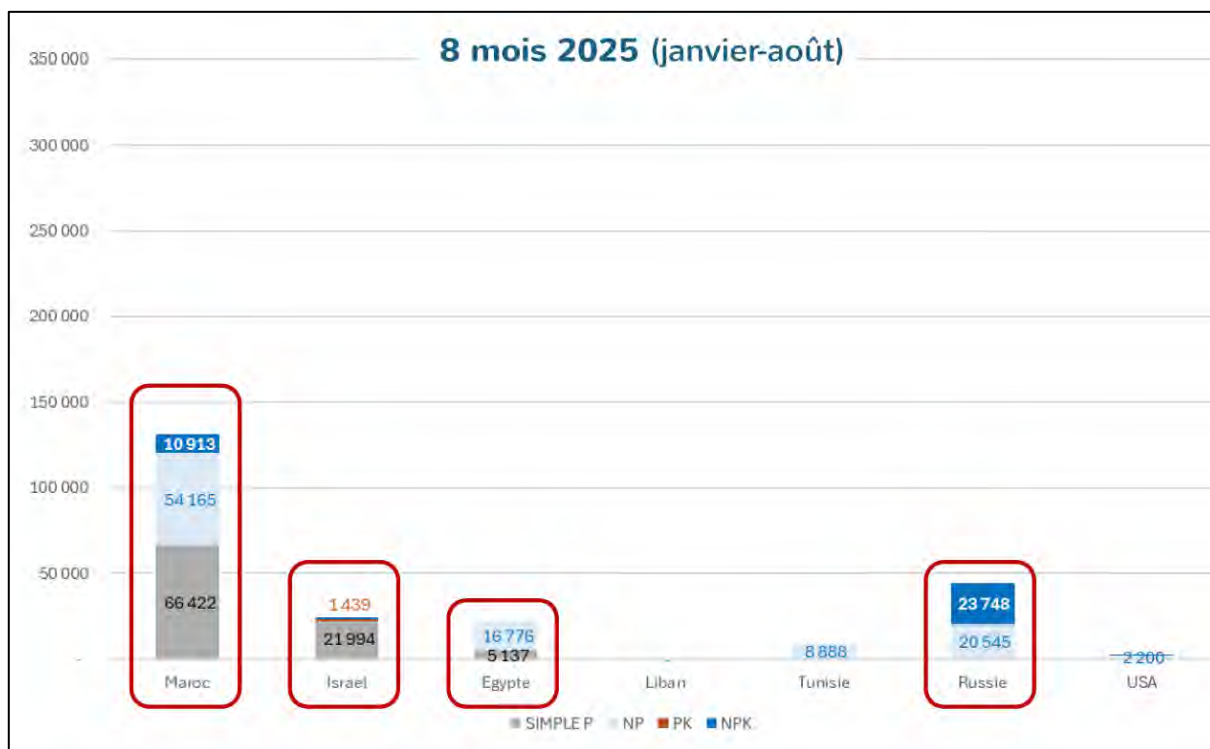
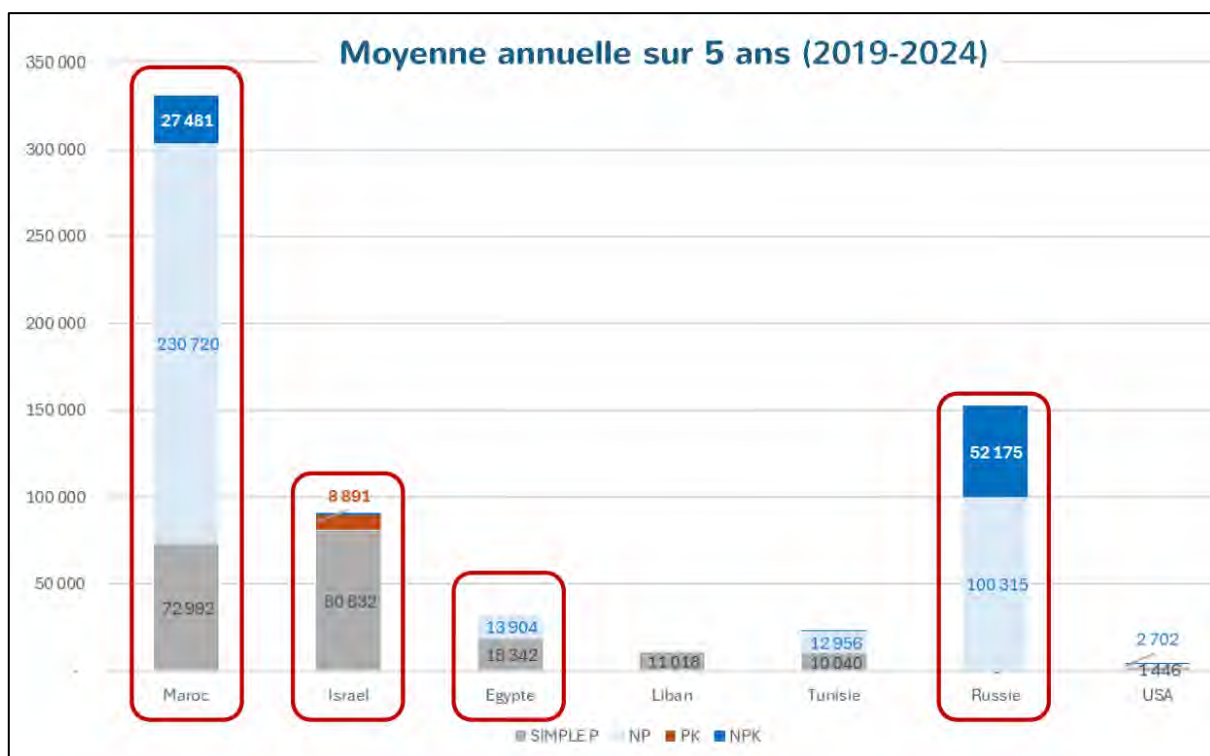
### Importations et exportations françaises extra UE tous engrais phosphatés, hors roche phosphate (en kt équivalent phosphate)



Source : élaboration AND, COMEXT.



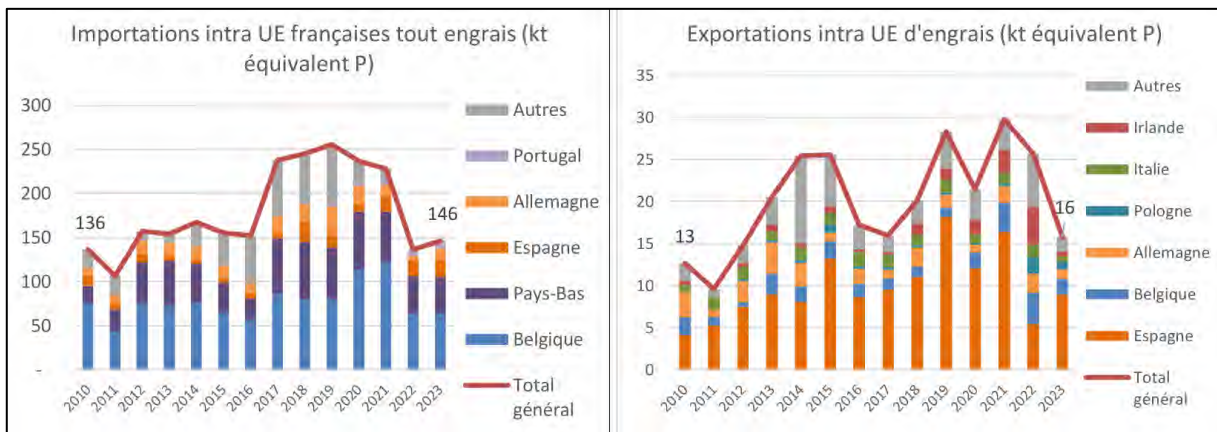
Importations françaises d'engrais contenant du Phosphate en provenance de pays-tiers (t)



Le Maroc, Israël, l'Égypte et la Russie représentent en moyenne 93 % des importations françaises d'engrais phosphatés (en t d'engrais)

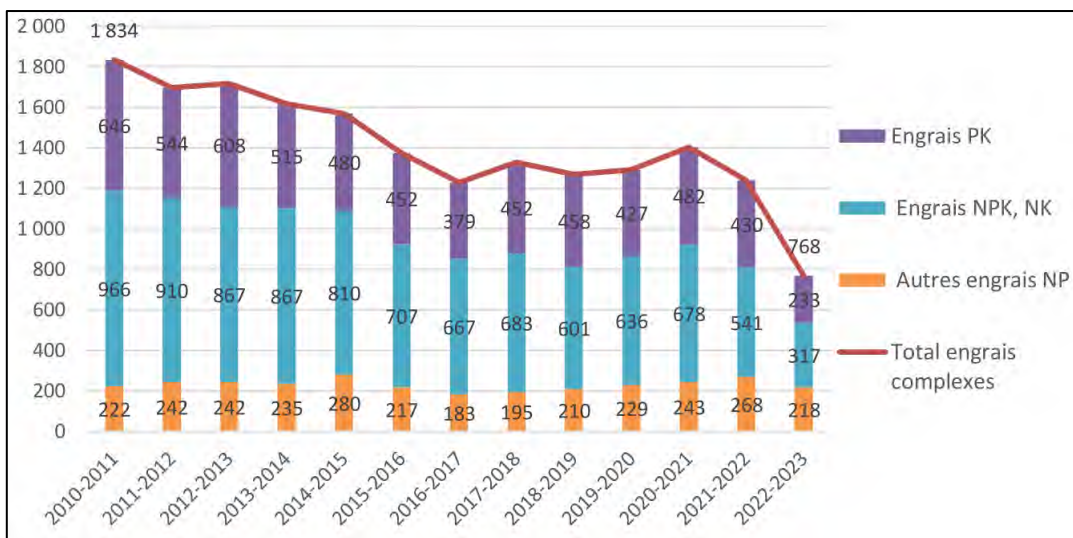
Source : AFCOME – entretien mission.

**Importations et exportations françaises intra UE tous engrais phosphatés, hors roche phosphate (en kt équivalent phosphate)**



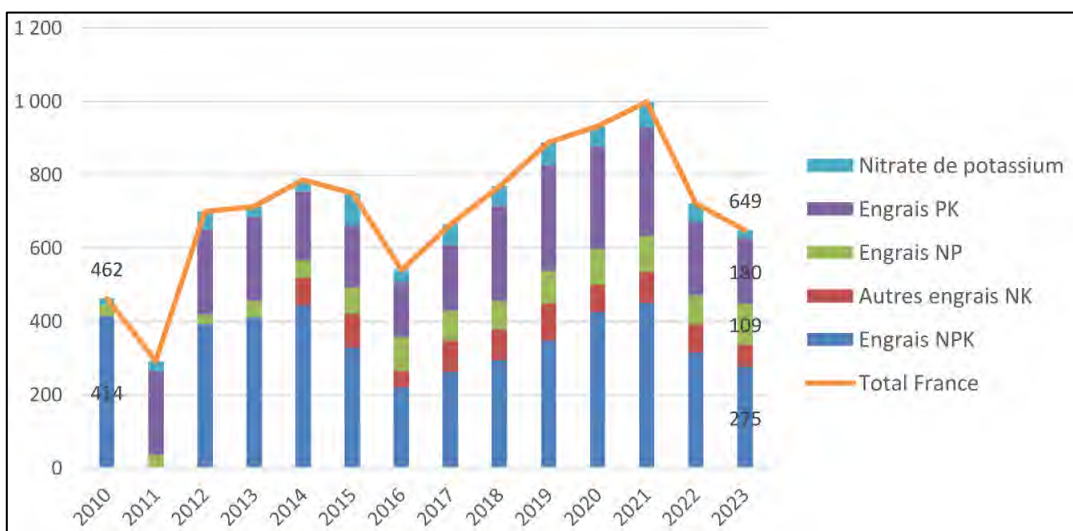
Source : élaboration AND, COMEXT.

**Livraison d'engrais composés par type d'engrais en France (kt de produit)**



Source : AND, d'après données UNIFA.

**Importations françaises d'engrais composés (en kt de produit)**



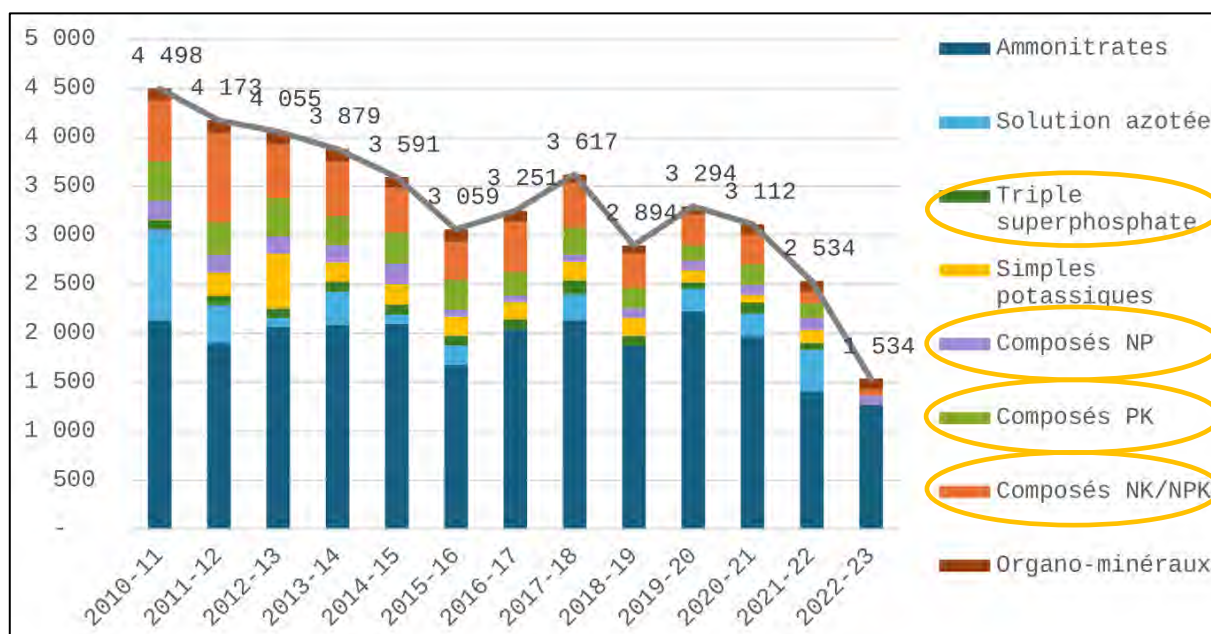
Source : élaboration AND, COMEXT.

