

LE ZINC DANS L'ENVIRONNEMENT



Une introduction



ABREVIATIONS

g	gramme
kg	kilogramme
kWh	kilowattheure
mg/kg	milligramme par kilogramme
mg/jour	milligramme par jour
µm	micromètre
µg/m ³	microgramme par mètre cube
µg/l	microgramme par litre
pg/g	picogramme (10 ⁻¹²) par gramme
ppm	partie par million
tonne	tonne métrique
>	supérieur à
<	inférieur à
EC50	concentration effective médiane ("Effect Concentration 50%")
NOEC	concentration sans effet observé ("No Observed Effect Concentration")
OCEE	gamme de concentration optimale pour les éléments essentiels ("Optimal Concentration Range for Essential Elements")
PEC	concentration prédite dans l'environnement ("Predicted Environmental Concentration")
PNEC	concentration prédite sans effet ("Predicted No Effect Concentration")
SO ₂	dioxyde de soufre
Zn	zinc
ZnS	sulfure de zinc
EZI	Institut Européen du Zinc ("European Zinc Institute"), devenu IZA-Europe
ILO	Organisation Internationale du Travail ("International Labour Organisation")
IPCS	Programme International pour la Sécurité Chimique ("International Programme on Chemical Safety")
IZA	Association Internationale du Zinc ("International Zinc Association")
OSPARCOM	Commission d'Oslo et de Paris ("Oslo and Paris Commission")
UNEP	Programme des Nations Unies en matière d'Environnement ("United Nations Environment Programme")
OMS	Organisation Mondiale de la Santé

Table des Matières

	Page
INTRODUCTION	
1. L'importance du zinc pour l'humanité	1
LA PRÉSENCE ET LES ORIGINES DU ZINC DANS L'ENVIRONNEMENT	
2. Le zinc : un élément naturel	2
3. Le zinc : un élément essentiel	4
4. Les émissions de zinc	5
5. Qu'advient-il au zinc émis dans l'environnement ?	8
6. Le recyclage du zinc	10
L'IMPORTANCE DU ZINC POUR LA SANTÉ HUMAINE	
7. Le zinc : un élément essentiel pour la santé de l'être humain	11
8. Les problèmes liés à une carence en zinc	12
LE ROLE ET LES EFFETS DU ZINC DANS L'ENVIRONNEMENT	
9. L'importance du zinc pour la croissance des plantes et des animaux	13
10. Les écosystèmes naturels et les chaînes alimentaires	14
11. L'évaluation des risques	15
12. L'écotoxicologie	16
13. Le zinc dans l'environnement aquatique	17
14. Conclusion	18
15. Références	19

1. L'importance du zinc pour l'humanité

La vie moderne serait tout à fait inconcevable sans zinc.

Le zinc, utilisé dans les procédés de revêtement de l'acier, assure la protection contre la corrosion la plus économique et la plus respectueuse de l'environnement qui soit. Aujourd'hui, le zinc permet à une habitation américaine moyenne d'être construite à partir de 6 carcasses de voitures au lieu de 0,4 hectare de forêt.

En protégeant l'acier contre la corrosion, le zinc permet d'économiser des ressources précieuses comme les minerais de fer et l'énergie¹. En prolongeant la durée d'utilisation de l'acier, le zinc prolonge également la durée de vie des investissements en capitaux, ce qui dans le cas des infrastructures publiques - routes, ponts, ports, distribution d'énergie et d'eau, télécommunications - permet également de diminuer le montant des taxes prélevées.

Outre la protection de l'acier contre la corrosion, le zinc est également utilisé:

- dans le laiton et autres alliages ;
- dans les équipements automobiles, appareils électroménagers, installations, outils, jouets, etc. ;
- dans le bâtiment et la construction ;
- dans les produits pharmaceutiques, les équipements médicaux et les produits cosmétiques ;
- dans les pneumatiques et tous les produits à base de caoutchouc ;
- dans les engrais et la nourriture pour animaux.

Le zinc est enfin un élément essentiel et indispensable pour la santé de l'être humain et pour l'ensemble des organismes vivants, d'où l'interaction relativement complexe entre cet élément et l'environnement.

¹ 30 à 70 kg de zinc, dont la production nécessite seulement 125 à 300 kWh, permettent de prolonger la durée de vie d'une tonne d'acier, requérant 2500 kWh, d'un facteur compris entre 3 et 5 (Peters, 1992).

Le zinc est présent de façon naturelle dans l'air, l'eau et le sol.



2. Le zinc en tant qu'élément naturel

Le zinc fait partie de la nature. La plupart des roches et de nombreux minéraux en contiennent dans des proportions diverses. Le zinc est également présent de façon naturelle dans l'air, l'eau et le sol. La concentration naturelle en zinc dans la croûte terrestre varie entre 10 et 300 mg/kg (Malle 1992), pour une valeur moyenne de 70 mg/kg (de matière sèche).

À certains endroits, le zinc a été concentré à des niveaux beaucoup plus importants sous l'influence de procédés géologiques et géochimiques. De telles concentrations, que l'on retrouve à la surface de la terre et dans le sous-sol, font l'objet d'une exploitation sous forme d'extraction de minerais. Le minéral le plus courant à base de zinc est la sphalérite (ZnS). Le zinc métallique est produit à la fois à partir de minerais et du recyclage des produits contenant du zinc. Environ 30 % de la consommation mondiale de zinc provient aujourd'hui de zinc recyclé (voir au paragraphe 6).

Suite aux processus d'érosion naturelle comme la désagrégation par les intempéries et l'abrasion des roches, des sols et des sédiments par le vent et l'eau, une fraction faible mais néanmoins significative de zinc naturel est constamment en mouvement et transportée dans l'environnement. Les éruptions volcaniques, les incendies de forêts et la formation des aérosols au-dessus des océans contribuent également au transport naturel du zinc. Ces processus influencent le cycle du zinc dans l'environnement et entraînent la présence de concentrations naturelles dans l'air, les eaux de surface et les sols (Tableau 1).

La teneur naturelle de zinc dans le sol étant variable, la concentration de zinc dans l'eau dépend d'une multitude de facteurs tels que la nature et l'âge des formations géologiques au travers desquelles l'eau s'écoule, ainsi que de diverses conditions biologiques et physico-chimiques. Les variations saisonnières influencent également la concentration de zinc dans l'eau. On peut toutefois définir des catégories générales d'eaux de surface, caractérisées par des gammes de concentrations naturelles en zinc bien définies. Ces catégories générales, appelées habitats-types, sont peuplées par des organismes - écosystèmes - bien adaptés aux concentrations en zinc présentes. Les rivières alluvionnaires d'Europe, les montagnes rocheuses et les grands lacs d'Amérique du Nord sont des exemples d'habitats-types d'eau douce présentant différentes concentrations naturelles en zinc (Tableau 1).

