

CADMIUM ET PRINCIPAUX COMPOSES

Dernière mise à jour : 30/01/2017

RESPONSABLE DU PROGRAMME

J.-M. BRIGNON : JEAN-MARC.BRIGNON@INERIS.FR

EXPERT(S) AYANT PARTICIPÉ(S) A LA RÉDACTION

J.M. BRIGNON, L. MALHERBE, C. CANTUARIAS-VILLESSUZANNE

Veillez citer ce document de la manière suivante :

INERIS, 2015. Données technico-économiques sur les substances chimiques en France : DRC-16-158744-09774A, p. 58 (<http://rsde.ineris.fr/> ou <http://www.ineris.fr/substances/fr/>)

CADMIUM ET PRINCIPAUX COMPOSES

RESUME

Malgré un déclin des utilisations intentionnelles, lié à une réglementation toujours plus contraignante, les apports de cadmium dans l'environnement, dans l'air, les milieux aquatiques et les sols vont perdurer longtemps, en raison de la difficulté de supprimer le cadmium dans certaines applications particulières et, surtout, en raison de la présence d'apports diffus très importants qui ne pourront pas être supprimés à court terme. Après une période de forte baisse dans les milieux aquatiques et les sédiments depuis plusieurs dizaines d'années, les concentrations semblent stagner ou ne décliner que lentement désormais.

Les rejets dans l'air restent associés aux activités de sidérurgie et métallurgie, de l'énergie et plus généralement de l'utilisation des ressources et combustibles fossiles. Dans les sols, la principale source est l'utilisation des engrais minéraux. Dans les milieux aquatiques les stations de traitements de déchets et des eaux usées restent les principales sources ponctuelles. L'industrie de bois, papier et carton ainsi que l'industrie chimique présentent également des rejets dans l'ensemble des compartiments environnementaux. Du fait d'une baisse continue des émissions ponctuelles directes, ce sont les sources diffuses et indirectes (engrais, apports atmosphériques, ...) qui dominent les apports vers les eaux de surface.

Plusieurs voies d'interventions réglementaires ont été utilisées ces dernières années en France et en Europe pour tenter de réduire l'utilisation et les rejets de Cadmium dans l'environnement, notamment dans le cadre de REACH (interdiction dans les peintures).

Les usages plus importants présentent une réduction significative (fabrication de batteries, peintures, pigments, laques, plastiques, matériaux de construction) mais certains usages demeurent difficiles à réduire :

- L'utilisation non-intentionnelle dans les engrais semble se heurter à des difficultés plus économiques que techniques pour retirer le Cadmium des engrais phosphatés avant leur mise sur le marché,
- Certaines applications spéciales dans les batteries industrielles perdurent, pour des raisons d'exigences de performances que ne peuvent remplir les alternatives au Nickel et au Lithium,
- L'industrie du traitement de surface semble encore réclamer le cadmium pour des traitements anticorrosion dans les domaines de l'aérospatiale et militaire. Toutefois les alternatives (Zn/Ni, Aluminium sous divers procédés, ...) semblent se développer de façon continue aux USA, avec une volonté des autorités du Department of Defence.

CADMIUM ET PRINCIPAUX COMPOSES

Quelques usages seraient même en croissance, comme pour les équipements électriques et électroniques ainsi que les panneaux photovoltaïques, ces derniers pouvant être des sources significatives à terme. La récupération du cadmium lors du recyclage est également un enjeu actuel et futur à maîtriser pour obtenir une réduction supplémentaire de la contamination des milieux aquatiques.

CADMIUM ET PRINCIPAUX COMPOSES

ABSTRACT

Despite a decline in intentional uses due to increasingly stringent regulations, cadmium emissions to the atmospheric and aquatic environments and to soils will persist for a long time, due to the difficulty of removing cadmium in some of its applications, and because of the presence of very significant diffuse emissions which can not be eliminated in the short term. After a period of sharp decline in aquatic environments and sediments over several decades, concentrations appear to be stagnating or declining only slowly.

Releases to air remain associated with steel and metallurgical activities, energy and more generally the use of fossil fuels and resources. In soils, the main source is the use of mineral fertilizers. In aquatic environments waste and wastewater treatment plants remain the main point sources. The wood, paper and paperboard industry as well as the chemical industry also cause releases in all environmental compartments. Due to a continuous decline in direct point emissions, diffuse and indirect sources (fertilizers, atmospheric inputs, etc.) dominate emissions to surface water.

Several avenues of regulatory intervention have been used in recent years in France and Europe to try to reduce the use and releases of cadmium in the environment, in particular within the framework of REACH (ban in paints).

The most important uses show a significant reduction (manufacture of batteries, paints, pigments, lacquers, plastics, building materials) but some uses remain difficult to reduce:

- Removing nintended cadmium from phosphate fertilizers before they are placed on the market appears to face more economic than technical difficulties,
- Some special applications in industrial batteries persist, for reasons of performance requirements that can not be met by Nickel and Lithium alternatives,
- The surface treatment industry still seems to be demanding cadmium for anti-corrosion treatments in the aerospace and military fields. However, the alternatives (ZnNi, Aluminum under various processes, ...) seem to develop continuously in the USA, with the will of the authorities of the Department of Defense.

Some uses are even growing, as for electrical and electronic equipment as well as photovoltaic panels, and the latter may be a significant sources in the long term. The recovery of cadmium during recycling is also a current and future challenge to be mastered in order to obtain an additional reduction in the contamination of aquatic environments.

CADMIUM ET PRINCIPAUX COMPOSES

SOMMAIRE

RESUME	2
ABSTRACT	4
1 Généralités	7
1.1 Définitions et caractéristiques	7
1.2 Réglementations	8
1.3 Valeurs et normes appliquées en France	12
1.4 Autres textes	14
1.5 Classification et étiquetage	16
1.6 Sources naturelles de cadmium	19
1.7 Sources non-intentionnelles de cadmium	20
2 Production et utilisation.....	21
2.1 Production et vente	21
2.2 Utilisations	24
3 Rejets dans l'environnement	31
3.1 Emissions anthropiques totales	32
3.2 Emissions atmosphériques	34
3.3 Emissions vers les eaux.....	36
3.4 Emissions vers les sols	39
3.5 Pollutions historiques et accidentelles	42
4 Devenir et présence dans l'environnement.....	44
4.1 Milieu atmosphérique.....	44
4.2 Milieu aquatique	44
5 Perspectives de réduction des émissions	48
5.1 Réduction des émissions de cadmium.....	48
5.2 Techniques de traitement dans les effluents industriels.....	48
5.3 Stations d'épuration	48
5.4 Alternatives aux usages de cadmium.....	49

CADMIUM ET PRINCIPAUX COMPOSES

6 Conclusion	52
7 Références.....	53
7.1 Sites internet consultés	53
7.2 Bibliographie.....	53
7.3 Liste des entreprises et organismes contactés	58

CADMIUM ET PRINCIPAUX COMPOSES

1 GENERALITES

1.1 DEFINITIONS ET CARACTERISTIQUES

Le cadmium (code SANDRE n°3384) est un métal de forte masse atomique, dit lourd, peu répandu et présent dans les minerais de zinc, plomb, phosphates ; principalement sous forme d'oxyde (code SANDRE n°3385), de chlorure (code SANDRE n°3384), de sulfure (code SANDRE n°3387) (Agence de l'eau Seine Normandie 2008). Le Tableau 1 présente les principales formes et principaux composés du cadmium.

Tableau 1. Principales formes et principaux composés du cadmium

Substances chimiques	N° CAS	N° CE	Synonymes	Formes physiques
Cadmium non pyrophorique (Cd)	7440-43-9	231-152-8		Solide cristallisé
Cadmium pyrophorique	7440-43-9	231-152-8		
Cadmium métal	7440-43-9	231-152-8		
Cyanure de cadmium	542-83-6	208-829-1		
Acétate de Cadmium (C ₄ H ₆ CdO ₄)	543-90-8			
Oxyde de Cadmium (CdO)	1306-19-0	215-146-2	Cadmium Oxide Cadmium Monoxide	Solide pulvérulent amorphe ou solide cristallisé
Hydroxyde de Cadmium (Cd(OH) ₂)	21041-95-2			
Sulfure de cadmium (CdS)	1306-23-6	215-147-8		
Sulfate de Cadmium (CdSO ₄)	10124-36-4	233-331-6	Cadmium sulfate Sulfuric acid cadmium (2+) salt Sulfuric acid cadmium salt (1:1)	Solide cristallisé
Sulfite de Cadmium (CdO3S)	13477-23-1	236-767-5		
Dinitrate de cadmium (Cd(NO ₃) ₂)	10325-94-7	221-838-5		

CADMIUM ET PRINCIPAUX COMPOSES

Substances chimiques	N° CAS	N° CE	Synonymes	Formes physiques
Diformiate de cadmium	4464-23-7	224-729-0		
Fluorure de cadmium	7790-79-6	232-222-0		
Hexafluorosilicate(2-) de cadmium	17010-21-8	241-084-0		
Iodure de cadmium	7790-80-9	232-223-6		
Chlorure de Cadmium (CdCl ₂)	10108-64-2	233-296-7	Caddy Cadmium Chloride Cadmium Dichloride	Solide cristallisé
Cadmium sulfure de zinc Reach No. 01-2119981639-18-0001	8048-07-5		CI Pigment Yellow 35	
Cadmium sulfoséléniure orange Reach No. 01-2119981636-24-0001	12656-57-4		CI Pigment Orange 20	
Cadmium sulfoséléniure rouge Reach No. 01-2119981636-24-0001	58339-34-7		CI Pigment Red 108	

(*) dans les conditions ambiantes habituelles. Source: INRS 2013, International Cadmium Association 2016.

1.2 REGLEMENTATIONS

Le cadmium est une substance de la DCE classée dangereuse prioritaire, et qui fait également partie de la liste des mesures prioritaires OSPAR.

1.2.1 TEXTES GENERAUX

Les principaux textes réglementaires concernant le cadmium et ses composés sont présentés dans le Tableau 2.

CADMIUM ET PRINCIPAUX COMPOSES

Tableau 2. Réglementation européenne sur les usages du cadmium et ses composés

Année	Réglementation
1979	Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance. Elle établit des mécanismes de surveillance, d'évaluation et de réglementation du transport à longue distance des polluants atmosphériques en Europe.
1998	Protocole relatif aux métaux lourds (cadmium, plomb et mercure) établit les rapports spécifiques sur les émissions annuelles.
2000	La directive-cadre sur l'eau (DCE) 2000/60/CE, vise à fournir un moyen harmonisé de protéger toutes les masses d'eau de surface et souterraines, a classé le Cd comme substance prioritaire dangereuse dans les eaux de surface et eaux souterraines. La directive 2000/76/CE relative à l'incinération de déchets vise à prévenir ou à limiter la pollution résultant de l'incinération et de la coïncinération de déchets.
2002	La Directive européenne RoHS « Restriction of Hazardous Substances » (2002/95/CE) vise à limiter l'utilisation de six substances dangereuses (plomb, mercure, cadmium, chrome hexavalent, polybromobiphényles (PBB), polybromodiphényléthers (PBDE) dans les équipements électriques et électroniques. Elle est complétée par la directive de 2008 sur les déchets (Directive 2008/98/CE), et a été ensuite amendée à plusieurs reprises.
2003	Limites et objectifs de qualité des rejets (Directive 83/513/CEE ; Arrêté 10 juillet 1990 ; Arrêté 2 février 1998 ; Arrêté 12 mars 2003).
2006	Conditions d'emploi ou de recyclage du cadmium (Modifications des Directives suivantes : Directives 91/157/CEE relative aux piles et accumulateurs contenant certaines matières dangereuses; Directive 2000/53/CE relative aux véhicules hors d'usage; Directive ROHS 2002/95/CE).
2009	Règlement (CE) n° 552/2009 de la Commission du 22 juin modifiant l'annexe XVII du règlement (CE) n° 1907/2006 (REACH) relative aux restrictions applicables à certaines substances dangereuses.
2011	Règlement (UE) n° 494/2011 de la Commission du 22 mai modifiant l'annexe XVII du règlement (CE) n° 1907/2006 (REACH) relative aux restrictions applicables au cadmium et à ses composés.
2012	Règlement (EU) n° 834/2012 de la Commission du 18 septembre modifiant l'annexe XVII du règlement (CE) n° 1907/2006 (REACH) relative aux restrictions applicables au cadmium et ses composés, restreignent l'emploi du cadmium pour la coloration des matières plastiques et des peintures, pour la stabilisation des polymères et copolymères du chlorure de vinyle, pour le cadmiage des métaux, pour la

CADMIUM ET PRINCIPAUX COMPOSES

Année	Réglementation
	fabrication des bijoux et des métaux d'apport pour le brassage fort.
2013	Par la directive 2013/56/UE, le Parlement Européen a modifié la directive batterie (2006/66/CE) afin d'interdire l'inclusion de batteries NiCd dans les outils électriques sans fil à compter du 31 décembre 2016. Toutefois, les batteries nickel-cadmium peuvent être utilisées que dans les systèmes d'urgence et équipement médical dans l'UE. Le cadmium et l'oxyde de cadmium sont ajoutés à la liste des substances extrêmement préoccupantes du règlement REACH.
2014	Le fluorure, le chlorure, le sulfure et le sulfate de cadmium sont ajoutés à la liste des substances extrêmement préoccupantes du règlement REACH.

Source: INRS 2013; Agence de l'eau Seine Normandie 2008; USGS 2016, site ECHA.

1.2.2 RESTRICTIONS D'USAGE

L'usage du cadmium est limité par la réglementation européenne notamment dans les applications suivantes :

Équipements électriques et électroniques

La directive 2002/95/CE relative à la limitation de l'utilisation de certaines substances dangereuses dans les équipements électriques et électroniques¹ prescrit que les États membres veillent à ce qu'à compter du 1^{er} juillet 2006, les nouveaux équipements électriques et électroniques mis sur le marché ne contiennent pas de cadmium.

En mai 2015, le Parlement Européen a rejeté la proposition de la Commission visant à prolonger la période pendant laquelle le cadmium (sous forme nanométrique de « quantum dots ») peut être utilisé dans l'éclairage d'appareils tels que des téléviseurs et des écrans d'ordinateur. (USGS 2016).

¹ Directive 2002/95/CE du Parlement européen et du Conseil, du 27 janvier 2003, relative à la limitation de l'utilisation de certaines substances dangereuses dans les équipements électriques et électroniques.

CADMIUM ET PRINCIPAUX COMPOSES

Piles et accumulateurs

La directive 2006/66/CE du septembre 2006 relative aux piles et aux accumulateurs interdit la mise sur le marché de la plupart des piles et accumulateurs contenant plus de 0,002% de cadmium en poids. En 2013 une dérogation est votée pour les piles et accumulateurs portables destinés à être utilisés dans des outils électriques sans fil jusqu'au 31 décembre 2016, afin de permettre à l'industrie du recyclage et aux consommateurs, tout au long de la chaîne de valeur, de s'adapter davantage aux technologies de remplacement pertinentes.

Une exception subsiste pour les piles et accumulateurs destinés à être utilisés dans les systèmes d'urgence et d'alarme ou les équipements médicaux.

Trois textes réglementaires ont été transposés à la réglementation française, le décret 2015-849 du 10 juillet 2015, l'arrêté du 6 août 2015 et l'arrêté du 6 août 2015. Le dernier est relatif au registre national où les éco-organismes agréés déclarent les quantités mises sur le marché.

Coloration et stabilisation de certains produits et traitement de surface

Les interdictions d'usage et de mise sur le marché sont détaillées dans la directive 91/338/CEE². De multiples applications du PVC et des polymères sont touchées par ces interdictions.