### Exportations françaises d'engrais composés (en kt de produit)



Source : élaboration AND, COMEXT.

### Production apparente française estimée par grandes catégories d'engrais et par année de campagne (kt de produit)

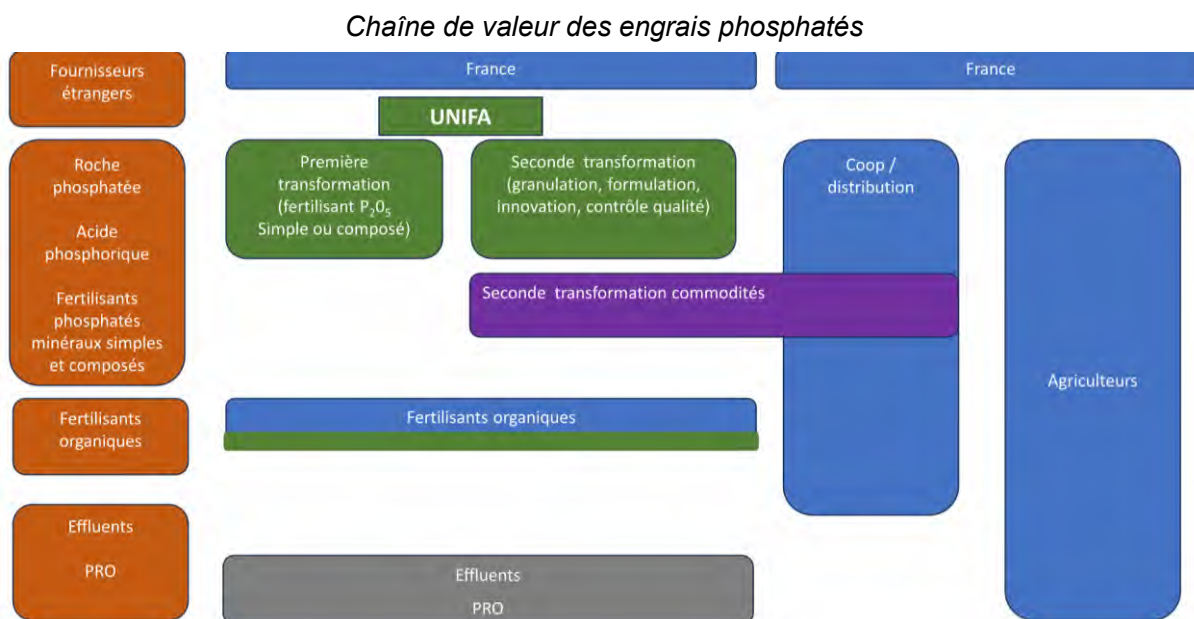


Source : élaboration AND, données COMEXT, UNIFA.

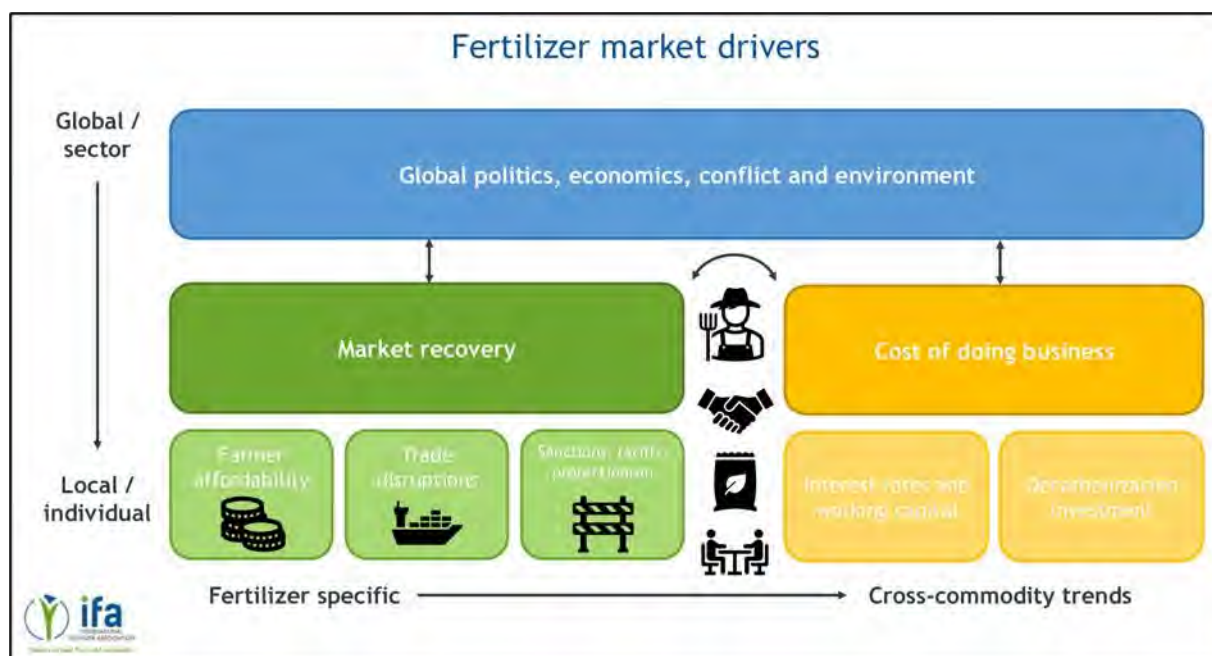
## Annexe 17. Éléments sur le secteur économique des engrais dans le Monde, en Europe et en France

Sauf mention particulière, les graphiques et textes de cette annexe sont extraits de l'étude de FranceAgriMer sur le fonctionnement général du marché des engrais minéraux dans la situation spécifique des filières grandes cultures (2024)<sup>87</sup>.

### Annexe 17.1. Chaîne de valeur des engrais phosphatés et facteurs de marché



Source : UNIFA – www.unifa.fr



Source : IFA medium term outlook report 2025-2029.

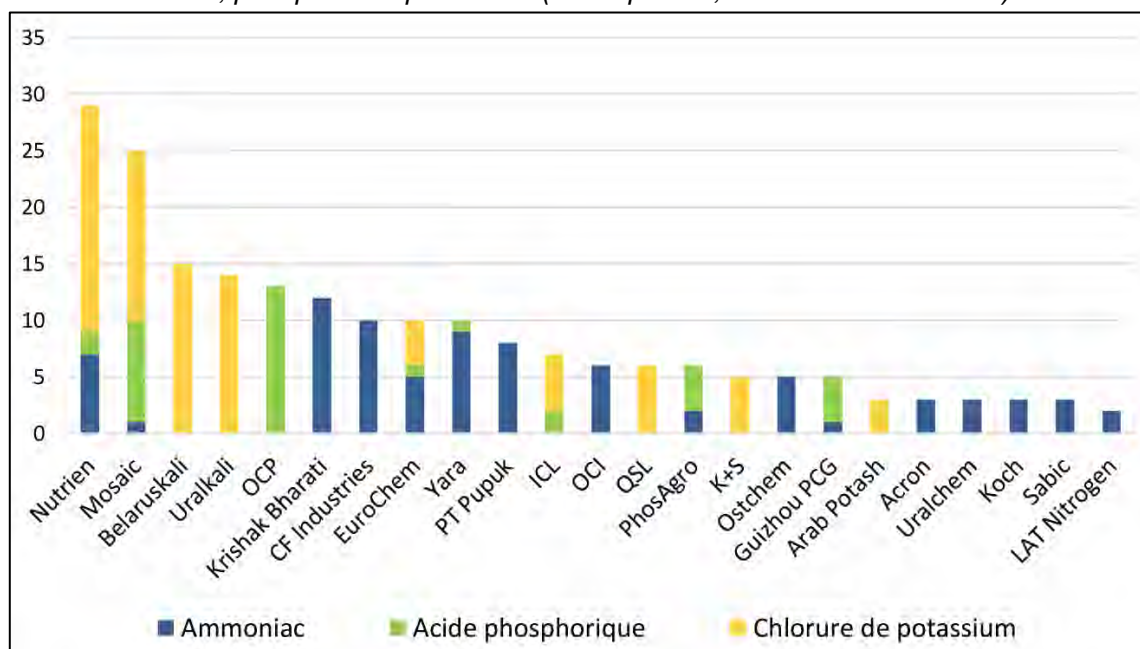
<sup>87</sup> Clément Lepeule, Julien Potier, Rose Cahagne, Violaine Romieu, Alexis Dufumier. Étude sur le fonctionnement général du marché des engrais minéraux dans la situation spécifique des filières grandes cultures. AND International et CERES PRESS pour FranceAgriMer. Octobre 2024.

## Annexe 17.2. Fonctionnement général du marché des engrais minéraux

Les graphiques et textes de cette annexe sont extraits de l'étude de FranceAgriMer sur le fonctionnement général du marché des engrais minéraux dans la situation spécifique des filières grandes cultures (ibid.).

[...] Le secteur des engrais est caractérisé par une forte intégration verticale et est dominé par la présence d'entreprises multinationales. La production minière est une activité fortement capitalistique réalisée par un nombre restreint d'acteurs sur un nombre limité de sites dans le monde. Le chaîne de production des engrais phosphatés et potassiques (amont minier) est plus concentrée que celle de la production d'engrais azotés (amont gazier) tant en nombre d'acteurs qu'en nombre de pays fournisseurs. Un grand nombre d'entreprises ont un actionnariat étatique. Certains États se distinguent par leur poids dans l'approvisionnement mondial des engrais. C'est le cas de l'Inde dont les appels d'offres influent particulièrement sur les prix de la campagne, et la Chine qui peut avoir une position à la fois importatrice et exportatrice sur l'année en fonction de la couverture de ses besoins. Le secteur a été profondément perturbé par le conflit entre la Russie et l'Ukraine qui a pesé sur les prix mondiaux du gaz, de l'ammoniaque et des engrais finis.

Capacité de production des principaux producteurs d'engrais en matières premières des chaînes azote, phosphore et potassium (Mt de produit, donnée 2021 ou 2022)



Source : AND, d'après les données issues des rapports annuels d'activité des entreprises, de l'USGS, et des comparatifs de marché réalisés par Nutrien, ICL, Uralchem et le site Elementarium.

### Les producteurs d'engrais dominés par l'amont minier

Les acteurs majeurs sont le groupe américain Mosaic sur la potasse et les phosphates et le marocain OCP sur les phosphates ; les acteurs principaux incluent aussi l'israélien ICL sur la potasse et les phosphates, PhosAgro (RU) et Guizhou PCG (CN) sur les phosphates. Ces entreprises sont à la fois productrices de minerais et d'engrais. Un approvisionnement en ammoniaque est indispensable aux acteurs de la chaîne du phosphore car c'est sous la forme de MAP et DAP, associant acide phosphorique et ammoniaque, que cet élément est principalement échangé sur les marchés mondiaux.

### Les producteurs industriels d'azote

Les principaux sont par ordre décroissant de capacité Krishak Bharati (IN), CF Industries (USA), Yara, (NO), PT Putuk (ID), OCI (EG), Ostchem (UA), Acron (RU), Uralchem (RU), Koch (US), Sabic (SA) et LAT Nitrogen (CZ). Si certaines se sont diversifiées dans la production d'engrais composés, elles restent dépendantes pour les éléments phosphore et potassium d'approvisionnements externes.

## Les producteurs polyvalents

Ils sont dotés de capacités de production d'ammoniaque suffisamment significatives pour compter parmi des acteurs majeurs du marché de l'azote, et disposent aussi d'une activité minière. Ainsi, Yara est une entreprise positionnée principalement sur la chaîne de l'azote, issue du groupe gazier Norsk Hydro, qui a acquis une activité minière sur les phosphates. D'autres acteurs sont de taille plus réduite, dont l'espagnol Fertinagro, qui intègre la chaîne de l'azote et a acquis une mine de phosphates.

## Les entreprises positionnées sur l'aval de la chaîne de production, à proximité des marchés de consommation et produisant des engrais spécialisés

Elles dépendent pour leur production d'engrais d'approvisionnements externes en phosphore (MAP/DAP). En France, des acteurs comme TIMAC AGRO et Fertemis adoptent une stratégie de différenciation de leurs produits, en investissant sur les engrais spécialisés, les biostimulants ou les engrais organo-minéraux. Ces entreprises sont davantage liées à l'aval agricole et agroalimentaire qu'à l'amont gazier et minier.

*Spécificités dans la détention du capital des principales entreprises productrices d'engrais, par type d'actionnaire (2023)*

Actionnariat \ Caractérisation physique	Polyvalent	Minier	Amont azote	Aval
Participation significative d'acteurs et de fonds publics (>40% du capital)	Yara	OCP ICL Belaruskali	Krishak Bharati	
Participation significative de fonds de pension (>30% du capital)		Mosaic	CF Industries	
Actionnariat familial			OCI	Roullier (TIMAC)
Actionnariat personnel	EuroChem	Uralkali	Acron Uralchem Agrofert (LAT)	
Fond d'investissement			Fertiberia	
Actionnariat diversifié	Nutrien	K+S		

Source : AND, d'après les données issues des rapports annuels d'activité des entreprises et de plateformes de trading.

Les producteurs miniers de phosphates sont liés au gaz pour la production de DAP et MAP. Les EBITDA ont fortement fluctué sur les douze dernières années. Tous ont connu une progression en 2021 et 2022, avant une correction en 2023.

En **Algérie**, le gouvernement a investi dans un partenariat avec la Chine, avec la création en 2022 de l'*Algerian Chinese Fertilisers Company* (ACFC), pour développer l'exploitation minière de phosphates et la production d'engrais en Algérie. Le pays dispose déjà d'une capacité de production de phosphate de 1,8 Mt, qui pourrait s'accroître significativement et voir émerger un nouvel acteur mondial sur ce segment.

**Le Brésil** se distingue par la forte croissance de son activité agricole sur les dernières décennies et une extrême dépendance aux importations, qui assurent 80 % de son approvisionnement en engrais minéraux. Le Brésil a la particularité d'être un grand pays consommateur de MAP. Le Brésil se distingue aussi par son attractivité pour les investissements étrangers dans le domaine de la production (notamment minière sur les phosphates).

**L'Inde** est le second importateur mondial d'engrais phosphatés. Le gouvernement indien intervient par l'organisation d'appels d'offres sur le marché mondial sur de grands volumes (1 à 1,5 Mt d'engrais par appel d'offres), par l'octroi de subventions aux agriculteurs et par le contrôle des prix de vente. L'Inde a aussi développé une industrie nationale de production d'engrais qui comprend à la fois des usines publiques et des entreprises privées et produit une gamme complète d'engrais : azotés, phosphatés et potassiques.

