

# GALVANISATION ET CONSTRUCTION DURABLE

GUIDE À L'ATTENTION  
DES PRESCRIPTEURS



# GALVANISATION ET CONSTRUCTION DURABLE

## GUIDE À L'ATTENTION DES PRESCRIPTEURS

### TOM WOOLLEY

—

Tom Woolley (B.Arch, PhD) est architecte et chercheur spécialisé dans le domaine de l'environnement. Il vit dans le comté de Down, en Irlande du Nord.

Professeur d'architecture à l'Université Queen's de Belfast depuis 1991, il travaille aujourd'hui pour le cabinet d'architecture Rachel Bevan, où il se concentre sur la conception et le conseil en matière de construction durable.

Il est également professeur à la Graduate School of the Environment, au Centre des Technologies Alternatives du pays de Galles, et conférencier à l'Université de Central Lancashire et à l'UITM de Malaisie.

Il a également travaillé pour l'Architectural Association, Université de Strathclyde, ainsi qu'à l'école d'architecture de Hull. Il a été le rédacteur en chef du manuel Green Building et l'auteur de Natural Building. Il a contribué à de nombreux autres ouvrages ainsi qu'à plusieurs colloques internationaux, et il préside la UK Hemp Lime Construction Products Association.

Il est membre du Groupe Consultatif Inter Ministériel pour l'Architecture (Irlande du Nord) et du Conseil de l'Architects Registration Board (Royaume-Uni).

### **INITIATIVE EUROPÉENNE POUR LA GALVANISATION DANS LA CONSTRUCTION DURABLE**

L'industrie européenne de la galvanisation à chaud après fabrication a commencé à relever le défi de la construction durable en 2004 - avec l'engagement du Professeur Fabio Iraldo (Université de Bocconi, Milan), à des fins de recherche et de réponse aux exigences écologiques des marchés publics et autres vecteurs d'impulsion pour l'industrie de la galvanisation dans le domaine de la construction écologique. Cette étude a résulté en un certain nombre d'initiatives, dont plusieurs en liaison avec l'industrie du zinc, en vue de produire des données environnementales appropriées et d'explorer l'utilisation de la galvanisation dans la réalisation de bâtiments et de structures plus durables.

Le présent guide rassemble les meilleures informations disponibles sur la contribution de la galvanisation à la construction durable.

Ces informations ont été réunies par un groupe de travail composé d'experts de l'industrie issus des associations nationales qui composent l'Association Européenne des Galvanisateurs, sous la direction du professeur Tom Woolley.

Nous sommes particulièrement reconnaissants aux personnes suivantes pour leur contribution au guide :

Dr. Gian Luca Baldo et Stefano Rossi,  
Life Cycle Engineering (Turin)

—

Raymond Sempels,  
Association Internationale du Zinc  
Europe (Bruxelles)

—

Michael Sansom,  
Steel Construction Institute  
(Royaume-Uni)

—

Rachel Bevan,  
Rachel Bevan Architects (Belfast)

—

Linda Forbes.

<b>SECTION</b>	<b>PAGE</b>
–	–
AVANT-PROPOS	04
INTRODUCTION	05
UN ACIER GALVANISÉ : CARACTERISTIQUES	08
DEUX UTILISATION DE L'ACIER GALVANISÉ DANS LA CONSTRUCTION DURABLE	10
TROIS LES ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX DE L'ACIER GALVANISÉ	14
QUATRE LA MATIÈRE PREMIÈRE DE LA GALVANISATION : LE ZINC	18
CINQ LA CONSTRUCTION DURABLE : UNE EXPLICATION	24
SIX ÉTUDES DE CAS	32
RÉFÉRENCES	39
GLOSSAIRE ET GUIDE DES SIGLES	40
CREDITS	41

## AVANT-PROPOS

Je suis connu comme un ardent défenseur de la construction « verte et naturelle », car je suis convaincu que nous devons nous efforcer de construire des bâtiments fondés sur des principes de réduction de la consommation des ressources, de plus grande efficacité énergétique et de réduction de la pollution intérieure et extérieure. Toutefois, je ne suis pas naïf au point de penser qu'il est possible de créer des bâtiments qui ne soulèvent aucune question environnementale. Mes travaux sur le chanvre et la chaux démontrent qu'il est possible d'utiliser des matériaux issus de la culture renouvelable pour emprisonner le CO<sub>2</sub> dans la structure des bâtiments, mais ce processus nécessite de fabriquer de la chaux, ce qui suppose de poursuivre l'exploitation des carrières et d'utiliser de l'énergie pour alimenter les fours. L'isolation à base de laine de mouton ou de chanvre exige l'utilisation d'ignifuges chimiques, le bois de construction résulte de l'exploitation des forêts et nécessite d'être transformé, puis transporté. Même le plus vert des matériaux présente des inconvénients environnementaux.

C'est pourquoi, notre tâche consiste à choisir soigneusement les matériaux et les produits, et à nous assurer de tout mettre en œuvre pour en minimiser les impacts négatifs sur l'environnement. Toutes celles et ceux qui travaillent dans l'industrie ont l'obligation morale de réfléchir à ces questions et de prendre la peine d'améliorer leur performance dans ce domaine.

L'industrie de la galvanisation peut sans aucun doute s'améliorer en plus d'un point, mais je me félicite de sa volonté d'aborder ces questions et d'engager une réflexion poussée sur la manière dont elle peut contribuer à l'impératif de la construction durable.

La galvanisation existe depuis la fin des années 1800 et l'industrie a la chance que l'acier galvanisé présente des caractéristiques intrinsèques de durabilité qui méritent d'être étudiées.

On peut également espérer que ce guide nous rappellera, en outre, la vaste gamme d'utilisations de l'acier galvanisé et comment ce dernier a contribué à de nombreux aspects essentiels de notre vie quotidienne ainsi qu'au développement d'une architecture attractive et passionnante.

Le fait d'être correctement informé est un aspect essentiel du processus décisionnel en matière de politique environnementale. Si nous échouons à aborder à très brève échéance et de manière radicale la question de notre impact sur l'environnement mondial, ces débats resteront théoriques et il sera bientôt trop tard pour remédier à la situation.

Il faut donc espérer que l'industrie et l'ensemble des citoyens sauront se montrer à la hauteur de ce défi.

Tom Woolley  
*Mars 2008*

## INTRODUCTION

CE GUIDE A POUR BUT D'AIDER LES ARCHITECTES, LES INGÉNIEURS ET LEURS CLIENTS À ENVISAGER LES MOYENS D'UTILISER L'ACIER GALVANISÉ DANS LE CONTEXTE DE LA CONSTRUCTION DURABLE.



Ce document n'est ni une publication marketing ni un document publicitaire, mais le résultat d'une étude impliquant de nombreux experts indépendants issus de diverses régions d'Europe, et s'appuie sur des études universitaires et scientifiques concernant l'impact environnemental des produits galvanisés et de leurs alternatives. Nous avons essayé d'être aussi francs et ouverts que possible sur les questions abordées, afin que les lecteurs puissent se faire leur propre opinion sur les informations présentées ici. Nous estimons que tous les fabricants et les fournisseurs de matériaux de construction devraient communiquer des données environnementales précises.

Dans l'idéal, ces dernières devraient adopter un format standard permettant les comparaisons entre les différentes options. À l'heure actuelle, l'industrie de la construction n'utilise pas le système standardisé de déclaration environnementale des produits (EPD ou FDES en France) reposant sur une méthodologie commune, et, en conséquence, on constate de nombreuses confusions en ce qui concerne l'impact environnemental des différents produits.

Le présent document revient sur les initiatives les plus récentes en matière de politique environnementale et sur leur impact vis-à-vis des matériaux et de la spécification des produits.

Au niveau européen, on note un certain élan vers une plus grande standardisation, et ces initiatives sont également abordées ici. Il est courant pour les fabricants et les fournisseurs de prétendre que leurs produits sont « durables », même s'il n'existe pas de définition communément admise de la « durabilité ». La définition de Brundtland est toutefois fréquemment citée :

*Le rapport Brundtland de la Commission Mondiale sur l'Environnement et le Développement définit le développement durable comme suit : « L'humanité a la capacité de rendre le développement plus durable - pour s'assurer de répondre aux besoins présents sans compromettre la capacité des générations futures à satisfaire leurs besoins. » (WCED 1987)*

Il est fréquemment fait référence à cette déclaration pour justifier pratiquement toutes les propositions, de l'enterrement des déchets nucléaires jusqu'aux forages pétroliers sous le pôle Nord, et elle s'en trouve dévalorisée d'autant. Cependant, lorsqu'elle est interprétée correctement, elle offre un excellent point de référence pour juger la plupart des activités humaines. En terme de construction, elle implique que nous devons être extrêmement prudents en matière d'utilisation de ressources qui sont rares et ne peuvent pas être renouvelées, et que tout ce que nous fabriquons devrait être conçu pour durer ou être recyclé et réutilisé.

En outre, l'utilisation de combustibles fossiles devrait être réduite au minimum et la pollution sévèrement limitée.

Il ne devrait y avoir aucun impact toxique pour la santé humaine et aucune perturbation des activités quotidiennes des individus. Pour certains, l'utilisation de l'acier et du zinc pourrait sembler difficile à justifier si le principe Brundtland était rigoureusement appliqué.

Cependant, l'humanité ne prospérera pas si elle se contente d'éviter toute activité et de ne rien faire. Il existe d'énormes problèmes de famine et de pauvreté dans le monde et il est nécessaire d'améliorer les infrastructures pour prévenir les catastrophes naturelles comme les inondations et les tremblements de terre. Le développement durable implique de faire face à ces questions sans endommager la planète et utiliser de manière égoïste des ressources qui ne seront plus disponibles pour nos enfants ou leurs descendants.

Ces problèmes représentent donc de tels défis que des mesures radicales seront requises pour les relever. Dans les pays développés et riches, nous sommes présomptueux et exigeons d'avoir tout ce que nous voulons lorsque nous le voulons. Cela signifie que les ressources ne sont pas utilisées de façon durable et que l'Occident consomme beaucoup plus que sa juste part des ressources du monde.



### Mesurer notre impact

Une façon de mesurer notre impact repose sur une méthode appelée « mesure de l'empreinte écologique ». Cette méthode mesure la superficie des terres et les volumes de ressources nécessaires pour soutenir une activité donnée (<http://www.wwf.org>). Selon l'Indice Living Planet Index 2004 du WWF, un tiers des richesses naturelles de la Terre a disparu depuis 1972. Cela inclut la faune et la flore, les forêts, les rivières et les mers. Il est impératif d'adopter de toute urgence des mesures pour faire cesser la destruction et inverser les dommages causés par l'humanité, et l'on ne relèvera pas ce défi en se contentant d'adopter une attitude de gestion ordinaire.

Ainsi, nous sommes tenus d'examiner toutes les formes d'activité humaine et industrielle et d'étudier leur impact sur le cycle de vie et leur empreinte écologique. Cela ne signifie pas que nous devrions retourner vivre dans les cavernes et gagner notre pain du travail de la terre, mais qu'il sera nécessaire de renoncer à de nombreux gaspillages et activités inutiles qui font partie de la culture moderne.

Les activités comme la construction des bâtiments devront utiliser les matériaux ayant un faible impact, éventuellement des matériaux renouvelables, qui peuvent compenser les émissions de carbone résultant de la production d'autres matériaux. Le verre est un bon exemple de matériau essentiel à la construction de bâtiments à faible impact écologique, car il permet d'absorber l'énergie solaire en utilisant une conception solaire passive et laisse pénétrer la lumière naturelle, réduisant ainsi la quantité d'énergie utilisée par l'éclairage artificiel. Néanmoins, bien que le verre soit fabriqué à partir d'un matériau très largement disponible, sa production exige de grandes quantités d'énergie.

Il est pratiquement impossible de construire ou de rénover des bâtiments sans avoir un certain impact sur l'environnement. On parle beaucoup de bâtiments à « bilan carbone zéro », mais la construction de tels bâtiments exige encore aujourd'hui de vastes quantités de ressources et d'énergie. Dans la plupart des cas, ces ressources ne sont pas renouvelables et ne peuvent donc pas être remplacées. La société doit prendre des décisions éclairées sur la façon dont ces ressources non renouvelables doivent être utilisées, et nous devons devenir de plus en plus efficaces dans l'exploitation des ressources et responsables vis-à-vis de la protection de la planète contre la pollution et les déchets.

Alors que l'énergie issue des combustibles fossiles se fait rare et devient de plus en plus chère, nous devons trouver des alternatives et utiliser une énergie limitée pour créer des matériaux et des produits qui soient réellement durables, en ce sens qu'ils devront satisfaire nos besoins à très long terme.

### L'utilisation de l'acier

L'acier est un élément vital de la construction moderne, tant pour les bâtiments que pour les systèmes de transport. Bien que pour certaines applications, d'autres matériaux, comme le béton et le bois, puissent remplacer l'utilisation de l'acier, celui-ci constitue souvent l'option de prédilection, et ce pour plusieurs raisons. En particulier, l'acier peut être recyclé et utilisé à maintes reprises et, par conséquent, cela réduit d'autant la nécessité d'utiliser de nouveaux matériaux. Malheureusement, il est sujet à la corrosion lorsqu'il se trouve exposé aux éléments, et doit donc être protégé, soit par la peinture ou l'utilisation d'alliages (par exemple, l'acier inoxydable), soit par la galvanisation. Tant que la société moderne continuera à utiliser l'acier dans les bâtiments et les infrastructures, ce dernier devra être protégé pour assurer sa durabilité.

L'acier galvanisé est tellement répandu dans notre environnement que nous le remarquons à peine, mais il est utile de fournir des informations plus étoffées sur la nature de la galvanisation, l'utilisation de l'acier galvanisé et les travaux engagés pour évaluer et minimiser son impact sur l'environnement. Tout comme nous utiliserons inévitablement le verre dans les bâtiments durables, nous ferons appel à l'acier, mais son utilisation doit être justifiée au regard des efforts engagés pour en réduire les impacts négatifs sur l'environnement. Cela implique donc un examen attentif de tous les aspects de la production de l'acier, de l'extraction du minerai de fer jusqu'à son recyclage, en passant par son transport, sa fonte et son traitement.

Ce guide est consacré à un aspect spécifique de l'utilisation d'acier, à savoir sa protection contre la corrosion par la galvanisation. La galvanisation nécessite l'utilisation d'un autre métal, le zinc, qui doit également être extrait, traité et transporté, et nous devons déterminer s'il s'agit là de la meilleure option, dans une perspective environnementale, pour protéger l'acier contre les intempéries.

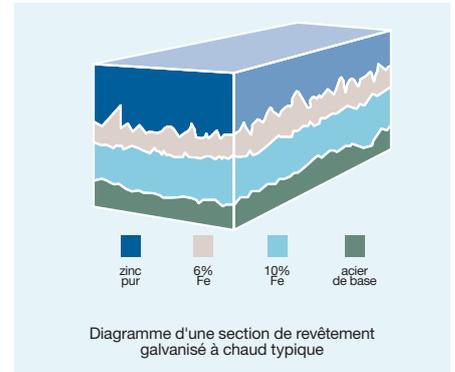
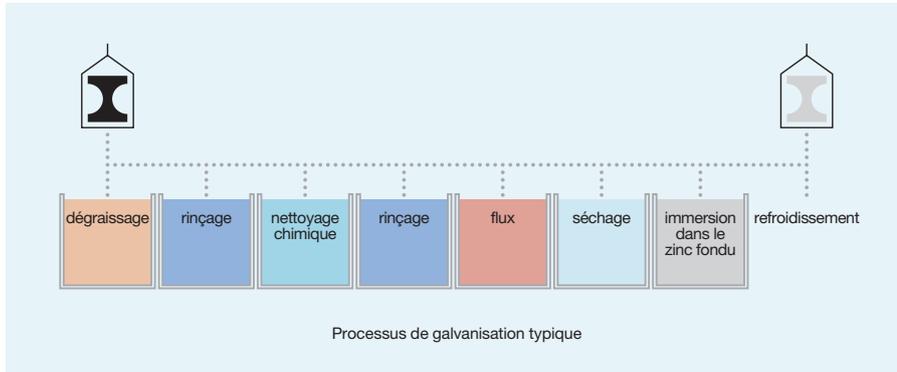


## UN PONT TROP LOIN

Le pont Maosi sur la rivière Po  
(voir détails en page 38)

## SECTION UN

### TITRE ACIER GALVANISÉ : CARACTERISTIQUES



L'acier galvanisé est tout autour de nous et joue un rôle essentiel dans notre quotidien. Il est employé dans la construction, les transports, l'agriculture, la transmission d'énergie et partout où une bonne protection contre la corrosion et une longue durée de vie sont essentielles. Par exemple, il nous aide à éclairer nos routes (candélabres d'éclairage) et achemine l'électricité vers nos maisons, nos hôpitaux et nos bureaux (pylônes à haute tension). De très nombreuses autres industries importantes font appel à la galvanisation.

Une grande proportion de l'acier galvanisé employé en Europe est utilisée dans la construction. Toutefois, il s'agit d'un processus tout à fait polyvalent qui permet de protéger des articles de tailles très diverses allant des écrous et des boulons jusqu'aux grandes sections de charpente.

La galvanisation est un procédé de protection de l'acier contre la corrosion, dans lequel l'acier est revêtu de zinc pour empêcher l'apparition de rouille. Le procédé consiste à tremper des composants en fer ou en acier nettoyés dans du zinc en fusion (habituellement à une température d'environ 450°C). Une série de couches d'alliages de zinc et de fer se forme par réaction métallurgique entre le fer et le zinc, créant une liaison chimique forte entre l'acier et le revêtement. La durée typique d'immersion est d'environ quatre ou cinq minutes, mais elle peut être plus longue pour les articles lourds ayant une forte inertie thermique ou lorsque le zinc doit pénétrer dans des cavités internes. Au moment du retrait du bain de galvanisation, une couche de zinc en fusion est déposée sur la couche d'alliage. En refroidissant, cette dernière présente souvent l'aspect brillant associé aux produits galvanisés. En réalité, il n'y a pas de démarcation entre l'acier et le zinc, mais une transition progressive à travers une série de couches d'alliages qui assurent la liaison métallurgique. Les conditions dans l'usine de galvanisation, comme la température, l'humidité et la qualité de l'air, n'affectent pas la qualité du revêtement galvanisé.