Des plantes présentant une grande tolérance pour le zinc se retrouvent dans les environnements riches en cet élément. La photo illustre des Viola calaminaris poussant dans la zone de La Calamine en Belgique, région naturellement riche en zinc (photo: F. Van Assche).

Tableau 1 : Teneurs naturelles en zinc (zinc total) dans l'environnement

	Gamme
Air (campagne) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0,01 - 0,2
Sols (général) (mg/kg de matière sèche)	10 - 300
Roches (ppm)	
- roches éruptives basaltiques	48 - 240
- roches éruptives granitiques	5 - 140
- schistes et argiles	18 - 180
- grès	2 - 41
- schistes noirs	34 - 1500
Amas de minerais isolés (%)	5 - > 15
Eaux de surface ($\mu\text{g}/\text{l}$)	
Type d'habitat :	
- Océan ouvert (surface)	0,001 - 0,06
- Mers côtières / mers intérieures	0,5 - 1
- Eau douce :	
- Rivières de plaines alluvionnaires riches en éléments nutritifs et en oligo-éléments (ex. plaine européenne)	5 - 40
- Rivières de montagnes issues de formations géologiques anciennes et fortement lessivées (ex. montagnes rocheuses)	< 10
- Lacs importants (ex. grands lacs d'Amérique du Nord)	0,09 - 0,3 (dissous)
- Courants riches en zinc s'écoulant au travers de zones de minéralisation	> 200

Pour les références, voir Van Assche et al (1996).

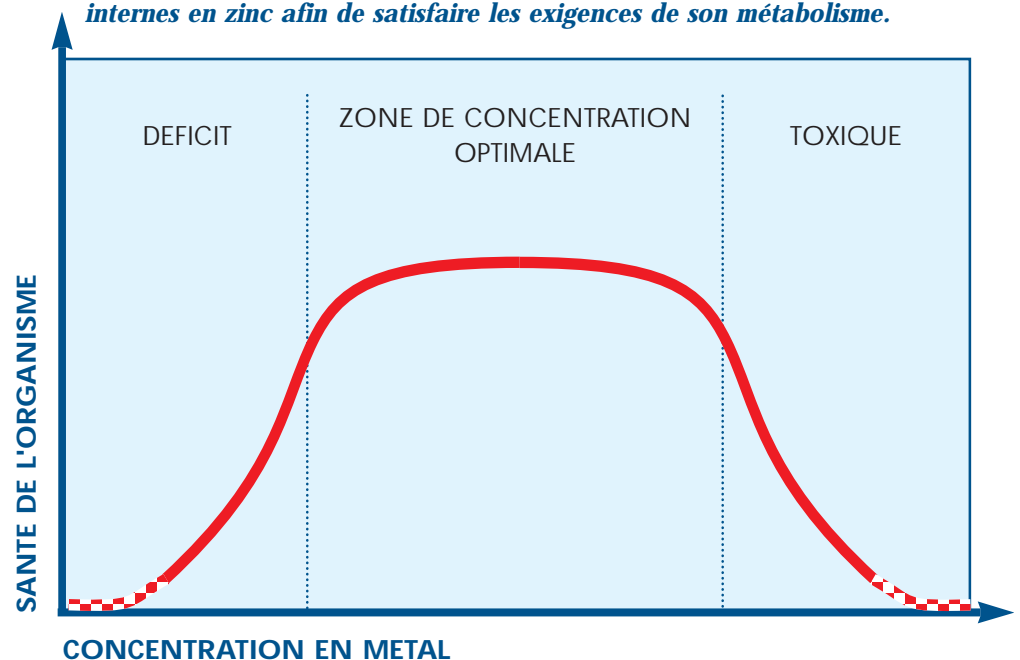
Le zinc est un élément essentiel pour toute forme de vie, depuis le plus petit micro-organisme jusqu'à l'être humain

3. Le zinc : un élément essentiel

Nous savons aujourd'hui que toutes les formes de vie sur la terre ont évolué en présence de concentrations naturelles en zinc. En raison de sa disponibilité pour les organismes vivants (biodisponibilité) et de ses caractéristiques, le zinc a été utilisé par la nature pour jouer un rôle spécifique dans diverses réactions biologiques. Le zinc est par conséquent un élément essentiel pour toute forme de vie, depuis le plus petit micro-organisme jusqu'à l'être humain.

Les organismes vivants puisent directement dans leur environnement (air, eau, sol et nourriture) les éléments essentiels dont ils ont besoin pour se développer. Lorsque leurs exigences cellulaires en ces éléments sont satisfaites, ces organismes peuvent croître et se développer de façon optimale. Lorsque la consommation en ces éléments essentiels est trop faible, des problèmes de carence apparaissent et des effets défavorables peuvent être observés. En revanche, une consommation trop importante en un élément essentiel donné peut s'avérer toxique. Entre ces deux extrêmes, chaque organisme vivant possède une *gamme de concentration* relative à chacun des éléments essentiels et à l'intérieur de laquelle ses exigences sont satisfaites. Une *gamme de concentration optimale* en zinc existe donc pour chaque organisme vivant, et notamment pour l'homme. On définit ainsi une *gamme de concentration optimale* pour les éléments essentiels ("Optimal Concentration Range for Essential Elements" ou OCEE) pour chaque élément essentiel et pour chaque organisme vivant (Figure 1).

Figure 1 : Chaque organisme vivant possède une gamme de concentration optimale pour les éléments essentiels ("Optimal Concentration Range for Essential Elements") dans laquelle il peut réguler ses concentrations internes en zinc afin de satisfaire les exigences de son métabolisme.



(Van Assche et al. 1996)



***L'industrie
du zinc a
réussi à
diminuer
fortement
ses émissions
au cours des
dernières
décennies***

4. Les émissions de zinc

Depuis la Grèce antique, l'homme utilise les amas de minerais présents dans la terre pour en extraire les métaux qu'ils contiennent, pour ensuite les raffiner et les convertir en des formes chimiques diverses afin de les utiliser dans de nombreux produits. Le caractère spécifique du zinc est connu depuis le Moyen Age mais son extraction industrielle et son raffinage n'ont débuté en Europe qu'à la fin du 18^{ème} siècle. Cette activité industrielle a entraîné une production *anthropique* (c'est-à-dire due à l'homme) de zinc vers l'environnement ainsi qu'une augmentation des concentrations en zinc autour des principaux sites de production et d'utilisation.

Depuis les années 1970, l'attention croissante portée à la protection de l'environnement a toutefois conduit à une réduction progressive des émissions de zinc dans l'air et dans l'eau, et l'industrie du zinc a réussi à diminuer fortement ses émissions au cours des dernières décennies.