Traditionnellement importateurs d'engrais minéraux, **les États-Unis** ont développé d'importantes capacités de production d'ammoniaque et d'engrais azotés sur la dernière décennie. La puissance et la présence mondiale de grands groupes américains comme Nutrien (canado-américain), Mosaic et CF Industries donne aussi au pays une place particulière sur le marché des engrais minéraux.

**La Russie** est le premier pays exportateur d'engrais minéraux, et est présente sur l'ensemble des chaînes de l'azote, du phosphore et de la potasse. C'est le troisième exportateur d'engrais phosphatés.

**Le Maroc** est le second exportateur mondial d'engrais phosphatés.

**La Chine** a la particularité d'être à la fois le premier pays consommateur d'engrais minéraux et un des producteurs majeurs d'engrais avec une forte capacité d'exportation. La Chine pèse entre 30 et 40 % de l'utilisation mondiale d'engrais, avec une consommation à l'hectare d'engrais de plus de 400 kg, parmi les plus importantes au niveau mondial. D'autre part, la Chine est un des principaux producteurs mondiaux d'engrais minéraux et de leurs produits intermédiaires. La production chinoise d'acide phosphorique atteint environ 15 Mt, pour une capacité de production de 4 Mt pour *Guizhou Phosphate Chemical Group* (GPCG). Par ailleurs, la production chinoise de roches phosphatées (90 Mt, pour une capacité de 17 Mt pour GPCG) est bien plus importante que la production marocaine (35 Mt, intégralement réalisée par OCP). Étant donné le degré élevé d'autosuffisance du pays, son impact sur les marchés mondiaux n'est pas proportionnel à sa capacité de production d'engrais (comparé aux autres pays producteurs comme la Russie et les États-Unis) ni à sa consommation (comparé aux bassins de production agricoles de l'Inde et du Brésil). L'influence de la Chine sur les marchés mondiaux est surtout liée à l'utilisation de ses exportations comme variable d'ajustement.

**Le marché français des engrais minéraux** est principalement un marché de consommation et de distribution d'engrais. L'approvisionnement du marché est assuré pour la majorité des volumes par des importations et dans une moindre mesure par la production d'une poignée d'acteurs sur le territoire. Il existe une demi-douzaine d'entreprises produisant des engrais simples et engrais composés sur le territoire métropolitain.

En France, Yara (Le Havre) et LAT Nitrogen (Grand-Quevilly, Grandpuits, Ottmarsheim), producteurs d'ammoniaque, importent aussi les éléments phosphore et potassium utilisés pour la production d'engrais composés.

TIMAC AGRO, filiale du groupe Roullier, est une entreprise positionnée davantage sur l'aval de la chaîne de production. L'entreprise produisait des engrais PK sur le site de Tonnay-Charente, avant sa fermeture fin 2023. Son activité se concentre principalement sur la fabrication d'engrais composés par mélange d'éléments azote, phosphore, potassium et magnésiens importés.

Fertemis, filiale d'Eliard-SCPC, se positionne sur le même segment des engrais composés. Plusieurs producteurs internationaux disposent de sites de production d'engrais composés en France. C'est le cas de l'espagnol Fertinagro et de l'israélien Haifa. Ces entreprises proposent des produits différenciés qui leur permettent de sécuriser une part de marché.

La distribution française est structurée par des réseaux de coopératives et négociants qui maillent l'ensemble du territoire. La distribution d'engrais en France est réalisée aujourd'hui à 70 % par les coopératives et à 30 % par des négociants. La coopérative InVivo est devenue avec le rachat du négociant Soufflet le groupe leader sur la distribution d'engrais en France, avec 1 Mt de tonnes par an. L'ensemble de ces acteurs ont la taille critique suffisante pour se positionner sur une activité de « dernière transformation » de mélange de granulés (bulk-blending) pour les engrais composés, qui leur permettent de capter une part de valeur ajoutée.

Pour la France, la dépendance aux importations et l'instabilité du contexte international rendent le métier d'importateur incontournable aux distributeurs, qui délèguent dans la majorité des cas cette activité à des entreprises spécialisées. Le principal producteur étranger positionné sur le marché français est OCP pour le phosphore. Une part significative des engrais composés est importée d'Espagne auprès de Fertiberia et Fertinagro et de Belgique auprès de Yara et EuroChem.

La production d'engrais composés NK/NPK suit une tendance à la baisse progressive sur la dernière décennie, avec une rupture plus nette en 2022-2023, notamment liée à l'arrêt de la production sur l'usine Yara de Montoir. La fermeture de l'usine TIMAC Agro Tonnay-Charente en 2023 voit une perte de production d'environ 200 000 t de composés PK.

Le poids croissant du fret routier implique une vulnérabilité croissante de l'échelon de la distribution aux variations des prix du carburant, comme l'illustre la hausse de 40 % du coût du transport routier entre 2021 et 2022, concomitante à celle du gaz naturel, puis sa baisse modérée et stabilisation fin 2022. Les acteurs du marché témoignent d'un risque logistique croissant à prendre en charge lié à l'éloignement entre les usines de production d'engrais des bassins agricoles où ils sont utilisés, du fait de la délocalisation des activités industrielles.

La croissance attendue des importations pourrait mettre en tension des infrastructures logistiques qui ont montré leurs limites en 2022.

Les producteurs et distributeurs français d'engrais réalisent l'ensemble de leurs achats en contrats spot (ou « contrats comptant »), qui présentent une part de risque dans un contexte de prix volatils. À l'échelle de la distribution, une stratégie d'achat-revente simultanée « back to back » est mise en œuvre par de nombreux acteurs. Cette option s'accompagne d'une logistique tendue minimisant le stockage par le recours à des petits lots en s'appuyant sur les outils logistiques du fret routier et du big bag.

Dans plusieurs pays du reste du monde, les pouvoirs publics cherchent à pallier l'impossibilité pour les acteurs privés de recourir à des contrats d'approvisionnement de long terme en concluant des accords bilatéraux d'État à État (ainsi en octobre 2023, entre l'Inde et le Maroc pour un approvisionnement en phosphates).

Le positionnement des acteurs sur des produits à plus forte valeur ajoutée (dont enrobages et ajouts de biostimulants) permet de minimiser le poids des matières premières dans le prix final de l'engrais, et l'exposition aux marchés mondiaux.

La croissance de la capacité de production de phosphate est attendue à + 12 % d'ici 2027 soit +7,4 Mt P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Elle devrait rester concentrée dans les régions dotées de centres de production existants, à savoir l'Afrique, l'Asie de l'Ouest et la Chine. «Le dynamisme des projets ailleurs est limité en raison de la faible incitation prix à l'investissement sur le marché actuel», relève l'IFA. À l'horizon 2027, la consommation mondiale de phosphore atteindrait 50,2 Mt, soit 6 Mt ou 14 % de plus qu'au cours de l'exercice 2022.

En Europe, le climat semble peu propice à l'investissement selon les entretiens réalisés auprès des producteurs compte tenu de la volatilité des prix, des conditions d'emprunt et de la compétition extra UE. La réglementation européenne est jugée complexe et elle est d'autant moins comprise lorsque les actionnaires ne sont pas d'origine européenne.

Selon les perspectives de Fertilizer Europe la consommation d'engrais minéraux en unité fertilisante devrait globalement diminuer à horizon 2032 avec une baisse de -1 % pour le phosphore. En grandes cultures, la consommation de phosphate est projetée en baisse de -1,2 % en moyenne.

En France, Fertilizer Europe (2023) anticipe une baisse d'environ 5 % du phosphore. Le risque de carence en P n'est pas clairement établi, plusieurs distributeurs alertant quant à l'observation de carences vraies tandis que les entretiens réalisés avec le Comifer relativisent cette situation avec 20 % des surfaces cultivées qui présenteraient des risques de carence.

94 % des volumes de matières fertilisantes d'origine résiduaire sont issues des effluents d'élevage. La demande pour les engrais organiques pourrait croître. Du côté des producteurs d'engrais, l'implication récente de Yara sur le segment des engrais organiques semble être un signal d'un développement possible.

Au-delà de la taxation des importations, les mesures non-tarifaires (règlements REACH et REACH Fertiliser) protègent dans une certaine mesure la production européenne d'engrais minéraux de la concurrence internationale. La situation pourrait évoluer avec la mise en œuvre à partir de 2024 d'un mécanisme d'ajustement carbone aux frontières (MACF), qui prévoit l'imposition des importations d'ammoniac et d'engrais azotés à hauteur de leurs émissions de GES ; Toutefois, le MACF ne concerne pas le phosphore : le mécanisme doit s'appliquer dans un premier temps à cinq produits fortement exposés au risque de fuites de carbone : les engrais azotés, l'acier, le ciment, l'aluminium et l'hydrogène, dont la production combinée représente la moitié des émissions industrielles de l'UE.

Grâce aux entretiens réalisés il semble se dégager quatre grands positionnements stratégiques différents de la part des opérateurs qui traduisent des visions contrastées du marché des engrais.



- **La souveraineté par intégration totale** avec la massification des engrais bas carbone.
- **La souveraineté via la réduction des importations**, couplée à des engrais de spécialités (gain d'efficacité) et des pratiques agronomiques durable. La fertilisation est l'un des piliers de l'agriculture régénérative.
- **La souveraineté via la diversification des origines**. Les impératifs de compétitivité de prix conduisent à chercher une convergence des prix intérieurs vis-à-vis des prix des marchés internationaux de référence par recours à l'importation par une grande libéralisation et l'efficacité des chaînes logistiques.
- **La souveraineté par la protection de l'industrie de la fertilisation présente en métropole**. Souveraineté par la protection à de l'industrie de la fertilisation présente en métropole.

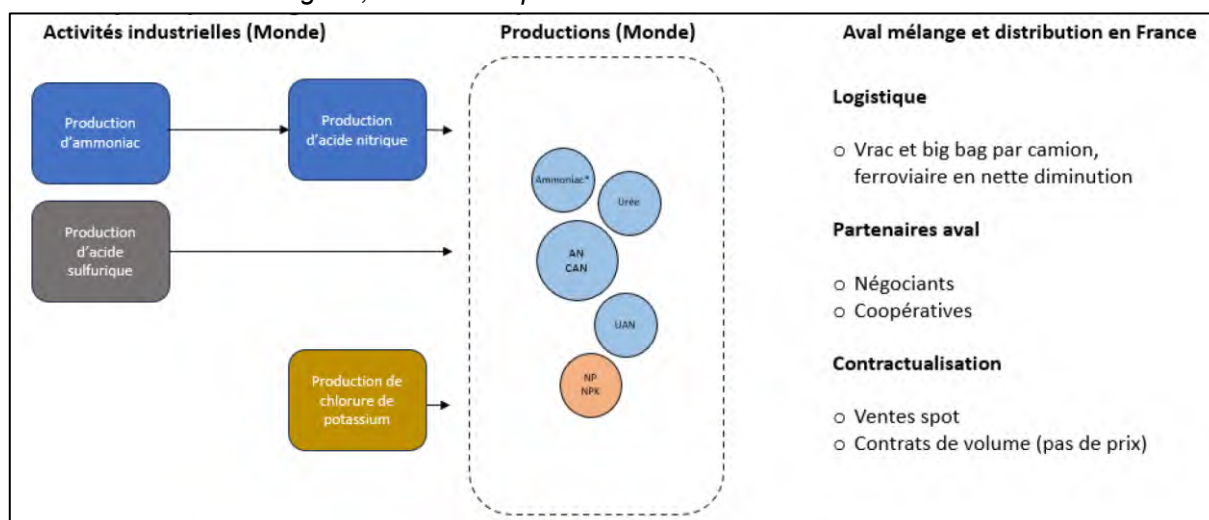
Les perspectives de diminution d'utilisation d'engrais en UE et en France pourraient marginaliser un peu plus les acteurs européens de la production et de la distribution.

## Annexe 17.3. Les principaux opérateurs sur le marché des engrais

### Fertiberia

- Chiffre affaires : 1,6 Mds€ (2022)
- Nombre d'employés : 1 650 salariés (2022)
- Siège social: **Madrid (ES)** / principaux sites de production : **Huelva, Puertolluano (ES), Alverca (PT)**
- Productions en 2022 : Ammoniaque, urée, ammonitrates, engrais azotés, composés **NPK**

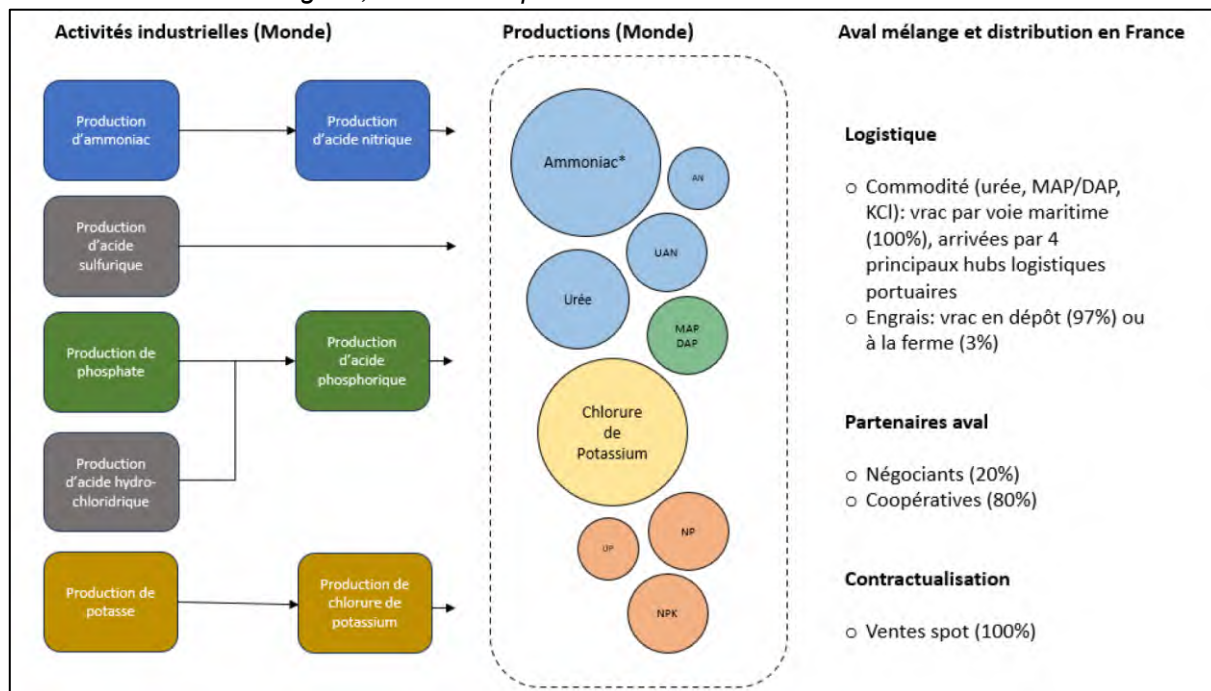
*Schéma d'entreprise : unités industrielles, ordres de grandeur de production pour les principaux engrais, caractéristiques de l'aval distribution en France*



Le groupe ne dispose pas de capacité de production en France. Il dispose du réseau de négoce et de distribution de l'ex-Lesueur, acquis en partenariat avec Fertinagro, son principal concurrent sur le marché espagnol. L'implantation française compte ainsi des activités de vente, marketing, stockage et distribution à l'Hermitage en Ile-et-Vilaine, et de vente et marketing à Paris. Le marché français, sur lequel le groupe est présent depuis peu, représente de 10 à 15 % de son CA.