#### Le zinc protège l'acier

L'une des caractéristiques les plus importantes du zinc est sa capacité à protéger l'acier contre la corrosion. La durée de vie de l'acier augmente considérablement lorsqu'il bénéficie d'un revêtement de zinc.

Aucun autre matériau n'offre une protection aussi efficace et économique pour l'acier. Lorsqu'il est laissé sans protection, l'acier se corrode dans pratiquement tous les environnements extérieurs. Les revêtements de zinc préviennent la corrosion de l'acier de deux manières - en formant une barrière physique et par protection électrochimique.

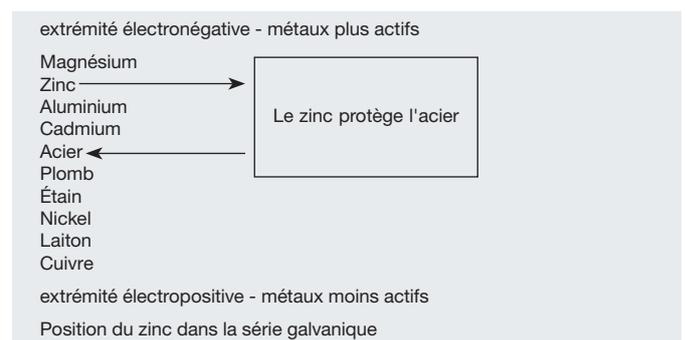
#### Barrière physique

Les couches de zinc forment une barrière métallique continue et imperméable empêchant l'humidité et l'oxygène d'atteindre l'acier. La surface métallique du zinc réagit avec l'atmosphère pour former une patine compacte et adhérente, insoluble dans l'eau de pluie. L'épaisseur type du revêtement peut varier de 45µm à 200µm.

Les recherches effectuées depuis de nombreuses années ont démontré que la durée de vie de cette barrière est proportionnelle à l'épaisseur de la couche de zinc<sup>1</sup>. En d'autres termes, un doublement de l'épaisseur du revêtement permettra d'en doubler la durée de vie.

#### Protection électrochimique

Le zinc est également capable d'assurer la protection cathodique de l'acier. Lorsque l'acier nu est exposé à l'humidité, comme sur un bord de coupe ou une section endommagée, une cellule galvanique se forme. Le zinc présent autour du point d'endommagement se corrode, plutôt que l'acier, et forme un produit de corrosion qui précipite à la surface de l'acier et la protège. Il ne se produit aucune corrosion latérale aux points d'endommagement.



# LA GALVANISATION EST UNE MÉTHODE UNIQUE DE PROTECTION DE L'ACIER PAR LE ZINC

Le zinc est très largement utilisé dans la construction pour la protection de l'acier. Il est aussi employé sous forme de feuilles laminées de zinc métallique pour les applications de toiture et de bardage.

Les revêtements de zinc décrits dans le présent guide sont les suivants :

- **La galvanisation après fabrication**

désigne l'immersion de pièces en acier dans un bain de zinc en fusion pour former un épais revêtement de zinc lié métallurgiquement à l'acier. Il s'agit là des revêtements les plus durables et les plus appropriés aux environnements extérieurs, aux conditions d'utilisation difficiles et aux applications nécessitant une haute durabilité.

Il y a beaucoup d'autres façons d'appliquer des revêtements de zinc sur l'acier. Il est important d'en comprendre les différences - dans la mesure où ils présentent différentes caractéristiques de durabilité et de compatibilité avec des applications spécifiques. Dans le bâtiment, les revêtements de zinc métalliques les plus communs sont :

- **L'acier galvanisé en continu**

présente une mince couche de zinc appliquée en aciérie sur de l'acier en feuilles ou en bandes minces. Il est ensuite utilisé dans la fabrication de produits où l'acier est plié ou formé après application du revêtement (par exemple bardages, carrosseries, machines à laver).

- **Les revêtements de zinc par projection thermique**

sont appliqués lorsque le zinc est passé, sous forme de poudre ou de fil, au chalumeau pour pulvériser des gouttelettes de zinc en fusion sur une surface en acier.

- **Les revêtements de zinc électrolytiques**

sont de minces couches de zinc appliquées par électrolyse. Elles ne présentent aucune liaison métallurgique entre le zinc et l'acier. Elles ne conviennent habituellement qu'aux applications en intérieur ou à courte durée de vie.

- **Les composants en acier shérardisé**

sont recouverts d'une mince couche d'alliages fer-zinc produits en faisant tourner de petites pièces dans un baril de poudre de zinc à 380°C.



## SECTION DEUX

### TITRE UTILISATION DE L'ACIER GALVANISÉ DANS LA CONSTRUCTION DURABLE

#### Valeurs types pour la galvanisation d'un kilogramme d'acier conformément à la norme EN ISO 1461

Énergie brute	3.4 – 5.3 MJ
Potentiel de réchauffement climatique	0,1 – 0,33 Kg d'équivalent CO <sub>2</sub>

Sur la base des études d'ECV (Etude du Cycle de Vie) existantes.  
Les valeurs excluent l'impact de production de l'acier et les compensations résultant du recyclage.

L'attention portée à la durabilité des structures et composants en acier présente d'importantes conséquences environnementales, économiques et sociales. Certaines d'entre elles sont moins évidentes que d'autres.

Le coût économique total de la corrosion a été étudié dans plusieurs pays<sup>2, 3</sup>. Il est généralement admis qu'il peut atteindre jusqu'à 4 % du produit intérieur brut.

La durabilité à long terme, rendue possible par la galvanisation, s'obtient contre un coût environnemental relativement faible en termes de consommation d'énergie et autres impacts généralement appropriés, notamment lorsqu'on le compare à la valeur énergétique de l'acier qu'il protège.

Un examen des études de cycle de vie disponibles réalisé par Life Cycle Engineering (Turin, Italie) a révélé les paramètres types dans le tableau ci-dessus. Les fourchettes correspondent aux variations dans les types de composants en acier, les facteurs géographiques et la méthodologie d'étude.

Ces impacts ont été mesurés sur un cycle de vie complet, de l'extraction des matières premières jusqu'à leur transport vers le client. Il a été possible d'utiliser cette connaissance des impacts environnementaux de la protection contre la corrosion par galvanisation pour comparer les conséquences des différentes options de systèmes de protection anticorrosion.

Plusieurs études ont démontré les importants coûts économiques et environnementaux associés à l'entretien répété des structures en acier peintes<sup>4</sup>. Il est possible de réduire sensiblement cet impact par un investissement initial dans une protection à long terme.

Le manque d'attention portée à une protection optimale contre la corrosion peut laisser un legs économique particulièrement lourd en termes de dépenses d'entretien répétées.

Dans les projets de logements sociaux, ces coûts d'entretien futurs seront à la charge des autorités locales. Dans les projets d'infrastructures publiques, l'utilisation de l'acier galvanisé se traduit par une diminution des budgets d'entretien, et libère ainsi à d'autres fins les fonds publics correspondants.

Cette section illustre la manière dont l'acier galvanisé peut être utilisé pour améliorer la durabilité des produits de construction et des bâtiments.

Des exemples plus détaillés, ainsi que quelques études de cas illustrant l'utilisation de l'analyse du cycle de vie en vue d'évaluer les conséquences environnementales des différents systèmes de protection anticorrosion, sont également présentés à la section 6.

L'UTILISATION DE L'ACIER GALVANISÉ SE TRADUIT PAR UNE DIMINUTION DES COÛTS FINANCIERS ET ENVIRONNEMENTAUX DE L'ENTRETIEN.



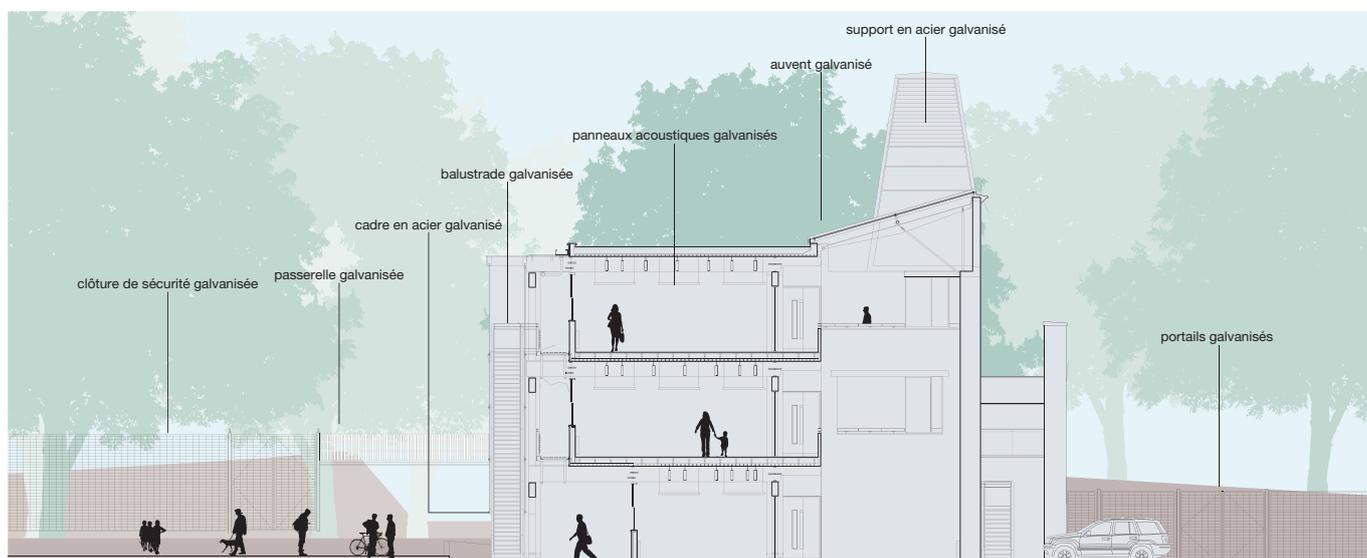
**MAISON À KEREMMA**

Maison individuelle respectueuse de son environnement



**LOGEMENT À UTILISATION EFFICACE DE L'ÉNERGIE**

Logement solaire novateur, Freiburg, Allemagne.



**UTILISATION GÉNÉRALISÉE DE LA GALVANISATION**

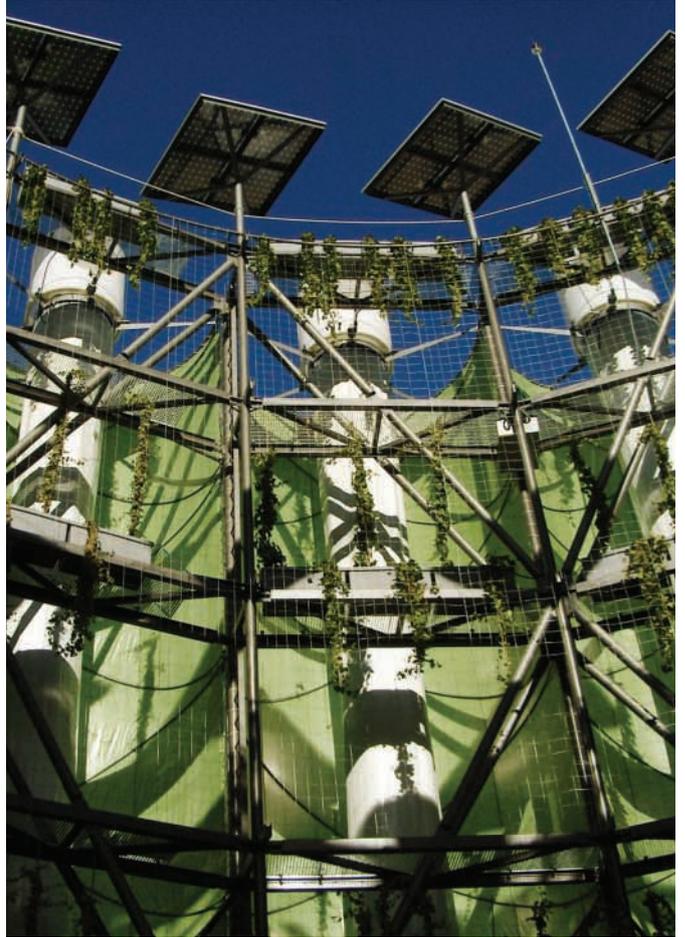
## L'ACIER N'EST JAMAIS BIEN LOIN D'UNE USINE DE GALVANISATION

On dénombre plus de 650 usines de galvanisation après fabrication en Europe - chacune apportant une contribution importante en termes de production locale et d'emploi.

Les usines sont situées à proximité des sites de transformation et de fabrication de l'acier afin de minimiser le coût économique et environnemental du transport. Les clients de plus petite envergure sont habituellement desservis par des véhicules qui regroupent les commandes de plusieurs clients à l'occasion d'un même voyage et livrent les produits finis de la même manière. Dans de nombreux cas, les produits en acier galvanisé sont livrés directement aux chantiers de construction depuis l'usine de galvanisation.



Cette carte indique le nombre d'usines de galvanisation dans les pays affiliés à l'EGGA



#### ECOBOULEVARD DE VALLECAS, MADRID

—  
L'Eco-boulevard de Vallecas a été conçu par Ecosistema Urbano ([www.ecosistemaurbano.com](http://www.ecosistemaurbano.com)) et repose sur trois approches de réaménagement d'un espace urbain existant - une plus grande densité boisée, la réduction et le déplacement asymétrique de la circulation et diverses autres interventions superficielles qui reconfigurent la situation existante. Trois arbres virtuels ont été installés pendant qu'on laisse aux arbres naturels le temps de grandir. Ils fonctionnent à l'énergie solaire et reposent sur une structure légère et flexible en acier galvanisé qui peut facilement être démontée et réutilisée ailleurs une fois que le processus de revitalisation de cet espace public ne sera plus nécessaire.

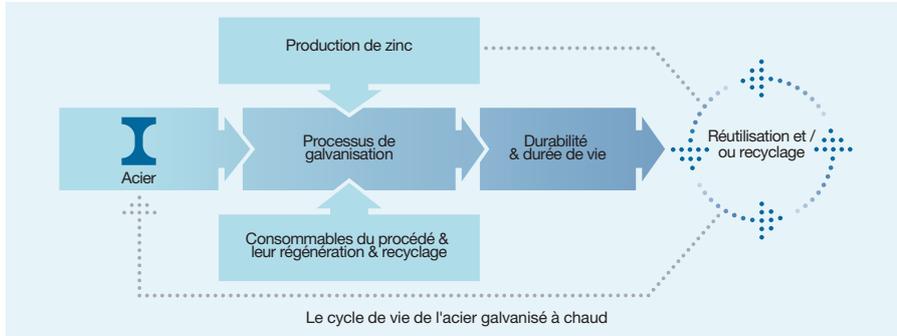


#### HOUSE BOATS AU BOURGET DU LAC

—  
Construction de bureaux en zone inondable.

## SECTION TROIS

### TITRE ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX DE L'ACIER GALVANISÉ



#### PROCÉDÉ DE GALVANISATION

La galvanisation s'effectue toujours sur un site industriel qui regroupe toutes les étapes du processus. L'acier entre d'un côté et le produit galvanisé fini sort de l'autre. Il existe de nombreuses usines de galvanisation dans la plupart des pays, et l'acier n'a pas besoin de parcourir de grandes distances ; les usines de galvanisation de proximité permettent de minimiser les coûts de transport et l'impact environnemental. Le principal consommable du processus, le zinc, est utilisé de manière très efficace. L'opération d'immersion assure que tout zinc qui n'est pas déposé sur l'acier réintègre le bain de galvanisation. Le zinc qui s'oxyde à la surface est éliminé sous forme de cendres et aisément recyclé (parfois sur le site même). Les mattes déposées au fond du bain sont périodiquement enlevées et présentent une forte valeur marchande pour le recyclage.

#### CONSOMMATION D'ÉNERGIE DU PROCÉDÉ

Le chauffage des bains de galvanisation nécessite de l'énergie, habituellement du gaz naturel. Dans certains pays, les bains sont chauffés à l'électricité ou au mazout. Même si l'industrie de la galvanisation n'est pas considérée comme l'un des secteurs les plus gourmands en énergie, elle a engagé d'importants efforts pour maîtriser sa consommation énergétique. Dans certains pays, l'industrie de la galvanisation s'est fixé des objectifs en matière d'efficacité énergétique et encourage les améliorations de gestion de l'énergie et l'utilisation des nouvelles technologies pour atteindre ces objectifs.

Quelques exemples de ces avancées :

- Technologies de brûleur améliorées pour un meilleur rendement énergétique
- Utilisation de couvercles de bain plus efficaces (durant les interventions d'entretien et/ou les temps d'arrêt)
- Plus grande utilisation des déperditions de chaleur pour chauffer les réservoirs de prétraitement

#### CONTRÔLE DES ÉMISSIONS

Les émissions dans l'usine sont soigneusement contrôlées afin d'éviter des perturbations ou les problèmes pour les riverains.

Les usines de galvanisation sont réglementées par la directive européenne sur la pollution intégrée, la prévention et le contrôle<sup>5</sup> ou directive IPPC. L'industrie a collaboré à la publication d'une note de référence sur les meilleures pratiques (BREF) de galvanisation à chaud. La principale exigence de la BREF est la captation des particules non-dangereuses pendant le trempage. Ces particules sont ensuite filtrées au moyen d'épurateurs ou de sacs filtres.

#### RÉGÉNÉRATION ET RECYCLAGE DES SOLUTIONS DE TRAITEMENT

Les étapes de prétraitement du processus sont principalement destinées au nettoyage des articles en acier. Les consommables du processus, comme l'acide chlorhydrique et les solutions de flux, suivent tous d'importantes procédures de recyclage et/ou régénération.

