

Fabrication et utilisation des matières fertilisantes et supports de culture (MFSC) : Evaluation des expositions au cadmium en milieu professionnel

Saisine « 2015-SA-0140 »

**RAPPORT
d'expertise collective**

« Comité d'experts spécialisé « Valeurs sanitaires de référence »

Octobre 2018

Mots clés

Cadmium, matières fertilisantes, travailleurs, exposition professionnelle

Key words

Cadmium, Fertilising products, Workers, Occupational exposure

Note à l'intention des lecteurs

Les chapitres 2 et 3 de ce rapport ont pour objectif d'apporter des informations de base, permettant une meilleure compréhension de la thématique « matières fertilisantes et supports de culture ».

Les chapitres 4 à 9 ont pour objectif de répondre aux questions posées dans la saisine

Présentation des intervenants

PRÉAMBULE : Les experts membres de comités d'experts spécialisés, de groupes de travail ou désignés rapporteurs sont tous nommés à titre personnel, *intuitu personae*, et ne représentent pas leur organisme d'appartenance.

Les travaux, objets du présent rapport, ont été suivis par les comités d'expert spécialisés (CES) suivants et adoptés par le CES « Valeurs sanitaires de référence » (VSR).

COMITÉ D'EXPERTS SPÉCIALISÉ « VALEURS SANITAIRES DE REFERENCE » XX 2017, XX 2018

Président

M. Fabrice MICHIELS – Médecin du travail / toxicologue à l'Association Interentreprises pour la Santé au Travail en Corrèze

Membres

M. Marc BARIL – Professeur associé à l'Université de Montréal – Compétences : Chimiste toxicologue, hygiène industrielle

M. Stéphane BINET – Pharmacien toxicologue à la direction scientifique à l'INRS – Compétences : toxicologie générale et industrielle

Mme Michèle BISSON – Responsable d'étude à l'INERIS – Compétences : Pharmacien toxicologue, toxicologie générale

Mme Anne CHEVALIER – Epidémiologiste retraitée de l'Institut de Veille Sanitaire - Compétences : épidémiologie

Mme Fatiha EL-GHISSASSI – Scientifique, Section des Monographies de CIRC (IMO) Centre International de Recherche sur le Cancer - Compétences : Docteur es science en biochimie spécialiste en cancérogénèse et génotoxicité

Mme Mounia EL-YAMANI – Responsable d'unité à Santé publique France (anciennement Institut de Veille sanitaire) – Compétences : Docteur es science en biochimie, toxicologie

M. Claude EMOND – Professeur adjoint de clinique à l'Université de Montréal – Compétences : Toxicologie, modèle PBPK, toxicocinétique, nanotoxicologie, perturbateurs endocriniens

M. Reginald Edward FITZGERALD – Expert en toxicologie réglementaire au Centre Suisse de Toxicologie Humaine Appliquée - Compétences : toxicologie de la reproduction, neurotoxicité du développement, évaluation des risques humains

M. Robert GARNIER – Médecin toxicologue, Centre antipoison de Paris - Compétences : Toxicologie médicale – Médecine du travail

Mme Perrine HOET – Professeur à l'Université Catholique de Louvain – Compétences : médecine, toxicologie industrielle

Mme Yuriko IWATSUBO – Médecin épidémiologiste à Santé publique France (anciennement Institut de Veille sanitaire) – Compétences : épidémiologie des risques professionnels

Mme Cécile KAIRO – Évaluateur de risques sanitaires - (anciennement Institut de Veille sanitaire) Compétences : Docteur en pharmacie spécialisé en environnement, toxicologie générale et évaluation des risques

Mme Laila LAKHAL – Ingénieur INRA unité Toxalim - Compétences : Toxicologie, métabolisme, perturbateurs endocriniens

M. Frédéric LIRUSSI – Maître de Conférences des Universités– Praticien Hospitalier (MCU-PH) à l'UFR des Sciences de Santé & CHU de Dijon - Compétences : Toxicologie Clinique, Toxicologie analytique, Immunité Innée, Reprotoxicité

Mme Anne MAITRE – Professeur des Universités – Praticien Hospitalier (PU-PH) au Laboratoire de Toxicologie Professionnelle et Environnementale, CHU de Grenoble ; Responsable de l'équipe « Environnement et prédiction de la santé des populations », Laboratoire TIMC, Université Grenoble Alpes – Compétences : médecine, toxicologie, IBE, métrologie des polluants, hygiène industrielle

Mme Florence PILLIERE – Conseiller médical en toxicologie à l'INRS – Compétences : médecine du travail, toxicologie, IBE

Mme Anne PLATEL – Maître de conférences à la Faculté des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques de Lille – Laboratoire de Toxicologie Génétique, Institut Pasteur de Lille - Compétences : Toxicologie, Génotoxicité, QSAR

M. Henri SCHROEDER – Enseignant chercheur à l'URAFPA, INRA USC 340, Faculté des Sciences et Technologies, Université de Lorraine - Pharmacien biologiste - Compétences : Neurotoxicité, comportement animal, développement cérébral, exposition périnatale

M. Olivier SORG – Chef de groupe de recherche à l'Université de Genève - Compétences : Docteur es science en biochimie, toxicologie expérimentale, dermatotoxicologie

M. Jérôme THIREAU – Chargé de recherche au CNRS - Compétences : Docteur es science, physiologie animale, biologie cellulaire, cardiotoxicité

M. Claude VIAU – Professeur associé à l'université de Montréal – Compétences : Toxicologie, IBE, hygiène industrielle, métrologie des polluants

M. Raymond VINCENT - Retraité - anciennement Chargé de mission à la Direction Déléguée aux Applications (INRS) - Compétences : chimie, métrologie des polluants, évaluation des risques professionnels

COMITÉ D'EXPERTS SPÉCIALISÉ « CARACTERISATION DES DANGERS DES SUBSTANCES ET VALEURS TOXICOLOGIQUES DE REFERENCE » - 10 SEPTEMBRE 2015, 10 MARS, 15 SEPTEMBRE ET 8 DECEMBRE 2016, 12 JANVIER ET 23 FEVRIER 2017

Président

M. Michel GUERBET – Professeur de toxicologie à l'UFR médecine pharmacie de Rouen - Pharmacien toxicologue

Vice-Président

M. Dominique LAFON – Médecin toxicologue chez Nexter Group – Médecine du travail, toxicologie, reprotoxicité.

Membres

M. Marc BARIL - Professeur associé à l'Université de Montréal – Chimiste toxicologue, VLEP

M. Sylvain BILLET – Enseignant chercheur / maître de conférence en toxicologie à l'Université du Littoral Côte d'Opale – Toxicologie respiratoire, nanomatériaux

Mme Michèle BISSON – Responsable d'étude à l'INERIS – Pharmacien toxicologue, toxicologie générale - VTR

Mme Anne CHEVALIER – Epidémiologiste retraitée de l'Institut de Veille Sanitaire

M. François CLINARD – Epidémiologiste à l'Institut de Veille Sanitaire – Pharmacien toxicologue, épidémiologie, évaluation des risques sanitaires

Mme Fatiha EL-GHISSASSi – Scientifique, Section des Monographies de CIRC (IMO) Centre International de Recherche sur le Cancer - Docteur es science en biochimie spécialiste en cancérogénèse et génotoxicité

Mme Mounia EL-YAMANI – Responsable d'unité à l'Institut de Veille sanitaire – Docteur es science en biochimie, toxicologie, VLEP

M. Claude EMOND – Professeur adjoint de clinique à l'Université de Montréal – Toxicologie, modèle PBPK, toxicocinétique, nanotoxicologie, perturbateurs endocriniens

M. Guillaume GARCON – Professeur de toxicologie à l'Université de Lille 2 – Toxicologie générale, cancérologie, modèles expérimentaux, toxicologie respiratoire, pollution atmosphérique

M. Ludovic LE HEGARAT – Chef d'unité adjoint Toxicologie des contaminants - Anses – Laboratoire de Fougères- Toxicologie, génotoxicité, nanomatériaux

Mme Véronique MALARD – Ingénieur chercheur en toxicologie au CEA, Centre de Cadarache. Docteur es science – Toxicologie « in vitro », biologie cellulaire, nanotoxicologie, protéomique.

M. Fabrice MICHIELS – Médecin du travail / toxicologue à l'Association Interentreprises pour la Santé au Travail 19

M. Jean-Paul PAYAN – Chef du laboratoire Pénétration Cutanée, Cinétique et Métabolisme à l'INRS, Nancy – Pharmacien toxicologue, toxicocinétique

M. Henri SCHROEDER – Enseignant chercheur à l'URAFPA, INRA USC 340, Faculté des Sciences et Technologies, Université de Lorraine - Pharmacien biologiste - Neurotoxicité, comportement animal, développement cérébral, exposition périnatale

M. Alain SIMONNARD – Chef de département à l'INRS, Nancy - Pharmacien toxicologue, toxicologie générale et reprotoxicité, anatomopathologie

M. Olivier SORG – Chef de groupe de recherche à l'Université de Genève – Docteur es science en biochimie, toxicologie expérimentale, dermatotoxicologie

Mme Lydie SPARFEL – Professeur à l'Université de Rennes 1 / IRSET 'Institut de Recherche en Santé, Environnement et Travail' UMR INSERM 1085– Pharmacien Toxicologue, immunotoxicologie, toxicogénomique, cancérologie, biologie cellulaire et moléculaire

M. Jérôme THIREAU – Chargé de recherche au CNRS – Docteur es science, physiologie animale, biologie cellulaire, cardiotoxicité.

**COMITÉ D'EXPERTS SPÉCIALISÉ « MATIERES FERTILISANTES ET SUPPORTS DE CULTURE » -
07 SEPTEMBRE 2016**

Président

Mme Monique LINERES – Ingénieure de recherche retraitée de l'INRA, Institut National de la Recherche Agronomique - Docteur ès sciences de la terre

Membres

M. Fabrice BELINE – Directeur de recherche à l'Irstea, Institut national de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture – Docteur es agrochimie

M. Antonio BISPO – Ingénieur chercheur en protection des sols à l'ADEME, Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie - Docteur es science en écotoxicologie et en sciences agronomiques

Mme Marie-Chantal CANIVENC-LAVIER - Chargée de recherche à l'INRA, Institut National de la Recherche Agronomique – compétences en agrochimie, physiologie végétale, sciences des aliments

Mme Isabelle DEPORTES - Ingénieur chercheur en santé et gestion des déchets à l'ADEME, Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie - Docteur es science en sciences de la vie et de la santé

Mr Abraham ESCOBAR GUTIERREZ - Chargé de recherche à l'INRA, Institut National de la Recherche Agronomique – compétences en écophysiologie végétale, agronomie

Mr François LAURENT - Chargé de recherche à l'INRA, Institut National de la Recherche Agronomique – Docteur ès sciences pharmaceutiques

Mme Monique LINERES – Ingénieure de recherche retraitée de l'INRA, Institut National de la Recherche Agronomique – Docteur ès sciences de la terre

M. Pascal PANDARS – Responsable de l'unité Expertise et essais en écotoxicologie de l'INERIS, Institut National de l'Environnement Industriel et des RISques – Docteur es toxicologie de l'environnement

M. Yves PRIN – Chercheur au CIRAD, Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement – compétences en microbiologie

Mme Isabelle QUILLERE – Ingénieure de recherche de l'INRA, Institut National de la Recherche Agronomique – compétences en agronomie, physiologie végétale, nutrition minérale

RAPPORTEURS

M. Claude EMOND – Professeur adjoint de clinique à l'Université de Montréal – Toxicologie, modèle PBPK, toxicocinétique, nanotoxicologie, perturbateurs endocriniens

M. Fabrice MICHIELS – Médecin du travail / toxicologue à l'Association Interentreprises pour la Santé au Travail 19

M. Raymond VINCENT – Retraité anciennement Chargé de mission - Direction Déléguée aux Applications (INRS). Compétences : chimiste, métrologie des polluants.

Mme Isabelle DEPORTES - Ingénieur chercheur en santé et gestion des déchets à l'ADEME, Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie - Docteur es science en sciences de la vie et de la santé

Mme Camille DUMAT- Professeure des universités – compétences en agronomie, biogéochimie et risque, Toulouse INP et CERTOP-Axe Transition Ecologique.

PARTICIPATION ANSES

Coordination scientifique

M Stéphane LECONTE – Chef de projets scientifiques - Anses

Mme Géraldine CARNE – Chargée de projets scientifiques – Anses

Contribution scientifique

Mme Dominique BRUNET – Adjointe au chef de l'unité d'évaluation des substances chimiques

M Christophe ROUSSELLE – Chef de l'unité d'évaluation des substances chimiques

Mme Aurélie MATHIEU-HUART – Chef de projets scientifiques – Anses

Mme Fatoumata SISSOKO - Chargée de projets scientifiques – Anses

Secrétariat administratif

Mme Séverine BOIX-PETRE – Anses

AUDITION DE PERSONNALITÉS EXTÉRIEURES

Union des Industries de la Fertilisation (UNIFA), le 28 avril 2017

M. Philippe EVEILLARD et Mme Pauline HEBERT.

Mutuelle Sociale Agricole (MSA), le 12 mai 2017 par téléphone

M. Jean Marc THIBAUDIER

SOMMAIRE

Présentation des intervenants	4
Sigles et abréviations.....	13
Liste des tableaux	14
Liste des figures.....	14
1 Contexte, objet et modalités de réalisation de l'expertise.....	16
1.1 Contexte	16
1.2 Objet de la saisine	16
1.3 Modalités de traitement : moyens mis en œuvre et organisation	17
1.4 Prévention des risques de conflits d'intérêts.....	18
2 Les matières fertilisantes et supports de cultures	19
2.1 Définitions.....	19
2.2 Présentation des principales MFSC	21
2.2.1 Les engrais minéraux	21
2.2.2 Composition des matières premières	22
2.2.2.1 Les engrais phosphatés.....	22
2.2.2.2 Les MAFOR (matières fertilisantes d'origine résiduaire susceptibles d'être épandues).....	22
2.2.2.2.1 Les boues de STEP.....	24
2.2.3 Résumé des différentes sources de contamination potentielles des MFSC par le cadmium des MFSC considérées pour les travaux.....	27
3 Matières fertilisantes et flux d'apport en cadmium	28
3.1 Généralités	28
3.2 Cas des produits phytosanitaires.....	29
3.3 Cas des engrais phosphatés	30
3.4 Cas des MAFOR.....	32
3.4.1 Généralités.....	32
3.4.2 Cas des effluents d'élevage.....	33
3.4.3 Cas des amendements basiques	34
3.4.4 Cas des boues de STEP et des composts	34
3.4.4.1 Cas général	34
3.4.4.2 Cas des boues de STEP issues d'installations classées pour l'environnement (ICPE) :	35
3.4.5 Cas des MFSC faisant l'objet d'une AMM	36
3.4.6 Résumé des concentrations en Cd apportées par les MFSC	36
3.5 Flux de cadmium entrant sur les sols agricoles en France métropole.....	37
4 Evaluation des expositions au cadmium.....	40
4.1 Méthodologie	40
4.2 Valeurs de référence pour évaluer les expositions professionnelles au cadmium.....	41

4.3 Valeurs de référence recommandées par l'Anses pour la surveillance biologique des expositions professionnelles.....	41
4.4 Valeurs de référence recommandées par l'Anses pour la surveillance des concentrations atmosphériques sur les lieux de travail.....	42
4.5 Valeurs réglementaires en vigueur en France.....	42
4.6 Autres valeurs recommandées pour les professionnels.....	42
5 Description des secteurs professionnels de la filière MFSC.....	44
5.1 Description des secteurs et des tâches.....	44
5.2 Description des données d'exposition disponibles pour ces secteurs professionnels.....	45
5.2.1 A partir des données bibliographiques.....	45
5.2.1.1 Secteur relatif à la production des engrais phosphatés :.....	45
5.2.1.1.1 <i>Données générales.....</i>	45
5.2.1.1.2 <i>Données atmosphériques relatives à des opérations de déchargement de minerais phosphatés et leur acheminement vers les unités de fabrication de superphosphates.....</i>	45
5.2.1.2 Secteur relatif aux boues de STEPS.....	46
5.2.1.2.1 <i>Informations générales concernant une éventuelle exposition au cadmium dans la filière boues de STEP.....</i>	46
5.2.1.2.2 <i>Données atmosphériques relatives à divers postes de travail lors du traitement de boues de STEP.....</i>	47
5.2.2 A partir d'auditions des professionnels.....	47
5.2.3 A partir de l'envoi de questionnaires.....	47
5.2.4 A partir de l'extraction de la base de données COLCHIC.....	48
5.2.5 A partir de la réalisation de campagnes de mesure.....	49
5.2.5.1 Secteur de la formulation d'engrais.....	49
5.2.5.2 Secteur des boues de STEP.....	49
5.2.6 Bilan des données recensées à l'issue de l'étude de filière des MFSC.....	49
6 Evaluation des expositions au cadmium pour les travailleurs de ces secteurs d'activité.....	51
6.1 Estimation des niveaux d'exposition au cadmium des travailleurs potentiellement en contact avec des engrais phosphatés.....	51
6.1.1 Opérations de déchargement de minerais phosphatés et acheminement vers les unités de fabrication de superphosphates.....	51
6.1.2 Opérations de fabrication des superphosphates.....	51
6.1.2.1 A partir des données COLCHIC.....	51
6.1.2.2 A partir des données issues d'une campagne de mesure de concentrations atmosphériques aux poussières inhalables et au cadmium effectuée par un laboratoire de la CARSAT Nord Picardie en 2018 dans une entreprise spécialisée dans la formulation de fertilisants.....	52
6.1.3 Opérations de livraison à une coopérative agricole.....	52
6.2 Estimation des niveaux d'exposition au cadmium des travailleurs exerçant dans les STEPs.....	53
6.3 Estimation des niveaux d'exposition au cadmium des professionnels pour lesquels aucune donnée atmosphérique n'a pu être identifiée.....	53
6.3.1 Professionnels concernés par l'épandage de MAFOR.....	53
6.3.2 Les travailleurs agricoles.....	54
6.3.2.1 Opérations de chargement du matériel avant épandage.....	54
6.3.2.2 Exposition lors des épandages agricoles d'engrais phosphatés (Annexe 11).....	55
6.3.2.3 Exposition lors des épandages agricoles de MAFOR (Annexes 10 et 11).....	55
6.3.3 Professionnels du jardinage.....	56

6.4	Résumé des estimations des expositions au cadmium des travailleurs de la filière MFSC	56
7	Sources d'incertitudes	61
7.1	Sources d'incertitudes liées au <i>corpus</i> de connaissances	61
7.1.1	Incertitudes prises en compte dans le processus d'évaluation	61
7.1.1.1	Les sources de matières fertilisantes	61
7.1.1.2	Les doses d'apport et les concentrations en cadmium dans les MFSC	61
7.1.1.3	Biodisponibilité du cadmium dans chaque MFSC	61
7.1.2	Incertitudes non prises en compte dans le processus d'évaluation	62
7.1.2.1	Incertitudes relatives à l'élaboration des scénarios d'exposition des travailleurs au cadmium	62
7.1.2.2	Variabilité des concentrations en cadmium des fertilisants d'origine organique	62
7.2	Sources d'incertitudes liées à la méthode d'évaluation	62
7.2.1	Incertitudes prises en compte dans le processus d'évaluation des expositions	62
7.2.1.1	Estimation des concentrations en cadmium dans les MFSC	62
7.2.2	Incertitudes non prises en compte dans le processus d'évaluation des expositions	63
7.2.2.1	Prise en compte des différentes voies d'exposition	63
7.2.2.2	Efficacité des mesures de protection	63
7.2.2.3	Recensement des postes de travail présentant une exposition éventuelle à des poussières contaminées par du cadmium	63
7.3	Niveau de confiance	63
8	Conclusion et recommandations	64
8.1	Conclusion du CES VSR	64
8.2	Recommandations du CES VSR	65
9	Bibliographie	67
9.1	Publications	67
9.2	Normes	74
9.3	Législation et réglementation	74
ANNEXES	76
Annexe 1	: Lettre de saisine	77
Annexe 2	: Agriculture et fertilisation en France	81
Annexe 3	: Arrêté du 08/01/98 fixant les prescriptions techniques applicables aux épandages de boues sur les sols agricoles pris en application du décret n° 97-1133 du 08/12/97 relatif à l'épandage des boues issues du traitement des eaux usées	84
Annexe 4	: Valorisation des matières fertilisantes d'origine résiduaire sur les sols à usage agricole ou forestier – Rapport ESCO INRA-CNRS-Irstea 2014.....	86
Annexe 5	: Règlements et Normes applicables en France	87
Liste des normes	rendues d'application obligatoire	90
Annexe 6	: Bilan des flux en cadmium entrant sur les sols agricoles français	93
Annexe 7	: Liste des questions figurant dans les questionnaires qui ont été envoyés aux producteurs, utilisateurs des MFSC.....	95

Annexe 8 : Extraction de la Base de données COLCHIC.....	100
Annexe 9 : Résumé des visites effectuées chez les producteurs et distributeurs d'engrais phosphatés.....	101
Annexe 10 : Descriptif du fonctionnement d'une station d'épuration et compte rendu des visites effectuées dans le cadre de cette saisine	103
Annexe 11 : Compte-rendu de la visite d'une exploitation agricole	118
Annexe 12 : Synthèse des études relatives à des évaluations des risques sanitaires liés à l'épandage de MFSC	119
Annexe 13 : Evaluation du risque pour le Cadmium en exposition subchronique pour les agriculteurs.	123

Sigles et abréviations

CES	Comité d'experts spécialisé
CdU	Cadmium urinaire
CMR	Cancérogène, Mutagène, Reprotoxique
COV	Composés organiques volatiles
DAP	Di-ammonium phosphate
DGCCRF	Direction Générale de la Concurrence, de la Consommation et de la Répression des Fraudes
DGS	Direction Générale de la Santé
DGT	Direction Générale du Travail
DJT	Dose Journalière Tolérable
DHT	Dose Hebdomadaire Tolérable
EFSA	European Food safety Agency
ECHA	European Chemicals Agency
EPI	Equipement de protection individuelle
ERS	Evaluation des risques sanitaires
DERU	Directive Eaux résiduaires urbaines
ETM	Eléments traces et métalliques
HAP	Hydrocarbure aromatique polycyclique
ICP-MS	Inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS)
IFOP	Institut d'études Opinion et Marketing
MAFOR	Matières fertilisantes d'origine résiduaire
MAP	Phosphate mono-ammonique
MFSC	Matières fertilisantes et supports de culture
P95	95ème percentile
REACH	Registration Evaluation Authorization and Restriction of Chemical substances
SAU	Surface agricole utile
STEP	Station d'épuration des eaux usées
VBR	Valeur biologique de référence
VLB	Valeur limite biologique
VLEP	Valeurs limites d'exposition professionnelle
VTR	Valeurs Toxicologiques de Référence

Liste des tableaux

Tableau 1 : Flux maximaux annuels en ETM permis par la réglementation _____	29
Tableau 2 : Concentration moyenne en cadmium dans l'étude de Nziguheba et Smolders (2008) __	30
Tableau 3 : Concentrations du Cd dans les catégories d'engrais (mg.kg ⁻¹ MS) (Belon 2012) _____	30
Tableau 4 : Concentration en Cd des effluents d'élevage (mg.kg ⁻¹ MS) (Belon, 2012) _____	33
Tableau 5 : Concentration en Cd pour les amendements Ca et Mg (mg.kg ⁻¹ MS) (Belon 2012) ____	34
Tableau 6 : Teneurs en Cd dans les boues de STEP et les composts (mg.kg ⁻¹ MS) _____	34
Tableau 7 : Valeurs des seuils règlementaires en Cd dans les boues de STEP et les composts ____	35
Tableau 8 : Estimations moyenne, minimum et maximum des quantités en Cadmium entrant sur le sol agricole selon différentes sources de contamination _____	36
Tableau 9 : Bilan des flux de cadmium entrant dans les sols français _____	37
Tableau 10 : Résultats statistiques pour les poussières inhalables pour la période 1987-2017 en mg/m ⁻³ _____	48
Tableau 11 : Distribution de la durée de prélèvement de cadmium en minutes _____	48
Tableau 12 : Résultats statistiques pour le cadmium pour la période 1987-2017 en µg.m ⁻³ et pour les poussières inhalables prélevées en même temps en mg.m ⁻³ _____	48
Tableau 13 : Récapitulatif des estimations des concentrations atmosphériques en cadmium des travailleurs de la filière MFSC _____	59
Tableau 15 : Teneurs limites en éléments-traces dans les boues _____	84
Tableau 16 : Valeurs limites de concentration en éléments-traces dans les sols _____	84
Tableau 17 : Flux cumulé maximum en éléments-traces apporté par les boues pour les pâturages ou les sols de pH inférieurs à 6 _____	85
Tableau 18 : Quantités de déjections estimées pour 2009 en fonction du type de déjections (en milliers de tonnes) _____	86
Tableau 19 : Quantités d'effluents d'élevage épandus sur les sols agricoles français en 2011 _____	86

Liste des figures

Figure 1 : les diverses typologies de MFSC _____	20
Figure 2 : Positionnement des engrais phosphatés susceptibles d'être contaminés par du cadmium	21
Figure 3 : classification des MAFOR _____	23
Figure 4 : ressources et utilisation de MAFOR en France (Colloque de restitution des conclusions ESCO – 3 juillet 2014) _____	24
Figure 5 : Carte de France des destinations des boues de STEP _____	26
Figure 6 : Sources de contamination potentielles des MFSC par le cadmium considérées pour les travaux _____	27

Figure 7 : Bilan des flux de contaminants entrant sur les sols agricoles de France métropolitaine. Étude menée par SOGREAH pour l'ADEME (mai 2007)	29
Figure 8 : Evolution des quantités de phosphore vendues en France ramenées à la surface fertilisable	31
Figure 9 : Retour au sol du cadmium en France sur les sols agricoles	36
Figure 10 : Principaux secteurs de la filière MFSC pour lesquels une exposition au cadmium est suspectée	44
Figure 11 : Schéma du processus de fonctionnement d'une station d'épuration	46
Figure 12 : Etapes susceptibles de générer une exposition des agriculteurs au cadmium lors de l'emploi de MFSC (potentiellement contaminées par du cadmium)	56
Figure 13 : Description de la filière française d'engrais phosphatés (depuis la fabrication jusqu'à l'épandage au sol par divers acteurs) et estimation des niveaux de concentration atmosphérique en poussières inhalables et en cadmium	58
Figure 14 : Schéma du procédé de compostage.	106
Figure 15 : traitement des boues	109
Figure 16 : valorisation des boues pour l'année 2016 pour la STEP B	111
Figure 17 : résultats d'analyses des boues de STEP en 2016	111

1 Contexte, objet et modalités de réalisation de l'expertise

1.1 Contexte

Le cadmium est un métal lourd ubiquitaire qui se retrouve dans les différents compartiments de l'environnement (sols, eaux, air) du fait de sa présence à l'état naturel dans la croûte terrestre et des apports anthropiques liés aux activités industrielles et aux pratiques agricoles. Le cadmium est relativement phytodisponible et il entre ainsi dans la chaîne alimentaire de l'Homme.

Le cadmium a été classé cancérigène catégorie 1B « substance présumée cancérigène chez l'être humain » selon le règlement (CE) N°1272/2008.

Par ailleurs, le Cd est connu pour induire chez l'Homme un grand nombre d'effets sanitaires, notamment une atteinte tubulaire rénale et une fragilité osseuse, à la suite d'une exposition prolongée par voie orale. Des troubles de la reproduction ont également été rapportés.

Or, actuellement aucune étude globale disponible n'a été conduite en France pour évaluer les risques sanitaires liés à l'exposition au cadmium pour la filière des MFSC.

1.2 Objet de la saisine

L'Anses a été saisie le 22 juin 2015 par la Direction générale de la santé (DGS), la Direction générale de la concurrence, de la consommation et de la répression des fraudes (DGCCRF), la Direction générale du travail (DGT), la Direction générale de l'alimentation (DGAI) et la Direction générale de la prévention des risques (DGPR) sur la problématique suivante :

Exposition au cadmium – 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.

L'Anses est notamment interrogée sur l'établissement de VTR par ingestion (adulte, enfant) et de valeurs sanitaires repères à retenir dans les milieux biologiques (sang, urine).

L'Anses est invitée à se prononcer sur les questions suivantes :

1. Pour ce qui concerne les populations riveraines de sites pollués susceptibles d'être surexposées au cadmium :

a) Quelles VTR par ingestion (adultes, enfants, ...) faut-il retenir dans le cadre de la réalisation des évaluations quantitatives des risques sanitaires ?

b) Quelles valeurs sanitaires repères du cadmium faut-il retenir dans les milieux biologiques (sang, urines, ...), selon l'âge, dans le cadre de la prise en charge sanitaire ?

2. Pour ce qui concerne les populations de travailleurs en contact avec des matières fertilisantes, des produits ou procédés impliquant du cadmium, ou intervenant sur des sites pollués, et à la lumière des informations qui pourraient être obtenues dans le cadre de la

saisine adressée à l'InVS (Institut National de Veille Sanitaire devenu depuis le 1er Mai 2016 Santé Publique France) :

- a) Les risques liés à l'exposition au cadmium dans ces contextes professionnels sont-ils bien évalués au titre des réglementations santé et sécurité au travail (à l'aide d'une enquête de filière par exemple) ?
 - b) Quels sont les niveaux de contamination qui pourraient être estimés selon les activités ou situations professionnelles ?
 - c) Quelles conclusions peuvent en être tirées en comparaison des valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP) et des valeurs limites biologiques (notamment celles recommandées par l'Anses) ?
3. Dans l'ensemble des matières fertilisantes et supports de culture, quels seraient les niveaux en cadmium permettant, en prenant en compte les travaux européens susmentionnés et la spécificité de ces produits, de maîtriser la pollution des sols agricoles et la contamination des productions végétales ?

Seule la question 2 est traitée dans le présent rapport.

Suite à une discussion téléphonique et à l'issue d'un point d'étape avec les Ministères (30 janvier 2018), il a été convenu de recentrer les travaux d'expertise relative à la question 2 de la saisine uniquement sur les populations de travailleurs en contact avec des matières fertilisantes : de leur production à leurs utilisations. De ce fait, le présent rapport ne traitera pas des populations de travailleurs en contact avec d'autres produits ou procédés impliquant du cadmium, ou intervenant sur des sites pollués.

1.3 Modalités de traitement : moyens mis en œuvre et organisation

L'Anses a confié au comité d'experts spécialisé (CES) « Evaluation des risques liés aux substances chimiques » puis au CES « Valeurs sanitaires de référence » (VSR) l'instruction des 3 questions de cette saisine.

Des experts rapporteurs ont été nommés pour répondre spécifiquement à chacune des questions de la saisine.

Les travaux d'expertise des rapporteurs ont été soumis régulièrement au CES (tant sur les aspects méthodologiques que scientifiques). Le rapport tient compte des observations et éléments complémentaires transmis par les membres du CES.

Ces travaux sont ainsi issus d'un collectif d'experts aux compétences complémentaires.

L'expertise a été réalisée dans le respect de la norme NF X 50-110 « Qualité en expertise – prescriptions générales de compétence pour une expertise (mai 2003) ».

Ce rapport dont l'objectif est de répondre à la seconde question a été validé par le comité d'experts spécialisés (CES) « Valeurs sanitaires de référence » (CES VSR) le 29 novembre 2018.

L'étude de filière nécessaire pour répondre à la deuxième question de la saisine a été conduite conformément aux procédures en vigueur à l'Agence (Document DER/GEN/9/02-version a : Réalisation d'une étude de filière).

L'étude de filière a été réalisée dans un premier temps à partir de données bibliographiques, puis complétée par des enquêtes déclaratives (questionnaires et auditions) et de terrain auprès des industriels concernés par l'objet de l'étude. L'étude a été réalisée en interne avec

l'aide d'un groupe d'experts rapporteurs et coordonnée par un agent de l'unité « évaluation des substances chimiques » (UESC).

La recherche bibliographique a été conduite entre septembre 2015 et mars 2017, en utilisant à minima les mots clefs suivants : MFSC, boues de STEP, cadmium, exposition professionnelle, données d'imprégnation, ERS, en français et en anglais dans les bases de recherche tels que Scopus, Google scholar, etc.

1.4 Prévention des risques de conflits d'intérêts.

L'Anses analyse les liens d'intérêts déclarés par les experts avant leur nomination et tout au long des travaux, afin d'éviter les risques de conflits d'intérêts au regard des points traités dans le cadre de l'expertise.

Les déclarations d'intérêts des experts sont publiées sur le site internet de l'agence (www.anses.fr).

2 Les matières fertilisantes et supports de cultures

2.1 Définitions

La définition des matières fertilisantes et supports de cultures (MFSC) est donnée par l'article L255-1 du Code Rural. Les matières fertilisantes comportent :

1° Les engrais destinés à apporter aux plantes des éléments directement utiles à leur nutrition. Il peut s'agir d'éléments fertilisants majeurs ou secondaires ou encore d'oligo-éléments. Ces éléments fertilisants sont ainsi classés en trois groupes par ordre d'importance pour les plantes :

- o Les éléments majeurs : azote, phosphore et potassium ;
- o Les éléments mineurs ou secondaires : calcium, magnésium, soufre et sodium ;
- o Les oligo-éléments : requis en très faible quantité mais néanmoins indispensables aux plantes (fer, manganèse, chlore, cuivre, zinc...).

Les engrais représentent tous les produits dont une des teneurs en éléments majeurs dépasse 3%. Ils sont eux même subdivisés en trois classes :

- o Les engrais organiques, qui sont soit d'origine animale, soit d'origine végétale. Ils peuvent être également synthétisés ;
- o Les engrais minéraux, dont les éléments nutritifs déclarés sont sous forme de sels minéraux, obtenus par extraction et/ou par des procédés industriels physiques et/ou chimiques ;
- o Les engrais organo-minéraux, dont les éléments nutritifs déclarés, d'origine à la fois organique et minérale, sont obtenus par mélange et/ou combinaison chimique d'engrais ou produits organiques et minéraux.

2° Les amendements destinés à modifier ou à améliorer les propriétés physiques, chimiques ou biologiques des sols. Les amendements, contrairement aux engrais, ont pour rôle de modifier la structure et l'acidité des sols, même si parfois ils constituent aussi un apport non négligeable d'éléments nutritifs. Il est distingué :

- o Les amendements organiques : composés principalement de combinaisons carbonées d'origine végétale, fermentées ou fermentescibles, ils sont destinés à l'entretien ou à la reconstitution du stock de matière organique du sol. Les teneurs en azote, phosphore et potassium des produits bruts ne doivent pas dépasser chacune 3%, et leur somme doit être inférieure à 7%, sinon l'amendement devient alors un engrais. Les matières fertilisantes d'origine résiduaire (MAFOR) font partie de cette famille.
- o Les amendements basiques, appelés aussi amendements calciques ou amendements minéraux : contenant du calcium ou du magnésium, généralement sous forme d'oxydes, d'hydroxydes ou de carbonates, mais qui sont sans matière organique et sans teneur déclarable en azote, phosphore, potassium et oligo-

éléments. Ces amendements sont destinés principalement à maintenir ou à élever le pH du sol.

3° Les matières ou " supports de culture ", dont la fonction, une fois appliquées au sol ou sur la plante, est de stimuler des processus naturels des plantes ou du sol, afin de faciliter ou de réguler l'absorption par celles-ci des éléments nutritifs ou d'améliorer leur résistance aux stress abiotiques. Les supports de culture sont des matériaux permettant par exemple l'ancrage du système racinaire de la plante, la circulation de substances nutritives exogènes, jouant ainsi le rôle de support. Ils servent donc de milieu de culture aux végétaux.

Ainsi, d'après cette définition, « les matières fertilisantes ont pour but d'entretenir ou d'améliorer la nutrition des végétaux ainsi que les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols ». Les matières fertilisantes comprennent les engrais et les amendements. Les « adjuvants¹ pour matières fertilisantes » sont des préparations qui modifient les qualités physiques, chimiques ou biologiques d'une matière fertilisante, à laquelle elles sont ajoutées en mélange extemporané.