- Chiffre affaires : 8,7 Mds€ (2022)
- Nombre d'employés : 27 000 salariés (2022)
- Siège : **Zug (CH)** / principaux sites de production : Novomoskovskiy, Kovdorskiy, Usolskiy (RU), Karatau (KZ), Migao (CN), Salitre (BR), **Anvers (BE)**
- Productions en 2022 : Ammoniaque, urée, UAN, ammonitrates, **MAP/DAP**, chlorure de potasse, **NP/NPK**

*Schéma d'entreprise : unités industrielles, ordres de grandeur de production pour les principaux engrais, caractéristiques de l'aval distribution en France*



Sources : rapport annuel d'activité 2021, entretien EuroChem (22/11/23), Elementarium

EuroChem ne dispose pas d'activité de production en France, mais le groupe a tenté d'acquérir les sites de Grandpuits, Rouen-Quevilly et Ottmarsheim (actuellement Agrofert) à deux reprises.

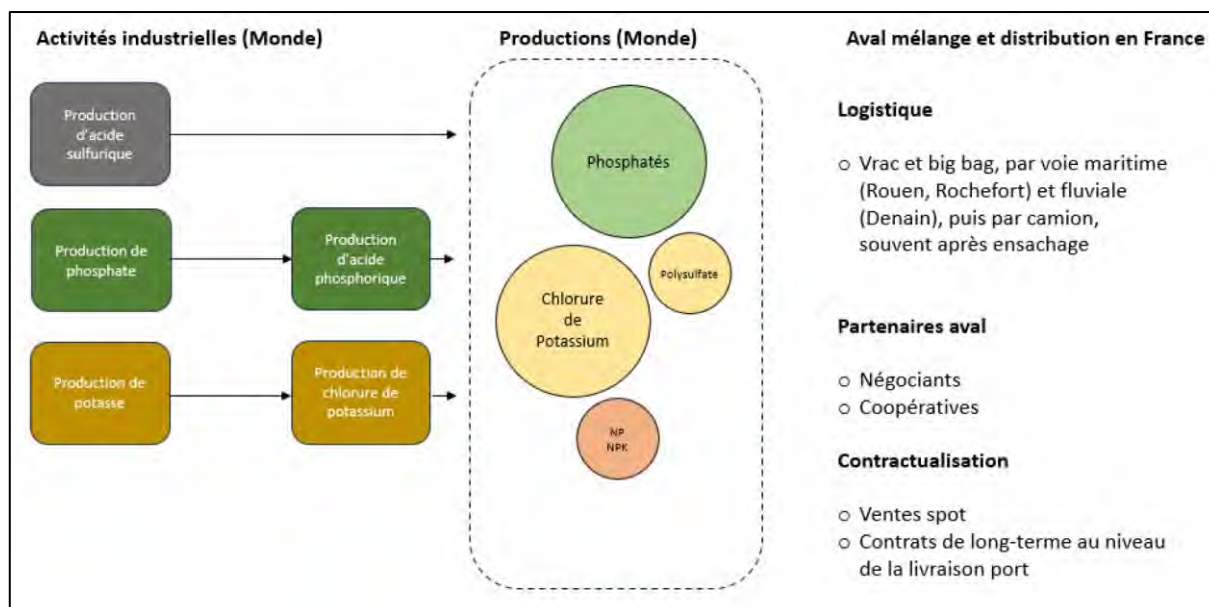
En Europe, le groupe EuroChem exploite l'usine Lifosa à proximité de Kėdainiai en Lituanie, qui dispose d'unités de production d'acide phosphorique, d'acide sulfurique, produit des engrais phosphatés dont le DAP, le MAP, le phosphate d'urée et le mono-calcium phosphate et engrais NP. L'usine de Lifosa est à l'arrêt depuis mai 2023 du fait des sanctions prise par l'UE contre la Russie. EuroChem dispose également à Anvers en Belgique d'une usine disposant d'unités de production d'acide nitrique et phosphorique, produisant principalement des engrais nitrates (AN/CAN) et composés NPK.

EuroChem possède 6 mines, dont 2 mines de phosphate et potasse (Kovdorskiy et VolgaKaliy) en Russie et 2 mines de phosphates au Kazakhstan (Kok-Jon/Gimmelfarbskoe et Karatau), la mine de phosphate russe d'Usolskiy entrée en service en 2018 et celle de Salitre au Brésil, acquise en février 2022.

Les perspectives d'EuroChem sont dominées par les conséquences de l'invasion russe de l'Ukraine sur sa présence dans l'UE, qui représentait jusqu'en 2020 son principal marché. Le site de Lifosa est toujours à l'arrêt tandis que sur celui d'Anvers la production a repris. Une autre perspective saillante pour EuroChem est son développement sur le marché sud-américain, qui est depuis 2021 le 1er marché du groupe devant l'Europe, où l'entreprise rencontre des difficultés. Les acquisitions au Brésil du distributeur Fertilizantes Heringer en 2021 et de la mine de phosphates de Salitre en 2022 s'inscrivent dans ce cadre.

- Chiffre affaires : 10,5 Mds€ (2022)
- Nombre d'employés : 12 500 salariés (2022)
- Siège : Tel-Aviv (IL) / principaux sites de production : Sodome, Mishor Rotem/Dimona (IL), **Carthagène (ES), Cleveland (UK)**, Haikou, Baitacun (CN)
- Productions en 2022 : Engrais potassiques, **engrais phosphatés**, polysulfate

*Schéma d'entreprise : unités industrielles, ordres de grandeur de production pour les principaux engrais, caractéristiques de l'aval distribution en France*



Le groupe ICL ne possède pas d'usine d'engrais en France. Il est présent à travers Scora, spécialisée sur les solutions industrielles, et son usine de Calais. ICL reste présent autour d'une dizaine de sites logistiques pour la distribution aval d'engrais et d'activités de prestation de service sur l'ensachage et le mélange. ICL est leader sur les engrais PK, avec plus de 50 % du marché français.

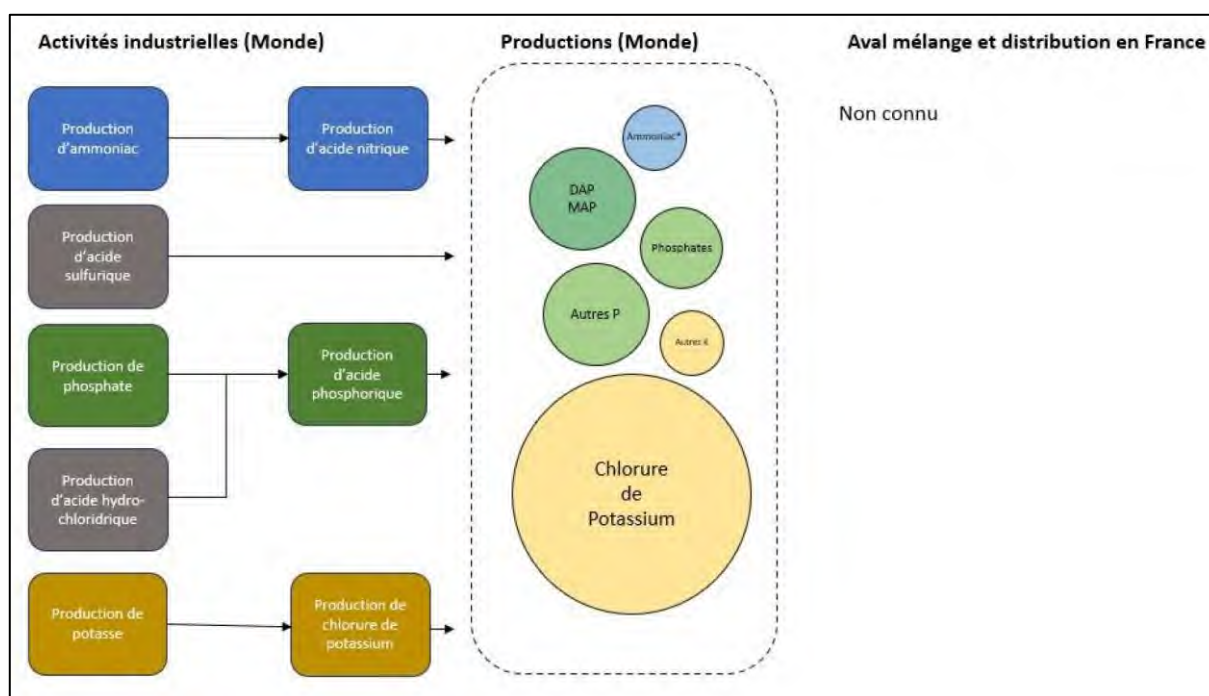
Positionné historiquement sur l'amont des chaînes de potasse et phosphates, le groupe a adopté une stratégie de diversification géographique de sa production, et la conservation de son intégration amont. Les mines et usine de potasse de Sodome sur la mer morte et les mines et usine de phosphates de Mishor Rotem dans le Néguev fournissent toujours la plus grande part des matières premières et de la production du groupe (pour la potasse autour de 4 Mt). Elles sont complétées sur le territoire d'Israël par les usines de phosphates Zin et Oron. Son alliance avec un groupe chinois semble ouvrir au groupe ICL de nouveaux débouchés en Asie, qui représente son premier marché en termes de chiffre d'affaires, devant l'Europe.

La limitation des ressources minières en phosphates amène le groupe à investir sur l'exploitation de sources secondaires et le recyclage, notamment des boues d'épuration, des déchets d'équarrissage. Un produit à base de phosphates recyclés, le Puraloop a été récemment mis en marché. À travers la coentreprise chinoise YPH, le groupe diversifie ses marchés phosphates en direction de l'industrie de fabrication des batteries (LFP), un secteur en pleine croissance.

## Mosaic

- Chiffre affaires : 18,1 Mds€ (2022)
- Nombre d'employés : 13 000 salariés (2022)
- Siège : Tampa (USA) / principaux sites de production : Bartow, New Wales, Riverview et Plant City (USA), Esterhazy (CA), Palmeirante, Uberaba (BR)
- Productions en 2022 : **Roches phosphates, DAP/MAP, engrais phosphatés**, Chlorure de potassium, engrais potassiques

*Schéma d'entreprise : unités industrielles, ordres de grandeur de production pour les principaux engrais, caractéristiques de l'aval distribution en France*



Mosaic est détenu par des investisseurs institutionnels et des fonds de pension. L'Europe et la France ne comptent pas parmi les principaux marchés du groupe Mosaic, qui reste concentré sur les Amériques.

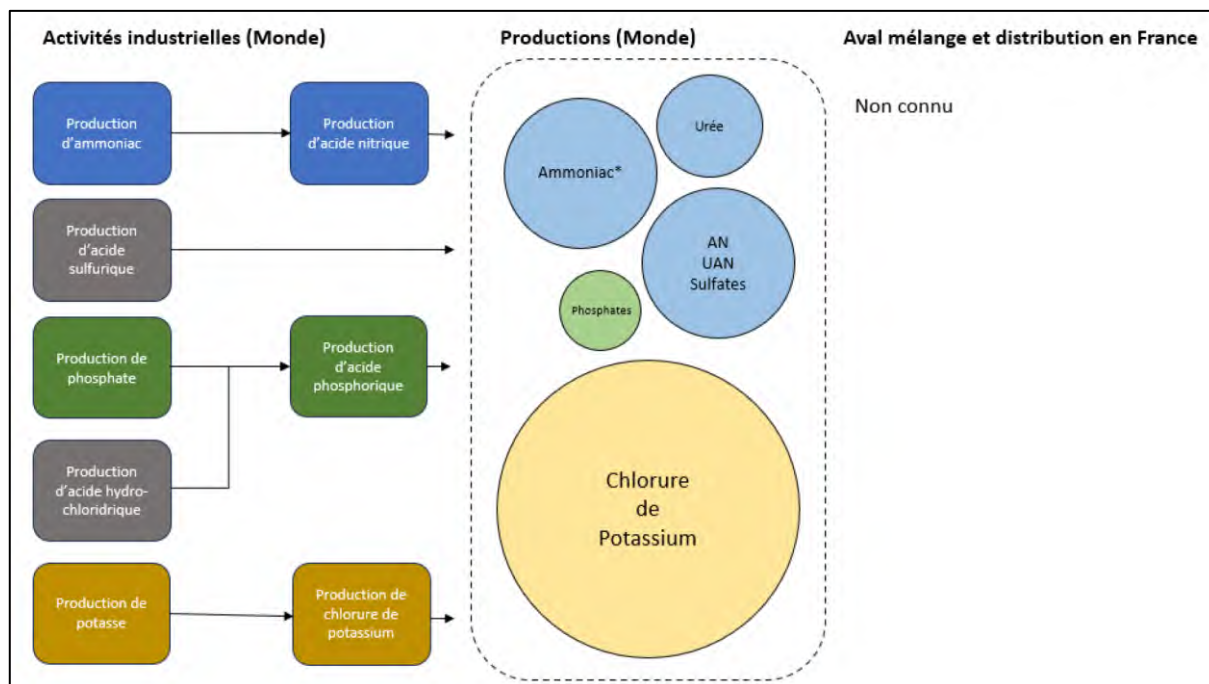
Avec une production de 12,2 Mt de phosphates, l'essentiel des matières premières provient des 9 mines d'Amérique du Nord. Le groupe a diversifié géographiquement son approvisionnement avec l'acquisition du brésilien Vale Fertilizantes, qui dispose en Amérique du Sud de capacités de production significatives pour des productions en 2019 de 2,9 Mt de phosphates. La position du groupe sur les phosphates avait déjà été renforcée par l'acquisition en 2013 de l'activité phosphates de CF Industries. La diversification géographique des productions passe aussi par la prise de participation dans la mine de phosphates de Miski Mayo au Pérou et dans la Ma'aden Wa'ad Al Shamal Phosphate Company (MWSPC) en Arabie saoudite.