Par exemple :

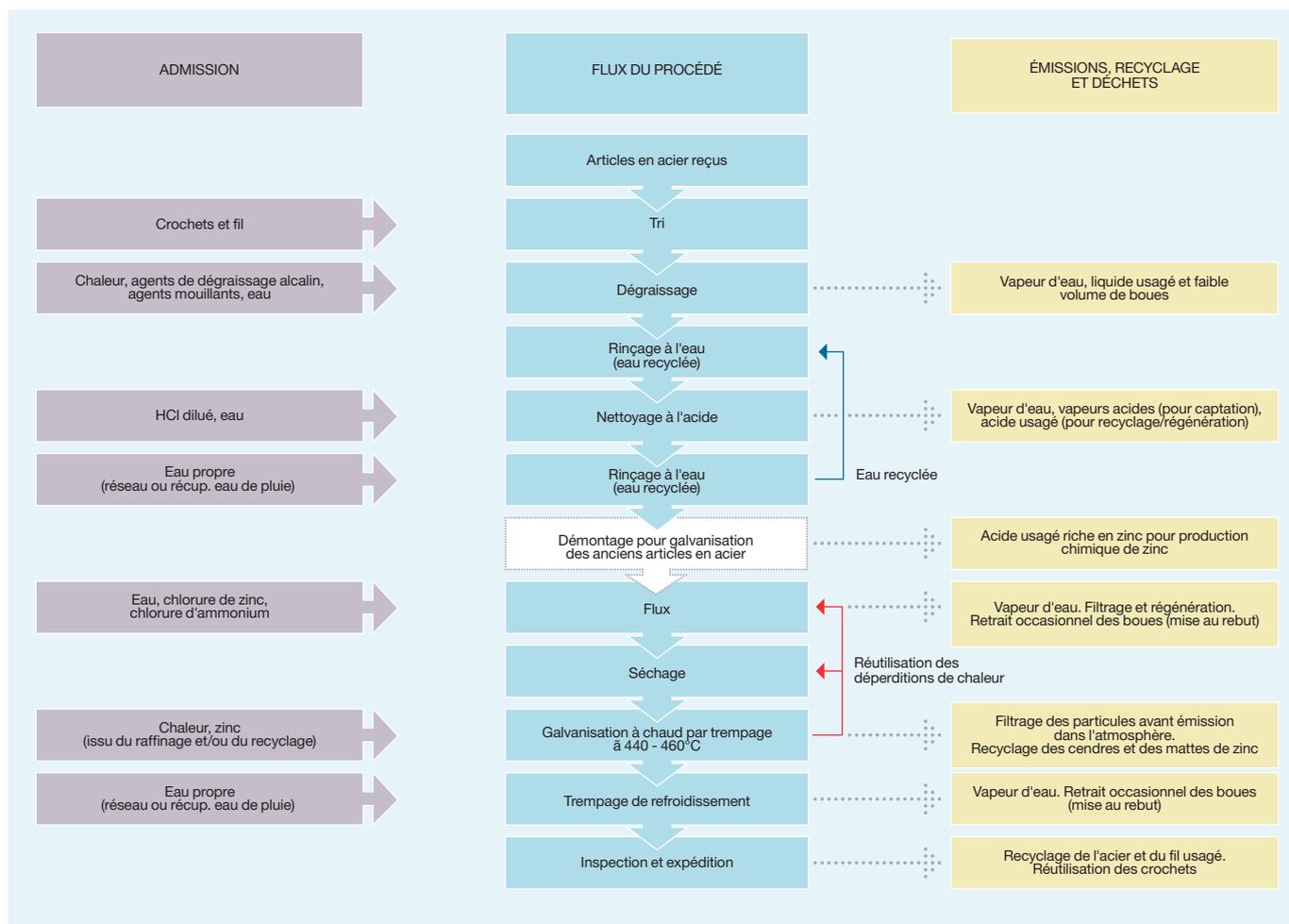
- Les solutions d'acide chlorhydrique usagées sont employées pour la production de chlorure de fer destiné au traitement des eaux usées urbaines. De nombreuses usines éliminent le fer et le zinc et recyclent l'acide régénéré dans les réservoirs de prétraitement.
- La surveillance et l'entretien optimisés des réservoirs de flux signifient que ces derniers sont rarement mis au rebut et que seules de petites quantités de boues nécessitent une élimination périodique. Le recyclage des flux en circuit fermé est utilisé dans de nombreuses usines.
- Des produits de dégraissage acides et biologiques efficaces à température ambiante ont été développés.

#### UTILISATION DE L'EAU

Les usines de galvanisation utilisent des volumes d'eau relativement faibles par rapport aux autres technologies de revêtement<sup>6</sup>. En fait, il est très rare de voir une usine de galvanisation décharger des eaux usées. Les eaux usagées produites peuvent être traitées et réintégrer le processus, avec de très faibles volumes de solides stables mis au rebut.

Certaines usines sont même parvenues à éliminer l'utilisation d'eau du réseau en récupérant l'eau de pluie tombant sur le site. L'eau de pluie peut être récupérée des gouttières et stockée pour utilisation ultérieure.

# LES CONSOMMABLES DES DIFFÉRENTES ÉTAPES DU PROCÉDÉ SUIVENT TOUS D'IMPORTANTES PROCÉDURES DE RECYCLAGE ET/OU RÉGÉNÉRATION.



## LE PROCÉDÉ DE GALVANISATION

Flux d'admission, émissions, déchets et recyclage.



De faibles volumes d'eau sont utilisés pour faire l'appoint dans les réservoirs de rinçage et autres bacs du processus. Dans certains cas, il est possible de satisfaire tous les besoins en eau du processus en récupérant l'eau de pluie qui tombe sur le site. L'eau est captée par le système de gouttières et stockée pour utilisation ultérieure.



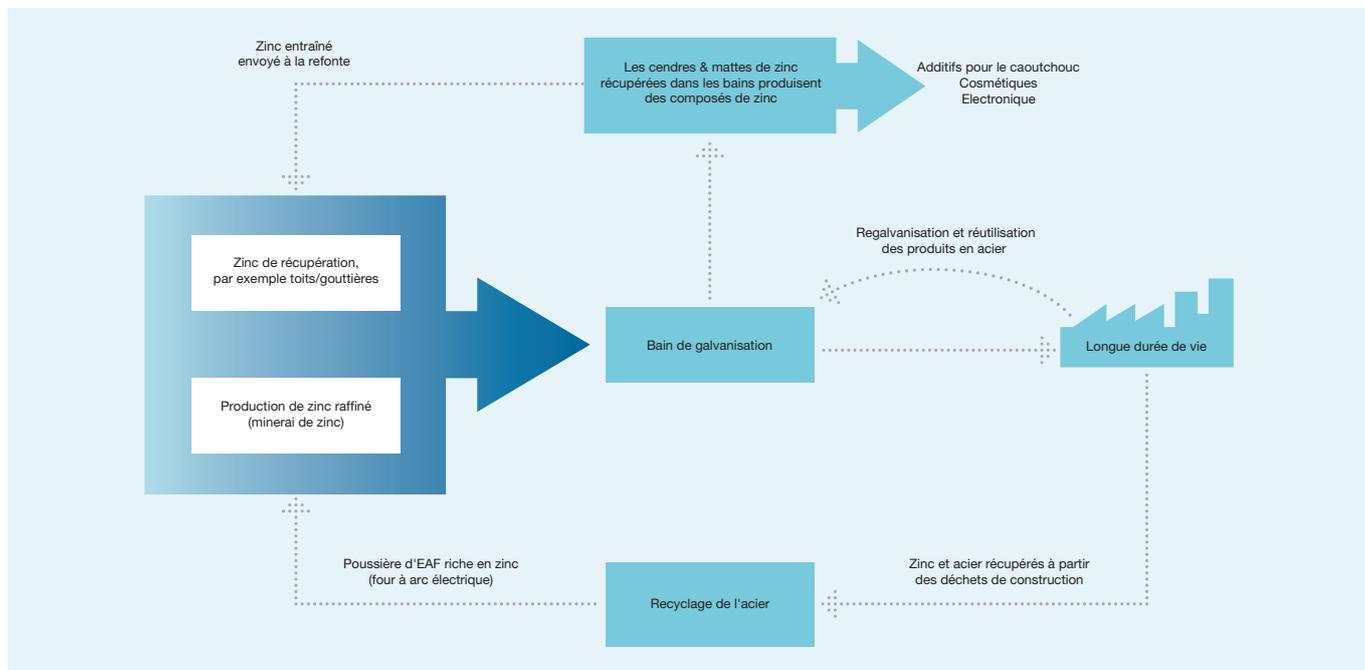
Les cendres de zinc et mattes produites dans le bain de galvanisation peuvent être entièrement recyclées, soit sur site, soit chez des recycleurs spécialisés. Certaines usines utilisent de petits fours pour récupérer le zinc métallique dans les cendres de traitement. Ce zinc métallique peut être directement renvoyé au bain de galvanisation sans quitter le site.



Les fours de galvanisation modernes sont contrôlés par ordinateur et sont extrêmement efficaces.



Les déperditions de gaz de combustion sont également utilisées pour chauffer des réservoirs de prétraitement ou sécher l'acier nettoyé avant immersion dans le bain de galvanisation. Parmi les autres progrès réalisés dans le contrôle des processus et l'efficacité, citons la régénération en cours de processus des solutions et des acides de flux.



Le flux du zinc recyclé dans le processus de galvanisation et en fin de vie.

## UTILISATION DU ZINC RECYCLÉ

Le zinc utilisé dans le processus de galvanisation provient principalement de deux sources :

- du zinc raffiné, issu d'un mélange de minerai extrait et de matières premières recyclées. On estime à 10-15 % la teneur du zinc raffiné en matières premières recyclées.
- les galvanisateurs sont également d'importants utilisateurs de zinc de 2ème fusion - c'est-à-dire du zinc de récupération issu, par exemple, de toits de zinc qui ont été nettoyés et refondus en lingots.

Ainsi, le zinc raffiné acheté par les usines de galvanisation contient une forte proportion de zinc recyclé et il n'est pas rare qu'elles achètent du zinc entièrement recyclé pour compléter les volumes de zinc raffiné.

La production d'un Kg de zinc raffiné (à partir du minerai) exige une énergie nette de 50MJ, même si seuls 20MJ de cette énergie sont directement utilisés dans la production du zinc<sup>7</sup>. La production du zinc de 2ème fusion (refondu) utilisé par les galvanisateurs nécessite seulement 2,5MJ d'énergie<sup>8</sup>.

## RECYCLAGE DES RÉSIDUS DE TRAITEMENT

Durant le processus de galvanisation, le zinc qui ne forme pas de couche sur l'acier reste dans le bain pour réutilisation ultérieure. On n'observe donc pas la perte de matériaux qui peut se produire durant l'application par pulvérisation des autres types de revêtements. Les cendres de zinc (provenant de l'oxydation superficielle du bain de galvanisation) et les mottes (un mélange de zinc et de fer qui s'accumule au fond du bain de galvanisation) sont entièrement récupérées. Tout le zinc métallique présent dans les cendres brutes est directement recyclé pour un usage ultérieur, souvent dans le même processus de galvanisation. Les cendres fines et les mottes sont alors vendues pour fabriquer de la poussière de zinc et des composés destinés à diverses applications, comme les additifs pour le caoutchouc, les cosmétiques et les composants électroniques.

## RÉUTILISATION DES PIÈCES EN ACIER GALVANISÉ

De nombreux produits en acier galvanisé peuvent être démontés, re-galvanisés et réutilisés. Par exemple, les glissières de sécurité d'autoroutes sont souvent retirées et remplacées à l'occasion des opérations routinières d'entretien et de resurfaçage. Les glissières retirées sont renvoyées à l'usine de galvanisation pour retraitement, puis sont à nouveau utilisées dans des applications similaires. L'acide riche en zinc qui est produit lors du retrait de la couche de zinc restante est utilisé pour la production de composés de zinc destinés à l'industrie chimique.

## RECYCLAGE DES PIÈCES EN ACIER GALVANISÉ

L'acier galvanisé peut être facilement recyclé avec les autres déchets d'acier dans les fours à arc électrique (EAF) utilisés pour la production de l'acier. Le zinc se volatilise dès le début du processus et s'accumule dans la poussière de l'EAF, qui est alors recyclée dans des équipements spécialisés et réintègre souvent la production de zinc raffiné.

En 2006, l'industrie sidérurgique européenne (UE27) a produit 1 290 750 tonnes de poussière d'EAF, qui contenaient 296 872 tonnes de zinc (soit 23 %). 93 % de ce zinc (276 920 tonnes) ont été recyclés. (Source : Gesellschaft für Bergbau, Metallurgie, Rohstoff - und Umwelttechnik, Allemagne)

Les produits en acier galvanisé ont souvent une très longue durée de vie utile - de nombreux ponts en acier très anciens sont encore utilisés aujourd'hui. C'est pour cette raison que l'on connaît actuellement une pénurie de ferraille, et le développement continu des infrastructures devra reposer sur la production de minerai de fer primaire. Il en va de même pour de nombreux autres métaux utilisés dans les applications ayant une longue durée de vie utile.

L'acier est le matériau de construction le plus recyclé au monde, et environ 40 % de la production d'acier total repose sur le recyclage de la ferraille. L'acier utilisé dans le bâtiment présente un taux de recyclage en fin de vie très élevé. Par exemple, en Grande-Bretagne, 87 % de l'acier de construction sont recyclés, 10 % sont réutilisés et seulement 3 % sont mis au rebut<sup>9</sup>.



## DURÉE DE VIE

La galvanisation à chaud conforme à l'EN ISO 1461 assure l'application d'une couche de zinc pour protéger l'acier. Ce processus est important pour impartir à l'acier une plus grande longévité, notamment dans les environnements extérieurs. Les revêtements plus minces de zinc ne seront pas aussi durables, car la durée de vie d'une couche de zinc est directement proportionnelle à son épaisseur.

La résistance du zinc à la corrosion dépend essentiellement de la formation d'un film protecteur (la patine) à sa surface. Dans le cas de la corrosion atmosphérique, les contaminants atmosphériques affectent la nature et la durabilité de cette pellicule. Le contaminant le plus important qui affecte le zinc est le dioxyde de soufre ( $\text{SO}_2$ ), et c'est la présence de  $\text{SO}_2$  qui détermine en grande partie le taux de corrosion atmosphérique du zinc.

Il est largement établi que les niveaux de  $\text{SO}_2$  dans l'atmosphère ont diminué de manière significative dans la plupart des pays au cours des dernières décennies.

Le lien entre la durabilité du zinc et les niveaux de  $\text{SO}_2$  dans l'atmosphère a été illustré très clairement pour la Suède. Des données analogues ont été enregistrées dans plusieurs autres pays<sup>10</sup>.

Cette tendance à la baisse et les améliorations dans la performance du zinc accroissent considérablement la contribution de l'acier galvanisé au développement durable en offrant, sans coûts supplémentaires, des structures plus durables pour le logement, les infrastructures, les transports et de nombreuses autres applications.

Avec un taux de corrosion du zinc normalement inférieur à  $1\mu\text{m}$  par an dans la plupart des pays européens, un revêtement typique de  $85\mu\text{m}$  permettra d'obtenir de nombreuses décennies d'utilisation sans entretien (en milieu rural et urbain)<sup>11</sup>.

Pour les environnements plus agressifs, il est possible de réaliser des couches plus épaisses sur les pièces en acier structurel pour obtenir une augmentation proportionnelle de la durée de vie du revêtement.

## SECTION QUATRE

### TITRE

## LA MATIÈRE PREMIÈRE DE LA GALVANISATION : LE ZINC



### LA PRODUCTION DU ZINC

80 % des mines de zinc sont souterraines, 8 % sont de type à ciel ouvert, et le reste est une combinaison des deux. Il est rare que le minerai extrait soit assez riche pour être utilisé directement par les fonderies ; il a besoin d'être concentré. Le minerai de zinc contient 5-15 % de zinc. Pour concentrer le minerai, il est d'abord écrasé puis broyé pour permettre une séparation optimale des autres minéraux.

En règle générale, un concentré de zinc contient environ 55 % de zinc, généralement sous forme de sulfure de zinc. La concentration du zinc est habituellement effectuée à la mine pour minimiser les coûts de transport vers la fonderie.

Les concentrés de zinc sont ensuite cuits ou frittés pour convertir le sulfure de zinc en oxydes de zinc. Les oxydes de zinc subissent ensuite des traitements pyrométallurgiques, ou plus communément hydrométallurgiques pour produire le métal de zinc. Les produits les plus communs sont le zinc de haute qualité (99,95 %) et le zinc spécial de haute qualité (99,99 %).

### L'ENGAGEMENT DE L'INDUSTRIE PRODUCTRICE DE ZINC ENVERS LE DÉVELOPPEMENT DURABLE

Outre l'adoption de leur Charte de la durabilité en 2001, les membres de l'IZA (International Zinc Association) ont mis en forme un plan d'action pour aligner les activités de l'industrie sur les principes de la durabilité. Les éléments clefs de la stratégie de l'IZA en matière de durabilité consistent notamment à :

- évaluer les tendances futures et développer des indicateurs de durabilité du zinc
- développer et diffuser une compréhension fine de l'impact du zinc sur l'environnement et sa contribution essentielle à la santé humaine et à l'écosystème, reposant sur une évaluation scientifique appropriée des risques associés au zinc

- veiller à une utilisation efficace des ressources pour produire et recycler le zinc
- réduire la consommation énergétique de tous les processus le long de la chaîne de valeur
- contrôler les émissions de zinc provenant de sources ponctuelles ou diffuses
- assurer une production respectueuse des normes sociales et environnementales à travers le monde
- développer une politique des produits intégrée tout au long du cycle de vie du zinc

Des informations complémentaires sur la mise en œuvre de la stratégie de durabilité de l'IZA sont disponibles à l'adresse [www.zincworld.org/sustainable\\_development](http://www.zincworld.org/sustainable_development)

### LE ZINC ET LA SANTÉ

Tous les organismes vivants ont besoin de zinc - c'est un élément essentiel. La quantité de zinc présente dans la nature varie considérablement, c'est pourquoi les organismes vivants possèdent des processus naturels qui régulent l'assimilation du zinc. Une carence se produit si la quantité de zinc disponible est insuffisante pour répondre aux besoins d'un organisme. Cela peut se produire dans la nature comme dans le cas de la nutrition humaine. Il a été démontré que près de la moitié de la population mondiale était exposée au risque de carence en zinc, et des efforts sont engagés pour accroître la consommation de zinc des enfants les plus défavorisés<sup>12,13</sup>.

Les déficiences en zinc dans les sols agricoles sont également courantes sur tous les continents et entraînent une réduction de productivité dans la culture et l'élevage<sup>14</sup>.

## TOUS LES ORGANISMES VIVANTS ONT BESOIN DE ZINC - C'EST UN ÉLÉMENT ESSENTIEL.



Le zinc renforce notre mémoire et nos capacités de réflexion en interagissant avec d'autres produits chimiques pour envoyer des messages au centre cérébral sensoriel. Il peut aussi réduire la fatigue et les sautes d'humeur.