Cette tendance se reflète dans les enregistrements des dépôts atmosphériques de zinc dans les neiges du Groenland. Les quantités de zinc déposées à cet endroit sont une indication à la fois du cycle naturel du zinc et des émissions anthropiques de zinc dans l'air en Europe et en Amérique du Nord, et reflètent également la tendance observée en ce qui concerne les émissions de zinc dans l'air dans la totalité de l'hémisphère nord. Les données mesurées au Groenland indiquent un dépôt maximal de zinc dans les années 1960 ainsi qu'une diminution marquée depuis lors (Boutron et al. 1995).

Figure 2 : Modifications de la concentration en zinc dans la glace et dans la neige à Summit, Groenland, depuis 1770 à aujourd'hui (Boutron et al. 1995)

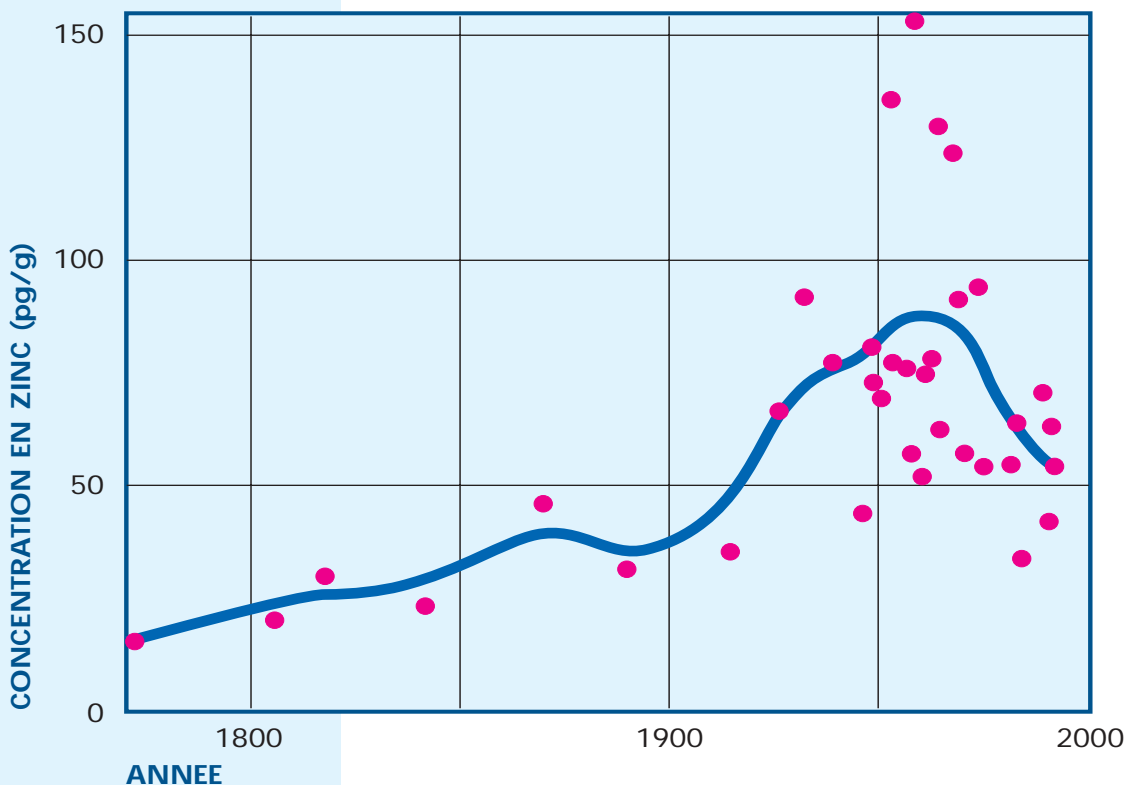
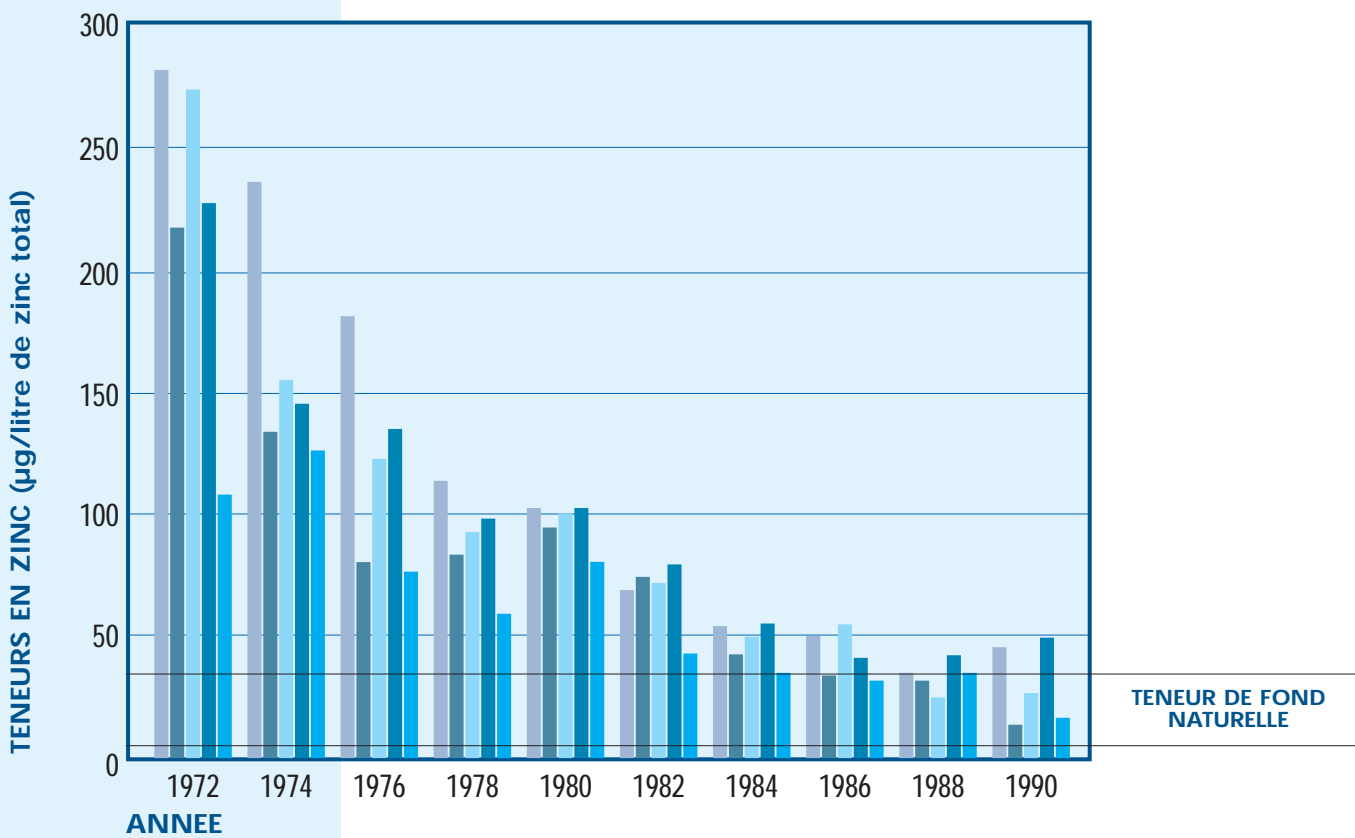