Mosaic a amené en 2021 le gouvernement américain à prendre des mesures d'anti-dumping toujours en vigueur visant à limiter les importations de phosphates russes et marocaines aux États-Unis. Mosaic développe son approvisionnement en phosphates en provenance des pays du Golfe. Cette tendance devrait se poursuivre, dans un contexte d'une demande brésilienne croissante et de diversification vis-à-vis des phosphates russes.

## Nutrien

- Chiffre affaires : 36,1 Mds€ (2022)
- Nombre d'employés : 17 500 salariés (2022)
- Siège : Saskatoon (CA) / principaux sites de production : Rocanville (CA), Aurora (CA), Trinidad (TT)
- Productions en 2022 : ammoniacque, urée, **engrais phosphatés**, chlorure de potassium

*Schéma d'entreprise : unités industrielles, ordres de grandeur de production pour les principaux engrais, caractéristiques de l'aval distribution en France*

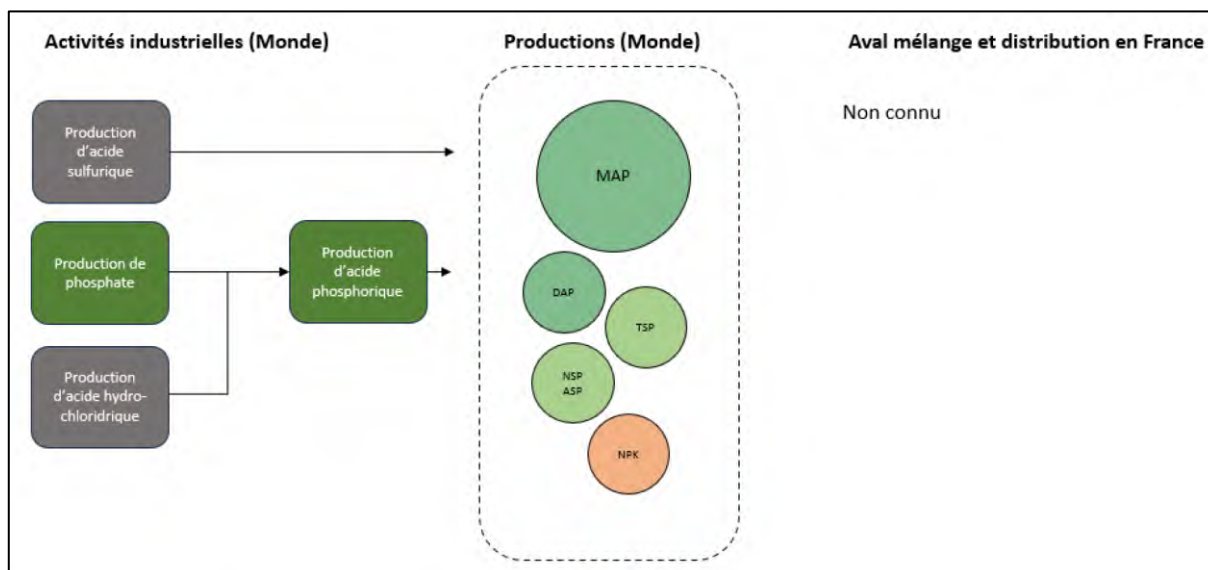


Nutrien est détenu par des investisseurs institutionnels et des fonds de pension. En 2011, Nutrien réalisait 5 % de la production mondiale de phosphates. Son assise de production est concentrée géographiquement sur trois pays d'Amérique : le Canada, les États-Unis et Trinidad-et-Tobago. L'approvisionnement de Nutrien en phosphates provient des 2 mines (Aurora et White Springs) et 4 usines de production (Joplin, Marseilles, Weeping Water, et Cincinnati) que le groupe possède aux États-Unis.

Nutrien ne dispose pas d'usine en France. Il dispose de 2 sites de vente, à Bordeaux et Rouen. Nutrien ne compte non plus aucune usine de production en Europe. Sur la chaîne du phosphore, Nutrien prévoit de poursuivre l'élargissement de sa gamme de produits, y compris hors engrais (alimentation animale et batteries LFP). Il a renforcé ses capacités de productions d'acide phosphorique face à un risque mondial de rupture d'approvisionnement sur ce produit. Avec l'acquisition en 2022 de Casa do Adubo, Nutrien renforce considérablement ses capacités de commerce de détail au Brésil. Cette acquisition fait suite à plusieurs autres dans le pays, s'inscrivant potentiellement dans une stratégie de long terme d'une présence accrue sur ce marché.

- Chiffre affaires : 10,7 Mds€ (2022)
- Nombre d'employés : 20 000 salariés (2022)
- Siège : Casablanca (MA) / principaux sites de production : Khouribga, Jorf Lasfar (MA)
- Productions en 2021 : **MAP, DAP, TSP, NSP/ASP, NPK**

*Schéma d'entreprise : unités industrielles, ordres de grandeur de production pour les principaux engrais, caractéristiques de l'aval distribution en France*



Le groupe OCP est créé en 1921 au Maroc sous le nom d'Office Chérifien des Phosphates. Son activité d'extraction démarre en 1921 avec l'exploitation d'une première mine de phosphates à Boujniba, sur le gisement de Khouribga. Il réalise la même année sa première exportation de phosphates à partir du port de Casablanca. La production du groupe augmente progressivement pour atteindre 5 Mt en 1954, 10 Mt en 1964 et 20 Mt en 1979. Le groupe ouvre en 1965 à Safi une usine chimique dédiée à la production d'engrais phosphatés. Le groupe prend son nom actuel OCP en 1975. Il crée un nouveau complexe chimique à Jorf Lasfar, dont la construction d'étend de 1982 à 1987, qui est relié à partir de 2014 par un pipeline de phosphates à la mine de Khouribga. Le groupe approvisionne l'ensemble des continents.

OCP est détenu à 94,12 % par l'État marocain, et à 5 % par le groupe bancaire coopératif BCP (Banque Populaire du Maroc).

Le groupe OCP ne dispose pas d'activité de production en France mais est positionné sur le marché et approvisionne l'ensemble des producteurs français d'engrais. La France ne dispose pas de capacité de production ni de phosphates, ni (depuis l'arrêt de ces productions sur le site de Rouen/Quevilly en 2004) d'acide phosphorique, de DAP et de MAP, qui sont principalement importés du Maroc. Le groupe OCP a intégré récemment l'UNIFA.

L'essentiel des activités de production d'OCP se situe au Maroc. En Europe, le groupe est allié à l'allemand Budenheim et au belge Prayon (filiale à 50 % d'OCP) dans la coentreprise EMAPHOS, qui fabrique des produits à base de phosphates de haute valeur ajoutée.

Le Maroc, dont l'ensemble de la production est assuré par OCP, est en 2021 le 2<sup>e</sup> pays producteur (derrière la Chine) et le 1<sup>er</sup> pays exportateur de phosphates. C'est aussi le 2<sup>e</sup> producteur et exportateur d'engrais phosphatés, après la Chine.

Le groupe OCP tire parti de la forte concentration des gisements de phosphates à l'échelle mondiale, dont 70 % des réserves estimées sont situées au Maroc. C'est un groupe principalement minier qui remonte progressivement la chaîne de production des engrais vers l'aval, avec la production d'engrais phosphatés et composés. Sa capacité de production progresse pour l'ensemble des produits.

Le groupe dispose de 3 mines de phosphates à Khouribga (production brute de 23 Mt en 2022), Gantour (6 Mt) et Phosboucraâ (1 Mt) et de 2 sites de production d'engrais à Jorf Lasfar (production de 9,5 Mt), Safi (1 Mt). Il dispose également sur ces deux sites d'unités de production d'acide phosphorique et d'acide sulfurique. Les principaux approvisionnements externes du groupe sont l'ammoniaque, nécessaire à la production de MAP, de DAP et d'engrais phosphatés et le soufre, pour la production d'engrais soufrés. OCP a investi dans une infrastructure innovante, le Slurry Pipeline, qui achemine sous forme de pulpe le phosphate de Khouribga à son principal hub logistique de Jorf Lasfar.

La principale perspective du groupe est une augmentation de la production. Le groupe prévoit ainsi la construction de deux nouvelles unités de production d'acide sulfurique sur le site de Jorf Lasfar. Le programme de développement 2023-2027 du groupe prévoit une augmentation de la production d'engrais de 13 Mt en 2021 à 20 Mt en 2027. La capacité de transport de phosphates du Slurry Pipeline doit atteindre à terme 38 Mt phosphates/an. D'un point de vue logistique, l'entreprise se positionne également sur l'utilisation de vraquiers grande capacité (100 000 t) pour optimiser le transport maritime.

Les nombreux investissements consentis par OCP dans le cadre de son programme de développement accroissent considérablement l'endettement du groupe, mais reste soutenable grâce au soutien de l'État marocain, principal actionnaire.

#### **L'OCP annonce la production d'engrais « low cadmium »**

OCP Nutricrops a annoncé ce lundi 23 juin 2025 avoir obtenu le label européen « low cadmium », certifiant que l'ensemble de ses engrais personnalisés destinés au marché européen contiennent moins de 20 mg de cadmium par kilogramme de  $P_2O_5$ .

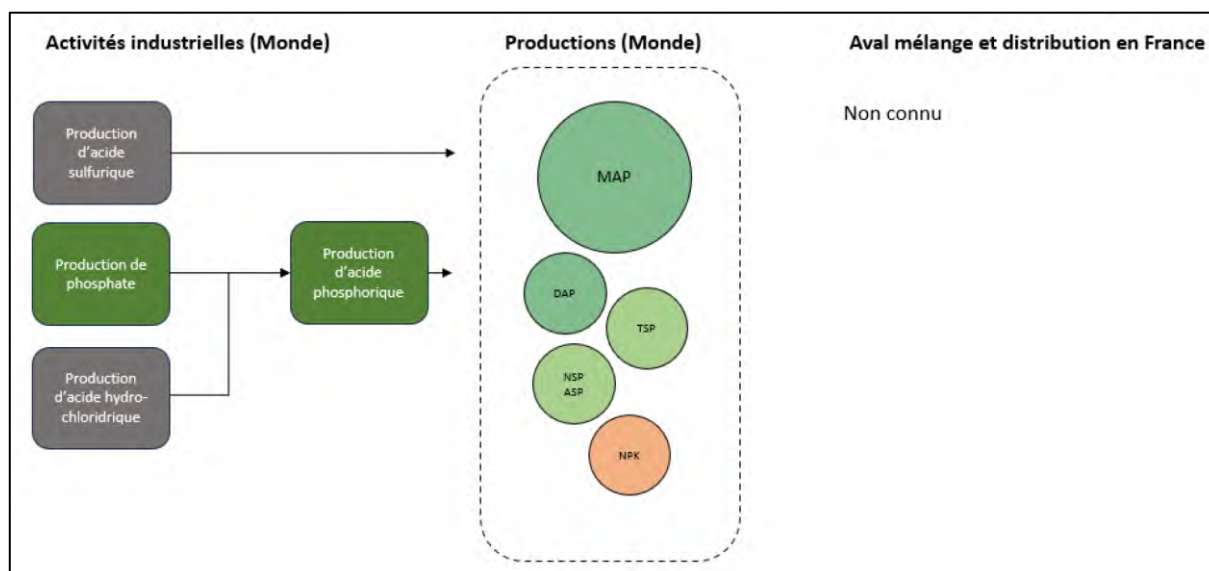
Entre 2022 et 2024, en prévision de l'application stricte du règlement, OCP a investi dans des procédés de décadmiation, assurant que ses produits pouvaient atteindre la norme < 20 mg/kg. Ces efforts ont été validés par des audits et des labels tiers, confirmant la conformité avant même l'officialisation du label UE en 2025.

Source : Nawfal Laarabi. OCP remporte son bras de fer avec l'UE sur le cadmium. <https://le1.ma>. Juin 2025.

## Roullier / TIMAC AGRO

- Chiffre affaires : 4,1 Mds€ (2022)
- Nombre d'employés : 7 200 salariés (2022) dont 5 700 (900 en France) chez TIMAC
- Siège : **Saint Malo (FR)** / principaux sites de production TIMAC : **Saint Malo, Pontrieux, Tarnos, Sète (FR)**
- Productions en 2021 : **Engrais composés spécialisés**, biostimulants

*Schéma d'entreprise : unités industrielles, ordres de grandeur de production pour les principaux engrais, caractéristiques de l'aval distribution en France*



L'entreprise TIMAC, acronyme de Traitement Industriel du Maërl en Amendement Calcaire, est créée en 1959 par Daniel Roullier, la même année que le groupe Roullier dont elle fait partie. Le groupe étend son activité aux phosphates en s'alliant avec l'entreprise tunisienne CPG, puis à la potasse. Roullier compte plusieurs autres entreprises, dont Phosphaea, fabricants de phosphates destinés à l'alimentation animale (380 salariés).

L'activité de production de TIMAC AGRO est située principalement en France, sur la façade Atlantique, à Saint-Malo (1959), Pontrieux (1963), au Tréport (1979), à Tarnos, Sète et Vauvert. Quatre usines disposent d'une activité de granulation. Le site de Sète est spécialisé dans la production d'engrais organiques et d'engrais liquides, Pontrieux est positionné sur les biostimulants et Saint Malo conserve une activité historique de production d'amendements calcaires. L'usine de Tonnay-Charente, qui produisait principalement des engrais PK, a fermé en 2022. TIMAC est aussi présent en Europe en dehors du territoire français, avec des usines en Autriche, en Italie, en Espagne, au Portugal et en Irlande.

Le groupe Roullier ne communique pas d'information sur la répartition géographique du chiffre d'affaires de TIMAC AGRO. Sa présence est importante en Amérique du Sud ; le Brésil en particulier représente désormais son premier marché. TIMAC AGRO investit également sur les marchés d'Afrique subsaharienne.

Les usines de TIMAC AGRO sont positionnées sur l'aval de la production d'engrais. Elles réalisent l'activité de seconde transformation, la granulation et l'ensachage d'engrais composés. La stratégie d'approvisionnement de TIMAC AGRO repose sur la diversification des sources de matières premières et la flexibilité, en s'appuyant sur ses compétences en prospection, notamment minières, et sur une solide logistique maritime, notamment grâce aux ports de Saint Malo et Tréport. TIMAC AGRO dispose pour approvisionner ses marchés étrangers de sites de production en dehors d'Europe, aux États-Unis, au Brésil et en Uruguay, qui sont également plus proches des sources de matières premières.