Dans la mesure où le zinc est utilisé pour générer des cellules, il est particulièrement important pendant la grossesse, pour la croissance du fœtus au moment où les cellules se divisent rapidement.

Chez les femmes, le zinc peut contribuer à traiter les problèmes menstruels et à soulager les symptômes prémenstruels.

Le zinc est essentiel pour le goût et l'odorat, il est nécessaire au renouvellement des cellules de la peau et pour garder des cheveux et des ongles en bonne santé.

Nous l'utilisons dans le shampoing et les produits d'écran solaire.

Chez les hommes, il protège la prostate et aide à préserver la fertilité.

Il a un effet dynamisant... et nous permet de continuer à profiter d'un mode de vie sain et actif. Parmi toutes les vitamines et les minéraux, c'est le zinc qui présente l'effet le plus marqué sur notre précieux système immunitaire.

Le zinc s'est révélé efficace dans la lutte contre les infections et peut même réduire la durée et la sévérité du rhume commun.

Le zinc est essentiel pour l'activation de la croissance chez les nourrissons, les enfants et les adolescents.



### Les niveaux naturels de zinc dans l'environnement

Air (rural)	0,01 - 0,2 µg m <sup>3</sup>	Corps minéralisés	5 - >15%
Sols (général)	10 - 300 mg / kg de poids sec	Océans	0.001 - 0.06 µg/l
Roches basaltiques	28 - 240 ppm	Mers côtières/intérieures	0,5 - 1 µg/l
Roches granitiques	5 - 140 ppm	Rivières des plaines alluviales	5 - 40 µg/l
Schistes argileux et argiles	18 - 180 ppm	Rivières de montagne	< 10 µg/l
Grès	2 - 41 ppm	Grands lacs	0,09 - 0,3 µg/l (dissous)
Schistes noirs	34 - 1500 ppm	Cours d'eau dans les secteurs fortement minéralisés	200 µg/l

### LE ZINC DANS LA NATURE

Le zinc, à l'instar de tous les métaux, est un composant naturel de la croûte terrestre et un élément inhérent à notre environnement. Il est présent non seulement dans la roche et le sol, mais également dans l'air, l'eau et la biosphère – les plantes, les animaux et les êtres humains. Il est constamment transporté par la nature, dans un processus de cycle naturel. La pluie, la neige, la glace, le soleil et le vent érodent les roches et les sols qui contiennent du zinc. Le vent et l'eau transportent d'infimes quantités de zinc vers les lacs, les rivières et les mers, où il s'accumule sous la forme de sédiments ou est charrié encore plus loin. Les phénomènes naturels comme :

- les éruptions volcaniques
- les incendies de forêt
- les tempêtes de poussière
- les embruns maritimes

contribuent tous au cycle naturel du zinc<sup>15,16</sup>. Au cours de leur évolution, tous les organismes vivants se sont adaptés au zinc dans leur environnement et l'utilisent pour des processus métaboliques spécifiques. La quantité de zinc présente dans l'environnement naturel varie selon les endroits et les saisons. Par exemple, la quantité de zinc dans la croûte terrestre varie entre 10 et 300 milligrammes par kilogramme, et la teneur en zinc des cours d'eau varie entre moins de 10 microgrammes par litre et plus de 200 microgrammes. De la même manière, la chute des feuilles en automne entraîne une augmentation saisonnière des niveaux de zinc dans le sol et l'eau.

Chaque année, une rivière suédoise de taille moyenne charrie plus de dix tonnes de métaux jusqu'à la mer en raison de l'usure et du lessivage naturels de la roche-mère.

### LE ZINC DANS L'ENVIRONNEMENT

Bien que le zinc soit reconnu pour ses effets positifs pour l'homme et les écosystèmes, il est également important d'en éviter de trop fortes concentrations dans l'environnement. Les émissions industrielles de zinc ont régulièrement diminué au cours des dernières décennies.

Lorsque de fortes concentrations de zinc se présentent localement, par exemple dans les zones fortement minéralisées, la nature a une remarquable capacité d'adaptation. Elle possède également des mécanismes qui lui permettent d'emprisonner le zinc afin de réduire sa biodisponibilité. La biodisponibilité se définit comme « la quantité ou la concentration d'un produit chimique (métal) pouvant être absorbée par un organisme, créant ainsi un potentiel de toxicité, ou la concentration nécessaire à la survie » (Parametrix 1995).

Elle ne se limite toutefois pas à une fonction de la forme chimique de la substance. Au contraire, elle est largement influencée par les caractéristiques du milieu récepteur. Par conséquent, il convient de tenir compte d'autres facteurs tels que la dureté de l'eau et le pH.

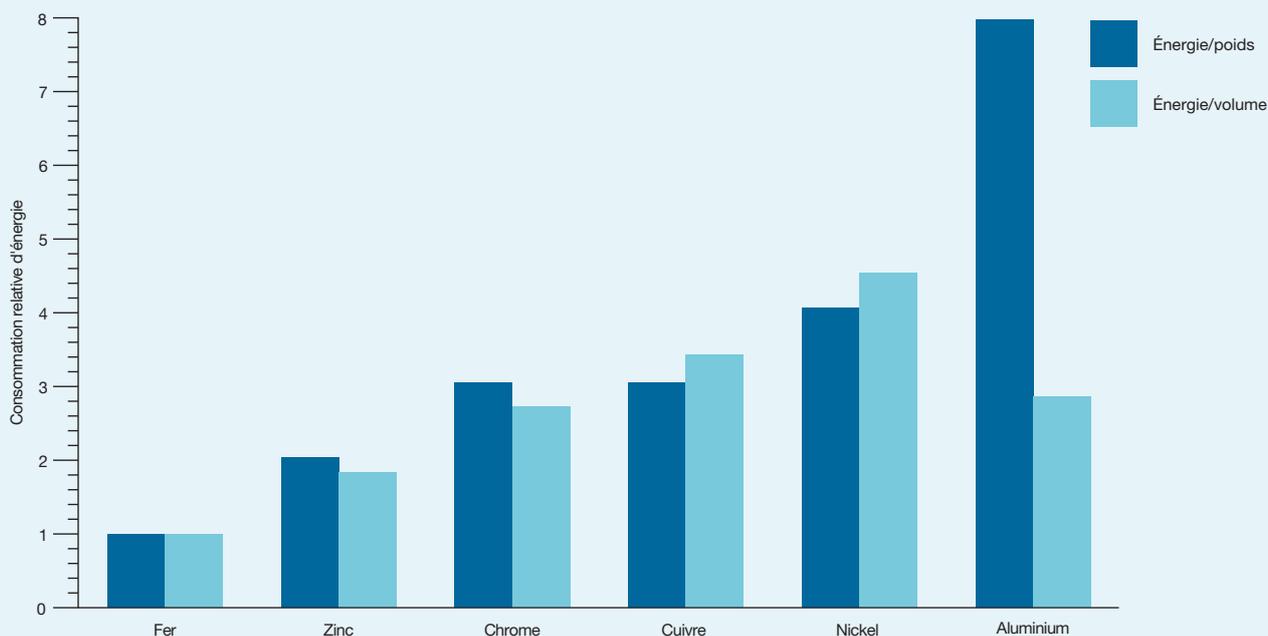
Ce sont ces effets de la biodisponibilité qui expliquent pourquoi les concentrations en zinc apparemment élevées des sols autour des grandes structures galvanisées, comme les pylônes de transport d'électricité, ne produisent pas les effets toxiques observés en laboratoire. Ces facteurs sont reconnus depuis longtemps comme importants, mais les connaissances scientifiques étaient insuffisantes pour permettre une prévision quantitative de la biodisponibilité du zinc dans un jeu donné de conditions.

Pour remédier à ce problème, l'industrie de la galvanisation a participé à des recherches poussées visant à développer des modèles prédictifs clairs de quantification de la biodisponibilité du zinc dans les eaux, les sédiments et les sols<sup>17</sup>.

Des études spécifiques ont été engagées sur la contamination des sols et des eaux résultants de la corrosion des produits galvanisés dans l'environnement extérieur. Pourtant, même dans les endroits où de nombreuses sources de zinc existent, comme le bord des routes (où le zinc peut provenir des débris de pneumatiques, de lubrifiants, ou de l'usure et de la dégradation de la chaussée), ces études ont montré que ces rejets ne provoquaient pas d'effets négatifs.

La division « sciences de la corrosion » de l'institut Royal de Technologie (KTH) de Stockholm a étudié l'impact environnemental des matériaux de toiture en zinc, en cuivre et inox<sup>18</sup>. Lorsqu'il pleut, les substances qui sont créées par la corrosion de la surface du toit sont libérées. Les quantités de métaux dégagées dépendent de plusieurs facteurs, tels que la quantité de polluants atmosphériques, la composition chimique et le pH de la pluie, ainsi que la durée et l'intensité des pluies.

Les métaux présents dans les eaux de ruissellement provenant du bord des toits se composent principalement d'ions libres. Les scientifiques du KTH ont constaté qu'une fois que l'eau avait pénétré dans le sol ou avait été en contact avec du béton ou du calcaire, plus de 96 % de sa teneur totale en métal avaient été éliminés. La plupart des métaux forment très rapidement des liaisons chimiques au contact du sol, et les métaux qui restent dans l'eau ont une faible biodisponibilité, et présentent donc un faible risque d'effets sur l'environnement.



Bien que seule une faible quantité de zinc soit utilisée pour conserver l'énergie incorporée dans l'acier, une considération importante pour le cycle de vie de la galvanisation est l'énergie utilisée pour produire le métal de zinc.

L'énergie utilisée pour la production électrolytique de zinc se décompose en environ 7 % pour l'exploitation minière et la transformation des minéraux, 89 % pour l'électrolyse et 4 % pour le coulage.

L'Agence suédoise pour la protection de l'environnement a comparé l'importance relative des besoins en énergie des métaux de base communs et a constaté que, à l'exception du fer (matière première de base de l'acier), c'est le zinc qui utilise le moins d'énergie, tant en termes de poids que de volume par unité<sup>19</sup>.

Utilisation de l'énergie dans la production primaire (raffinée) de divers métaux de base en termes de poids et de volume. L'utilisation de l'énergie pour le fer/l'acier est fixée à 1 dans les deux cas.

(Source : Agence suédoise pour la protection de l'environnement)



## LE RECYCLAGE DU ZINC

Le zinc est un métal non ferreux naturellement recyclable qui peut être réutilisé indéfiniment sans aucune perte de propriétés physiques ou chimiques. À l'heure actuelle, environ 70 % du zinc provient du raffinage primaire des minerais de zinc (y compris 10–15% issus de sources recyclées) et environ 30 % directement du zinc recyclé (soit 80 % du zinc disponible pour le recyclage). Le taux de recyclage continue à augmenter à mesure que la technologie s'améliore. La longue durée de vie des produits en acier revêtus de zinc dans le bâtiment rend leur émergence dans les flux de déchets difficile à prévoir et à modéliser, et des travaux complémentaires seront nécessaires dans ce domaine.

## LES RÉSERVES DE ZINC

Le zinc est le 27<sup>e</sup> élément le plus commun de la croûte terrestre. Le monde est naturellement riche en zinc. Un simple mille cubique d'eau de mer contiendrait jusqu'à 1 tonne de zinc. On estime que le premier kilomètre et demi de la croûte terrestre contient 224 000 000 millions de tonnes de zinc pour la partie souterraine, la portion sous-marine renfermant 15 millions de tonnes supplémentaires. Ces estimations, toutefois, n'indiquent pas s'il est ou non économique, ou acceptable pour l'environnement, d'exploiter ces ressources.

Les réserves de zinc - comme celles de toutes les ressources naturelles - ne correspondent pas à des quantités fixes stockées dans la nature. Elles sont déterminées par la géologie et l'interaction de facteurs économiques, technologiques et politiques. Le terme "réserves" désigne la partie des ressources qui a été cartographiée et mesurée et qui peut être exploitée dès maintenant ou dans l'avenir.

Ainsi, ces réserves reflètent l'état des connaissances, la technologie et la valeur du zinc à un moment donné. Ces ressources naturelles sont de plus en plus souvent complétées par la disponibilité du zinc recyclé. Les réserves vérifiées de zinc ont augmenté de manière significative depuis les années 1950, à mesure que de nouveaux grands filons minéralisés ont été découverts dans de nombreuses régions du monde.

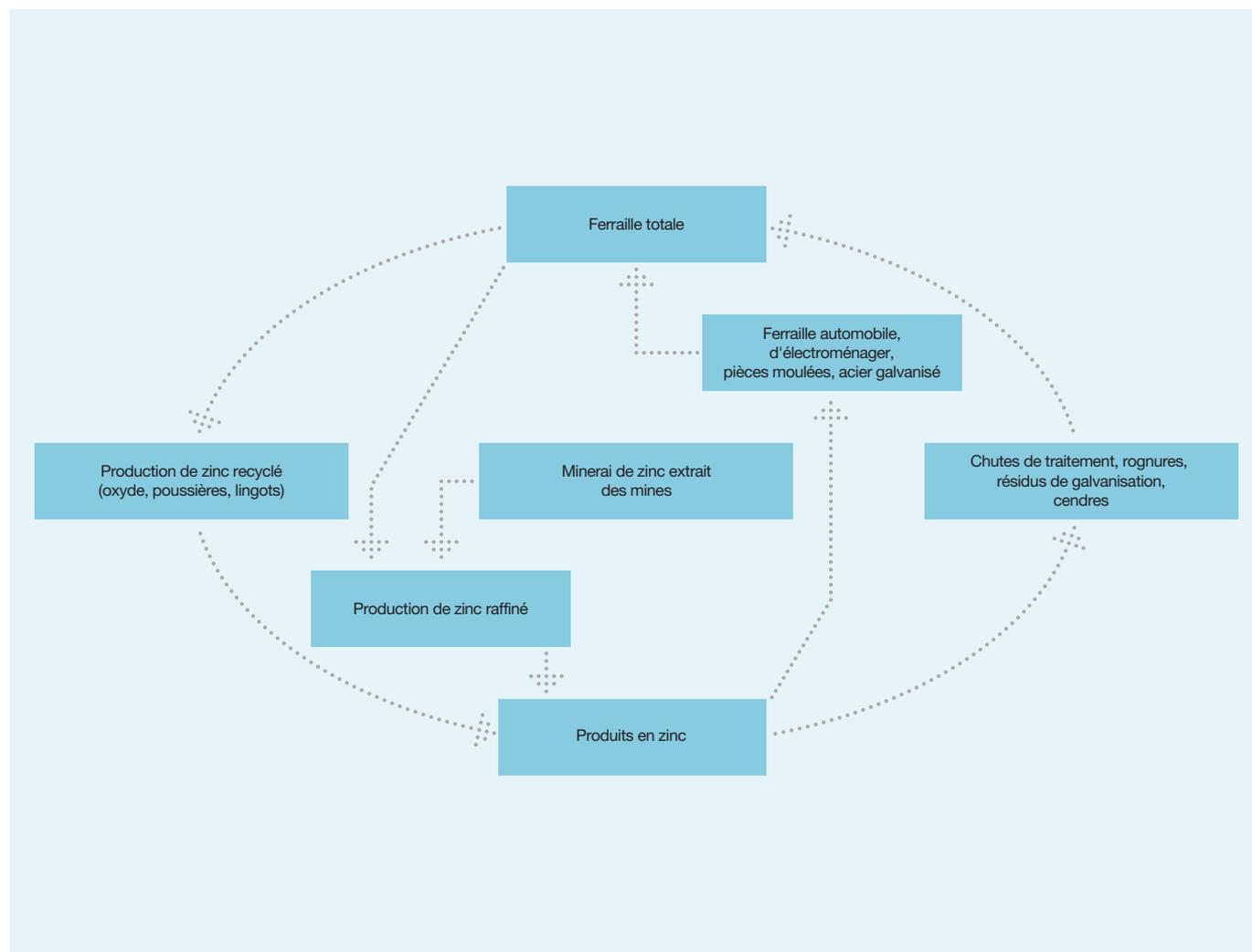
La durabilité de l'approvisionnement en minerai de zinc ne peut donc pas s'évaluer simplement par extrapolation par rapport aux mines de zinc en état d'exploitation aujourd'hui. Malgré la consommation croissante de zinc entre 1995 et 2005, les réserves mondiales de zinc ont sensiblement augmenté au cours de cette même période, comme l'illustre le tableau ci-après.

Année	Réserves <sup>1</sup>	Base de réserves <sup>2</sup>
1995	140 000 000 mt	330 000 000 mt
2005	220 000 000 mt	460 000 000 mt
Augmentation	57,14%	39,4%

Source : Étude géologique américaine.

1. Les réserves sont définies comme « la partie de la base de réserves qui pourrait être extraite ou produite de façon viable au moment de l'évaluation. »
2. La base de réserves se définit comme « la partie d'une ressource identifiée qui répond à des critères physiques et chimiques minimaux en termes d'exploitation minière et de pratiques de production actuelles, y compris des caractéristiques de grade, qualité, épaisseur et profondeur. »

# LE ZINC EST UN MÉTAL NON FERREUX NATURELLEMENT RECYCLABLE QUI PEUT ÊTRE RÉUTILISÉ INDÉFINIMENT



Le circuit de recyclage du zinc.

## SECTION CINQ

### TITRE LA CONSTRUCTION DURABLE UNE EXPLICATION



Lors du choix des matériaux et des produits de construction, les architectes, prescripteurs, développeurs et clients seront de plus en plus préoccupés par les questions environnementales. Cela pourra être dû aux règles, réglementations et politiques en vigueur, ou à de véritables décisions éthiques visant à assurer que les bâtiments soient aussi durables que possible. Toutefois, on constate beaucoup de confusion et d'incompréhension en ce qui concerne les aspects concrets des bâtiments durables.

Comment parvient-on à des décisions informées sur les matériaux à utiliser, et qui fixe les normes qui peuvent valider de telles décisions ? Alors que les politiques et la réflexion sur la construction durable évoluent aussi rapidement, peut-il y avoir un réel degré de certitude quant à la bonne démarche à suivre ?

On ne compte plus les revendications des différents fournisseurs vis-à-vis des qualités écologiques de leurs produits. Les bâtiments reçoivent des trophées parce qu'ils sont « verts », et sont ensuite attaqués pour leurs mauvaises performances environnementales.