Figure 3 : Évolution des teneurs en zinc total dans le Rhin au niveau de cinq sites de prélèvement aux Pays-Bas : 1972 - 1990 (d'après Heymen & Vanderweyden, 1991), avec indication de la teneur de fond naturelle (d'après Van Tilborg & Van Assche, 1995)

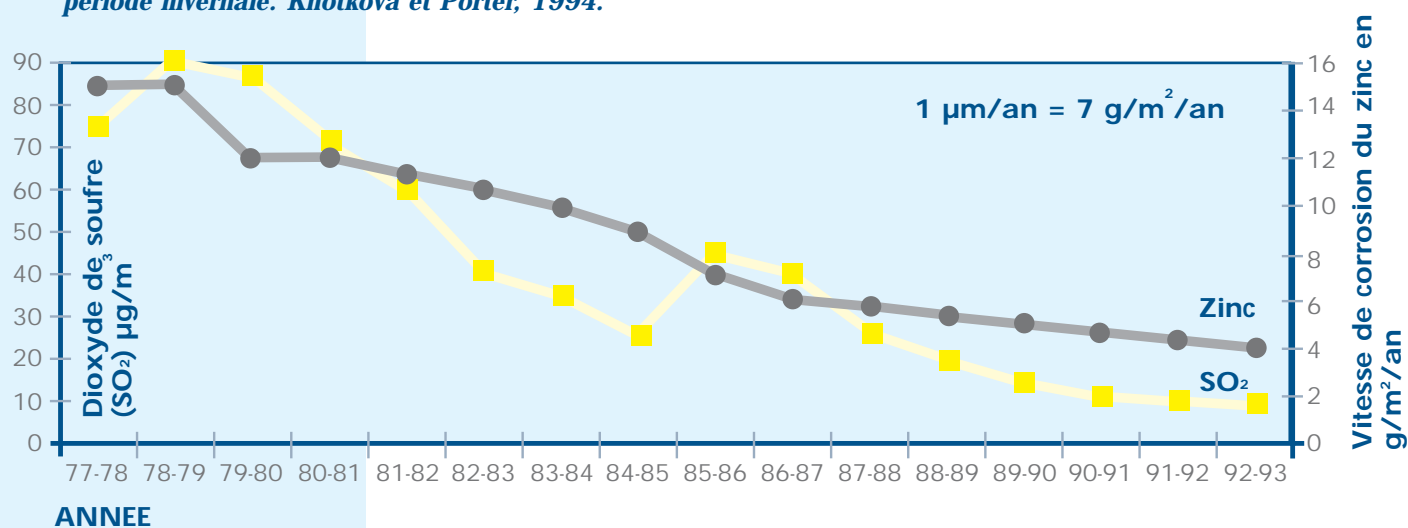


Cette évolution à la baisse, résultant du contrôle des rejets au niveau des *sources ponctuelles*², est toujours en vigueur aujourd'hui tandis que les concentrations en zinc dans l'air ambiant semblent être revenues à leur niveau pré-industriel (Figure 2).

Les émissions de zinc provenant de sources ponctuelles vers les eaux de surface ont également été réduites de façon significative depuis les années 1970 à la suite des améliorations apportées aux procédés industriels et d'un contrôle plus efficace des émissions, ce qui a permis une réduction généralisée de la concentration en zinc dans les eaux de surface du monde industrialisé, comme l'illustrent les teneurs en zinc mesurées dans le Rhin (Figure 3).

Les *émissions volatiles*³ sont actuellement minimisées grâce à l'utilisation de techniques de contrôle des émissions d'une grande efficacité ainsi qu'à l'évolution des procédés dans les sites de production.

Figure 4 : Niveaux de dioxyde de soufre mesurés à Stockholm, Suède, et vitesse de corrosion du zinc dans cette même ville. Les concentrations en SO₂ indiquées correspondent à des valeurs moyennes pour la période hivernale. Knotkova et Porter, 1994.



Une réduction des *émissions diffuses* de zinc - relâchement dans l'environnement suite à l'utilisation de produits contenant du zinc - a également été observée au cours de ces dernières années. Plus notablement, la corrosion des surfaces de zinc exposées a diminué de façon marquée au cours des vingt dernières années, conséquence directe de la diminution de l'acidité de l'air dans le monde industrialisé, elle-même résultant d'un contrôle plus strict des émissions de dioxyde de soufre (Figure 4).

² Les émissions contrôlées ou ponctuelles proviennent de sources stationnaires et peuvent être facilement réduites à l'aide de systèmes traditionnels de dépollution tels que des électrofiltres ou des filtres à manche (OSPARCOM 1996).

³ Les émissions volatiles proviennent de sources telles que des stocks de réserve extérieurs, des opérations de manutention ou de transfert, des véhicules, des fuites de bâtiments ou de toitures, des opérations de maintenance ou des incidents survenant dans des usines (OSPARCOM 1996).

De nombreux autres facteurs comme la température, la dureté de l'eau, le pH et la teneur en carbone organique dissous déterminent en fait la biodisponibilité du zinc dans l'eau

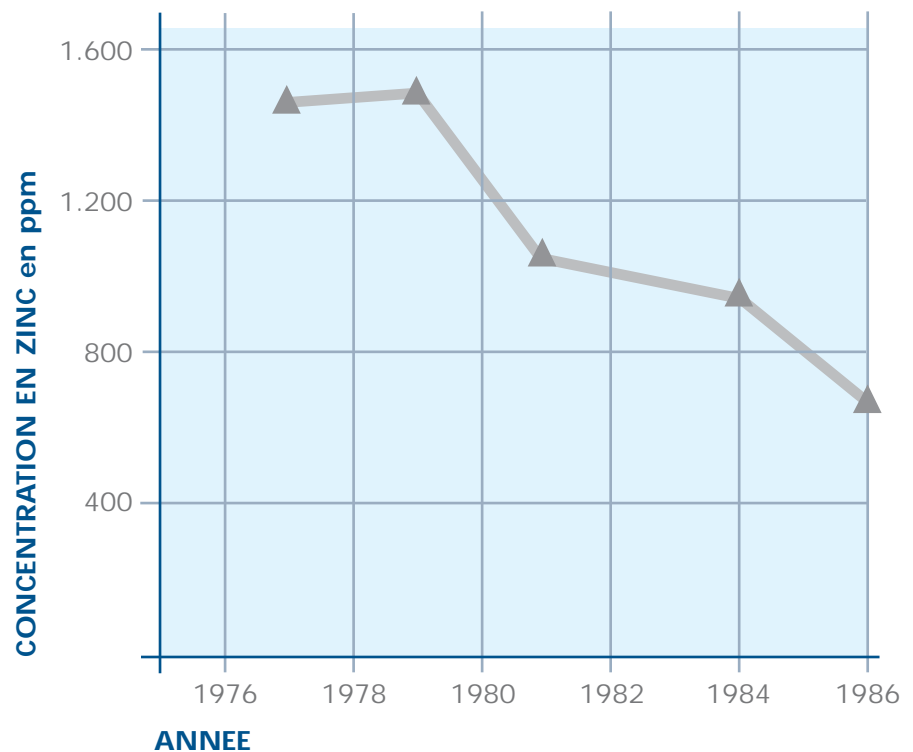
5. Qu'advient-il au zinc émis dans l'environnement ?