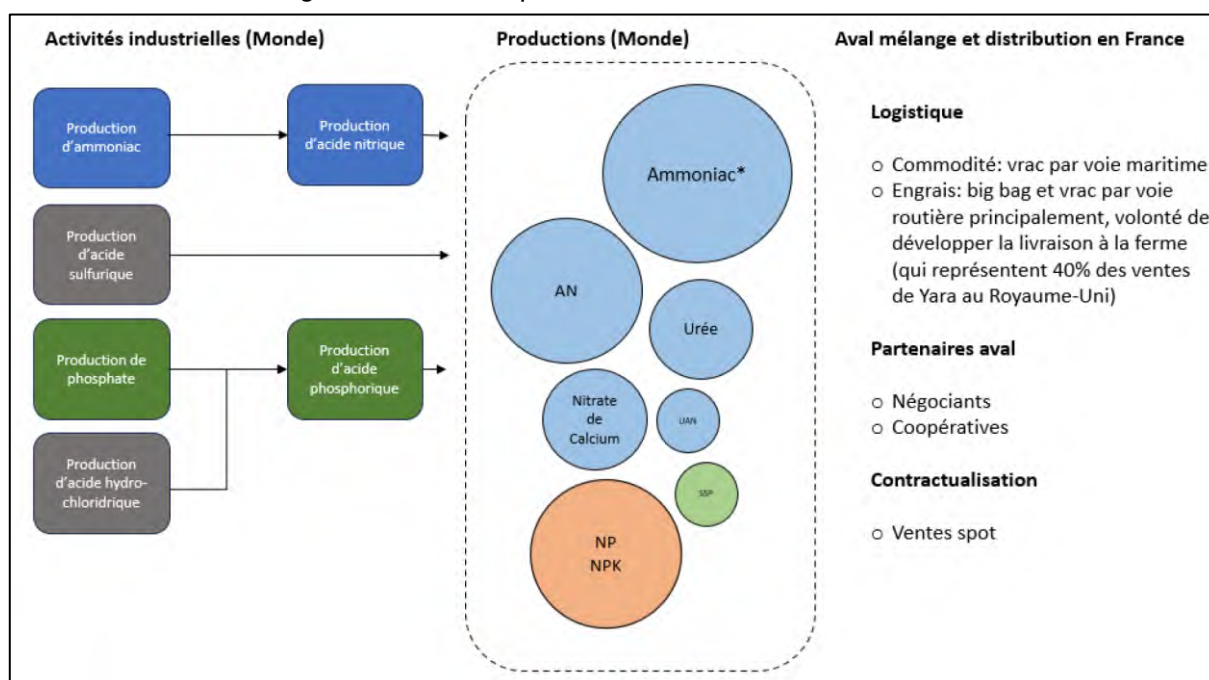
Dans une optique de proximité et d'adaptabilité, TIMAC AGRO France développe le conditionnement en big bag, qui permet la livraison directe à la ferme. Minoritaire il y a 10 ans, le big bag représente désormais 60 % des livraisons, une proportion qui doit encore augmenter dans les prochaines années. Par son positionnement sur le marché d'engrais de spécialité, l'innovation est centrale dans la stratégie de TIMAC AGRO, notamment sur les segments des engrais organiques, du sur-mesure et des biostimulants.



## Yara

- Chiffre affaires : 22,9 Mds€ (2022)
- Nombre d'employés : 17 500 salariés (2022)
- Siège : **Oslo (NO)** / principaux sites de production : **Porsgrunn (NO)**, Sluiskil (PB), Pilbara (AUS), Cubatão (BR)
- Productions en 2021 : ammoniacque, urée, ammonitrates AN, ammonitrates CN, UAN, **SSP**, **NPK**

*Schéma d'entreprise : unités industrielles, ordres de grandeur de production pour les principaux engrais, caractéristiques de l'aval distribution en France*



Les principaux sites de production d'engrais en Europe sont Porsgrunn en Norvège (ammoniac, nitrates de calcium, **NPK**), Sluiskil aux Pays Bas (ammoniacque, urée), Tertre en Belgique (ammoniacque, UAN, ammonitrates) et Silinjärvi en Finlande (**phosphates**).

Yara détient avec la mine de Silinjärvi en Finlande une intégration complète de la chaîne des phosphates unique dans l'UE. Son positionnement sur le marché brésilien s'est réalisé via des acquisitions des unités de production Fertibras (2006) et Vale Fertilisantes (2018) sur la chaîne l'azote et des phosphates (mine de Salitre).

Yara s'est récemment désengagée de plusieurs activités minières, avec la cession en 2021 de la mine de phosphates brésilienne de Salitre et le retrait du projet minier de Dallol en Éthiopie en 2022. L'entreprise justifie ces décisions par une réorientation stratégique sur l'alimentaire, les produits premium et l'hydrogène.

## Annexe 17.4. Évolution des droits de douane pour les engrais en provenance de la Russie

[...] Les importations dans l'Union d'engrais uréiques et azotés en provenance de la Fédération de Russie en 2023 étaient élevées, à savoir 3,6 millions de tonnes, et elles ont considérablement augmenté en 2024 par rapport à 2023. Le niveau des importations, dans l'Union, des produits agricoles en provenance de la Fédération de Russie couverts par le présent règlement (ci-après dénommés « produits agricoles concernés ») est relativement faible pour la plupart de ces produits, mais pourrait augmenter de manière significative si les conditions commerciales actuelles persistent.

Les importations dans l'Union des engrais couverts par le présent règlement (ci-après dénommés « engrais concernés ») reflètent actuellement une situation de dépendance économique à l'égard de la Fédération de Russie. En outre, les importations des produits agricoles concernés pourraient créer une dépendance économique similaire et supplémentaire à l'égard de la Fédération de Russie, qu'il convient, dans le contexte actuel, d'éviter et de limiter afin de protéger le marché de l'Union et de préserver la sécurité alimentaire de l'Union.

La poursuite des importations des produits concernés en provenance de la Fédération de Russie dans les conditions actuelles pourrait rendre l'Union vulnérable à des mesures coercitives adoptées par la Fédération de Russie.

L'augmentation des droits ne s'applique qu'aux importations dans l'Union et n'affecte pas les produits concernés lorsque ceux-ci ne font que transiter par le territoire de l'Union vers des pays tiers de destination finale.

Toutefois, les engrais jouent un rôle significatif dans la sécurité alimentaire ainsi que dans la stabilité financière des agriculteurs dans l'Union. Il est donc nécessaire de garantir aux agriculteurs dans l'Union un accès prévisible et adéquat aux engrais, à des niveaux de prix abordables, ce qui devrait ensuite contribuer à la stabilisation des marchés agricoles. Pendant une période transitoire, la mesure proposée encouragerait la croissance de la production dans l'Union et permettrait de consolider d'autres sources d'approvisionnement auprès d'autres partenaires internationaux, tout en réduisant au minimum le risque que les prix des engrais pour les agriculteurs dans l'Union augmentent sensiblement. À cette fin, la Commission devrait surveiller de près l'évolution des prix des engrais sur le marché de l'Union. Si les prix des engrais augmentent sensiblement, il convient que la Commission évalue la situation et prenne toutes les mesures appropriées pour remédier à une telle augmentation des prix.

Les produits relevant des codes de la nomenclature combinée (NC) énumérés à l'annexe I qui sont importés dans l'Union et qui sont originaires de la Fédération de Russie ou de la République de Biélorussie ou exportés, directement ou indirectement, à partir de ces pays sont soumis à un droit de douane ad valorem additionnel de 50 % qui s'ajoute au taux des droits du tarif douanier commun applicable.

Les produits relevant des codes NC énumérés à l'annexe II qui sont importés dans l'Union et qui sont originaires de la Fédération de Russie ou de la République de Biélorussie ou exportés, directement ou indirectement, à partir de ces pays sont soumis à un droit de douane calculé comme suit pour les codes 3105 20, 3105 30, 3105 40, 3105 51, 3105 59 et 3105 90

- i) 6,5 % ad valorem + 45 EUR/tonne du 1<sup>er</sup> juillet 2025 au 30 juin 2026;
- ii) 6,5 % ad valorem + 70 EUR/tonne du 1<sup>er</sup> juillet 2026 au 30 juin 2027;
- iii) 6,5 % ad valorem + 95 EUR/tonne du 1<sup>er</sup> juillet 2027 au 30 juin 2028;
- iv) 6,5 % ad valorem + 430 EUR/tonne à partir du 1<sup>er</sup> juillet 2028.

3105 – Engrais minéraux ou chimiques contenant deux ou trois des éléments fertilisants: azote, phosphore et potassium; autres engrais ; produits du chapitre 31 présentés soit en tablettes ou formes similaires, soit en emballages d'un poids brut n'excédant pas 10 kg, à l'exception de :

- 3105 10 00 – Produits du chapitre 31 présentés soit en tablettes ou formes similaires, soit en emballages d'un poids brut n'excédant pas 10 kg
- 3105 60 00 – Engrais minéraux ou chimiques contenant les deux éléments fertilisants: phosphore et potassium

1. La Commission surveille les prix applicables dans l'Union des produits énumérés à l'annexe II pendant une période de quatre ans à compter du 21 juin 2025.

2. Dans le cas où les niveaux de prix des produits énumérés à l'annexe II dépassent sensiblement les niveaux de prix de 2024 au cours de la période visée au paragraphe 1, la Commission évalue la situation et prend toutes les mesures adéquates pour remédier à cette augmentation des prix. De telles mesures peuvent inclure, le cas échéant, une proposition de suspension temporaire des droits applicables aux produits importés à partir de pays autres que la Fédération de Russie et la République de Biélorussie ou originaires de tels autres pays.

Source : Règlement (UE) 2025/1227 du 17 juin 2025 portant modification des droits de douane applicables aux importations de certains produits originaires de la Fédération de Russie et de la République de Biélorussie ou exportés à partir de ces pays.

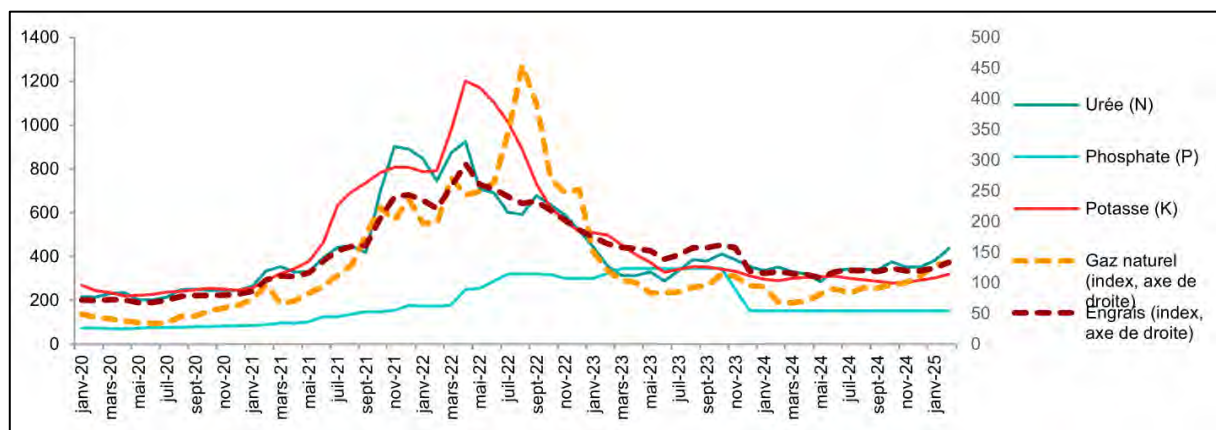
## Annexe 18. Prix des engrais et économie agricole

[...] Les principaux facteurs d'influence des prix des engrais dans l'UE sont les suivants.

- **La dynamique de l'offre et de la demande** – l'augmentation du prix des engrais entre 2020 et 2022 est liée à l'augmentation de la demande en engrais poussée par des prix des céréales élevés.
- **Les coûts de production et les coûts de l'énergie** – le coût de l'énergie est déterminant dans la composition du coût de production des engrais notamment azotés et phosphatés. La production d'engrais phosphatés dépend en partie du prix du gaz du fait de l'utilisation d'ammoniaque dans le processus de production. L'extraction des phosphates et potasses et leur transformation en engrais finis est intense en énergie et ces activités sont donc exposées aux évolutions mondiales en la matière.
- **Les facteurs géopolitiques** – Guerre en Ukraine, restrictions d'exportations de la Chine...
- **Les événements climatiques** – perturbation des chaînes d'approvisionnement, niveau de rendement des principales productions de céréales et oléo protéagineux (6 cultures utilisent près des deux tiers de la production mondiale d'engrais)...
- **Les facteurs économiques globaux** – relance après la crise COVID, coût du fret, blocage du Canal de Suez et attaques Houthis dans le détroit d'Ormuz, parité €/USD...
- **Les type d'engrais** – certaines formes d'engrais sont moins chères que d'autres pour des unités équivalentes
- **Les règlementation et normes** – en matière de transformation, d'utilisation et/ou de transport/stockage...

Source : Clément Lepeule, Julien Potier, Rose Cahagne, Violaine Romieu, Alexis Dufumier. Étude sur le fonctionnement général du marché des engrais minéraux dans la situation spécifique des filières grandes cultures. AND International et CERES PRESS pour FranceAgriMer. Octobre 2024.

Cours des trois principales classes d'engrais, en USD/tonne



Source : Banque mondiale in Global Sovereign Advisory. Engrais : après quatre années de crise, un marché fortement recomposé. Mars 2025.

[...] Le prix contractuel de l'OCP (Office chérifien des phosphates) marocain, second producteur et principal exportateur mondial, utilisé comme référence notamment par la Banque mondiale, est stable depuis novembre 2023. Ce cours relativement faible s'explique par la concurrence d'autres producteurs, comme l'Égypte, qui obligent le géant marocain à maintenir des cours faibles.