Une dérogation à la restriction de l'usage du Cadmium pour les pigments de cadmium (cadmium sulphide, cadmium sulphoselenide Orange 20, cadmium sulphoselenide Red 108 and cadmium zinc sulphide Yellow 35) utilisés dans des articles colorés pour des raisons de sécurité a été accordée en 2012 (European Chemicals Agency 2012e). Cette dérogation porte en général à des situations où les conditions environnementales ou de fonctionnement sont extrêmes (par exemple, des températures élevées, temps en plein air), où la solidité des couleurs est importante pour des raisons de sécurité (par exemple pour identifier les équipements de sécurité ou pour éviter les erreurs de maintenance « safety critical »), et où la durée de vie prévue des articles en question est relativement longue.

Par dérogation l'utilisation du cadmium et de ses composés reste possible dans les secteurs où leur emploi demeure techniquement indispensable par sécurité : secteurs de l'aéronautique, l'aérospatiale, l'exploitation minière, secteurs « off-shore », du nucléaire, de la défense et fabrication des contacts électriques (INRS 2013).

² Directive 91/338/CEE du Conseil du 18 juin 1991 portant dixième modification de la directive 76/769/CEE (directive concernant le rapprochement des dispositions législatives, réglementaires et administratives des États membres relatives à la limitation de la mise sur le marché et de l'emploi de certaines substances et préparations dangereuses).

CADMIUM ET PRINCIPAUX COMPOSES

Engrais

Les engrais phosphatés sont identifiés comme une source importante de Cd dans le sol. Le cadmium naturel présente dans les roches phosphatées et son contenu final dans l'engrais dépend à la fois des matières premières et de la méthode de fabrication. La réglementation (EC) N°2003/2003 relatif aux fertilisants couvre les engrais minéraux mais elle n'impose pas de seuil pour la teneur en Cd. Ces limites peuvent être imposées à la discrétion des États membres (Cichy et al. 2014).

La Commission européenne³ a pour projet de fixer des teneurs maximales en cadmium dans les engrais. Le projet actuel de la Commission⁴ vise à limiter les teneurs en cadmium, exprimées en mg Cd/ kg P₂O₅ aux valeurs suivantes : 60 mg 5 ans après l'entrée en vigueur, pour arriver progressivement à 20 mg 15 ans après l'entrée en vigueur.

Peintures

Le Cadmium est interdit dans les peintures dans l'UE⁵ (limite de 0,01% en poids sauf pour les peintures comportant au moins 10% de Zinc, pour lesquelles la limite est de 0,1%, et sauf pour les peintures d'artiste pour lesquelles il reste autorisé⁶).

1.3 VALEURS ET NORMES APPLIQUEES EN FRANCE

1.3.1 SEUILS DE REJETS POUR LES INSTALLATIONS CLASSEES

Par l'arrêté du 26 décembre 2012, les installations classées pour la protection de l'environnement et exploitants de station d'épuration d'eaux urbaines dont les capacités sont supérieures aux seuils de rejets de cadmium (voir Tableau 3) sont soumises au registre et à la déclaration annuelle des émissions polluants et des déchets (Ministère de l'écologie du développement durable et de l'énergie 2012).

³ Commission Risk Reduction Strategy for cadmium (2008).

⁴ Draft proposal relating to Cadmium in fertilizers, téléchargeable depuis : http://europa.eu.int/comm/enterprise/chemicals/legislation/fertilizers/cadmium/draft_proposal.pdf.

⁵ Décision du 12 Février 2016 modifiant l'Annexe XVII du Règlement REACH.

⁶ Décision 2015/C 356/01de la CE

CADMIUM ET PRINCIPAUX COMPOSES

Tableau 3. Seuil de rejets de cadmium et composés pour les installations classées

Dans l'air (kg/an)	Dans l'eau (1/b) (kg/an)	Dans l'eau (1/b) (g/jour)	Dans le sol (kg/an)
10*	1	2	5

* Pour les installations d'incinération de déchets non dangereux et les installations d'incinération de déchets dangereux, ce seuil est fixé à 0. Source: Ministère de l'écologie du développement durable et de l'énergie 2012

L'arrêté du 2 février 1998, dit 'arrêté intégré'⁷, et l'arrêté du 12 mars 2003 imposent des valeurs limites de concentration et de flux pour certains rejets industriels :

Tableau 4. Valeurs limites de rejets pour le cadmium

Domaine d'activité	Valeur limite de concentration	Valeur limite de flux	Arrêté
Extraction du zinc, raffinage du plomb et du zinc, industrie des métaux non ferreux et du cadmium métallique	0,2 mg/l		2 février 1998
Fabrication de composés de cadmium	0,2 mg/l	0,5 g/kg de Cd traité	2 février 1998
Fabrication de pigments	0,2 mg/l	0,3 g/kg de Cd traité	2 février 1998
Fabrication de stabilisants	0,2 mg/l	0,5 g/kg de Cd traité	2 février 1998
Fabrication de batteries primaires et secondaires	0,2 mg/l	1,5 g/kg de Cd traité	2 février 1998
Verrerie	0,05 mg/l		12 mars 2003

⁷ Arrêté 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.

CADMIUM ET PRINCIPAUX COMPOSES

1.3.2 VALEURS LIMITES D'EXPOSITION PROFESSIONNELLE

Le Tableau 5 présente les valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP) établies en France dans les lieux de travail (circulaire du 13 mai 1987 modifiant la circulaire du ministère du travail du 19 juillet 1982).

Tableau 5. Valeurs limites d'exposition professionnelle du cadmium

Substances chimiques	VME (mg/m ³)	VLCT (mg/m ³)
Oxyde de cadmium	-	0,05
Cadmium et composés	0,05	-

* L'absence de mention, elles se rapportent à la fraction inhalable. Source: INRS 2013

Le comité scientifique sur les limites d'exposition professionnelle (SCOEL, 2009) a recommandé un équivalent de 4 µg Cd/m³ (fraction respirable) pour le cadmium et ses composés inorganiques comme protection contre les effets à long terme (y compris les effets respiratoires et le cancer du poumon) ; ainsi qu'une valeur limite biologique (BLV) de 2 µg Cd/g de créatinine.

L'EFSA (2009) a utilisé une valeur inférieure, 1 µg/g de créatinine, comme point de référence pour l'évaluation du risque de cadmium dans les aliments.

La liste HSE (2007) inclut une limite d'exposition professionnelle de 0,025 mg/m³ pour le cadmium et ses composés, à l'exclusion du sulfure de cadmium CdS de 0,03 mg/m³ (European Chemicals Agency, 2012b).

1.4 AUTRES TEXTES

1.4.1 ACTION DE RECHERCHE RSDE

L'action nationale de recherche et de réduction des rejets de substances dangereuses dans l'eau (RSDE) par les installations classées registre les émissions de cadmium dans l'environnement (circulaire du 4 février 2002, circulaire du 5 janvier 2009)⁸.

1.4.2 AUTRES TEXTES

En relation à la prévention du risque en milieu professionnel le Tableau 6 rapporte les textes cités dans le Code du travail et le Code de la sécurité sociale.

⁸ <http://www.ineris.fr/rsde/>

CADMIUM ET PRINCIPAUX COMPOSES

Tableau 6. Réglementation sécurité et santé au travail sur les usages du cadmium et ses composés

Réglementation	Textes
Mesures de prévention des risques chimiques (agents chimiques dangereux)	Articles R. 4412-1 à R. 4412-57 du Code du travail ; circulaire DRT n° 12 du 24 mai 2006 (non parue au JO).
Mesures de prévention des risques chimiques (agents cancérogènes, mutagènes, toxiques pour la reproduction dits CMR, de catégorie 1A ou 1B)	Articles R. 4412-59 à R. 4412-93 du Code du travail ; circulaire DRT n° 12 du 24 mai 2006 (non parue au JO).
Aération et assainissement des locaux	Articles R. 4222-1 à R. 4222-26 du Code du travail ; circulaire du ministère du Travail du 9 mai 1985 (non parue au JO) ; arrêtés des 8 et 9 octobre 1987 (JO du 22 octobre 1987) et du 24 décembre 1993 (JO du 29 décembre 1993) relatifs aux contrôles des installations.
Prévention des incendies et des explosions	Articles R. 4227-1 à R. 4227-41 du Code du travail ; articles R. 4227-42 à R. 4227-57 du Code du travail ; décret 96-1010 modifié du 19 novembre 1996 (JO du 24 novembre 1996) relatif aux appareils destinés à être utilisés en atmosphère explosible.
Douches	Article R. 4228-8 du Code du travail et arrêté du 23 juillet 1947 modifié, fixant les conditions dans lesquelles les chefs d'établissements sont tenus de mettre les douches à la disposition du personnel effectuant des travaux insalubres ou salissants (régime général).
Maladies à caractère professionnel	Articles L. 461-6 et D. 461-1 et annexe du Code de la sécurité sociale : déclaration médicale de ces affections.
Maladies professionnelles	Article L. 461-4 du Code de la sécurité sociale : déclaration obligatoire d'emploi à la Caisse primaire d'assurance maladie et à l'inspection du travail ; tableaux n° 61 et 61 bis.
Surveillance médicale renforcée	Article R. 4624-18 du Code du travail (modifié par les décrets n° 2012-135 du 30 janvier 2012 et n° 2014-798 du 11 juillet 2014).
Surveillance médicale post-professionnelle	Article D. 461-25 du Code de la sécurité sociale ; arrêté du 28 février 1995 (JO du 22 mars 1995) fixant le modèle type d'attestation d'exposition et les modalités d'examen : annexe 1.
Travaux interdits	Jeunes travailleurs de moins de 18 ans : article D. 4153-17

CADMIUM ET PRINCIPAUX COMPOSES

Réglementation	Textes
	du Code du travail. Des dérogations sont possibles sous conditions : articles R. 4153-38 à R. 4153-49 du Code du travail ; salariés sous contrat de travail à durée déterminée et salariés temporaires : articles D. 4154-1 à D. 4154-4, R. 4154-5 et D. 4154-6 du Code du travail ; femmes enceintes ou allaitant : article D. 4152-10 du Code du travail.
Entreprises extérieures	Article R. 4512-7 du Code du travail et arrêté du 19 mars 1993 (JO du 27 mars 1993) fixant la liste des travaux dangereux pour lesquels il est établi par écrit un plan de prévention.

Source: INRS 2013

1.5 CLASSIFICATION ET ETIQUETAGE

Le cadmium (non pyrophorique) est cité dans l'annexe I du règlement CE N° 1272/2008 dit règlement CLP, qui lui associe la classification ci-après :

Figure 1. Codes de danger pour le cadmium



Source : règlement CLP

Les Tableau 7 et 7bis ci-après détaillent les codes de danger associés respectivement au cadmium, et à ses principaux composés.

CADMIUM ET PRINCIPAUX COMPOSES

Tableau 7. Codes de danger du cadmium, d'après l'INRS.

Code de danger	Description
H350	Peut provoquer le cancer.
H341	Susceptible d'induire des anomalies génétiques.
H361fd	Susceptible de nuire à la fertilité. Susceptible de nuire au fœtus.
H330	Mortel par inhalation.
H372	Risque avéré d'effets graves pour les organes à la suite d'exposition répétées ou d'une exposition prolongée.
H410	Très toxique pour les organisme aquatiques, entraîne des effets néfastes à long terme.

Source: INRS 2013

Tableau 8. Codes de danger des composés de cadmium, d'après INRS

Code de danger	Code de danger et description
Cyanure de cadmium	<p>Toxicité aiguë (par inhalation), catégorie 2 (*) ; H 330</p> <p>Toxicité aiguë (par voie cutanée), catégorie 1 ; H 310</p> <p>Toxicité aiguë (par voie orale), catégorie 2 (*) ; H 300</p> <p>Cancérogénicité, catégorie 2 ; H 351</p> <p>Toxicité spécifique pour certains organes cibles - Exposition répétée, catégorie 2 (*) ; H 373 (**)</p> <p>Dangers pour le milieu aquatique - Danger aigu, catégorie 1 ; H 400</p> <p>Dangers pour le milieu aquatique - Danger chronique, catégorie 1 ; H 410</p>
Oxyde de Cadmium (CdO)	<p>Cancérogénicité, catégorie 1B ; H 350</p> <p>Mutagénicité sur les cellules germinales, catégorie 2 ; H 341</p> <p>Toxicité pour la reproduction, catégorie 2 ; H 361fd</p> <p>Toxicité aiguë (par inhalation), catégorie 2 (*) ; H 330</p> <p>Toxicité spécifique pour certains organes cibles - Exposition répétée, catégorie 1 ; H 372 (**)</p> <p>Dangers pour le milieu aquatique - Danger aigu, catégorie 1 ; H 400</p> <p>Dangers pour le milieu aquatique - Danger chronique, catégorie 1 ; H 410</p>

CADMIUM ET PRINCIPAUX COMPOSES

Code de danger	Code de danger et description
Sulfure de cadmium	<p>Cancérogénicité, catégorie 1B ; H 350</p> <p>Mutagénicité sur les cellules germinales, catégorie 2 ; H 341</p> <p>Toxicité pour la reproduction, catégorie 2 ; H 361fd</p> <p>Toxicité spécifique pour certains organes cibles - Exposition répétée, catégorie 1 ; H 372 (**)</p> <p>Toxicité aiguë (par voie orale), catégorie 4 (*) ; H 302</p> <p>Dangers pour le milieu aquatique - Danger chronique, catégorie 4 ; H 413</p>
Diformiate de cadmium	<p>Toxicité aiguë (par inhalation), catégorie 3 (*) ; H 331</p> <p>Toxicité aiguë (par voie orale), catégorie 3 (*) ; H 301</p> <p>Cancérogénicité, catégorie 2 ; H 351</p> <p>Toxicité spécifique pour certains organes cibles - Exposition répétée, catégorie 2 (*) ; H 373 (**)</p> <p>Dangers pour le milieu aquatique - Danger aigu, catégorie 1 ; H 400</p> <p>Dangers pour le milieu aquatique - Danger chronique, catégorie 1 ; H 410</p>
Fluorure de cadmium	<p>Cancérogénicité, catégorie 1B ; H 350</p> <p>Mutagénicité sur les cellules germinales, catégorie 1B ; H 340</p> <p>Toxicité pour la reproduction, catégorie 1B ; H 360FD</p> <p>Toxicité aiguë (par inhalation), catégorie 2 (*) ; H 330</p> <p>Toxicité aiguë (par voie orale), catégorie 3 (*) ; H 301</p> <p>Toxicité spécifique pour certains organes cibles - Exposition répétée, catégorie 1 ; H 372 (**)</p> <p>Dangers pour le milieu aquatique - Danger aigu, catégorie 1 ; H 400</p> <p>Dangers pour le milieu aquatique - Danger chronique, catégorie 1 ; H 410</p>
Iodure de cadmium	<p>Toxicité aiguë (par inhalation), catégorie 3 (*) ; H 331</p> <p>Toxicité aiguë (par voie orale), catégorie 3 (*) ; H 301</p> <p>Cancérogénicité, catégorie 2 ; H 351</p> <p>Toxicité spécifique pour certains organes cibles - Exposition répétée, catégorie 2 (*) ; H 373 (**)</p> <p>Dangers pour le milieu aquatique - Danger aigu, catégorie 1 ; H 400</p> <p>Dangers pour le milieu aquatique - Danger chronique, catégorie 1 ; H 410</p>

CADMIUM ET PRINCIPAUX COMPOSES

Code de danger	Code de danger et description
Chlorure de Cadmium (CdCl ₂)	Cancérogène catégorie 2 ; R 45 Mutagène catégorie 2 ; R 46 Toxique pour la reproduction catégorie 2 ; R 60-61 Très toxique ; R 26 Toxique ; R 25-48/23/25 Dangereux pour l'environnement ; R 50-53
Sulfate de Cadmium (CdSO ₄)	Cancérogénicité, catégorie 1B ; H 350 Mutagénicité sur les cellules germinales, catégorie 1B ; H 340 Toxicité pour la reproduction, catégorie 1B ; H 360FD Toxicité aiguë (par inhalation), catégorie 2 (*) ; H 330 Toxicité aiguë (par voie orale), catégorie 3 (*), catégorie 2 ; H 301 Toxicité spécifique pour certains organes cibles - Exposition répétée, catégorie 1 ; H 372 (**) Dangers pour le milieu aquatique - Danger aigu, catégorie 1 ; H 400 Dangers pour le milieu aquatique - Danger chronique, catégorie 1 ; H 410

Source : INRS 2013

1.6 SOURCES NATURELLES DE CADMIUM

Le cadmium est un métal relativement rare présent dans l'environnement principalement en association avec le zinc, le plomb et le cuivre (The World Bank 1999).