Les MFSC représentent donc une vaste catégorie. Ils ont une composition très hétérogène allant d'une composition bien définie comme les produits type engrais synthétiques à des mélanges très variés tels que les boues de stations d'épuration (STEP) susceptibles de contenir de nombreux contaminants.

La figure ci-dessous présente un récapitulatif des diverses typologies de MFSC.

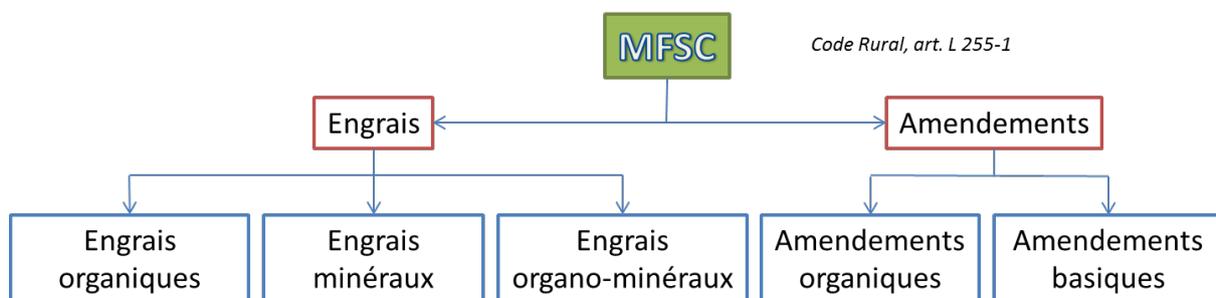


Figure 1 : les diverses typologies de MFSC

¹ Un adjuvant pour matières fertilisantes est un produit qui modifie les qualités physiques, chimiques ou biologiques d'une matière fertilisante, à laquelle il est ajouté en mélange extemporané. <https://ephy.anses.fr/produits-substances-usages/evaluation-mise-march%C3%A9-produits>. Son rôle est d'augmenter l'efficacité de la matière active.

2.2 Présentation des principales MFSC

2.2.1 Les engrais minéraux

Un engrais a la charge d'apporter des éléments nutritifs essentiels à la plante ((azote (N), phosphore (P), potassium (K)), ainsi que des éléments fertilisants secondaires (calcium, magnésium, sodium, etc...)) (Décret n° 80-478).

Parmi les engrais minéraux, les fertilisants minéraux azotés et potassiques présentent des teneurs très faibles en éléments traces et métalliques (ETM) (et donc en cadmium). (Ademe, 2007c). De ce fait, ils ne seront pas considérés dans la suite des travaux.

Concernant les fertilisants minéraux phosphatés, le phosphate de calcium naturel sert de matière première de base pour la fabrication des engrais phosphatés. Les gisements naturels sont situés principalement au Maroc, aux USA, en Russie et au Moyen Orient. Tous ces gisements sont plus ou moins riches en phosphates et sont composés naturellement d'autres éléments chimiques. De ce fait, la concentration en éléments traces métalliques (donc en cadmium) des roches phosphatées varie potentiellement selon les gisements. Ainsi, selon l'origine de la matière première et du cahier des charges du produit fini (composition/formulation), certains fertilisants minéraux phosphatés peuvent aussi contenir des taux relativement élevés de cadmium d'origine naturelle.

En France, pour les fertilisants minéraux phosphatés commercialisés, pour les engrais contenant plus de 5% de P_2O_5 le seuil maximum autorisé de Cd/kg établi par la norme française NF U 42-001-1 de 2011 (AFNOR, 2011), est actuellement de 90 mg Cd/kg de P_2O_5 .

L'Union des industriels de la Fertilisation (UNIFA) indique, pour 2016, la livraison de 5421 kt d'engrais minéraux en France métropolitaine. La figure 2 ci-dessous met l'accent sur les fertilisants minéraux phosphatés susceptibles d'être contaminés par du cadmium.

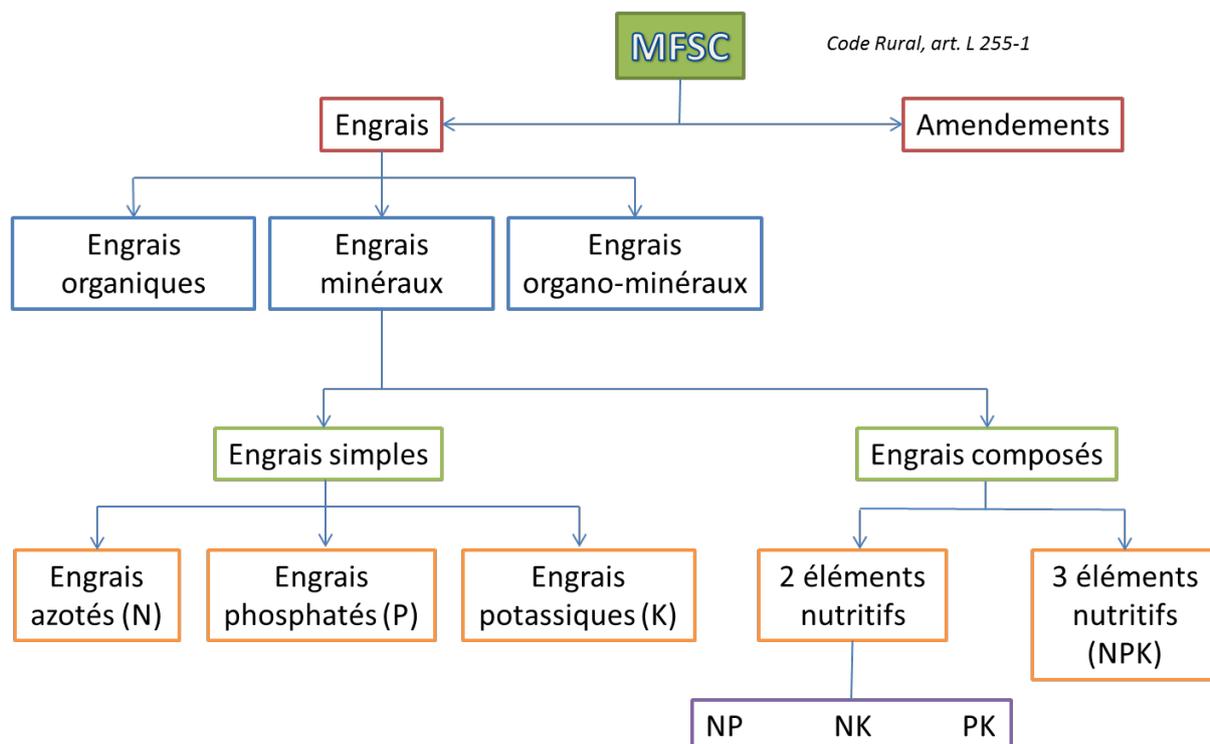


Figure 2 : Positionnement des engrais phosphatés susceptibles d'être contaminés par du cadmium

2.2.2 Composition des matières premières

2.2.2.1 Les engrais phosphatés

Parmi les matières fertilisantes, les engrais phosphatés constituent une source majeure d'apport en cadmium. En effet, les cultures ont besoin de phosphore pour leur croissance. Le phosphore minéral qui est épandu après transformation (extraction du phosphore de la roche brute) ou non (épandage de roches brutes en agriculture biologique notamment) provient de mines naturelles. La roche phosphatée extraite contient du cadmium en concentration parfois importante. Son épandage peut alors contribuer à une contamination exogène significative des sols.

Les caractéristiques physico-chimiques des engrais phosphatés varient donc selon l'origine géographique de la matière première. Ayant accès à des minerais riches en phosphore, le Maroc, la Chine et les US sont les acteurs les plus importants dans l'industrie du phosphate. Le principal minerai utilisé est le phosphate calcique naturel qui est une fluorapatite phosphocalcique : $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$ plus ou moins carbonatée, d'une teneur moyenne de 26 à 34 % en P_2O_5 (soit 57 à 74 % en phosphate tricalcique ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, PTC) pour le minerai marchand.

Les phosphates peuvent contenir de 5 à 150 mg Cd / kg de P_2O_5 .

Sur les douze derniers mois (septembre 2017 à août 2018), la France a importé 192337 tonnes de phosphates de calcium et phosphates aluminocalciques, naturels et craies phosphatées, non-moulus ou moulus provenant majoritairement du Maroc pour environ 75%, d'Algérie pour environ 20% (Chiffres du commerce extérieur de la France : <http://lekiosque.finances.gouv.fr/>; consulté le 5/11/2018).

2.2.2.2 Les MAFOR (matières fertilisantes d'origine résiduaire susceptibles d'être épandues)

Les matières fertilisantes d'origine résiduaire (MAFOR) sont d'origine et composition très diverses. L'acronyme MAFOR englobe les matières fertilisantes suivantes (CGEDD, 2015) :

- les effluents d'élevage (bruts ou traités) ;
- les boues de STEP dont les boues issues du traitement des eaux usées urbaines ou domestiques ;
- les matières, eaux et boues d'épuration issues des industries agro-alimentaires, papetière, pétrolière, textile, chimique... ;
- les composts de déchets verts, de déchets ménagers et de déchets organiques issus des activités industrielles (biodéchets) ;
- les digestats de méthanisation (compostés ou non) ;
- en quantités moindres, les cendres, les sédiments dragués en milieu fluvial et les matières issues de la pyrolyse de certains déchets (CGEDD, 2015) ;
- l'ensemble des produits normés et homologués issus de processus de transformation et de fabrication à partir de certaines des MAFOR citées ci-dessus.

La contamination en cadmium de ces matières peut avoir des origines diverses :

- L'alimentation animale, laquelle in fine aboutie à la production d'effluents ;
- La qualité des eaux de lixiviation et des eaux usées en amont des STEPS ;
- La composition chimique des déchets avant leur incinération ;
- Etc.

Dans le présent rapport, les rapporteurs ont fait le choix de prioriser leur recherche bibliographique relative aux MAFOR en fonction de la concentration en cadmium et des informations disponibles.

De ce fait, les effluents d'élevage et les boues de STEP ont été investigués prioritairement. Les autres catégories dont la catégorie « autres » (cf figure 3 ci-dessous) ont peu été étudiées faute de données disponibles et des plus faibles quantités produites et épandues de ces produits (Ademe 2007c).

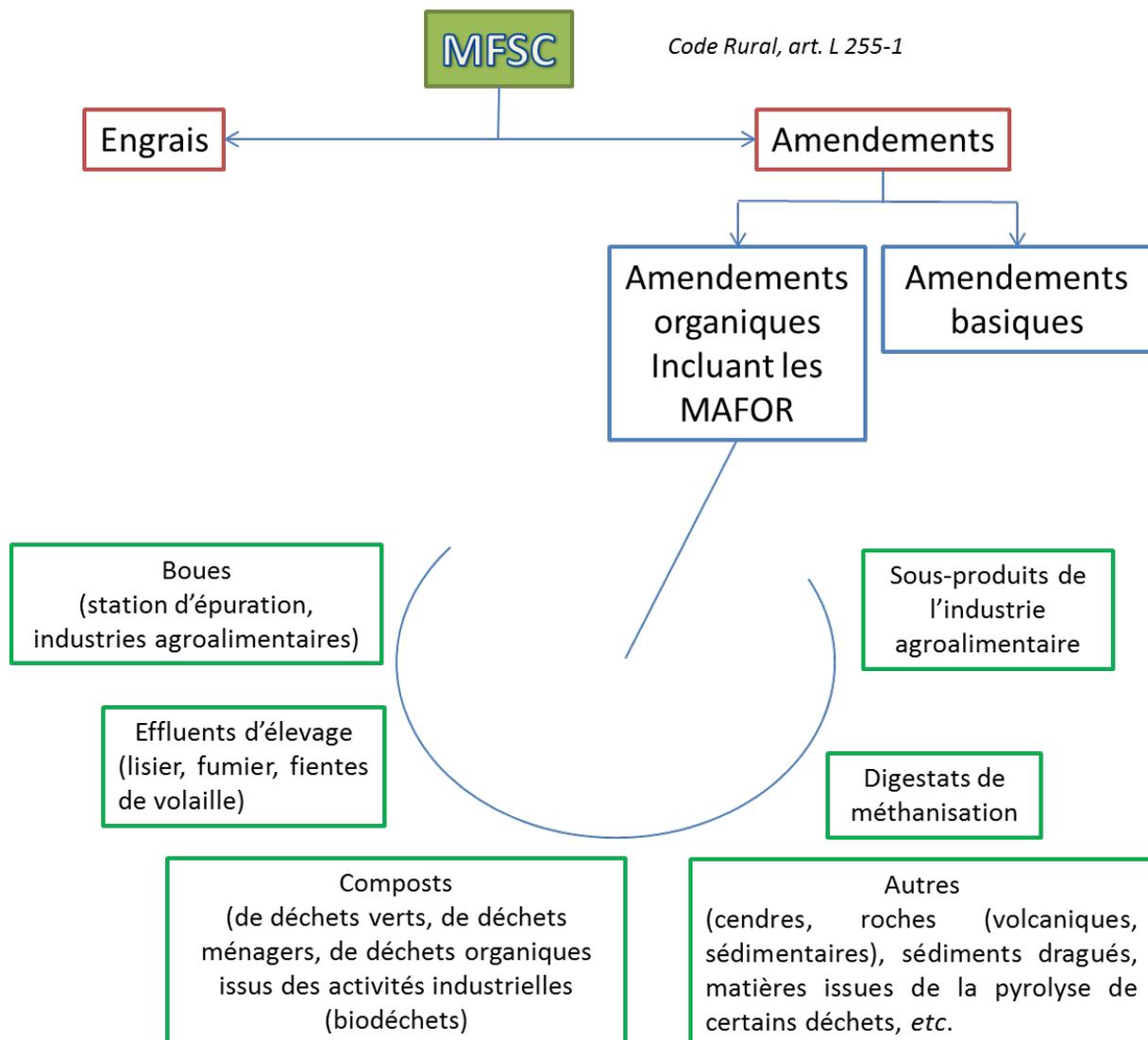


Figure 3 : classification des MAFOR

Une large diversité de matières premières entre dans la définition des MAFOR. Ces matières peuvent ensuite être épandues en l'état ou après avoir subi divers traitements (biologiques, physiques ou physico-chimiques), éventuellement en mélange avec d'autres matières (INRA 2014).

Les épandages de MAFOR concernent l'ensemble du territoire français, mais ceux-ci sont répartis de manière inégale selon les cultures et la typologie des sols (prairie ou grande culture).

Ressources et utilisation de Mafor en France

Une hétérogénéité spatiale des épandages de Mafor en France

(Source : Agreste – Enquête Pratiques culturales grandes cultures et prairies 2011)

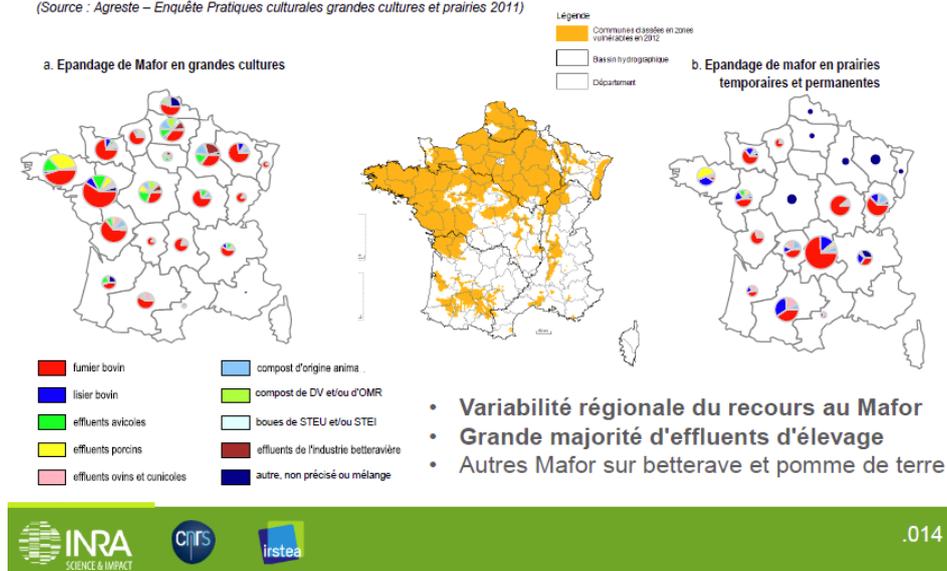


Figure 4 : ressources et utilisation de MAFOR en France (Colloque de restitution des conclusions ESCO – 3 juillet 2014)

L'emploi de chaque MAFOR répond à des besoins spécifiques. L'épandage des effluents d'élevage relève d'une pratique ancienne. L'épandage de MAFOR issues de l'industrie agro-alimentaire entre dans une logique d'analyse de cycle de vie.

Les effluents d'élevage constituent, de très loin, la source majoritaire des MAFOR valorisées par épandage (près de 80 % en 2011, CGEDD, 2015). Il existe néanmoins une grande imprécision sur les quantités produites, transformées et utilisées en France. Il existe peu de travaux sur les traitements des MAFOR et d'évaluation des risques relatifs à l'usage de ce type de MFSC.

2.2.2.2.1 Les boues de STEP

2.2.2.2.1.1 Provenance des boues

Les boues de STEP sont des sédiments résiduels issus du traitement des eaux usées. Les eaux usées sont collectées puis acheminées vers les stations d'épuration où elles sont traitées. En fin de traitement, à la sortie de la station, l'eau épurée est rejetée vers le milieu naturel et il reste les boues résiduelles, composées d'eau et de matières sèches contenant des substances minérales et organiques.

Il est distingué trois catégories principales de boues : les boues provenant (i) du traitement des eaux urbaines (mélange d'eaux domestiques et d'eaux usées industrielles et/ou des eaux de ruissellement), (ii) du traitement des eaux usées industrielles, (iii) et des traitements de potabilité.

Les caractéristiques d'une boue dépendent du niveau de pollution des eaux traitées (et donc de la source de ces eaux), mais également des caractéristiques techniques du traitement subi (Aprifel, 2001).

A la suite d'un traitement des eaux, d'autres traitements sont ensuite effectués sur les boues qui en sont issues, dans le but de :

- o Réduire leur teneur en eau via des procédés, allant du simple épaissement par élimination de l'eau par gravité, à une déshydratation partielle, généralement par centrifugation (moins de 80% d'eau) jusqu'à un séchage presque total (5 à 10% d'eau résiduelle) ;
- o Stabiliser leur matière organique et réduire la génération d'odeurs ;
- o Les hygiéniser (c'est-à-dire réduire leur concentration en agents pathogènes).

En général, le traitement des boues a pour objectif de limiter leur volume ou les nuisances liées à leur caractère putrescible. En fonction du pourcentage de matière sèche qu'elles contiennent, les boues peuvent être classées en boue liquide (siccité² de 0 à 10%), boue pâteuse (siccité de 12 à 25%), boue solide (siccité supérieure à 25%), boue sèche (siccité supérieure à 85%).

2.2.2.2.1.2 Recyclage des boues de STEP

Les boues de STEP peuvent être recyclées selon 4 méthodes (Aprifel, 2001 ; ASTEE, 2018) :

- o La revalorisation agricole :
 - l'épandage agricole (47% des boues) ;
 - l'élaboration de compost utilisé comme amendement organique (26%).
- o L'oxydation thermique c'est-à-dire la destruction des matières organiques par combustion (filiale Incinération). Cette voie génère deux types de sous-produits : des cendres et des fumées et concerne 19 % des boues de STEP produites (AMORCE 2012) ;
- o La mise en décharge dans des centres de stockage. Cela concernait 8% des boues de STEP produites en 2008, avec pour objectif une suppression progressive d'ici 2015.

Les trois premières destinations (épandage, compostage, incinération) sont conformes à la réglementation nationale et européenne (directive ERU- DERU, 1991).

² La siccité d'une boue correspond au pourcentage massique de matière sèche. Ainsi une boue avec une siccité de 10 % présente une humidité de 90 %.

Destinations des boues de stations d'épuration en 2008

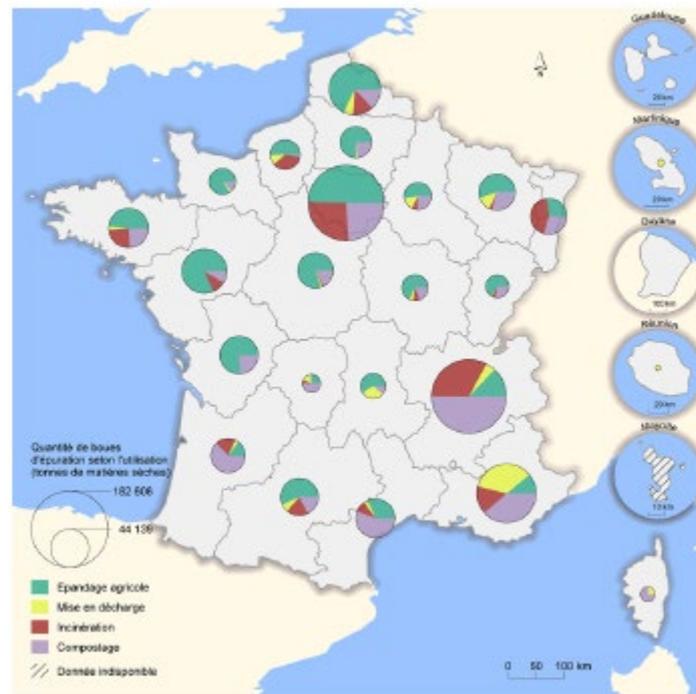


Figure 5 : Carte de France des destinations des boues de STEP

(<http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/lessentiel/ar/306/305/assainissement-boues-depuration-leur-traitement.html>)

Les boues présentent un intérêt agronomique, bon marché, puisqu'elles présentent des qualités relatives aux engrais (source d'azote, phosphore... pour les plantes) et aux amendements (apport de matière organique pour les sols). (<http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/lessentiel/ar/306/305/assainissement-boues-depuration-leur-traitement.html>).

A contrario, l'épandage de boues de STEP peut être source de nuisances olfactives pour les riverains et peut engendrer la dissémination d'un certain nombre de substances dans l'environnement.

2.2.3 Résumé des différentes sources de contamination potentielles des MFSC par le cadmium des MFSC considérées pour les travaux

La figure 6 ci-dessous illustre les différentes voies de contamination des MFSC par le cadmium, qui ont été évoquées dans les paragraphes précédents.

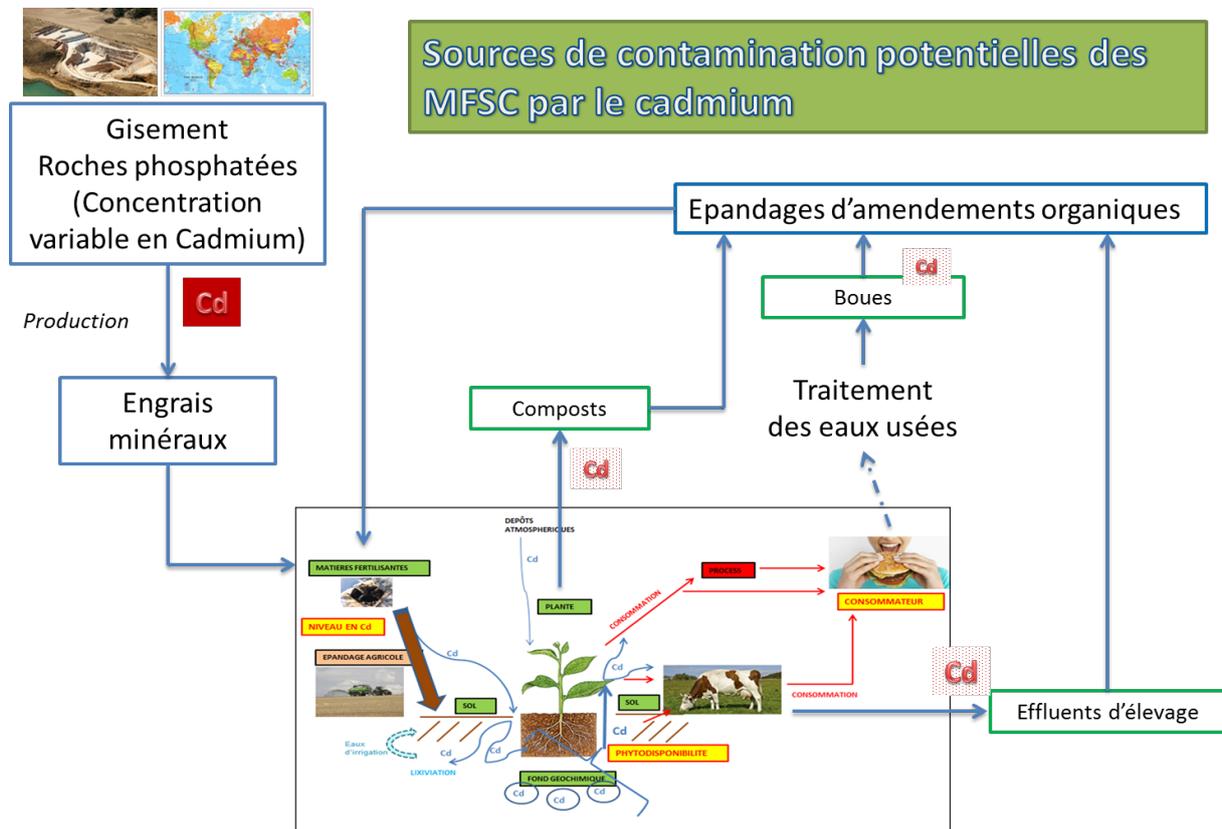


Figure 6 : Sources de contamination potentielles des MFSC par le cadmium considérées pour les travaux

Un panorama général de l'agriculture en France et de l'usage des MFSC figure à l'annexe 2 de ce document.

3 Matières fertilisantes et flux d'apport en cadmium

3.1 Généralités

En France, la volonté de maîtriser l'apport en cadmium dans les sols via les matières fertilisantes n'est pas nouvelle³. Elle se traduit dans la réglementation française, par la fixation de teneurs maximales en cadmium dans les produits et/ou par des flux maximaux par parcelle.

Toutefois, il existe peu de données relatives à la teneur en cadmium dans chaque type de MFSC.

La présence de cadmium dans les matières fertilisantes étant liée au fait qu'il s'agit d'une impureté présente dans la matière première, il en résulte une grande variabilité des données. De ce fait, dans la suite du document, plusieurs sources d'information (exemple figure 3 : Etude ADEME 2007) ont été utilisées pour pouvoir estimer au mieux la teneur en cadmium dans les différentes matières fertilisantes :

- Les valeurs réglementaires et normatives (annexes 3 et 5) ;
- Les valeurs indicatives, fournies par l'UNIFA lors de son audition ;
- Les données issues de la littérature.

La figure 7 illustre les flux de contaminants (dont le cadmium) entrant sur les sols agricoles français.

³ La première réglementation encadrant la vente des fertilisants en France date du 4 février 1888.

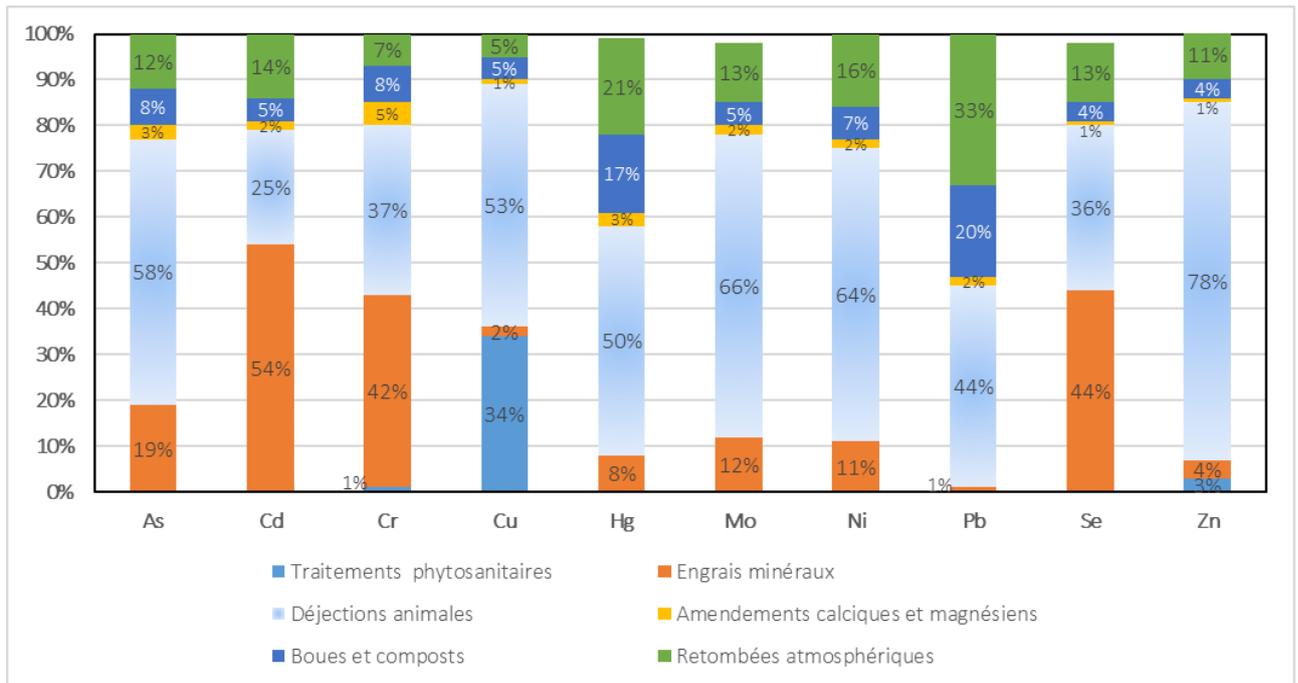


Figure 7 : Bilan des flux de contaminants entrant sur les sols agricoles de France métropolitaine. Étude menée par SOGREAH pour l'ADEME (mai 2007)

Source : https://www.gissol.fr/presentations/flux_contaminants_sols_agricoles_ademe.pdf

En France (annexe 5- réglementation), le flux maximal moyen sur dix ans en cadmium ne doit pas dépasser la valeur de 15 g par hectare (moyenne sur 10 ans) ou 45 g Cd.ha⁻¹.an⁻¹ si apport en une seule fois.

Tableau 1 : Flux maximaux annuels en ETM permis par la réglementation

Flux maximaux annuels (moyens sur 10 ans)	Contaminant	Valeur (g.ha ⁻¹)
Par apport, le flux maximal ne doit pas dépasser 3 fois les valeurs indiquées ci-contre. * : sauf en cas de besoin reconnu, en accord avec la réglementation en vigueur sur les oligo-éléments	As	90 g.ha ⁻¹
	Cd	15 g.ha ⁻¹
	Cr	600 g.ha ⁻¹
	Cu*	1000 g.ha ⁻¹
	Hg	10 g.ha ⁻¹
	Ni	300 g.ha ⁻¹
	Pb	900 g.ha ⁻¹
	Se	60 g.ha ⁻¹
	Zn*	3000 g.ha ⁻¹

3.2 Cas des produits phytosanitaires

Selon l'ADEME, les traitements phytosanitaires ne constituent pas une source d'apport en cadmium (Ademe 2007c) dans les sols.

3.3 Cas des engrais phosphatés

La réglementation française se base sur la norme NF U 42-001-1 qui fixe un seuil maximal en cadmium à 90 mg de Cd/kg de P₂O₅ dans les engrais minéraux. Afin de respecter ce seuil réglementaire en Cd, selon l'UNIFA la matière première utilisée pour la fabrication des engrais phosphatés ne devrait pas dépasser la teneur en Cd de 60 mg/kg P₂O₅ à l'analyse compte tenu de la variabilité qui subsiste au sein d'un lot de matière première (cf audition UNIFA du 28 avril 2017).

En Europe, Nziguheba et Smolders (2008) ont analysé le contenu en Cd de 196 échantillons d'engrais phosphatés disponibles sur le marché européen (dont 18 issus de France). Ces auteurs ont estimé une valeur moyenne de 36 mg Cd.kg⁻¹ P₂O₅.

Tableau 2 : Concentration moyenne en cadmium dans l'étude de Nziguheba et Smolders (2008)

	Exprimé par rapport à la masse de l'engrais (en mg.kg ⁻¹)	Exprimé par rapport au contenu en phosphore (P) (en mg.kg ⁻¹ P)	Exprimé par rapport au contenu en anhydride phosphorique (P ₂ O ₅) (en mg.kg ⁻¹ P ₂ O ₅)
Moyenne	7,4	82,7	36
P95	25,3	185	80,5
Minimum	0,7	NC	NC
Maximum	42	NC	NC

(NC : non communiqué)

En 2012, Belon *et al.* ont réalisé un inventaire des éléments traces métalliques apportés sur les sols agricoles français. Six principales sources étaient considérées dans l'étude : les pesticides, les engrais minéraux, les effluents d'élevage, les boues et composts, les amendements et les dépôts atmosphériques. Le tableau suivant résume les concentrations en Cd identifiées dans les engrais minéraux :

Tableau 3 : Concentrations du Cd dans les catégories d'engrais (mg.kg⁻¹ MS) (Belon 2012)

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

En France, selon l'UNIFA, l'utilisation d'engrais phosphatés minéraux a diminué d'un facteur 6 depuis 1972 (cf Audition UNIFA du 28 avril 2017). Cette information est à relier avec la diminution des ventes de phosphores en France (figure 8).

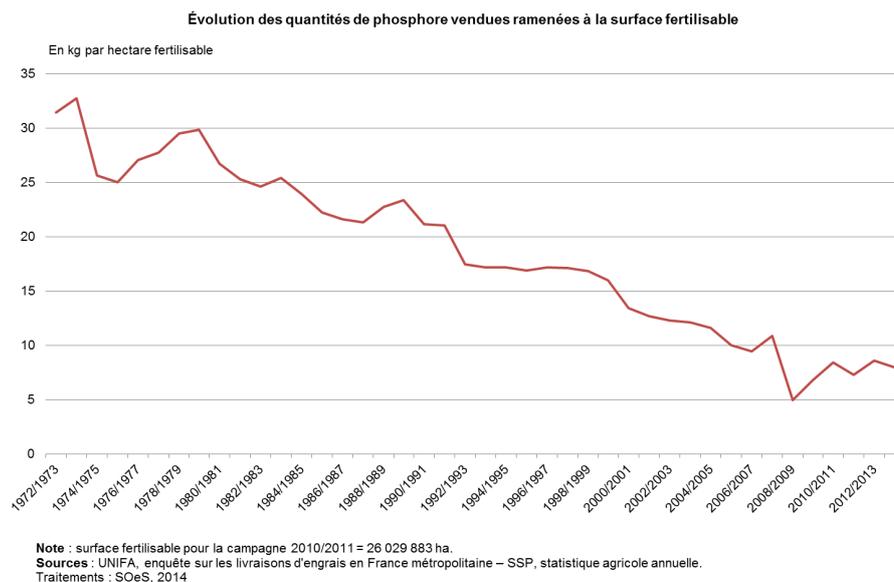


Figure 8 : Evolution des quantités de phosphore vendues en France ramenées à la surface fertilisable

Source : <http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/lessentiel/ar/2396/0/lutilisation-engrais-phosphores-france.html> consulté le 3 août 2018

Ramenées à la surface fertilisable, les quantités minérales de phosphore épandues s'élevaient à 8,4 kg par hectare fertilisable, pour la campagne de fertilisation 2012/2013.

A cette période, seule la moitié des surfaces de grandes cultures recevait des engrais minéraux phosphatés. Il en résulte que les apports de phosphate minéral (P_2O_5) s'élevaient

en moyenne à 56 kg (soit environ 24 kg de phosphore) par hectare fertilisé (source : enquête « pratiques culturales 2011 » du service de la statistique et de la prospective - SSP).