Une quantité importante du zinc présent dans les eaux de surface se retrouve finalement dans les sédiments des rivières, des estuaires et des zones côtières où elle se lie à des matériaux inorganiques et organiques, réduisant ainsi sa biodisponibilité.

Il existe une différence entre la *concentration en zinc total* et la *concentration en zinc dissous* dans l'eau. Il n'existe, en revanche, aucune relation entre la concentration en zinc total et la dose de zinc absorbée par les organismes vivants.

Seule la concentration biodisponible en zinc a une signification écologique. On évalue généralement cette fraction biodisponible en filtrant un échantillon d'eau au travers d'un filtre de 0,45 µm. Toutefois, de nombreux autres facteurs comme la température, la dureté de l'eau, le pH et la teneur en carbone organique dissous déterminent en fait la biodisponibilité du zinc dans l'eau.

Figure 5 : Évolution de la concentration moyenne en zinc dans les sédiments du port de Rotterdam (d'après Malle 1992).



En général, le zinc lié à des matières organiques en suspension va se déposer et pour cette raison, les couches supérieures de sédiments reflètent généralement les concentrations en zinc dans l'eau sous-jacente. Les couches sédimentaires formées dans les rivières au cours des dernières années présentent des concentrations décroissantes en zinc, comme l'illustre la Figure 5.

Les particules de zinc en suspension dans l'atmosphère se déposent sur le sol et sur les eaux de surface. Dans le sol, le zinc s'associe aux argiles, aux matériaux organiques, etc., en fonction des propriétés physico-chimiques du sol concerné, comme le pH ou la teneur en matières organiques. Ces différents facteurs déterminent la solubilité du zinc contenu dans le sol et par conséquent sa biodisponibilité pour les organismes vivants. Des variations du pH du sol, par exemple, entraînent des modifications importantes de la biodisponibilité du zinc dans le sol. Les sols et les sédiments constituent des éléments de l'environnement plus statiques que l'air et les eaux de surface.

À proximité de certains anciens sites industriels, les teneurs en zinc dans le sol, généralement en combinaison avec d'autres métaux, peuvent être plus élevées en conséquence d'importantes émissions survenues par le passé (*contamination historique*). De tels sites requièrent une attention spécifique ainsi qu'une gestion appropriée des risques afin de limiter l'exposition de l'écosystème local et d'éviter la contamination des zones avoisinantes. Des résultats prometteurs ont été obtenus récemment avec des composés présentant la propriété d'immobiliser les métaux et qui, lorsqu'ils sont utilisés comme amendement dans les sols contaminés, fixent le zinc ainsi que les autres métaux présents dans le sol, diminuant ainsi leur disponibilité pour les organismes vivants (Van Gronsveld et al. 1994).

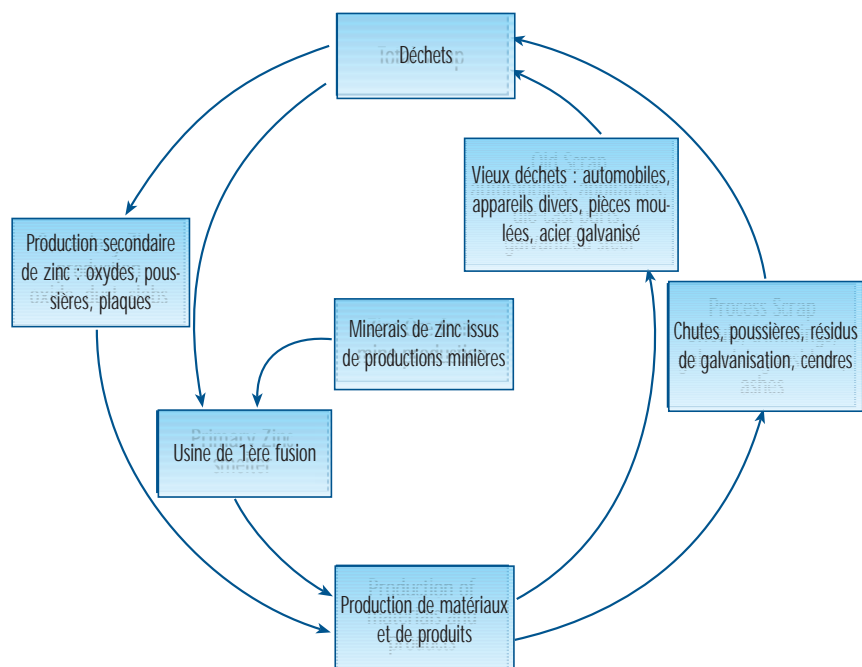
6. Le recyclage du zinc

Le zinc est un matériau recyclable. À l'heure actuelle, environ 30 % de la consommation mondiale de zinc provient de zinc recyclé. En d'autres termes, environ 2 millions de tonnes de zinc sont recyclées chaque année (Institut Européen du Zinc, 1990).

Le recyclage du zinc s'effectue à partir de produits divers : ferrures et raccords en laiton (le laiton est un alliage de zinc et de cuivre), pièces moulées sous pression en alliages de zinc et pièces en acier galvanisé récupérées sur des automobiles, appareils électroménagers ou composants électriques. La récupération du zinc se fait également à partir des chutes de fabrication et de transformation, comme les résidus de galvanisation, les poussières et les cendres de fours, les débris de fonte et les chutes provenant de la mise à forme des pièces de laiton. L'industrie de la fonte permet à elle seule de récupérer plus de 600.000 tonnes de zinc chaque année.

Il est difficile d'estimer le taux de récupération du zinc avec précision étant donné la très longue durée de vie de nombreux produits à base de zinc. Par exemple, la durée de vie des tôles de zinc utilisées en couverture de bâtiment est estimée à plus de 100 ans sans aucun entretien avant que ces tôles viennent à être recyclées. Néanmoins, sur la base d'estimations fondées sur des données historiques de consommation et les cycles de vie des produits, 80 % du zinc disponible pour le recyclage serait effectivement recyclé. Remarquons également que le zinc peut être indéfiniment recyclé sans aucune perte de ses propriétés physiques ou chimiques.