Il n'est pas toujours facile de faire la distinction entre ce qui est bon pour l'environnement et ce qui relève de ce que les Anglo-Saxons appellent le « Greenwashing ».

« Le terme Greenwashing est utilisé pour désigner un procédé de marketing utilisé par une organisation (entreprise, gouvernement, etc.) dans le but de donner à l'opinion publique une image écologique responsable, alors que plus d'argent a été investi en publicité verte qu'en de réelles actions en faveur de l'environnement. Le Greenwashing se caractérise souvent par le changement de nom de la marque ou du produit, pour donner l'impression de "nature", par exemple en apposant l'image d'une forêt sur une bouteille de produits chimiques. » (Wikipedia)

Les travaux scientifiques en vue d'évaluer et d'améliorer l'impact environnemental de la galvanisation se fondent sur l'analyse des données réelles, ce qui évite tout « Greenwashing », aucune allégation ne pouvant être avancée sans être étayée par de solides arguments évalués par d'autres scientifiques. Cependant, il n'est pas facile de faire la comparaison entre différents produits et matériaux, dans la mesure où il existe tellement de méthodes d'analyse et tellement de revendications différentes. Il n'existe pas encore de référence universelle pour comparer les allégations environnementales, mais un tel outil pourra être développé dans l'avenir.

À un niveau international, il y a des différences significatives entre ce qui peut être considéré comme durable dans un pays et ce qui l'est dans un autre.

Certains se satisfont de ces variations en faisant valoir que les conditions locales varient et que des critères différents s'appliquent selon les circonstances locales. Toutefois, nous vivons tous sur une seule et même Terre, même si nous essayons de consommer l'équivalent de trois ou quatre planètes ! La consommation excessive de l'énergie et des ressources à Paris aura autant d'impact sur la pollution des mers et la diminution de la couche d'ozone que la construction d'un bâtiment au Japon ou à Rio de Janeiro. Dans ce contexte, le déficit d'harmonisation des normes internationales pour la construction durable peut sembler surprenant.

#### VARIATIONS DES INTERPRÉTATIONS

Au vu de la documentation consacrée à la construction écologique, on constate qu'il existe une grande variété d'interprétations. Certains sont résolument technocratiques, tandis que d'autres se réfèrent à des idéaux mystiques très « new age » ! Il est rare de rencontrer des approches holistiques qui tiennent compte de tous les aspects des impacts sur l'environnement. Certains s'imaginent que les questions environnementales consistent seulement à économiser l'énergie ou à améliorer les services dans les bâtiments. De nombreux utilisateurs associent les bâtiments écologiques à l'addition de sources d'énergies renouvelables dans les bâtiments et à l'adoption de la « micro génération » (micro-production d'énergie). Dans de nombreux cas, les matériaux utilisés figurent assez bas sur la liste des préoccupations du concepteur ou du client. À l'autre extrême, certains défenseurs de l'écologie recommandent d'utiliser des ballots de paille et de la boue séchée pour construire des bâtiments à faible impact, uniquement à partir de matériaux naturels.

Cette pluralité d'approches est également visible lorsqu'on se penche sur les outils et méthodes d'évaluation environnementale. Certains se préoccupent des systèmes d'évaluation des bâtiments, et d'autres des matériaux, comme s'il s'agissait de deux facteurs distincts, alors qu'en fait, ils sont totalement interdépendants. L'autre différence est de savoir s'il faut utiliser des outils d'évaluation pour concevoir les bâtiments, ou pour les évaluer une fois qu'ils ont été construits. Si les systèmes d'évaluation ne sont pas utilisés en tant qu'outils de conception, ils se contenteront essentiellement de mesurer l'impact une fois que le dommage aura été fait. Lorsque des revendications sont annoncées, sont-elles correctement vérifiées une fois la construction terminée ? Dans quelle mesure ces outils et ces méthodes d'évaluation sont-ils utiles pour les individus qui se lancent dans un projet de construction et leur permettent-ils de choisir parmi les options qui s'offrent à eux ? Facilitent-ils le choix des matériaux ?

# ON CONSTATE BEAUCOUP DE CONFUSION ET D'INCOMPRÉHENSION EN CE QUI CONCERNE LES ASPECTS CONCRETS DES BÂTIMENTS DURABLES.



La Hearst Tower est l'un des immeubles de bureaux les plus écologiques jamais construits aux États-Unis jusqu'à ce jour, puisqu'il utilise plus de 90 % d'acier recyclé et est conçu pour économiser près de 7 millions de litres d'eau par an grâce à la récupération et au recyclage de l'eau de pluie.

## LES CONSOMMATEURS ONT BESOIN D'UN GUIDE DES OUTILS D'ÉVALUATION ENVIRONNEMENTALE.

La Commission européenne a donné mandat à l'organisme européen de normalisation, le CEN, pour développer un système standardisé d'évaluation de la performance environnementale des bâtiments<sup>20</sup>. Ces travaux ont commencé en 2004 et devraient s'achever fin 2009. Dans un même temps, plusieurs autres programmes nationaux ont été mis en place en fonction des circonstances nationales, comme Ecoquantum (Pays-Bas), LEGEP (Allemagne)<sup>21</sup>, ou encore Haute Qualité Environnementale (France). En Espagne, le système américain LEED a été utilisé pour évaluer la construction durable dans le cadre des projets publics.

En Grande-Bretagne et aux États-Unis, une poignée de leaders du marché, tels que BREEAM<sup>22</sup> et LEED<sup>23</sup>, dominent le terrain. Bien que ces deux systèmes soient bien connus, la sélection des matériaux et des méthodes de construction ne représente qu'une petite partie de l'outil. En règle générale, on considère que les systèmes BREEAM et LEED apportent une contribution utile pour faire avancer la cause de la construction écologique, mais ils ne sont cependant pas sans détracteurs.

Beaucoup soutiennent que le fait d'apposer une plaque LEED ne garantit pas que le bâtiment mérite un label de bonne conception écologique.

Les professionnels de l'industrie déplorent fréquemment que le système de crédit prenne en compte de manière inégale l'utilisation de l'énergie. Par exemple, dans la mesure où chaque crédit LEED vaut un point (sur un total possible de 69), il est possible pour un bâtiment de recevoir 26 points - suffisamment pour l'obtention d'une plaque - sans avoir marqué un seul point pour son rendement énergétique.

Il s'agit probablement là de l'outil de mesure le plus important pour la construction écologique, et les critiques dénoncent le fait que cette faille dans le système permet aux propriétaires de rajouter à la va-vite quelques éléments « verts » - une pelouse sur un toit ou des places de parking préférentielles pour les véhicules hybrides - à leurs immeubles par ailleurs conventionnels, pour marquer facilement des points LEED. En 2004, la Green Building Alliance, une coalition de groupes environnementaux basée à Pittsburgh, aux États-Unis, a réalisé une enquête électronique anonyme auprès d'architectes, ingénieurs, entrepreneurs et autres acteurs ayant travaillé sur des projets de construction écologique.

Lors de la construction d'un bâtiment récent, l'une des personnes interrogées a affirmé avoir reçu un point LEED pour l'installation d'un parc à vélo de \$ 395, soit le même score que pour un système de récupération de chaleur d'une valeur de \$ 1,3 millions qui permettrait au propriétaire d'économiser près de \$ 500 000 de dépenses énergétiques chaque année.

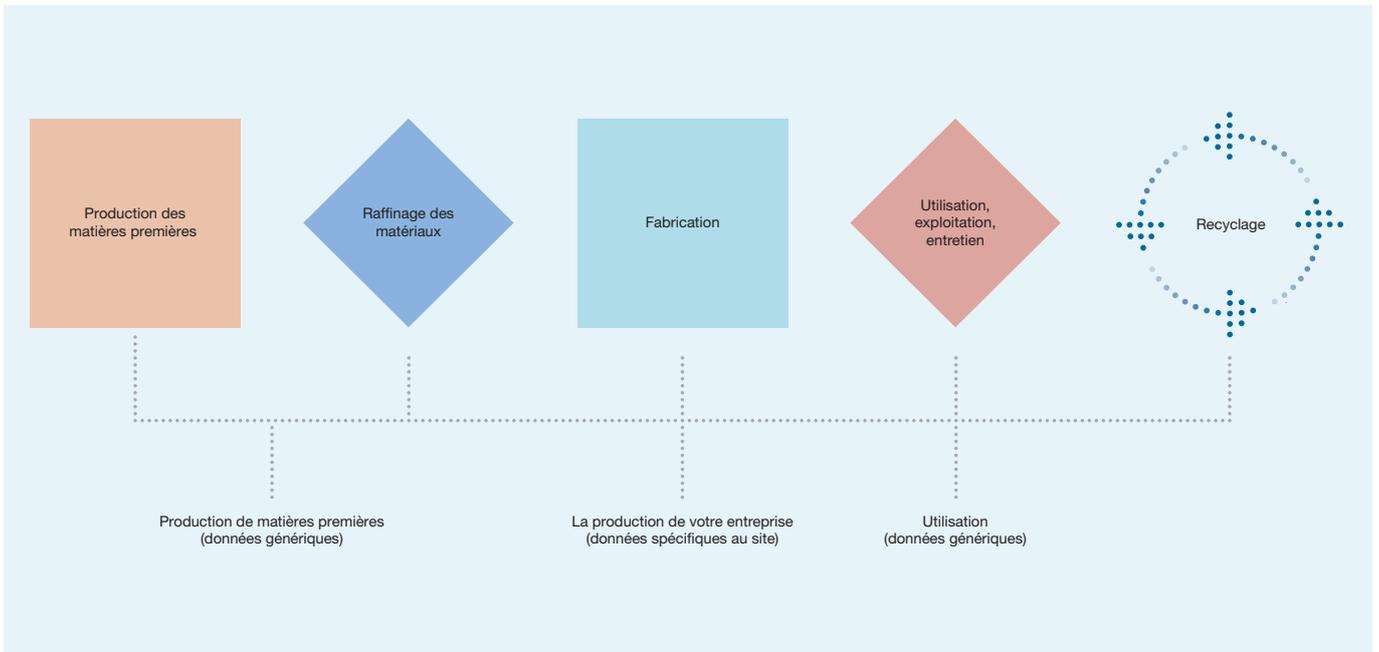
Aux États-Unis, c'est le Green Building Council qui encourage l'adoption du système d'évaluation LEED, et la Grande-Bretagne a récemment mis en place, elle aussi, son Green Building Council. Des organisations similaires existent en Australie et dans d'autres pays. En complément de ces méthodes générales d'évaluation des bâtiments, il existe également une kyrielle de systèmes d'évaluation de l'impact environnemental des matériaux. Il est parfois tenu compte de ces outils d'évaluation dans la conception des bâtiments, mais ce n'est pas toujours le cas.

En 1988, une directive sur les produits de construction<sup>24</sup> a été adoptée par l'Union Européenne, dont la modification est actuellement à l'examen. On avait à un moment espéré qu'elle conduirait à une harmonisation des normes environnementales pour les produits de construction à travers toute l'Europe. Bien que de nombreux matériaux de construction portent aujourd'hui la marque CE, cette dernière ne donne aucune indication sur leur provenance environnementale. Et même si un certain nombre de mesures de l'UE ont fait avancer les questions de construction durable, en imposant notamment de réduire la pollution et d'éliminer les produits chimiques toxiques des bâtiments, aucune stratégie globale pour la construction durable n'a été mise en place jusqu'à présent.

## OUTILS D'ÉVALUATION DE LA PERFORMANCE ENVIRONNEMENTALE

Il existe deux outils importants qui sont utilisés pour évaluer la performance environnementale des produits de construction : les déclarations environnementales de produits (EPD) et l'analyse du cycle de vie (ACV). En fait, ces deux outils sont étroitement liés, l'EPD utilisant une analyse du cycle de vie pour calculer l'ampleur de l'impact des catégories qui sont incluses dans la déclaration.

Pour permettre l'établissement des ACV et EPD pour des processus ou des produits donnés, il est nécessaire de disposer d'informations fiables et représentatives sur l'inventaire du cycle de vie (ICV).



Composants clefs d'un inventaire de cycle de vie complet pour les produits de construction

**QU'EST-CE QUE L'ANALYSE DU CYCLE DE VIE ?**

« L'analyse du cycle de vie est un processus qui permet d'évaluer les charges environnementales associées à un produit, un processus ou une activité en identifiant et en quantifiant l'énergie et les matières premières utilisées, ainsi que les déchets rejetés dans l'environnement, d'évaluer l'impact de l'utilisation de ces énergies et de ces matières premières et celui de leur rejet dans l'environnement, et d'identifier et évaluer les possibilités d'influer sur l'amélioration de l'environnement.

L'évaluation porte sur l'intégralité du cycle de vie du produit, du processus ou de l'activité, c'est-à-dire en englobant l'extraction et la transformation des matières premières, la fabrication, le transport et la distribution, l'utilisation, l'entretien, le recyclage et la mise au rebut finale. »



## ANALYSE DU CYCLE DE VIE

L'analyse du cycle de vie (ACV) est définie selon la norme ISO 14040<sup>25</sup>, comme l'évaluation de l'utilisation des ressources et des émissions d'un produit « du berceau à la sortie d'usine » ou « du berceau à la tombe », normalisée par rapport à 1 unité fonctionnelle ou 1m<sup>2</sup> de protection d'un article en acier pour une période de temps donnée. L'ACV peut être coûteuse, mais elle présente l'avantage de rendre possible les comparaisons pour un large éventail d'impacts sur l'environnement (et pas seulement les émissions de carbone et la consommation d'énergie). Son inconvénient est d'être lente, coûteuse et complexe, et de donner des résultats souvent difficiles à interpréter. Par exemple, il sera laissé à la discrétion des concepteurs/entrepreneurs et de leurs clients de déterminer l'importance relative d'une augmentation des émissions de dioxyde de carbone d'un produit donné par rapport à la toxicité écologique d'un autre.

L'ACV permet la comparaison entre différents produits ayant des fonctions similaires, par exemple le revêtement des produits métalliques. Toutefois, l'utilisation de l'ACV pour les revêtements est relativement récente et il existe peu d'études directement comparables, dans un secteur où les organisations commerciales, les universités et les organismes gouvernementaux ont tendance à employer des unités fonctionnelles, des calendriers, des conditions d'exploitation, des limites et autres variables très différentes. Il est possible d'utiliser les bases de données commerciales qui contiennent des inventaires du cycle de vie (ICV) pour les éléments de fabrication et les charges environnementales impliquées dans la création d'un produit pour établir les ACV. La transmission des ICV étudiés est facilitée par EcoSpold, un format commun d'échange de données qui communique avec le logiciel privé LCA.

Il semble judicieux de suivre les tendances en cours (ou prévues) pour les autres produits de construction et de calculer l'énergie incorporée et les autres impacts environnementaux correspondant aux produits galvanisés.

Cela permettrait de présenter les produits galvanisés à côté de leurs alternatives, et de les comparer. Toutefois, comme nous l'avons vu plus haut, les informations les plus utiles sont celles qui comparent les structures achevées assurant un service équivalent. L'engouement récent des médias pour les questions climatiques joue en faveur du développement d'informations environnementales comparables et dont la qualité serait certaine. Cette tendance avait été anticipée par l'Organisation internationale de normalisation (ISO), qui a développé une norme pour les informations sur la performance environnementale des produits et des services, la déclaration environnementale de produits de construction (EPD).

## DÉCLARATION ENVIRONNEMENTALE DE PRODUIT

Une déclaration environnementale de produit, EPD, ou une fiche de déclaration environnementale et sanitaire, FDES en France, se définit comme une série de « données environnementales quantifiées pour un produit présentant des catégories prédéterminées de paramètres reposant sur la série de normes ISO 14040, sans exclure les autres informations environnementales complémentaires. » La forme la plus rigoureuse de l'EPD est le type III (selon la norme ISO 14025) - où la performance du produit doit être étayée par l'ACV, et qui est valable pour une période fixe, contrôlée de façon indépendante, et doit être mise à jour en cas de modification significative du processus.

La demande pour les informations environnementales factuelles et dont la qualité est garantie a augmenté au cours des dernières années. Cet aspect est particulièrement important dans le contexte du débat actuel sur le changement climatique, alors que plusieurs rapports récemment publiés laissent entendre que l'ampleur de nos émissions de gaz à effet de serre (et les conséquences futures pour l'humanité) serait beaucoup plus importante que précédemment annoncée.

La gestion de la réduction des émissions de CO<sub>2</sub> est devenue un sujet hautement prioritaire pour de nombreuses organisations. Cette tendance débouche sur l'apparition de nouvelles méthodes pour réduire les émissions de CO<sub>2</sub>, par exemple, l'étiquetage climatique des denrées alimentaires, les produits et services à « bilan climatique neutre » et les bâtiments à « zéro émission de carbone ».

## DÉFINITION DE QUELQUES TERMES CLEFS

–

### Carbone incorporé

Il s'agit de la quantité totale d'émissions de dioxyde de carbone (ou équivalent en gaz) associée à l'énergie incorporée dans un produit (C CaLC 2006).

### Bilan carbone

Le bilan carbone mesure l'impact des activités humaines sur l'environnement en termes de quantité de gaz à effet de serre produite, mesurée en unités de dioxyde de carbone.

### Énergie incorporée

Il s'agit de la somme d'énergie primaire totale consommée dans la fabrication et la fourniture des produits. Ce chiffre inclura normalement l'énergie utilisée pour l'extraction, le traitement et le raffinage, le transport, la production, l'emballage et la livraison au site dans un état prêt à être utilisé sans traitement complémentaire. On distingue deux formes courantes d'énergie incorporée : du berceau à la sortie d'usine et du berceau à la tombe. La « sortie d'usine » se réfère à l'usine où le produit est fabriqué. La différence entre les deux définitions correspond à l'énergie associée au transport du produit depuis l'usine jusqu'à son site d'utilisation. La plupart des références suggèrent que cette différence est habituellement faible par rapport aux valeurs de berceau à la sortie d'usine.

### Énergie incorporée sur le cycle de vie

Il s'agit d'une mesure qui s'entend du berceau à la tombe et correspond donc à toute l'énergie utilisée pendant la durée de vie utile du produit, à l'énergie associée aux processus de fin de vie et à la mise au rebut finale et/ou au recyclage.