La présence de cadmium (Cd) dans les phosphates minéraux se traduit par un apport moyen de 2,0 g Cd/ha/an, en se basant sur les hypothèses suivantes :

- Estimation du flux moyen de cadmium apporté par les fertilisants :

En considérant une teneur moyenne d'un engrais phosphaté en France de 0,036 g Cd/kg P₂O₅ citée dans l'étude du Nziguheba et Smolders (2008) et un apport moyen de P₂O₅ en France de 56 kg/ha/an selon les données de l'UNIFA, on peut estimer que le flux annuel apporté par les fertilisants phosphatés est de 2,016 g Cd.ha⁻¹.an⁻¹.

Toutefois, le flux annuel estimé d'apport en cadmium par les fertilisants peut augmenter si on considère un engrais au seuil réglementaire en Cd et apporté sur un sol pauvre en phosphore nécessitant de combler ce manque pour la nutrition des cultures.

- Estimation du flux maximum de cadmium susceptible d'être apporté par les fertilisants :

En considérant une teneur maximale d'un engrais phosphaté en France de 0,09 g Cd/kg P₂O₅ réglementaire et un apport pour un sol pauvre en P₂O₅ en France de 100 kg/ha/an (apport annuel pire cas (utilisé dans le rapport relatif à la question 3) lié à un épandage annuel pour une rotation pomme de terre/blé/blé), on peut estimer que le flux annuel maximal apporté par les fertilisants phosphatés pourrait être de 9,0 g Cd.ha⁻¹.an⁻¹ max.

En France, les pratiques agricoles varient fortement selon les territoires. Les régions pour lesquelles les apports de phosphates minéraux sont les plus importants sont situées sur un axe Sud-Ouest/Nord-Est et sont notamment celles qui produisent du maïs grain : Aquitaine et Alsace où plus de 80 % des surfaces ont été fertilisées en apportant du phosphate minéral) – (source : enquête pratiques culturales grandes cultures 2011 (Agreste 2014)).

3.4 Cas des MAFOR

3.4.1 Généralités

En plus de l'application d'engrais, d'autres épandages de matières fertilisantes telles que les boues de stations d'épuration (STEP) ou les effluents d'élevage peuvent accroître les concentrations en cadmium dans les sols cultivés. Par exemple, l'ensemble des aliments consommés par les animaux (ainsi que l'Homme) contient du cadmium qui est éliminé par les déjections. Ces dernières sont riches en matières organiques et en nutriments (azote et phosphore) qui apportent au sol et aux cultures un amendement et une fertilisation. Les déjections animales (effluents d'élevages) et humaines (boues de station d'épuration) sont majoritairement épandues. Les effluents d'élevage ne sont pas considérés comme des « déchets » s'ils sont épandus sur les terres des propriétaires des animaux qui les ont produits. Dans ce cas, il n'y a alors aucune réglementation sur les apports de contaminants *via* leur épandage. Pour les boues de STEP, le plan d'épandage doit préciser que l'apport au sol doit répondre à un besoin agronomique et il fixe un seuil en cadmium dans les boues. Récemment, un cahier des charges fixant des préconisations pour les épandages de digestats de déchets agricoles a également défini des exigences sur les teneurs et les flux en cadmium apportés par digestats épandus.

Par ailleurs, certains sous-produits ou déchets peuvent être valorisés sur les sols comme amendements organiques. Sont concernés notamment les composts de boues de station d'épuration, de déchets verts ou de restes de cuisine. Ces composts apportent essentiellement de la matière organique et leurs teneurs en azote et en phosphore sont plus faibles que celles des effluents d'élevage ou des boues de STEP. Néanmoins, les apports en

azote et phosphore doivent être pris en compte dans les bilans de fumure. Les normes accompagnant la mise sur le marché de ces produits tiennent compte des apports en cadmium (en fixant des seuils maximums de concentrations et de flux).

Des déchets apportant du magnésium ou du calcium et permettant une hausse du pH des sols acides (amendements basiques) peuvent contenir du cadmium. Cette situation est notamment observée dans le cas des amendements basiques sidérurgiques, des écumes de sucrerie ou encore des carbonates de calcium issus de la production de pâte à papier (Belon *et al.*, 2012). La norme française encadrant ces produits précise des seuils maximums en cadmium. Pour ce qui concerne les produits soumis à l'obtention d'une AMM, le « Guide pour la constitution des dossiers de demande d'homologation Matières fertilisantes - Supports de culture » (formulaire cerfa n° 50644#01) précise notamment les flux de cadmium acceptables sur les sols agricoles français (Annexes 3 & 5).

3.4.2 Cas des effluents d'élevage

Le cadmium contenu dans les MAFOR peut être présent sous des formes chimiques différentes et avoir une spéciation différente. Le cadmium peut alors présenter une biodisponibilité différente.

Le tableau ci-dessous résume les concentrations en cadmium recensées par Belon *et coll.* en 2012 dans les effluents d'élevage.

Tableau 4 : Concentration en Cd des effluents d'élevage (mg.kg⁻¹ MS) (Belon, 2012)

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]

Depuis 2014, à l'aide du calculateur Composim, il est dorénavant possible d'estimer par exploitation les quantités et la composition chimique des déjections produites par les porcs, les bovins et les volailles. Les quantités d'effluents sont exprimées en tonne par an pour les solides (fumier, compost) et en m³ par an pour les liquides (lisier) (techporc, 2014).

Dans le cadre d'une recherche plus détaillée, des données issues de la compilation de plus de 3500 valeurs d'analyse, sont également disponibles pour la filière porcine. Ainsi la composition moyenne de 10 effluents porcins bruts et 15 co-produits de traitement des lisiers et fumiers figure dans un guide édité par l'Institut Technique du Porc (IFIP 2005).

3.4.3 Cas des amendements basiques

Les amendements basiques sont utilisés pour chauler les sols, c'est-à-dire augmenter le pH d'un sol et améliorer sa structure. En matière d'amendements basiques, on distingue principalement les produits à base d'oxydes de calcium et/ou de magnésium (chaux vives et chaux vives magnésiennes) et les produits à base de carbonates de calcium et de magnésium.

Les dénominations et spécifications des amendements minéraux basiques sont définies dans la norme NFU44-001 « Amendements minéraux basiques - Dénominations et spécifications ».

Les amendements basiques étant obtenus à partir de roches sédimentaires, ils peuvent potentiellement être contaminés par des traces de cadmium (Belon *et coll.* 2012).

Tableau 5 : Concentration en Cd pour les amendements Ca et Mg (mg.kg⁻¹ MS) (Belon 2012)

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]

3.4.4 Cas des boues de STEP et des composts

3.4.4.1 Cas général

Les boues de STEP sont générées par le traitement des eaux usées urbaines. Le recyclage des boues en agriculture s'inscrit dans une logique agronomique. En effet, l'épandage des boues permet un apport d'azote et de phosphore aux plantes. Par ailleurs, un apport de matière organique évite l'acidification des sols en cas de boues chaulées (Agence de l'eau, 2016).

L'intérêt agronomique des boues de STEP est toutefois à contrebalancer avec quelques inconvénients : les boues contiennent des éléments traces métalliques et des composés traces organiques à de très faibles concentrations, des micro-organismes et peuvent provoquer occasionnellement des gênes olfactives importantes.

Dans les faits, les boues épandues respectent largement les concentrations maximales autorisées (cf Audition des gestionnaires de STEP).

Le tableau ci-dessous résume les concentrations en cadmium recensées par Belon *et coll.* en 2012 dans les boues de STEP et les composts.

Tableau 6 : Teneurs en Cd dans les boues de STEP et les composts (mg.kg⁻¹ 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]

En comparaison, le tableau ci-dessous rappelle les seuils réglementaires limites en cadmium dans les boues.

Tableau 7 : Valeurs des seuils réglementaires en Cd dans les boues de STEP et les composts

Élément	Valeur limite dans les boues (mg.kg MS ⁻¹)	Flux maximum cumulé apporté par les boues en 10 ans (g.m ⁻²)	Flux maximum cumulé apporté par les boues en 10 ans (g.m ⁻²) pour les pâturages ou les sols de pH inférieurs à 6
Cd	10	0,015	0,015

(Source : Arrêté du 8 janvier 1998 fixant les prescriptions techniques applicables aux épandages de boues sur les sols agricoles pris en application du décret n° 97-1133 du 8 décembre 1997 relatif à l'épandage des boues issues du traitement des eaux usées)

3.4.4.2 Cas des boues de STEP issues d'installations classées pour l'environnement (ICPE)⁴ :

Les textes principaux régissant l'épandage des boues de STEP issues d'ICPE sont :

- L'arrêté modifié du 2 février 1998 relatif aux prélèvements et à la consommation d'eau ainsi qu'aux émissions de toute nature des installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation ;
- L'arrêté du 3 avril 2000 relatif à l'industrie papetière.

⁴ Source : <http://www.installationsclassees.developpement-durable.gouv.fr/Epandage.html> consulté le 3 août 2018

Pour ces deux arrêtés, les valeurs limites en Eléments Trace Métalliques (ETM) et en Composés Trace Organiques (CTO) sont identiques à la réglementation des boues urbaines. L'arrêté du 3 avril 2000 diffère de l'arrêté du 02 février 1998 sur les quantités maximales de matières sèches pouvant être épandues. Par dérogation du préfet, la dose d'épandage maximum de 3T de matière sèche/ha/an peut être étendue à 6T de matière sèche/ha/an sur la base d'arguments agronomiques (pour une période de 10 ans).

3.4.5 Cas des MFSC faisant l'objet d'une AMM

La matière organique entrant dans la composition de ces produits transformés provient essentiellement d'effluents d'élevage (CGEDD 2015).

Ces matières font l'objet d'une demande d'AMM et se doivent de respecter des valeurs maximales en ETM (cadmium : 45 g Cd/ha/an, 15 g/ha/10ans).

3.4.6 Résumé des concentrations en Cd apportées par les MFSC

Une carte d'apport au sol en France du cadmium a été réalisée dans l'étude de [Belon et al., 2012] et est visible ci-dessous :

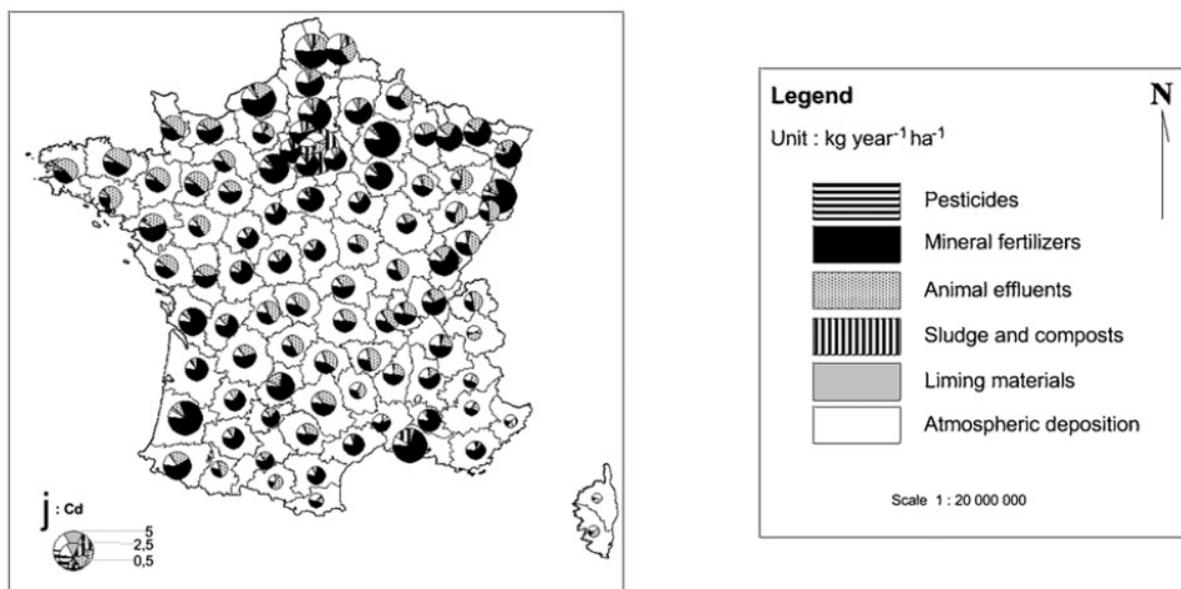


Figure 9 : Retour au sol du cadmium en France sur les sols agricoles

Il est constaté sur cette carte que les apports en cadmium au sol sont fortement liés aux fertilisants minéraux dans les départements de grandes cultures. Il est également à noter que les effluents d'élevage contribuent fortement aux apports au sol dans les régions d'élevage (Bretagne par exemple).

Pour l'ensemble de la France [Belon et al., 2012], les apports en Cd via les différentes catégories de matières fertilisantes sont estimés dans le tableau suivant :

Tableau 8 : Estimations moyenne, minimum et maximum des quantités en Cadmium entrant sur le sol agricole selon différentes sources de contamination

Catégorie	CdMoy kg.an ⁻¹	CdMin kg.an ⁻¹	CdMax kg.an ⁻¹
Total traitements phytosanitaires	0	0	0
Engrais phosphatés	26696	5205	62449
Total Engrais minéraux	29096	6848	65985
Total porcins	927	751	1171
Total Déjections animales	13157	5463	42727
Total Amendements calciques et magnésiens	1300	77	19168
Boues de STEP urbaines	663	15	20729
Total Boues et composts	2611	197	39217
Retombées atmosphériques	7498	4390	11985

Ainsi, les apports en cadmium au sol seraient majoritairement liés aux engrais phosphatés (plus de 26 tonnes par an en moyenne) et aux déjections animales (plus de 13 tonnes par an en moyenne). Les boues de STEP urbaines n'apporteraient en moyenne que 0,6 tonnes pour une année.

3.5 Flux de cadmium entrant sur les sols agricoles en France métropole

Les données présentées ci-dessous sont issues du rapport de Belon *et al* de 2012.

Tableau 9 : Bilan des flux de cadmium entrant dans les sols français

Source	Cd Moy g.ha ⁻¹ .an ⁻¹	Cd Max g.ha ⁻¹ .an ⁻¹
Traitements phytosanitaires	0	0
Engrais minéraux		
Scénario 1 : Fertilisation moyenne	1,6	3,6
Scénario 2 : 86 unités de P2O5/ha/an apportées par :		
Simples P	4,0	6,4
Binaires PK	3,7	5,9
Composés NP, NK, NPK, OM	1,3	2,1
Déjections animales		
Cas 1 : approche globale		
Emis au champ	0,4	1,5
Epanchés sur cultures et prairies	2,1	6,6
Cas 2 : scénario d'épandage de 170 unités d'azote		
Lisiers de porc	1,0	1,3

Source	Cd Moy g.ha ⁻¹ .an ⁻¹	Cd Max g.ha ⁻¹ .an ⁻¹
Déjections bovines	1,7	6,0
Amendements calciques et magnésiens		
Cas 1 : flux à l'épandage		
Carbonates	0,2	33,0
Dolomies	0,2	14,9
Chaux vives calciques	0,1	5,7
Chaux vives magnésiennes	1,1	11,1
Ecume de sucrerie	1,0	30,0
Cas 2 : flux moyenné sur la fréquence d'apport		
Carbonates	0,1	11,0
Dolomies	0,1	5,0
Chaux vives calciques	0,0	1,9
Chaux vives magnésiennes	0,4	3,7
Ecume de sucrerie	0,3	10,0
Boues et composts		
Cas 1 : flux à l'épandage		
Boues de STEP urbaines	2,4	75,0
Composts de déchets verts	4,1	51,3
Composts de boues de STEP	4,9	36,0
Composts de biodéchets	3,2	10,5
Boues papetières primaires mixtes	2,0	8,0
Cas 2 : flux moyenné sur la fréquence d'apport lorsqu'elle est connue		
Boues de STEP urbaines	0,8	25,0
Retombées atmosphériques	0,3	0,4
Irrigation	0,0	0,0
Cendres de chaufferie bois (cas de la Bretagne)		
Flux à l'épandage	17,2	26,3
Flux moyenné sur la fréquence d'apport (3 ans)	5,7	8,8

Source	Cd Moy g.ha⁻¹.an⁻¹	Cd Max g.ha⁻¹.an⁻¹
Rappel seuil homologation des MFSC – flux maximaux annuels	15	

4 Evaluation des expositions au cadmium

4.1 Méthodologie

Afin de recueillir des données permettant d'estimer les niveaux d'exposition au cadmium des travailleurs exposés lors de la fabrication, l'utilisation d'engrais phosphatés ou de MAFOR (boues de STEP notamment), les démarches suivantes ont été menées :

- Entretien avec les professionnels du secteur de la fabrication des engrais phosphatés (UNIFA par exemple) ;
- Envoi d'un questionnaire aux acteurs professionnels de la filière.
- Recherche bibliographique concernant les niveaux d'exposition atmosphériques et les niveaux d'imprégnation en cadmium (cadmiuries) ;
- Interrogation de la base de données d'expositions professionnelles COLCHIC gérée par l'INRS ;
- Visites d'établissements agricoles et de stations d'épuration des eaux usées ;
- Réalisation, par le laboratoire de la CARSAT du Nord de la France, de mesures d'exposition au cadmium dans une unité de fabrication et de de conditionnement d'engrais phosphatés ;
- Mesure de l'imprégnation en cadmium des travailleurs d'une STEP, par dosage urinaire, réalisée par un service de santé au travail.

L'exploitation de l'ensemble des informations recueillies a été effectuée par les experts, de façon à pouvoir estimer les niveaux d'exposition au cadmium des travailleurs de la filière MFSC.

En milieu professionnel, l'exposition au cadmium et à ses composés peut se faire par les voies respiratoires mais également via des ingestions accidentelles de poussières à partir des mains contaminées et de la nourriture (Recommandations de bonne pratique pour la surveillance médico-professionnelle des travailleurs exposés ou ayant été exposés à des agents cancérigènes pulmonaires, argumentaire d'octobre 2015 – HAS 2015 - Décision n°2015.0236/DC/SBP).

Dans la mesure où le cadmium est connu pour présenter des effets systémiques (notamment des effets cancérigènes et rénaux) et que l'exposition professionnelle au cadmium peut mettre en jeu des voies d'exposition autres que la voie inhalatoire, le recours à la surveillance biologique des expositions est la méthode à utiliser préférentiellement pour l'évaluation des expositions parce qu'elle permet une évaluation de la dose interne réellement absorbée. Ceci est d'autant plus important pour le cadmium et ses composés qu'il s'agit d'un agent dont la toxicité est liée à la dose cumulée dans le temps (INRS, 2016).

4.2 Valeurs de référence pour évaluer les expositions professionnelles au cadmium

La Direction générale du travail a saisi l'AFSSET en 2007, devenu en 2010 l'Anses, afin de recommander des valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP) pour le cadmium et ses composés (saisine 2007-SA-0425) basées sur une évaluation des effets sanitaires. L'Anses a souhaité démarrer ses travaux d'expertise par l'évaluation des indicateurs biologiques d'exposition en vue de la recommandation de valeurs biologiques pour la surveillance biologique des expositions professionnelles au cadmium et ses composés (Anses 2015).

4.3 Valeurs de référence recommandées par l'Anses pour la surveillance biologique des expositions professionnelles

Le cadmium urinaire, le cadmium sanguin, la β 2-microglobuline (β 2M) urinaire et la protéine transporteuse de rétinol (RBP) urinaire ont été retenus comme indicateurs pertinents pour le suivi biologique des expositions professionnelles du cadmium et de ses composés.

Compte tenu des données disponibles au moment des travaux relatifs à cette saisine, il n'a pas été possible de construire une (des) valeur(s) limite(s) biologique(s) sur la base de la cancérogénicité du cadmium. A défaut, c'est l'effet rénal qui a été retenu pour la construction des valeurs limites biologiques (VLB) pragmatiques pour le cadmium urinaire et pour le cadmium sanguin.

Le cadmium urinaire et le cadmium sanguin ont été retenus comme indicateurs biologiques d'exposition afin de prévenir la toxicité tubulaire du cadmium. La β 2M urinaire et la RBP urinaire ont également été retenues comme indicateurs biologiques d'effets précoces sur la fonction rénale. Les valeurs suivantes ont pu être recommandées :

Pour le cadmium urinaire :

- une VLB de $5 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ de créatinine est recommandée sur la base d'une augmentation de la prévalence des concentrations urinaires de RBP ou de β 2M supérieures respectivement à $285 \mu\text{g}/\text{g}$ de créatinine pour la RBP et à $295 \mu\text{g}/\text{g}$ de créatinine pour la β 2M observées dans l'étude de Chaumont *et al.* de 2011 ;
- une valeur seuil de $2 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ de créatinine pour la mise en place d'un suivi périodique des marqueurs urinaires précoces de tubulopathie (RBP et β 2M) en comparant les résultats obtenus aux valeurs biologiques de référence proposées pour ces deux marqueurs ;
- des valeurs biologiques de référence de $0,8 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ de créatinine (non-fumeurs) et $1 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ de créatinine (fumeurs) ont été recommandées à partir des données issues de l'étude ENNS en population générale française (Fréry, 2011).

Pour le cadmium sanguin :

- Une VLB de $4 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ a été déterminée à partir des études de terrain portant sur la relation entre les concentrations en cadmium sanguin et urinaire
- Des valeurs biologiques de référence de $0,7 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ (non-fumeurs) et $3 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ (fumeurs) ont été recommandées à partir de données de la population générale allemande

(étude GerES, (Becker 2002)), faute de données françaises disponibles au moment de l'élaboration de la VBR.

Pour la β 2-microglobuline (β 2M) urinaire :

- une valeur biologique de référence de $250 \mu\text{g.g}^{-1}$ de créatinine définie sur la base de valeurs retrouvées dans une population de témoins non professionnellement exposés.

Pour la protéine transporteuse de rétinol (RBP) urinaire :

- une valeur biologique de référence de $250 \mu\text{g.g}^{-1}$ de créatinine définie sur la base de valeurs retrouvées dans une population de témoins non professionnellement exposés.

4.4 Valeurs de référence recommandées par l'Anses pour la surveillance des concentrations atmosphériques sur les lieux de travail

Une VLEP-8h pragmatique de $3 \mu\text{g.m}^{-3}$ (prélèvement de la fraction inhalable) pour le cadmium et ses composés en retenant comme effet critique l'atteinte de la fonction rénale et une valeur limite d'exposition à court terme (VLCT-15 min) pragmatique de $15 \mu\text{g.m}^{-3}$ (prélèvement de la fraction inhalable) ont également été recommandées.

4.5 Valeurs réglementaires en vigueur en France

Il existe actuellement une valeur moyenne d'exposition sur 8 heures (VME) pour le cadmium et ses composés de $0,05 \text{mg.m}^{-3}$. Cette valeur a été établie par la circulaire du 7 juillet 1992 (modifiant et complétant la circulaire du 19 juillet 1982 modifiée) relative aux valeurs admises pour les concentrations de certaines substances dangereuses dans l'atmosphère des lieux de travail. Cette circulaire fixe, également pour l'oxyde de cadmium, une valeur limite d'exposition indicative sur 15 min de $0,05 \text{mg.m}^{-3}$ en cadmium mais pas de valeur moyenne indicative sur 8 heures.

Ces valeurs ne concernent que l'exposition par inhalation.

4.6 Autres valeurs recommandées pour les professionnels

En 2017, le SCOEL a recommandé pour la surveillance biologique du cadmium et ses composés inorganiques une valeur limite biologique « acceptable » (biological limit value ou BLV) de $2 \mu\text{g.g}^{-1}$ de créatinine pour le cadmium urinaire. Il a également recommandé une VLEP-8h de $1 \mu\text{g.m}^{-3}$ de cadmium pour la fraction inhalable.

Il existe également des valeurs biologiques recommandées par des sociétés ou des organismes de santé au travail (source : Site Biotox <http://www.inrs.fr/publications/bdd/biotox.html>, consulté le 08/12/2017) :

- L'ACGIH aux USA (BEI) :
 - Le cadmium urinaire (2015) : $5 \mu\text{g.g}^{-1}$ de créatinine,
 - Le cadmium sanguin (2015) : $5 \mu\text{g.L}^{-1}$

- Le FIOH en Finlande (BAL) :
 - o Le cadmium urinaire (2014) : 20 nmol/L (2,2 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)
 - o Le cadmium sanguin (2007) : 50 nmol/L (soit 5,6 $\mu\text{g}/\text{L}$)

En Allemagne, la commission MAK (Maximale Arbeitsplatz-Konzentration) a proposé dans ses nouvelles recommandations de 2011 (MAK 2011), uniquement des valeurs BAR (Biologischer Arbeitsstoff-Referenzwert) pour les non-fumeurs de :

- Pour le cadmium urinaire : 0,8 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ de créatinine
- Pour le cadmium sanguin : 1 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$

5 Description des secteurs professionnels de la filière MFSC

5.1 Description des secteurs et des tâches

L'analyse des informations a révélé que les secteurs industriels inclus dans la filière MFSC et pour lesquels les travailleurs étaient susceptibles d'être exposés au cadmium étaient les suivants :

- Secteur de la production des engrais phosphatés (depuis le débarquement des matières premières importées (roches phosphatées) jusqu'à la commercialisation des produits finis (engrais) ;
- Secteurs industriels générant des MAFOR (STEP, élevages agricoles, etc) ;
- Utilisateurs de MFSC (agriculteurs, agents chargés de l'entretien des espaces verts...).

Les secteurs principaux de la filière MFSC pour lesquels une exposition au cadmium peut être suspectée, sont représentés dans la figure suivante :

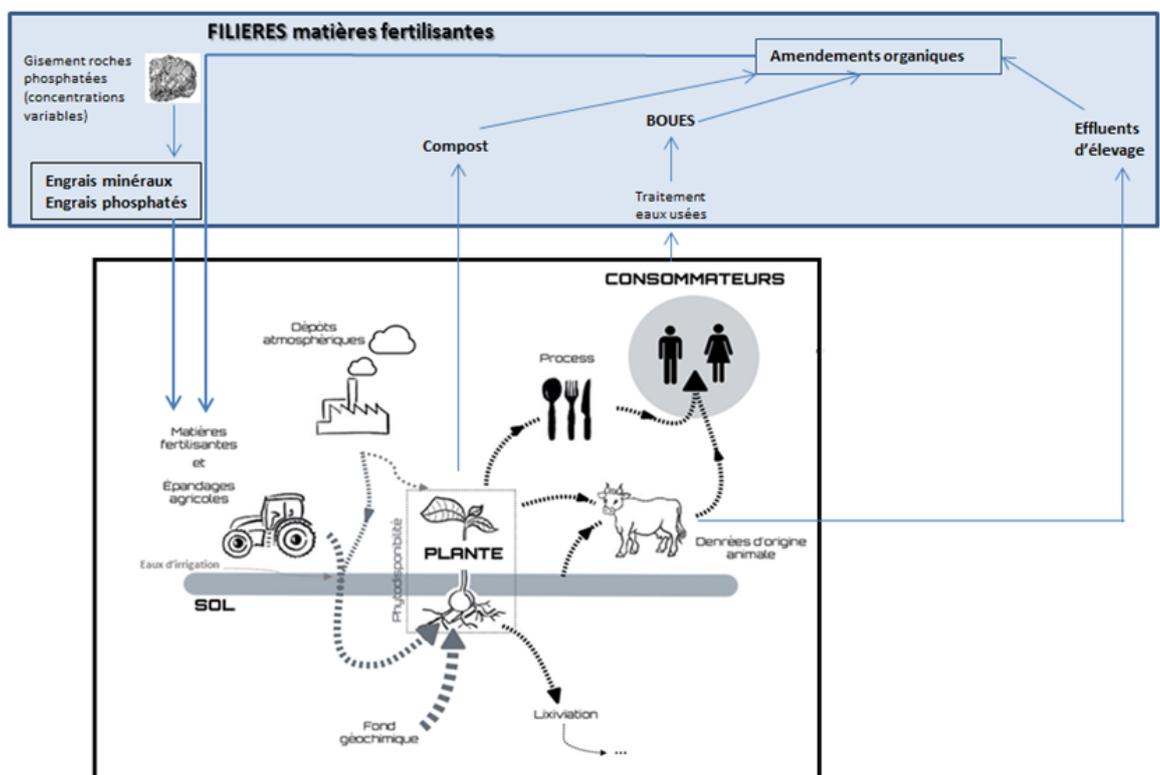


Figure 10 : Principaux secteurs de la filière MFSC pour lesquels une exposition au cadmium est suspectée

5.2 Description des données d'exposition disponibles pour ces secteurs professionnels

5.2.1 A partir des données bibliographiques

La recherche bibliographique a été conduite entre septembre 2015 et mars 2017, en utilisant *a minima* les mots clefs suivants : MFSC, boues de STEP, cadmium, exposition professionnelle, données d'imprégnation, ERS, en français et en anglais dans les bases de recherche tels que Scopus, Google scholar, etc.

Seules quelques concentrations atmosphériques (concentrations en poussières ou en cadmium) ont pu être identifiées en sus d'informations générales sur les différents secteurs de la filière :

5.2.1.1 Secteur relatif à la production des engrais phosphatés :

5.2.1.1.1 *Données générales*

Comme indiqué dans le paragraphe précédent (§ 2.2.2.1.), il n'existe pas de sites producteurs de phosphates naturels (roches phosphatées) en France. Les roches phosphatées sont importées et arrivent essentiellement sur le territoire français via les ports maritimes (ex. la Rochelle, Saint Malo, etc).

Dans le cadre de la recherche bibliographique, les experts ont été confrontés au fait que peu d'informations précises sont disponibles sur la qualité des matières premières utilisées (roches phosphatées) ou sur celles des produits transformés (engrais phosphatés). Il en va de même pour les nombreux facteurs (origine, transformations, caractéristiques des sols et des plantes) qui influencent les transferts sol-plante du cadmium potentiellement présent à plus ou moins forte dose dans ces engrais. Les fiches de données de sécurité (FDS) donnent des informations générales sur la composition chimique des engrais phosphatés mais ne donnent aucune information sur la concentration résiduelle en cadmium. Le cadmium étant présent à des concentrations inférieures à 0,1% dans les engrais phosphatés, c'est-à-dire à des concentrations inférieures à l'ensemble des seuils de classification CMR des mélanges, cela induit que les engrais phosphatés potentiellement contaminés en cadmium ne sont pas classés CMR. Cependant, dans la mesure où certaines MFSC sont des produits chimiques dangereux (ACD) utilisés en milieu professionnel, les règles générales de prévention du risque chimique peuvent s'appliquer (articles R. 4412-1 à R 4412-57). Néanmoins, aucun suivi individuel renforcé spécifique des travailleurs exposés au cadmium n'est imposé par le Code du travail.

5.2.1.1.2 *Données atmosphériques relatives à des opérations de déchargement de minerais phosphatés et leur acheminement vers les unités de fabrication de superphosphates*

Dans une publication étudiant la fonction pulmonaire des dockers impliqués dans les opérations de chargement et déchargement de cargos transportant diverses matières en vrac, dont des minerais phosphatés, les auteurs indiquent des concentrations atmosphériques moyennes aux poussières inhalables, pour différents postes de travail, variant de 0,3 à 80 mg/m³ (Heederick et al., 1994).

5.2.1.2 Secteur relatif aux boues de STEPS

5.2.1.2.1 Informations générales concernant une éventuelle exposition au cadmium dans la filière boues de STEP

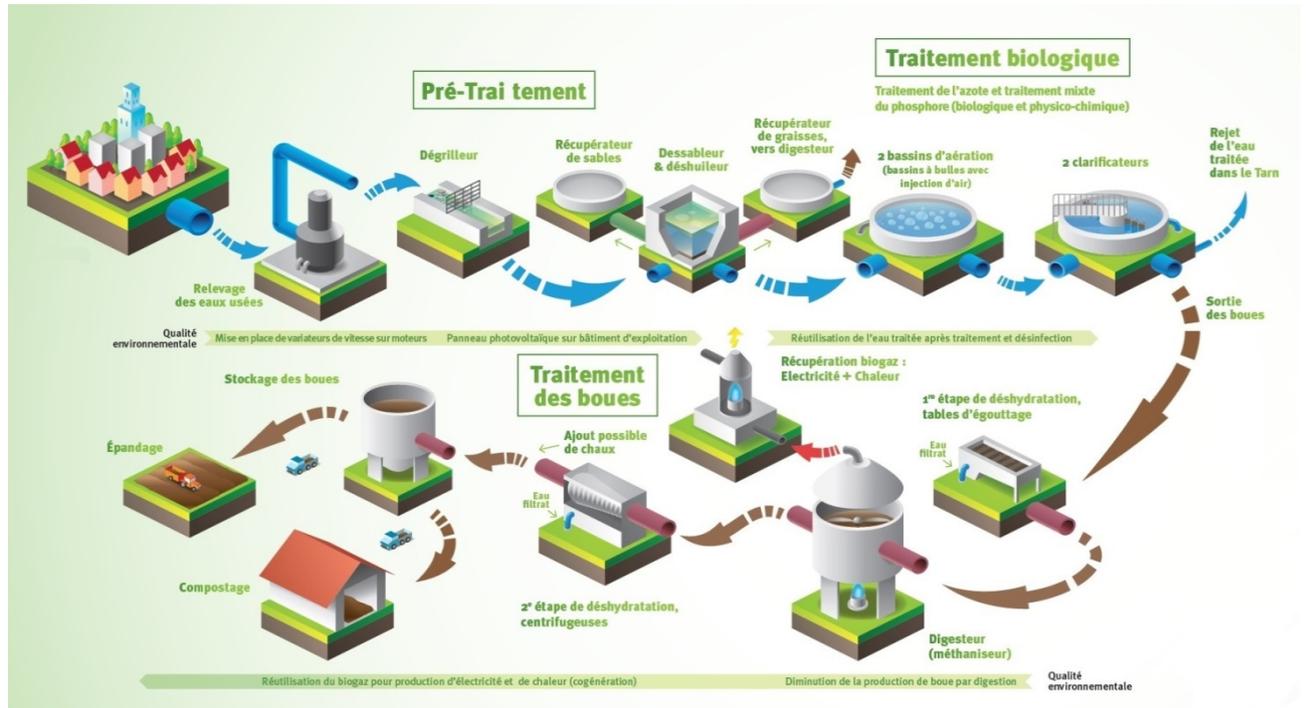


Figure 11 : Schéma du processus de fonctionnement d'une station d'épuration

Source : (<http://www.grand-albigeois.fr/401-la-station-d-epuration-de-la-madeleine.htm>)

Le cadmium est susceptible de pénétrer dans le processus de fonctionnement des STEPS par le biais des eaux de lixiviation et des eaux usées à retraiter (figure 11). De ce fait, *in fine*, le cadmium peut être retrouvé dans des boues de STEP, d'où la mise en place de contrôles finaux normalisés pour connaître le taux de cadmium dans les boues de STEP avant épandage⁵ (cf chap 3.4.4.1. Tableaux 6&7 et annexe STEP 2).

En début du procédé de traitement des eaux usées (INRS, 2013), le cadmium se retrouve à l'état de trace dans un volume important d'eau brute. Dépendant de la taille de l'agglomération, différents procédés d'épuration des eaux usées peuvent ensuite être mis en œuvre. Les eaux usées subissent éventuellement une succession de traitement physiques, chimiques, biologiques. A l'issue de ces divers traitements, les matières en suspension contenues dans les eaux usées brutes (traitement primaire) et les charges polluantes (dissoutes durant la période de dessablage et de déshuilage) vont décanter pour donner *in fine* des boues. Ces boues sont ensuite récoltées dans les bassins de décantation, pour éventuellement être séchées.

⁵ Pour rappel, la valeur limite dans les boues est de 10 mg/kg MS. Le tableau 6 recense des concentrations min-max en Cd allant de valeurs 0,037 à 50 mg/kg MS

A l'issue des visites effectuées en 2018 sur sites dans trois STEPs françaises et compte tenu des procédés de traitement des eaux usées évoqués précédemment, l'exposition atmosphérique au cadmium via les aérosols produits lors de ces opérations a été considérée comme négligeable (estimation de l'expert-rapporteur effectuée à la suite de visites sur site). En effet, après épuration des eaux brutes, les eaux sont rejetées dans le milieu naturel et le cadmium se retrouve concentré dans les boues. De ce fait, il a été estimé que l'exposition au cadmium est probablement plus importante lors du traitement et de la manipulation des boues séchées ainsi que lors des opérations de maintenance des installations (cf. annexe 10, compte-rendus des visites de STEPS).