CADMIUM ET PRINCIPAUX COMPOSES

Figure 2. Principaux pays producteurs de cadmium



Source: Maps of World 2011

1.7 SOURCES NON-INTENTIONNELLES DE CADMIUM

Liées à la production de phosphate, les activités d'extraction de phosphore occasionnent encore des rejets de cadmium. C'est ainsi notamment le cas en France dans les mines de potasse d'Alsace, même après la cessation de leur activité (environ 70 tonnes de cadmium par an, source DRIRE Alsace Bilan 2003).

CADMIUM ET PRINCIPAUX COMPOSES

2 PRODUCTION ET UTILISATION

2.1 PRODUCTION ET VENTE

La plupart de la production primaire de cadmium se fait en Asie. Les principaux producteurs sont la Chine, la Corée et le Japon. La production secondaire représente environ 20% de la production mondiale (voir Tableau 9). La consommation est surtout localisée en Belgique⁹, Chine, Inde et Japon.

La production de batteries NiCd représente plus de 80% de la consommation mondiale du cadmium. Les autres usages, par ordre décroissant de consommation au niveau mondial, sont les pigments, les revêtements et le placage, des stabilisants pour les matières plastiques et des alliages non ferreux (USGS 2016).

Tableau 9. Production mondiale par les raffineries de cadmium (tonnes de Cd)

Pays producteur	2000	2007	2014	2015
Allemagne	1100	640	-	-
Australie	630	390	350	380
Belgique	1200	-	-	-
Bulgarie	-	-	350	340
Canada	2350	2100	1310	1480
Chine	2250	3400	7000	8090
Inde	-	500	380	460
Japon	2550	2100	1830	1970
Kazakhstan	1000	2000	1200	1190
Corée	-	3600	4010	4250
Mexique	1100	1600	1410	1460
Pays Bas	-	570	640	640
Pérou	-	420	769	750
Pologne	-	-	628	640

⁹ La seconde place de la Belgique est liée à la présence de l'usine du groupe Floridienne, qui importe du cadmium dont celui recyclé par la société SNAM en France, pour le transformer en différents sels ou poudres qui sont ensuite, en grande partie, exportés.

CADMIUM ET PRINCIPAUX COMPOSES

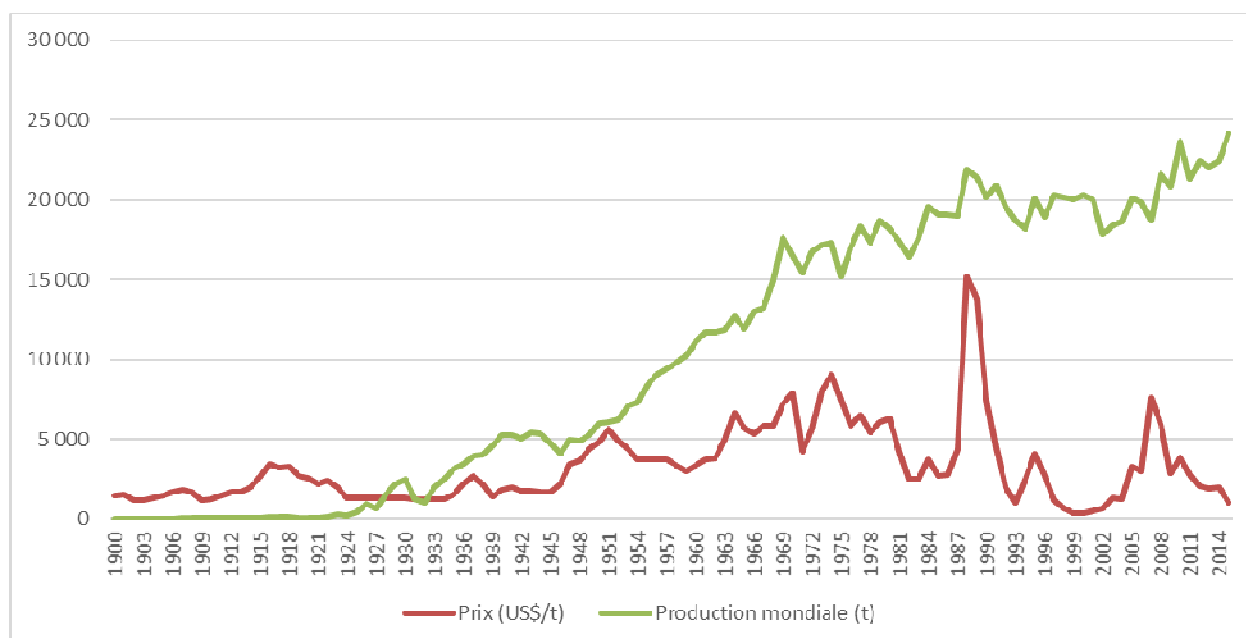
Pays producteur	2000	2007	2014	2015
Russie	850	1210	1200	1170
Autres pays	5070	1370	1350	1330
Total	19300	19900	22400	24200

Source: USGS (2016, 2008)

2.1.1. DONNEES ECONOMIQUES

Le prix annuel moyen du cadmium a diminué pour la quatrième année consécutive, diminuant de 46% en 2015 par rapport à celui de 2014 à environ 1,05 US\$ le kilogramme. La baisse des prix a été attribuée à une offre excédentaire de cadmium sur le marché (voir Figure 3), à une demande réduite en Inde et à un recul de la production de piles au nickel-cadmium en Chine, car une augmentation des réglementations environnementales nationales a entraîné plusieurs fermetures d'installations (USGS 2016).

Figure 3. Production mondiale et prix du cadmium



Source: USGS 2016

CADMIUM ET PRINCIPAUX COMPOSES

2.1.2. PROCEDE DE PRODUCTION

Le cadmium est principalement associé au minerai de zinc, avec une teneur en Cd comprise entre 0,01 et 0,05% et donc il est un coproduit de la métallurgie du Zn, avec un rendement de 1,8 à 6 kg de cadmium par tonne de zinc. Le cadmium est également présent dans des minerais de plomb et de cuivre, ainsi que dans des phosphates naturels (Société Chimique de France n.d.).

La production de cadmium est une activité industrielle connexe à celle du zinc. Le cadmium est récupéré par filtration du gaz provenant de la pyrométallurgie ou récupéré des effluents de l'hydrométallurgie du zinc.

2.1.3. PRODUCTION EN FRANCE

La production de Cd en Europe (2000-2002) est estimée à environ 1114t/an et le commerce (import/export) est d'environ 2850 t/an disponible pour les diverses utilisations (Joint Research Centre 2007).

En 2015, la France n'a plus de production minière de cadmium depuis la fermeture du gisement de Saint-Salvy (81). Le cadmium français est obtenu par recyclage principalement des accumulateurs nickel-cadmium (voir section sur le recyclage).

Les exportations sont estimées à 7t vers l'Allemagne et le Portugal, et les importations sont estimées à 62t en provenance de Chine, des Etats Unis et de Russie (Société Chimique de France n.d.).

2.1.4. METALLURGIE DU ZINC

La métallurgie du zinc est réalisée en France par la société Umicore (ex Union minière) à l'usine d'Auby. La production de cadmium liée à la métallurgie du zinc était de 664 tonnes en 1981. En 2011, suite à l'interdiction de Cd dans les alliages (European Commission 2011) Umicore a cessé la production d'alliages contenant du cadmium en Europe et vise pour 2016 la vente de ses installations en France (La Voix du Nord 2015).

2.1.5. RECYCLAGE

En 2015, le taux de recyclage de cadmium est estimé, à l'échelle mondiale, à 20%, principalement à partir de accumulateurs de nickel-cadmium (Société Chimique de France n.d.).

CADMIUM ET PRINCIPAUX COMPOSES

Le recyclage des accumulateurs nickel-cadmium est notamment assuré en France par la Société Nouvelle d’Affinage de Métaux (SNAM), filiale du groupe belge Floridienne. Celle-ci emploie 100 personnes à temps plein. Les sources de cadmium traitées par la SNAM sont, outre les accumulateurs et piles, des poudres provenant de systèmes d’assainissement de l’air des usines de la métallurgie et divers déchets de production industrielle. Le procédé de recyclage est divisé sur deux sites : Saint Quentin Fallavier (38) où est réalisée la collecte et le tri des sources ; et à Viviez (12) où un procédé thermique permet la séparation du cadmium dans un environnement confiné.

La SNAM a connu une baisse importante de sa production les huit dernières années, passant de 1000 tonnes à 100 tonnes aujourd’hui. Pur à 99,99 %, ce cadmium est vendu majoritairement à des producteurs d’accumulateurs nickel-cadmium.

La société SAFT, premier producteur européen d’accumulateurs nickel-cadmium à usage industriel, ne recycle pas ces derniers sur le territoire français mais confie cette tâche à une filiale suédoise.

SNAM et la filiale suédoise de SAFT-AB représentent ensemble près de 80 % de la capacité européenne de recyclage. Les 20 % restant sont constitués par l’opérateur ACCUREC en Allemagne (Commission européenne 2003c ; Joint Research Centre 2007).

2.2 UTILISATIONS

2.2.1 VARIETE D’UTILISATIONS

Les utilisations du cadmium métal dans les secteurs autorisés sont les suivantes (INRS 2013) :

- fabrication de poudre d’oxyde de cadmium à partir de cadmium métallique, utilisée comme catalyseur de réactions de polymérisation ;
- électrode négative dans les accumulateurs électriques rechargeables au nickel-cadmium ; (au cours de ces dernières années, les deux utilisations mentionnées ci-dessus ont consommé la majorité de la production mondiale de cadmium alors que les autres utilisations sont en forte diminution) ;
- revêtement anticorrosion des métaux (acier, fonte, alliages de cuivre, aluminium...) ; le cadmiage est généralement réalisé par électrolyse, mais le trempage et la pulvérisation sont possibles ;
- constituants de nombreux alliages : à bas point de fusion (alliage d’étain-plomb-bismuth-cadmium) ; cependant l’utilisation de cadmium comme composant d’alliages tend à diminuer au profit d’alliages exempts de cadmium.
- matières premières pour la préparation d’autres composés du cadmium, notamment des sels d’acides organiques utilisés comme stabilisants pour plastiques (oxyde, chlorure, nitrate) ;

CADMIUM ET PRINCIPAUX COMPOSES

- pigments pour peintures, plastiques, encres, émaux (sulfure, sulfoséléniure), utilisations en nette diminution ;
- constituants de nombreux matériels électriques : batteries (CdO), cellules solaires ou photoélectriques, redresseurs, contacteurs, semi-conducteurs (oxyde, hydroxyde, sulfate, sulfure, séléniure).
- utilisation des composés minéraux du cadmium dans les secteurs autorisés où leur emploi demeure techniquement indispensable : secteurs de l'aéronautique, l'aérospatiale, l'exploitation minière, secteurs « off-shore », du nucléaire, de la défense et la fabrication des contacts électriques.

En France, la consommation de cadmium est estimée à 1 800 t/an (National Resources Canada), mais il s'agit d'un chiffre ancien (1994) qui est probablement nettement surestimé à l'heure actuelle. 50 % de cette consommation serait consacrée à des applications industrielles et 50 % à des applications domestiques.

L'utilisation du cadmium est globalement en déclin. L'utilisation pour les accumulateurs et piles est très largement aujourd'hui la principale application du cadmium (ADEME 2015; HELCOM 2002) et elle est elle-même en déclin. En Europe, l'utilisation de Cd atteint 2638 tonnes réparties : 75,2% pour les batteries NiCd, 14,9% pour les pigments, 5% pour les stabilisateurs et 5% pour les alliages et les plaques (Joint Research Centre 2007).

2.2.1.1 PILES ET ACCUMULATEURS (PA)

Le couple électrochimique nickel-cadmium est employé dans la fabrication des accumulateurs et piles. Dans cette application, c'est la forme hydroxyde $\text{Cd}(\text{OH})_2$ du cadmium, obtenue à partir de l'oxyde CdO, qui est utilisée. Cet usage représentait environ trois quarts des usages totaux de Cd dans l'UE en 1996 (Commission européenne 2003a). En 2002 il est estimé à 83,5% (Joint Research Centre 2007) ; cette proportion n'était que de 55 % en 1990.

Du fait de la réglementation européenne les applications grand public sont en décroissance rapide, alors que les applications industrielles (ferroviaire, aviation, véhicules électriques) se maintiennent. Les accumulateurs Ni-Cd ne représentent cependant que 2 % des accumulateurs industriels, leur immense majorité étant au plomb (Commission européenne 2003a).

La société française SAFT (groupe Total) est un acteur majeur de ce marché. Seul fabricant français, elle emploie 4 140 personnes dans le monde (Google Finance 2016). Son chiffre d'affaires global est d'environ 45 millions d'euros ; la moitié environ est réalisée en France. La production d'accumulateurs Ni-Cd pour l'industrie représente 50 % à 60 % de son activité (premier rang en Europe). En France, l'activité de production de SAFT qui concerne les batteries Ni-Cd est répartie sur deux sites industriels : Bordeaux et Poitiers.

Le cadmium consommé par SAFT est principalement issu du recyclage : de France (SNAM) ou d'Europe (filiale suédoise de SAFT, société allemande de recyclage).

CADMIUM ET PRINCIPAUX COMPOSES

L'emploi du couple Ni-Cd subsiste pour des piles et batteries rechargeables dans les secteurs encore variés (même si des technologies alternatives tendent à le supplanter) :

- Industrie : systèmes de secours par batteries pour raffineries, centrales électriques, installations pétrolières et gazières off-shore ou on-shore, postes de transformation, d'infrastructures d'aéroports ou de bâtiments
- Aviation (démarrages en direct des moteurs et des groupes auxiliaires de puissance (Auxiliary Power Unit), stabilisation du réseau et secours énergie)
- Transports ferroviaires : alimentations d'urgence et de secours, démarrage de moteurs, traction par récupération de l'énergie au freinage et signalisation
- Véhicules électriques et hybrides
- Equipement des réseaux de télécommunications et d'énergie : stockage de l'énergie renouvelable,
- Applications militaires et spatiales.

En France, Le nombre d'accumulateurs Ni-Cd industriels mis sur le marché a diminué de 10 %. Ces accumulateurs représentent 27 % des PA industriels mis sur le marché en 2014. Une évolution à la baisse au profit d'autres natures est prévue pour les prochaines années, en réponse à la limitation réglementaire de l'utilisation du cadmium imposée par la directive européenne 2013/56/UE (ADEME 2014).

L'utilisation pour le grand public est désormais marginale pour des batteries de téléphones mobiles et d'ordinateurs portables. En revanche, leur emploi reste important pour les outils portables (Noréus, 2000). Aucune usine de fabrication de PA portables n'est installée en France. Environ la moitié des PA portables proviennent de l'Union européenne (Belgique, Allemagne, Europe de l'Est) et la moitié d'Asie et des États-Unis (ADEME 2014). On estime que les piles et accumulateurs NiCd portables contiennent en moyenne 13 % de cadmium en poids et les industriels 8 % (Commission européenne 2003a).

