

## **I-1 Introduction**

Les effluents liquides industriels, contenant des métaux lourds, posent un sérieux problème pour l'environnement en général et la santé publique en particulier. En effet, les métaux lourds sont toxiques même à faible concentration et ont la capacité de s'accumuler tout au long de la chaîne alimentaire (Benguella et Benaïssa, 2000). Le cadmium fait partie de ces métaux, il est en réalité un sous produit du traitement métallurgique de zinc (Miquel,2001). Il est doté de certaines propriétés susceptibles de s'incorporer à la biomasse dont il perturbe le système enzymatique (Duchaufour , 1995).

Dans le présent chapitre, nous allons voir les caractéristiques physico-chimiques du cadmium, son origine, sa présence dans l'environnement ainsi que sa toxicité vis à vis des organismes vivants, en particulier l'homme.

Enfin, nous indiquerons les normes requises concernant les teneurs admissibles aussi bien dans les eaux destinées à la consommation que dans les rejets industriels ou les sols.

## **I-2 Généralités sur le cadmium**

L'étymologie du mot cadmium vient du grec kadmia, ville de Grèce où l'on extrayait un minerai que l'on appelait cadmie(Ditria,2002). Le cadmium a été découvert par le chimiste allemand Friedrich Stromeyer en 1817 puis il a été abondamment utilisé dans plusieurs industries (Juste,1995 ; Ditria,2002). Il est un élément naturellement présent dans certains minerais notamment le zinc sous forme d'impureté (LCPE,1994 ; Miquel,2001). Les principaux minerais cadmifères sont les sulfures de zinc, la sphalérite et la wurtzite (LCPE,1994).

### **I-2-1 Caractéristiques physico-chimiques du cadmium**

Le cadmium est un élément chimique qui appartient à la famille des métaux lourds. Il est un métal bleuté, mou et malléable, il présente une grande résistance à l'oxydation et une bonne ductibilité électrique. Le tableau 1 présente quelques-unes de ces caractéristiques.

A l'état naturel, le cadmium peut se présenter sous deux degrés d'oxydation (0) et (+2) ; toutefois, on observe rarement le cadmium sous l'état métallique (degré 0)(LPCE,1994).

Dans l'eau, Le cadmium se trouve sous différentes formes :

- composés solubles ;
- matières colloïdales ;
- Matières en suspension ;

**Tableau 1** : Propriétés du cadmium (Juste,1995 ; Ditria, 2002).

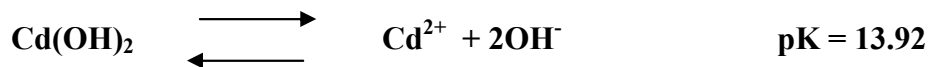
Caractère	Valeurs
<b>Symbole chimique</b>	<b>Cd</b>
<b>Nombre atomique</b>	<b>48</b>
<b>Masse atomique</b>	<b>112,411</b>
<b>Nombre d'oxydation</b>	<b>+2</b>
<b>Conductivité thermique</b>	<b>96,8 <math>\text{wm}^{-1}\text{k}^{-1}</math></b>
<b>Densité</b>	<b>8,650 <math>\text{g/cm}^3</math> (293 K)</b>
<b>État physique à 20°C</b>	<b>Solide</b>
<b>Point de fusion</b>	<b>321,07 °C</b>
<b>Point d'ébullition</b>	<b>767 °C</b>
<b>Température critique</b>	<b>2687 °C</b>
<b>Tension de vapeur</b>	<b>0,013 Pa à 18 °C</b>
<b>Isotope</b>	$^{106}\text{Cd}$ , $^{108}\text{Cd}$ , $^{110}\text{Cd}$ , $^{111}\text{Cd}$ , $^{112}\text{Cd}$ , $^{113}\text{Cd}$ , $^{114}\text{Cd}$ , $^{116}\text{Cd}$

Les particules colloïdales et en suspension peuvent être constituées par des sels insolubles tels que : les oxydes, les hydroxydes ou les sulfures, ou par des matières organiques ou des argiles dans lesquelles le cadmium est fixé par adsorption, échange d'ions ou par complexation (Doré,1989).