Figure 6 : Le circuit de recyclage du zinc





La dose journalière de zinc recommandée est de 12 mg/jour pour une femme adulte et de 15 mg/jour pour un homme adulte

7. Le zinc : un élément essentiel pour la santé humaine

Le zinc joue un rôle essentiel dans le métabolisme de l'être humain. Le zinc est par exemple vital pour le fonctionnement correct de plus de 200 enzymes, pour la stabilisation de l'ADN et l'expression des gènes, ainsi que pour la transmission des signaux du système nerveux.

Le corps humain contient 2 à 3 g de zinc (pour 7 g de fer), que l'on retrouve partout dans le corps mais avec toutefois des concentrations plus élevées dans les muscles, le foie, les reins, les os et la prostate.

La dose journalière de zinc recommandée est de 12 mg/jour pour une femme adulte et de 15 mg/jour pour un homme adulte. Cette dose quotidienne dépend non seulement de la nourriture mais également du sexe, de l'âge et de l'état de santé général de la personne. Les nourrissons en période de croissance, les enfants, les adolescents, les femmes enceintes et les personnes âgées ont une demande accrue en zinc et présentent des risques de carence en zinc plus importants (Tableau 2).

La nourriture représente la principale source de zinc pour l'être humain, avec seulement une faible partie provenant de l'eau potable. Les aliments présentent des teneurs diverses en zinc. Les principales sources de zinc dans

l'alimentation sont la viande rouge, la volaille, le poisson, les fruits de mer, les céréales complètes et les produits laitiers.

Tableau 2 : Groupes de population présentant une demande élevée en zinc

• Enfants et adolescents	Demande accrue due à la croissance
• Femmes enceintes et allaitantes	Résorption plus importante par le fœtus et dans le lait
• Personnes âgées	Fonctions corporelles réduites, alimentation non équilibrée
• Personnes exerçant un travail physique dur	Augmentation générale de la demande
• Diabétiques et alcooliques	Rejet plus important
• Fumeurs	Absorption réduite
• Patients atteints de blessures graves	Pertes importantes et demandes accrues

8. Les problèmes liés à une carence en zinc

Si le zinc s'avère être un élément essentiel pour la santé humaine, il apparaît que de nombreux adultes et enfants ont une alimentation trop pauvre en zinc. Une vaste étude (Walsh et al. 1995) relative aux connaissances actuelles sur le zinc et sur la santé humaine a permis de mettre en évidence une carence potentielle en zinc à l'échelle mondiale.

Aux États-Unis, des études ont conclu qu'une partie importante de la population présente un risque de carence en zinc. Une carence chronique modérée est également prédite chez les personnes présentant une alimentation pauvre en viande et riche en phytates et en fibres. Les symptômes liés à une carence en zinc sont la réduction des sensations de goût et d'odorat, des troubles de la peau, une léthargie mentale ainsi qu'une diminution de la fertilité.

Des suppléments nutritionnels de zinc permettent de rééquilibrer une alimentation trop pauvre en zinc, mais ces suppléments nutritionnels ne sont pas recommandés sans avis médical.

Au cours de leur évolution, tous les organismes vivants ont puisé le zinc disponible dans leur environnement et l'ont utilisé pour des fonctions spécifiques de leur métabolisme



9. L'importance du zinc pour la croissance des plantes et des animaux

Au cours de leur évolution, tous les organismes vivants ont puisé le zinc disponible dans leur environnement et l'ont utilisé pour des fonctions spécifiques de leur métabolisme. Par conséquent, tous les organismes vivants sont conditionnés par les concentrations en zinc biodisponibles dans leur environnement naturel, concentrations qui ne sont en outre pas constantes mais soumises à des variations saisonnières.

Pour faire face à ces fluctuations, les organismes vivants ont développé un mécanisme (homéostasie) leur permettant de réguler leur consommation en zinc dans certaines limites. Le dépassement des limites fixées par ce mécanisme de régulation peut entraîner des effets défavorables pour l'organisme concerné.

Etant donné les teneurs en zinc dans la nature, le phénomène de carence n'est pas très répandu. Une carence en zinc apparaît généralement dans des conditions non naturelles, par exemple en agriculture moderne, où du zinc supplémentaire doit être apporté à cause d'une diminution de la biodisponibilité de cet élément, de façon à obtenir une croissance optimale des récoltes et du bétail.

10. Les écosystèmes naturels et les chaînes alimentaires

Dans la nature, l'ensemble des organismes évoluant ensemble au sein d'un même environnement physique (leur *habitat*) constituent un *écosystème*, à savoir une communauté complexe de nombreuses espèces différentes dépendant les unes des autres pour leur alimentation et formant ainsi des *chaînes* ou *toiles* alimentaires. Les écosystèmes sont conditionnés par leur environnement physique, tel que l'eau douce, la mer ou le sol.

La figure 7 illustre un exemple d'écosystème dans le cas d'un étang. Le soleil en est l'élément moteur, alimentant le système en énergie, qui est ensuite transmise par les plantes et les algues à la biomasse d'où démarre la chaîne alimentaire, avec ses différents niveaux de "consommateurs" tels que les vers, les poissons, les oiseaux, les carnivores et enfin ... l'homme.

Lorsque la concentration en zinc dans un habitat donné augmente - suite à une influence anthropique - au-delà de niveaux tolérables par certains des organismes présents dans l'écosystème, l'équilibre est rompu tandis que la structure (diversité des espèces) et la fonction de l'écosystème peuvent s'en trouver affectées. Ce problème fait l'objet d'une évaluation des risques pour l'environnement.

Figure 7: Diagramme d'un écosystème d'un étang (d'après Odum 1971).