En plus d'une exposition éventuelle par voie respiratoire, le CES n'exclut pas un risque d'exposition indirecte lié à la contamination des équipements de travail ou au manutentionnement, par voie digestive (INRS 2013).

5.2.1.2.2 *Données atmosphériques relatives à divers postes de travail lors du traitement de boues de STEP*

Des mesures d'exposition aux bioaérosols, effectuées par l'INRS en 2016, dans le cadre d'une étude nationale révèlent des concentrations ambiantes en poussières inhalables de l'ordre de 0,08 à 0,53 mg/m³. Ces mesures ont été effectuées à divers postes de travail du traitement des boues dont les zones de centrifugation et des sècheurs-granulateurs.

En 2007, des niveaux d'exposition aux poussières inhalables ont été mesurés dans l'une des STEPS visitées par l'Anses (STEP n°2 dans la suite du rapport) au niveau du poste de séchage-granulation. Ces niveaux variaient de 0,53 à 20 mg/m³. L'exposition au cadmium liée à cet empoussièrément était inférieure à 5 µg/m³.

5.2.2 A partir d'auditions des professionnels

Dans le cadre de cette saisine, des représentants professionnels du secteur des engrais phosphatés (Union des Industries de la Fertilisation (UNIFA) ont été auditionnés le 28 avril 2017). Une réunion téléphonique a également eu lieu entre le représentant de la Mutuelle sociale Agricole (MSA) et des agents Anses. Ces auditions ont permis de confirmer et compléter les informations recensées dans la littérature. Des précisions ont notamment pu être apportées sur la nature des différentes étapes du procédé de fabrication des engrais phosphatés génératrices de poussières (avec potentiellement une exposition au cadmium). Ces auditions n'ont toutefois pas permis d'obtenir de données d'imprégnation ou de concentrations atmosphériques.

5.2.3 A partir de l'envoi de questionnaires

Une enquête par questionnaire auprès des professionnels de la filière MFSC a été effectuée en vue de caractériser la population de l'étude ainsi que les modalités de travail lors de contact avec des MFSC. Des questionnaires spécifiques (cf Annexe 7) ont été envoyés par courrier électronique aux fédérations professionnelles des producteurs, distributeurs et utilisateurs de MFSC. Cette enquête s'est révélée peu fructueuse puisque l'Anses n'a reçu qu'un nombre très faible de réponses (3/28). De plus, aucune donnée sur les imprégnations des salariés exposés ou les concentrations atmosphériques de Cd n'a pu être obtenue via ces questionnaires.

5.2.4 A partir de l'extraction de la base de données COLCHIC

L'Anses a demandé à l'INRS de procéder à une extraction des données contenues dans la base de données COLCHIC. Les résultats fournis ont été obtenus à partir des mesures effectuées par les 8 laboratoires interrégionaux des CARSAT/CRAMIF et de l'INRS de 1987 à 2017. Les données exploitées appartiennent au secteur de la fabrication de produits azotés et d'engrais (NAF 2015Z). Il s'agit de concentrations atmosphériques de poussières d'engrais (superphosphates identifiables par un code spécifique CAPROEX POU 107). L'exploitation statistique a été faite à partir de résultats bruts correspondant à la durée de prélèvements non pondérée sur 8 heures et non corrigée par un facteur de protection puisque le port D'EPI n'était pas mentionné dans les rapports correspondants. L'exploitation des résultats a été réalisée en regroupant les mesures d'exposition (prélèvements individuels – QTI) et les mesures ambiantes (prélèvements à poste fixe – QTA). Cette exploitation porte sur des prélèvements d'une durée comprise entre 60 et 480 minutes, et stratifiée par tâche (table interne à COLCHIC permettant de décrire l'activité du salarié au moment du mesurage) pour les poussières inhalables et de manière globale pour le cadmium compte tenu du faible nombre de mesures.

Les tableaux ci-dessous récapitulent les résultats statistiques pour les poussières inhalables et le cadmium pour la période 1987-2017 pour le secteur de la fabrication de produits azotés et d'engrais.

Tableau 10 : Résultats statistiques pour les poussières inhalables pour la période 1987-2017 en mg/m³

Taches	Nb de mesures	Moy arithm.	SD	Min	C5	C25	C50	C75	C95	Max	Lois	MG	SG	C5 _{LH}	C25 _{LH}	C50 _{LH}	C75 _{LH}	C95 _{LH}
Autres taches	84	44	102	0,29	0,63	3,8	8,1	38	259	724	Log-normale	11	5,3	0,62	3,8	8,1	38	259
Broyage et tri	20	26	54	0,67	1,6	2,9	6	18	137	218	Log-normale	8	4,3	1,6	2,9	5,7	18	137
Conduite de chariots de manutention	16	9	15	1	1,2	2,4	3,3	8,3	27	61	Log-normale	4,4	2,9	1,2	2,4	3,3	8,3	22
Conduite et surveillance d'installations d'ensachage	15	11	20	0,04	0,1	0,82	2,6	4,2	45	73	Log-normale	2,4	6,6	0,25	0,81	2,6	4,2	42
Conduite et surveillance de mélangeurs	47	12	14	0,51	1,9	3,3	6,8	13	44	65	Log-normale	7,2	2,7	1,8	3,3	6,8	13	44
Conduite et surveillance de réacteurs	11	20	17	4,2	5,5	13	14	20	50	68	Log-normale	16	2,1	5,3	13	14	20	47
Conduite et surveillance de tamis et de cribles	13	14	16	0,4	0,51	1,1	7,4	21	41	57	Log-normale	5,6	5,1	0,5	1,1	7,4	21	40
Conduite et surveillance des machines de pastillage	32	25	39	0,24	0,66	4,9	9,2	28	106	176	Log-normale	9,8	4,6	0,63	4,9	9,2	28	103
Conduite et surveillance installations de broyage et de tri	13	171	153	15	18	60	131	203	464	498	Log-normale	108	3	18	60	131	203	464
Mélange, compression, moulage, réaction	14	16	13	1,1	2,8	7,8	8,4	27	36	36	Log-normale	11	2,7	2,4	7,7	8,4	27	36

Tableau 11 : Distribution de la durée de prélèvement de cadmium en minutes

	Moy. arithm.	Min	C5	C25	C50	C75	C95	Max
Durée (minutes)	220	113	129	166	237	262	409	443

Tableau 12 : Résultats statistiques pour le cadmium pour la période 1987-2017 en µg.m⁻³ et pour les poussières inhalables prélevées en même temps en mg.m⁻³

Taches	Nb de mesures	Moy arithm.	SD	Min	C5	C25	C50	C75	C95	Max	Lois	MG	SG	C5 _{LN}	C25 _{LN}	C50 _{LN}	C75 _{LN}	C95 _{LN}
Cadmium	22	1,1	0,98	0,1	0,2	0,5	0,6	1,8	2,7	3,8	Log-normale	0,77	2,6	0,2	0,5	0,59	1,8	2,7
PO inhalables prélevées en même temps que Cd	22	29	57	0,51	1,4	4	8,5	16	104	261	Log-normale	9,8	4,2	1,4	4	8,5	16	103

L'exploitation des données d'exposition COLCHIC montre que les niveaux d'empoussièrement les plus élevés (plusieurs dizaines de mg/m³) correspondent aux activités de broyage des matières premières.

5.2.5 A partir de la réalisation de campagnes de mesure

5.2.5.1 Secteur de la formulation d'engrais

Des mesures des concentrations atmosphériques de poussières inhalables (diamètre aérodynamique < 100 µm) et de cadmium ont été effectuées début 2018 par un laboratoire de la CARSAT Nord Picardie (rapport confidentiel) dans une entreprise spécialisée dans la formulation de fertilisants élaborés à partir de matières premières diverses, des phosphates et superphosphates. Lors des mesures, les phosphates utilisés renfermaient du cadmium à une concentration inférieure à 20 mg/kg (inférieure également aux concentrations indiquées par l'UNIFA : 60 mg/kg), alors que la quantité de superphosphates inclus dans les mélanges était de 5% en masse. A noter également dans certaines fabrications, l'utilisation possible de phosphate de di-ammonium phosphate (DAP) avec une concentration réduite en cadmium (< 0,5 mg/kg).

Alors que les concentrations atmosphériques en poussières inhalables pouvaient atteindre des concentrations supérieures à 10 mg/m³, les concentrations atmosphériques en cadmium⁶ étaient inférieures à 0,1 µg/m³.

Cette situation est liée à la fois à une faible teneur en cadmium (20 mg/kg) dans les roches phosphatées (matières premières) et au faible pourcentage (5%) de matières phosphatées entrant dans la composition de l'engrais final.

5.2.5.2 Secteur des boues de STEP

Dans le cadre de cette étude, l'Anses a procédé à trois visites de STEP. En relation avec la médecine du travail, des analyses de cadmiurie ont été réalisées en mai 2018 sur sept techniciens en poste au sécheur de boues et de granulation de la STEP n°2 en raison d'une exposition probablement élevée aux poussières inhalables mise en évidence lors de mesures réalisées par un laboratoire accrédité

Seuls six échantillons sur sept ont pu être exploités. Les résultats des analyses ont révélé des cadmiuries comprise entre 0,12 et 0,26 µg/g de créatinine.

5.2.6 Bilan des données recensées à l'issue de l'étude de filière des MFSC

L'étude de filière a permis de mettre en évidence les points suivants :

⁶ Mesures effectuées par spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif (ICP-MS)

- Les expositions qui sont essentiellement prises en compte par les entreprises sont celles liées aux poussières. En effet, la majorité des entreprises évalue les expositions de leurs salariés aux poussières inhalables mais pas spécifiquement au cadmium ;
- Aucune donnée biologique relative au cadmium pouvant être considérée comme représentative des niveaux d'exposition des travailleurs n'a été identifiée pour l'ensemble des secteurs de la filière ;
- Un nombre limité de mesures atmosphériques (concentrations en poussières inhalables et en cadmium) ont été identifiées à partir de données de la littérature, d'extraction de la base de données COLCHIC ou de campagne de mesures ; au regard de ce faible nombre, les données recensées ne peuvent pas être considérées comme représentatives de l'exposition au cadmium des travailleurs de la filière MFSC ;
- Pour un certain nombre de secteurs d'activité (ex. distribution d'engrais phosphatés, épandage de MFSC, exposition des agriculteurs, etc), aucune donnée atmosphérique n'a été recensée.

6 Evaluation des expositions au cadmium pour les travailleurs de ces secteurs d'activité

Il est à rappeler ici (comme indiqué à la section 4.1) que le cadmium est un agent dont la toxicité est liée à la dose cumulée dans le temps (INRS, 2016). En conséquence, il faut interpréter avec beaucoup de prudence une valeur d'exposition exprimée en concentration atmosphérique de cadmium mesurée ou estimée, d'autant plus si la durée d'exposition annuelle est très faible ou mal caractérisée.

6.1 Estimation des niveaux d'exposition au cadmium des travailleurs potentiellement en contact avec des engrais phosphatés

L'estimation des niveaux d'exposition a été réalisée par expertise, à partir des données de la littérature, des mesures d'exposition disponibles (Colchic (1987-2017), CARSAT Nord Picardie (2018), AST Lorraine (2018)) et des observations effectuées sur le terrain lors des visites sur site.

6.1.1 Opérations de déchargement de minerais phosphatés et acheminement vers les unités de fabrication de superphosphates

Heederick *et al.* (1994) indiquaient des concentrations moyennes aux poussières inhalables sur huit heures, pour les différents postes de travail, variant de 0,3 à 80 mg/m³. Sur la base d'une concentration moyenne en cadmium de 60 mg/kg de minerai, la concentration moyenne au cadmium sur huit heures, estimée à partir de ces données, se situerait entre 0,018 et 4,8 µg/m³ pour les différents postes de travail, soit des ratios d'exposition au cadmium, en référence à la VLEP de 3 µg/m³, recommandée par l'Anses, variant de 0,006 à 1,6. Des mesures effectuées en 2017 lors du déchargement de cargos de grain (Marchand *et al.*) semblent confirmer que l'exposition aux poussières n'est d'une manière générale toujours pas maîtrisée dans les phases de déchargement portuaire. Ceci tend à faire penser que, bien qu'anciennes et ayant trait à des poussières de nature différente, les données d'Heederick *et al.* peuvent encore être considérées comme pertinentes.

6.1.2 Opérations de fabrication des superphosphates

6.1.2.1 A partir des données COLCHIC

L'analyse des données (Annexe 8, nombre de mesures = 265) de la base COLCHIC de l'INRS sur la période 1987-2007 permet d'estimer l'exposition atmosphérique aux poussières inhalables et au cadmium lors de la fabrication d'engrais phosphatés.

L'exposition aux poussières inhalables (mesures ambiante et individuelle) est très élevée : 33 mg/m³ en moyenne, et peut atteindre plusieurs centaines de milligrammes par mètre cube d'air. En considérant une concentration médiane en cadmium de 60 mg/kg minerai (sur la base des données moyennes estimées par l'UNIFA lors de son audition du 28 avril 2016), la concentration atmosphérique moyenne estimée serait de l'ordre de 2 µg/m³ pour le cadmium. Pour un nombre limité de mesures, des déterminations simultanées de l'empoussièrement et du cadmium avaient également été réalisées. Pour une concentration

atmosphérique moyenne aux poussières de 29 mg/m³, la concentration atmosphérique moyenne en cadmium était de 1,1 µg/m³, pour une valeur maximale de 3,8 µg/m³.

6.1.2.2 A partir des données issues d'une campagne de mesure de concentrations atmosphériques aux poussières inhalables et au cadmium effectuée par un laboratoire de la CARSAT Nord Picardie en 2018 dans une entreprise spécialisée dans la formulation de fertilisants

En 2018, les concentrations atmosphériques mesurées en poussières inhalables dans une entreprise spécialisée dans la formulation de fertilisants pouvaient atteindre des concentrations supérieures à 10 mg/m³, et la concentration atmosphérique en cadmium était inférieure à 0,1 µg/m³ (cf. chap. 4.2.5.1).

En considérant un scénario d'exposition maximaliste avec une concentration atmosphérique en poussières inhalables de 50 mg/m³ (scénario pire des cas), contenant 5% de phosphate dans le mélange et une teneur en cadmium de 20 mg/kg P₂O₅, la concentration atmosphérique en cadmium serait de 0,05 µg/m³ :

$$20 \div 10^6 \times (50 \times 0,05) = 0,00005 \text{ mg/m}^3 \\ = 0,05 \text{ µg/m}^3$$

Il est à noter que le résultat de cette estimation indirecte n'est basé que sur quelques données chiffrées non représentatives de toutes les situations d'exposition de ce secteur.

6.1.3 Opérations de livraison à une coopérative agricole

Dans le cadre de cette saisine, l'Anses a procédé à une visite d'une coopérative agricole (Annexe 9). Au cours de cette visite, il a été noté que les expositions les plus importantes aux poussières survenaient lors des opérations de déchargement des camions de phosphates en provenance du port fluvial. Lors de ces opérations, l'exposition était probablement similaire à celle estimée pour les dockers des zones maritimes. Les travailleurs concernés par cette chaîne d'approvisionnement sont : le personnel du port, les chauffeurs de camion, le personnel de l'unité de stockage et en dernier lieu les agriculteurs lors de la livraison.

Concernant le personnel du site de stockage, en tenant compte des renseignements fournis, la durée d'exposition lors des déchargements des camions est approximativement de 3-4 heures par an. En l'absence de données bibliographiques, les visites de sites et entretiens avec les travailleurs laissent supposer que cette phase de travail est susceptible d'induire des expositions à des concentrations atmosphériques de poussières inhalables probablement supérieures à 10 mg/m³ lorsque l'opérateur rentre dans la cellule de stockage pour déplacer le dispositif de déchargement (avis d'expert).

En considérant une concentration atmosphérique en poussières inhalables de 10 mg/m³ et une concentration en Cd de 60 mg/kg P₂O₅, la concentration atmosphérique estimée de cadmium serait de l'ordre de 0,6 µg/m³. L'exposition durant les chargements d'épandeurs (livraison aux agriculteurs) est du même ordre de grandeur en ce qui concerne la durée d'exposition mais avec des concentrations atmosphériques estimées plus faibles (avis d'expert considérant un espace non clos, un chargement à l'air libre, etc.).

6.2 Estimation des niveaux d'exposition au cadmium des travailleurs exerçant dans les STEPs

Dans ce secteur d'activité, en considérant le respect des teneurs maximales autorisées en cadmium dans les boues de STEP (à savoir 10 mg Cd/kg MS), les mesures d'ambiance à poste fixe effectuées⁷ par l'INRS en 2016 tendent à indiquer que les concentrations en cadmium seraient de l'ordre du nanogramme par mètre-cube d'air.

Cela conduit à considérer que l'exposition au cadmium des travailleurs de ces STEPS serait faible au regard de la VLEP-8h de 3 µg/m³ recommandée par l'Anses.

Cette estimation est confortée par les analyses de cadmiurie réalisées sur 7 techniciens en poste dans un sécheur de boues d'une des STEP visitées. En effet, pour les 6 travailleurs (fumeurs et non-fumeurs) pour lesquels les mesures de cadmiurie étaient exploitables, les valeurs mesurées par ICP-MS sont inférieures à 0,8 µg/g de créatinine, valeur correspondant à la VBR recommandée pour les non-fumeurs et correspondant au 95^{ème} percentile des valeurs retrouvées dans la population générale d'adultes de l'étude française ENNS (Fréry et al., 2009).

6.3 Estimation des niveaux d'exposition au cadmium des professionnels pour lesquels aucune donnée atmosphérique n'a pu être identifiée

6.3.1 Professionnels concernés par l'épandage de MAFOR

En plus des agriculteurs, le secteur du transport et de l'épandage de matières fertilisantes d'origine résiduaire (MAFOR) regroupe des entreprises spécialisées dans les travaux agricoles. Ces entreprises disposent généralement d'outils récents, présentant de fortes capacités d'épandage et spécialisés par type de gisement (organique liquide, engrais minéraux, organiques solides ou digestats). Les opérations d'épandage au champ peuvent donner lieu à une émission importante de poussières, notamment lors de l'épandage de boues séchées.

Pour ces opérations d'épandage, aucune donnée d'empoussièrément n'a été recensée. Cependant, en considérant que :

- le conducteur est le plus souvent isolé dans une cabine de catégorie 4 selon la norme NF EN 15695 (cabine pressurisée),
- les outils modernes employés diminuent les émissions d'aérosols (dispersion au ras du sol à l'aide par exemple de pendillard auto-moteur associé ou pas à un enfouisseur),

⁷ Pour rappel, les concentrations ambiantes en poussières inhalables étaient de l'ordre de 0,08 à 0,53 mg/m³.

- les produits épandus contiennent le plus souvent de faibles teneurs en cadmium (entre 0,02 et 50 mg.kg⁻¹ MS) (cf. chap 3- concentrations en Cd identifiées dans l'étude de Belon, 2012) ;

l'exposition par inhalation des opérateurs aux poussières-aérosols peut être considérée comme faible et donc que l'exposition atmosphérique au cadmium durant ces opérations peut être considérée comme négligeable au regard de la VLEP-8h pragmatique de 3 µg/m³ recommandée par l'Anses.

Le CES tient toutefois à souligner que seules des mesures biologiques en cadmium urinaire permettraient de confirmer ou infirmer l'exactitude de cet avis d'experts.

Concernant les opérations de déchargement-chargement des boues sèches, au regard de la diversité des outils potentiellement utilisés (pelle mécanique ou tracteur avec ou sans cabine), de la configuration des zones de travail (stockage en grande quantité sur un même lieu, à l'air libre, etc), il a été estimé que ces opérations pourraient conduire à une exposition atmosphérique non négligeable aux poussières. Toutefois, celle-ci n'a pu être quantifiée puisqu'aucune mesure n'était disponible.

6.3.2 Les travailleurs agricoles

Aucune donnée atmosphérique relative à l'émission de poussières ou de données biologiques en cadmium n'ont pu être identifiées. Toutefois, les experts estiment pouvoir émettre les hypothèses suivantes :

6.3.2.1 Opérations de chargement du matériel avant épandage

Les opérations de chargement des épandeurs agricoles à l'aide d'une pelle mécanique peuvent générer de grandes quantités de poussières. Les opérations relatives aux boues de STEP ou aux engrais phosphatés sont généralement effectuées par des personnels d'entreprises spécialisées en épandages (boues) et des coopératives agricoles (engrais phosphatés). Si l'approvisionnement en engrais phosphatés s'effectue via un big-bag⁸, une exposition de l'agriculteur aux poussières pourra avoir lieu lors de l'ouverture de celui-ci. Toutefois, certains engrais phosphatés font l'objet d'un enrobage par des tensioactifs visant à diminuer l'émission de poussières⁹. De plus, selon l'UNIFA, les engrais granulés sont tamisés et dépoussiérés avant d'être livrés aux agriculteurs ; un traitement anti-poussière peut être également appliqué à la surface des granulés. De ce fait, l'exposition atmosphérique au cadmium d'un agriculteur lors de ces opérations est présumée faible au regard de la VLEP-8h de 3 µg/m³ recommandée par l'Anses. Néanmoins, afin de confirmer ou d'infirmer la validité de cet avis d'experts, les experts rappellent la nécessité de disposer de données biologiques. Ces données (telles que les cadmiuries) pourraient être obtenues pour ces populations lors d'enquêtes de type Family Farm (qui prévoit la réalisation de dosages urinaires afin de mesurer l'exposition des agriculteurs aux pesticides).

⁸ Un *big-bag* est un grand sac souple, permettant des livraisons en vrac de grandes quantités de matières sèches non dangereuses diverses (engrais, sable, gravats, etc.).

⁹ Informations obtenues lors de l'audition de l'UNIFA et sur le site de CECA <https://www.cecachemicals.com/fr/a-propos-de-ceca/ceca-en-bref/>

6.3.2.2 Exposition lors des épandages agricoles d'engrais phosphatés (Annexe 11)

La période d'épandage des engrais phosphatés a lieu une fois par an sur une durée de quelques jours, généralement à l'automne. L'épandage est réalisé à l'aide d'un épandeur centrifuge, équipé d'une trémie, fixée à l'arrière du tracteur. Le chargement est réalisé directement à la coopérative agricole ou sur l'exploitation lorsque les engrais sont livrés en big-bags. Ce dernier scénario est probablement plus générateur de poussières mais sur une durée très courte. Au regard des conditions d'usage des matériels agricoles utilisés lors de ces étapes (tracteur avec cabine, etc.), la fréquence et la durée annuelle de ces opérations, l'exposition au cadmium induite par ces activités est supposée négligeable par les experts. Mais comme dans les paragraphes précédents, ils rappellent la nécessité de disposer de données biologiques pour pouvoir confirmer la validité de cette estimation.

6.3.2.3 Exposition lors des épandages agricoles de MAFOR (Annexes 10 et 11)

Les rapports CGEDD n° 009801-01 et CGAAER n° 14074, de 2015 relèvent une grande imprécision des connaissances sur les MAFOR (boues, effluents, etc.) produites (nature et quantité) et sur leur valorisation par épandage ainsi que l'hétérogénéité de la répartition de la production entre les territoires, en particulier pour les effluents d'élevage.

Les processus d'épandage des MFSC dépendent de leur origine (agricole, urbaine ou industrielle), des conditions et modalités de stockage des MFSC, des techniques d'épandage au champ, du choix de la période de l'épandage au regard de la couverture végétale et des conditions climatiques, de la dose à épandre.

Il ressort de ces rapports qu'il n'est pas possible de déterminer un scénario d'exposition aux MFSC réaliste pour l'ensemble des travailleurs agricoles français. Toutefois, même si les opérations d'épandage aux champs peuvent être susceptibles d'émissions importantes de poussières, le fait que le conducteur soit isolé dans une cabine pressurisée, réduit l'exposition par inhalation de celui-ci aux poussières. Ainsi, l'exposition estimée au cadmium lors des étapes d'épandage est supposée négligeable.

Cette estimation est confortée par une évaluation des risques sanitaires de l'ADEME (ADEME, 2014) qui a conclu que les risques attribuables au cadmium épandu lors de l'épandage de boues et de composts de boues sont négligeables.

Au regard des incertitudes quant aux quantités de MFSC épandues (engrais et MAFOR), bien que ce secteur ne semble pas faire l'objet de préoccupations majeures, les experts recommandent cependant l'acquisition de nouvelles données d'exposition, afin de conforter les estimations effectuées dans le cadre de cette saisine. L'une des possibilités évoquée serait d'ajouter le cadmium dans la liste des substances à rechercher dans le projet de recherche « Family Farm » lancé par le ministère de l'agriculture relatif à l'exposition des familles agricoles françaises aux produits chimiques¹⁰.

¹⁰ Le ministère de l'agriculture annonçait en 2016 qu'il s'apprêtait à lancer une étude de type «family farm study». Cette étude de grande envergure est destinée à connaître les effets des pesticides sur la santé des agriculteurs et de leurs familles en coopération avec les ministères de la santé et de l'environnement.

La figure ci-dessous résume les différentes sources d'exposition au cadmium pour un agriculteur lors d'un usage de MFSC.

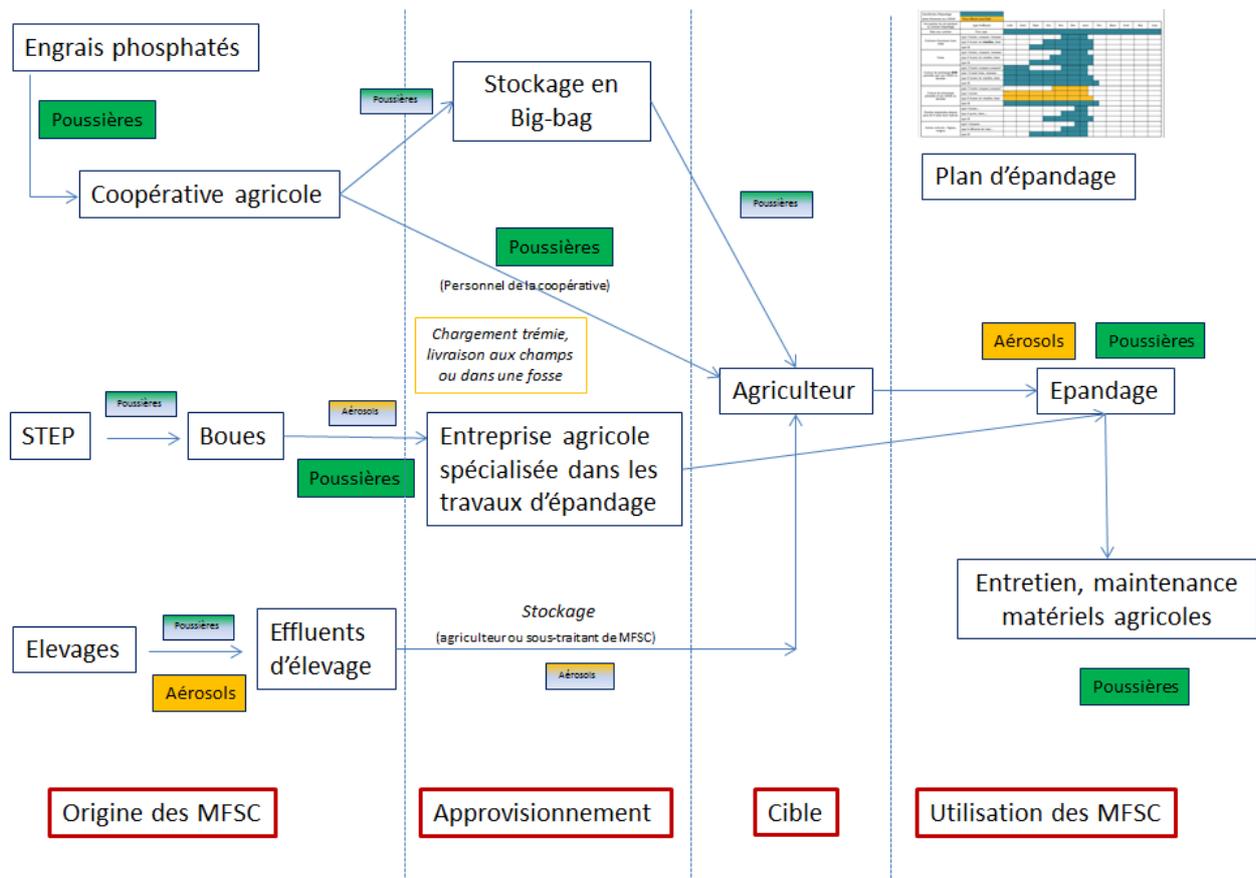


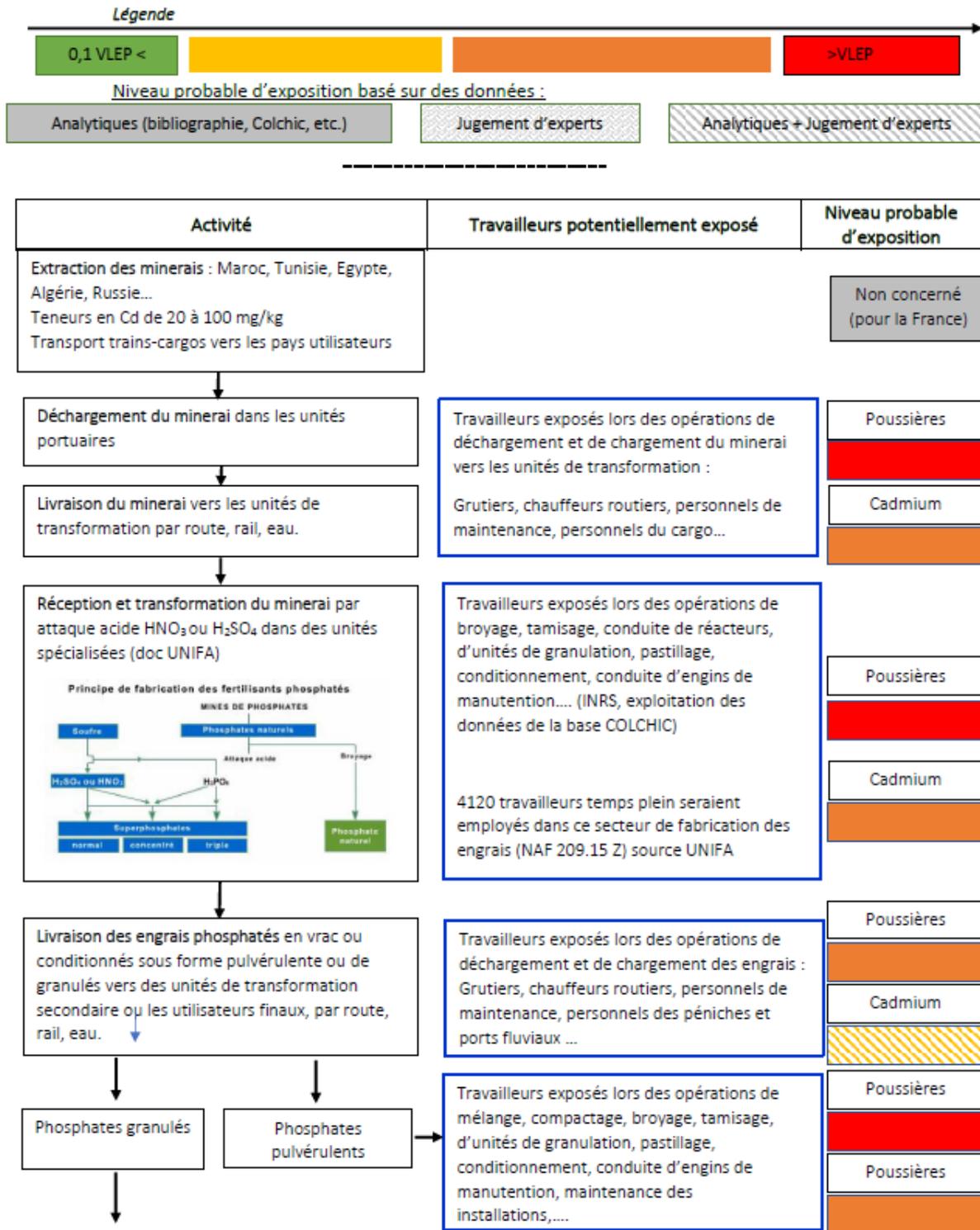
Figure 12 : Etapes susceptibles de générer une exposition des agriculteurs au cadmium lors de l'emploi de MFSC (potentiellement contaminées par du cadmium)

6.3.3 Professionnels du jardinage

Sont concernés par ce paragraphe les professionnels en contact avec des MFSC en quantité moindre (jardinerie, agents d'espace vert, etc.). En l'état actuel des connaissances, il n'est pas possible de se prononcer faute de données disponibles.

6.4 Résumé des estimations des expositions au cadmium des travailleurs de la filière MFSC

La figure 13 ci-dessous liste les niveaux des concentrations atmosphériques estimés en poussières et en cadmium pour les professionnels de la filière MFSC, et mis au regard de la VLEP du Cadmium. Pour rappel, ces niveaux sont basés sur des données de concentration atmosphériques le plus souvent en poussières inhalables disponibles dans la littérature et/ou des appréciations d'experts.