### Que signifie non renouvelable ?

Les exemples de ressources non renouvelables sont les minerais et les ressources fossiles comme le charbon et le pétrole. Dans le système EPD<sup>®</sup>, la tourbe est considérée comme une ressource non renouvelable.

### Que signifie renouvelable ?

Les ressources renouvelables sont des ressources qui se renouvellent relativement vite. On pourra citer comme exemple le bois et les produits agricoles ainsi que certaines sources d'énergie telles que : l'énergie éolienne, l'énergie solaire, l'énergie marémotrice, l'énergie hydroélectrique, l'énergie des courants marins et l'énergie de la biomasse.

L'énergie géothermique est également considérée comme renouvelable dans la mesure où elle est présente en telles quantités qu'elle ne court aucun risque de s'épuiser.

### Ressource, recyclée

Les ressources recyclées ont déjà été utilisées au moins une fois. Lorsqu'un produit est issu de ressources recyclées, seuls les impacts environnementaux associés au recyclage des ressources lui sont attribués.

### Le réchauffement climatique

Le réchauffement de la planète se mesure en kilogrammes d'équivalents CO<sub>2</sub>. Le réchauffement climatique correspond à l'augmentation progressive, au fil du temps, de la température moyenne de l'atmosphère de la Terre et des océans, qui est suffisante pour provoquer des changements du climat terrestre. Cette augmentation de la température de la Terre est liée à l'accroissement des émissions de gaz, comme le CO<sub>2</sub>, le méthane, la vapeur d'eau, l'oxyde d'azote et les CFC, entre autres, issus de sources d'origine anthropique (c'est-à-dire humaine), principalement de la combustion de fossiles combustibles. Les émissions de l'Europe en 1990 correspondaient à 8700 kg d'équivalents CO<sub>2</sub> par personne. À titre comparatif, la combustion de 1000 litres d'essence dans une voiture produit approximativement 2500 kg de CO<sub>2</sub>.

### Brouillard photochimique

La création potentielle d'ozone photochimique, également appelé brouillard ou brume de chaleur, se mesure en kg d'équivalents éthylène (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>). L'augmentation de la teneur en ozone au niveau du sol résulte de la réaction de composés organiques volatils, par exemple l'éthylène, avec les composés d'oxygène ou les oxydes d'azote présents dans l'air et sous l'influence de la lumière du soleil (ce que l'on appelle l'oxydation photochimique). Les effets sur la santé humaine sont, entre autres, l'irritation des yeux et des muqueuses ainsi que la détérioration des fonctions respiratoires. L'ozone troposphérique a également des effets sévères sur la végétation, entraînant une diminution de la production agricole. Les émissions de l'Europe en 1990 correspondaient à 20 kg d'équivalents éthylène par personne. À titre comparatif, la combustion de 1000 litres d'essence dans une voiture moderne produit approximativement 1 kg d'équivalents éthylène.

### Eutrophisation

L'eutrophisation se mesure par la quantité d'oxygène consommé lorsqu'une substance est relâchée dans l'environnement. Par exemple, les éléments nutritifs comme l'azote libéré dans un lac entraînent une augmentation de la production d'algues planctoniques. Les algues coulent au fond de l'eau, où elles se décomposent, avec une consommation d'oxygène dans les couches de fond, provoquant ainsi la mort de l'environnement au fond du lac.

Les principales sources d'enrichissement en éléments nutritifs sont l'utilisation des engrais agricoles, les émissions d'oxydes d'azote issues de la production d'énergie et les eaux usagées des domiciles et des sites industriels. Les émissions de l'Europe en 1990 correspondaient à 298 kg d'O<sub>2</sub> par personne. À titre comparatif, la combustion de 1000 litres d'essence dans une voiture moderne consomme approximativement 10 Kg d'oxygène.

### Acidification

L'acidification se mesure en quantité d'ions hydrogène (H<sup>+</sup>) créés lorsqu'une substance se transforme en acide. Ces acides (souvent appelés pluies acides) sont bien connus pour les dommages qu'ils provoquent dans les forêts et les lacs. Le public est souvent moins conscient des nombreux autres dégâts provoqués par les pluies acides pour les sources d'eau douce et les écosystèmes côtiers, les sols et même les monuments historiques, sans parler des métaux lourds que ces acides libèrent dans les eaux souterraines. Les émissions artificielles de gaz acidifiants les plus importantes sont le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>) et le protoxyde d'azote (NO<sub>x</sub>), issus des processus de combustion. Les émissions de l'Europe en 1990 correspondaient à 38700 moles H<sup>+</sup> par personne.

### Épuisement de la couche d'ozone

L'épuisement de l'ozone se mesure en équivalents CFC-11. L'ozone présent dans la stratosphère (la couche supérieure de l'atmosphère) fonctionne comme une couche protectrice contre le rayonnement ultraviolet nuisible pour la vie sur terre. Les émissions de CFC et de gaz tétrachlorométhane, entre autres, sont responsables de la diminution de la concentration d'ozone dans la haute atmosphère, avec des conséquences négatives pour la vie sur terre, comme l'augmentation de l'incidence du cancer de la peau. Les émissions de l'Europe en 1990 correspondaient à 0,2 Kg d'équivalents CFC-11 par personne.

### Déchets à recycler

La notion de déchets à recycler couvre tous les déchets, par exemple la ferraille, qui sont envoyés par le site de fabrication pour être réutilisés dans un autre produit, souvent après traitement complémentaire.

### L'Européen moyen

La signification des indicateurs de catégories d'impact environnemental des FDES est plus facile à comprendre si on la compare à quelque chose de tangible. Il est par exemple possible d'utiliser comme comparaison la moyenne des impacts environnementaux d'une personne vivant en Europe en 1990. Les volumes totaux des émissions en Europe, divisés par le nombre d'habitants en 1999 s'élevaient à : 8700 Kg d'équivalent CO<sub>2</sub>, 20 Kg équivalents éthylène, 298 Kg d'O<sub>2</sub>, 38700 moles d'H<sup>+</sup> et 0,2 Kg de CFC-11.



### POURQUOI UTILISER UNE EPD OU UNE FDES ?

Du point de vue de l'acheteur, les EPD sont conçues pour permettre de comparer les performances environnementales de produits similaires. En outre, une EPD doit se fonder sur une évaluation du cycle de vie des aspects environnementaux significatifs du produit.

Du point de vue des producteurs ou des fournisseurs il existe deux bonnes raisons d'établir une EPD ou une FDES :

- pour en savoir plus sur les atouts et les faiblesses environnementales d'un produit et sur ses possibilités d'amélioration
- pour présenter le profil environnemental d'un produit de manière objective et crédible.

Le fait qu'une EPD ou une FDES ait été établie pour un produit ne garantit pas que ce dernier soit moins nocif pour l'environnement que les produits concurrents. Cela démontre toutefois que le fabricant a une connaissance approfondie de la performance environnementale de son produit et est prêt à diffuser librement ces informations.

### QUELLE EST LA DIFFÉRENCE ENTRE LES DONNÉES GÉNÉRIQUES ET SPÉCIFIQUES ?

L'une des difficultés rencontrées par les prescripteurs lors du choix des produits à utiliser est que la plupart des informations disponibles sur le profil environnemental concernent des produits spécifiques et couvrent donc une fourchette d'applications très limitée. Les informations sur les matériaux génériques sont beaucoup plus difficile à trouver.

Toutes les données utilisées dans une évaluation du cycle de vie représentent les caractéristiques des processus à l'œuvre dans le système de produits à l'étude. Toutefois, la source des données peut se rapporter à un site particulier - c'est-à-dire représenter le site spécifique dans lequel le produit est fabriqué - ou être générique - c'est-à-dire correspondre à une moyenne des données disponibles pour les processus technologiques employés pour fabriquer le produit en question.

### INTERPRÉTATION DES EPD

Il y a plusieurs manières d'interpréter les valeurs d'une EPD. Les EPD de deux produits similaires devraient reposer sur les mêmes règles de catégorisation des produits pour l'évaluation du cycle de vie, ce qui devrait permettre de déterminer lequel des deux est préférable du point de vue environnemental en comparant les données.

Lorsqu'il n'existe pas de produits similaires à comparer, le rapprochement avec les données européennes moyennes devrait permettre de rendre les informations plus faciles à interpréter. Il arrive parfois que l'EPD contienne une comparaison avec une ancienne version du produit ou une autre façon de l'utiliser. Cela pourrait également faciliter l'interprétation.

### CRÉATION D'UNE EPD DANS LE SYSTÈME EPD®

Le système international EPD® est géré par un comité international et a été mis en place à l'origine par le conseil suédois de gestion de l'environnement (SEMCO)<sup>26</sup>. Les opérateurs du programme sont chargés de fournir des directives générales couvrant les objectifs globaux et la structure méthodologique. Le système fait partie du réseau Global Type III de l'Environmental Product Declarations (GEDnet). Le système EPD® fait partie d'un groupe de plusieurs programmes d'EPD disponibles, mais il est, à l'heure actuelle, le seul à être applicable au niveau international. Du point de vue de l'entreprise ou de l'organisation qui crée une EPD, le processus général comporte les étapes suivantes :

- examiner les règles de définition des catégories de produits (PCR) et créer un document PCR
- recueillir et calculer les informations reposant sur l'ACV et autres à inclure à l' EPD
- compiler les informations à inclure dans la fiche
- procéder à la vérification et à l'enregistrement

Afin de pouvoir ajouter les informations reposant sur l'ACV à la chaîne d'approvisionnement et comparer les différentes valeurs des EPD, il est nécessaire d'utiliser des règles de calcul similaires. Toutefois, les groupes de produits peuvent différer dans leur performance environnementale inhérente, et il sera nécessaire de tenir compte de ces variations dans les règles de calcul. En raison de ces différences, et de règles spécifiques à certains groupes de produits, il pourra être nécessaire de préparer des règles spécifiques à certaines catégories de produits.

## L'INITIATIVE DE L'EGGA - ANALYSE DE CYCLE DE VIE POUR LES APPLICATIONS DE GALVANISATION APRES FABRICATION

En 2005, l'Association Européenne des galvanisateurs (EGGA) a demandé à la société Life Cycle Engineering (LCE), de Turin, en Italie, d'effectuer une étude paneuropéenne d'inventaire du cycle de vie (ICV) des produits galvanisés à chaud. L'étude s'intéressait à un résultat moyen pour les produits galvanisés généraux typiques, mais identifiait également une classe de produits distincte correspondant aux glissières de sécurité.

L'objectif de ces travaux était de mettre en forme des jeux de données d'inventaire de cycle de vie pour le processus de galvanisation, parfois désigné sous le nom de « service », en utilisant les données soumises par les associations nationales membres de l'EGGA au nom des sociétés d'exploitation de leurs membres. Il s'agissait de quantifier la quantité moyenne d'énergie, la consommation des ressources et les émissions de substances dans l'environnement, résultant en un ICV d'un échantillon de processus employés dans plusieurs usines d'Europe, conformément aux limites définies pour le système.

L'échantillon était composé d'environ 937 000 tonnes d'acier galvanisé en provenance de 46 usines.

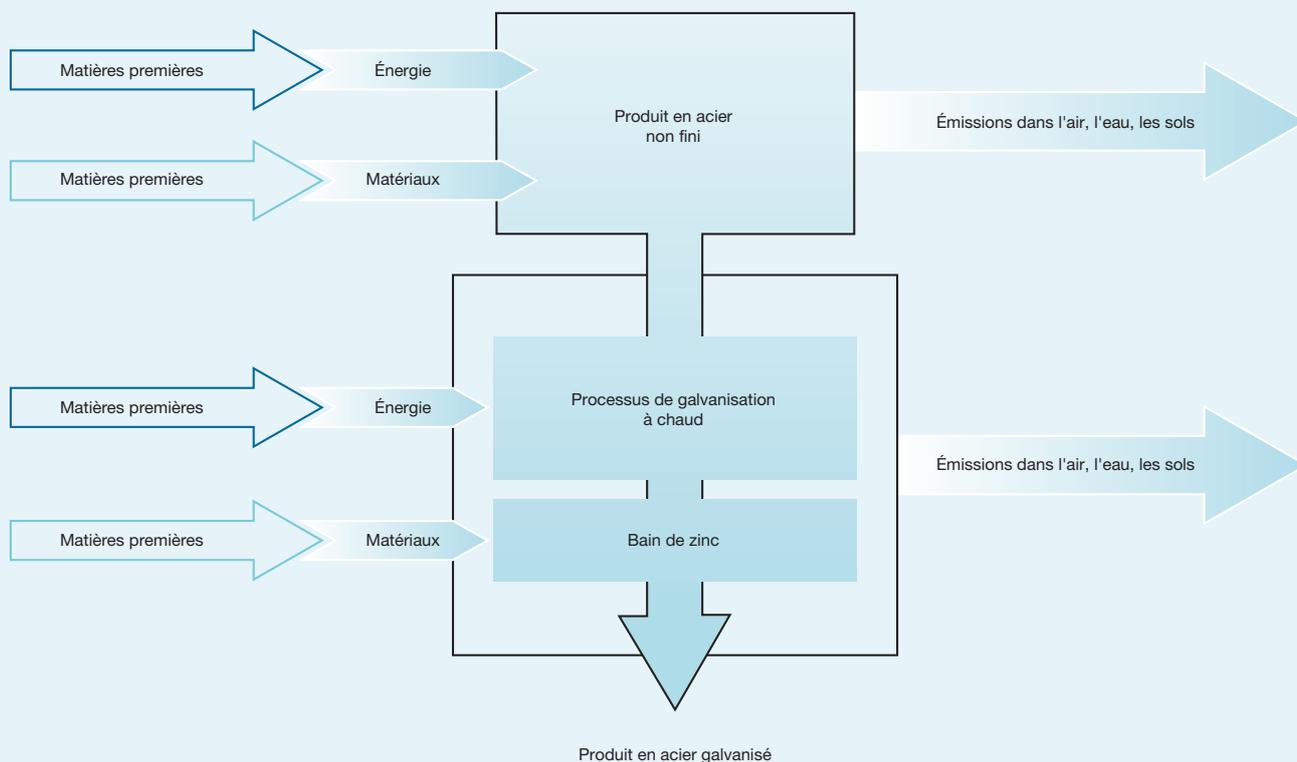
Les systèmes à l'étude ont pour fonction la transformation des pièces en acier et des produits sidérurgiques en vue d'en protéger la surface contre les agressions atmosphériques.

L'unité fonctionnelle était donc exprimée en termes de 1 tonne de produits en acier revêtu de zinc.

L'énergie et les résultats environnementaux sont exprimés en référence à l'unité fonctionnelle, mais une extension de l'analyse fournit des données sur le système, indépendamment de l'acier produit, afin de concentrer l'attention sur « le service ».

Les résultats sont exprimés en termes de « 1 kg d'alliage de zinc prêt pour application de revêtement ». Cela représente une mesure utile de l'énergie et des coûts environnementaux du « service ».

À la demande de l'EGGA, ces données ICV sont mises à la disposition des professionnels de l'ACV et des clients qui souhaitent produire une déclaration environnementale et sanitaire pour un produit de construction en acier galvanisé.



ICV EGGA : présentation générale du système.



## RÈGLES DE CATÉGORISATION DES PRODUITS (PCR) POUR L'ÉTABLISSEMENT D'UNE EPD POUR LA PROTECTION CONTRE LA CORROSION DES PRODUITS EN ACIER

Une PCR a été établie en 2006 pour l'acier galvanisé et publiée par la SEMCO. La PCR est applicable aux revêtements métalliques, organiques et inorganiques ainsi qu'aux inox et aux aciers auto-patinables.

L'unité fonctionnelle est 1 année de protection pour une géométrie de plaque d'acier donnée. Le PCR nécessite la déclaration des catégories suivantes dans une EPD associée :

- utilisation de ressources non renouvelables
- utilisation de ressources renouvelables
- réchauffement climatique (kg d'équiv. CO<sub>2</sub>)
- épuisement de la couche d'ozone (kg d'équiv. CFC-11)
- acidification (moles H<sup>+</sup>)
- eutrophisation (kg O<sub>2</sub>)
- formation d'oxydants photochimiques (kg d'équiv. C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>)

Ce document PCR est actuellement utilisé comme point de départ pour l'établissement d'une EPD sectorielle pour la galvanisation, qui sera bientôt publiée par l'EGGA.

## DÉCLARATIONS CLIMATIQUES

Conformément à son ambition d'établir des informations EPD portant sur des questions environnementales spécifiques, le système international EPD® introduit les « déclarations climatiques », qui se concentrent sur tous les aspects de pertinence des questions climatiques, en particulier tous les gaz à effet de serre et toutes les étapes du cycle de vie, depuis l'acquisition des matières premières jusqu'à la gestion finale des déchets. Il s'agit là d'un concept de nature mondiale, dans la mesure où il concerne des activités humaines qui se produisent généralement dans différents pays à travers le monde, dans le contexte du commerce international.

Les déclarations climatiques présentent de nombreux avantages - elles reposent sur des méthodes scientifiques pour rassembler et interpréter les données relatives au cycle de vie ; elles sont neutres, développées et communiquées de manières similaires, et il est possible de comparer les informations qu'elles renferment entre différentes déclarations (la qualité des informations étant assurée par une procédure indépendante de vérification et de certification). Grâce à un système d'enregistrement officiel, elles sont faciles d'accès, et donc ouvertes à tous.

Grâce à toutes ces caractéristiques, les déclarations climatiques devraient apporter une contribution utile au débat climatique actuel, en présentant au marché une perspective globale, étayée par les faits et crédible, sur l'influence qu'ont les activités et les produits humains sur le climat.