2.2.1.2 PIGMENTS ET STABILISANTS

Les pigments de cadmium sont des colorants inorganiques stables qui peuvent être produits dans une gamme de nuances brillantes de jaune, orange, rouge et marron. Leur plus grande utilisation est dans les plastiques, mais ils ont également une application significative dans la céramique, les verres et les peintures spécialisées (peintures d'artistes). Ces usages sont limités par la directive 91/338/EEC « directive Cadmium » ainsi que par la réglementation REACH, plusieurs pigments étant des substances soumises à autorisation (European Chemicals Agency 2012b; European Chemicals Agency 2012c; ECHA 2013; ECHA 2015; European Chemicals Agency 2012a).

CADMIUM ET PRINCIPAUX COMPOSES

La consommation mondiale de pigments de cadmium a suivi le développement de l'industrie des plastiques et a atteint environ 6000 tonnes en 1975 (European Chemicals Agency 2012e). Les pigments à base d'oxyde de cadmium CdO, représentaient environ 20 % des usages totaux de Cd dans l'UE en 1996 (15 % pour les pigments et 5 % pour les stabilisants) (Commission européenne 2003a). Ces deux pourcentages sont en forte baisse depuis 1990. Depuis lors, leur utilisation a été réduite en raison de leurs propriétés dangereuses, et de l'apparition de produits de substitution de haute qualité, en particulier, les pigments organiques thermostables jaunes et rouges. En 2003, l'EU-16 estimait une consommation de 499 tonnes métriques de Cd dans les pigments (Joint Research Centre 2007).

Les pigments de cadmium sont également utilisés pour colorer les glaçures, céramiques et émaux. Dans les deux cas, des températures de cuisson élevées sont nécessaires. Ceci exclut les pigments organiques et réduit le nombre de pigments inorganiques appropriés. Pour les teintes jaunes, il y a différentes alternatives, mais le sulfosélénure de cadmium est le seul pigment rouge brillant utilisable selon l'industrie concernée. Les pigments de cadmium sont appropriés pour toutes les finitions de surface des céramiques.

Les pigments de cadmium ont aussi un certain nombre d'autres utilisations mineures dans le caoutchouc, le papier et les encres, bien que ceux-ci faibles en termes de consommation de cadmium (European Chemicals Agency 2012e). Il y a une seule société fabricant des pigments de cadmium en France (Eurométaux, 2004) (Micron Couleurs à Narbonne).

Le cadmium (CdO) est ou a été utilisé pour fabriquer des stabilisants incorporés notamment dans les plastiques. Cet usage est en déclin compte tenu des dispositions de la directive 91/338/CEE. L'usage de composés au cadmium comme stabilisant du PVC a cessé dans les pays de l'Union européenne en mars 2001, conformément à l'engagement volontaire de l'industrie du PVC.

2.2.1.3 CHARGES DE BRASAGE¹⁰

L'Annexe XVII de REACH sur le Cd restreint son utilisation dans les charges de brasage, celles-ci ne devant pas être mises sur le marché si la concentration de cadmium (exprimée en Cd métal) est égale ou supérieure à 0,01% en poids (European Chemicals Agency 2012d).

¹⁰ Le brasage est une opération d'assemblage de pièces métalliques au moyen d'un métal d'apport à l'état liquide, dont la température de fusion est inférieure à celle des pièces à assembler. Le brasage de métal d'apport peut se présenter sous forme de fil, poudre, pâtes,...

CADMIUM ET PRINCIPAUX COMPOSES

L'incorporation de cadmium dans les charges de brasage présente trois avantages essentiels : (i) elle réduit la température de brasage, (ii) elle raccourcit la durée du processus de brasage et (iii) elle réduit le coût de brasage. La charge la plus répandue utilise 25% de cadmium et 42% d'argent avec le cuivre à environ 17% et le zinc 16%, car cela offre la meilleure combinaison des caractéristiques de température de fusion, la vitesse et le coût (European Chemicals Agency 2012d).

La consommation européenne d'alliages de brasage contenant du cadmium (pour l'utilisation professionnelle et grand public) était de 90 à 140 tonnes en 2010, représentant une quantité de cadmium d'environ 22,5 à 35 tonnes. Les principaux usages des alliages de soudure étaient l'outillage, les échangeurs de chaleur, la réfrigération, la plomberie et les composants électriques. Ces utilisations sont plus répandues dans les pays d'Europe du Sud comme la France, l'Espagne, l'Italie et le Portugal (European Chemicals Agency 2012d). La restriction REACH Annexe XVII devrait inciter la réduction de ces applications.

Une dérogation concerne les applications des charges de brasage utilisées dans la défense et l'aérospatiale pour des raisons de sécurité.

A demande de British Compressed Gases Association (BCGA) l'usage de charges contenant du cadmium a été accordée pour la production de systèmes d'acétylène à haute pression, du fait que l'absence de cadmium se traduirait par des joints de qualité inférieure, ce qui augmenterait le risque d'explosion (European Chemicals Agency 2012d).

2.2.1.4 TRAITEMENT DE SURFACE DES METAUX

Cet usage représentait environ 4 % des usages du Cd dans l'UE en 1996 et cette proportion a régressé de moitié entre 1990 et 1996 (Commission européenne 2003c). Le cadmium métal (Cd) est utilisé dans ce cas pour plusieurs raisons :

- conférer des propriétés particulières de résistance à la corrosion, supérieures à celles obtenues par des bains au zinc ;
- conférer des propriétés de faible coefficient de friction au métal, notamment pour des applications exigeantes de type aéronautique et militaires, comme pour les freins (automobile, aéronautique), les fixations (de trains d'atterrissage, des différents composants de munitions et d'armes,...) ;
- conférer des propriétés de résistance à l'oxydation et la corrosion et assurer une bonne conductivité électrique (pour des connecteurs électriques notamment).

La profession estime que les secteurs qui utilisent le cadmium sont à 90 % l'aéronautique et à 10 % le spatial, les autres applications étant très marginales.

CADMIUM ET PRINCIPAUX COMPOSES

2.2.1.5 PRODUCTION DE CELLULES PHOTOVOLTAÏQUES

Le tellure de cadmium (CdTe) est utilisé dans les panneaux photovoltaïques à couche mince pour absorber et convertir la lumière du soleil en électricité. Le CdTe est maintenant le deuxième matériau de cellule solaire le plus utilisé après le silicium. L'efficacité des panneaux du module de couche mince est évaluée à 6,3% pour le silicium amorphe (a-Si) ; 10,9% pour le CdTe et 11 ;5% pour le diséléniure de cuivre indium gallium (CIGS) (NREL 2012).

Le parc solaire photovoltaïque de l'UE atteignait en 2015 une puissance totale de 94,6 GW, pour une puissance mondiale qui dépassait les 227GW. Le marché européen reste toutefois peu diversifié. En 2015, il s'appuie essentiellement sur trois pays, le Royaume-Uni, l'Allemagne et la France.(Observ'ER 2016).

En France, en 2015-2016 plusieurs appels d'offres portant sur le développement des installations photovoltaïques de moyenne puissance (100 à 250 kWc) pour des bâtiments et des ombrières de parking, ont été lancés par le gouvernement (MEEM). Fin 2015, le grand parc photovoltaïque de Cestas (33) a été mis en service (Observ'ER 2016).

Le développement de cette filière suscite des incertitudes sur l'utilisation des substances dangereuses (plomb, mercure, cadmium...) dans les équipements électriques ou électroniques des panneaux, notamment pour ce qui concerne la fin de vie des installations (Grasland 2010).

L'analyse de cycle de vie de l'IEA (Frischknecht et al. 2015) sur les systèmes photovoltaïques présente quelques données sur l'utilisation de cadmium dans la production de laminés photovoltaïques de CdTe et sur les émissions associées (voir Tableau 10).

Tableau 10. Données d'utilisation et d'émission de composés du Cd pour la production de laminés photovoltaïques de CdTe (exprimées par m² de laminé produit)

	Allemagne	Malaysie	Etats Unis
Composés de Cd utilisés (kg/m²)			
Tellure de cadmium (kg/m ²)	2,33E-2	2,34E-2	2,58E-2
Sulfure de cadmium (kg/m ²)	3,52E-3	3,52E-3	3,52E-3
Emissions estimées			
Cadmium dans l'air (kg/m ²)	5,34E-9	5,34E-9	5,34E-9
Cadmium ion dans l'eau (kg/m ²)	4,43E-7	4,43E-7	4,43E-7

Source: NREL 2012

CADMIUM ET PRINCIPAUX COMPOSES

2.2.1.6 COMPOSANT D'ALLIAGES

Le cadmium métal (Cd) entre dans une assez grande variété d'alliages, dans des quantités en général faibles, comme par exemple dans le cuivre pour augmenter sa résistance sans baisser sa conductivité électrique. Cet usage est en forte chute dans l'UE : l'utilisation du cadmium dans des alliages a été, en quantité, divisée par 10 entre 1985 et 1996 (Commission européenne 2003b).

2.2.1.7 ENGRAIS

Les activités agricoles introduisent du cadmium dans les sols par usage des engrais phosphatés (Roberts 2014). Le cycle de l'eau et le labourage conduisent ensuite à une libération de ce polluant dans les hydrosystèmes. Le cadmium est un contaminant naturel des roches phosphatées et son contenu final dans l'engrais dépend à la fois du type de matière première et de la méthode de fabrication (Cichy et al. 2014).

Le règlement (CE) N°2003/2003 portait sur les engrais minéraux, mais n'a pas imposé de limite pour la teneur en Cd. La Commission européenne a proposé des valeurs limites plus strictes de transition de 60 à 20 mg Cd/kg P₂O₅ sur une période de 15 ans (European Commission 2004). Ces limites sont basées sur les conclusions d'une étude d'évaluation d'impact indiquant que les engrais contenant moins de 20 mg Cd/kg P₂O₅ ne devraient pas entraîner une accumulation de Cd à long terme dans le sol, ce qui par contre serait le cas avec des engrais contenant 60 mg Cd/kg P₂O₅. (Roberts 2014).

La teneur moyenne en Cd dans les engrais commercialisés dans l'UE est estimée à 45 mg Cd/kg P₂O₅. La valeur limite de 60 mg Cd/kg P₂O₅ (opinion de CSTEE¹¹ dans la Commission Européenne) exclurait du marché environ 21% des engrais actuellement vendus, alors que l'introduction d'une valeur limite plus stricte de 20 mg Cd/kg P₂O₅ pourrait causer des changements importants sur le marché européen des engrais. Actuellement en Europe, une seule entreprise, Yara¹², commercialise des engrais à faible teneur en cadmium (Cichy et al. 2014).

2.2.1.8 APPORTS INDIRECTS

Le cadmium intervient, souvent de façon diffuse et à de faibles quantités dans un grand nombre de procédés et de produits industriels :

- la sidérurgie (émissions dans l'eau, dans l'air) ;
- la production de métaux non-ferreux ;
- la combustion de sources d'énergie fossiles (centrales thermiques, combustion industrielle, transport routier), du fait de sa présence dans les combustibles fossiles ;
- l'incinération de déchets ménagers, les cimenteries.

¹¹ Scientific Committee on Toxicity, Ecotoxicity and the Environment (CSTEE)

¹² <http://yara.com/>

CADMIUM ET PRINCIPAUX COMPOSES

2.2.1.9 USAGES DIVERS

D'après les sources consultées (Joint Research Centre 2007; Commission européenne 2003b; OECD 1995), d'autres usages du cadmium sont:

- le traitement de surface du nickel ;
- les lampes à vapeur de cadmium ;
- le catalyseur (CdO) ;
- les composants électroniques. Cet usage était cependant normalement voué à disparaître après 2006 en raison de directives européennes (directives « EEE »). Cependant HELCOM (2002) estime qu'il peut progresser en raison de l'emploi dans les cellules photovoltaïques.

2.2.1.10 SYNTHÈSE DES UTILISATIONS

Historiquement, le cadmium a été utilisé pour les traitements de surface, la fabrication de batteries ou de matières plastiques. Un assez grand nombre de produits (peintures, laques, vernis, matériaux de construction, réactifs de laboratoire, électronique...) peuvent ou ont pu contenir du cadmium en faible quantité. Les toitures en zinc, notamment pour les plus anciennes, sont dans ce cas. (Commission européenne 2003b). Les plus importantes d'entre elles seraient les piles et accumulateurs, suivis par les engrais (HELCOM 2002). Ses usages ont été restreints depuis une vingtaine d'années.

Il est maintenant interdit dans les plastiques alimentaires. Il a été remplacé dans les piles et est prohibé dans les équipements électriques et électroniques.

Le cadmium est fortement réglementé dans son utilisation ainsi que dans la manipulation au milieu professionnel. Cependant, il reste présent dans un très grand nombre d'applications industrielles, mais à de très faibles quantités. Cet usage diffus deviendrait donc de plus en plus significatif (électroniques, engrais) par rapport aux usages établis (batteries, pigments), qui sont en général en perte de vitesse.

3 REJETS DANS L'ENVIRONNEMENT

Les utilisations et sources potentielles d'émission ponctuelle liées à l'usage intentionnel de cadmium dans l'environnement répertoriés sont principalement : l'industrie chimique et électrique, le raffinage des métaux non ferreux, les accumulateurs nickel-cadmium, le traitement des surfaces métalliques (revêtement anticorrosion), la métallurgie de l'acier, les). D'autres sources sont liées à une présence non-intentionnelle de cadmium : engrais phosphatés, la combustion du charbon et des produits pétroliers, l'incinération des ordures.

CADMIUM ET PRINCIPAUX COMPOSES

En raison de la très forte chute des émissions ponctuelles liées à la fabrication et la récupération du cadmium depuis plusieurs années, les sources indirectes ou diffuses sont aujourd'hui nettement plus importantes pour les rejets dans l'eau et dans les sols, que les sources associées à la production ou à l'usage direct et intentionnel de cadmium (OECD 1995; HELCOM 2002).

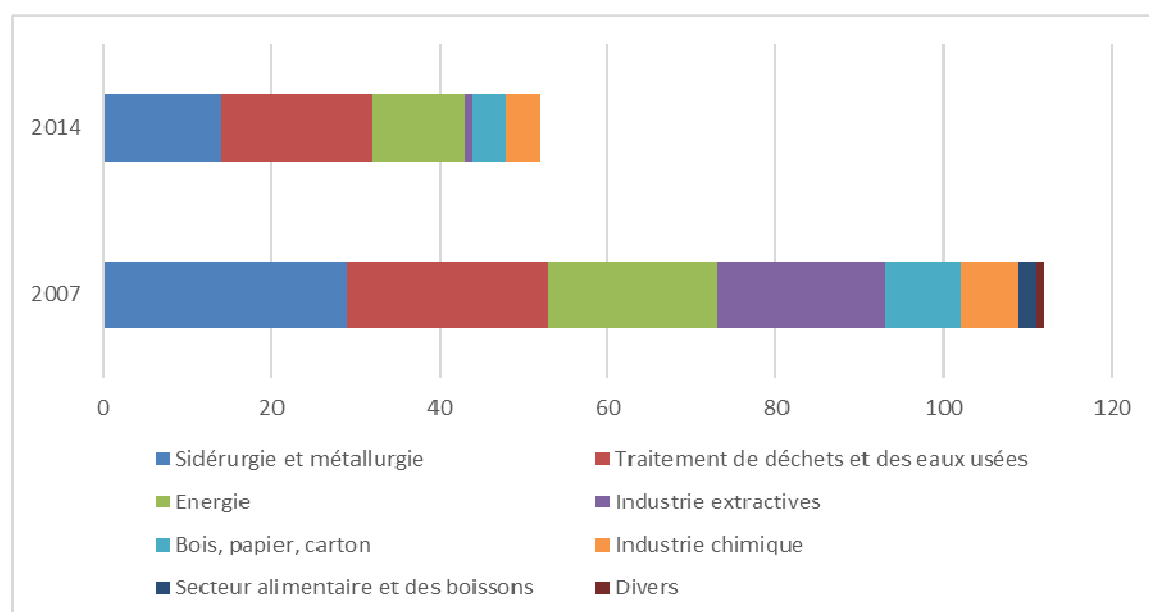
Globalement, à l'échelle d'un bassin versant comme celui de la Seine, les apports principaux ne semblent pas liés aux apports industriels directs, mais

- Pour les apports directs dans les milieux aquatiques, aux stations d'épuration, et au dragage,
- Pour les apports indirects aux décharges, aux engrais, et aux dépôts atmosphériques

3.1 EMISSIONS ANTHROPIQUES TOTALES

Le bilan de rejets industriels en France montre une réduction significative entre 2007 et 2014 du nombre d'établissements industriels ayant rejeté du cadmium dans le milieu naturel, voir Figure . Cet effet est également identifié par la diminution les rejets de cadmium (en kg) dans l'air, l'eau et le sol, voir Figure .