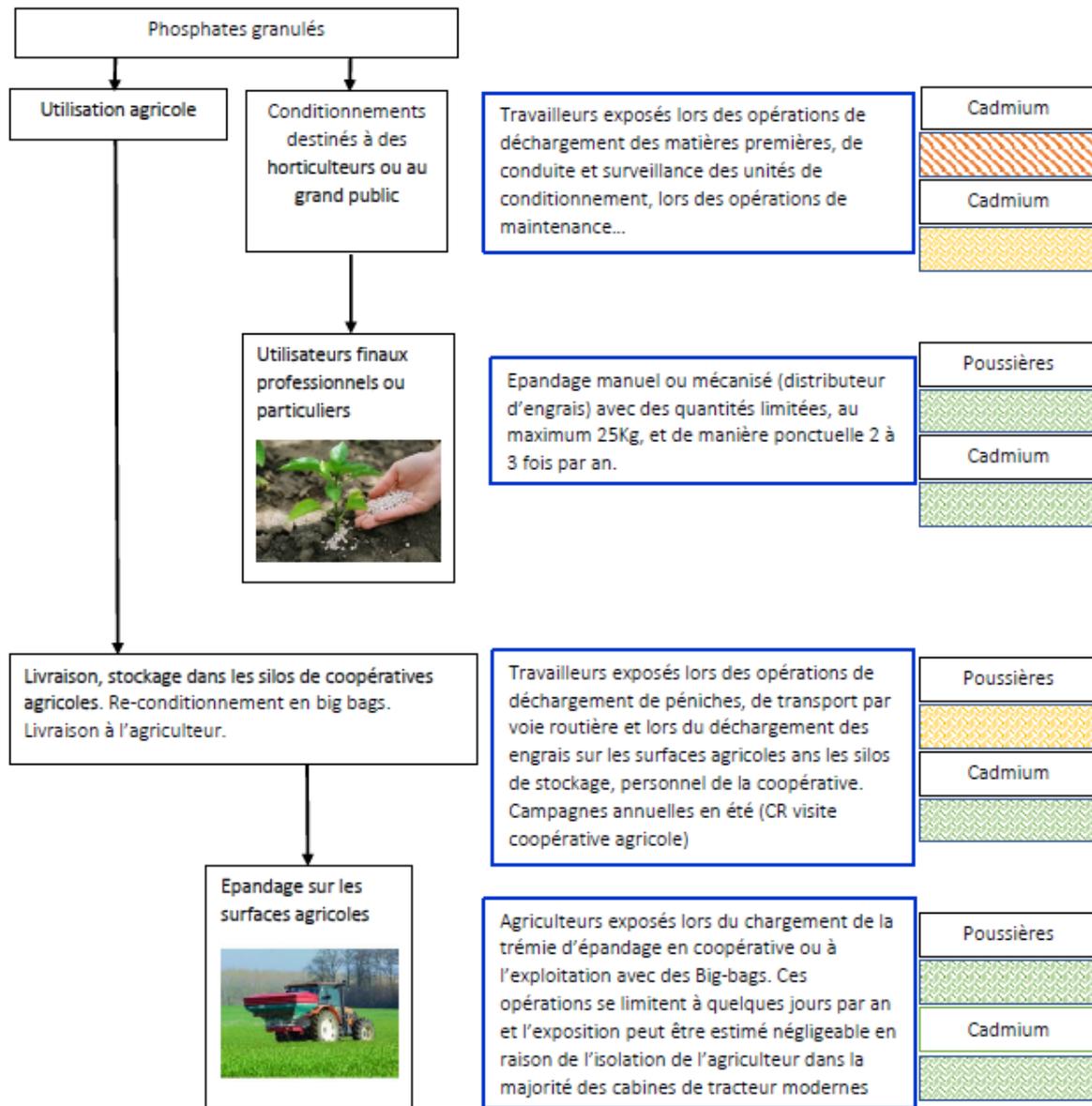


Figure 13 : Description de la filière française d'engrais phosphatés (depuis la fabrication jusqu'à l'épandage au sol par divers acteurs) et estimation des niveaux de concentration atmosphérique en poussières inhalables et en cadmium

Le tableau 13 recense les estimations des expositions au cadmium pour la filière MFSC, et leurs comparaisons avec les VLEP recommandées par l'Anses et le SCOEL :

Tableau 13 : Récapitulatif des estimations des concentrations atmosphériques en cadmium des travailleurs de la filière MFSC

Type de MFSC		Secteur /activité	Source	[Cd] µg/m ³	Ratio (Concentration atmosphérique mesurée ou estimée / VLEP recommandée par l'Anses ou le SCOEL)		Commentaires et observations des experts
					Anses (3 µg/m ³)	SCOEL (1 µg/m ³)	
Boues de STEP		Production des boues	Campagne de mesure de cadmiurie effectuée à l'occasion de cette expertise	Négligeable dans la mesure où les valeurs de cadmiurie mesurées sont inférieures à la VBR recommandée par l'Anses pour les non-fumeurs de 0,8 µg.g ⁻¹ de créatinine			Les mesures de cadmiurie étant inférieures à la valeur biologique de référence recommandée par l'Anses, l'exposition au cadmium peut être considérée comme négligeable. Toutefois ces mesures ayant été effectuées dans une seule STEP, ces conclusions sur un nombre limité de travailleurs, ne peuvent être considérées comme représentatives de l'ensemble des STEPs.
Engrais phosphatés		Chargement/déchargement	Heederick, (1994) (**)	0,02-4.8 µg/m ³	0,006 – 1,6	0,02-4,8	Les niveaux d'empoussièrement les plus élevés correspondraient aux activités de broyage des matières premières et des opérations de déchargement de minerais phosphatés.
		Production-Broyage	Colchic(*) (1987-2017)	Moy : 1,1 Max 3,8 µg/m ³	0,36* 1,27*	1.1 3.8	
		Formulation	Campagne de mesure (*) (2018)	<0,1 µg/m ³	<0.03	<0.1	

		Distribution - Coopérative agricole	Jugement d'expert (***)	<1,0 µg/m ³	<0,33		La visite de site et l'entretien avec les travailleurs laissent supposer que cette phase de travail est susceptible d'induire des expositions à des concentrations atmosphériques en poussières inhalables probablement supérieures à 10 mg/m ³
MAFOR		Epandage	Jugement d'experts (***)		Négligeable		Aucune donnée d'empoussièrement disponible
Tous types		Travailleurs agricoles	Jugement d'experts (***)		Négligeable		Aucune donnée d'empoussièrement disponible
		Professionnels du jardinage	En l'état actuel des connaissances, il n'est pas possible de se prononcer pour ce secteur d'activité, faute de données disponibles sur la nature des MFSC utilisés, sur les quantités et leur fréquence d'emploi, sur la nature des outils employés ainsi que sur les scénarios d'exposition.				

*Concentrations atmosphériques en Cd réellement mesurées

** Concentrations atmosphériques en Cd estimées à partir des concentrations atmosphériques en poussières inhalables

*** Basé sur des estimations grossières des concentrations atmosphériques en poussières à partir du jugement d'experts en hygiène industrielle

7 Sources d'incertitudes

L'ensemble des incertitudes rencontrées tout au long du processus d'évaluation ont été identifiées et sont décrites ci-après. En l'occurrence, l'identification des sources d'incertitudes s'appuie sur une typologie composée principalement des classes suivantes :

- Sources d'incertitude liées au corpus de connaissances, incluant celles liées à la variabilité (intrinsèque et liée à l'hétérogénéité) des caractéristiques d'intérêt, au regard de l'état des connaissances, de la méthode de collecte de données et des modèles existants ;
- Sources d'incertitude liées à la méthode d'évaluation, au regard des données sélectionnées, des méthodes d'intégration des données et de l'interprétation des résultats ;

De manière globale, l'analyse des données existantes a mis en évidence le manque de connaissance quant aux niveaux d'exposition des travailleurs au cadmium potentiellement exposés tout au long de la filière MFSC.

7.1 Sources d'incertitudes liées au *corpus* de connaissances

7.1.1 Incertitudes prises en compte dans le processus d'évaluation

Ci-dessous sont listées les incertitudes identifiées relatives au *corpus* de connaissances et qui ont pu être intégrées dans le processus d'évaluation :

7.1.1.1 Les sources de matières fertilisantes

Il existe une grande variabilité des pratiques de fertilisation. Dans le présent rapport, il a été décidé de prioriser les recherches bibliographiques relatives aux MFSC en fonction de leur concentration en cadmium et des informations disponibles. De ce fait, seuls les effluents d'élevage, les engrais phosphatés et les boues de STEP ont été investigués. Les autres catégories (cf. chapitre 2.1) n'ont pas été étudiées faute de données disponibles et des faibles quantités produites et épandues de ces produits.

7.1.1.2 Les doses d'apport et les concentrations en cadmium dans les MFSC

Les informations utilisées dans ce rapport sont issues de la littérature ou de textes réglementaires.

Faute de données suffisantes relatives à la production et à l'usage de chaque type de MFSC (notamment des MAFOR), il a été décidé de se référer aux préconisations agronomiques recommandées par les fédérations professionnelles et d'estimer l'exposition des travailleurs sur le plan national. Au regard des données disponibles, il n'est pas possible de se prononcer sur l'exposition au cadmium d'un travailleur agricole ayant une pratique agricole spécifique.

7.1.1.3 Biodisponibilité du cadmium dans chaque MFSC

Les facteurs déterminant la biodisponibilité du cadmium, notamment sa forme chimique et sa spéciation dans une MFSC n'ont pas été intégrés dans l'évaluation au regard de l'absence

d'informations pertinentes. A défaut, dans une approche pire-cas, il a été convenu que la totalité du cadmium contenu dans une matière fertilisante serait susceptible absorbée par les professionnels.

7.1.2 Incertitudes non prises en compte dans le processus d'évaluation

Ci-dessous sont listées les incertitudes identifiées relatives au *corpus* de connaissances et qui n'ont pas été intégrées dans le processus d'évaluation :

7.1.2.1 Incertaines relatives à l'élaboration des scénarios d'exposition des travailleurs au cadmium

Au regard des données de terrain, il n'a pas été possible de reconstituer des scénarios solides relatifs à une exposition sur une courte période (ex. 1-2 campagnes de production d'engrais phosphatés par an). Seules des estimations ont pu être faites en s'appuyant sur les quelques données issues de la littérature ou de visites sur site.

A titre d'exemple, il n'est pas possible d'estimer l'exposition au cadmium des agriculteurs lors des phases de nettoyage des installations, du fait de la diversité des effluents, et de la méconnaissance de la composition de ceux-ci.

7.1.2.2 Variabilité des concentrations en cadmium des fertilisants d'origine organique

En raison de la diversité des matières fertilisantes d'origine organique utilisées comme engrais et amendements et de leur évolution une fois épandues et incorporées aux sols, les données scientifiques actuellement disponibles sont insuffisantes pour réaliser une estimation précise de l'exposition au cadmium pour les travailleurs agricoles. Seules des études d'imprégnation recourant à des mesures d'indicateurs biologiques d'exposition pourraient permettre d'obtenir des données robustes, qui intégreraient ainsi la variabilité des compositions des MFSC utilisées.

7.2 Sources d'incertitudes liées à la méthode d'évaluation

7.2.1 Incertitudes prises en compte dans le processus d'évaluation des expositions

Ci-dessous sont listées les incertitudes identifiées relatives à la méthode d'évaluation des expositions et qui ont pu être intégrées dans le processus d'évaluation :

7.2.1.1 Estimation des concentrations en cadmium dans les MFSC

Le cadmium fait partie des contaminants recherchés lors des contrôles de conformité effectués par la DGCCRF sur les MFSC mis sur le marché sans autorisation réglementaire. En l'absence de données précises sur la teneur en cadmium de la majorité des MFSC (variabilité des lots), les seuils maximaux en cadmium fixés par les différentes normes ont été utilisés par défaut pour mener les évaluations.

7.2.2 Incertitudes non prises en compte dans le processus d'évaluation des expositions

Ci-dessous sont listées les incertitudes identifiées relatives à la méthode d'évaluation des expositions et qui n'ont pas été intégrées dans le processus d'évaluation :

7.2.2.1 Prise en compte des différentes voies d'exposition

Les estimations précédentes se basent essentiellement sur des mesures atmosphériques (concentrations en poussières inhalables ou plus rarement en cadmium). De ce fait, seule la voie respiratoire est prise en compte.

L'obtention de données d'imprégnation (cadmiurie ou cadmiémie) permettrait de tenir compte de cette limite.

7.2.2.2 Efficacité des mesures de protection

Les estimations n'ont pas tenu compte de l'efficacité des mesures de protection (collectives et individuelles). Il est impossible dans l'état actuel de qualifier le niveau d'utilisation ou d'efficacité des moyens mise en œuvre.

7.2.2.3 Recensement des postes de travail présentant une exposition éventuelle à des poussières contaminées par du cadmium

Dans la mesure où il n'a pas été possible à l'Anses d'effectuer des visites dans les entreprises produisant des engrais phosphatés, la liste des postes de travail pour lesquels une exposition éventuelle au cadmium est soulignée dans le rapport provient de recherches bibliographiques, des auditions de quelques industriels, de l'extraction des données Colchic et de jugements d'experts.

7.3 Niveau de confiance

Un niveau de confiance global a été attribué à cette estimation de l'exposition atmosphérique au cadmium des travailleurs de la filière « matières fertilisantes et supports de culture », du producteur à l'utilisateur final. Ce niveau de confiance en se base sur les critères suivants :

- Indisponibilité de données de biosurveillance spécifiques au cadmium (cadmiurie ou cadmiémie), représentatives pour l'ensemble des secteurs et tâches de la filière ;
- Représentativité des données de contamination atmosphérique ;
- Utilisation d'une approche probabiliste fondée sur des critères empiriques (jugement d'expert fondé sur la fréquence d'exposition et les niveaux d'exposition présumés) et des données d'observation (moyen de protection, procédés de mise en œuvre, conditionnement des MFSC, environnement du travail (espace clos ou ouvert), etc.) pour repérer les situations potentiellement utiles à explorer plus avant.

Un niveau de confiance global **faible** a été attribué à cette estimation de l'exposition au cadmium pour les travailleurs de l'ensemble de la filière MFSC.

La réalisation d'études de biosurveillance spécifiques au cadmium à chaque secteur de la filière MFSC permettrait de disposer de données robustes afin d'effectuer une évaluation quantitative des expositions au cadmium prenant en compte la réalité des conditions de travail mises en œuvre.

8 Conclusion et recommandations

8.1 Conclusion du CES VSR

L'étude de filière a permis d'identifier que les secteurs industriels inclus dans la filière MFSC et pour lesquels les travailleurs sont susceptibles d'être exposés au cadmium sont les suivants :

- le secteur des engrais phosphatés, depuis le déchargement des roches phosphatées jusqu'à la commercialisation et la distribution des produits finis, et notamment les activités de broyage des matières premières ;
- les secteurs industriels générant et épandant des matières fertilisantes d'origine résiduaire (MAFOR) ;
- les utilisateurs de MFSC (agriculteurs, agents chargés de l'entretien des espaces verts...).

L'étude de filière a également permis de mettre en évidence les points suivants :

- L'absence de résultats de mesures biologiques pour évaluer les expositions au cadmium ;
- Les expositions qui sont essentiellement prises en compte par les entreprises lorsqu'elles réalisent leur évaluation des risques sont celles liées aux poussières et non celles liées au cadmium ;
- Un nombre limité de mesures atmosphériques (concentrations en poussières inhalables et en cadmium) ont été identifiées à partir de données de la littérature, d'extraction de la base de données COLCHIC ou de campagnes de mesures dans les secteurs de la production des engrais phosphatés et des boues de STEP. Au regard de ce faible nombre, les données recensées ne peuvent pas être considérées comme représentatives de l'exposition au cadmium des travailleurs de ces secteurs, ni de la filière MFSC ;
- Concernant les professionnels des secteurs de la distribution d'engrais phosphatés, de l'épandage des MFSC, et la population des agriculteurs, aucune donnée d'exposition n'a pu être identifiée.

De ce fait, au regard de ces observations, seule une estimation grossière de l'exposition au cadmium des travailleurs de la filière MFSC, des producteurs aux utilisateur finaux, a pu être réalisée.

Les rares données de concentration atmosphérique au cadmium ont été comparées aux VLEP préconisées récemment par l'Anses ($3 \mu\text{g.m}^{-3}$, 2018) et le SCOEL ($1 \mu\text{g.m}^{-3}$, 2017). A partir des données de la base COLCHIC, des dépassements de ces seuils ont notamment été observés pour les travailleurs issus de la filière production d'engrais phosphatés (Tableau 4).

Pour les travailleurs des autres secteurs (distribution-utilisation de MFSC, épandage, agriculteurs, etc.), l'absence de données de concentration atmosphérique en poussières inhalables ne permet pas de se prononcer formellement sur l'exposition atmosphérique au cadmium de ces travailleurs. Seules des estimations, basées sur des jugements d'experts en hygiène industrielle ont pu être faites (cf. Tableau 4).

8.2 Recommandations du CES VSR

8.2. Recommandations du CES

Concernant l'exposition au cadmium des agriculteurs, le CES propose d'inclure le cadmium dans la liste des substances à doser dans le projet de recherche « Family Farm » relatif à l'exposition des agriculteurs français et leur famille aux pesticides.

Le CES VSR recommande également la mise en place d'enquêtes auprès des agriculteurs et des vendeurs de MFSC afin de recueillir des informations précises sur les quantités et la nature des MFSC épandues. Le recueil de ces informations améliorerait ainsi la robustesse des scénarios d'exposition.

Le CES VSR note toutefois que les propositions de réduire la teneur en cadmium dans les engrais phosphatés, qui font actuellement l'objet de discussions au niveau européen, et celles relatives au besoin de réguler à la source la concentration en éléments traces métalliques (ETM) dans les fertilisants d'origine organique (cf les recommandations du rapport d'expertise collective de la question 3 de cette saisine) contribueront par ailleurs à diminuer également l'exposition des travailleurs de la filière MFSC.

Date de validation du rapport d'expertise collective par le CES « Valeurs sanitaires de référence » : 29 novembre 2018

9 Bibliographie

Date de fin de la bibliographie : Mars 2017

9.1 Publications

► Rapport

ADEME (2007a). Evaluation des risques sanitaires des filières d'épandage des boues de stations d'épuration - Conventions ADEME n°03 75 C 0093 et 06 75 C 0071. Méthodologie d'évaluation quantitative des risques sanitaires relatifs aux substances chimiques. https://www.ineris.fr/sites/ineris.fr/files/contribution/Documents/Guide-Boues-v1_3-Introduction-Generale.pdf

ADEME (2007b). Evaluation des risques sanitaires des filières d'épandage des boues de stations d'épuration - Conventions ADEME n°03 75 C 0093 et 06 75 C 0071. Application de la méthodologie relative aux substances chimiques à une filière de boues issues d'une STEP urbaine. 172 p.

ADEME (2007c). Bilan des flux de contaminants entrant sur les sols agricoles de France métropolitaine. Bilan qualitatif de la contamination par les éléments tracés métalliques et les composés tracés organiques et application quantitative pour les éléments tracés métalliques. Rapport final mai 2007. 329 p. <https://www.ademe.fr/bilan-flux-contaminants-entrant-sols-agricoles-france-metropolitaine>

AFSSA (2009). Etude individuelle Nationale sur les Consommations Alimentaires 2 - 2006-2007 (INCA 2). Afssa, Maisons-Alfort, France. 228 p. <https://www.anses.fr/fr/system/files/PASER-Ra-INCA2.pdf>

Agence de l'eau (2016). Qualité des boues d'épuration urbaines recyclées sur les bassins Rhône-Méditerranée et Corse Situation 2000-2014. 45 p. <https://www.eaurmc.fr/upload/docs/application/pdf/2017-05/2016-plaq-qualite-boues-2000-2014.pdf>

AGRESTE (2014). Les Dossiers N° 21 - JUILLET 2014. La fertilisation. Enquête Pratiques culturales 2011. Principaux résultats. 70 p. http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/dossier21_integral.pdf

ALIM'AGRI (2010). « Etat, perspectives et enjeux du marché des engrais ». 94 p. <http://agriculture.gouv.fr/ministere/etat-perspectives-et-enjeux-du-marche-des-engrais>

AMORCE (2012). Cadre juridique de la gestion des boues de station d'épuration. Série Juridique DJ 13, Novembre 2012. 30 p. http://www.amorce.asso.fr/media/filer_public/86/a6/86a61c3a-c107-4611-b27a-fc1a5b3bde2e/dj13_cadre_juridique_boues_step_.pdf

AMORCE (2012). Gestion des boues de stations d'épuration - Co traitement avec les déchets ménagers. Série Technique DT 52, Novembre 2012. 41 p. http://www.amorce.asso.fr/media/filer_public/e7/48/e7481c35-99a5-45d6-85d9-a4a2a5e7c409/dt52_enque_te_boues_amorce.pdf

ANSES (2018). Valeurs limites d'exposition en milieu professionnel. Evaluation des indicateurs biologiques d'exposition et recommandation de valeurs limites biologiques et de valeurs biologiques de référence pour le cadmium et ses composés. Avis de l'Anses et Rapport d'expertise collective. Saisine n°2007-SA-0425. 90 p. <https://www.anses.fr/fr/content/avis-et-rapport-de-lanses-relatif-%C3%A0-levaluation-des-indicateurs-biologiques-d%E2%80%99exposition-e-0>

ANSES (2018b). Valeurs limites d'exposition à des agents chimiques en milieu professionnel. Evaluation des effets sur la santé et des méthodes de mesure des niveaux d'exposition sur le lieu de travail pour le cadmium et ses composés. Maisons-Alfort 134 p.

ANSES (2017). Valeurs limites d'exposition en milieu professionnel. Document de référence pour l'élaboration de valeurs limites d'exposition à des agents chimiques en milieu professionnel. Rapport d'expertise collective. Saisine n°2016-SA-0248. 142 p. <https://www.anses.fr/fr/content/rapport-de-lanses-relatif-%C3%A0-lexpertise-en-vue-de-la-fixation-de-valeurs-limites-d%E2%80%99exposition>

ANSES (2016). Avis et rapport de l'Anses relatif à l'exposition alimentaire des enfants de moins de 3 ans à certaines substances – Etude de l'Alimentation Totale Infantile (EAT infantile). Saisine n°2010-SA-0317. <https://www.anses.fr/fr/content/etude-de-l%E2%80%99alimentation-totale-infantile>

ANSES (2012). Avis de l'Anses et rapport d'expertise collective : Valeur toxicologique de référence pour le cadmium et ses composés. Saisine n°2009-SA-0344. 100 p. <https://www.anses.fr/fr/system/files/CHIM2009sa0344Ra.pdf>

ANSES (2011a). Avis de l'Anses relatif à la révision des teneurs maximales en cadmium des denrées alimentaires destinés à l'homme. Saisine n°2011-SA-0194. 31 p. <https://www.anses.fr/fr/system/files/RCCP2011sa0194.pdf>

- ANSES (2011b). Avis et rapport relatifs aux résultats de l'étude nationale de surveillance des expositions alimentaires aux substances chimiques (Etude de l'Alimentation Totale 2 - 2006-2010). Saisine n°2006-SA-0361. <https://www.anses.fr/fr/content/etude-de-l%E2%80%99alimentation-totale-eat-2-l%E2%80%99anses-met-%C3%A0-disposition-les-donn%C3%A9es-de-son-analyse>
- CGEDD (2015). Rapport CGEDD n° 009801-01, CGAAER n° 14074. Les épandages sur terres agricoles des matières fertilisantes d'origine résiduaire. Mission prospective sur les modalités d'encadrement et de suivi réglementaire. 180 p. http://agriculture.gouv.fr/sites/minagri/files/cgaaer_14074_2015_rapport.pdf
- COMIFER (2009). Guide d'optimisation de l'épandage des engrais minéraux solides. Conseils pour des pratiques respectueuses de l'environnement. 72p. https://comifer.asso.fr/images/publications/brochures/brochure_epandage_web.pdf
- Convention n°1006C0122 entre l'ADEME, le SYPREA, LA FP2E, LE SIAAP, L'INERIS et le CNRS (2014). INERIS-DRC-14-115758-08437A. Substances « émergentes » dans les boues et composts de boues de stations d'épurations d'eaux usées collectives- Caractérisation et évaluation des risques sanitaires. 294 p. <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/ers-substances-emergentes-boues-step-201411.pdf>
- EC (European Commission) (2007). European Union Risk Assessment Report. Cadmium metal and oxide. CAS No: 7440-43-9. EINECS No: 231-152-8. 1395 p. <https://echa.europa.eu/documents/10162/4ea8883d-bd43-45fb-86a3-14fa6fa9e6f3>
- EFSA (2009a). Cadmium in food. Scientific Opinion of the Panel on Contaminants in the Food Chain. The EFSA Journal 980, 1-139. http://www.efsa.europa.eu/sites/default/files/scientific_output/files/main_documents/980.pdf
- EFSA (2009b). Meta-analysis of Dose-Effect Relationship of Cadmium for Benchmark Dose Evaluation. Prepared by the Assessment Methodology Unit EFSA Scientific Report (2009) 254, 1-62. <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2903/j.efsa.2009.254r>
- EFSA (2011a). Comparison of the Approaches Taken by EFSA and JECFA to Establish a HBGV for Cadmium. The EFSA Journal 2011; 9(2):2006. <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2903/j.efsa.2011.2006>
- EFSA (2011b). Statement on tolerable weekly intake for cadmium. EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). The EFSA Journal 2011; 9(2):1975. <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2903/j.efsa.2011.1975>

- FAO/WHO (2004). Food and Agriculture Organization/ World Health Organization. Evaluation of certain food additives (Sixty-first report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives). WHO Technical Report Series, No. 922, 2004.(2003, TRS 922-JECFA 61). <<http://www.inchem.org/documents/jecfa/jecmono/v52je22.htm>>.
[http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/42849/WHO TRS 922.pdf;jsessionid=7375DDF E5D2C3401257C23C112B83D43?sequence=1](http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/42849/WHO_TRS_922.pdf;jsessionid=7375DDF E5D2C3401257C23C112B83D43?sequence=1)
- Fouchécourt, M.-O. et M. Beausoleil. (2001). Évaluation des impacts à long terme de la valorisation agricole de matières résiduelles fertilisantes au Québec – mise en contexte et risques à la santé associés à l'apport de cadmium et de dioxines et furannes - Rapport synthèse. Institut national de santé publique du Québec.
https://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/023_cadmium_dioxines_furannes.pdf
- Fréry N, Saoudi A, Garnier R, Zeghnoun A, Falq G. (2011). Exposition de la population française aux substances chimiques de l'environnement. Saint-Maurice: Institut de veille sanitaire; 2011. 154 p. http://opac.invs.sante.fr/doc_num.php?explnum_id=6864
- INERIS (2014). Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques. Cadmium et dérivés. 60 p. <https://substances.ineris.fr/fr/substance/cas/7440-43-9/2>
- INRA (2014). Rapport d'expertise scientifique collective INRA-CNRS-Irstea (rapport ESCO), Valorisation des matières fertilisantes d'origine résiduaire sur les sols à usage agricole ou forestier. Impacts agronomiques, environnementaux, socio-économiques. Octobre 2014. 117 p. [https://www6.paris.inra.fr/depe/content/download/3819/36314/version/1/file/ESCoMafor+rapport Avant-propos+et+chap1_oct2014+%282%29.pdf](https://www6.paris.inra.fr/depe/content/download/3819/36314/version/1/file/ESCoMafor+rapport_Avant-propos+et+chap1_oct2014+%282%29.pdf)
- HAS (2015). Décision n°2015.0236/DC/SBPP du 4 novembre 2015 du collège de la Haute Autorité de santé attribuant le label méthodologique de la Haute Autorité de santé à la recommandation de bonne pratique « Surveillance médicoprofessionnelle des travailleurs exposés ou ayant été exposés à des agents cancérigènes pulmonaires » élaborée par la Société Française de Médecine du Travail. https://www.has-sante.fr/portail/jcms/c_2606639/fr/decision-n2015-0236/dc/sbpp-du-4-novembre-2015-du-college-de-la-haute-autorite-de-sante-attribuant-le-label-methodologique-de-la-haute-autorite-de-sante-a-la-recommandation-de-bonne-pratique-surveillance-medicoprofessionnelle-des-travailleurs-exposes-ou-ayant-ete-exposes-a-des-agents-cancerogenes-pulmonaires-elaboree-par-la-societe-francaise-de-medecine-du-travail
- Houot S., Pons M.N., Pradel M., Caillaud M.A., Savini I., Tibi A. (2014). Valorisation des matières fertilisantes d'origine résiduaire sur les sols à usage agricole ou forestier. Impacts agronomiques, environnementaux, socio-économiques. Expertise scientifique collective, Inra-CNRS-Irstea (France). (Dossier MAFOR INRA 01/07/14). 117 p. [https://www6.paris.inra.fr/depe/content/download/3822/36323/version/1/file/Mafor8p_francais V F.pdf](https://www6.paris.inra.fr/depe/content/download/3822/36323/version/1/file/Mafor8p_francais_V_F.pdf)
- IUPAC (2018). Nordberg G F, Bernard A, Diamond GL, Duffus JH, Illing P Nordberg M, Bergdahl IA, Jin T, Skerfving S. Risk assessment of effects of cadmium on human health (IUPAC Technical Report). <https://doi.org/10.1515/pac-2016-0910> Pure Appl. Chem. 2018; 90(4): 755–808. 55 p. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1223899/FULLTEXT01.pdf>.

Santé publique France (2006). Étude nationale nutrition santé (ENNS, 2006). Situation nutritionnelle en France en 2006 selon les indicateurs d'objectif et les repères du Programme national nutrition santé (PNNS). Institut de veille sanitaire, Université de Paris 13, Conservatoire national des arts et métiers, 2007, 74 p. <http://invs.santepubliquefrance.fr/Dossiers-thematiques/Maladies-chroniques-et-traumatismes/Nutrition-et-sante/Enquetes-et-etudes/ENNS-etude-nationale-nutrition-sante>

SCHER (2015). Scientific Committee on Health and Environmental Risks. Final Opinion on new conclusions regarding future trends of cadmium accumulation in EU arable soils. 28 p. https://ec.europa.eu/health/sites/health/files/scientific_committees/environmental_risks/docs/scher_o_168.pdf

SCOEL (2017). SCOEL/OPIN/336 Opinion from the Scientific Committee on Occupational Exposure Limits for cadmium and its inorganic compounds. European Commission. 52 p. <https://circabc.europa.eu/sd/a/13cad802-1f3c-40c0-bce4-6838cf5fc4ff/OPIN-336%20Cadmium%20and%20its%20inorganic%20compounds.pdf>

► Thèse

Pisson C. (2000), Mémoire de l'Ecole Nationale de la Santé Publique - Impact de l'épandage agricole des boues résiduaires urbaines sur la qualité des productions céréalières en particulier sur l'aspect des éléments traces métalliques. <http://fulltext.bdsp.ehesp.fr/Ensp/Memoires/2000/igs/pisson.pdf>

► Articles scientifiques

Belon E, Boisson M, Deportes IZ, Eglin TK, Feix I, Bispo AO, Galsomies L, Leblond S, Guellier CR. (2012). An inventory of trace elements inputs to French agricultural soils. *Sci Total Environ.* 2012, 439:87-95.

Chaumont A., de Winter F., Dumont X., et coll. (2011). The threshold level of urinary cadmium associated with increased urinary excretion of retinol-binding protein and beta2- microglobulin: a re-assessment in a large cohort of nickel-cadmium battery workers. *Occupational and Environmental Medicine.* 2011, 68(4): 257-264.

Cupit M, Larsson O, de Meeûs C, Eduljee GH, Hutton M. (2002). Assessment and management of risks arising from exposure to cadmium in fertilisers—II. *The Science of the Total Environment* 2002, 291, 189-206.

Heederik D, de Cock J, Endlich E. (1994). Dust exposure indices and lung function changes in longshoremen and dock workers. *Am J Ind Med.* 1994; 26(4):497-509.

Marchand Geneviève, Gardette Marie, Nguyen Kiet, Amano Valérie, Neesham-Grenon Maximilien Eve Debia. (2017). Assessment of Workers' Exposure to Grain Dust and Bioaerosols during the Loading of Vessels' Hold: An Example at a Port in the Province of Québec. *Annals of Work Exposures and Health*, 2017, 61, 7, 836–843, <https://doi.org/10.1093/annweh/wxx045>.

Nziguheba et Smolders (2008). Inputs of trace elements in agricultural soils via phosphate fertilizers in European countries. *Sci Total Environ*. 2008, 390(1):53-7.

► Articles

APRIFEL (2001). Les boues d'épuration - document de synthèse Comité de sécurité alimentaire d'APRIFEL Juin 2001. http://www.aprifel.com/userfiles/file/boues_epuration.pdf

ASTEE (2018). Note scientifique et technique, Valorisation des boues et biodéchets : de la source à la ressource - Synthèse des Automnales 2017 de l'Astee et recommandations. <https://www.astee.org/wp-content/uploads/2018/06/35-44-VALORISATIONBOUES-DECHETS-TSM05-2018.pdf>.

INRS (2016). TM 37. Surveillance biologique des expositions professionnelles aux agents chimiques Recommandations de bonne pratique, mai 2016. <http://www.inrs.fr/media.html?refINRS=TM%2037>

INSEE (2016). Revenus et productions agricoles – TEF édition 2016 – Insee Références. <https://www.insee.fr/fr/statistiques/1906743>

IFIP (2005). Composition des effluents porcins et de leurs co-produits de traitement. Quantités produites. 37 p. https://www.ifip.asso.fr/sites/default/files/pdf-documentations/composition_effluents.pdf

INRS (2013). Station d'épuration des eaux usées – Prévention des risques biologiques. <http://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206152>

ITAVI. Composim : le calculateur de la quantité et de la composition des effluents bovins, porcs et volailles. 36 p. https://www.ifip.asso.fr/sites/default/files/file_attach/notice_demploi_guide_methodo.pdf

ITAVI (2001). Etude OFIVAL 2001 Caractérisation des fumiers, lisiers et fientes de volailles. <https://www.itavi.asso.fr/>

ITAVI (2015). GESTEFLUCAN. Etat des lieux des pratiques de gestion des effluents d'élevages avicoles et acquisition de références (qualité et quantité)

ITP (2005). Levasseur P.- Guide : composition des effluents porcins et de leurs co-produits de traitement- quantités produites. https://www.ifip.asso.fr/sites/default/files/pdf-documentations/composition_effluents.pdf

SYPREA – Newsletter de résultats - Évaluation des risques sanitaires des salariés en charge de l'épandage des boues. <http://syprea.org/media/documents/brochure-evaluation-risques-sanitaires-boues-2009.pdf>

TechPORC (2014). Déterminer la quantité et la composition des effluents d'élevage grâce à Composim. https://www.ifip.asso.fr/sites/default/files/pdf-documentations/techporc_levasseur_n16_2014.pdf

Tercé M. Les Dossiers de l'environnement de l'INRA n°25. Agriculture et épandage de déchets urbains et agro-industriels (AGREDE). <https://www7.inra.fr/dpenv/pdf/terced25.pdf>

- Sources électroniques (site internet, pages web, forum, blog, liste de diffusion, base de données, etc.).

ANPEA (2012). Référentiel de bonnes pratiques. En ligne <<http://www.anpea.com/images/pdf/Referentiel%20Web%2020130730.pdf>>, consulté le 12 novembre 2018.

DGCCRF (2016). Résultat du plan de contrôle des matières fertilisantes et supports de culture – version 27 décembre 2016. <https://www.economie.gouv.fr/dgccrf/resultat-plan-contrôle-des-matieres-fertilisantes-et-supports-culture>. Consulté le 12 novembre 2018.

DGE (2017). Direction générale des entreprises. Fiche Matières fertilisantes et supports de culture. Mise à jour : Juillet 2017. https://www.entreprises.gouv.fr/files/files/directions_services/libre-circulation-marchandises/fertilisants.pdf. Consulté le 12 novembre 2018.

INSPQ (2001). Institut national de santé publique du Québec - Critères de santé humaine pour la valorisation agricole des matières fertilisantes. <https://www.inspq.qc.ca/bise/criteres-de-sante-humaine-pour-la-valorisation-agricole-des-matieres-fertilisantes>. Consulté le 12 novembre 2018.

INSPQ (2016). Risques pour la santé, associés à l'épandage de biosolides sur des terres agricoles. < <https://www.inspq.qc.ca/bise/risques-pour-la-sante-associes-l-epandage-de-biosolides-municipaux-sur-des-terres-agricoles>>, consulté le 12 novembre 2018.

MAK (2011). The MAK collection for occupational Health and Safety: Addendum to Cadmium and its inorganic compounds (2011). <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/3527600418.bb744043vere1815/pdf>, consulté le 12 novembre 2018.

MEEDDM (2009) – Recueil de textes sur l'assainissement : textes techniques relatifs à l'épandage des boues d'épuration résultant du traitement des eaux usées domestiques. < <http://www.assainissement.developpement-durable.gouv.fr/recueil/AC.pdf>>, consulté le 12 novembre 2018.

VERTIGO (2011). Marc Hébert, Dominic Lemyre-Charest, Guy Gagnon, François Messier et Sylvie de Grosbois, « Épandage agricole des biosolides municipaux : contenu en métaux et en PBDE du lait de vache », *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement* [En ligne], Volume 11 Numéro 2 | septembre 2011, mis en ligne le 19 octobre 2011, <URL : <http://journals.openedition.org/vertigo/11150>> ; DOI : 10.4000/vertigo.11150, consulté le 23 janvier 2018.

UNIFA, Mise sur le marché en France des matières fertilisantes et des supports de culture. <http://www.unifa.fr/reglementation/34-reglementation/reglementation/123--mise-sur-le-marche-en-france-des-matieres-fertilisantes-et-des-supports-de-culture.html>, consulté le 6 août 2018

Ministère de la Transition écologique et solidaire. Commissariat général au Développement durable. Observations et statistiques. <www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr>. Consulté le 12 novembre 2018.

9.2 Normes

NF U42-001-1 (Octobre 2011). Engrais - Dénominations et spécifications - Partie 1 : engrais minéraux. AFNOR (Indice de classement U42-001-1).

9.3 Législation et réglementation

Arrêté du 5 septembre 2003 relatif aux vérifications auxquelles doit procéder le responsable de la mise sur le marché des matières fertilisantes et supports de culture normalisés. <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000796891>

Arrêté du 13 juin 2017 approuvant un cahier des charges pour la mise sur le marché et l'utilisation de digestats de méthanisation agricoles en tant que matières fertilisantes. <https://www.legifrance.gouv.fr/eli/arrete/2017/6/13/AGR1617680A/jo/texte>.