## SECTION SIX

### TITRE ÉTUDE DE CAS 1

#### EXEMPLE D'ACV : STRUCTURES DE BALCON

	Système de galvanisation par trempage à chaud	Système peint
Fabrication de balcon	Dalle de balcon, balustrade et toit composés de diverses tôles d'acier profilées, de laine minérale et de caillebotis en bois. 4 profilés tubulaires en acier	Dalle de balcon, balustrade et toit composés de diverses tôles d'acier profilées, de laine minérale et de caillebotis en bois. 4 profilés tubulaires en acier
Processus de revêtement	Galvanisation à chaud selon EN ISO1461 de 778 kg de sections circulaires creuses en acier	Peinture électrostatique de 39m <sup>2</sup> de sections circulaires creuses en acier (surfaces externes seulement)
Vie utile	3 cycles de maintenance pour remplacer les caillebotis en bois, repeindre le toit tous les 15 ans. Aucun entretien requis pour les étauçons en sections circulaires creuses en acier.	3 cycles de maintenance pour remplacer les caillebotis en bois, repeindre le toit et repeindre les sections circulaires creuses en acier tous les 15 ans.
Fin de vie	Recyclage de l'acier et du zinc	Recyclage de l'acier

Fig 1. Systèmes de comparaison

Cette étude, achevée en avril 2004, a été effectuée par le Centre de recherche technique VTT de Finlande pour l'International Zinc Association. Les objectifs étaient les suivants :

- fournir une base d'amélioration future de la performance du cycle de vie des produits en zinc
- déterminer la performance environnementale d'une structure en acier galvanisé et d'une structure peinte équivalente
- identifier l'importance relative de la sélection du revêtement pour l'impact environnemental global du cycle de vie des structures en acier

VTT possède une vaste expérience de l'industrie finlandaise du bâtiment, ayant développé des déclarations environnementales de produits (EPD) pour de nombreux produits de construction. VTT a aussi travaillé précédemment à des évaluations de cycle de vie pour l'industrie finlandaise de la galvanisation. Cette expérience lui apporte une base précieuse pour l'étude.

#### Champ d'application et sources d'informations

Les systèmes de balcons Producta étudiés dans l'évaluation sont produits par Rannila Steel Oy, en Finlande, et sont fabriqués depuis 1996. Ce système de balcon léger est normalement fabriqué avec un double revêtement (galvanisé et peint) pour ses sections creuses circulaires structurelles (CHS) et avait été précédemment étudié par VTT lors de l'établissement d'une EPD pour le balcon. Afin d'évaluer séparément les impacts de la galvanisation à chaud et de la peinture, deux spécifications de revêtements ont été définies pour couvrir la durée d'utilisation de 60 ans exigée (fig. 1).

Les questions environnementales évaluées étaient celles qui sont le plus souvent appliquées pour l'établissement des EPD et les systèmes d'évaluation des bâtiments « verts » - c'est-à-dire l'utilisation d'énergie, l'utilisation de ressources naturelles et l'impact des émissions atmosphériques sur le potentiel de réchauffement climatique, l'acidification et la création photochimique d'ozone.

Ces aspects ont été évalués en utilisant les indicateurs de catégories d'impact de cycle de vie de l'Eco-indicateur 95 et des méthodes DAIA. Les données d'inventaire du cycle de vie étaient principalement issues des produits et processus finlandais, même si les données concernant les matériaux de base des peintures provenaient des bases de données européennes publiées. Le recyclage de l'acier et du zinc a été pris en compte dans l'évaluation et alloué en utilisant une méthodologie établie par l'International Iron and Steel Institute (IISI).

#### Durabilité

La durabilité des systèmes de revêtement a été évaluée en utilisant les normes ISO 14713 et ISO 12944 pour la galvanisation et la peinture, respectivement. Les taux de corrosion annoncés pour les revêtements dans les conditions environnementales finlandaises sont de 0,5-1,0µm/an. Le revêtement galvanisé de 100µm ne nécessiterait donc aucun entretien pendant sa vie utile de 60 ans. La structure peinte exigerait une nouvelle couche tous les 15 ans.

Le système de peinture standard retenu pour comparaison était un époxyde riche en zinc (40µm DFT) / primaire époxyde (2x80µm DFT) / polyuréthane (40µm DFT), formule à durcissement chimique à base de solvant. En complément de ce système de peinture standard, un système de peinture à faible teneur en COV (à base aqueuse) a également été étudié pour l'évaluation.

Il a été nécessaire de formuler un certain nombre d'hypothèses. En particulier, que la peinture d'entretien de la structure présente la même durabilité et le même profil environnemental que la couche de peinture originale. C'est peut-être là une supposition trop restrictive, mais elle était nécessaire en raison du manque de données environnementales disponibles sur la peinture d'entretien in situ.

## Résultats

Les résultats de cette étude pilote sont illustrés aux fig. 2-4 et peuvent se récapituler comme suit :

- le choix du revêtement a une influence significative sur le profil environnemental de la structure du balcon
- la galvanisation permet d'obtenir des résultats beaucoup plus faibles sur les trois principales catégories d'impact du cycle de vie (potentiels de réchauffement climatique, d'acidification et de production photochimique d'ozone)
- la durabilité détermine une grande partie de la différence de cycle de vie entre la peinture et la galvanisation, les charges de la peinture d'entretien contribuant de manière significative aux résultats de cycle de vie du système de balcon
- une répartition appropriée des avantages du recyclage de l'acier, en utilisant le modèle IISI, est importante pour évaluer l'impact global du cycle de vie

## Conclusions

Cette étude pilote a quantifié les principaux impacts environnementaux des balcons en acier galvanisé et des balcons peints. En ce qui concerne les catégories d'impact considérées, l'efficacité et la durabilité du revêtement galvanisé permettent d'obtenir des indicateurs environnementaux de cycle de vie plus faibles par rapport au système de peinture équivalent.

Ces résultats nécessitent un examen plus approfondi, notamment pour définir les charges liées à la peinture d'entretien. Toutefois, ces résultats affinés ne sont pas susceptibles de modifier les résultats généraux.

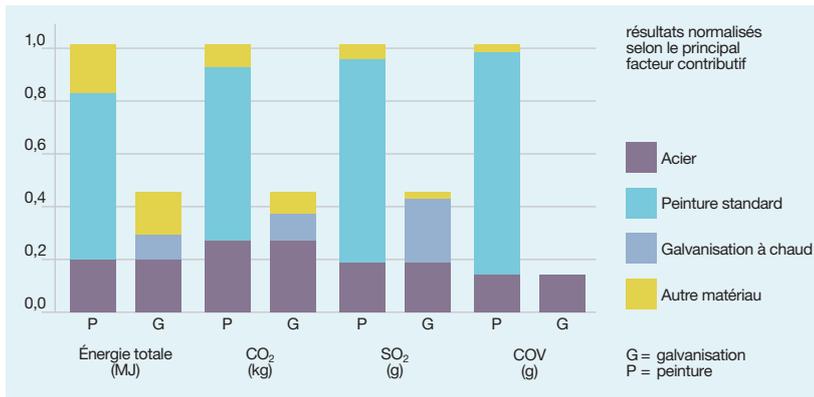


Fig 2. Résultats de l'inventaire de cycle de vie détaillé pour les catégories d'inventaire choisies

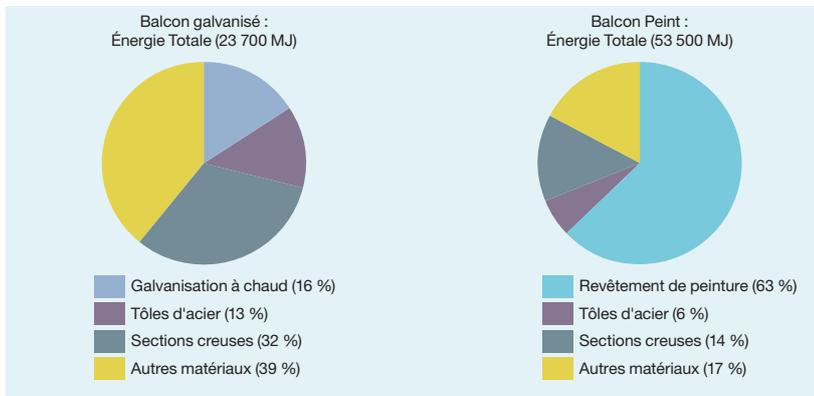


Fig 3. Énergie du cycle de vie - balcon galvanisé comparé à balcon peint

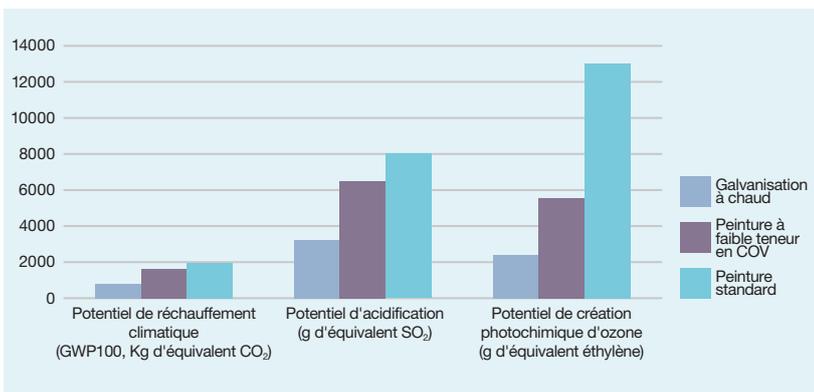


Fig 4. Impact environnemental du cycle de vie - indicateurs retenus

## SECTION SIX

### TITRE ÉTUDE DE CAS 2

#### EXEMPLE D'ACV : PARKINGS

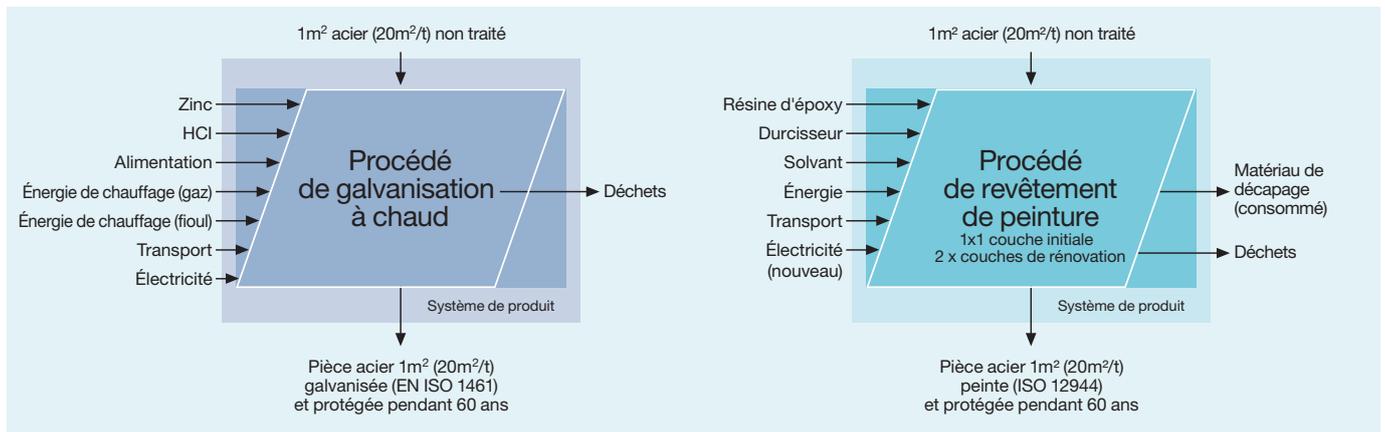


Fig 1. Système galvanisé

Fig 2. Système peint

Une étude de 2006 menée par l'Université Technique de Berlin a effectué une comparaison entre un revêtement de peinture (conforme à l'EN ISO 12944) et la galvanisation à chaud (EN ISO 1461) pour un parking en acier, en s'appuyant sur l'évaluation du cycle de vie.

La valeur centrale pour les comparaisons d'ACV est l'unité fonctionnelle - la quantité de référence pour la comparaison. Une comparaison objective ne peut pas s'effectuer sans variables de comparaison identiques. Ces valeurs ont été définies dans l'étude de sorte que les deux systèmes devaient assurer une prévention contre la corrosion pour une structure en acier utilisée pendant 60 ans, et appliquée sur une structure en acier comme un parking à plusieurs étages présentant une surface d'acier équivalente à 20m²/t. Il était supposé que la structure externe serait exposée à un niveau de corrosion moyen (catégorie de corrosion C3 selon ISO 9223).

Le système de galvanisation à chaud est un traitement anticorrosion « une fois pour toutes » par immersion dans du zinc en fusion, qui ne nécessite aucun entretien après application.

Avec une épaisseur de la couche de zinc de 100µm et un taux de corrosion moyen pour la catégorie C3 de 1µm/an, la durabilité calculée dépasse largement les 60 ans. Les impacts environnementaux associés à ce système (consommation des ressources, consommation d'énergie et déchets) sont indiqués à la fig. 1.

Pour assurer une prévention de la corrosion pendant 60 ans en utilisant le système de peinture, les composants sont d'abord décapés avec un agent abrasif pour éliminer la rouille.

Ensuite, ils sont initialement recouverts en usine d'une application de trois couches permettant d'obtenir une épaisseur totale de 240µm. Des opérations d'entretien sur site sont ensuite requises après 20 et 40 ans, avec notamment un nettoyage et un renouvellement partiels de la couche de peinture (voir fig. 2).

#### Résultats

Les résultats, calculés en utilisant la méthode reconnue de la référence CML 2 2000, sont représentés par cinq catégories différentes d'impact sur l'environnement. La fig. 3 illustre ces impacts sur l'environnement. Les résultats sont normalisés selon le principal facteur contributif (la consommation de ressources). La longueur des barres mesure l'incidence sur l'environnement.

Les facteurs contributifs pour le système de galvanisation à chaud sont plus faibles dans toutes les catégories d'impact que pour le système de revêtement de peinture.

#### Conclusions

L'étude démontre que l'évaluation du cycle de vie constitue une méthode valable, fondée sur une comparaison concrète des propriétés écologiques des produits. Elle fait apparaître des différences notables entre deux systèmes très répandus de prévention de la corrosion pour les structures en acier.

Le système de prévention de la corrosion par galvanisation à chaud présente une incidence plus faible sur l'environnement que le système de revêtement de peinture pour une structure en acier ayant une longue durée de vie. La longue durée de vie et l'absence d'entretien, avantages bien connus de la galvanisation à chaud, constituent la base des avantages de ce procédé pour l'environnement.

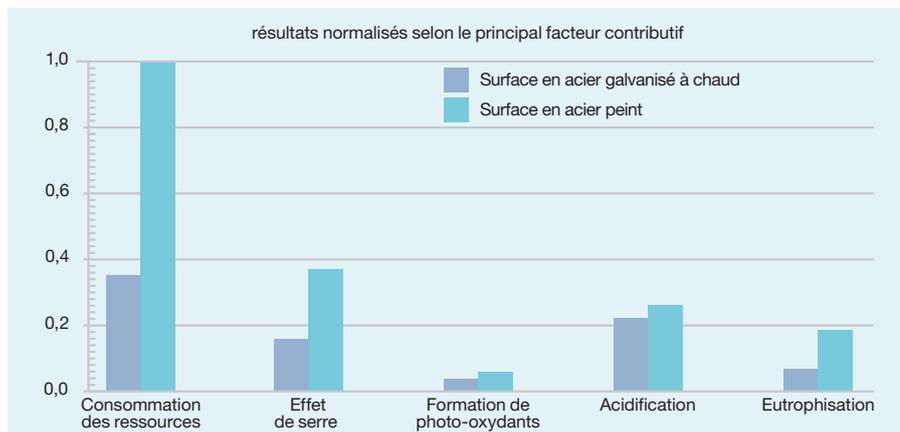


Fig 3. Impact environnemental du cycle de vie

Vie utile (années)	Structure en acier galvanisé à chaud (kg d'équivalent CO <sub>2</sub> )	Structure en acier peint (kg d'équivalent CO <sub>2</sub> )	Réduction du potentiel de réchauffement climatique par la galvanisation à chaud (kg d'équivalent CO <sub>2</sub> )
60	41 500	98 600	57 100
40	41 500	71 600	30 100
20	41 500	60 500	19 000

Fig 4. Réduction du potentiel de réchauffement climatique : protection par galvanisation à chaud pour un parking en structure acier (500t d'acier structurel)



## SECTION

SIX

—

## TITRE

ÉTUDE DE CAS 3

—

DURABILITÉ : UN PONT HOLLANDAIS APRÈS  
60 ANNÉES DE SERVICE



Diverses méthodes techniques permettent de prédire la durabilité des revêtements de galvanisation. L'une des plus rassurantes est l'utilisation d'études de cas, tel ce pont hollandais. Les structures en acier galvanisé sont utilisées depuis de nombreuses décennies et offrent autant d'exemples concrets de la bonne performance de ce revêtement.

Le pont d'Ehzer a été rapidement construit par les troupes canadiennes en 1945 pour faciliter la libération des Pays-Bas. Il supporte une petite route locale, au-dessus du canal Twente, qui relie Almen à Laren, et est encore utilisée par le trafic local. Il est tout juste assez large pour permettre le passage des voitures dans les deux sens, mais de nouveaux ponts plus récents sont aujourd'hui empruntés par le trafic urbain, laissant ainsi la place aux cyclistes et aux piétons.

### Inspection visuelle

Le pont a été récemment inspecté par le personnel technique de l'association hollandaise des galvanisateurs (SDV), dont les experts ont été frappés par la bonne apparence du pont, caractérisée par un revêtement galvanisé gris terne présentant seulement de très faibles traces de rouille.

Quelques petits travaux de réparation avaient été effectués dans la zone des connexions boulonnées, et de jeunes gens avaient contribué à la décoration de l'ouvrage à l'aide de jolies bombes à aérosol ! Mais le plus remarquable, c'est que la structure même de l'acier n'avait pas subi de corrosion significative.

### Épaisseur de la couche de revêtement restante

Durant l'inspection, l'épaisseur du revêtement a été déterminée par technique électromagnétique dans un certain nombre de zones sélectionnées de manière aléatoire, en utilisant une moyenne de 10 mesures à chaque point. À trois sections d'arrimage diagonales (150 x 150 mm), des épaisseurs de revêtements de 74 $\mu$ m, 115 $\mu$ m et 219 $\mu$ m ont été mesurées.

Deux autres sections diagonales (130 x 130 mm) présentaient des épaisseurs de 69 $\mu$ m et 82  $\mu$ m. Au niveau de deux plaques de raccordement, le revêtement affichait une épaisseur de 114 $\mu$ m (pour une épaisseur d'acier de 19 mm) et de 86 $\mu$ m (épaisseur d'acier de 9 mm). Par comparaison avec l'épaisseur des couches de zinc signalée 25 ans après la construction du pont par l'expert néerlandais de la galvanisation, Van Eijnsbergen, il ne semble pas qu'il y ait eu de réduction significative de l'épaisseur du revêtement.