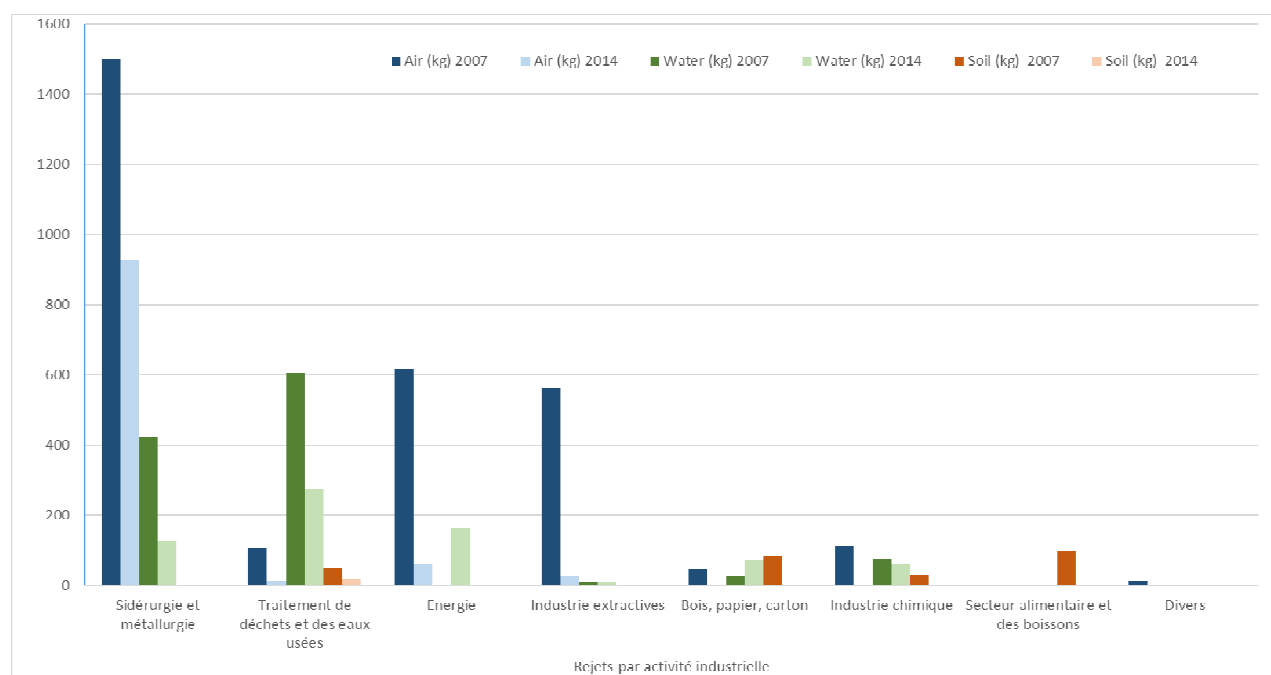
Figure 4. Nombre d'établissements industriels en France ayant rejetés du cadmium dans le milieu naturel en 2007 et 2014.



Source: European Environment Agency (2014)

CADMIUM ET PRINCIPAUX COMPOSES

Figure 5. Rejets du cadmium par activité industrielle en France dans l'air, l'eau et le sol en 2007 et 2014 en kg.



Source : European Environment Agency (2014)

Les rejets du cadmium dans l'environnement mettent en évidence une contribution importante du secteur de la sidérurgie et de la métallurgie. Notons qu'une des entreprises les plus polluantes de ce secteur est aujourd'hui fermée et que son site fera l'objet d'une dépollution.

Remarque : Selon les informations communiquées par un professionnel du secteur, la production de ciment n'engendrerait pas de rejets de cadmium comme il apparaît dans le bilan détaillé. En effet l'eau consommée n'entre jamais au contact de la matière.

La base de données européenne EPRTR¹³ a répertorié en 2014 un total des émissions française de cadmium des installations IPPC dans l'eau de 1140 kg, dans l'air de 1030 kg et 19,6 kg dans les sols.

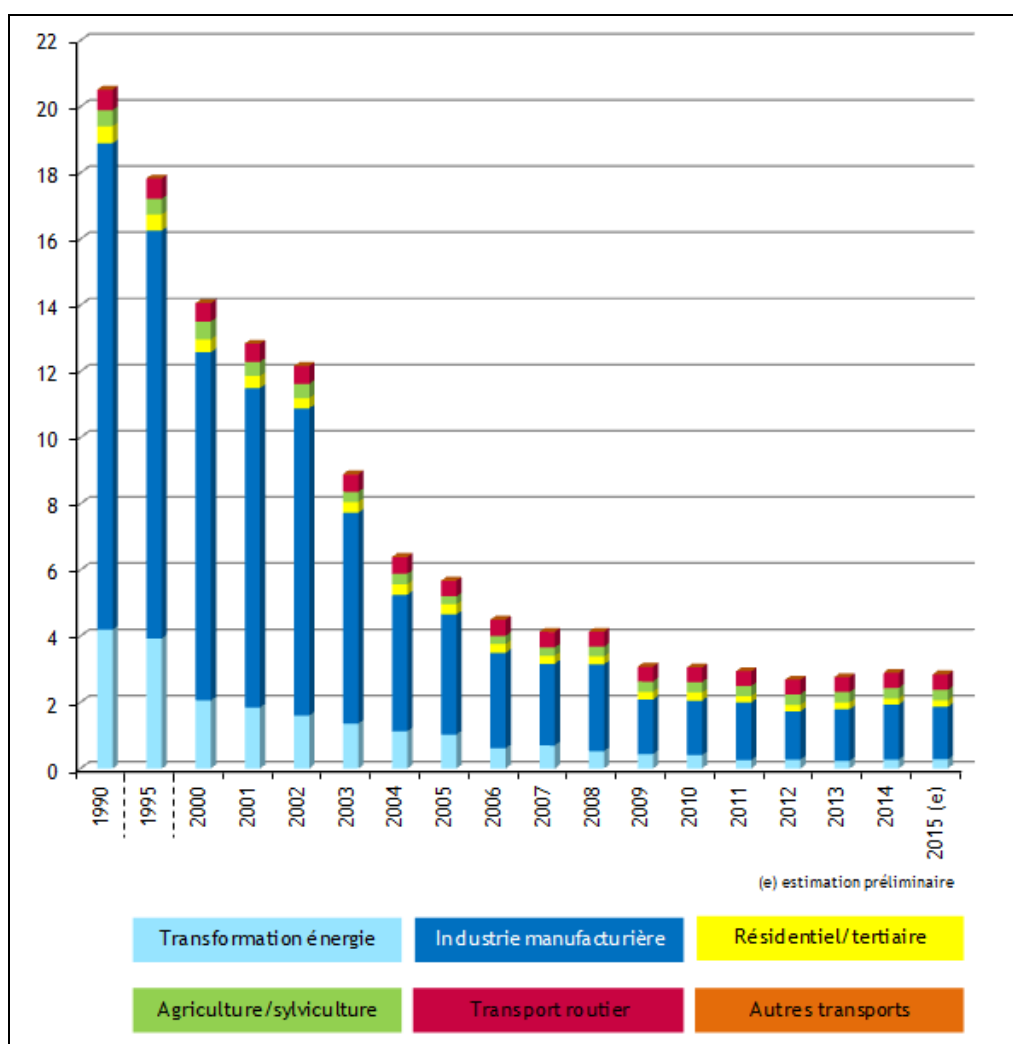
¹³ EPRTR (<http://prtr.ec.europa.eu/>) est alimenté en France par la BDREP, base de données gérée par l'INERIS.

CADMIUM ET PRINCIPAUX COMPOSES

3.2 EMISSIONS ATMOSPHERIQUES

D'après le CITEPA, les émissions atmosphériques en France ont été environ divisées par 10 entre 1990 et 2015 (pour s'établir à environ 2,5 kt/an), période sur laquelle une forte baisse continue a donc été observée, avec toutefois une stabilisation depuis quelques années. La principale source d'émissions atmosphériques demeure l'énergie manufacturière, suivie par le transport routier (voir Figure 6).

Figure 6. Emissions atmosphériques de Cadmium en France



Source : CITEPA

CADMIUM ET PRINCIPAUX COMPOSES

Selon l'Agence Européenne de l'Environnement, les principales installations émettrices de Cd ont été en 2007 et 2014 les suivantes :

Tableau 11. Principales installations industrielles émettrices de cadmium en France dans l'air en 2014

Installations	2007 (kg)	2014 (kg)
ArcelorMittal FOS	196,0	463,0
ArcelorMittal Atlantique et Lorraine site de Dunkerque	237,0	250,0
ALPA	-	96,0
Arc International France - Site industriel d'Arques	16,0	27,0
Glencore Manganèse France	-	21,6
SAM Neuves Maisons	20,5	19,7
Laminés Marchands Européens	25,5	18,4
Revima	18,3	18,0
SAM Montereau	-	15,0
ITON-Seine	12,0	14,0
EDF Production Electrique Insulaire SAS - Etablissement de Bellefontaine	51,9	13,2
Raffinerie de Port-Jérôme / Gravenchon	-	12,5
Usine de Pont.A.Mousson Service Agglomération	22,0	12,1
Raffinerie ESSO	62,0	12,0
EDF PEI Port Est (Réunion)	-	11,9
Unité de Valorisation Energétique VESTA	-	11,7
Centrale de Jarry-Nord	14,0	11,0

Source: European Environment Agency 2014

CADMIUM ET PRINCIPAUX COMPOSES

3.3 EMISSIONS VERS LES EAUX

Le cadmium étant une substance prioritaire dangereuse de la DCE, il est suivi dans les eaux superficielles et les sédiments de cours d'eau en France. Quelques éléments quantitatifs sont donnés dans le **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

Par rapport à l'ensemble des sources émettrices, la plupart des activités industrielles consommatrices de cadmium sont les sources majeures, ou du moins significatives, de ce polluant dans les eaux de surface : fabrication de batteries, d'alliages, de pigments, de stabilisants, d'engrais phosphatés, sidérurgie, traitement de surface (Royal Haskoning 2003b). La papeterie et la verrerie constituent des sources de moindre importance.

Les rejets de cadmium liés au traitement du zinc sont considérés comme une source majeure de cadmium dans les eaux de surface (Royal Haskoning 2003a).

Le Tableau 11, issu des travaux de la Commission internationale pour la protection du Rhin, montre que les apports diffus sur le bassin du Rhin seraient en fait sensiblement *supérieurs* aux sources ponctuelles (confirmant ainsi les constatations faites pour le bassin de la Seine ci-dessus). Les principales sources de pollution diffuses sont les eaux de drainage et les réseaux d'eaux usées. L'origine du cadmium dans les eaux de drainage est le cadmium accumulé dans les sols en raison de l'utilisation de fertilisants phosphatés contenant du cadmium, ou de la présence de déchets contaminés. Pour les rejets d'eaux usées, il peut s'agir d'origines diverses, dont notamment des eaux pluviales contenant du cadmium suite aux dépôts atmosphériques, à des micropollutions ponctuelles par des hydrocarbures, etc.

CADMIUM ET PRINCIPAUX COMPOSES

Tableau 12. Importance des différentes voies d'apport de cadmium dans le Rhin

Nature des émissions	Émissions (kg/an)	%
Ponctuelles (2000)		
- Suisse, France, Allemagne, Pays-Bas	< 1672 kg/an	
- France	473 kg/an	
Diffuses (2000)		
- Suisse, France, Allemagne, Pays-Bas	6 350 kg/an	
- France	713 kg/an se répartissant comme suit :	
	effluents de ferme :	2,2 %
	érosion :	7,6 %
	ruissellement de surface :	1,1 %
	drainage :	42,6 %
	retombées atmosphériques :	10,5 %
	égouts :	35,9 %

Source : Braun et al. 2003

Tableau 13. Emissions de cadmium dans les bassins hydrographiques en France métropolitaine en 2014 (référence en 2007)

Bassins hydrographiques	2007 (kg)	2014 (kg)
Rhône-Méditerranée-Corse	271	842
Seine-Normandie	107	45
Artois-Picardie	109	177
Loire-Bretagne	62	8
Adour-Garonne	52	48
Rhin-Meuse	102	22
Total	712	1142

Source: European Environment Agency 2014

CADMIUM ET PRINCIPAUX COMPOSES

La CIPR a réalisé en 2016 un nouvel inventaire des émissions de Cadmium en 2010 (CIPR, 2016), et il en ressort que les émissions ont fortement baissé (total de 3,3t contre 8t en 2000). Les apports dans le Rhin restent principalement dus aux eaux souterraines et au drainage, et aux stations d'épuration, comme en témoigne le schéma de répartition des sources de la Figure 7.