Arrêté du 21 décembre 1998 relatif à l'homologation des matières fertilisantes et des supports de culture. Version consolidée au 09 août 2018. <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000575510&categorieLien=id>

Circulaire du 7 juillet 1992 modifiant et complétant la circulaire du 19 juillet 1982 relative aux valeurs admises pour les concentrations de certaines substances dangereuses dans l'atmosphère des lieux de travail. Bulletin officiel du ministère chargé du travail n° 92/15 p. 269-270. https://www.legifrance.gouv.fr/affichSarde.do;jsessionid=D41D493EE3F083BC00A7E44F96CD6C98.tpdjo02v_2?reprise=true&fastReqId=3977999&idSarde=SARDOBJT000007106409&page=20

Décret n°80-478 du 16 juin 1980 portant application de l'article L. 412-1 du code de la consommation en ce qui concerne les matières fertilisantes et les supports de culture en ce qui concerne les matières fertilisantes et les supports de culture. Version consolidée au 09 août 2018. <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=LEGITEXT000006063266>

Décret n°97-1133 du 8 décembre 1997 relatif à l'épandage des boues issues du traitement des eaux usées. <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000739355&categorieLien=cid>

DERU, 1991 – Directive du Conseil du 21 mai 1991 relative au traitement des eaux urbaines résiduaires (91/271/CEE). <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000521140>

Directive n° 86/278 du 12/06/86 relative à la protection de l'environnement et notamment des sols, lors de l'utilisation des boues d'épuration en agriculture. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=celex%3A31986L0278>

Règlement (UE) n° 463/2013 de la Commission du 17 mai 2013 modifiant le règlement (CE) n° 2003/2003 du Parlement européen et du Conseil relatif aux engrais en vue d'adapter ses annexes I, II et IV au progrès technique Texte présentant de l'intérêt pour l'EEE. <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2013:134:0001:0014:FR:PDF>

Règlement (CE) n° 2003/2003 du parlement européen et du conseil du 13/10/03 relatif aux engrais. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/fr/TXT/?uri=CELEX:32003R2003>

ANNEXES

Annexe 1 : Lettre de saisine

2015 -SA- 0 1 4 0



COURRIER ARRIVE

22 JUN 2015

DIRECTION GENERALE

Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie
Ministère des affaires sociales, de la santé et des droits des femmes
Ministère du travail, de l'emploi, de la formation professionnelle et du dialogue social
Ministère de l'agriculture, de l'agro-alimentaire et de la forêt
Ministère de l'économie, de l'industrie et du numérique

N° 113

Paris le 27 AVR. 2015

Le Directeur général de la santé

La Directrice générale de la prévention des risques

Le Directeur général du travail

Le Directeur général de l'alimentation

La Directrice générale de la concurrence, de la consommation et de la répression des fraudes

à

Monsieur le Directeur général
de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de
l'alimentation, de l'environnement et du travail
14, rue Pierre et Marie Curie
94701 MAISONS-ALFORT Cedex

Objet : Exposition au cadmium – Propositions de valeurs toxicologiques de référence par ingestion, de valeurs sanitaires repères dans les milieux biologiques (sang, urines, ...) 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.

Le cadmium est un métal lourd ubiquitaire qui se retrouve dans les différents compartiments de l'environnement (sols, eau, air) du fait de sa présence à l'état naturel dans la croûte terrestre et des apports anthropiques liés aux activités industrielles et aux pratiques agricoles. Le cadmium pénètre facilement dans les végétaux par leurs racines et il entre ainsi dans la chaîne alimentaire.

Chez l'homme, une exposition prolongée au cadmium par voie orale induit une atteinte tubulaire rénale mise en évidence par une micro-protéinurie. Une fragilité osseuse, des troubles de la reproduction ont également été rapportés, ainsi qu'un risque accru de cancer ayant donné lieu à un classement comme « cancérogène pour l'homme » (groupe 1) par le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC) en 1993 et dans la catégorie 2¹ par l'Union Européenne en 2004.

Selon l'avis et le rapport de l'Anses sur la deuxième étude de l'alimentation totale (EAT2) de juin 2011, la source principale d'exposition de la population générale au cadmium est l'alimentation. L'exposition alimentaire des français par le cadmium semble en augmentation importante (+ 400 %) par rapport à l'étude précédente EAT1 parue en 2004. Un dépassement de la valeur toxicologique de référence (VTR) définie par l'EFSA en 2009 est constaté chez 0,6% des adultes et 15% des enfants. L'agence nationale s'est autosaisie sur les suites à donner à cette deuxième EAT, en

¹ Correspondant à la catégorie 1B actuelle définie par le règlement (CE) N° 1272/2008 : substance présumée cancérogène chez l'être humain

particulier sur le cadmium, pour lequel il s'agit d'identifier l'origine de la forte augmentation des estimations entre les deux études.

La pollution d'origine industrielle peut sensiblement augmenter l'exposition au cadmium des populations riveraines. Pour mener les évaluations des risques sanitaires dans le cadre de la gestion des sites et sols pollués, le choix des VTR est défini par la note d'information DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014 relative aux modalités de sélection des substances chimiques et de choix des valeurs toxicologiques de référence. La VTR utilisée doit ainsi être publiée dans l'une des 8 bases de données (Anses, US-EPA, ATSDR, OMS/IPCS, Santé Canada, RIVM, OEHHA ou EFSA). Il est recommandé de sélectionner en premier lieu les VTR construites par l'Anses ou, à défaut, les VTR qu'elle a sélectionnées parmi les VTR disponibles dans ces bases de données. A ce propos, le Comité mixte d'experts FAO/OMS sur les additifs alimentaires et les contaminants (JECFA) a, en 2010, fixé comme VTR par ingestion, la dose mensuelle tolérable provisoire (DMTP) de $25 \mu\text{g.kg}^{-1}$ de poids corporel. En 2011, l'Autorité européenne de sécurité des aliments (EFSA) a reconduit comme VTR par ingestion la dose hebdomadaire tolérable de $2,5 \mu\text{g.kg}^{-1}$ de poids corporel, qu'elle avait établie en 2009. La VTR à utiliser dans le cadre de la gestion des sites et sols pollués par du cadmium n'a, à ce jour, pas été définie au niveau national.

En outre, l'action 24 du Plan National Santé Environnement 3 (PNSE3) prévoit d'évaluer la pertinence et la faisabilité d'actions de dépistage ou de surveillance des imprégnations des populations exposées aux métaux tels que le cadmium sur les sites concernés prioritaires, de les mettre en œuvre le cas échéant et de diffuser des informations de prévention en fonction des résultats. Au niveau national, il n'a toutefois pas été fixé de valeurs sanitaires repères dans les milieux biologiques pour un dépistage.

Cependant, diverses valeurs sanitaires repères ont, d'une part, été utilisées dans le cadre d'études menées par l'InVS et, d'autre part, recommandées par des organismes sanitaires européens et internationaux. Dans l'étude relative à l'évaluation de l'exposition à des sols pollués au plomb, au cadmium et à l'arsenic en Aveyron (InVS, 2008), les valeurs sanitaires repères du cadmium pour un dépistage ont été définies par des concentrations urinaires supérieures à la valeur de $2 \mu\text{g}$ de cadmium.g⁻¹ de créatinine chez les adultes, et de $1 \mu\text{g}$ de cadmium.g⁻¹ de créatinine chez les enfants. En 2011, l'InVS a publié les résultats de l'étude d'imprégnation de la population adulte française en divers polluants de l'environnement dont le cadmium (étude nationale nutrition santé ENNS 2006-2007). L'InVS soulignait que le JECFA recommandait que la cadmiurie ne dépasse pas la valeur de $2,5 \mu\text{g.g}^{-1}$ de créatinine ; le Comité scientifique sur la toxicité, l'écotoxicité et l'environnement (CSTEE-2004) recommandait que la cadmiurie ne dépasse pas la valeur $2 \mu\text{g.g}^{-1}$ de créatinine. En 2009, l'EFSA recommandait une valeur de cadmiurie inférieure à $1 \mu\text{g.g}^{-1}$ créatinine.

Enfin, dans son avis de novembre 2011 relatif à la révision des teneurs maximales en cadmium des denrées alimentaires destinées à l'homme, l'Anses recommande, afin de réduire l'exposition de la population, d'agir sur le niveau de contamination des sources environnementales, en particulier au niveau des intrants (engrais contaminés, épandage des boues de station d'épuration, ...) à l'origine de la contamination des sols et des aliments.

Au niveau européen, les engrais inorganiques sont régis par le règlement (CE) n° 2003/2003 du Parlement européen et du Conseil du 13 octobre 2003, modifié par le règlement (UE) n° 463/2013 de la Commission du 17 mai 2013. Un projet de nouveau règlement est en cours d'élaboration, élargi à l'ensemble des matières fertilisantes (engrais minéraux et organiques, amendements minéraux et organiques (carbonates, dolomie, composts, lisiers, ...), supports de cultures, ...) incluant la fixation de valeurs limites en contaminants. La fixation de telles valeurs concernera donc le cadmium dans l'ensemble des matières fertilisantes et supports de culture. Dans ce contexte, la France soutient la récente proposition de la Commission européenne de soumettre au Comité Scientifique des Risques Sanitaires et Environnementaux (SCHER) l'étude de 2013 de Fertilizer Europe² pour évaluation notamment en termes sanitaires. En effet, au vu de ces nouvelles données, il apparaît nécessaire de mettre à jour l'analyse³ du Comité scientifique sur la toxicité, l'écotoxicité et l'environnement (CSTEE devenu le SCHER) datant de 2002.

² Revisiting and updating the effect of phosphate fertilizers to cadmium accumulation in European agricultural soils.

³ Member State assessments of the risk to health and the environment from cadmium in fertilizers.

Au regard de ces éléments, nous souhaitons donc recueillir votre avis, sur les questions suivantes :

- 1- Pour les populations riveraines de sites pollués susceptibles d'être surexposées au cadmium :
 - quelles valeurs toxicologiques de référence par ingestion (adultes, enfants, ...) faut-il retenir dans le cadre de la réalisation des évaluations quantitatives des risques sanitaires ?
 - quelles valeurs sanitaires repères du cadmium faut-il retenir dans les milieux biologiques (sang, urine, ...), selon l'âge, dans le cadre de la prise en charge sanitaire ?
- 2- Pour les populations de travailleurs en contact avec des matières fertilisantes, des produits ou procédés impliquant du cadmium, ou intervenant sur des sites pollués, et à la lumière des informations qui pourraient être obtenues dans le cadre de la saisine adressée à l'InVS sur le même sujet :
 - les risques liés à l'exposition au cadmium dans ces contextes professionnels sont-ils bien évalués aux titres des réglementations santé et sécurité au travail (à l'aide d'une enquête de filière par exemple) ?
 - quels sont les niveaux de contamination qui pourraient être estimés selon les activités ou situations professionnelles ?
 - quelles conclusions peuvent en être tirées en comparaison des valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP) et des valeurs limites biologiques (notamment celles recommandées par l'Anses) ?
- 3- Dans l'ensemble des matières fertilisantes et supports de culture, quels seraient les niveaux en cadmium permettant, en prenant en compte les travaux européens susmentionnés et la spécificité de ces produits, de maîtriser la pollution des sols agricoles et la contamination des productions végétales ?

Votre avis sur les valeurs sanitaires repères du cadmium dans les milieux biologiques sera établi en lien avec l'InVS, en copie de cette saisine.

Nous saisissons parallèlement l'Institut de veille sanitaire concernant, d'une part, la communication des résultats de l'enquête d'imprégnation par le cadmium chez l'enfant de 6 mois à 6 ans et, d'autre part, l'établissement de valeurs de référence du cadmium dans les milieux biologiques (sang, urine...).

Nous vous remercions de bien vouloir nous transmettre le rapport final concernant le point 1 de cette saisine dans le délai de six mois. Le rapport final concernant les points 2 et 3 sera transmis dans le délai de 18 mois.

Le Directeur général de la santé

Benoît VALLET

Le Directeur général du travail

Yves STRUILLLOU

La Directrice générale
de la concurrence, de la consommation
et de la répression des fraudes

Nathalie HOMOBOONO

La Directrice générale de la prévention
des risques

Patricia BLANC

Le Directeur général de l'alimentation

Patrick DEHAUMONT

Copie : Monsieur le directeur général de l'InVS

Annexe 2 : Agriculture et fertilisation en France

Ce paragraphe a pour but d'informer sur l'usage des MFSC au regard de données économiques françaises. Ces informations pourront s'avérer utiles au cours de la phase d'identification des tâches potentiellement exposantes au cadmium pour les agriculteurs.

1. Portrait de l'agriculture en France

La question sanitaire de la contamination au cadmium des MFSC revêt une dimension de taille compte tenu de l'importance économique de l'agriculture en France.

Selon l'INSEE :

« le nombre d'exploitations agricoles en France était de 450 000 en 2013 (INSEE REFERENCES, paru le 01/03/2016), la superficie agricole utilisée par ces exploitations était de 28 000 000 hectares et la superficie agricole moyenne des exploitations métropolitaines atteignait 61 hectares en 2013.

68% des exploitations métropolitaines sont des exploitations de grande et moyenne dimension économique, elles mettent en valeur 93% de la surface agricole utile (SAU). En 2013, 27 % des moyennes et grandes exploitations sont spécialisées en bovins, 26 % en grandes cultures et 15 % en viticulture. Chaque exploitation emploie en moyenne 1,62 unité de travail annuel (UTA). Les moyennes et grandes exploitations mobilisent 89 % du volume total de travail. En moyenne, ces exploitations emploient 2,1 UTA ».

En supplément des exploitations professionnelles, la France compte environ 17 millions de jardiniers (35 % de la population) et pratiquement autant de jardins dont les superficies couvriraient près d'un million d'hectares (autant que les réserves naturelles). D'après l'étude « Jardivert » mise en place par l'Ifop, à la demande du ministère de l'Écologie, de l'Énergie et du Développement durable en février 2010¹¹, 45 % des français possèdent un jardin ou un potager, voire les deux, auquel la plupart (78 %) consacrent une bonne partie de leur temps libre.

2. Fertilisation des sols français

2.1. Type de fertilisation

La fertilisation des sols a pour but de maintenir ou d'augmenter la fertilité des sols afin d'obtenir les meilleurs rendements de production et promouvoir les services écosystémiques tels que la vie biologique du sol, en intégrant les caractéristiques spécifiques à chaque parcelle (qualité du sol, climat, apports en eau, etc.). Comme indiqué au paragraphe 2.1 (Définitions), la fertilisation consiste ainsi en une gestion des apports d'engrais et/ou d'amendements. L'objectif de la fertilisation raisonnée est d'apporter aux plantes les quantités les plus justes au bon moment pour éviter la surfertilisation et la pollution des milieux.

2.2. Les matières fertilisantes utilisées en agriculture française

¹¹ http://www.rayons-brico-jardin.com/_uses/lib/10386/IFOP___710_841___MEEDDM___Etude_JARDIVERT.pdf

Sources : COMIFER¹², 2009 ; Chambre d'agriculture du Nord Pas de Calais¹³, 2013

2.2.1. Les engrais de ferme (ou effluents d'élevage)

On distingue différents types d'engrais de ferme :

- Les fumiers : mélanges des déjections animales dans les bâtiments avec une litière (paille, copeaux ou sciure). Ils sont issus d'une fermentation sous les animaux ou sur la plate-forme de stockage.
- Les lisiers : déjections animales, urines et fèces, mélangées et fermentées. Ils contiennent des débris alimentaires et peuvent être dilués par les eaux de pluie ou de lavage. Ils sont stockés en fosse et pompables.
- Le purin : produit d'égouttage du fumier (urine) en étable entravée ou sur une plate-forme. Il est utilisé pur ou dilué.

On classe les engrais de ferme en deux catégories :

- ceux à action lente (principalement les fumiers, à l'exception des fumiers de volaille). Pour ceux-ci, on préférera une application d'été (suivie de l'implantation d'une culture piège à nitrates) ou d'automne ;
- ceux à action rapide (surtout les différents lisiers et les fientes de volailles). Dans ce cas, on privilégiera une application au printemps, juste avant le labour ou lors de sa reprise¹⁴.

Sources: Le Sillon belge, 10/12/2004, p. 13 ; ITAVI – Etude OFIVAL 2001 ; ITAVI – GESTEFLUCAN 2015.

2.2.2. Les engrais verts

Les engrais verts sont constitués de végétaux à croissance rapide et peu exigeants en éléments fertilisants (N, P et/ou K) qui sont capables de solubiliser les minéraux des sols et fixer pour certains, l'azote atmosphérique. Ainsi des plantes (souvent des crucifères, des graminées ou des légumineuses) sont cultivées pour être enfouies dans le sol et mettre ainsi à disposition des éléments nutritifs phytodisponibles.

Un des avantages de l'utilisation des engrais verts est l'utilisation des minéraux présents du sol, initialement sous une forme peu phytodisponible avec un renforcement de l'activité biologique du sol et aucun risque d'apport de polluant supplémentaire à la parcelle, contrairement aux minéraux phosphatés qui peuvent donc présenter des traces de cadmium.

¹² <http://www.comifer.asso.fr/fr/publications/les-brochures.html>

¹³ https://nord-pas-de-calais.chambre-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/Hauts-de-France/028_Inst-Nord-Pas-de-Calais/Telechargements/Recyclage/les-effluents-delevage.pdf. Les effluents d'élevage : mieux les connaître pour bien les valoriser

¹⁴ Opération de travail du sol, réalisée après un labour. Les reprises de labour sont effectuées à l'aide d'outils à dents et à disques, éventuellement de rouleaux, pour amenuiser et aplanir la surface du sol afin de créer les conditions favorables au fonctionnement du semoir ainsi qu'à la germination et à la levée des semences (création d'un lit de semences) (Larousse).

Ils contribuent à l'amélioration de la structure du sol et à son activité biologique et se décomposent rapidement. Ils enrichissent le sol en humus et restituent les éléments minéraux prélevés au sol. Dans le cas des légumineuses, l'azote atmosphérique capté est incorporé au sol.

2.2.3. Les amendements organiques

Les amendements organiques sont utilisés pour compenser la fraction de l'humus qui se minéralise chaque année. Ils enrichissent le sol en matière organique, en améliorent la structure et apportent des éléments nutritifs aux cultures. Les apports de matière organique jouent également un rôle très important sur l'activité biologique du sol (notamment sur les micro-organismes).

Les amendements organiques principalement utilisés sont les effluents d'élevage et les résidus de récolte provenant de l'exploitation agricole. D'autres amendements d'origine externe peuvent être utilisés tels que les déchets urbains ou certains sous-produits industriels.

Annexe 3 : Arrêté du 08/01/98 fixant les prescriptions techniques applicables aux épandages de boues sur les sols agricoles pris en application du décret n° 97-1133 du 08/12/97 relatif à l'épandage des boues issues du traitement des eaux usées

Tableau 14 : Teneurs limites en éléments-traces dans les boues

Éléments-traces	Valeur limite dans les boues (mg/kg MS)	Flux maximum cumulé, apporté par les boues en 10 ans (g/m ²)
Cadmium	10	0,015
Chrome	1 000	1,5
Cuivre	1 000	1,5
Mercure	10	0,015
Nickel	200	0,3
Plomb	800	1,5
Zinc	3 000	4,5
Chrome + cuivre + nickel + zinc	4 000	6

Tableau 15 : Valeurs limites de concentration en éléments-traces dans les sols

Éléments-traces dans les sols	Valeur limite en mg/kg MS
Cadmium	2
Chrome	150
Cuivre	100
Mercure	1
Nickel	50
Plomb	100
Zinc	300

Tableau 16 : Flux cumulé maximum en éléments-traces apporté par les boues pour les pâturages ou les sols de pH inférieurs à 6

Éléments-traces	Flux maximum cumulé, apporté par les boues sur 10 ans (g/m ²)
Cadmium	0,015
Chrome	1,2
Cuivre	1,2
Mercure	0,012
Nickel	0,3
Plomb	0,9
Zinc	3
Sélénium (4)	0,12
Chrome + cuivre + nickel + zinc	4

(4) Pour le pâturage uniquement.

Annexe 4 : Valorisation des matières fertilisantes d'origine résiduaire sur les sols à usage agricole ou forestier – Rapport ESCO INRA-CNRS-Irstea 2014

Tableau 17 : Quantités de déjections estimées pour 2009 en fonction du type de déjections (en milliers de tonnes)

	Fumier	Lisier
Déjections émises au pré	0	148 100
Déjections récupérables	89 647	32 140
Total	89 647	180 240

Tableau 18 : Quantités d'effluents d'élevage épandus sur les sols agricoles français en 2011

Type de fumure	Quantités totales de fumure organique (t)	surfaces concernées (ha)	Quantité moyenne de fumure organique à l'hectare (t/ha)
Effluents d'élevage bruts	109 014 848	5 909 855	pression moyenne : 18,4 t/ha
- Fumier bovin	69 216 787	3 788 652	18,3
- Lisier bovin	18 069 738	801 913	22,5
- Lisier porcin	14 076 750	539 265	26,1
- Fumier porcin	796 937	44 676	17,8
- Fumier de volaille de chair	1 479 507	209 683	7,1
- Fientes de poules pondeuses	785 021	213 343	3,7
- Déjections autres volailles	754 328	34 155	22,1
- Autres effluents d'élevage (ovins, ...)	3 835 780	278 168	13,8
Compost d'effluents d'élevage	4 210 882	508 334	8,3

Annexe 5 : Règlements et Normes applicables en France

1. Généralités

En France, la mise sur le marché des MFSC est encadrée par le Code Rural (L.255-1 à L.255-11).

La règle générale est une autorisation de mise sur le marché pour toute vente, importation, distribution, même à titre gratuit. Cette procédure est définie par l'arrêté du 21 décembre 1998. Au cours de cette procédure, le notifiant dépose un dossier auprès de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments (Anses) (article 3). Ce dossier doit contenir les informations relatives à :

- la caractérisation complète du produit ;
- la constance de la composition caractérisée par l'homogénéité, la stabilité, l'invariabilité ou encore le procédé de fabrication du (des) produit(s) ;
- l'efficacité en distinguant les efficacités intrinsèques et potentielles du produit. L'efficacité intrinsèque est liée à la nature, à l'origine et à la composition du (des) produit(s) ; et l'efficacité potentielle fait intervenir des critères de comportement agronomique du (des) produit(s). Elle prend donc en compte, par exemple, les formes, les combinaisons chimiques et solubilités des éléments fertilisants et des substances utiles, ainsi que leurs disponibilités pour la plante et leurs effets sur le sol ;
- l'innocuité du produit pour l'Homme et pour l'environnement. Pour la partie innocuité des composants, les éléments à fournir obligatoirement par le demandeur sont les fiches de données de sécurité et les teneurs en éléments traces métalliques (ETM), Composés Traces Organiques (CTO), monomères et microorganismes. Ensuite, ces valeurs sont comparées aux flux maximaux annuels autorisés (pour le cadmium : 15 g/Ha).

L'Anses délivre un avis d'autorisation de mise sur le marché pour une durée de 10 ans.

Le Code Rural (Article L255-7) prévoit toutefois plusieurs dérogations à ce circuit.

Cela concerne :

- les produits conformes à une norme rendue d'application obligatoire par arrêté (cela concerne près de 95% des MFSC en France) ;
- les produits conformes à un règlement de l'Union européenne [...] ; e.g. règlement CE 2003/2003 ;
- les produits conformes à un cahier des charges approuvé par voie réglementaire garantissant leur efficacité et leur innocuité ;
- les substances naturelles à usage biostimulant [...] ;
- les déchets, résidus ou effluents [...] dont l'évacuation ou le déversement sur des terres agricoles en tant que matières fertilisantes fait l'objet d'un plan d'épandage [...] (ex. boues de station d'épuration) ;
- les matières organiques brutes ou les supports de culture d'origine naturelle, livrés en l'état ou mélangés entre eux, obtenus à partir de matières naturelles sans traitement chimique et constituant des sous-produits d'une exploitation agricole ou d'un établissement non agricole d'élevage ou d'entretien des animaux lorsqu'ils sont cédés directement, à titre gratuit ou onéreux, par l'exploitant ou le responsable de l'établissement. Néanmoins, il existe quatre

grands cas de dispenses prévus par la réglementation, sous réserve de l'innocuité à l'Homme, aux animaux et à l'environnement.

Ainsi, les autorisations de mise sur le marché ne concernent que 5% des MFSC. Il est à noter que la réglementation française est l'une des plus exigeantes d'Europe. Il n'existe pas d'évaluation harmonisée des risques et des bénéfices des MFSC au niveau européen.

Un panorama des textes réglementaires relatifs aux MFSC est disponible sur le site de la DGCCRF (<https://www.economie.gouv.fr/dgccrf/publications/juridiques/panorama-des-textes/Matieres-fertilisantes-et-supports-de-culture>), ou sur le site de la DGE (direction générale des entreprises, Fiche Matières fertilisantes et supports de culture de juillet 2017) (https://www.entreprises.gouv.fr/files/files/directions_services/libre-circulation-marchandises/fertilisants.pdf).

2. Cas spécifiques des engrais minéraux phosphatés

Au niveau européen, les engrais inorganiques minéraux sont régis par le règlement (CE) n° 2003/2003 du Parlement européen et du Conseil du 13 octobre 2003, modifié par le règlement (UE) n° 463/2013 de la Commission du 17 mai 2013. Cependant, un projet de nouveau règlement élargi à l'ensemble des matières fertilisantes est en cours d'élaboration pour l'ensemble des matières fertilisantes (engrais minéraux et organiques, amendements minéraux et organiques (carbonates, dolomie, composts, lisiers, etc), et les supports de cultures incluant la fixation de valeurs limites en contaminants). La fixation de telles teneurs concernera donc la teneur en cadmium dans l'ensemble des matières fertilisantes et supports de culture.

3. Cas des boues de station d'épuration (STEP) :

La réglementation relative aux épandages de boues, actuellement en vigueur en France, découle à la fois d'initiatives nationales et européennes. Cette pratique est réglementée en droit européen par la Directive 86/278/CEE¹⁵. Celle-ci soumet l'épandage de boues à des obligations diverses afin que leur utilisation soit efficace et avec une réduction des potentiels effets nocifs sur les sols, la végétation, les animaux et l'Homme : contraintes sur le stockage, les distances à respecter vis-à-vis de zones sensibles telles que des captages d'eau potable ou les dates d'épandage.

La législation française relative à l'épandage agricole de boues de STEP prend en compte la loi du 15 juillet 1975 sur les déchets (relative à l'élimination des déchets) et la loi sur l'eau du 3 janvier 1992. Cette législation a été renforcée par le décret n° 97-1133 à l'occasion de la transposition de la Directive 86/278/CEE en 1997 et par l'arrêté du 08 janvier 1998 fixant les prescriptions techniques applicables aux épandages de boues sur les sols agricoles pris en application du décret n° 97-1133. L'ensemble de cette réglementation a pour objectif l'obtention de boues de qualité, la garantie d'innocuité lors de l'épandage et fixe ainsi des valeurs seuils à respecter pour les micropolluants (prenant en compte 9 éléments traces métalliques (ETM), 3 hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et la somme de 7 polychlorobiphényles (PCB)) présents dans les boues de STEP (Annexe 3). Les doses d'apport sont exprimées sous la forme de flux maximaux annuels autorisés sur une moyenne de 10 ans et ne doivent pas dépasser de plus de trois fois les flux réglementaires en un apport.

¹⁵ Directive n° 86/278 du 12/06/86 relative à la protection de l'environnement et notamment des sols, lors de l'utilisation des boues d'épuration en agriculture

4. Cas des MFSC dérogeant à la procédure de mise sur le marché

4.1. Généralités

Pour rappel, les MFSC pouvant prétendre à une dispense d'autorisation de mise sur le marché (AMM), délivrée par l'Anses, doivent répondre à l'un des critères listés dans l'article L255-7 du Code Rural.

4.2. Produit conforme à une norme française rendue d'application obligatoire

Le responsable de la mise sur le marché de MFSC conformes à une norme rendue d'application obligatoire (annexe I de l'arrêté du 5 septembre 2003) doit vérifier l'innocuité de ces produits en procédant, notamment, à des analyses régulières des produits mis sur le marché conformément aux dispositions précisées dans les normes. Lorsque cette norme le prévoit, des analyses peuvent être réalisées sur les matières premières.

En l'absence d'exigences analytiques spécifiées par la norme relative aux produits, il procède :

1. Tous les six mois et lors de toute modification dans l'origine ou la nature des matières premières utilisées, à l'analyse des teneurs en éléments suivants : arsenic (As), cadmium (Cd), chrome (Cr), cuivre (Cu), mercure (Hg), molybdène (Mo), nickel (Ni), plomb (Pb), sélénium (Se) et zinc (Zn).
2. A une évaluation régulière des risques qui peuvent résulter de la présence éventuelle de germes pathogènes pour l'Homme et les animaux, de substances phytotoxiques pour les cultures.

Les résultats de ces contrôles, consignés par écrit, sont tenus à la disposition des services compétents pendant une période de trois ans à compter de la fabrication du produit.

4.3. Les principales normes

Les MFSC conformes à une norme rendue d'application obligatoire par un arrêté pris sur le fondement du décret n° 2009-697 du 16 juin 2009 relatif à la normalisation pris pour l'application de la loi n° 41-1987 du 24 mai 1941 relative à la normalisation, sont dispensées des obligations prévues aux articles L. 255-2 à L. 225-4 du code rural et de la pêche maritime, concernant les AMM, permis d'introduction ou d'expérimentation.

Les normes d'application obligatoire sont consultables sur le site de l'AFNOR¹⁶. Elles sont définies par l'arrêté du 5 septembre 2003 modifié portant mise en application obligatoire de normes (la dernière modification datant du 25 décembre 2015 –JORF 24 décembre 2015).

Source : <http://www.unifa.fr/reglementation/34-reglementation/reglementation/123--mise-sur-le-marche-en-france-des-matieres-fertilisantes-et-des-supports-de-culture.html> consulté le 6 août 2018.

¹⁶ <http://www.afnor.org/>

Liste des règlements relatifs aux ENGRAIS CE

Règlement (CE)	du	au Journal officiel des Communautés Européennes
2003/2003	13-10-2003	L 304 du 21-11-2003
2076/2004	3-12-2004	L 359 du 4-12-2004
1791/2006	20-11-2006	L 363 du 20-12-2006
162/2007	19-02-2007	L 51 du 20-02-2007
1107/2008	07-11-2008	L 299 du 08-11-2008
1020/2009	28-10-2009	L 282 du 29-10-2009
Règlement (UE)	du	au Journal Officiel des Communautés Européennes
137/2011	16-02-2011	L 43 du 17-02-2011
223/2012	14-03-2012	L 75 du 15-03-2012
463/2013	17-05-2013	L 134 du 18-05-2013
1257/2014	24-11-2014	L 337 du 25-11-2014

Liste des normes rendues d'application obligatoire

Norme			Arrêté du	Journal officiel du
NF U 42-001	décembre 1981	Engrais	05-09-03	10-10-03
	complétée en	mai 1984 (additif 2)	modifié par	
	complétée en	février 1991 (additif 1)	13-04-07	04-05-07
	complétée en	juillet 1991 (additif 5)		
	complétée en	décembre 2006 (amendement A8)		20-03-08
		décembre 2009 (amendement A10)	11-03-08 02-09-10	10-09-10
	complété en	janvier 2014 (amendement A11)	05-09-2014	20-09-2014
NF U 42-001-01	octobre 2011	Engrais – Dénominations et Spécifications – Partie 1 : Engrais Minéraux	20-12-12	26-12-12

NF U 42-002	novembre 1990 complétée en	Engrais à teneur(s) déclarée(s) en oligo-élément(s) destinées à être apportés au sol - partie 1 "Oligo-élément(s) sous forme de combinaison(s) chimique(s) exclusivement minéral(s)" juin 1992 – partie 2 "Oligo-élément(s) sous forme de combinaison(s) organique(s)"	05-09-03	10-10-03
NF U 42-003	novembre 1990 complétée en	Engrais à teneur(s) déclarée(s) en oligo-élément(s) pour pulvérisation foliaire – partie 1 "Oligo-élément(s) sous forme de combinaison(s) chimique(s) exclusivement minéral(s)" juin 1992 – partie 2 "Oligo-élément(s) sous forme de combinaison(s) organique(s)"	05-09-03	10-10-03
NF U 42-004	Juillet 2008	Engrais pour solutions nutritives minérales	05-09-03 modifié par 06-04-10	10-10-03 16-04-10
NF U 42-005	octobre 1994	Acides minéraux pour ajustement du pH des solutions nutritives minérales répondant à la norme NF U 42-004	05-09-03	10-10-03
NF U 42-006	octobre 1994	Produits alcalinisants pour ajustement pH des solutions nutritives minérales répondant à la norme NF U 42-004	05-09-03	10-10-03
NF U 44-001	Avril 2009	Amendements minéraux basiques	05-09-03 modifié par 06-04-10	10-10-03 16-04-10
NF U 44-051	Avril 2006 complétée en	Amendements organiques Décembre 2010 (Amendement A1)	05-09-03 modifié par 17-10-11	10-10-03 29-10-11
NF U 44-095	mai 2002 complétée en	Composts contenant des matières d'intérêt agronomique, issues du traitement des eaux octobre 2008 (amendement A1)	18-03-04 18-02-11	26-03-04 08-03-11
NF U 44-203	septembre 1988 complétée en	Amendements calciques et/ou magnésiens – Engrais mars 2005 (Amendement A1)	05-09-03 modifié par 13-04-07	10-10-03 04-05-07
NF U 44-203	mars 2012	Matières fertilisantes ayant des caractéristiques mixtes – Amendements minéraux basiques - Engrais - Dénominations et spécifications	20-12-12	26-12-12
NF U 44-204	septembre 2011	Engrais ou amendement minéral basique ou amendement minéral basique-engrais avec additif agronomique - Dénominations et spécifications	20-12-12	26-12-12
NF U 44-551	mai 2002 complétée en	Supports de culture février 2004 (Amendement A1)	05-09-03 modifié par	10-10-03

		02-09-07	15-02-05
complétée en	janvier 2008 (Amendement A3)	06-04-10	16-04-10
complétée en	août 2008 (Amendement A4)	02-09-10	10-09-10

*** ATTENTION : Ces normes ne peuvent pas être utilisées pour la mise sur le marché des produits tant que l'arrêté de mise en application obligatoire n'est pas paru au JORF.**

AUTRES TEXTES UTILES

Pour la mise sur le marché de ces produits, il est également utile de se référer aux textes suivants :

- Décret n° 80-478 du 16 juin 1980 modifié portant application des articles L.214-1 et L.214-2 du Code de la Consommation en ce qui concerne les matières fertilisantes et les supports de culture (Journal officiel du 29 juin 1980, 4 mars 1990, 26 avril 1991 et 13 mai 1999)
- Décret n° 2006-1177 du 22 septembre 2006 relatif à l'évaluation par l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments des produits phytopharmaceutiques, matières fertilisantes et supports de culture
- Arrêté au 7 juillet 2005 relatif aux écarts admissibles en ce qui concerne les matières fertilisantes et les supports de culture (Journal officiel du 22 octobre 2005)
- Arrêté du 8 décembre 1982 relatif aux modalités techniques du contrôle officiel des matières fertilisantes et supports de culture et vérifications auxquelles le responsable de la mise sur le marché doit procéder (Journal officiel du 6 janvier 1983)
- Arrêté du 5 septembre 2003 relatif aux vérifications auxquelles doit procéder le responsable de la mise sur le marché des matières fertilisantes et supports de culture normalisés (Journal officiel du 10 octobre 2003)

Annexe 6 : Bilan des flux en cadmium entrant sur les sols agricoles français

(Source rapport ADEME 2007 : Bilan qualitatif de la contamination par les éléments traces métalliques et les composés traces organiques et application quantitative pour les éléments traces et métalliques)

Type de compost		Cd en mg.kg ⁻¹ de Matières sèches
Verts	Moyenne	1.37
	Ecart-type	2.09
	Nombre	106
	Médiane	0.80
	Max	17.10
	Min	0.10
Biodéchets	Moyenne	1.07
	Ecart-type	0.71
	Nombre	26
	Médiane	0.86
	Max	3.50
	Min	0.50
Ordures Ménagères	Moyenne	4.62
	Ecart-type	11.30
	Nombre	46
	Médiane	1.66
	Max	74.90
	Min	0.24
STEP	Moyenne	1.62
	Ecart-type	1.88
	Nombre	91
	Médiane	1.08
	Max	12.00
	Min	0.10
Déjections animales	Moyenne	1.00
	Ecart-type	0.40
	Nombre	18

	Médiane	1.05
	Max	1.50
	Min	0.07
Mélanges	Moyenne	1.02
	Ecart-type	0.59
	Nombre	12
	Médiane	1.00
	Max	2.30
	Min	0.20

Unité : mg/kg de matière sèche

Nombre = nombre d'échantillons

Source : Etude de la composition des composts de la région Anjou Valorisation/Ademe (2001)

Annexe 7 : Liste des questions figurant dans les questionnaires qui ont été envoyés aux producteurs, utilisateurs des MFSC

QUESTIONNAIRE ANSES RELATIF A LA SAISINE CADMIUM

Contexte : L'Anses a été saisie par la Direction générale de la santé (DGS), la Direction générale de la concurrence, de la consommation et de la répression des fraudes (DGCCRF), la Direction générale du travail (DGT), la Direction générale de l'alimentation (DGAI) et la Direction générale de la prévention des risques (DGPR) le 22 juin 2015 sur la problématique suivante :

Exposition au cadmium – 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 (MFSC) permettant de maîtriser la pollution des sols agricoles et la contamination des productions végétales

L'Anses est notamment interrogée sur l'établissement de valeurs toxicologiques de référence par ingestion (adulte, enfant) et de valeurs sanitaires repères à retenir dans les milieux biologiques (sang, urine) dans le cadre du traitement de cette saisine relative à l'exposition au cadmium.