Les composés solubles du cadmium peuvent être sous formes d'ions simples ( $\text{Cd}^{2+}$ ) , sous formes de complexe (chlorures, nitrates, sulfates, bromures ou iodures) ou sous formes de complexe organo-métallique ( $\text{Cd}(\text{CN})_4^-$ ) (Doré, 1989 ; LCPE,1994). En milieu aquatique, les composés les plus fréquents du cadmium sont :  $\text{CdCl}_2$ ,  $\text{CdCl}_3^-$ ,  $\text{CdCl}^-$ ,  $\text{CdSO}_4$ ,  $\text{CdHCO}_3^+$ ,  $\text{CdCO}_3$ ,  $\text{CdOH}^+$ ,  $\text{Cd}(\text{OH})_2$ ,  $\text{Cd}(\text{H}_2\text{O})_2^{2+}$  (Merican et Astruc,1979 ; Cousin,1980).

La forme d'un métal dans l'eau est conditionnée par différents facteurs physico-chimiques notamment le pH et le potentiel redox qui peuvent contrôler la solubilisation ou l'agglomération des espèces métalliques (Doré,1989) comme les montrent les figures 1 et 2 et le tableau 2. Les carbonates du cadmium sont des composés assez instables et ont une très faible importance dans le milieu naturel ( Merican et Astruc,1979 ; Gardiner,1974). Par contre, la grande partie du cadmium présent dans les eaux naturelles se trouve sous forme d'ions libres, la concentration en ces ions augmente quand le pH diminue (Gardiner,1974). Le tableau 3 présente le produit de solubilité de quelques composés du cadmium (Skoog et West,1997).

Le cadmium est soluble dans les acides nitriques mais difficilement soluble dans les acides chlorhydriques et dans les acides sulfuriques (Ditria,2002). La formation d'hydroxyde de cadmium  $\text{Cd(OH)}_2$  est donnée par la relation suivante :



Si la concentration de cadmium est de  $10^{-4}$  M, le pH de précipitation peut, théoriquement, être voisin de 9. Le tableau 4 qui récapitule les différentes caractéristiques de l'oxyde du cadmium (CdO) et de chlorures du cadmium montre que la solubilité de ces derniers est très grande et peut être estimée à 1400 g/l (Ditria,2002).

**Figure 1** : Concentrations de quelques ions métalliques et de complexes hydroxo en fonction de pH des solutions aqueuses au dessus de la couche d'hydroxydes (Bliefert et Perraud,2001).

**Figure 2** : Solubilité des métaux en fonction du pH.(Degrémont, 1989)**Tableau 2** : Potentiel de réduction de quelques réactions chimiques (Ditria,2002)

Réaction chimique	Potentiel de redox (E°/N)
$\text{Cd}^{2+} + 2 \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Cd}_{(\text{s})}$	<b>-0.43</b>
$\text{Cd}(\text{CN})_4^{2-} + 2 \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Cd}_{(\text{s})} + 4\text{CN}^-$	<b>-1.09</b>
$\text{Cd}(\text{NH}_3)_4^{2+} + 2 \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Cd}_{(\text{s})} + 4\text{NH}_3$	<b>-0.61</b>
$(\text{Cd}(\text{OH})_2)_{(\text{s})} + 2 \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Cd}_{(\text{s})} + 2\text{OH}^-$	<b>-0.81</b>
$\text{Cd}_{(\text{s})} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Cd}_{(\text{s})} + \text{S}^{2-}$	<b>-1.17</b>

**Tableau 3** : Produit de solubilité de quelques composés du cadmium (Skoog et West,1997)

Nature du composé	Produit de solubilité $K_{Ps}$
Carbonate de cadmium $Cd(CO_3)$	$1,8 \times 10^{-14}$
Hydroxyde de cadmium $Cd(OH)_2$	$4,5 \times 10^{-15}$
Oxalate de cadmium	$9,8 \times 10^{-14}$
Sulfure de cadmium	$1 \times 10^{-27}$