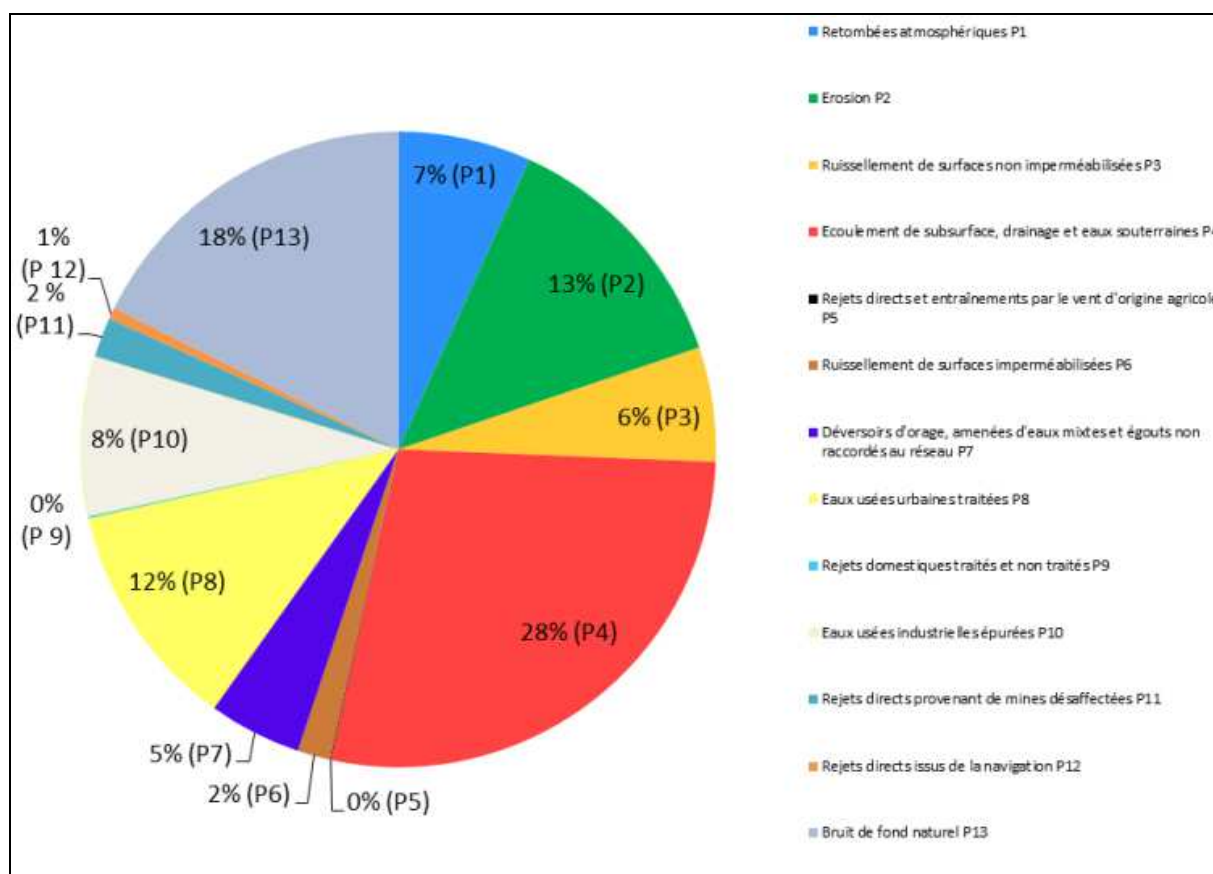


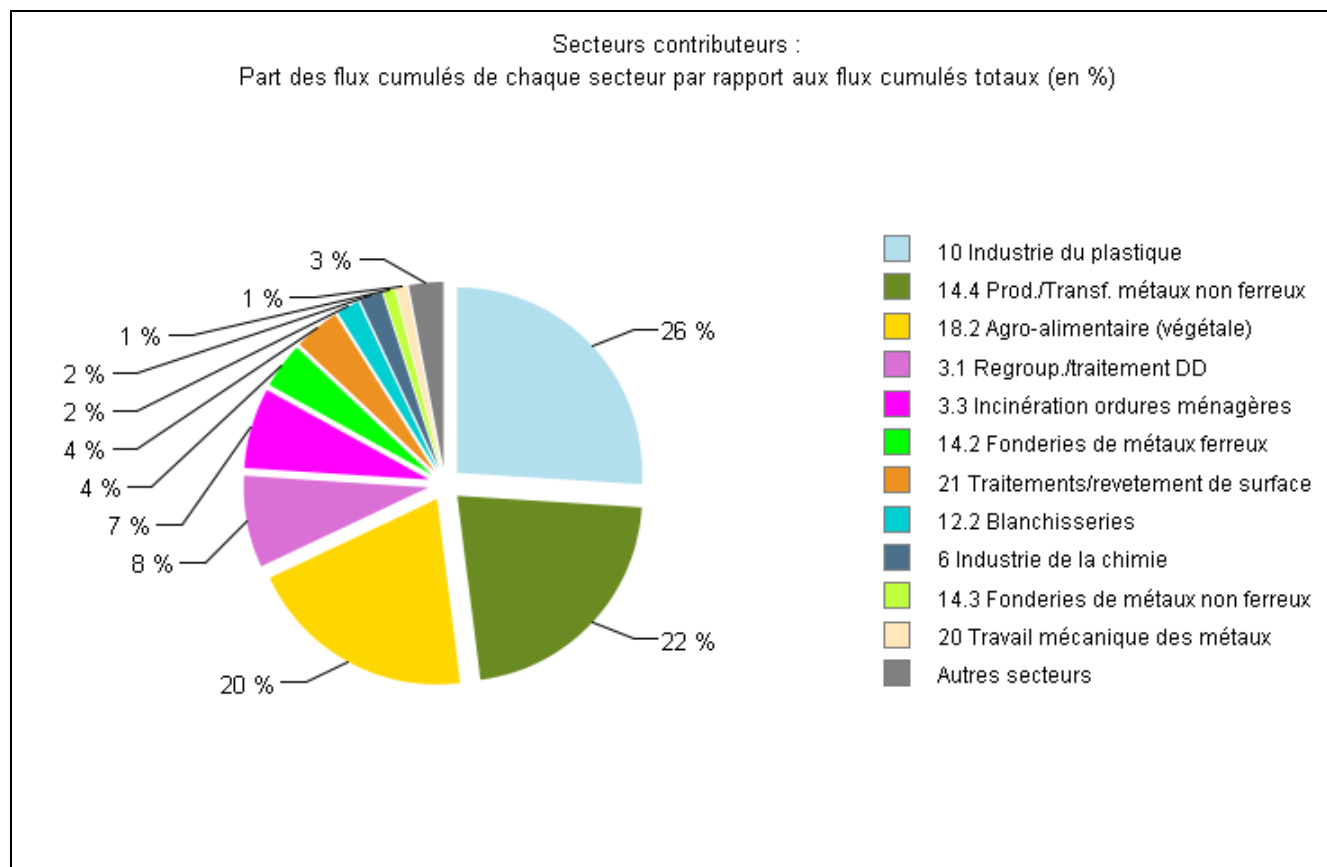
Figure 7 : Répartition des voies d'apport du Cadmium sur le Rhin, selon (CIPR, 2016)

L'action RSDE¹⁴ (INERIS, 2016) a suivi les substances dangereuses pour le milieu aquatique dans les rejets des stations de traitement des eaux usées industrielles et urbaines. Il répertorie divers secteurs à l'origine de ces émissions, qui sont recensés sur le Figure 8.

¹⁴ <http://www.ineris.fr/rsde/>

CADMIUM ET PRINCIPAUX COMPOSES

Figure 8. Secteurs émetteurs de cadmium dans l'action RSDE



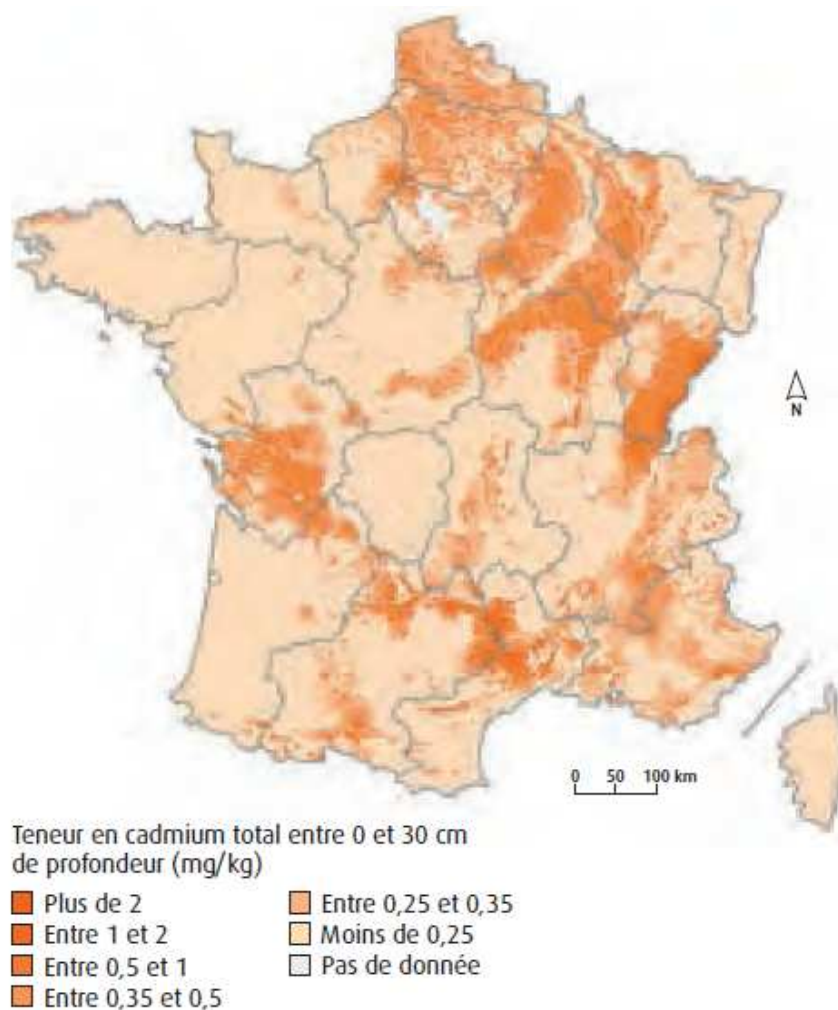
Source : (INERIS 2016)

3.4 EMISSIONS VERS LES SOLS

Les teneurs en cadmium dans le sol français (voir Figure 9) résultent de l'altération des roches et de l'évolution des sols, comme ceux issus des craies et des calcaires jurassiques (Champagne, Charente, Causses, Jura) et aussi de contaminations diffuses d'origine industrielle (Nord) ou agricoles (usage d'engrais minéraux dans les régions céréalières dans le Nord et Sud-Ouest de la France et en Alsace) (Bottin et al. 2014a).

CADMIUM ET PRINCIPAUX COMPOSES

Figure 9. Teneurs en cadmium dans les sols



Source : Gis Sol, RMQS, 2013. Traitements : SOeS, 2013

Source : Bottin et al. 2014a

La part la plus importante des apports anthropiques en Cd sur les sols agricoles provient des engrais minéraux suivis des effluents d'élevages et des retombées atmosphériques, voir 3 (Bottin et al. 2014a).

CADMIUM ET PRINCIPAUX COMPOSES

Tableau 13. Part de différentes sources de contamination dans l'estimation des apports de cadmium sur les sols agricoles

Source de contamination	%
Traitements phytosanitaires	0
Déjections animales	25
Boues et composts	5
Engrais minéraux	54
Amendements calciques et magnésiens	2
Rétombées atmosphériques	14

Source: Ademe-Sogreah 2007 dans Bottin et al. 2014a

En 2007, les émissions ponctuelles de Cd vers les sols en France ont atteint 261 kg et étaient liées notamment aux diverses activités industrielles : abattoirs, production de papier, traitement des eaux usées et industrie chimique (voir Tableau 14).

Tableau 14. Principaux établissements émetteurs de cadmium en 2007 en France

Etablissement émetteur	Principale activité	2007 (kg)
ABERA	Abattoirs	74,0
TEMBEC Saint-Gaudens	Papier, bois, matières fibreuses	26,0
Cristal union	Papier et bois	22,0
International Paper France	Papier et bois	19,0
Stora Enso Corbehem	Papier et bois	19,0
Solvay Carbonate France usine de Dombasle	Produits chimiques	18,0
STEP - Lille-C.U.-Marquette	Traitement des eaux usées urbaines	13,0
ADISSEO	Produits pharmaceutiques	12,2
STEP - Tougas	Traitement des eaux usées	8,9

CADMIUM ET PRINCIPAUX COMPOSES

Etablissement emetteur	Principale activité	2007 (kg)
	urbaines	
Veolia Eau Compagnie Générale des Eaux - Usine de dépollution des eaux Ginestous-Garonne	Traitement des eaux usées urbaines	8,7
STEP - Lille-C.U.-Wattrelos	Traitement des eaux usées urbaines	7,4
La Rochette Venizel	Papier et bois	7,2
Greenfield SAS	Papier, bois, matières fibreuses	7,0
STEP - Lille-C.U.-Houplin Ancoisne	Traitement des eaux usées urbaines	6,7
PDM Industries	Papier, bois, matières fibreuses	6,0
STEP - Tours	Traitement des eaux usées urbaines	5,5

Source: European Environment Agency 2014

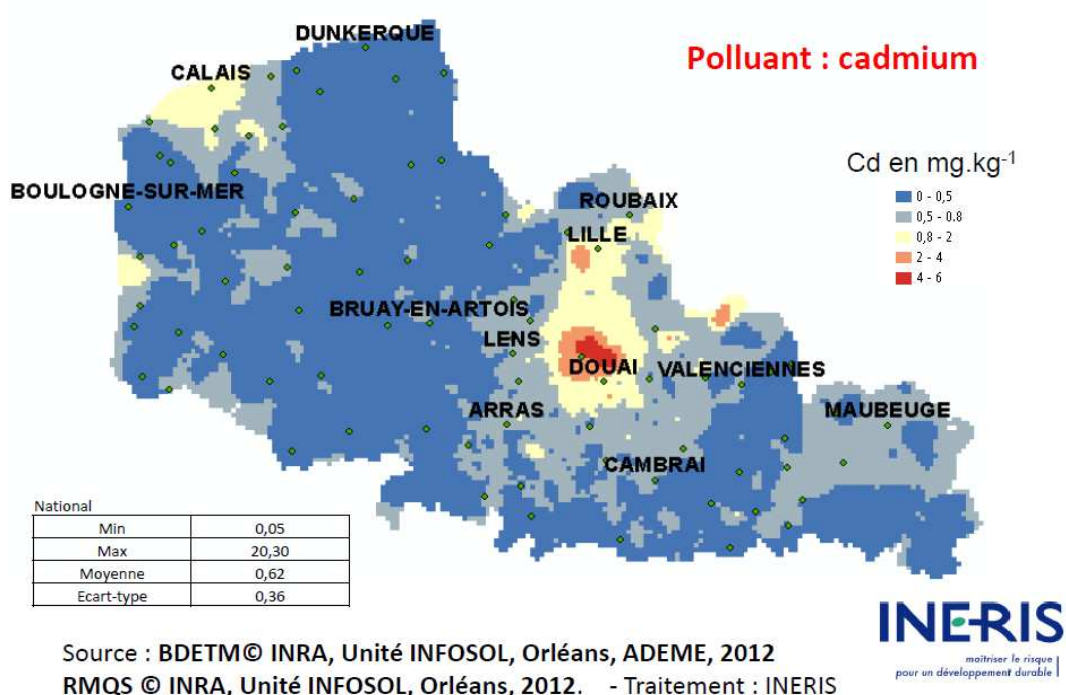
3.5 POLLUTIONS HISTORIQUES ET ACCIDENTELLES

Les études de l'INERIS sur les inégalités environnementales dans le cadre du projet PLAINE¹⁵ soulignent que la région Nord-Pas-de-Calais (Caudeville et al. 2009) est une zone de surexposition potentielle au cadmium n raison du passé minier de la région, avec les installations de Metaleurop et Umicore ; et à l'est Mortagne-du-Nord, voir Figure 10.

¹⁵ PLAINE : Plate-forme d'analyse des inégalités environnementales.

CADMIUM ET PRINCIPAUX COMPOSES

Figure 10. Concentration de cadmium dans les sols de surface dans la région Nord-Pas-de-Calais



Source : INERIS 2012

D'après la base de données BASOL, le cadmium est rencontré dans 5,7 % des cas de sites pollués en France. Cette base de données répertorie environ une centaine de sites « actifs », c'est à dire en cours d'évaluation ou de travaux de réhabilitation. Une grande partie des cas provient de l'industrie métallurgique (ancienne industrie sidérurgique), d'activités de traitement de surface et d'anciens sites de stockages de divers déchets.

CADMIUM ET PRINCIPAUX COMPOSES

4 DEVENIR ET PRESENCE DANS L'ENVIRONNEMENT

4.1 MILIEU ATMOSPHERIQUE

Le cadmium est encadré par deux directives européennes (2008/50/CE et 2004/107/CE) sur l'évaluation et la gestion de la qualité de l'air en fixant des concentrations maximales dans l'air. En 2012, la plupart des points de mesures respectent la réglementation pour les teneurs en cadmium, hormis sur un site en Midi-Pyrénées (Bottin et al. 2014a).

4.2 MILIEU AQUATIQUE

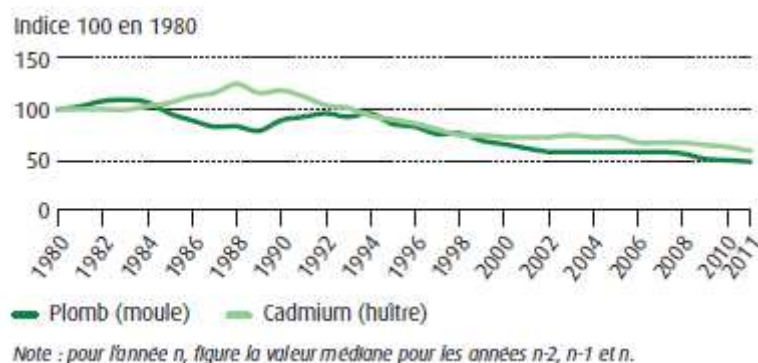
Le cadmium, selon ses caractéristiques et les conditions prévalant dans le milieu récepteur, reste dissous dans la colonne d'eau ou se fixe sur les particules sédimentaires. Il peut se concentrer dans les organismes par les chaînes alimentaires (Bottin et al. 2014b).