L'Anses est interrogée pour se prononcer sur les questions suivantes :

1. Pour ce qui concerne les populations riveraines de sites pollués susceptibles d'être surexposées au cadmium :
 - a. Quelles valeurs toxicologiques de référence par ingestion (adultes, enfants, ...) faut-il retenir dans le cadre de la réalisation des évaluations quantitatives des risques sanitaires?
 - b. Quelles valeurs sanitaires repères du cadmium faut-il retenir dans les milieux biologiques (sang, urines, ...), selon l'âge, dans le cadre de la prise en charge sanitaire?
2. Pour ce qui concerne les populations de travailleurs en contact avec des MFSC, des produits ou procédés impliquant du cadmium, ou intervenant sur des sites pollués, et à la lumière des informations qui pourraient être obtenues dans le cadre de la saisine adressée à l'InVS (Institut National de Veille Sanitaire devenu depuis le 1er Mai 2016 l'Agence Nationale de Santé Publique) :
 - a. Les risques liés à l'exposition au cadmium dans ces contextes professionnels sont-ils bien évalués au titre des réglementations santé et sécurité au travail?
 - b. Quels sont les niveaux de contamination qui pourraient être estimés selon les activités ou situations professionnelles ?
 - c. Quelles conclusions peuvent en être tirées en comparaison des valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP) et des valeurs limites biologiques (notamment celles recommandées par l'Anses)?

3. Dans l'ensemble des matières fertilisantes et supports de culture, quels seraient les niveaux en cadmium permettant de maîtriser la pollution des sols agricoles et la contamination des productions végétales?

Afin de répondre à la question n°2 de cette saisine, l'Anses a décidé de procéder à une enquête de filière auprès des producteurs et des utilisateurs de MFSC, susceptibles de contenir du cadmium. Cette étude de filière pourra prendre la forme d'un questionnaire écrit ou d'audition.

Secteurs Producteurs/Distributeurs de MFSC

1. Questions relatives à la production de MFSC

- ✓ Quel type de MFSC produisez-vous ?
- ✓ Origine de vos matières premières (Pays d'origine ?)
- ✓ Quels sont les différents sites (en France ou en Europe) sur lesquels vous produisez des MFSC ?
- ✓ Contrôlez-vous la teneur en cadmium dans les MFSC que vous produisez ? Si oui, comment ?
- ✓ Est-il techniquement possible de réduire la teneur en cadmium dans les MFSC que vous produisez ? Si oui, comment ? Si non, pour quelles raisons ?
- ✓ Quels sont les secteurs d'activité de vos clients ? Savez-vous comment sont utilisés vos produits ?
- ✓ Faites-vous parvenir à vos clients des préconisations d'usage ? Si oui comment et lesquelles ?
- ✓ Quels sont vos volumes de vente ? sur les 5 dernières années ? Par zone géographique (France, Europe, autre) ?

2. Questions relatives au secteur de la distribution de MFSC

- ✓ Avez-vous connaissance de la présence de cadmium dans les MFSC que vous revendez ?
- ✓ Le risque lié à une exposition au cadmium est-il pris en compte dans votre entreprise ?
- ✓ Si oui, comment ?
- ✓ Etablissez-vous une fiche de données de sécurité (FDS) ou un document équivalent ?

3. Questions relatives aux expositions des travailleurs (production/distribution de MFSC)

- ✓ Le risque lié à une exposition au cadmium est-il pris en compte dans votre entreprise ?
- ✓ Si oui, comment ?

- ✓ Quels sont les postes de travail exposant ou susceptibles d'exposer au cadmium (types de poste, types de process, etc.) ? Parmi les différentes opérations de travail, lesquelles considérez-vous les plus exposantes ?
- ✓ Combien de travailleurs sont potentiellement exposés au cadmium au sein de votre entreprise ?
- ✓ Quelles sont les mesures de prévention et protection mises en œuvre (collectives et individuelles) ?
- ✓ Disposez-vous de données de mesures d'exposition ? Si oui, de quel type (mesures atmosphériques ou biologiques) et pouvez-vous les transmettre ?
- ✓ Dans le cadre de la surveillance médicale, vos salariés font-ils l'objet d'une surveillance spécifique pour le risque lié à une exposition au cadmium ? Avez-vous connaissance de problèmes de santé parmi vos salariés ? Peut-on disposer du rapport annuel de votre médecin du travail ? Y'a-t-il eu des déclarations de maladies professionnelles les 5 dernières années au sein de votre entreprise ? et si oui, quelles maladies ?

Secteurs utilisateurs des MFSC

1. Questions relatives aux usages des MFSC

- ✓ D'où proviennent les MFSC que vous utilisez ?
- ✓ Pour quels usages utilisez / transformez-vous les MFSC ?
- ✓ Dans les usages « anciens » (usages de plus de 5 ans) :
 - Quelle est l'évolution du marché ou des pratiques ?
 - Marchés stables ou décroissants ?
- ✓ Y-a-t'il des nouveaux usages (usages inférieurs à 5 ans) ?
- ✓ Si oui, quels sont les marchés récents ? Comment sont apparus ces marchés ?
- ✓ En quoi sont différents les nouveaux usages ?
- ✓ Quel mode opératoire mettez-vous en œuvre lors de l'utilisation des MFSC que vous achetez ?
- ✓ Faites-vous subir des transformations aux MFSC que vous achetez ? si oui pourquoi et quelles transformations ?
- ✓ Quel est votre volume d'approvisionnement en MFSC par an ? Sur les 5 dernières années ?
- ✓ Avez-vous connaissance de la teneur en cadmium dans les MFSC que vous utilisez ?
- ✓ Si oui, quels sont les volumes d'achat des produits contenant du cadmium ? sur les 5 dernières années ? Par zone géographique (France, Europe, autre) ?

- ✓ Utilisez-vous un seul fournisseur ou plusieurs pour vos achats de MFSC ? Quel cahier des charges est donné au fournisseur ?

2. Questions relatives aux expositions des travailleurs

- ✓ Le risque lié à une exposition au cadmium est-il pris en compte dans votre entreprise ?
- ✓ Si oui, comment ?
- ✓ Quels sont les postes de travail exposant ou susceptibles d'exposer au cadmium (types de poste, types de process, etc.) ? Parmi les différentes opérations de travail, lesquelles considérez-vous les plus exposantes ?
- ✓ Combien de travailleurs sont potentiellement exposés au cadmium au sein de votre entreprise ?
- ✓ Quelles sont les mesures de prévention et protection mises en œuvre (collectives et individuelles) ?
- ✓ Disposez-vous de données de mesures d'exposition ? Si oui, de quel type (mesures atmosphériques ou biologiques) et pouvez-vous les transmettre ?
- ✓ Dans le cadre de la surveillance médicale, vos salariés font-ils l'objet d'une surveillance spécifique pour le risque lié à une exposition au cadmium ? Avez-vous connaissance de problèmes de santé parmi vos salariés ? Peut-on disposer du rapport annuel de votre médecin du travail ? Y'a-t-il eu des déclarations de maladies professionnelles les 5 dernières années au sein de votre entreprise ? et si oui, quelles maladies ?

3. Questions relatives aux expositions des consommateurs

- ✓ L'utilisateur final du produit contenant du cadmium, peut-il être en contact lui-même avec le cadmium ? Sous quelle forme et lors de quelles opérations ?
- ✓ Si oui, comment est-il informé ?

Secteurs Suivi des expositions du cadmium dans les MFSC (organismes de contrôle)

1. Questions relatives aux usages des MFSC

- ✓ Avez-vous connaissance des secteurs d'utilisation/d'exposition des MFSC contenant du cadmium ?
- ✓ Si oui, quel est la part des travailleurs exposés au cadmium / travailleurs totaux ?
- ✓ Quels procédés d'utilisation et/ou de transformation des MFSC contaminés par du cadmium jugez-vous les plus à risque ?

2. Questions relatives aux expositions des travailleurs

- ✓ Quels sont les postes de travail exposant ou susceptibles d'exposer au cadmium (types de poste, types de process, etc.) ? Parmi les différentes opérations, lesquelles considérez-vous les plus exposantes ?
- ✓ Combien de travailleurs sont potentiellement exposés au cadmium (par secteur)?
- ✓ Quelles sont les mesures de prévention et protection mises en œuvre (collectives et individuelles) ?
- ✓ Disposez-vous de données mesures d'exposition ? Si oui, de quel type (mesures atmosphériques ou biologiques) et pouvez-vous les transmettre ?
- ✓ Dans le cadre de la surveillance médicale, les salariés font-ils l'objet d'une surveillance spécifique pour le risque lié à une exposition au cadmium ? Avez-vous connaissance de problèmes de santé parmi les salariés ? Peut-on disposer du rapport annuel du médecin du travail ? Y'a-t-il eu des déclarations de maladies professionnelles les 5 dernières années en lien avec une exposition au cadmium et les MFSC ? et si oui, quelles maladies ?

Annexe 8 : Extraction de la Base de données COLCHIC

L'ANSES a demandé à l'INRS de procéder à une extraction de données de la base de données COLCHIC. Les résultats fournis ont été obtenus à partir des mesures effectuées par les 8 laboratoires interrégionaux des CARSAT/CRAMIF et de l'INRS de 1987 à 2017. Les données exploitées appartiennent au secteur de la fabrication de produits azotés et d'engrais (NAF 2015Z). Il s'agit de poussières d'engrais (superphosphate) (CAPROEX POU 107). L'exploitation statistique a été faite à partir de résultats bruts correspondant à la durée de prélèvements non pondérés sur 8 heures et non corrigés par un facteur de protection. Les analyses ont été réalisées en agglomérant les mesures d'exposition (prélèvements individuels – QTI) et les mesures ambiantes (prélèvements à poste fixe – QTA). Cette exploitation porte sur des prélèvements d'une durée supérieure à 60 minutes stratifiés par code tâche (table interne à COLCHIC permettant de décrire l'activité du salarié au moment du mesurage) pour les poussières inhalables et de manière globale pour le cadmium compte tenu du faible nombre de mesures.

Les tableaux ci-dessous récapitulent les résultats statistiques pour les poussières inhalables et le cadmium pour la période 1987-2017 pour le secteur de la fabrication de produits azotés et d'engrais.

Tableau 2 : Résultats statistiques pour les poussières inhalables pour la période 1987-2017 en mg/m³

Tâche	Nb mesures	Moy. Arith. m.	SD	Min	C5	C25	C50	C75	C95	Max	Lois	MG	SG	C5 _{LN}	C25 _{LN}	C50 _{LN}	C75 _{LN}	C95 _{LN}
Autres tâches	84	44	102	0,29	0,63	3,8	8,1	38	259 ^(1,2)	724 ⁽¹⁾	Log-normale	11	5,3	0,62	3,8	8,1	38	259 ^(1,2)
Broyage et tri	20	26	54	0,67	1,6	2,9	6,0	18	137	218	Log-normale	8,0	4,3	1,6	2,9	5,7	18	137
Conduite de chariots de manutention	16	9	15	1,0	1,2	2,4	3,3	8,3	27	61	Log-normale	4,4	2,9	1,2	2,4	3,3	8,3	22
Conduite et surveillance d'installations d'ensachage	15	11	20	0,04	0,40	0,82	2,6	4,2	45	73	Log-normale	2,4	6,6	0,25	0,81	2,6	4,2	42
Conduite et surveillance de mélangeurs	47	12	14	0,51	1,9	3,3	6,8	13	44	65	Log-normale	7,2	2,7	1,8	3,3	6,8	13	44
Conduite et surveillance de réacteurs	11	20	17	4,2	5,5	13	14	20	50	68	Log-normale	16	2,1	5,3	13	14	20	47
Conduite et surveillance de tamis ou de cribles	13	14	16	0,40	0,51	1,1	7,4	21	41	57	Log-normale	5,6	5,1	0,50	1,1	7,4	21	40
Conduite et surveillance des machines de pastillage	32	25	39	0,24	0,66	4,9	9,2	28	106	176	Log-normale	9,8	4,6	0,63	4,9	9,2	28	103
Conduite et surveillance installations de broyage et de tri	13	171	153	15	18	60	131	203	464	498	Log-normale	108	3,0	18	60	131	203	464
Mélange, compression, moulage, réaction	14	16	13	1,1	2,8	7,8	8,4	27	36	36	Log-normale	11	2,7	2,4	7,7	8,4	27	36

Les tâches comptant moins de 11 mesures ont été regroupées dans une rubrique « Autres tâches ».

⁽¹⁾ Mesure durant le « nettoyage manuel des installations et outils »

⁽²⁾ Mesuré lors du « transport mécanique des matières premières/produits intermédiaires »

La distribution des durées de prélèvement de cadmium est présentée tableau 3.

Tableau 3 : Distribution de la durée de prélèvement de cadmium en minutes

	Moy. Arith. m.	Min	C5	C25	C50	C75	C95	Max
Durée (minutes)	220	113	129	166	237	262	409	443

Tableau 4 : Résultats statistiques pour le cadmium pour la période 1987-2017 en µg/m³ et pour les poussières inhalables prélevées en même temps en mg/m³

Substance	Nb mesures	Moy. Arith. m.	SD	Min	C5	C25	C50	C75	C95	Max	Lois	MG	SG	C5 _{LN}	C25 _{LN}	C50 _{LN}	C75 _{LN}	C95 _{LN}
Cadmium	22	1,1	0,98	0,10	0,20	0,50	0,60	1,8	2,7	3,8	Log-normale	0,77	2,6	0,20	0,50	0,50	1,8	2,7
PO inhalables prélevées en même temps que le Cd	22	29	57	0,51	1,4	4,0	8,5	16	104	261	Log-normale	9,8	4,2	1,4	4,0	8,5	16	103

Annexe 9 : Résumé des visites effectuées chez les producteurs et distributeurs d'engrais phosphatés

Visite de l'entreprise n°1

L'entreprise n°1 est un fabricant français de fertilisants minéraux et spécialités, basé en Picardie. Cette société fabrique des engrais à la carte par compactage avec des formulations adaptées aux besoins des plantes et à la fertilité des sols en fonction des particularités régionales.

Dans le cadre de cette étude, des prélèvements de poussières ont été réalisés par les services de la CARSAT Nord Picardie lors des phases de production et de mise en conditionnement d'engrais superphosphates, respectivement le 21 et 27 mars 2018. L'analyse de ces prélèvements de poussières a révélé des concentrations en cadmium inférieures aux limites de quantification (inférieures à 0,1 µg/m³) pour la population de travailleurs susceptible d'être exposée au cadmium

Visite de l'entreprise n°2

Dans le cadre de cette étude, l'ANSES est entrée en contact, par le biais des CARSAT, avec une entreprise industrielle spécialisée dans l'amendement des sols, la nutrition végétale et animale.

Une visite sur site et des prélèvements de poussières (avec mesure du taux de cadmium) étaient envisagés sur l'année 2018. Toutefois, à l'heure de la rédaction de ce rapport, aucune visite, ni mesures n'ont pu être réalisées. Seule, une première entrevue avec la Direction de l'entreprise a été obtenue le 18 avril 2018 par les services de la CARSAT Bretagne. En vue de préparer une réunion sur site et une campagne de prélèvements de poussières tout au long du procédé de fabrication des engrais phosphatés, une seconde réunion avec le CHSCT de l'entreprise a été prévue en juillet 2018. De ce fait, dans le cadre de cette étude, aucune donnée issue de cette entreprise (importation de roches phosphatées et production d'engrais) n'a pu être obtenue dans le cadre de cette expertise.

Distributeur d'engrais : cas d'une coopérative agricole (CA)

Description de la CA.

Dans le cadre de cette expertise, une visite d'un silo de stockage d'engrais phosphatés a été effectuée le 8 novembre 2017. La plateforme visitée est située en Meurthe et Moselle, en milieu rural, et assure le stockage des céréales récoltées et des engrais destinés à environ une centaine d'agriculteurs. En raison du stockage de nitrate d'ammonium, le site relève de la réglementation sur les établissements classés. Les engrais sont transportés par péniche (origine non spécifiée) jusqu'à un port fluvial puis en camion jusqu'au silo de la coopérative agricole. Le déchargement des péniches s'opère généralement par transbordement direct à l'aide de pelles mécaniques. Les camions bâchés, afin d'éviter la dispersion de poussières, acheminent les engrais jusqu'au silo de la coopérative. Les engrais phosphatés sont le super 45 à raison de 200 tonnes/an et le 027/18 à raison de 150 tonnes/an.

La période de livraison du port vers le silo peut durer quelques jours généralement entre juin et août. Arrivés sur le site de la coopérative, les camions sont déchargés à l'aide d'une sauterelle (bande transporteuse) qui se déverse dans une case en bois.

Cette opération de déchargement des camions avec une sauterelle, dure environ 10 minutes pour un camion de 28 tonnes. Selon le gestionnaire du site, cette opération est source d'une émission importante de poussières qui peut nécessiter le port d'un EPI respiratoire.

La livraison aux agriculteurs se fait par chargement direct des épandeurs à l'aide d'une pelle mécanique. Cette opération est également source d'émission de poussières liée à la fois au déplacement de l'engin sur le sol de la case et le déversement de la pelle. Cette opération unitaire est généralement courte : environ 5 minutes et se produit durant la période d'épandage en septembre-octobre. Les cases d'engrais sont nettoyées régulièrement par grattage et balayage, ce qui constitue également une source d'émission non négligeable de poussières.

A signaler l'utilisation d'engrais « huilés, enrobés, pelliculés » destinés à réguler, dans le temps, l'apport de nutriments aux sols. Cette catégorie d'engrais génère beaucoup moins de poussières que les engrais solides classiques mais semble surtout concerner les engrais azotés.

Evaluation des expositions

Les expositions les plus importantes surviennent lors des opérations de déchargement des camions de phosphates en provenance du port fluvial, où probablement l'exposition est similaire. Les travailleurs concernés par cette chaîne d'approvisionnement sont : le personnel du port, les chauffeurs de camion, le personnel de l'unité de stockage et en dernier lieu les agriculteurs lors de la livraison.

Concernant le personnel du site de stockage, en tenant compte des renseignements fournis, la durée d'exposition lors des déchargements des camions est approximativement de 3-4 heures par an avec des expositions aux poussières probablement supérieures à 10 mg/m³ lorsque l'opérateur rentre dans la case pour déplacer la sauterelle.

L'exposition durant les chargements d'épandeurs (livraison aux agriculteurs) est du même ordre de durée mais avec des intensités d'exposition plus faibles.

Dans le cadre de la surveillance médicale habituelle, aucune mesure d'exposition (biométrie ou mesure atmosphérique) n'a été réalisée sur ce site.

Annexe 10 : Descriptif du fonctionnement d'une station d'épuration et compte rendu des visites effectuées dans le cadre de cette saisine

1. Fonctionnement général d'une STEP

Le traitement des eaux usées en station d'épuration, qu'elles soient d'origines domestique ou industrielle conduit à la production de boues qui contiennent divers éléments chimiques (plomb, nickel, HAPs...) et du cadmium. Ces divers éléments chimiques proviennent de l'usage des canalisations, des eaux domestiques, des eaux de ruissellement sur les chaussées, les toitures, les terrains cultivés ou non sur les bassins versants. Les retombées atmosphériques peuvent également contribuer à la pollution des eaux de ruissellement en micropolluants chimiques. Chaque année, environ 1,8 millions de tonnes de matières sèches de boues de station d'épuration (STEP) sont produites en France, 52 % sont des boues industrielles et 48 % sont des boues d'épuration urbaines (<http://www.planetoscope.com/sols/624-Tonnes-de-matiere-egreve-res-s-egreve-ches-de-boues-de-station-d-epuration-produites-en-France.html>).

Une station d'épuration rassemble une succession de procédés qui permettent, petit à petit, de purifier l'eau.

On peut distinguer trois opérations principales dans le traitement de l'eau :

- le pré traitement et le traitement primaire qui comprend le dégrillage (qui élimine les déchets volumineux), le dessablage (qui permet d'extraire les sables), le déshuilage (qui débarrasse l'eau de ses corps gras) et la décantation primaire où la boue est récupérée au fond du bassin.
- Le traitement secondaire se fait le plus souvent de manière « biologique » mais une voie « physico-chimique » peut la remplacer ou s'y ajouter. Le traitement physico-chimique permet une meilleure coagulation des boues et favorise notamment la fixation des phosphates provenant des engrais ou des activités agricoles. Le traitement secondaire comprend l'oxygénation (de l'oxygène est inséré dans l'eau pour la défaire des substances grasses restantes) et la décantation secondaire (qui permet d'extraire une deuxième quantité de boue).
- Le traitement des boues s'effectue parallèlement aux traitements de l'eau, avec la boue récoltée dans les bassins de décantation et durant la clarification.

2. Résumés des visites des STEPs

Dans le cadre de cette saisine, trois visites dans des stations d'épuration ont été organisées dans le but de recueillir des informations sur la filière de production de boues d'épandage et surtout des données d'imprégnation relatives au cadmium pour les travailleurs de ces secteurs.

Ces visites ont été effectuées respectivement le 2 novembre 2017, les 9 et 10 janvier 2018.

Ces trois stations d'épuration d'eaux urbaines appartiennent pour deux d'entre elles, à des groupements d'agglomérations d'environ 300 000 habitants et la dernière à une communauté de communes de 25 000 habitants. Dans les deux plus grosses STEP, une unité de séchage en continu permet de réduire le volume de boues, à un degré initial de siccité d'environ 25 %, puis de les transformer en pellets via un granulateur. Ces opérations constituent une source potentielle d'exposition aux poussières contenant du cadmium. Dans l'une des deux STEP où la teneur moyenne des boues séchées en cadmium était de 0,6 mg/kg de matière sèche (2016), des mesures d'exposition aux poussières inhalables et au cadmium ont été réalisées à l'unité de séchage (2005). Ces mesures ont mis en évidence des concentrations ambiantes de 0,53 à 5,9

mg/m³ de poussières inhalables alors que l'opérateur était exposé à une concentration de 20 mg/m³ sur 8 heures. Des mesures de cadmium effectuées sur ces prélèvements de poussières indiquaient des concentrations variant de 0,79 à 0,93 µg/m³. Ces résultats peu représentatifs (nombre limité de mesures sur une STEP effectuées en 2005) indiquent cependant qu'il existe une potentialité d'exposition au cadmium dans ce type d'unité et pour les travailleurs affectés au transport des pellets soit sur le site ou vers les sites de valorisation (épandage, valorisation énergétique).

La France compte actuellement plus de 20 000 STEP aussi bien en France métropolitaine que dans les DOM-TOM (<https://www.data.gouv.fr/fr/reuses/geocalisation-des-stations-des-eaux-usees-en-france>). Fin 2016, ce secteur d'activités (NAF 37) employait 26 000 travailleurs. A partir des données concernant le nombre de travailleurs potentiellement exposés au cadmium dans les STEP visitées, il est possible d'estimer que 1800 à 7000 travailleurs seraient concernés par ce type d'exposition.

3. Visite de la station A (CdC 25000 habitants)

Celle-ci a été effectuée le 2 novembre 2017. La personne rencontrée était le directeur de la STEP.

3.1. Description de la STEP.

Le Syndicat d'assainissement de l'agglomération concernée a été créé en date du 20/07/1988 et regroupe aujourd'hui 5 communes. Ce SIVU (syndicat intercommunal à vocation unique) est en charge de la gestion de l'assainissement et l'exploitation de la station d'épuration (STEP) qui a été attribuée par appel d'offres. La station emploie 7 personnes à temps plein dont une seule est concernée par le traitement des boues d'épuration.

La STEP traite les eaux d'une communauté de 24000 habitants ce qui correspond à un volume annuel moyen de 2,7 millions de mètres cubes d'eaux usées. Ces effluents se répartissent entre les eaux potables (1 million m³-110 L/habitant/jour), les eaux claires parasites (1 million m³) et les eaux pluviales (0,7 million m³). La station ne traite pas d'effluents d'origine industrielle.

3.2. La production des boues

La station produit entre 1500 et 1800 tonnes de boues pâteuses ce qui correspond environ à 400-500 tonnes de matières sèches après adjonction de chaux pour hygiéniser les boues pendant le transport. La production de ces boues est régulière au cours de l'année. Les boues en provenance des bassins de la station sont stockées dans des silos pré-épaisseurs (décantation) (photo 1).

Photo 1. Vue des silos pré-épaisseurs et du local de traitement des boues.



Les boues décantées sont ensuite reprises par des pompes qui les dirigent vers des centrifugeuses qui les amènent à un niveau de siccité d'environ 30 %. En sortie de centrifugeuse, un système automatique permet l'adjonction de chaux (Photo 2) dans les boues qui sont ensuite stockées dans une benne de transport via un tapis roulant (Photo 3). Ces opérations ne nécessitent aucune intervention humaine, si ce n'est le dépôt d'une couche de paille dans le fond de la benne de stockage vide, afin de faciliter le vidage de celle-ci en évitant l'adhérence des boues sur le fond. Les bennes, transportées par camion, sont nettoyées à l'eau sur le site de vidage.

Photo 2. Vue des centrifugeuses et du dispositif d'adjonction de chaux.



Photo 3. Benne de stockage et de transport des boues.



3.3. Utilisation des Boues de STEP

La station dispose d'un plan d'épandage qui comprend la fabrication de compost puis l'épandage du compost sur des parcelles agricoles appartenant à 3 exploitants agricoles. Les bennes de boues sont transportées dans une unité de compostage, vidées et stockées dans des cellules. Chaque lot, constitué de plusieurs bennes de boues est analysé avant fabrication du compost, afin de vérifier les teneurs en éléments métalliques et organiques fixées par l'arrêté du 8 janvier 1998 fixant les prescriptions techniques applicables aux épandages de boues sur les sols agricoles 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 fixe une valeur limite de 10 mg/kg de matière sèche pour le cadmium. Le compost est obtenu par mélange des boues de STEP avec des déchets verts et de bois broyés qui vont fermenter pendant 4 mois sous oxygène ou 6 mois sans oxygénation (Figure 14). Le compost obtenu considéré comme un déchet est également soumis à analyse avant épandage ou commercialisation (déchet normé).

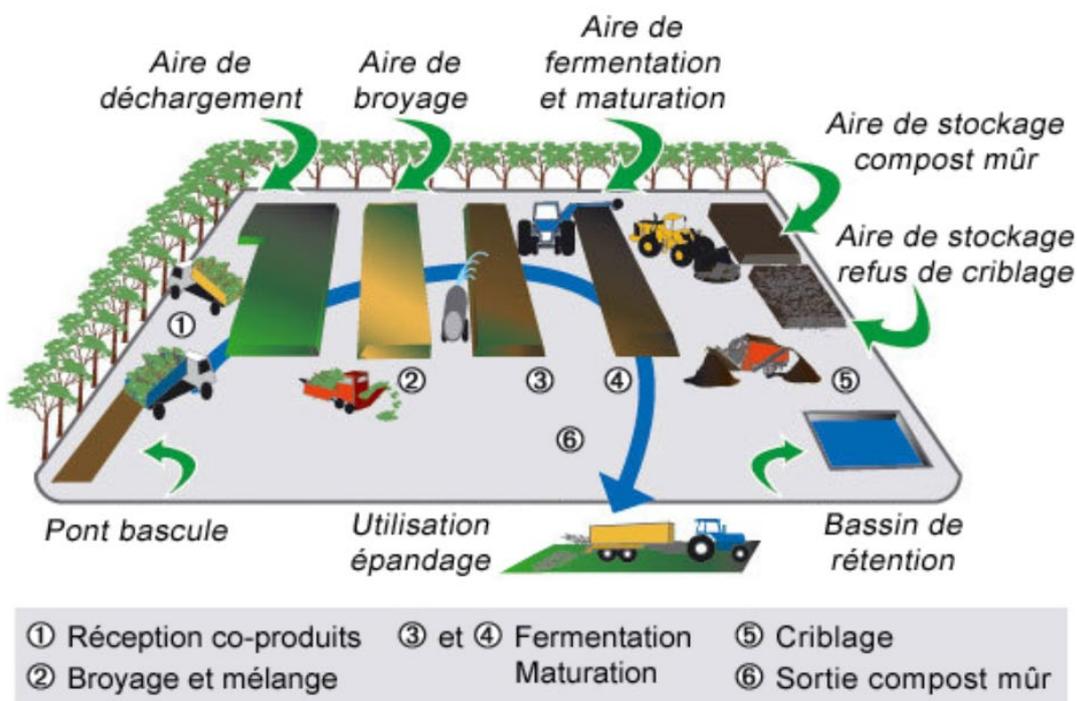


Figure 14 : Schéma du procédé de compostage.

3.4. L'épandage du compost

Les boues de la station d'épuration vont donner lieu à la production d'environ 1200 tonnes de compost qui vont être épandues sur une surface de 400 ha appartenant à 3 exploitants. Le plan d'épandage se traduit par une consommation de 12 t/ha en fonction de la qualité des sols dont la qualité est vérifiée tous les 10 ans par analyse, afin de vérifier l'apport en éléments métalliques cumulé sur cette période en référence à l'arrêté de janvier 1998. Pour le cadmium et depuis janvier 2001 ce flux ne doit pas excéder 15 mg/m². L'agriculteur doit tenir compte de l'apport en compost dans le plan de fumure qui intègre également les engrais. Le transport, l'épandage et l'enfouissement du compost sur la parcelle sont assurés par une société mandatée par l'exploitant de la STEP. Ce service « rendu racine » est gratuit pour l'agriculteur et d'un coût moins élevé pour la STEP que l'enfouissement ou l'incinération des boues pratiqués par certaines grandes villes. L'épandage est réalisé en août et concerne des cultures telles que l'orge et le colza d'hiver. Le plan d'épandage fait l'objet d'une autorisation et d'une information auprès des maires concernés.

3.5. Analyses des boues de STEP

Elles sont effectuées par un laboratoire externe accrédité. Des échantillons sont prélevés sur chaque benne et une analyse de l'échantillon moyen de boues est menée environ tous les deux mois, puis ensuite on analyse le compost qui correspond au même lot de boues de la STEP. L'agence régionale de l'eau procède à 3 contrôles par an : débits entrée /sortie ainsi que les divers polluants présents dans les boues.

Les résultats de ces analyses permettent de donner des conseils d'épandage ou de refuser les boues en cas de dépassement des valeurs limites.

3.6. Exposition du personnel STEP

L'exposition aux aérosols de boues est négligeable compte tenu du procédé de traitement des eaux usées et des boues, des procédures de travail et la durée de présence dans le local de traitement - stockage qui est de l'ordre de 5 à 10 min par benne soit au maximum une dizaine d'heures par an. Les principaux risques chimiques sont liés à l'unité de désodorisation qui vise à éliminer l'H₂S (unité de détection) et nécessite l'emploi d'acide sulfurique, de soude, d'eau de javel. Les autres risques chimiques concernent les agents de floculation (chlorure ferrique, polyacrylamide) et la chaux destinée aux boues.

Le personnel est suivi médicalement, aucune mesure d'exposition n'a été réalisée sur ce site.

3.7. Exposition du personnel lors de l'épandage de compost

L'épandage étant réalisé en été et le compost étant relativement sec, cette opération peut donner lieu à une émission importante de poussières (photo 4) avec cependant un conducteur isolé dans une cabine, ce qui réduit l'exposition. Aucune mesure n'est toutefois disponible.

Photo 4. Epandage de compost sur une parcelle



4. Visite de la station B (300000 habitants)

La visite a été effectuée le 10 janvier 2018. Les personnes rencontrées sont le responsable d'exploitation de la STEP et son adjoint.

4.1. Description de la STEP

Les services d'eau et d'assainissement de la ville B et de sa métropole sont gérés par une régie de la communauté d'agglomération, dotée de la personnalité morale et de l'autonomie financière.

La STEP a été mise en service en 1974. Elle traite les eaux d'une communauté urbaine de 223 000 habitants répartis sur 44 communes. Le volume annuel moyen traité se situe entre 21 et 26 millions de mètres cubes d'eaux usées. Ces effluents se répartissent entre les eaux potables, les eaux claires parasites, les eaux pluviales et des effluents d'origine industrielle provenant d'une malterie, d'un abattoir et d'une usine fabriquant des pièces automobiles.

La STEP a une capacité nominale de 440 000 équivalents-habitants. Le débit moyen par temps sec de 3000 m³ / h (soit 72 000 m³ / jour) peut atteindre un débit de pointe de 10 800 m³ / h (240 000 m³ / jour) en temps de pluie, et 92 000 m³ / jour avec la vidange des bassins de retenue par temps sec.

La STEP emploie 161 personnes à temps plein dont 7 sont concernées par le traitement des boues d'épuration. L'exploitation est assurée 24h/24h grâce au travail posté par équipes (2x8h et astreintes sur les autres tranches horaires). Le schéma de principe de la STEP est illustré sur la figure ci-dessous :

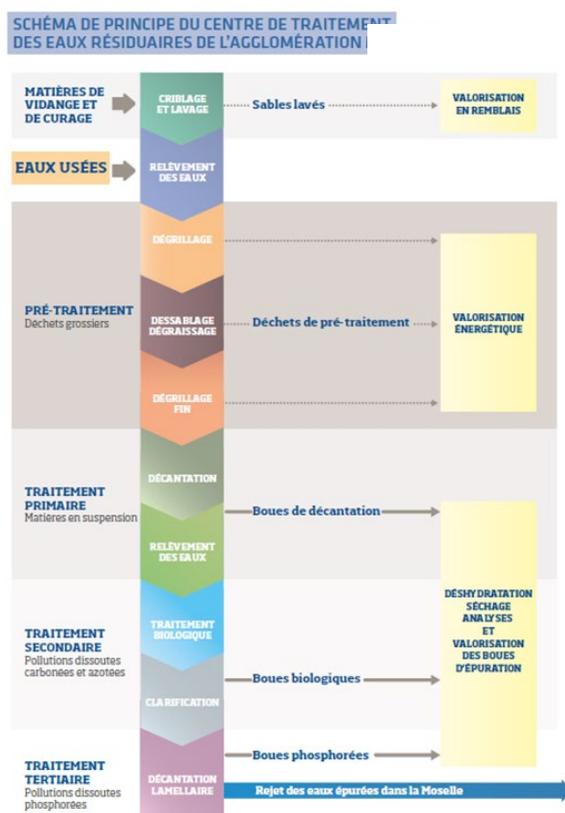


Schéma 1 : principe du centre de traitement des eaux résiduaires de l'agglomération B

4.2. La production des boues

La station produit annuellement entre 7000 et 7500 tonnes de boues pâteuses à 28 % de siccité. Le processus de traitement des boues est schématisé sur la figure 8.