**Tableau 4** : Propriétés physico-chimiques de l'oxyde du cadmium et de chlorures du cadmium (Ditria , 2002)

Propriété	CdO	CdCl <sub>2</sub>
Masse atomique relative	128.41 g	183.32 g
Masse volumique	6.95 g/cm <sup>3</sup>	4.05 g/cm <sup>3</sup>
Point d'ébullition	-	627 °C
Point de fusion	Sublimation à partir de 700°C	568°C
solubilité	Très faible dans l'eau 0.005 % en poids	Facilement soluble dans l'eau 1400 g/l

### I-2-2 Origine du cadmium

Le cadmium minéral est rare dans la nature. Il se trouve à l'état isomorphe dans la quasi-totalité des minerais de zinc ( 95 % de la production de cadmium) (Ditria,2002). Pourtant les émissions mondiales du cadmium sont d'environ 8000 t/an dont seulement 5 à 10 % viennent de sources naturelles (Bliefert et Perraud , 2001). Ce qui signifie qu'on peut distinguer deux origines majeures du cadmium : origine naturelle et origine industrielle.

#### I-2-2-1 Origine naturelle

L'origine naturelle du cadmium regroupe les apports dûs aux matériaux constitutifs de l'écorce terrestre. Ces apports peuvent être directs par contact entre l'eau et ces matériaux ou indirects par l'intermédiaire des particules atmosphériques arrachées aux roches par érosion. La concentration du cadmium dans la croûte terrestre est de l'ordre de 0.15 mg/kg (Doré,1989 ; LCPE,1994 ; Juste,1995). Les volcans ont aussi contribué dans la croissance des niveaux des teneurs du cadmium car ils libèrent en moyenne annuelle dans le monde de 800 à 1400 tonnes de cadmium (Miquel,2001). Les émissions naturelles de cadmium sont estimées à  $2.9 \times 10^2$  t/an.

Cependant, les roches ou minerais phosphatés sont considérés comme la source principale du cadmium dans l'environnement car le cadmium peut être présent dans ces engrais à des teneurs de 6.5 ppm à plus de 70 ppm selon l'origine du phosphate comme le montre le tableau 5 (Robert , 1996).

**Tableau 5 :** Teneurs en cadmium de différents composés phosphatés (Robert,1996)

Origine	Pourcentage ( %)	Teneur en cadmium	
		(ppm)	mg/kg de phosphate
<b>Maroc (Bou Craa)</b>	<b>15,9</b>	<b>35</b>	<b>220</b>
<b>Togo</b>	<b>18,7</b>	<b>55</b>	<b>350</b>
<b>Floride (USA)</b>	<b>14,4</b>	<b>8</b>	<b>56</b>
<b>Syrie (khneifiss)</b>	<b>13,9</b>	<b>6</b>	<b>43</b>

#### I-2-2-2 Origine industrielle

Le cadmium se retrouve de façon évidente dans les industries avec une hiérarchie entre les différents secteurs (émetteurs, utilisateurs). Il est utilisé comme anticorrosif pour le fer, comme alliage dans l'industrie automobile, comme pigment (surtout sulfure du cadmium), comme stabilisant pour le plastique, dans la fabrication des batteries et dans les réacteurs nucléaires. Le taux d'utilisation du cadmium de secteurs industriels est illustré par le tableau 6 et la production mondiale a été estimée de 19700 t en 1986 (LCPE,1994 ; ; Juste,1995 ; OIE,2000 ; Bliefert et Perraud,2001 ).

Hormis les déchets industriels, le cadmium peut se trouver aussi dans les boues des stations d'épuration et dans les déchets ménagers (Robert, 1996).

**Tableau 6:** Domaines utilisateurs du cadmium et les pourcentages d'utilisation  
(Bliefert et Perraud, 2001)

Domaine d'utilisation	Pourcentage d'utilisation
<b>Couches protectrices</b>	<b>29</b>
<b>Piles</b>	<b>29</b>
<b>Pigments (peintures)</b>	<b>24</b>
<b>Stabilisateurs</b>	<b>12</b>
<b>Alliages et autres</b>	<b>6</b>

### **I-3 Présence du cadmium dans l'environnement**

Le cadmium se trouve pratiquement dans tous les compartiments de notre environnement (air, eau, sol). Les échanges entre ces compartiments sont permanents et se chiffrent par des milliers de tonnes.