Global Sovereign Advisory. Engrais : après quatre années de crise, un marché fortement recomposé. Mars 2025

Prix pondérés (€/t) sur 2010-2023 des importations par principaux types d'engrais phosphatés et par principaux états membres

Prix pondéré (€/t)	Roche phosphate	DAP	MAP	SSP>35%	SSP<35%	
Belgique		171	396	494	316	574
France		93	415	976	340	308
Allemagne		353	398	465	302	-
Italie		110	414	530	340	166
Pays-Bas		123	390	254	320	219
Pologne		86	399	-	411	-
Espagne		94	405	682	331	220

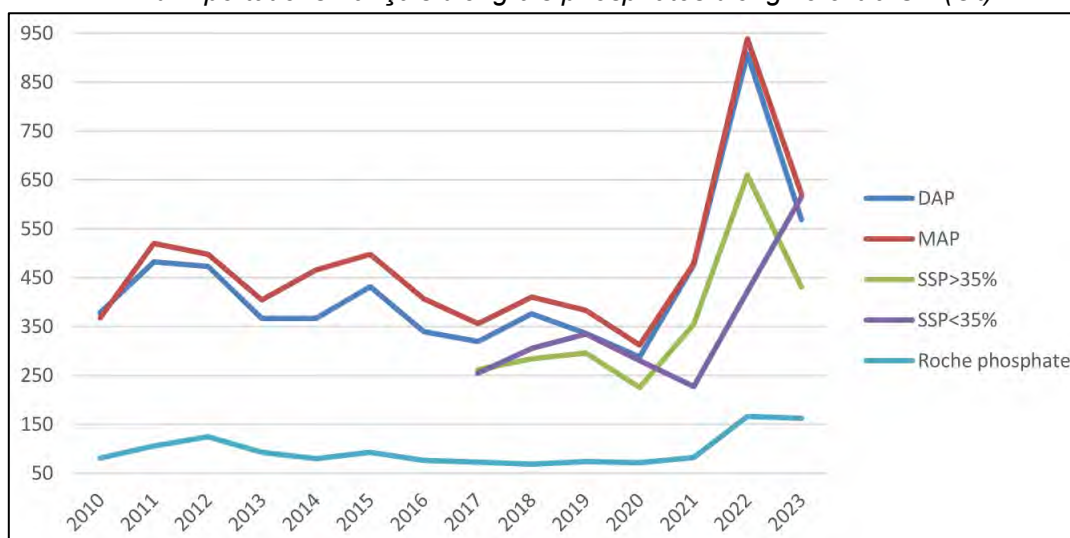
Source: élaboration AND, COMEXT

	NPK	Nitrate de potassium	Engrais NP
Belgique	287	252	441
France	411	391	513
Allemagne	454	338	344
Italie	479	333	485
Pays-Bas	726	282	619
Pologne	295	289	433
Espagne	323	362	841

Prix pondérés (€/t) sur 2010-2023 des importations d'engrais composés par principaux états membres

Source: élaboration AND, COMEXT.

Prix d'importations français d'engrais phosphatés d'origine extra UE (€/t)



Source : élaboration AND, COMEXT.

Les engrais phosphatés ont vu leur coût fortement augmenter en raison de la hausse des coûts de l'énergie et des restrictions à l'importation d'engrais et de produits intermédiaires dont l'UE est dépendante pour une grande part de la Russie.

Source : Clément Lepeule, Julien Potier, Rose Cahagne, Violaine Romieu, Alexis Dufumier. Étude sur le fonctionnement général du marché des engrais minéraux dans la situation spécifique des filières grandes cultures. AND International et CERES PRESS pour FranceAgriMer. Octobre 2024.

[...] En supposant une augmentation maximale du prix des engrais phosphatés due à la décadmiation de 100 € (/tP<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), cela augmenterait le coût de la fertilisation phosphatée du blé (20 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha) de 2,0 €. Cette augmentation des coûts représente environ 0,1 % du coût de production du blé (1 640 €/ha, Carpentier (2014)).

Source : Thibault Sterckeman, Lucas Gossiaux, Sophie Guimont, Catherine Sirguey, Zhongbing Lin. Cadmium mass balance in French soils under annual crops: Scenarios for the next century. Sci. Total Environ. 639. 2018. Corrigendum Sci. Total Environ. 650. 2019.

## Annexe 19. Éléments sur la décadmiation

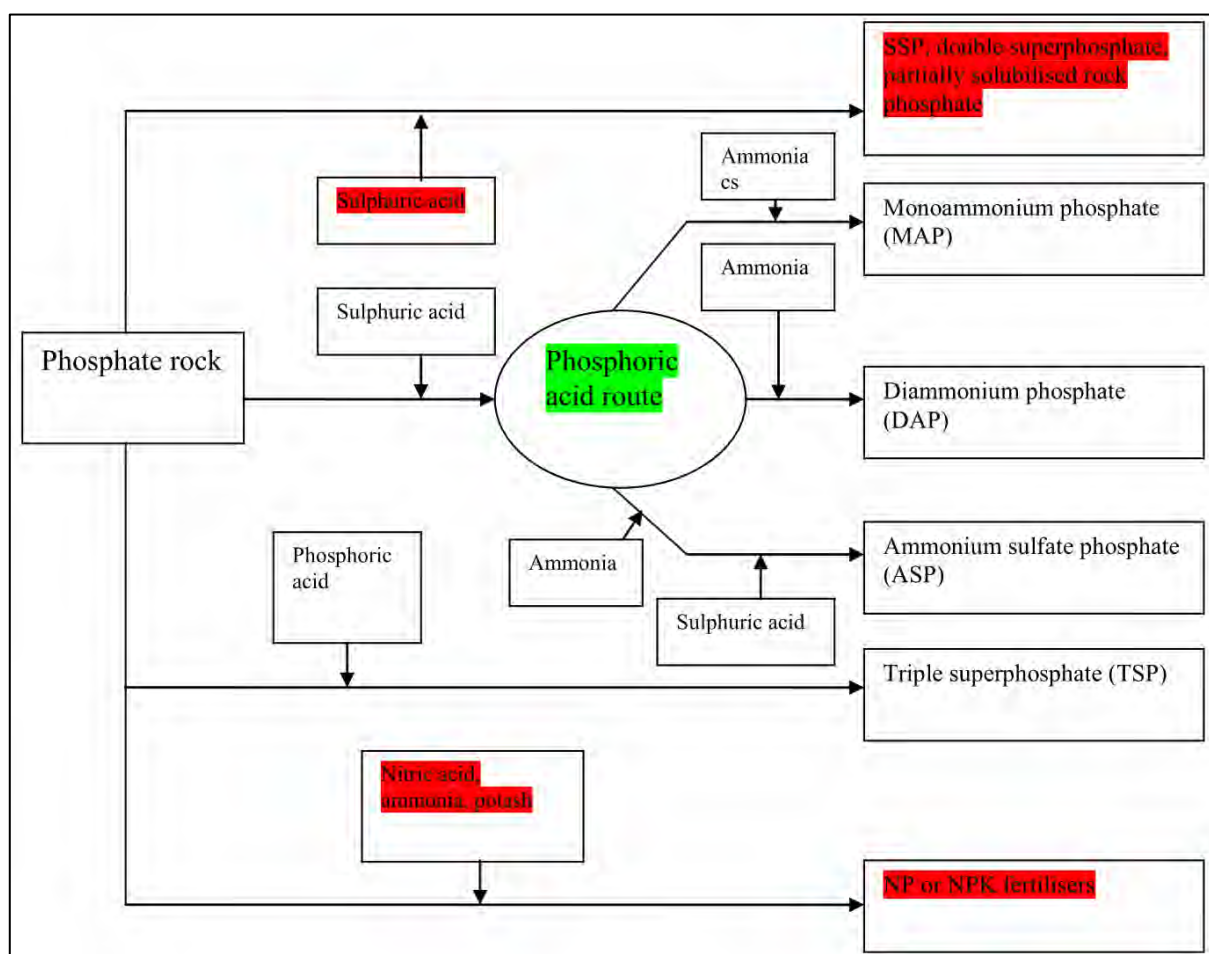
Plusieurs voies de décadmiation sont possibles :

- Sur les roches phosphatées par calcination à 1 000°C
- Sur l'acide phosphorique par co-cristallisation, précipitation des sulfides, échange d'ions, extraction par solvant ou technologies membranaires.

Le choix et l'opportunité des stratégies de décadmiation relèvent des décisions des acteurs économiques

Source : entretiens mission

Représentation schématique des voies de production d'engrais phosphatés



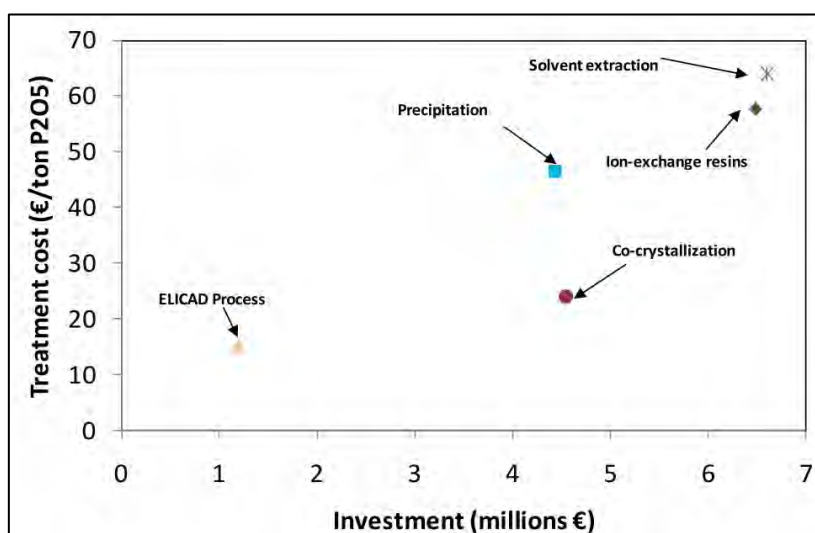
Commission européenne. Commission staff working document - Impact assessment - Limits for cadmium in phosphate fertilisers. SWD(2016) 64 final. 2016.

[...] Deux technologies de décadmiation ont été développées à l'échelle du laboratoire, qui peuvent être appliquées dans des processus de production où l'acide phosphorique est un intermédiaire.

Tous les procédés de décadmiation actuellement connus ne peuvent être utilisés que pour des engrais produits par la voie de l'acide phosphorique. Par conséquent, plusieurs fabricants de l'UE (BASF, Belgique ; YARA, Norvège ; AMI, Autriche ; Azomures, Roumanie ; Lovochemie, République tchèque), qui, afin de répondre aux préoccupations environnementales croissantes concernant la génération de déchets de gypse produits par la voie conventionnelle de l'acide phosphorique, ont opté pour la production d'engrais NP et NPK par la voie du nitrophosphate, ne sont pas en mesure d'utiliser les technologies de décadmiation connues. La production de superphosphate simple, de superphosphate double et de phosphate naturel partiellement solubilisé qui ne suit pas la voie de l'acide phosphorique ne peut pas non plus être décadmiée.

Sur la base de la structure globale des coûts (prix de l'acide phosphorique, de l'ammoniac, du soufre et de la roche phosphatée) et des coûts d'exploitation estimés entre 12 et 32 euros/t de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> comme suggéré pour l'un des processus de décadmiation, les experts de l'Association internationale des engrais (IFA) ont estimé une augmentation possible du prix des engrais phosphatés dérivés de phosphate naturel sédimentaire à haute teneur en cadmium dans une fourchette de 2 à 7 %. Cependant, ces chiffres économiques doivent être considérés avec prudence car les coûts de la décadmiation et leur impact sur les prix des engrais n'ont pas été confirmés à l'échelle industrielle. Lors de la consultation des parties prenantes d'octobre 2009, les experts en décadmiation ont déclaré que l'augmentation minimale des prix des engrais se situerait très probablement entre 5 et 15 %. L'état actuel de développement des différentes technologies ne permet pas de prévoir avec certitude les coûts futurs de la décadmiation (y compris les coûts d'une élimination rationnelle des déchets contenant du cadmium, qui seraient générés comme sous-produits) et les revenus possibles provenant de la commercialisation de sous-produits à valeur ajoutée (tels que certains autres métaux lourds).

#### Estimations des coûts des différents processus de décadmiation



Source INOS (Innovative Engineering System) start up néerlandaise in Commission étude d'impact règlement engrais.

[...] Dans tous les cas, les coûts dus à la décadmiation deviendraient un désavantage structurel pour les producteurs de phosphate qui exploitent des gisements à haute teneur en cadmium. Les producteurs russes ou syriens, jordaniens et égyptiens n'auraient aucun coût de décadmiation à supporter puisque la teneur en cadmium de leurs minerais est (très) faible. Ce serait différent pour les producteurs basés en Afrique du Nord-Ouest, qui produisent aujourd'hui la majeure partie des phosphates importés dans l'UE.

En conclusion, dans les circonstances actuelles, il n'y a aucune raison pour que la décadmiation des engrais phosphatés soit développée à l'échelle industrielle : les producteurs n'y sont pas obligés, par exemple. Grâce à la fixation de valeurs limites sur les marchés importants des phosphates, il n'existe pas non plus d'incitation financière puisque les prix des engrais phosphatés ne sont pas corrélés à la teneur en cadmium. Plusieurs tentatives lancées plus tôt – probablement en réponse aux débats de longue date au sein de l'UE sur la fixation d'une limite pour les engrais phosphatés – n'ont pas dépassé l'échelle du laboratoire. Par exemple, en 1993, l'UE a signé un contrat d'un million d'euros avec le CERPHOS pour le développement d'un procédé de décadmiation à l'échelle du laboratoire. Les résultats ont été positifs, mais CERPHOS n'était pas disposé à développer une usine pilote préindustrielle sans un financement supplémentaire de 7,5 millions d'euros de la part de l'UE.

Commission européenne. Commission staff working document - Impact assessment – Limits for cadmium in phosphate fertilisers. SWD(2016) 64 final. 2016.

*Augmentation potentielle du prix de plusieurs types d'engrais phosphatés en provenance du Maroc liée à la mise en œuvre d'un processus de décadmiation (Source : IFA)*

Fertiliser name	Decadmiation costs of phosphoric acid	Fertiliser prices in September 2009	Average price increase if the ELICAD process is introduced	Average percentage increase in fertiliser price if the ELICAD process is introduced
	EUR/t P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	EUR/t fertiliser	EUR/t fertiliser	%
<b>DAP</b>	0	<b>305</b>	-	<i>0,0</i>
Diammonium phosphate	12 (= USD 15)	311,5	6,5	2,2
	32 (= USD 40)	324,5	19,5	6,4
<b>MAP</b>	0	<b>283</b>	-	<i>0,0</i>
Monoammonium phosphate	12 (= USD 15)	289,7	6,7	2,4
	32 (= USD 40)	303	20	7,1
<b>TSP</b>	0	<b>242</b>	-	<i>0,0</i>
Triple superphosphate	12 (= USD 15)	247,1	5,1	2,1
	32 (= USD 40)	257	15	6,2

Commission européenne. Commission staff working document - Impact assessment - Limits for cadmium in phosphate fertilisers. SWD(2016) 64 final. 2016.