Les éléments de base de cet écosystème sont les suivants :

A. Substances abiotiques - composés organiques et inorganiques de base

B. Producteurs - racines

C. Producteurs - phytoplancton (algues)

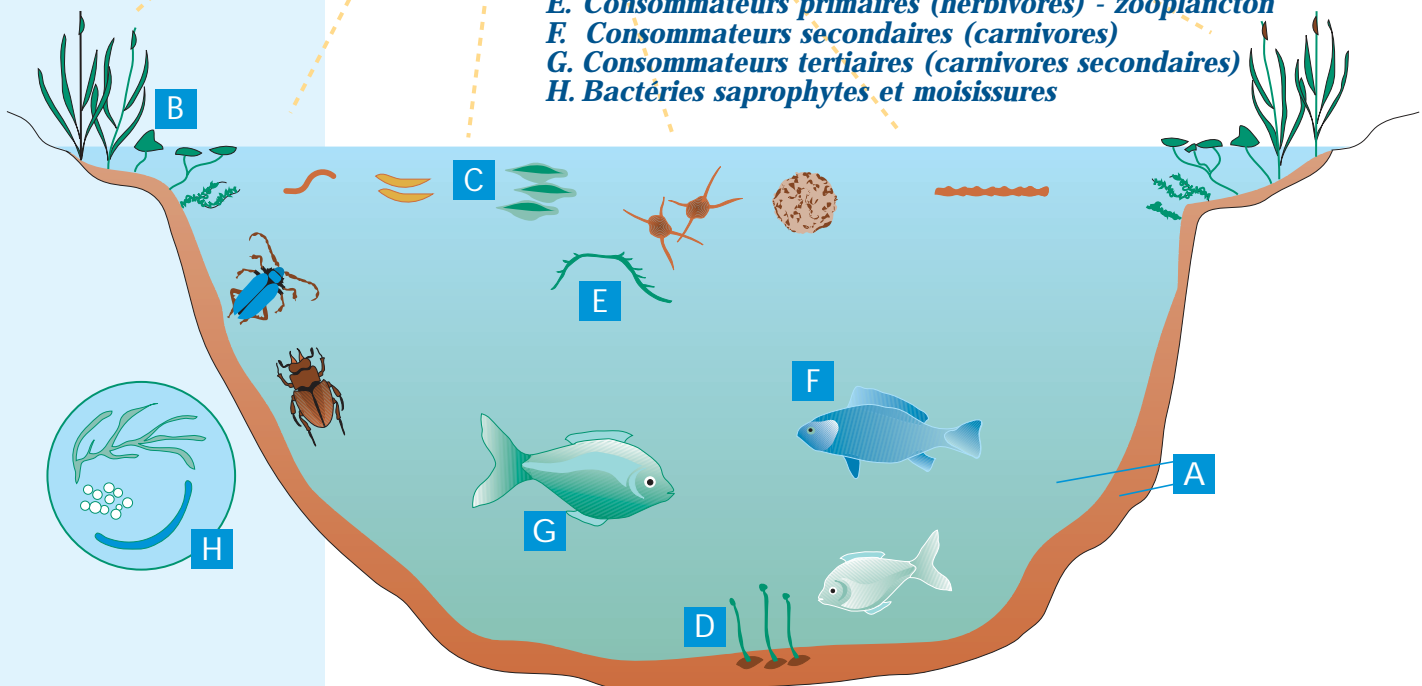
D. Consommateurs primaires (herbivores) - formes inférieures

E. Consommateurs primaires (herbivores) - zooplancton

F. Consommateurs secondaires (carnivores)

G. Consommateurs tertiaires (carnivores secondaires)

H. Bactéries saprophytes et moisissures





11. L'évaluation des risques

Evaluer les risques d'une substance consiste à estimer la possibilité d'effets nocifs de cette substance sur la santé de l'être humain ou sur le fonctionnement d'un écosystème en répondant à deux questions:

- ◆ Quels sont les niveaux critiques de la substance étudiée pour lesquels on peut s'attendre à des effets nocifs pour l'être humain ?
La réponse à cette question découle de l'analyse des données toxicologiques (pour l'être humain) et écotoxicologiques (pour l'environnement), permettant de dériver les valeurs de la *Dose journalière tolérable* pour la santé de l'être humain et de la *Concentration sans effet* ("Predicted No Effect Concentration" ou PNEC) pour l'environnement.
- ◆ Quelle est la véritable exposition à la substance dans l'environnement ?
L'exposition à une substance donnée s'exprime en termes de *Dose journalière* pour l'être humain et de *Concentration prédite dans l'environnement* ("Predicted Environmental Concentration" ou PEC) pour l'environnement. L'évaluation des risques se fait ensuite en comparant le niveau d'effet critique avec le niveau d'exposition.

Lorsque la Dose Journalière est inférieure à la Dose Journalière Tolérable (c'est-à-dire si la PEC est inférieure à la PNEC), il n'y a aucun risque pour l'être humain (ou pour l'environnement). Si par contre la Dose Journalière est supérieure ou égale à la Dose Journalière Tolérable (c'est-à-dire si la PEC est supérieure ou égale à la PNEC), alors le risque existe.

12. L'écotoxicologie

L'*écotoxicologie* est l'étude des effets des substances sur les écosystèmes. Ces substances sont soit produites par l'homme, comme des produits chimiques organiques, soit correspondent à des éléments naturels essentiels, par exemple le zinc.

Lors des tests d'écotoxicité, des organismes sont prélevés hors de leur environnement naturel et transférés en laboratoire où ils sont soumis à des concentrations diverses en une substance donnée. On peut de cette manière déterminer le EC_{50} ou la concentration effective médiane ("Effect Concentration 50%"), à savoir la concentration à laquelle on observe un effet négatif de la substance sur 50 % des organismes tests, comparativement aux *points limites biologiques* tels que la croissance ou la reproduction, ou encore la Concentration sans effet observé ("No Observed Effect Concentration" ou NOEC), à savoir la concentration maximale à laquelle on n'observe aucun effet négatif sur les organismes analysés. Les valeurs EC_{50} et NOEC des divers organismes présents dans l'écosystème étudié servent ensuite à déterminer la valeur de la PNEC (Concentration sans effet prédite ou "Predicted No Effect Concentration").



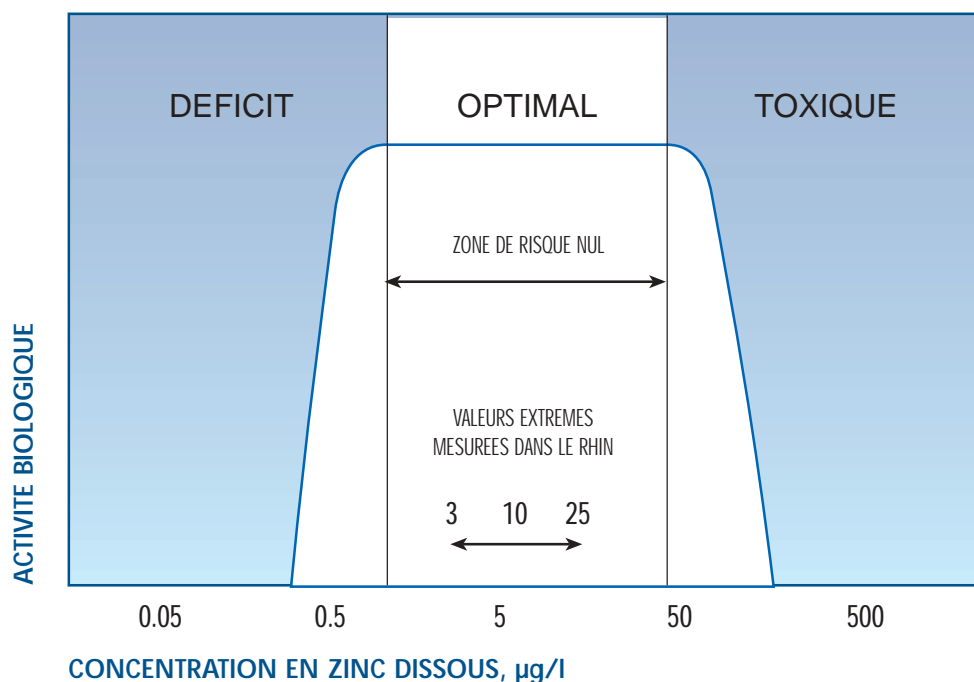
Les niveaux actuels de zinc ne présentent aucun risque pour l'environnement

13. Le zinc dans l'environnement aquatique

Quels sont les risques découlant de la présence de zinc dans l'environnement aquatique ? Cette question alimente les débats relatifs à la méthodologie d'évaluation des risques pour des éléments essentiels tels que le zinc.