#### **I-3-1 Dans l'air**

Dans l'air, le cadmium provient des usines élaborant ou traitant les métaux, des unités d'incinération des déchets et des émissions volcaniques. L'oxyde de cadmium gazeux qui se forme lors du traitement des minerais contenant du cadmium peut pénétrer dans les poumons (LCPE, 1994 ; Bliefert et Perraud, 2001).

Les niveaux de cadmium dans l'air changent considérablement et peuvent être estimés à 0,5 g/m<sup>2</sup> dans les régions rurales à air pur. Dans les régions polluées (industrielles), les valeurs sont de 10 fois supérieures.

Les feuilles de tabac accumulent et concentrent naturellement des concentrations élevées du cadmium. On a signalé qu'une cigarette peut contenir d'environ 0,5 à 2 µg du cadmium, 10% du contenu est inhalé une fois que la cigarette est fumée (Juste, 1995 ; Bliefert et Perraud, 2001).

#### **I-3-2 Dans le sol**

La présence du cadmium dans le sol peut être d'origine naturelle ou d'origine anthropique (intervention de l'homme). La teneur naturelle en cadmium dans le sol dépend d'abord de la teneur présente dans la roche qui est à l'origine du sol, mais également des processus qui sont intervenus lors de la formation du sol (Bliefert et Perraud, 2001). La croûte terrestre renferme de 0.100 à 0.200 mg/kg de cadmium. Les roches sédimentaires et plus particulièrement celles qui se sont formées à partir de sédiments riches en carbone, soufre et phosphate contiennent plus de cadmium que les roches éruptives ou métamorphiques (Juste, 1995). Le tableau 7 propose quelques exemples des teneurs en cadmium dans différents types de sol (Juste, 1995 ; Robert, 1996).

Ces teneurs sont 10 fois supérieures dans les sols agricoles ou qui sont à proximité des industries métalliques ou des stations d'épuration. On a noté que les quantités annuelles de cadmium dans les sols cultivés et enrichis par des engrais phosphatés peuvent être estimées à 5 kg/ha. La présence du cadmium dans le sol et son accumulation croissante conduit à sa migration vers les produits agricoles consommés par l'homme et les animaux (Bliefert et Perraud, 2001).

Cependant, la capacité de sol pour la rétention de cadmium dépend de leur teneur en base échangeable et la fixation du cadmium par les plantes augmente à mesure que le pH et la teneur en matières organiques diminuent (LCPE, 1994 ; Ditría, 2002).

**Tableau 7** : Teneurs en cadmium dans les sols (Juste,1995 ; Robert,1996)

Origine du sol	Cadmium ( mg/kg )	
	Moyenne	Maximale admissible
<b>Monde</b>	<b>0.35 - 0.53</b>	<b>0.01 - 2.7</b>
<b>Europe</b>	<b>0.08 - 0.44</b>	-
<b>France</b>	<b>0.23</b>	<b>0.05 - 1</b>
<b>France (Nord est)</b>	<b>0.2</b>	<b>0.1 - 0.25</b>
<b>France (grand nord)</b>	<b>0.52</b>	<b>0.11 - 1</b>
<b>France (nord)</b>	<b>0.32</b>	-
<b>Suisse</b>	<b>0.1 - 0.5</b>	-
<b>Pologne</b>	<b>0.05 - 0.56</b>	-
<b>U.S.A</b>	<b>0.05 - 0.56</b>	-

### I-3-3 Dans l'eau

L'eau est évidemment un élément important pour les polluants en général et pour le cadmium en particulier car elle va entraîner des réactions chimiques liées à l'acidité, l'alcalinité, la température et l'oxygénation (Miquel, 2001).

Dans les eaux, le cadmium provient de l'air, des pluies, des effluents de galvanoplastie ou, éventuellement, de sa dissolution à partir de certaines canalisations galvanisées ou en matières plastiques (Rodier,1984 ; LCPE,1994 ; Juste,1995). Mais la grande partie de cadmium qui se trouve dans l'eau, provient des industries situées à proximité des cours d'eau où elles rejettent leurs effluents (Rodier,1984 ; LCPE,1994 ; Juste,1995 ; Robert,1996 ; Miquel, 2001 ; Bliefert et Perraud,2001).