4.2.1 MILIEU MARIN

La concentration du cadmium dans le milieu marin a diminué, l'Observatoire national de la mer et du littoral a constaté par les travaux de l'Ifremer, RNO et ROCCH une réduction de la concentration de cadmium dans les huîtres à partir des années 1990, plus lentement depuis (voir Figure 11).

CADMIUM ET PRINCIPAUX COMPOSES

Figure 11. Evolution de la concentration de cadmium dans les coquillages



Source: Bottin et al. 2014

Le cadmium a tendance à s'accumuler le long des chaînes trophiques, notamment dans le golfe de Gascogne, une part non négligeable de dépassements des limites réglementaires dans les poissons piscivores et les anguilles est détectée (Bottin et al. 2014a).

En ce qui concerne les eaux littorales, mise en évidence dès les années 1980 par le RNO, la contamination de la Gironde par le cadmium reste le constat majeur (de 6 à 15 fois la médiane et jusqu'à 60 fois les niveaux les plus faibles rencontrés en France dans les huîtres). La diminution constante des concentrations observées depuis la fin des années 1980 a réduit l'amplitude de ce phénomène (figure 1). La contamination de la Seine, bien que moins spectaculaire qu'il y a dix ans, reste très perceptible. L'étang de Bages, près de Narbonne, se singularise encore par des niveaux forts, bien que diminuant également. (MEEM, 2011)

4.2.2 MILIEU CONTINENTAL

Une étude publiée en 2013 (Lemarchand et al. 2013) sur le bassin de la Loire montre que les loutres analysées étaient contaminées par des métaux (plomb, cuivre, cadmium, mercure).

Les deux tableaux (15 et 16) suivants résument les données sur la contamination des cours d'eau et de leurs sédiments.

CADMIUM ET PRINCIPAUX COMPOSES

Tableau 15. Contamination des sédiments de cours d'eau

Localisation	Contamination (µg/l)	Référence
Bassin Adour-Garonne	Les teneurs des sédiments en cadmium sont comprises en général entre 0 et 0,3	Agence de l'eau Adour-Garonne
Bassin Artois-Picardie	Concentrations variables selon les cours d'eau. Comprises entre 0,1 et 10 mg/kg dans la plupart des cas. Localement très élevées (10 ou 100 fois plus grandes).	Agence de l'eau Artois Picardie (1991-1996)
Rhin	< 3 en 2000 sur l'ensemble des stations. Voisine de 0,5 sur la station alsacienne. (Objectif de référence : 1 mg/kg).	Commission du Rhin, 1990-2000
Baie de la Seine - Partie Ouest - Partie Est	0,1-0,66 0,1-0,46	IFREMER, RNO, 1995

Tableau 16. Contamination des eaux superficielles

Localisation	Contamination (µg/l)	Référence
Bassin Adour-Garonne	Le cadmium est détecté sur la quasi-totalité des stations de surveillance. Les concentrations sont en général comprises entre 0,1 et quelques µg/l. Quelques cours d'eau, situés à l'aval d'un site pollué (Viviez), présentent des valeurs plus élevées (quelques dizaines à une centaine de µg/l). Il n'y a pas de tendance générale claire d'évolution sur la période 1997-2002	Agence de l'eau Adour-Garonne données 1997-2002
Bassin Rhône Méditerranée - Corse	Cadmium détecté sur plus de 50 % des stations de surveillance de la qualité de l'eau	Agence de l'eau Rhône Méditerranée - Corse

CADMIUM ET PRINCIPAUX COMPOSES

En outre, un suivi à long terme est réalisé sur le Rhin dans le cadre de la Commission Internationale pour la Protection du Rhin, qui met en évidence une décroissance continue des concentrations observées dans les matières en suspension (Figure 12)

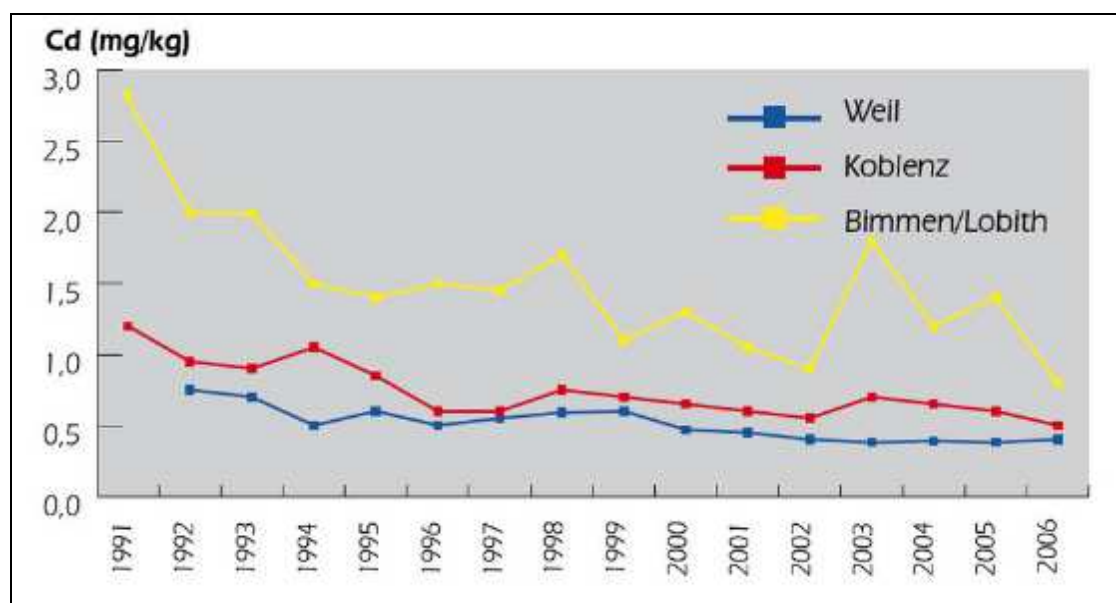


Figure 12 : Evolution des concentrations de Cadmium dans les Matières en Suspension du Rhin (Source : CIPR)

CADMIUM ET PRINCIPAUX COMPOSES

5 PERSPECTIVES DE REDUCTION DES EMISSIONS

Les mesures les plus significatives prises pour limiter la pollution et l'exposition au cadmium sont les suivantes :

- obligation de collecte des piles et accumulateurs contenant plus de 250 mg/kg de cadmium ;
- obligation de suppression et/ou substitution du cadmium, (ainsi que mercure, plomb et chrome hexavalent) dans les matériaux et équipements de fabrication des véhicules.
- recyclage des matériaux contenant du cadmium.

5.1 REDUCTION DES EMISSIONS DE CADMIUM

5.2 TECHNIQUES DE TRAITEMENT DANS LES EFFLUENTS INDUSTRIELS

Dans les eaux usées issues de l'industrie chimique, le taux d'élimination du cadmium et de ses composés sous influence de la coagulation est de 98 % (BREF Traitement des eaux).

Pour la production de cadmium recyclé, la société SNAM a mis un œuvre des installations de filtration d'air, par filtres à manches (entretien avec la société).

5.3 STATIONS D'EPURATION

Le taux d'élimination du cadmium à une station d'épuration urbaine est supérieur à 60 % et, la majorité du cadmium arrivant via les effluents, le cadmium est donc transféré dans les boues de la station (Commission européenne 2003b).

Une étude d'évaluation des rendements des stations d'épuration (Choubert et al. 2011) montre un rendement compris entre 30% et 70% comme résultats de traitement de la filière « boues activées en aération prolongée » qui est la plus répandue en France.

CADMIUM ET PRINCIPAUX COMPOSES

5.4 ALTERNATIVES AUX USAGES DE CADMIUM

Accumulateurs et piles nickel-cadmium

Dans le domaine grand public (secteur des « portables »), le couple nickel-cadmium a déjà en grande partie été remplacé par différentes technologies adaptées aux petits appareils légers (technologies autour du lithium et du nickel, par exemple le Ni-MH, nickel métal hydrure utilisé pour les téléphones, ordinateurs portables, les outils portables).

La substitution devrait se poursuivre, également par des batteries au lithium, ce qui devrait conduire à une baisse des consommations globales de cadmium en France.

Pour les appareils plus lourds d'application industrielle, le remplacement des batteries NiCd par NiMH est prévisible. Hormis quelques applications particulières, il semble possible selon certaines sources (Noreus Drag 2000) d'achever la substitution des batteries Ni-Cd et de proposer leur interdiction.

Une façon d'éviter les rejets associés aux batteries est leur recyclage. Cette solution est en place en France. Les systèmes de recyclage ont cependant des limites : sur la base de diverses expériences en Europe, HELCOM (2002) estime qu'un taux maximal de recyclage est 60 % pour les petites piles et accumulateurs. La société SNAM entre 2014-2016 déclare un taux de réutilisation supérieur à 50%.

Pigments

Il n'existe pas de substitut du cadmium et de ses composés en monopigmentaire (selon la FIPEC). L'interdiction de ces substances induirait la disparition de certaines teintes qui seraient remplacées par des imitations moins bonnes pour les artistes (selon la FIPEC). En effet, l'ECHA puis la Commission Européenne ont estimé (décision (2015/C 356/01)) qu'il n'y avait pas lieu d'interdire ce type de peintures. Par contre, pour les autres peintures, l'ECHA et la Commission ont considéré que des alternatives étaient disponibles et le Cd y est interdit (limite de 0,01% en poids sauf pour les peintures comportant au moins 10% de Zinc, pour lesquelles la limite est de 0,1%)¹⁶.

De même, il semble que le cadmium soit aisément substituable dans les plastiques de grande consommation et que cette substitution a déjà été effectuée en Europe (OCDE), sauf cas particulier. Dans les plastiques, le sulfure de cérium est l'alternative au cadmium la plus utilisée.

¹⁶ Décision du 12 Février 2016 modifiant l'Annexe XVII du Règlement REACH.

CADMIUM ET PRINCIPAUX COMPOSES

Brasage des métaux

L'analyse socio-économique sur l'usage de cadmium réalisé par RPA (2010) résume les types de charges de brasage sans cadmium qui peuvent être utilisées pour remplacer les alliages porteurs de cadmium pour diverses applications. Ils sont basés sur l'argent, le cuivre et les alliages de zinc. Pour des applications spécifiques, des additions de nickel et de manganèse ou de l'étain et/ou de silicium peuvent être utilisées. La plupart des fabricants d'alliages offrent actuellement des alternatives (parfois exclusivement) sans cadmium (European Chemicals Agency 2012d).

Les sociétés Umicore BrazeTec¹⁷ et ICdA ont déclaré que le brasage des métaux contenant du cadmium peut être remplacé par des alternatives sans cadmium dans plus de 99% des cas. Les alliages de brasage sans cadmium sont disponibles pour une température de brasage supérieure ou égale à 650 °C, mais pour le brasage à des températures dans l'intervalle 610-650 °C, on ne dispose pas d'alternative sans cadmium (European Chemicals Agency 2012d).

Pour la préparation des pièces, il est possible dans certains cas de remplacer les solutions de cadmium par le zinc ou des procédés mécaniques utilisant le zinc pour certains aciers (Commission européenne 2004a).

Traitement de surface des métaux

D'après les sources et les organismes que nous avons consultés, il ressort que le cadmium semble ne plus être utilisé que dans les domaines de l'aéronautique et du militaire. Des solutions alternatives au cadmium (pour ces secteurs aéronautique et militaire) ont été recherchées dans les directions suivantes :

- Alliages de zinc dans des bains aqueux (avec du nickel, du cobalt, du fer, de l'étain). La solution ZnNi serait, après des difficultés passées de mise au point, maintenant qualifiée et mise en œuvre par Boeing, Airbus et d'autres constructeurs aéronautiques, pour plusieurs composants (Legg, 2016).
- Différentes technologies utilisant l'Aluminium ont été développées :
 - Aluminium dans des bains organiques. La nécessité de recourir à un bain organique (solution de toluène pour le procédé AlumiplatTM) peut être un inconvénient environnemental.
 - Aluminium sous forme de vapeur ionisée (développé par Mc-Donell Douglas, utilisé dans l'industrie aérospatiale). Le dépôt d'une couche de chrome serait encore nécessaire pour améliorer les caractéristiques anticorrosion (Legg & et al. 2002, 2016).
 - Aluminium ou zinc dans des céramiques ou des polymères.
- Alliages au Titane : ils remplaceraient le traitement au Cadmium de façon croissante dans l'industrie aéronautique (Legg, 2016).

¹⁷ Umicore BrazeTec est le leader du marché en l'UE pour les alliages de brasage à l'argent, avec des installations de production en Chine, aux États-Unis et au Brésil. (European Chemicals Agency 2012d).

CADMIUM ET PRINCIPAUX COMPOSES

En revanche, ces produits ne rempliraient pas toujours les cahiers des charges associés aux utilisations industrielles. Dans de multiples applications particulièrement exigeantes sur la durée de vie du produit et sur sa résistance aux hautes températures (aviation, métro, chemin de fer), le couple électrochimique nickel-cadmium serait aujourd'hui le seul viable d'un point de vue technique et économique.

Il semble donc que des substituts au cadmium sont disponibles, sauf pour les applications les plus exigeantes dans lesquelles toutes les performances des systèmes au cadmium sont nécessaires. Il est également clair qu'il n'y a pas une alternative unique qui puisse remplacer les traitements au cadmium.

Il apparaît également que les alternatives au Cadmium soient plus avancées et utilisées aux USA qu'en Europe, en raison de programmes initiés de longue date par le DoD (Department of Defence) pour les applications militaires, et toujours en cours. On trouvera des informations détaillées sur les alternatives en cours de validation et développement (notamment les compte-rendus de workshops), ainsi que sur les difficultés persistantes aux USA, dans les documents du programme américain ASSETSDEFENSE sur le site www.asetdefense.org.

Engrais

Les alternatives aux fertilisants de cadmium sont encore peu disponibles (Hoxha 2016) et les recherches dans ce domaine proposent les solutions suivantes : (i) les fertilisants à faible teneur de Cd, (ii) les fertilisants biologiques et (iii) les traitements d'élimination du Cadmium des engrais.

Selon Fertilizers Europe il existe plusieurs technologies d'élimination du Cadmium des engrais, donc le coût est estimé à environ 12-50€/tP₂O₅ suivant les sources, ce qui représenterait entre 5 à 20% d'augmentation du prix des fertilisants (Hoxha 2016).

Des recherches en Allemagne auraient conclu à l'impossibilité de séparer le cadmium des nitrophosphates. Pour les autres types de phosphates, des essais de procédés alternatifs avec extraction du cadmium par solvants amine-kérosène ont été menés et le surcoût associé à ce procédé a été évalué (OCDE).

Le BREF « Chimie inorganique » (Commission européenne 2004b) mentionne la possibilité d'isoler des impuretés comme le cadmium lors de la production d'acide phosphorique par voie humide, avec une extraction liquide-liquide, mais il ne s'agit pour l'instant que d'une technique « émergente ».

Une autre possibilité est de privilégier des matières premières minérales peu riches en cadmium, solution déjà mise en œuvre par l'industrie (HELCOM 2002).

Dix pays européens ont mis en place des valeurs limites pour la teneur des engrais en cadmium (Roberts 2014) et la réglementation européenne est la plus stricte.

CADMIUM ET PRINCIPAUX COMPOSES

6 CONCLUSION

Malgré un déclin des utilisations intentionnelles, les apports de cadmium dans l'environnement, dans l'air, les milieux aquatiques et les sols vont perdurer longtemps, en raison de la difficulté de supprimer le cadmium dans certaines applications particulières et, surtout, en raison de la présence d'apports diffus très importants qui ne pourront pas être supprimés à court terme. Après une période de forte baisse dans les milieux aquatiques et les sédiments depuis plusieurs dizaines d'années, les concentrations semblent stagner ou ne décliner que lentement désormais.