On notera que la norme EN ISO 1461 exige pour les nouvelles pièces en acier galvanisé une épaisseur de 85 $\mu$ m pour les sections d'acier d'épaisseur > 6 mm.

### L'avenir du pont

Le pont Ehzer d'Almen pourrait rester en état jusqu'à son centenaire sans nécessiter d'entretien significatif. En fait, la question de savoir s'il durera aussi longtemps dépend de nombreux autres facteurs. La route sur laquelle le pont est situé est-elle destinée à rester une petite route locale tranquille, ou, à terme, sera-t-elle empruntée par une circulation beaucoup plus dense ? Ou bien encore, l'utilisation du canal évoluera-t-elle radicalement, et sera-t-il nécessaire d'accroître la hauteur du pont ou sa portée ?

## SECTION

SIX

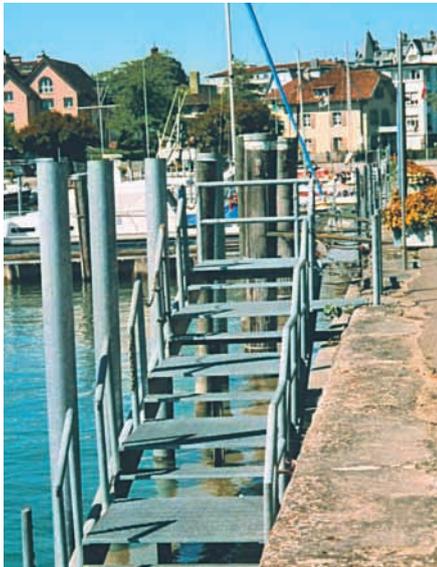
—

## TITRE

ÉTUDE DE CAS 4

—

DURABILITÉ : MARINA EN  
SUISSE APRÈS 38 ANS



La galvanisation à chaud peut assurer sur le long terme une protection anticorrosion ne nécessitant aucun entretien, même dans les environnements les plus difficiles. Un exemple idéal nous en est donné par les installations portuaires et de plaisance d'Arbon et de Bottighofen en Suisse. Ces deux petites villes idylliques de la rive sud du lac de Constance sont très populaires auprès des amateurs de sports nautiques.

### Utilisation de l'acier galvanisé

Lors de la construction du nouveau port de Bottighofen en 1968, des quantités considérables d'acier ont été utilisées. Les palplanches utilisées le long des 150 mètres du bassin du port, ainsi que de nombreux autres éléments, comme les garde-corps, barrières, portes, portails, débarcadères avec caissons de bateaux, ainsi que les bornes de protection et les lourdes jetées tubulaires, ont tous été protégés contre la corrosion par galvanisation à chaud.

Les installations du port d'Arbon ont été agrandies en 1971. Ici également, la galvanisation a été utilisée comme principal système de protection contre la corrosion des éléments en acier. Plus de 100 tonnes de palplanches et de profilés de protection ont été utilisés sur ce projet.

### Résultats de l'inspection

Lorsque les deux installations portuaires ont été inspectées pour la première fois, en 1983, aucune corrosion significative n'a été trouvée sur le revêtement de galvanisation. Même sur les surfaces les plus exposées (palplanches), aucun signe de corrosion n'a été détecté.

Une deuxième inspection des deux installations portuaires a eu lieu à l'automne 2006, soit quelque 38 ans après leur construction. Encore une fois, le revêtement galvanisé est apparu en bon état et totalement fonctionnel. Comme on pouvait s'y attendre, l'apparence d'origine brillante et argentée du zinc avait viré au gris terne. Ce changement d'apparence se produit à mesure qu'une pellicule de protection s'accumule à la surface du revêtement en raison d'une réaction avec l'atmosphère.

Le rapport d'inspection souligne le bon état des palplanches après tant d'années de service, malgré l'exposition à l'abrasion et l'impact des bateaux. En fait, ce n'est que sur certaines bornes en acier auxquelles s'amarrent de gros navires à l'aide de lourdes chaînes, que le revêtement de galvanisation avait été endommagé. La protection électrochimique du zinc adjacent empêche ces dommages de se propager par corrosion latérale.

Plus important encore, l'inspection du revêtement restant a révélé des épaisseurs se situant encore entre 50 et 100µm. Ainsi, les éléments en acier galvanisé de ces installations portuaires resteront protégés contre la corrosion pendant encore de nombreuses années.

## SECTION

SIX

### TITRE

ÉTUDE DE CAS 5

LE PONT DE LA DURABILITÉ



Pendant de nombreuses années, les enfants chinois d'une communauté divisée par la rivière Po - un affluent du fleuve Jaune - ont dû traverser la rivière sur un simple pont précaire en rondins, construit sur des piliers de paille, de roches et de terre. Les accidents étaient fréquents : une mère et son enfant ont même trouvé la mort après avoir été emportés alors qu'ils se rendaient à l'école, séparée de leur maison par la rivière.

Plus de 400 élèves du primaire vivant dans le village de Maosi, province de Gansu, vont à l'école dans des classes aménagées dans des cavernes, sur les deux rives de la rivière Po, qui gèle en hiver et peut se transformer en torrent enragé durant les moussons d'été, selon le professeur Edward Ng Yan-ynug du Département d'architecture de CUHK, qui a découvert cette collectivité et leurs problèmes à l'occasion d'un voyage d'études consacré aux propriétés thermiques des grottes habitées de la région.

Cela signifie que les élèves ne peuvent pas se rendre à l'école de novembre à février, de peur de tomber dans l'eau glaciale, ni de mai à août, en raison des crues.

Pour rendre la vie plus facile et plus sûre aux enfants et à leurs parents, un groupe dirigé par le professeur Edouard Ng a conçu une passerelle flottante, le projet « un Pont Trop Loin », dans le cadre d'une initiative visant à améliorer les installations éducatives pour la population locale. Le professeur Ng explique que le plan initial était de construire un pont submersible, mais que les forces de la nature en ont voulu autrement.

« Nous essayons de construire un pont simple et bon marché pour les villageois, dont l'entretien sera facile, précise le professeur Ng. »

Les étudiants et les professionnels ont, ensemble, mis au point la solution idéale : un pont de 80 mètres baptisé Zhi Wu Qiao (pont de la durabilité). La structure, d'un prix de revient de seulement \$300 000, a été élaborée à partir de matériaux locaux et conçue pour pouvoir être entretenue par les villageois et reproduite pour d'autres ponts.

L'ingénieur britannique Anthony Hunt, connu pour le Projet Eden, a participé à la conception initiale de l'ouvrage. Le pont devait être bon marché, facile à construire, capable de résister aux crues annuelles et facilement réparable par les villageois.

La solution était de construire les jetées sans fondations, mais avec des broches de fixation au lit de la rivière. La forme des jetées a été étudiée de sorte à en minimiser la résistance ; elles forment des gabions suffisamment pesants pour ne pas être emportés. Le tablier du pont se compose d'un cadre en acier galvanisé, rempli de planches de bambou pour former la passerelle. Il est formé de petites sections dotées de poignées, de telle sorte que chaque section, si elle se détache, peut être facilement remise en place par six villageois. L'autre caractéristique intrigante de la conception en zigzag du pont est qu'il se conforme à une croyance traditionnelle chinoise selon laquelle les mauvais esprits ne pourraient pas négocier les angles, ce qui présente également l'avantage de renforcer l'intégrité structurelle de l'ouvrage.

Environ 50 étudiants de Hong-Kong et 30 de Xian ont consacré cinq jours à la construction du pont, en compagnie des villageois. Le pont en acier galvanisé a déjà résisté à une inondation qui a submergé l'ensemble de la structure.

## RÉFÉRENCES

1. Zinc Handbook: Properties, Processing and Design  
FC Porter, published by Marcel Dekker Inc., USA (1991).
2. JSCE's report on the cost of corrosion in Japan  
T Shibata, Corrosion Management, March/April 2001, pp.16-20.
3. Corrosion costs and preventative strategies in the USA  
P Virmani, US Federal Highway Administration Publication No. FHWA-RD-01-156, (2003).
4. Comparative costs of different surface treatment systems  
T.K.H. Chu and K.B. Watson, BHP Steel, Proceedings of Third International Asia-Pacific General Galvanizing Conference, (1996).
5. Directive 96/61/EC du Conseil de l'Union Européenne du 24 septembre 1996 concernant la prévention et le contrôle de la pollution intégrée.
6. L'UK Environmental Technology Best Practice Programme a conclu que « la galvanisation utilise moins de 25 litres d'eau par tonne de produit, contre 2000 litres pour l'industrie de finition des métaux en général» (1996).
7. Ecoprofile for Primary Zinc  
Boustead Consulting (1998).
8. Sachbilanz Zink  
Prof. Dr Ing J Krüger, RWTH Aachen (2001).
9. Material flow analysis of the UK steel construction sector  
J Ley, Corus Research and Development, M Sansom, Steel Construction Institute, A Kwan, University of Wales. International Iron and Steel Institute World Conference, Luxembourg, (2002).
10. Longer life of galvanized steel due to reduced sulphur dioxide pollution in Europe  
D Knotkova and FC Porter, Proceedings of 17th International Galvanizing Conference p GD 8/1 - 8/20 (1994).
11. EN ISO 14713 (1999) : protection contre la corrosion du fer et de l'acier dans les structures - revêtements de zinc et d'aluminium - lignes directrices.
12. Conclusions of the International Conference on Zinc and Human Health Recent Scientific Advances and Implications for Public Health Programs  
Stockholm, K H Brown, June 12-14, 2000.  
International Zinc Association, (2000).
13. Rapport mondial de la santé 2002  
Organisation Mondiale de la Santé, Genève.
14. Zinc - The Vital Micronutrient for Healthy, High-Value Crops  
Prof. B J Alloway. International Zinc Association (2001).
15. Critical Review of Natural Global and Regional Emissions of Six Trace Metals to the Atmosphere  
M Richardson., Risklogic Scientific Services, Inc., (2001).
16. An assessment of global and regional emissions of trace metals to the atmosphere from anthropogenic sources worldwide  
J M Pacyna and E G Pacyna.  
Institut norvégien de la recherche atmosphérique (NILU).
17. Review of Bioavailability Studies in the European Union Risk Assessment for Zinc  
F van Assche and A Green,  
Edited Proceedings of 21st International Galvanizing Conference, Naples, Italy, (2006).
18. 'Occurrence and environmental fate of corrosion induced zinc in run-off water from external structures'  
S Bertling, I Odnevall Wallinder, D Berggren Kleja and C Leygraf, The Science of the Total Environment 367, 2-3, 908-923, (2006).
19. Zinc in Society and in the Environment  
Landner and Lindstrom (1998).
20. CEN TC 350  
"Sustainability of Construction Works"
21. [www.legep.de](http://www.legep.de)
22. [www.bre.co.uk](http://www.bre.co.uk)
23. [www.usgbc.org/LEED/](http://www.usgbc.org/LEED/)
24. Directive du Conseil 89/106/CEE du 21 Décembre 1988 concernant le rapprochement des dispositions législatives, réglementaires et administratives des états membres relatives aux produits de construction (89/106/CEE) (JO L 40 du 11.2.1989, p. 12).
25. ISO 14040  
« Gestion environnementale - analyse du cycle de vie - Principes et cadre de contrôle ».
26. [www.environdec.com](http://www.environdec.com)

## GLOSSAIRE

### CENDRES

Sous-produit solide qui se forme à la surface du bain de galvanisation à la suite de la réaction entre le zinc et l'air. Il est régulièrement enlevé de la surface du bain et recyclé.

### MATTES

Sous-produit solide de la réaction entre le fer et le zinc en fusion durant la galvanisation. Les mattes contiennent environ 96 % de zinc et 4 % de fer et sont régulièrement retirées du fond du bain et recyclées.

### ZINC ENTRAÎNÉ

Petits globules de zinc pouvant être entraînés dans les cendres qui ont été retirées en vue de leur recyclage. Ce zinc entraîné est séparé des cendres et fondu pour réutilisation.

### FLUX

Solution de prétraitement qui assure un nettoyage final de la surface de l'acier avant galvanisation et permet une bonne humidification de la surface de l'acier par le zinc en fusion lors de l'immersion dans le bain de galvanisation.

### HYDROMÉTALLURGIQUE

Processus qui s'appuie principalement sur l'électrolyse ou les précipitations chimiques pour la séparation d'un métal de son minerai.

### SUSPENSION

Accrochage des lots d'articles en acier à galvaniser sur des crochets ou des fils.

### PATINE

Film protecteur qui se forme à la surface du revêtement de galvanisation (zinc) lorsqu'il réagit avec le dioxyde de carbone et l'oxygène de l'atmosphère.

### DÉCAPAGE

Utilisation d'acide dilué pour éliminer la rouille et autres contaminants des articles en acier avant leur immersion dans le bain de galvanisation.

### PYROMÉTALLURGIQUE

Se réfère à un procédé qui s'appuie principalement sur la chaleur pour séparer un métal de son minerai.

### TREMPAGE DE REFROIDISSEMENT

Refroidissement rapide des articles en acier galvanisé dès leur retrait du bain de galvanisation. Cela permet de manipuler plus tôt l'acier traité.

### ZINC RAFFINÉ

Également appelé zinc primaire. Zinc métallique produit à partir de minerai concentré ou de matières premières recyclées.

### ZINC REFONDU

Également appelé zinc secondaire. Zinc métallique récupéré en fin de vie ou issu de la ferraille et fondu pour réutilisation.

## GUIDE DES SIGLES

### BREEAM

Building Research Establishment  
Méthode d'évaluation environnementale

### CML

Institut des Sciences de l'environnement,  
Université de Leiden, Pays-Bas

### DAIA

Decision Analysis Impact Assessment  
(Institut finlandais de l'environnement)

### DFT

Dry Film Thickness

### EGGA

Association Européenne des galvanisateurs

### FDES

Fiche de déclaration environnementale  
et sanitaire

### KTH

LL'Institut Royal de Technologie, Stockholm

### ACV

Analyse du cycle de vie

### ICV

Inventaire du cycle de vie

### LEED

Leadership in Energy and Environmental  
Design

### PCR

Règles de catégories de produits  
(pour une FDES)

### SEMCO

Conseil suédois de gestion  
environnementale

### COV

Composés organiques volatils  
(par ex., solvants)

## CREDITS

Couverture	Mur anti-bruit, Utrecht, Pays-Bas. OLN [Oosterhuis_Lénárd] Meijers Staalbouw	Page 13	Ecoboulevard de Vallecas, Madrid, Espagne. Ecosistema Urbano Emilio P. Doiztua	Page 31	Maisons à Constance, Allemagne. Schaudt Architects Reiner Blünck
Page 5	Siège social de NV Afvalzorg, Pays-Bas. Kerste - Meijer Acchitecten bna avb, Amsterdam. Rob Hoekstra, Kalmthout	Page 13	House Boats au Bourget du Lac, France Architecte : Patriarche & Co	Page 31	Usine d'incinération Isséane à Issy-les-Moulineaux, France Architecte : Dusbosc & Landowski
Page 6	Quai du Jubilee, Cornouailles, GB. Zedfactory www.zedfactory.com	Page 14	Wedge Group Galvanizing	Page 32	Étude de cas 1 International Zinc Association
Page 7	Pont Maosi, Chine. Edward Ng Yan-ynung Département d'architecture, CUHK	Page 15	Wedge Group Galvanizing Metallics Systems Europe BV (2) Hasco - Thermic Ltd (3+4)	Page 34	Étude de cas 2 Institut Feuerverzinken, Allemagne.
Page 9	Stade de Croke Park, Dublin, Irlande. (1+2) Abacus L leurighting	Page 17	Bedzed, GB. Zedfactory www.zedfactory.com	Page 36	Étude de cas 3 Stichting Doelmatig Verzinken Pays-Bas.
Page 9	Glissière de sécurité, Allemagne. (3+4) Mehrsi - Mehr Sicherheit für Biker e.V.	Page 18	Boliden AB (1+2) Sphalérite (minéral de zinc) avec calcite (3)	Page 37	Étude de cas 4 Institut Feuerverzinken, Allemagne. Gackenheimer, Neuhausen-Steinegg
Page 11	Maison à Keremma, France Architecte : Lacaton Vassal, Photographe : Ph. Ruault	Page 22	Rezinal nv	Page 38	Étude de cas 5 Département d'architecture CUHK.
Page 11	Habitation solaire, Freiburg, Allemagne. (2) Hosrt Disch	Page 24	Hall d'exposition à Villepinte, France Architecte : Lacaton & Vassal		
Page 11	Institut Feuerverzinken (Elevation 1) Mossbourne Academy, Londres, GB. (Elevation 2) Rogers Stirk Harbour + Partners	Page 25	Hearst Tower, New York, USA. Foster + Partners Chuck Choi		
		Page 26	Bureaux à Cherbourg, France Architecte : Denis Métivier		
		Page 27	Gymnase de Belfort, France Architecte : Archi5		
		Page 29	Piscine à Saint Pierre les Nemours, France Architecte : TNA-Architectes, Photographe : Hervé Abbadié		

**INITIATIVE EUROPÉENNE  
POUR LA GALVANISATION  
DANS LA CONSTRUCTION  
DURABLE**

European General  
Galvanizers Association

Maybrook House  
Godstone Road  
Caterham  
Surrey CR3 6RE  
GB

Tel: + 44 (0)1883 331277

email: [mail@egga.com](mailto:mail@egga.com)  
[www.egga.com](http://www.egga.com)

International Zinc  
Association-Europe

168 avenue de Tervueren  
B-1150  
Bruxelles  
Belgique

Tel: + 32 (0) 2 776 0070

email: [info@izaurope.com](mailto:info@izaurope.com)  
[www.zincworld.org](http://www.zincworld.org)

---

**Conseillers et collaborateurs :**

Life Cycle Engineering  
[www.studiolce.it](http://www.studiolce.it)

Centre for Alternative Technology  
[www.cat.org.uk](http://www.cat.org.uk)

Steel Construction Institute  
[www.steel-sci.org](http://www.steel-sci.org)

**GALVAZINC**  
**ASSOCIATION**

16, rue Jean-Jacques Rousseau  
92138 Issy-les-Moulineaux cedex

Téléphone: +33 (0)1 55 95 02 02

Fax: +33 (0)1 55 95 02 00

e-mail: [info@galvazinc.com](mailto:info@galvazinc.com)

[www.galvazinc.com](http://www.galvazinc.com)