Le cadmium peut se trouver dans les différents types d'eau (des nappes, des rivières, eaux usées domestiques, mer) à des concentrations qui diffèrent d'un type à un autre (tableau 8). Le cadmium des eaux usées domestiques peut provenir des activités domestiques car il entre à faible concentration dans la composition de produits cosmétiques, pharmaceutiques ou pesticides de jardins (Juste,1995). La réglementation des émissions, en fixant des teneurs limites, est imposée en raison de la toxicité de ce métal (LCPE,1994 ; Juste,1995 ; Robert,1996 ; Miquel, 2001 ; Bliefert et Perraud,2001). Ces teneurs sont conçues pour les différentes catégories en particulier les effluents industriels. Les eaux d'irrigation sont également concernées et la concentration guide du cadmium dans ces eaux est fixée à 0.01 mg/l (Dégremont,1989). Dans les eaux fluviales, la grande partie du cadmium est sous forme de matières en suspension qui peuvent être estimée de 0.15 à 0.6 µg/l. Par contre, la partie dissoute ne peut dépasser 0.08 µg/l (Bliefert et Perraud,2001).



Les eaux algériennes sont également touchées par le cadmium à des concentrations qui dépassent les normes, soit pour les effluents industriels, soit pour les sources naturelles (tableau 9) (Mokhnache et Messadi, 1992).

**Tableau 8 :** Le cadmium dans les eaux (Juste, 1995).

Nature des eaux	Valeur moyenne ( $\mu\text{g/l}$ )	Valeur extrêmes ( $\mu\text{g/l}$ )
Eaux usées	6 - 27	5 - 85
Eaux de rivière	0.02 - 1	0.1 - 10 000
Eaux de mer	0.1	-
Eaux des nappes	14	3 - 20

**Tableau 9 :** Le cadmium dans les eaux algériennes (Mokhnache et Messadi, 1992).

Nature d'eau	Concentration du cadmium ( $\text{mg/l}$ )
Sidérurgie Annaba (brute)	0.016
Sonacome Sidi Bel-Abbès	0.9
Sonatrach (Annaba)	0.0016
Sonelec (Setif)	0.16
Source naturelle Boumerdès	0.016
Eau de pluie Sidi Bel-Abbès	0.0016

#### I-4 Toxicité du cadmium

La toxicité d'un métal dépend de plusieurs facteurs : de la forme dans laquelle un élément se trouve, de la manière dont il est absorbé (par voie orale ou par inhalation), du type d'organisme où il se trouve, son état de développement, de la concentration dans certains organes (Bliefert et Perraud, 2001).

Les métaux lourds appelés aussi éléments traces, sont généralement des composés du corps humain (Tableau 10) (Bliefert et Perraud, 2001). Certains d'entre eux sont indispensables au fonctionnement de nos enzymes notamment le bore, le zinc, et le cuivre. D'autres éléments ne sont pas essentiels à nos vies et sont pathogènes pour les organismes vivants tels que : le cadmium, le plomb, le mercure et l'arsenic (Robert, 1996). Le cadmium est un élément très toxique, soit pour l'homme ou pour d'autres organismes vivants.

**Tableau 10:** Composition moyenne approximative du corps humain (Bliefert et Perraud, 2001)

Métal	Teneur <sup>a</sup> (g)	Métal	Teneur <sup>a</sup> (g)	Métal	Teneur <sup>a</sup> (g)	Métal	Teneur <sup>a</sup> (g)
H	7000	Al	140	V	0.02	As	0.014
B	0.01	Si	1050	Cr	0.005	Se	0.02
C	12600	P	0.01	Mn	0.02	Rb	1.1
N	2100	S	0.02	Fe	4.2	Sr	0.14
O	45500	Cl	0.005	Co	0.003	Zr	0.3
F	0.8	K	0.02	Ni	0.01	Nb	0.1
Na	105	Ca	4.2	Cu	0.11	Mo	0.005
Mg	35	Ti	0.003	Zn	2.33	<u>Cd</u>	<u>0.03</u>
Sn	0.03	Sb	0.07	I	0.03	Ba	0.016
Pb	0.08						