Les rejets dans l'air restent associés aux activités de sidérurgie et métallurgie, de l'énergie et plus généralement de l'utilisation des ressources et combustibles fossiles. Dans les sols, la principale source est l'utilisation des engrais minéraux. Dans les milieux aquatiques les stations de traitements de déchets et des eaux usées restent les principales sources ponctuelles. L'industrie de bois, papier et carton ainsi que l'industrie chimique présentent également des rejets dans l'ensemble des compartiments environnementaux. Mais ce sont les sources diffuses (engrais, apports atmosphériques, ...) qui dominent les apports vers les eaux de surface.

Plusieurs voies d'interventions réglementaires ont été utilisées ces dernières années en France et en Europe pour tenter de réduire l'utilisation et les rejets de Cadmium dans l'environnement.

Les usages plus importants présentent une réduction significative (fabrication de batteries, peintures, pigments, laques, plastiques, matériaux de construction) mais certains usages demeurent difficiles à réduire :

- L'utilisation non-intentionnelle dans les engrais semble se heurter à des difficultés plus économiques que techniques pour retirer le Cadmium des engrais phosphatés avant leur mise sur le marché,
- Certaines applications spéciales dans les batteries industrielles perdurent,
- L'industrie du traitement de surface semble encore réclamer le cadmium pour des traitements anticorrosion dans les domaines de l'aérospatiale et militaire. Toutefois les alternatives semblent se développer de façon continue aux USA, avec une volonté des autorités du Department of Defense.

Quelques usages seraient même en croissance, comme pour les équipements électriques et électroniques ainsi que les panneaux photovoltaïques, ces derniers pouvant être des sources significatives à terme.

CADMIUM ET PRINCIPAUX COMPOSES

7 REFERENCES

7.1 SITES INTERNET CONSULTÉS

ECHA (<http://echa.europa.eu/>)

INRS (<http://www.inrs.fr>)

E-PRTR European Pollutant Release and Transfer Register (<http://prtr.ec.europa.eu/>)

RSDE Action nationale de recherche et de réduction des rejets de substances dangereuses dans les eaux (<http://www.ineris.fr/rsde/>)

Société Française de Chimie. Cadmium (www.sfc.fr/Données/metaux/cd/textcd.htm)

7.2 BIBLIOGRAPHIE

ADEME, 2015. *Piles et accumulateurs*, Available at: <http://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/registre-pa-donnees2014-rapportannuel-201510.pdf>.

ADEME, 2014. *Piles et accumulateurs*,

Agence de l'eau Seine Normandie, 2008. *Guide pratique des substances toxiques dans les eaux douces et littorales du bassin Seine-Normandie*, Available at: http://www.eau-seine-normandie.fr/fileadmin/mediatheque/Expert/Etudes_et_Syntheses/etude_2008/Guide_toxique/Guide_metaux.pdf.

BASOL, Base de données sur les sites et sols pollués (ou potentiellement pollués) appelant une action des pouvoirs publics, à titre préventif ou curatif. Available at: <http://basol.environnement.gouv.fr>.

Bottin, A., Joassard, I. & Morard, V., 2014a. *L'environnement en France - édition 2014*, p.384 p.

Bottin, A., Joassard, I. & Morard, V., 2014b. *L'environnement en France - édition 2014*,

Braun, M. et al., 2003. *Rhin - Inventaire 2000 des émissions de substances prioritaires*,

Budman, E. & Sizelove, R., 1996. Zinc Alloy Plating. In *Metal Finishing Guidebook and Directory*. New York: Elsevier Science Publishing Co.

Cantuarias-Villessuzanne, C., Brignon, J.-M. & Mombelli, E., 2015. *Rapport INERIS-ONEMA: Analyse économique de stratégies de gestion à long terme de micropolluants urbains*, Verneuil-en-Halatte, France.

Caudeville, J. et al., 2009. Construction d'un indicateur d'exposition spatialisé de l'environnement : application au Nord-Pas de Calais. *Air Pur*, 76, pp.49-55.

CADMIUM ET PRINCIPAUX COMPOSES

- Choubert, J.-M. et al., 2011. Evaluer les rendements des stations d'épuration. Apports méthodologiques et résultats pour les micropolluants en filières conventionnelles et avancées. *Techniques Sciences Méthodes*, 1/2, pp.44-62.
- Cichy, B., Jaroszek, H. & Paszek, A., 2014. Cadmium in phosphate fertilizers; ecological and economical aspects. *Chemik*, 68(10), pp.20-22.
- CIPR (Commission Internationale pour la Protection du Rhin), 2016, Inventaire des émissions dans le bassin du Rhin 2010, <http://www.iksr.org/fr/documentsarchive/rapports/rapports-et-brochures-presentation-individuelle/artikel/960/index.html>
- Commission européenne, 2004a. *Draft Reference Document on Best Available Techniques for the Surface Treatment of Metals and Plastics, second draft*,
- Commission européenne, 2004b. *Draft Reference Document on Best Available Techniques in the Large Volume Inorganic Chemicals, Ammonia, Acid and Fertiliser Industries, second draft*,
- Commission européenne, 2003a. *Proposition de directive du Parlement européen et du Conseil relative aux piles et accumulateurs ainsi qu'aux piles et accumulateurs usagés*,
- Commission européenne, 2003b. *Risk Assessment Report, Cadmium metal/Cadmium oxyde. Final draft.*,
- Commission européenne, 2003c. *Targeted Risk Assessment Report, Cadmium oxyde as used in batteries. Final draft.*,
- CTC, 2002. *Joint Test Report BD-R-1-1 for Validation of Alternatives to Electrodeposited Cadmium for Corrosion Protection and Threaded Part Lubricity Applications, National Defence Center for Environmental Excellence (USA)*,
- Dupin, L., 2016. Total boucle l'acquisition de Saft. *L'Usine de l'énergie*. Available at: <http://www.usinenouvelle.com/article/total-boucle-l-acquisition-de-saft.N427772>.
- ECHA, 2013. *Annex XV Restriction Report Amendment to a Restriction Cadmium and its compounds - Paints*, Helsinki. Available at: <http://echa.europa.eu/documents/10162/dc6816da-9f06-4333-96b7-cefed6552c2d>.
- ECHA, 2015. *Background document to the Opinion on the Annex XV dossier proposing restriction on cadmium and its compounds in artists' paints*,
- European Chemicals Agency, 2012a. *Cadmium and cadmium compounds in plastics*, Helsinki. Available at: https://echa.europa.eu/documents/10162/13641/cadmium_in_plastics_prep_report_en.pdf.
- European Chemicals Agency, 2012b. *Cadmium in general and copper-based paints*, Helsinki. Available at: https://echa.europa.eu/documents/10162/13641/cadmium_paints_201211_en.pdf.
- European Chemicals Agency, 2012c. *Cadmium in spectacle frames*, Helsinki. Available at: https://echa.europa.eu/documents/10162/13641/cadmium_spectacle_frames_201211_en.pdf.

CADMIUM ET PRINCIPAUX COMPOSES

- European Chemicals Agency, 2012d. *The use of brazing fillers containing cadmium for safety reasons*, Helsinki. Available at: https://echa.europa.eu/documents/10162/13641/cadmium_brazing_fillers_safety_reasons_201211_en.pdf.
- European Chemicals Agency, 2012e. *The Use of Cadmium and Its Compounds in Articles Coloured for Safety Reasons*, Helsinki. Available at: https://echa.europa.eu/documents/10162/13641/cadmium_articles_coloured_safety_reasons_201211_en.pdf.
- European Environment Agency, 2014. *European Pollutant Release and Transfer Register (E-PRTR). Pollutant releases / Facilities Cadmium and compounds (as Cd)*. Available at: <http://prtr.ec.europa.eu/#/pollutantreleases> [Accessed October 28, 2016].
- European Commission, 2011. COMMISSION REGULATION (EU) No 494/2011 of 20 May 2011 amending Regulation (EC) No 1907/2006 of the European Parliament and of the Council on the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH) as regards Annex XVII (Cadmium). *Official Journal of the European Union*. Available at: <http://data.europa.eu/eli/reg/2011/494/oj>.
- European Commission, 2004. *Draft proposal relating to cadmium in fertilizers. Chemicals Unit of DG Enterprise*, Brussels. Available at: <http://ec.europa.eu/DocsRoom/documents/2524/attachments/1/translations/en/renditions/native>.
- Frischknecht, R. et al., 2015. *Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessments of Photovoltaic Systems*,
- González, M.Á. et al., 2012. Modelling some heavy metals air concentration in Europe. *Water, Air, and Soil Pollution*, 223(8), pp.5227-5242.
- Google Finance, 2016. Saft Groupe SA. Available at: <https://www.google.com/finance?q=EPA%3ASAFT&ei=2mtKWMHYIZGQLiOjrAL> [Accessed December 9, 2016].
- Grasland, E., 2010. Solaire : les panneaux de la discorde. *Les Echos*. Available at: http://www.lesechos.fr/25/10/2010/LesEchos/20791-039-ECH_solaire---les-panneaux-de-la-discorde.htm.
- HELCOM, 2002. Guidance Document on Cadmium and its Compounds Presented by Denmark. Available at: <http://www.helcom.fi/land/Hazardous/cadmium.pdf>.
- Hoxha, A., 2016. Cadmium in phosphate fertilizers: Economic and technical aspects. In *Opportunities in the New Fertilizer Regulation: What to Look out for?*. p. 19. Available at: http://fertilizerseurope.com/index.php?id=531&no_cache=1&cid=1294&did=35091&sechash=6324d2c2.
- INERIS, 2012. Inégalités environnementales PLAINE. Résultats pour le Nord Pas-de-Calais. , p.29.

CADMIUM ET PRINCIPAUX COMPOSES

- INERIS, 2016. *Les substances dangereuses pour le milieu aquatique dans les rejets industriels (RSDE) Rapport INERIS-DRC-16-149870-01979B*, Verneuil-en-Halatte.
- INRS, 2013. Fiche Toxicologique n°60 Cadmium et composés minéraux. *Base de données Fiches Toxicologiques*, p.19. Available at: http://www.inrs.fr/dms/ficheTox/FicheFicheTox/FICHETOX_60-5/FicheTox_60.pdf.
- International Cadmium Association, 2016. Cadmium Pigments. *Applications*. Available at: <http://www.cadmium.org/cadmium-applications/cadmium-pigments> [Accessed December 9, 2016].
- Joint Research Centre, 2007. *European Union Risk Assessment Report Cadmium Metal*, Luxembourg.
- Legg, K. & et al., 2002. Overview of Chromium and Cadmium Alternative Technologies. In *Surface Modification Technologies, ASM International, Materials Park, Ohio and IOM Communications Limited*.
- Legg, K. & et al., 2016, "Choosing a cadmium plate alternative", Rowan Technology Group, téléchargé depuis www.rowantechnology.com
- Lemarchand, C., Rosoux, R. & Berny, P., 2013. *Etude écotoxicologique du bassin de la Loire à l'aide de bioindicateurs, dans le contexte des effets prévisibles du changement climatique*, Available at: http://www.oncfs.gouv.fr/IMG/file/mammiferes/autres-especes/Rapport_final_Ecotoxicologie_bassin_Loire_LEMARCHAND.pdf.
- Maps of World, 2011. World Cadmium Producing Countries. *World Mineral Producer*. Available at: <http://www.mapsofworld.com/minerals/world-cadmium-producers.html#> [Accessed November 25, 2016].
- MEEM, 2011 Bilan de la présence des micropolluants dans les eaux littorales, http://www.onema.fr/sites/default/files/pdf/2011_B036.pdf
- MEEM, 2016. Ministère de l'environnement, l'énergie et de la mer. *La pollution de l'air par les métaux lourds*. Available at: <http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/lessentiel/ar/227/226/pollution-lair-metaux-lourds.html> [Accessed December 14, 2016].
- Ministère de l'Agriculture, 2001. Cd Risk Assessment: a French Opinion. Available at: <http://europa.eu.int/comm/enterprise/chemicals/legislation/fertilizers/cadmium/reports/france.pdf>.
- Ministère de l'écologie du développement durable et de l'énergie, 2012. Arrêté du 26 décembre 2012 modifiant l'arrêté du 31 janvier 2008 relatif au registre et à la déclaration annuelle des émissions polluants et des déchets. *Journal Officiel de la République Française*, 99. Available at: http://www.ineris.fr/rsde/doc/docs_rsde/arrete_26_decembre_2012_emissions_polluantes.pdf.

CADMIUM ET PRINCIPAUX COMPOSES

- Ministère de l'économie et des finances, 2014. Les principales mesures adoptées en lois de finances pour 2014. *Le budget 2014 Cap sur la croissance et l'emploi*. Available at: <http://www.douane.gouv.fr/articles/a11931-les-principales-mesures-adoptees-en-lois-de-finances-pour-2014> [Accessed December 13, 2016].
- Noreus Drag, 2000. *Substitution of rechargeable Ni-Cd batteries, study for the European Commission*,
- NREL, 2012. Life Cycle Greenhouse Gas Emissions from Solar Photovoltaics. , p.2. Available at: <http://www.nrel.gov/docs/fy13osti/56487.pdf>.
- Observ'ER, 2016. *Baromètre Photovoltaïque*, Available at: <https://www.euroobserver.org/pdf/2016/EurObservER-Photovoltaic-Barometer-2016-FR.pdf>.
- OECD, 1995. *Risk Reduction Monograph N° 5: Cadmium. Background and national experience with reducing risk*,
- Roberts, T.L., 2014. Cadmium and phosphorous fertilizers: The issues and the science. *Procedia Engineering*, 83, pp.52-59. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2014.09.012>.
- Royal Haskoning, 2003a. *Fact sheets on production, use and release of priority substances in the WFD Royal Haskoning - Lead*,
- Royal Haskoning, 2003b. *Source screening of priority substances under the WFD. Results for cadmium*,
- RPA, 2010. *Socio-economic impact of a potential update of the restrictions on the marketing and use of cadmium. Final report*, London. Available at: http://www.unep.org/chemicalsandwaste/Portals/9/Lead_Cadmium/docs/GC27_Followup_2013/Socio-economic_Impact_of_a_Potencial_Update_of_the_restrictions_on_the_Marketing_and_use_of_Cadmium.pdf.
- Societe Chimique de France, Cadmium. Available at: <http://www.societechimiquedefrance.fr/extras/Donnees/metaux/cd/texcd.htm> [Accessed November 28, 2016].
- The World Bank, 1999. Cadmium. In *Pollution Prevention and Abatement Handbook*. Washington D.C., pp. 212-214. Available at: <http://www.ifc.org/wps/wcm/connect/3f41e280488552b9ac6cfe6a6515bb18/HandbookCadmium.pdf?MOD=AJPERES>.
- USGS, 2016. Cadmium Statistics and Information. In *U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries*. p. 2. Available at: <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/cadmium/mcs-2016-cadmi.pdf>.
- USGS, 2008. Cadmium Statistics and Information. In *U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries*. pp. 42-43. Available at: <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/cadmium/mcs-2008-cadmi.pdf>.

CADMIUM ET PRINCIPAUX COMPOSES

La Voix du Nord, 2015. Le groupe Umicore met en vente ses usines de zinc et donc l'usine d'Auby.
Available at: <http://www.lavoixdunord.fr/region/le-groupe-umicore-met-en-vente-ses-usines-de-zinc-et-donc-ia16b0n3227718> [Accessed December 6, 2016].

7.3 LISTE DES ENTREPRISES ET ORGANISMES CONTACTES

Agences de l'eau

Alliance Métal

ASCOMETAL

Association Métaux santé environnement

Cezus Chimie

EUROBAT

Fédération des industries de peintures, encres et colles (FIPEC)

Grande-Paroisse

Groupe Protec

LAFARGE Aluminates

OCTAM

SNAM

SAFT

TFL

TS1