*Extrait de la thèse de Kamal Samrane  
sur les procédés de décadmiation de l'acide phosphorique (2023)*

[...] Il apparaît que la seule installation de calcination au monde permettant d'éliminer le cadmium a été construite par Nauru Phosphate Corporation. Cette installation fonctionnait à une capacité de 75 tonnes/h, et a diminué la teneur en cadmium du phosphate de Nauru d'environ 600 à moins de 120 mg/kg avec un coût qui semblait avoir été élevé (> 20\$/tonne de phosphate). Cette installation a été par la suite arrêtée. Il y a eu également des recherches importantes sur l'élimination du cadmium par calcination du phosphate dans les années 1980 et certaines d'entre elles ont conduit à des brevets. Cependant à ce jour, il n'existe aucun procédé industriel de calcination économiquement viable, pour réduire la teneur en cadmium à partir du phosphate à des niveaux acceptables pour la fabrication d'ACP et d'engrais.

Par rapport aux technologies d'élimination du cadmium de l'ACP, nous trouvons principalement la cocristallisation, l'extraction liquide-liquide par solvant, les résines échangeuses d'ions, l'adsorption, la biosorption, l'électrolyse, la précipitation chimique, ainsi que la flottation ionique. L'évaluation de ces diverses technologies montre que la co-cristallisation est la plus prometteuse et la plus mature. Cependant, lors de son application industrielle, il convient d'être prudent de l'aspect intégration dans la chaîne existante d'ACP ainsi que le surcoût induit par la gestion des rejets cadmiés d'autant plus la valeur très variable et décroissante du cadmium métal.

Pour les technologies d'extraction liquide-liquide et de résines échangeuses d'ions, il existe plusieurs travaux dans la littérature spécialisée qui décrivent leur potentiel pour l'extraction du cadmium à partir d'ACP. Cependant, industriellement il serait difficile d'imaginer d'implémenter ces technologies pour le but seul d'éliminer le cadmium, et ce pour des raisons de complexité des technologies, la nécessité de prétraitement d'ACP, la gestion de grandes quantités de co-produits, sans oublier les coûts élevés d'investissements et d'opération.

Pour ce qui concerne la précipitation du cadmium à partir d'ACP, deux principales voies ont été investiguées dans la littérature aux échelles laboratoires et industrielle. La première voie étant la précipitation par les sulfures minéraux ; cette voie qui a techniquement donné une grande satisfaction au vu de la faible solubilité du sulfure de cadmium en milieu ACP, a tout de même présenté certaines contraintes à l'échelle industrielle à savoir, la complexité des unités de fonctionnement du procédé, le dégagement important de H<sub>2</sub>S, ainsi que des coûts d'investissement et de maintenance importants. Cependant, trouver une solution intensifiée à ces contraintes rendrait cette voie applicable industriellement.

La deuxième voie est la précipitation par complexation par des ligands organiques qui, peuvent être des sulfures organiques, des organophosphorés ou des amines. Cette voie est considérée potentielle et prometteuse, elle suscite actuellement beaucoup d'intérêt en matière de recherche



et développement, et ce contenu de sa simplicité, la facilité de son intégration dans la chaîne existante de l'ACP, en plus de très faible coût d'investissement, elle n'engage pratiquement qu'un coût opératoire directement lié au prix du ligand utilisé.

La technologie d'adsorption, quant à elle, a déjà fait ses preuves pour le traitement de l'eau en tant que technologie prometteuse et émergente pour éliminer le cadmium et les métaux traces de l'ACP, compte tenu de sa facilité d'utilisation et de son faible coût. La littérature met en évidence un manque d'applications d'adsorption pour le cas d'ACP en conditions industrielles en termes de teneur en  $P_2O_5$  et de température.

*Estimation des coûts d'investissement et d'opération de différentes technologies d'élimination du cadmium de l'ACP pour une capacité journalière de 200 t  $P_2O_5$ /jour (Davister, 1996)*

Technologies	Conditions	Investissement en M\$	Coût d'opération en \$/t P
Cocrystallisation	Sans traitement des rejets	7	14
	Avec traitement des rejets	8	14-21
Précipitation		7	69
Extraction liquide-liquide	Avec prétraitement	9	73
Résines échangeuses d'ions	Prétraitement partiel	9	69

Kamal Samrane. Thèse de doctorat Université Mohammed V de Rabat. de Procédés intensifiés et intégrés pour l'élimination du cadmium de l'acide phosphorique industriel, une réponse technologique à la chimie verte. 2023.

*Calcul du coût de décadmiation par les ligands*

Ligands	Pureté (%)	Prix du ligand (\$)/Kg	R	Consommation Ligand (g/Kg $P_2O_5$ )	Surcoût (\$/t $P_2O_5$ )	Cd sortie mg/Kg $P_2O_5$	Rdt (%)
DIBDTPi	50	3,0	10	2,31	6,9	8	86
DEDTP	99	15,0		0,94	14,1	16	71
ZDDP	99	6,8		3,60	24,5	18	68
$Na_2CS_3$	40	2,0		1,92	3,8	43	24
TBAI	99	20,0		1,86	37,2	40	29
Aliquat 336	97	50,0		2,08	103,8	44	21

Kamal Samrane. Thèse de doctorat Université Mohammed V de Rabat. de Procédés intensifiés et intégrés pour l'élimination du cadmium de l'acide phosphorique industriel, une réponse technologique à la chimie verte. 2023.

[...] Pour finir, il se dégage de notre travail de thèse que les procédés potentiels du point de vue efficacité, coût et intégration industrielle sont la cocrystallisation, la précipitation par des ligands organiques organophosphorés et la précipitation chimique par NaHS en milieu ACP conditionné au pH 1 par l'hydroxyde de sodium.

À ce titre, la précipitation chimique par des ligands organiques étant techniquement la mieux appropriée pour la décadmiation de l'ACP industriel, et ce contenu de sa simplicité et son grand pouvoir d'élimination du cadmium, ensuite vient la cocrystallisation en considération de sa maturité industrielle. Pour ce qui concerne la précipitation chimique par NaHS en milieu ACP conditionné au pH 1 par l'hydroxyde de sodium, elle peut être considérée une solution alternative à la précipitation par les ligands organiques, si le niveau de prix des ligands ainsi que la capacité sur le marché sont limitants.

Kamal Samrane. Thèse de doctorat Université Mohammed V de Rabat. de Procédés intensifiés et intégrés pour l'élimination du cadmium de l'acide phosphorique industriel, une réponse technologique à la chimie verte. 2023.

## Annexe 20. Pratiques de réduction des teneurs en cadmium dans les sols et les plantes

[...] Pour évaluer comment la phytoextraction avec l'hyper-accumulateur Tabouret des bois ou tabouret bleu (*Noccaea caerulescens*) en culture annuelle ou en culture de couverture pourrait modifier le bilan massique de Cd dans les sols agricoles français, nous avons simulé ce processus selon deux scénarios. Si les pratiques actuelles sont maintenues (premier scénario), la teneur moyenne en Cd des sols augmentera de 2,9 % après un siècle. Si la teneur en Cd des engrais P est limitée selon le projet de réglementation européenne (deuxième scénario), la diminution sera d'environ 4 %. Une culture de phytoextraction avec un rendement de 10 t de matière sèche (MS) par hectare tous les 25 ans ferait baisser la teneur en Cd du sol de 0,31 mg/kg à environ 0,11 mg/kg. Cependant, ce scénario est relativement irréaliste, car un rendement élevé en matière sèche est peu probable et le coût du procédé est élevé. La phytoextraction en tant que culture de couverture tous les quatre à cinq ans diminuerait plus rapidement la teneur en Cd du sol. Cela nécessite un rendement de 2,5 t MS/ha, ce qui semble réaliste. Cette phytoextraction de cultures de couverture serait moins coûteuse. Il faudrait ensemercer annuellement 4 millions d'ha et produire environ 10 millions de tonnes de biomasse sèche. Pour répondre à une telle exigence, toute production de l'hyper-accumulateur doit privilégier les caractères permettant une période de culture de 3 à 4 mois en automne. Des procédés doivent également être développés pour récupérer de l'énergie, des métaux ou des composés bénéfiques à partir de la biomasse produite par phytoextraction.

Thibault Sterckeman, Lucas Gossiaux, Sophie Guimont, Catherine Sirguy. How could phytoextraction reduce Cd content in soils under annual crops? Simulations in the French context. *Science of the Total Environment* 654. 2019.

[...] Comment dépolluer les sols contaminés par le cadmium ? À cette question ancienne, le LSE a essayé de répondre en testant la phytoextraction par des espèces hyper-accumulatrices de ce métal, en particulier la crucifère sauvage *Noccaea caerulescens*, espèces dont de nombreuses populations sont présentes naturellement en France. Le LSE a prospecté les stations de cette espèce pour en prélever de nombreuses accessions, les phénotyper et en étudier l'écologie et l'écophysiole. Elles ont été testées sur des sites industriels et des sols cultivés et une méthode de récupération du cadmium accumulé dans la plante a été mise au point en collaboration avec le LRGP (UL-CNRS). Malheureusement, si la plante présente un potentiel d'accumulation très important, elle ne produit pas assez de biomasse pour permettre une dépollution dans un temps raisonnable. Les travaux du LSE dans le domaine de la phytoextraction ont permis cependant de définir l'idéotype qui serait nécessaire pour une phytoextraction du cadmium des sols de grande culture. Reste aux généticiens et améliorateurs des plantes à le concevoir. Dans l'attente d'une telle innovation, mais aussi de la sélection de cultivars de céréales qui accumulent moins le cadmium, il convient de réduire les teneurs en cadmium dans les fertilisants, en particulier dans les engrais phosphatés.

Source : INRAE et Université de Lorraine - <https://lse.univ-lorraine.fr/article/actualites-cadmium-dans-les-sols-les-travaux-du-lse-sur-ce-metal-lourd-toxique>

[...] L'avantage de réduire les concentrations de Cd dans les engrais minéraux phosphatés a été particulièrement remarqué pour les sols acides, qui favorisent la solubilité du Cd et donc la phytodisponibilité. Cependant, le pH de ces sols acides peut être augmenté par chaulage (ajout d'amendements alcalins au sol) pour limiter le transfert de Cd vers les cultures. Néanmoins, le chaulage n'est pas une alternative durable pour éviter le transfert de Cd dans les aliments.

G. Carne, S. Leconte, V. Sirot, N. Breyse, P.-M. Badot, A. Bispo, I.Z. Deportes, C. Dumat, G. Rivière, A. Crépet. Mass balance approach to assess the impact of cadmium decrease in mineral phosphate fertilizers on health risk: The case-study of French agricultural soils. *Science of the Total Environment*, volume 760. 2021.

Autres actions d'atténuation, mise à part la décadmiation :

- Diversification des sources d'approvisionnement
- Efficience des pratiques agricoles et des fertilisants pour une fertilisation équilibrée = appliquer les recommandations du Comifer
- Augmenter le pH des sols réduit la biodisponibilité du Cd
- Effet séquestrant de la matière organique = influence du taux de MO
- Interaction avec le zinc : réduction de l'absorption de Cd
- Effet de l'espèce variétale
- Économie circulaire

Source : UNIFA (entretien mission)

## Annexe 21. Recyclage du phosphore

[...] L'adoption par l'UE en mars 2024 d'une stratégie pour les matières premières critiques, qui inclue le phosphore, illustre à la fois la situation de dépendance de l'UE dans cet approvisionnement et les usages multiples de la roche phosphate, utilisée de manière croissante dans l'industrie automobile pour la fabrication de batteries (technologie LFP). Le *Critical Raw Material Act* fixe des objectifs chiffrés en termes d'autonomie stratégique sur les matières premières concernées : la consommation annuelle de l'UE doit provenir pour 10 % de l'extraction intra-UE, pour 40 % de la transformation intra-UE et pour 25 % du recyclage intra-UE. Par ailleurs, aucun pays tiers ne doit concentrer plus de 65 % de l'approvisionnement externe de l'UE. Concernant le phosphore, ces objectifs visent principalement à assurer l'autonomie de l'industrie automobile dans un contexte de transition vers la mobilité électrique. Néanmoins, ses conséquences en termes d'initiatives européennes sur la production (renouveau minier, filières de recyclage) et de politiques commerciales (club des matières premières critiques, accords bilatéraux, antidumping) ne seront probablement pas sans conséquences sur la chaîne d'approvisionnement de l'industrie des engrais.

ICL envisage de développer l'usage de phosphates recyclés, avec un premier prototype de produit, le Puraloop.

Source : Clément Lepeule, Julien Potier, Rose Cahagne, Violaine Romieu, Alexis Dufumier. Étude sur le fonctionnement général du marché des engrais minéraux dans la situation spécifique des filières grandes cultures. AND International et CERES PRESS pour FranceAgriMer. Octobre 2024.

URINE		Unité	Valeur
gN/ jour excrété / habitant <sup>32</sup>		gN	11
Contenu 1 L d'urine <sup>33</sup>		gN	6
		gP	1
BOUES DE STEP		Unité	Valeur
Kt N / t MB <sup>34</sup>		ktN	10
Kt P / t MB		ktP	53,1
% MS <sup>35</sup>		% MS	0,517
Mt MS de boues produites en 2011		Mt MS	1,06
EVOLUTION DEMOGRAPHIQUE		Unité	Valeur
Population française en 2011		Millions habitants	64,93
Population française en 2020			66,524
Population française en 2025 <sup>36</sup>			69,093
Population française en 2035 <sup>35</sup>			70,281

Les calculs donnent les résultats suivants :

		2020	2025	2035
URINES	ktN/an	267	277	282
	ktP/an	44,5	46	47
BOUES	ktN/an	21	22	22
	ktP/an	111,5	116	118

### Encadré apport de P et N dans les urines et les boues de stations d'épuration urbaines

Source : MASA MAFOR 2020 in Icare & consult. Étude prospective fixant des objectifs stratégiques d'augmentation de la part de fertilisants issus de ressources renouvelables. Étude commandée par le ministère chargé de l'agriculture. 2020.

[...] La récupération du P (struvites) est un procédé prometteur pour récupérer le P d'effluents liquides tels que les digestats liquides, et qui pourrait permettre de séparer la ressource en P pour pouvoir la valoriser sans contrainte de gestion d'éléments associés tels que le N. Mais l'intérêt de ces méthodes devra être validé par l'analyse du bilan environnemental de l'extraction par rapport à une utilisation de la Mafor directe sans traitement.

INRA-CNRS-Irstea. Expertise scientifique collective - Valorisation des matières fertilisantes d'origine résiduaire sur les sols à usage agricole ou forestier - Impacts agronomiques, environnementaux, socio-économiques. 2014.