a : Par rapport à un poids corporel de 70 kg

#### I-4-1 Effets du cadmium sur le métabolisme humain

La haute toxicité du cadmium fut découverte pour la première fois au Japon en 1955 (maladie Itai – Itai ). Une mine déversait ses eaux usées polluées par le cadmium dans un fleuve servant à l'irrigation des rizières. Les consommateurs de riz pollué se mirent à souffrir de déficience immunitaire, d'atteintes rénales, d'apathie et de déformation du squelette (Rodier, 1984 ; Juste,1995 ; Bliefert et Perraud,2001 ; Miquel,2001 ; Rapheal, 2001).

Depuis ce temps, plusieurs études ont été effectuées sur ce métal en découvrant qu'il est un élément mutagène qui peut altérer la structure de l'ADN (Robert,1996). Les composés du cadmium (chlorure, oxyde et chromate)sont cancérrogènes de catégorie 2 et le sulfate est classé cancérrogène de catégorie 3. L'exposition à courte durée à fortes concentrations de poussières ou de fumées de cadmium est irritante pour les cellules du système respiratoire et provoque un trouble pulmonaire grave. Par ailleurs, l'exposition aiguë au cadmium par l'ingestion peut provoquer des perturbations gastro-intestinales telles que : crampes, diarrhée et vomissements (Juste, 1995 ; Robert,1996).

L'effet chronique du cadmium est dû à son accumulation qui s'effectue principalement dans les reins et le foie. Les reins sont considérés comme l'organe cible du cadmium ingéré ou inhalé. Le cadmium passe dans le sang puis dans le foie où il se fixe sélectivement sur une métallothionéine (petite protéine chargée de la détoxification). L'accumulation du cadmium dans les reins provoque une élévation de l'excrétion urinaire des protéines, du calcium et du phosphore et peut dans des cas graves conduire à un arrêt complet dans les fonctions rénales accompagné d'une intoxication

urinaire (Juste,1995 ; Robert,1996 ; Bliefert et Perraud,2001 ; Raphael,2001). L'OMS considère que le dysfonction des reins est probable dès que la teneur en cadmium du cortex rénal est supérieure à 200 mg/kg d'organe frais (Juste, 1995).

Il est à noter que l'homme absorbe quotidiennement de 20 à 30  $\mu\text{g}$  de cadmium environ, 85 % provient de la nourriture et 15 % de l'eau potable. L'absorption du cadmium par l'air ne joue pratiquement aucun rôle s'il n'ya pas localement de sources industrielles (Juste,1995 ; Bliefert et Perraud,2001). Par contre, le tabagisme peut avoir un impact élevé car il peut doubler l'apport journalier en cadmium (Bliefert et Perraud, 2001).On a remarqué que la présence de zinc et du calcium aurait un rôle protecteur vis à vis du cadmium et la déficience de l'organisme en ces deux éléments constituent une prédisposition à l'intoxication (Rodier,1984)..

#### **I-4-2 Effets sur les organismes vivants**

Pour les végétaux, le cadmium freine les activités de photosynthèse et de transpiration et augmente le taux de respiration. De faibles concentrations de cadmium dans le sol suffisent pour provoquer des lésions sérieuses et en particulier un rabougrissement des tiges ainsi que d'intensives stries jaunâtres sur les feuilles les plus âgées. En dehors des pertes de récoltes les risques sont surtout liés à la contamination (par accumulation) pour les plantes. Le cadmium n'affecte que les plantes sensibles comme le soja, l'épinard et la laitue contrairement à la tomate, le chou, le riz et d'autre graminées fourragères qui résistent bien à ce métal (Juste,1995 ; Ditria,2002).

Pour la vie aquatique en particulier les poissons, il ne semble pas qu'il y ait de problèmes en dessous de 1 mg/l de cadmium. Cependant, des concentrations élevées peuvent être rencontrées chez les mollusques et les crustacés contaminés (Rodier,1984).