Les boues d'épuration ont deux origines : les boues primaires constituées de particules qui se sont déposées au fond des décanteurs et les boues biologiques, essentiellement constituées des micro-organismes cultivés dans les ouvrages de traitement biologique, augmentées des boues de dé phosphatation. Toutes ces boues sont produites à l'état liquide. Elles subissent donc diverses opérations destinées à les épaissir pour les rendre aisément transportables. Les boues primaires sont déshydratées par les rouleaux presseurs de filtres à bandes qui retiennent les particules. Quant aux boues biologiques et phosphorées, elles sont stabilisées par adjonction de chlorure ferrique, de chaux et sont déshydratées par des filtre-presses (Photo 5). Une centrifugeuse assure la déshydratation des boues sans adjonction de chaux pour l'alimentation du sécheur et la production de granulés secs avec un degré de siccité de 98 %. Au stade de la déshydratation classique, par filtre-presse, les boues se présentent sous la forme d'un matériau, pouvant être granulé, de consistance analogue à celle de la terre, d'une siccité de l'ordre de 27%.

SCHÉMA DU PARCOURS DE TRAITEMENT DES BOUES

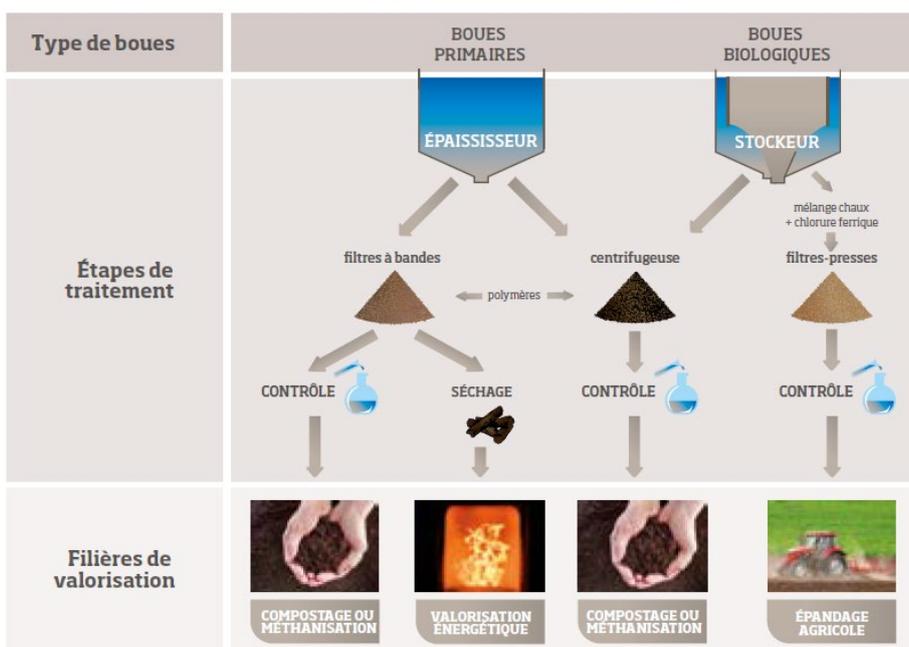


Figure 15 : traitement des boues

Ces boues primaires ou biologiques sont stockées sur site avant d'être utilisées en épandage direct ou en compostage (Photos 6 et 7). Ces activités de stockage et de transport sont assurées par un prestataire.

Photo 5 : Récupération des gâteaux sur filtre-presse**Photo 6 : Stockage des boues primaires****Photo 7 : Stockage des boues biologiques**

4.3. Utilisation des boues de STEP

Les boues issues de la STEP sont valorisées suivant différentes filières en fonction de la nature des boues et de leur forme (pellets ou pâteuses). Les pellets sont utilisés majoritairement en compostage (82%), le reste en méthanisation ou valorisation énergétique. La fabrication de pellets ne concerne que les boues non chaulées en raison du problème d'encrassement des sécheurs. L'intérêt des pellets réside essentiellement sur la réduction du volume de boues et du gain logistique. La valorisation des boues de STEP pour l'année 2016 est présentée en figure 16. Toutes ces étapes de valorisation sont assurées par un prestataire qui gère le plan d'épandage (4200 ha pour 28 communes). En 2016, le plan d'épandage a concerné 70 parcelles pour une surface totale de 916 ha. Les lots de boues sont régulièrement analysés et en cas de non-conformité sont dirigés vers un centre d'enfouissement. Cette situation ne s'est pas produite depuis 10 ans.

PRODUCTION ET FILIÈRES DE VALORISATION

Quantité de boues (matière sèche) produites	8 155 t
Quantité de boues (matière sèche) évacuées (STEP principal + station ...)	7 184 t
Soit quantité de boues humides	24 863 t
Valorisation des boues	
Épandage agricole	45,6%
Compostage	38,7%
Valorisation énergétique des pellets	6,7%
Valorisation énergétique méthanisation (plateforme de valorisation organique)	9,0%
Enfouissement (pour la 10 ^e année consécutive)	0,0%
Quantité de pellets produits	1 359 t

Figure 16 : valorisation des boues pour l'année 2016 pour la STEP B

4.4. Analyses des boues de STEP

Elles sont effectuées par un laboratoire externe accrédité et ces analyses sont gérées par le prestataire en charge de la valorisation des boues. La concentration maximale relevée en 2016 pour le cadmium était de 0,8 mg/kg matière sèche. La synthèse des analyses effectuées en 2016 pour les boues est présentée ci-dessous.

Récapitulatif des analyses des boues valorisées par l'agriculture, en mg/kg de matière sèche (Exercice 2016)			
	Moyenne 2016	Valeur max. 2016	Valeur limite autorisée
Métaux			
Cd	0,6	0,8	10
Cr	20,1	31	1 000
Cu	214,5	290	1 000
Hg	0,2	0,3	10
Ni	12,8	16,3	200
Pb	18,1	24,1	800
Zn	400	558	3 000
Cr+Cu+Ni+Zn	647,5	891,9	4 000
Composés organiques			
7 PCB	0,1	0,2	0,8
Fluoranthène	0,1	0,2	5
Benzo(b)fluoranthène	0,1	0,2	2,50
Benzo(a)pyrène	0,1	0,1	2

Figure 17 : résultats d'analyses des boues de STEP en 2016

4.5. Exposition du personnel de la STEP

Sept personnes sur 20 sont potentiellement exposées au cadmium lors des opérations de traitement des boues et de maintenance des installations. Alors que l'exposition aux aérosols produits lors du traitement des boues biologiques et physico-chimiques déshydratées peut être considérée comme négligeable, cette exposition est probablement plus importante pour le traitement et la manipulation des boues séchées. La maintenance des unités de filtration (filtres à bandes ou filtre-presses) pourrait générer une exposition probablement faible aux poussières de boues séchées naturellement au cours du temps.

En 2007, des mesures d'exposition ont été réalisées par un organisme accrédité dans la zone de séchage et de granulation des boues de STEP. Les mesures réalisées par analyse de l'air des lieux de travail ont permis de quantifier l'exposition aux poussières inhalables et aux éléments métalliques. Les résultats mettaient en évidence des expositions importantes aux poussières. En ambiance, les concentrations (n= 4) variaient de 0,53 à 5,9 mg/m³ alors que l'exposition de l'opérateur atteignait 20 mg/m³, aucun élément dans le rapport ne permettant d'apprécier la représentativité de cette mesure, bien qu'il soit indiqué que les mesures se soient déroulées dans les conditions habituelles d'exploitation. Les concentrations en éléments métalliques (Cd, Cr, Pb, Hg...) mesurées dans les poussières inhalables (n=5), tant sur les prélèvements d'ambiance qu'individuel, variaient de 0,79 à 0,93 µg/m³.

4.6. Exposition du personnel lors de l'épandage de compost

Cette opération peut donner lieu à une émission importante de poussières, notamment lors de l'épandage de boues séchées, avec cependant un conducteur isolé dans une cabine pressurisée, ce qui réduit l'exposition. Par temps sec les chargements de boues stockées peuvent donner lieu à l'émission de poussières. Afin de prévenir l'exposition du personnel de la STEP, le sous-traitant doit effectuer ces opérations en heures creuses.

En mai 2018, des cadmiuries ont été réalisées sur les 7 techniciens en poste au sécheur de boues. Six résultats obtenus par ICP/MS et exprimés en µg/g de créatinine ont pu être exploités.

	Nb de personnes concernées	Cadmiurie (µg/g de créat)
Fumeurs	2	0,17 et 0,20
Non fumeurs	4	0,12 – 0,13 – 0,19 et 0,26

les valeurs mesurées par ICP-MS sont inférieures à 0,8 µg/g de créatinine, valeur correspondant à la VBR recommandée pour les non-fumeurs et correspondant au 95^{ème} percentile des valeurs retrouvées dans la population générale d'adultes de l'étude française ENNS (Fréry et al., 2009).

5. Visite de la station C (300 000 habitants)

La visite a été effectuée le 9 janvier 2018. Les personnes rencontrées sont le directeur de la STEP et le responsable territorial du service usines (qui a en charge le suivi des contrats d'exploitation de l'usine des eaux et de la station d'épuration).

5.1. Description de la STEP.

Les services d'eau et d'assainissement sont gérés en régie, la collectivité confiant la gestion de l'usine des eaux et de la station d'épuration, sous forme de marchés publics d'exploitation à des sociétés spécialisées sous le contrôle étroit de la Direction de l'Eau et de l'Assainissement de la Métropole.

Une société assure l'exploitation de la STEP qui a été mise en service en 1971.

La STEP traite les eaux d'une métropole de près de 300 000 habitants (répartis sur 20 communes) et d'une unité agroalimentaire. Le volume annuel moyen traité se situe entre 29 et 31 millions de mètres cubes d'eaux usées. Ces effluents se répartissent entre les eaux usées, les eaux claires parasites, les eaux pluviales et des effluents d'origine industrielle provenant de l'unité agroalimentaire. Bien que le volume d'effluents provenant de cette unité agroalimentaire ne représente que 3,3% (1 million de m³) du volume total, la charge en matière organique représente toutefois 30 % de la charge totale.

La STEP a une capacité nominale de 88 000 m³/jour variant de 50 000 m³/jour en été à 124 000 m³/jour en hiver ce qui correspond à une capacité de 500 000 équivalents-habitants (400 000 pour la filière urbaine et 100 000 pour la filière industrielle).

La STEP emploie 28 personnes à temps plein dont six sont concernées par le traitement des boues d'épuration. L'exploitation est assurée 24h/24h grâce au travail posté par équipes (3x8h).

5.2. La production des boues

La station produit annuellement entre 14 000 et 16 000 tonnes de boues pâteuses ce qui correspond environ à 4 600 tonnes de matières sèches.

La STEP produit deux types de boues qui ne sont pas mélangées et correspondent ensuite à trois qualités de produits :

- Les boues biologiques déshydratées ;
- Les boues biologiques déshydratées et séchées ;
- Les boues physico-chimiques.

5.2.1. Les boues biologiques

Elles sont produites par le prétraitement des eaux urbaines et le traitement des effluents industriels. Elles sont digérées en partie avant déshydratation par centrifugation, ce qui permet d'obtenir des boues pâteuses à un degré de siccité de 25% (Photos 8 et 9). Ce type de traitement est appliqué à 45% des boues biologiques (8 000 t de matières brutes) soit une quantité annuelle de boues déshydratées qui a atteint 1 904 t de matières sèches en 2016.

Photo 8 : unité de centrifugation**Photo 9: boues à 25 % de siccité**

Après centrifugation, ces boues déshydratées sont stockées dans des bennes (Photo 10) dont le contenu sera déversé sur une zone de stockage ou dirigé vers une unité de compostage.

Photo 10 : bennes de stockage et de transport

5.2.2. Les boues biologiques séchées

Elles proviennent du même circuit de traitement que les boues pâteuses et représentent actuellement 55% des tonnages de boues biologiques : 2 337 tonnes de matières sèches en 2016. Les boues pâteuses issues de la centrifugation sont traitées dans un sécheur qui permet d'obtenir un déchet à 85 % de siccité. En sortie de sécheur, les boues traitées se présentent sous une forme pulvérulente plus ou moins grossière (Photo 11). Une partie de ces boues pulvérulentes est traitée dans un granulateur qui permet d'obtenir des pellets (Photo 12). L'intérêt de cette technique est la réduction du volume de déchets ce qui présente un gain d'un point de vue logistique : moins de camions mobilisés.

Photo 11 : Boue séchée pulvérulente**Photo 12 : Boue séchée en pellets**

5.2.3. Les boues physico-chimiques

Ces boues sont produites suite à un traitement visant à réduire le phosphore par ajout de chlorure ferrique. Après épaissement, ces boues sont centrifugées de façon à obtenir un degré de siccité d'environ 18,5%. Ce type de boues représente 23 % du tonnage de boues traitées en 2016, soit 3 300 t de matières brutes qui correspondent à 592 tonnes de matières sèches.

5.3. Utilisation des boues de STEP

Les boues issues de la STEP sont valorisées en compostage par une société spécialisée à raison de 80% et en épandage agricole pour les 20% restants. Les boues compostées prennent alors le statut de déchets normés et seront distribués à différents utilisateurs : agriculteurs, particuliers,... La Métropole a achevé en 2018 une procédure de révision de son plan d'épandage afin d'augmenter la surface disponible et d'accroître la proportion de boues épandues. La station dispose d'un plan d'épandage sur un secteur de 135 communes concernées, soit un potentiel théorique de 6 000 ha et 51 exploitations agricoles dont une partie seulement sera affectée à l'épandage compte tenu des accords entre les différents acteurs. La rotation des parcelles traitées permet de réguler les apports en boues de STEP. Ainsi en 2017, 430 ha ont fait l'objet d'un épandage. Avant la période d'épandage (juillet-septembre), les boues sont stockées sur trois zones de stockage situées dans un rayon d'environ 20 à 45 km de la STEP. Les campagnes d'épandage sont réalisées par une société prestataire (rendu racine) ou l'agriculteur. Les transports vers les zones de stockage, d'épandage et l'unité de compostage sont réalisés par la route avec des bennes bâchées quel que soit le type de boue transportée (Photo 13). En 2016, 3 992 tonnes de boues ont été compostées alors que 1 034 tonnes ont fait l'objet d'épandage dont 66% étaient des boues séchées sous forme pulvérulente ou de pellets.

La teneur en nickel (Ni) a fait l'objet en 2017 d'un suivi spécifique sur quelques parcelles épandues en 2016 pour la première fois et dans différents végétaux. Les teneurs en nickel total variaient entre 43 et 61 mg/kg de matière sèche alors que pour le nickel biodisponible, ces concentrations se situaient entre 0,6 et 2,6 mg/kg. Les concentrations en nickel mesurées dans les végétaux cultivés sur ces parcelles (colza, blé, orge d'hiver) variaient de 0,6 à 2 mg/kg. Compte tenu des concentrations moyennes en Ni mesurées dans les boues (20 mg/kg) et celles mesurées en Cd, sous réserve d'une biodisponibilité et absorption équivalentes, les concentrations estimées en Cd dans les végétaux se situeraient entre 0,03 et 0,1 mg/kg.

Photo 13 : Trémie de stockage des boues séchées et benne de transport



5.4. Analyses des boues de STEP

Elles sont effectuées par un laboratoire externe accrédité. Des échantillons sont prélevés sur chaque lot de boue : quantité produite sur une période définie selon le type d'analyse et le type de boue. En 2017, 18 analyses ont été effectuées sur les paramètres agronomiques des boues, les éléments traces métalliques et 9 analyses sur les composés traces organiques. Les concentrations en cadmium dans les boues épandues sont inférieures au seuil de 10 mg/kg : 1 mg/kg de matière sèche en moyenne et 1,4 mg/kg pour la valeur maximale. Les analyses réalisées de 2011 à 2017 ne montrent pas d'évolution significative de la concentration en cadmium toujours inférieure à 2 mg/kg ainsi que pour les autres éléments métalliques mesurés. Seules les concentrations en cuivre et zinc sont généralement plus élevées sans toutefois dépasser 40 % des valeurs seuils réglementaires. Les sols des parcelles traitées sont analysés régulièrement, tous les 2-3 ans afin de contrôler les flux d'éléments traces métalliques. Concernant le cadmium, ces flux ne dépassent pas 20 % de la valeur réglementaire (2 mg/kg = 20% des 10 mg/kg réglementaires)

5.5. Exposition du personnel STEP

Six personnes sur 28 sont potentiellement exposées au cadmium lors des opérations de traitement des boues et de maintenance des installations. Alors que l'exposition aux aérosols produits lors du traitement des boues biologiques et physico-chimiques déshydratées peut être considérée comme négligeable, cette exposition est probablement plus importante pour le traitement et la manipulation des boues séchées. Ce risque d'exposition aux poussières a été identifié par la STEP qui a mis en place des mesures de protection respiratoire individuelle (de type FFP3) dans les unités de séchage (Photo 14) et de granulation (Photo 15) ainsi que lors des opérations de nettoyage et maintenance des installations (port d'un EPI de type TMP3). Une surveillance médicale habituelle est effectuée sur ce site.

Photo 14 : Vue générale d'un sécheur



Photo 15 : Partie basse du granulateur



Des mesures d'exposition aux bioaérosols ont été effectuées par l'INRS en 2016, dans le cadre d'une étude nationale. Des mesures de concentrations ambiantes en poussières inhalables ont été effectuées à divers postes de travail du traitement des boues dont la zone de centrifugation et des sècheurs-granulateurs. Les concentrations en poussières inhalables (5 mesures) variaient de 0,08 à 0,53 mg/m³. Dans ces zones, les concentrations sont faibles et indiquent que l'exposition au cadmium est probablement négligeable, d'autant plus que les travailleurs sont équipés d'EPI lorsqu'ils interviennent. Par contre, le faible nombre de mesures ne permet pas d'estimer l'exposition des salariés dans la zone de séchage et de granulation.

5.6. Exposition du personnel lors de l'épandage des boues

Cette opération peut donner lieu à une émission importante de poussières, notamment lors de l'épandage de boues séchées, avec cependant un conducteur isolé dans une cabine pressurisée, ce qui réduit l'exposition. Les opérations déchargement-chargement des boues sèches à l'aide d'une pelle mécanique constituent également un risque non négligeable (aucune mesure disponible).

Annexe 11 : Compte-rendu de la visite d'une exploitation agricole

Une visite chez un agriculteur de la région Lorraine a été effectuée afin de recueillir des informations relatives à l'utilisation des amendements phosphatés dans une exploitation agricole. La surface de l'exploitation est de 170 ha sur des sols très calcaires et pauvres en phosphore. Le type de culture est essentiellement du blé, de l'orge et du colza (répartition des cultures : 40% blé, colza 30%, orge 30 %). La production annuelle totale est de 800-900 tonnes/an. L'exploitant agricole utilise des engrais phosphatés, de type super 45 (44 % de P_2O_5 soluble eau) et Colza 027-18 (à hauteur de 250 kg/ha (355 €/Tonne)). Les engrais phosphatés ne sont pas utilisés sur le blé cultivé, mais pour la culture du colza et de l'orge à hauteur de 150kg/ha. Selon cet agriculteur, lorsque son père était exploitant (il y a 30 ans), l'épandage d'engrais phosphatés se faisait sans analyse préalable et était généralement de 500 kg/ha.

Les quantités annuelles utilisées en engrais phosphatés pour cette exploitation sont les suivantes : 11 tonnes d'engrais 027-18, 10 tonnes d'engrais super 45 pour des sols faibles en phosphore, sous forme de granulés de taille 3-4 mm.

Des analyses de sols effectuées par un laboratoire spécialisé, pratiquées tous les 5 ans permettent de définir les quantités et le type d'engrais à épandre en fonction de la nature des sols. L'exploitant pratique un seul épandage par an sur son exploitation, à l'automne. Pendant la période d'épandage, les engrais phosphatés sont chargés directement dans un semoir d'une capacité de 2,5 à 3 tonnes avec une pelle mécanique depuis un tas stocké dans une fosse. Le chargement diffère lorsque les engrais sont livrés en big-bags de 600 kg (en fonction du prix). Aucun stockage n'est effectué en dehors de la période d'épandage. L'ensemble des engrais phosphatés est consommé après la livraison.

Lors des étapes de transvasements via des big-bags, un risque d'exposition à des concentrations plutôt élevées en poussières est possible mais sur de courtes durées (1 à 2 minutes). Aucun équipement de sécurité n'est utilisé lors de la livraison.

L'épandage des engrais s'effectue hors période de pluie et si possible lorsque le vent est faible, sur une durée maximum de 2,5 jours. Lors de cette étape, le matériel utilisé est un semoir centrifuge fixé sur le tracteur pressurisé. Peu de poussières sont émises lors de cette activité, selon l'exploitant. Aucun équipement de sécurité n'est alors utilisé.

7 à 8 chargements de trémies de semoir sont effectués à chaque période d'épandage/an. Le nettoyage du semoir se fait à l'aide d'un karcher avec un détergent sur une aire de lavage avec un dispositif de collecte des eaux polluées. Selon l'exploitant agricole, le chargement des trémies à la coopérative serait l'opération la plus génératrice de poussières, et ce serait probablement les salariés en charge des opérations de chargement qui seraient les plus exposés.

Annexe 12 : Synthèse des études relatives à des évaluations des risques sanitaires liés à l'épandage de MFSC

1. Conventions ADEME/SYPREA/FPDE/INERIS¹⁷

Convention 03 75C 0093 et 06 75C 0071 (2005)

En 2005, dans le cadre de la convention ADEME/SYPREA/FPDE/INERIS, une étude d'évaluation des risques sanitaires liés à l'épandage des boues de station d'épuration a été réalisée. Une partie de cette étude visait à estimer le risque lié à l'exposition des agriculteurs et des riverains à des micro-organismes pathogènes. En complément de cette étude, pour le personnel réalisant l'épandage des boues de station d'épuration, le SYPREA a également évalué l'excès de risque de symptômes ou de maladies pouvant être associés à l'exposition aux boues, en comparaison avec une population de salariés non exposés. La conclusion de cette étude n'avait pas mis en évidence d'augmentation du risque de troubles digestifs chez les employés réalisant l'épandage des boues par rapport à la population témoin.

Convention n°1006C0122 (2014)

En collaboration avec des fédérations professionnelles (SYPREA, FP2E), le SIAAP et l'ADEME, l'INERIS et le CNRS ont mené en 2014 la première étude intégrée sur la caractérisation des substances dites « émergentes » dans les boues et composts de boues de stations d'épuration collectives d'eaux usées françaises. Cette étude comportait deux volets, à savoir, la caractérisation chimique et écotoxicologique des boues et composts de boues et l'évaluation des risques sanitaires attribuables à leur épandage. Cette étude a porté sur une sélection de 81 substances d'intérêt non pharmaceutiques (Composés Organiques Volatils (COV), Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP), HAP alkylés, phénols, alkylphénols, polybromodiphényléthers (PBDE), perfluoroalkyles (PFOA et PFOS), organo-étains (OTC), anilines chlorées, polychlorobiphényles indicateurs (PCBi), dioxines/furannes (PCDD/F) et 33 substances à usage pharmaceutique (soit 114 substances organiques au total). En complément, huit ETM ont été également pris en compte (cadmium, chrome, cuivre, mercure, nickel, plomb, zinc, sélénium).

Au cours de cette étude, des éléments d'évaluation de risque sanitaire ont été établis à partir de scénarios d'exposition correspondant à des utilisations dans un cadre réglementaire : plans d'épandage pour les boues (arrêté du 8 janvier 1998) et norme d'application obligatoire pour les composts (NFU 44-095).

Les concentrations retenues pour caractériser de façon « moyenne » les boues et les composts de boues épandus en France provenaient d'analyses réalisées dans 12 stations d'épuration collective suivies sur 4 campagnes de prélèvements, mais aussi d'analyses réalisées par l'Agence de l'Eau Seine-Normandie (dioxines/furannes et le DEHP) et des analyses de l'année 2013 collectées chez des exploitants de stations pour les métaux et les PCBi. Dans une optique de réalisation de l'ERS sous un angle majorant, les centiles 80 des concentrations ont été retenus. Trois typologies d'exposition ont été considérées en distinguant les adultes et les enfants : riverains des parcelles

¹⁷ SYPREA : SYndicat des Professionnels du Recyclage en Agriculture ; FP2E : Fédération Professionnelle des Entreprises de l'Eau ; SIAAP : Service public de l'assainissement francilien ; ADEME : Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie ; INERIS : Institut National de l'Environnement Industriel et des risques ; CNRS : Centre National de la Recherche Scientifique.

épanchées, agriculteurs, simples consommateurs. La voie d'exposition très nettement prédominante était l'ingestion de végétaux.

Les risques attribuables aux substances étudiées et épanchées (dont le cadmium) avec les boues et les composts de boues sont inférieurs à 1 pour les effets à seuil et à la valeur repère de $1,0E-5$ pour les effets sans seuil.

Les auteurs ont ainsi conclu que sous réserve des scénarios et hypothèses retenus dans cette étude, l'épandage de boues et compost issu de STEP présentait un risque sanitaire attribuable calculé très inférieur aux valeurs repères.

2. Evaluation des risques sanitaires réalisée pour le CONSEIL GENERAL DES YVELINES

En 2012, en prévision de la création d'un Espace Naturel Sensible de 113 hectares situé à Carrières-sous-Poissy (78) le long de la Seine, le conseil général des Yvelines (CG78) a mandaté la société BURGEAP pour effectuer un diagnostic de pollution du sous-sol du parc paysager et récréatif (rapport RSSPIF00957-04/A30254/CSSPIF112241, en date du 01/06/2012).

De plus, afin de s'assurer que les pollutions résiduelles observées n'engendreraient pas des risques sanitaires pour les futurs utilisateurs du parc, le CG 78 a mandaté BURGEAP pour la réalisation de calculs de risques sanitaires.

Toutefois, l'EQRS qui a été réalisée sur la base des aménagements présentés dans le projet d'aménagement (AVP) ne concernait aucunement les professionnels en charge de la réalisation du site, ni de son exploitation.

3. Rapport ONEMA Partenariat 2011 – Domaine « des sources aux contaminations » – Action 11-27

En 2011, l'ONEMA a sollicité l'INERIS pour réaliser un panorama des projets de recherche passés et en cours, et portant sur la présence de micropolluants (éléments traces métalliques, substances organiques, microorganismes pathogènes) réglementés ou non, dans les boues de stations de traitement des eaux usées urbaines (depuis leur production jusqu'à l'épandage).

Ce travail s'inscrivait plus globalement dans l'action n°17 du Plan national d'action contre la pollution des milieux aquatiques par les micropolluants : « Valoriser et poursuivre les études permettant de mieux connaître les sources de pollution et leur devenir dans l'environnement pour établir des bilans des sources de contamination ». Aucune EQRS concernant la population des travailleurs en contact avec ces boues n'a été menée dans le cadre de ce travail.

4. Norwegian Scientific Committee for Food Safety

En 2009, le Norwegian Scientific Committee for Food Safety (VKM, 2009) a réalisé une étude d'ERS liés aux contaminants présents dans les boues épanchées sur les sols norvégiens.

12 voies d'exposition ont été étudiées pour les polluants réglementés ou faisant partie du projet de révision de la directive cadre sur les boues 86/278/CEE.

Aucune EQRS concernant la population des travailleurs en contact avec ces boues n'a été menée dans le cadre de ce travail

5. Observatoire régional de santé d'Ile-de-France

En 2004, l'ORS Ile de France avait mené une étude sur les impacts sanitaires des apports de matières fertilisantes sur les sols franciliens. Cette étude avait révélé que l'impact sanitaire, à court terme, de l'épandage de matières fertilisantes et de pesticides était extrêmement faible pour la population francilienne. En revanche, à la date de rédaction du rapport, les incertitudes concernant les risques à long terme présentés par les nitrates, les pesticides et les éléments traces pouvant s'accumuler dans les organismes et certains compartiments de l'environnement restaient importantes. Il n'était pas fait mention de risque pour les travailleurs dans cette étude.

6. Institut national de santé publique du Québec

En 2001, l'INSPQ a lancé une étude relative à l'évaluation des risques pour la santé dus à l'exposition au cadmium et aux dioxines/furannes. Cette étude a été réalisée sur la base de scénarios spécifiques au contexte québécois car elle s'appuie sur le respect de la réglementation québécoise en termes de taux d'application agro-environnementaux moyens pour toutes les matières fertilisantes.

Les risques pour la santé ont été estimés pour un individu fortement exposé (IFE) qui peut représenter un agriculteur né et vivant dans une ferme, utilisant régulièrement des MFSC et vivant dans une région en déficit d'engrais de ferme. Cet individu est exposé au cadmium par ingestion, inhalation de poussières de sol (travailleurs), inhalation de vapeurs (dioxines/furannes seulement) et contact cutané (dioxines/furannes seulement).

Le risque a été estimé pour une pratique de 100 ans, en considérant que l'IFE (durée de vie de 75 ans) est exposé durant les 75 dernières années de la simulation. Durant les 25 premières années de la période d'épandage de matières résiduelles fertilisantes (MRF), la mère de l'IFE est exposée selon les mêmes scénarios que ceux décrits pour l'IFE. La dose totale d'exposition de la mère est prise en compte pour estimer le niveau de contamination du lait maternel par les dioxines/furannes.

L'exposition a été estimée à partir des taux d'exposition (taux d'ingestion et d'inhalation) moyens et en tenant compte des proportions d'aliments contaminés représentatives des habitudes rurales de consommation, de la dilution des MFSC dans le sol, de leur dispersion dans l'environnement et de leur dégradation et de la période hivernale pendant laquelle l'exposition à ces sols est restreinte.

A partir des scénariis retenus pour calculer les doses d'exposition au cadmium, il a été estimé que quelle que soit la tranche d'âge, la dose totale d'exposition de l'IFE au cadmium (comprise entre 212 et 768 ng/kg-j) est inférieure à la dose de référence (840 ng/kg-j) (tableau 30).

Tableau 30 Doses de cadmium estimées reçues par l'IFE et dues à l'utilisation de MRF (évaluation du critère C1)

Voie d'exposition	Doses de cadmium reçues par l'IFE (ng/kg-j)				
	0 - 6 mois	7 m-4 ans	>4-11 ans	>11-19 ans	>19-75 ans
<i>Doses dues aux MRF</i>					
Ingestion plantes	52	101	79	49	35
Ingestion tissus animaux	41	49	28	17	9,5
Ingestion poisson	0	0,03	0,02	0,01	0,01
Ingestion sol/MRF	1,2	4,6	0,54	0,19	0,73
Dose totale due aux MRF	94	155	107	66	45
<i>Doses bruit de fond¹</i>	438	613	424	257	167
Dose totale	532	768	531	323	212

Les doses reçues par ingestion d'eau et inhalation d'air sont négligeables et ne sont pas présentées.

¹ Doses bruit de fond estimées par Health Canada, 1996.

Les doses « dues aux MRF » sont apportées par les biosolides, les ACM et les engrais (apport négligeable de ces derniers)

Annexe 13 : Evaluation du risque pour le Cadmium en exposition subchronique pour les agriculteurs.

Analyse du document : « ADEME (2014) Substances « émergentes » dans les boues et composts de boues de stations d'épurations, d'eaux usées collectives – caractérisation et évaluation des risques sanitaires rapport n° Étude réalisée pour le compte de l'ADEME, le SYPREA-FNADE, la FP2E, le SIAAP, (Contrat N°1006C0122), INERIS - DRC-14-115758-08437A RAPPORT Final

Dans le cadre de l'évaluation du risque pour les travailleurs exposés au cadmium, le rapport de l'ADEME a été analysé. Ce rapport a été jugé complet et de bonne qualité par les rapporteurs. Même si celui-ci s'intéresse à plusieurs composés, l'évaluation qui a été faite concerne chaque élément trace individuellement. Celle concernant le cadmium a été jugée recevable dans le cadre de cette saisine de l'Anses. La contribution relative à l'exposition des agriculteurs dans leur profession a été bien renseignée dans le rapport de l'ADEME concernant l'exposition. La dose d'exposition tient compte de la nourriture et des tâches de l'agriculteur dans son travail. Plus spécifiquement, les auteurs ont regardé l'exposition par voie directe en considérant l'ingestion et l'inhalation de poussière et une exposition indirecte en considérant l'ingestion de viandes et de végétaux pour un agriculteur. Après analyse de la démarche, l'approche utilisée a été considérée de bonne qualité et complète.

En utilisant le quotient de danger (QD) correspondant selon leur définition :

$$QD \text{ (sans unité)} = \frac{\text{Dose d'exposition}}{VTR}$$

Calcul de la dose d'exposition :

- Pour les effets à seuil :

Comme expliqué plus haut, la dose est calculée pour l'année où l'exposition est maximale, ce qui correspond à l'année de la fin de l'épandage (ici prise égale à la 10^e année).

Exposition environnementale

La durée de prise en compte de la durée d'exposition de l'agriculteur est de 6 ans comme enfant, de 24 ans comme adultes et de 40 comme agriculteur pour un total de 70 ans d'exposition en considérant que l'agriculteur est né sur la ferme et y demeurera toute sa vie. D'autres paramètres liés à l'exposition telle que la durée d'exposition journalière, le nombre de journées d'exposition annuelles, la masse corporelle, la concentration de poussières dans l'air inhalé ainsi que le facteur de rétention des particules dans les poumons sont autant de facteurs qui ont été pris en compte dans le calcul de l'exposition.

Exposition alimentaire

Pour l'ERS, l'ADEME a considéré dans son calcul l'apport alimentaire tel que les végétaux et les produits animaliers. Ainsi pour chacun des vecteurs alimentaires, un calcul de bioaccumulation moyen a été calculé suivant une méthodologie acceptée dans la littérature.

Au final, les doses d'exposition cumulées de l'agriculteur pour le cadmium pour une année d'exposition sont égales à :

sources	Dose d'exposition
Ingestion sol (mg/kg/j)	$8,6 \times 10^{-8}$
Inhalation de poussières extérieures (mg/m ³)	$2,8 \times 10^{-8}$
Consommation de végétaux (mg/kg/j)*	$8,4 \times 10^{-5}$
Consommation d'animaux (mg/kg/j)	$2,6 \times 10^{-10}$

*L'ingestion de végétaux contaminés au cadmium ingéré par les agriculteurs représente la source de contamination majeure pour les agriculteurs.

Les valeurs toxicologiques de référence (VTR) avec seuil retenues pour ERS du cadmium sont

- Pour l'ingestion : la valeur est $3,6 \times 10^{-4}$ mg/kg/j qui est la valeur déterminée par l'EFSA (2011).
- Pour l'inhalation : La valeur de $3,0 \times 10^{-4}$ mg/m³ est la valeur déterminée par l'Anses (2012).

Le quotient de danger attribuable au cadmium pour l'agriculteur suite à l'épandage sur une période de 10 ans est de $4,2 \times 10^{-4}$ (soit $4,2 \times 10^{-5}/\text{an}$). Ce quotient est sans unité, car il correspond au ratio de la dose d'exposition sur la VTR. Dans le cadre du cadmium, on ne retient que la valeur avec seuil pour l'effet délétère identifié. Cette valeur est bien en dessous de l'unité donc est protectrice pour le travailleur agricole. Comme indiqué à la page 112 du document de l'ADEME : " *Tous les QD pour toutes les substances sont inférieurs à la valeur repère de 1. La somme des QD de chaque substance est également inférieure à la valeur repère. Il est question ici de QD attribuable à l'épandage ; c'est-à-dire que les substances qui pourraient être préalablement présentes dans le sol ou dans les végétaux ne sont pas prises en compte*".