Des valeurs de la PNEC (Concentration sans effet prédite ou "Predicted No Effect Concentration") égales à 50 µg/l de zinc dissous (correspondant environ à une valeur comprise entre 150 et 200 µg/l de zinc total) ont pu être déterminées grâce à une méthodologie appropriée aux éléments essentiels et à des données écotoxicologiques fiables. Les analyses de risques menées dans des environnements aquatiques et terrestres ont permis de conclure que les niveaux actuels de zinc ne présentaient aucun risque pour l'environnement (Van Assche et al. 1996). Par exemple, les teneurs actuelles en zinc dans le Rhin sont comprises dans la gamme de concentration optimale décrite pour le zinc (Figure 8).

Figure 8 : Evaluation des risques liés à la présence de zinc dans la plaine alluvionnaire européenne. Sur ce graphique sont représentées la "zone de risque nul", limitée du côté toxique par la valeur de la PNEC (Van Assche et al. 1996), ainsi que les concentrations moyenne, minimale et maximale en zinc dissous dans le Rhin, observées au cours des années 1988, 1989 et 1990 (Heymen et Vander Weijden, 1991).



14. Conclusion

Le zinc est un élément naturel essentiel pour l'être humain et pour l'ensemble des organismes vivants. Par conséquent, la carence en zinc est aujourd'hui admise comme étant un problème de santé humaine. Les émissions de zinc résultant de l'activité industrielle ont fortement diminué au cours des dernières décennies et les niveaux actuels de zinc ne présentent aucun risque pour l'environnement. Certains sites localisés ayant été contaminés par le passé nécessitent toutefois un traitement adéquat.

Récemment, le Programme International pour la Sûreté Chimique ("International Programme on Chemical Safety" ou IPCS) - un forum mondial placé sous les auspices de l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé), l'Organisation Internationale du Travail ("International Labour Organisation" ou ILO) et le Programme des Nations Unies en matière d'Environnement ("United Nations Environment Programme" ou UNEP) ont constitué un groupe de travail dont l'objectif est d'établir les critères environnementaux liés à la santé et relatifs au zinc. Dans les conclusions de ce groupe de travail, on peut notamment lire:

"Le zinc est un élément essentiel dans l'environnement. La possibilité existe à la fois d'une carence et d'un excès de ce métal. Pour cette raison, il est important que les critères légaux relatifs aux niveaux de zinc, établis pour des raisons de protection contre les effets toxiques de ce métal, ne soient pas placés trop bas afin d'éviter que l'on se retrouve dans la zone de carence".

15. Références

Boutron CF, Houg S. and Candelone JP. 1995. History of the large scale atmospheric pollution of the Northern hemisphere for heavy metals as documented in Greenland snow. In "Heavy Metals in the Environment", RD Wilken, U Förstner and A Knöckel (editors). CEP Consultants Edinburgh Publ. Vol. 1, p. 28-33.

European Zinc Institute. 1990. Zinc Recycling. EZI Publ. Brussels

Heymen R. and Vander Weijden M. 1991. Resultaten van het Waterkwaliteits-onderzoek in de Rijn in Nederland. RIZA nota nr. 91.047. RIZA Publ. Lelystad, The Netherlands (in Dutch).

International Programme on Chemical Safety. 1996. Collective Views of the IPCS Task Force on Zinc (IPCS/EHS 96.51) (unedited version).

Knotkova D. and Porter F. 1994. Longer life of galvanized steel in atmosphere due to reduced SO₂ pollution in Europe. Proc. of "Intergalva" 1994. Paris, p. GD 8/1 - GD 8/20. EGGA Publ. Birmingham UK.

Malle KG. 1992. Zink in der Umwelt. Acta Hydrochim. Hydrobiol. 20,4: 196-204.

Odum EP. 1971. Fundamentals of Ecology (3rd edition). WB. Saunders. Publ. Philadelphia ISBN 0-7216-6941-7.

OSPARCOM. 1996. Description of Best Available Techniques for Primary Non-Ferrous Metals.

Peters F. 1992. Non ferrous metals production and related energy consumption in EC and EFTA member countries and in the international context. Proc. of Thermie Eur. Seminar "Improved Technologies for the Rational Use of Energy in the Non-Ferrous Metals Industry in Europe", Milan 1992. EEC DG XVII.

Van Assche F, 1997. Atmospheric conditions and hot dip galvanizing performance. Intergalva Conference 1997.

Van Assche F, van Tilborg W. and Waeterschoot H. 1996. "Environmental Risk Assessment for Essential Elements - Case Study Zinc", in "Report of the International Workshop on Risk Assessment of Metals and their Inorganic Compounds". ICME, Ottawa, Publ. P. 171-180.

Van Gronsveld G, Van Assche F. and Cligsters H. 1995. Reclamation of a Bare Industrial Area Contaminated by Non-Ferrous Metals: In Situ Metal Immobilisation and Revegetation. Environmental Pollution 87: 51-59.

Van Tilborg WJM, Van Assche F. 1995. Integrated Criteria Document Zinc: Industry Addendum. VTBC Publ. Rozendaal, The Netherlands.

Walsh CT, Sandstead HH, Prasad A, Newberne PM. and Fraker P. 1995. Env. Health Perspectives. Vol. 102, suppl. 2, 5-46.

Le zinc dans l'environnement

- Une introduction

2ème édition 1997

Document publié par

l'Association Internationale du Zinc (IZA)

Avenue de Tervueren, 168

1150 Bruxelles, Belgique

Tél. + 32 2 776 00 70

Fax + 32 2 776 00 89

email@iza.com

Internet : <http://www.iza.com>

Autres publications de l'IZA :

- ***"Pocket Guide To World Zinc"***
- ***"ZINC Magazine"***
- ***"Zinc and Steel"***
- ***"Zinc in Public Infrastructure - Applications for the 21st Century"***
- ***"Galvanizing in the Channel Tunnel"***