#### **I-5 Teneurs limites admissibles en cadmium**

La pollution par le cadmium ne cesse de s'aggraver en raison de l'industrie métallurgique et les usines d'incinération. La seule voie d'élimination le cadmium est l'urine mais cette élimination est très lente et insuffisante (Rodier,1984 ; LCPE,1994).

La présence de cadmium même à l'état de trace peut provoquer des grands problèmes pour l'environnement en général et la santé publique en particulier. Afin de réduire les effets néfastes de cadmium la législation impose des teneurs limites en ce métal dans les eaux potables, dans les rejets industriels ou dans les eaux d'irrigation. Le comité d'experts FAO/OMS a établi des normes qui ne devraient pas dépasser 400 à 500  $\mu\text{g}$ /semaine. Cette norme représente l'exposition de l'homme au cadmium à partir de la nourriture, de l'eau et de l'air (Rodier,1984). Cependant, la concentration maximale admissible en cadmium dans les eaux destinées à la consommation est fixée à 5  $\mu\text{g}$ /l (Dégremont,1989). Cette teneur est recommandée par plusieurs organisations et pays tels que la

France, les Etats Unis, la Grande Bretagne, la Tunisie et l'OMS (Cousin,1980 ; Rodier,1984 ; Juste, 1994 ; Ben Zahra et Charef,2002).

Concernant les effluents industriels notamment ceux des industries métallurgiques ou de raffinage, les teneurs admissibles en cadmium sont très limitées et varient entre 0,1 et 0,5 mg/l pour différents pays comme les montre le tableau 11.

Des valeurs limites sont conçues pour réduire la contamination des sols par le cadmium (Tableau 12). Ce tableau met en évidence les variations qui peuvent exister d'un référentiel à l'autre et la difficulté d'établir une norme cohérente et valable pour tous les pays.

**Tableau 11** : Teneurs maximales en cadmium autorisées dans les effluents industriels (Tramontina,2002)

<b>Pays</b>	<b>Teneur maximale admissible en cadmium (mg/l)</b>
<b>Allemagne</b>	<b>0.5</b>
<b>USA</b>	<b>0.3</b>
<b>Suisse</b>	<b>0.1</b>
<b>France</b>	<b>0.2</b>

**Tableau 12** : Valeurs limites en normes acceptables pour la contamination des sols dans différents pays (Lecomte,1998)

<b>Pays</b>	<b>Teneur en cadmium mg/kg de sol</b>
<b>Pays- Bas</b>	<b>20</b>
<b>Grande Bretagne</b>	<b>3</b>
<b>Québec</b>	<b>20</b>
<b>Allemagne</b>	<b>10</b>
<b>Australie</b>	<b>20</b>

On a signalé qu'environ un tiers du cadmium absorbé par l'organisme vivant provient de denrées d'origine animale et deux tiers d'aliment d'origine végétale (Ditria,2002). Pour limiter l'exposition au cadmium par ingestion, la communauté européenne autorise des teneurs bien déterminées dans les denrées et les aliments comme le montre le tableau 13 (Bliffet et Perrand, 2001).

**Tableau 13** : Teneurs maximales en cadmium autorisées par la communauté européenne dans les denrées alimentaires (Blierfet et Perrand, 2001).

<b>Denrée</b>	<b>Teneur max mg/kg</b>
<b>Céréale brute</b>	<b>0,2</b>
<b>Produit à base céréales</b>	<b>0,1</b>
<b>Légume vert</b>	<b>0,2</b>
<b>Foie</b>	<b>1</b>
<b>Rognons</b>	<b>2</b>
<b>poisson</b>	<b>0,2</b>

## **I-6 Conclusion**

D'après ce chapitre, nous avons montré que le cadmium pose un sérieux problème pour l'environnement et que l'industrie peut être considérée comme la source principale de la propagation de ce métal. La toxicité du cadmium ne dépend pas seulement de sa concentration mais de ses formes chimiques et son comportement dans les différents compartiments de l'environnement (eau, air, sol). Elle peut engendrer de graves maladies en raison de son effet chronique. Nous avons également indiqué les normes qu'il faut respecter soit pour les eaux potables soit pour les effluents industriels ou les sols.

Dans le prochain chapitre, nous présenterons les différents procédés de traitement qui servent à l'élimination du cadmium.

