

# 11 LE DÉVELOPPEMENT DURABLE

## Les 14 cibles HQE®

1. Relation harmonieuse des bâtiments avec leur environnement immédiat
2. Choix intégré des procédés et produits de construction
3. Chantiers à faibles nuisances
4. Gestion de l'énergie
5. Gestion de l'eau
6. Gestion des déchets d'activité
7. Gestion de l'entretien et de la maintenance
8. Confort hygrothermique
9. Confort acoustique
10. Confort visuel
11. Confort olfactif
12. Qualité sanitaire des espaces
13. Qualité sanitaire de l'air
14. Qualité sanitaire de l'eau.

La population mondiale croît sans cesse, consomme plus de biens, de services et d'énergie, produit de plus en plus de déchets. Les activités humaines doivent ainsi veiller à minimiser l'emploi des ressources disponibles, à économiser les énergies et à réduire les pollutions. Nous devons nous soucier de recycler les matériaux existants, de penser et agir en terme de développement durable. Par ailleurs, s'il n'existe pas encore en France de réglementation proprement dite, l'association HQE® a mis au point une démarche formalisée autour de quatorze cibles. Cette démarche opérationnelle vise à maîtriser les impacts des bâtiments sur l'environnement extérieur et créer un environnement intérieur sain et confortable. Elle est applicable aussi bien à la construction neuve qu'à la réhabilitation. La prise en compte de ces cibles aux différentes étapes de conception et de réalisation permet une prise en compte globale du coût. L'acier comme matériau de construction tend à s'inscrire dans cette démarche et à répondre à l'ensemble des préoccupations environnementales.

## Le choix des matériaux

Tous les produits manufacturés ont leur propre cycle de vie dont l'analyse, ou ACV, est l'instrument de mesure de leurs impacts sur l'environnement. Les différentes phases du cycle de vie d'un élément constructif comprennent l'extraction et la transformation des matières premières, son transport, sa mise en œuvre, sa vie en œuvre, jusqu'à sa fin de vie (démolition ou déconstruction, recyclage et le traitement des déchets).

À ce titre, la norme NF P 01-010 (publication automne 2004) destinée aux concepteurs, établit « les bases communes pour la délivrance d'une information objective qualitative et quantitative sur les caractéristiques environnementales et sanitaires des produits de construction et leur contribution à celle du bâtiment ». L'information délivrée repose notamment sur les méthodes d'inventaire et d'analyse du cycle de vie décrites dans les normes ISO 14040 et ISO 14041, sur les principes généraux définis dans la norme ISO 14020 et sur le rapport technique ISO 14025. Suivant chaque projet, cette démarche volontaire permet une prise en compte de tous les facteurs, élément par élément en considérant l'assemblage global.

Dans le cadre d'une démarche de ce type, le choix d'éléments tout ou partie en acier présente de nombreux avantages liés à son mode de production. L'acier est produit soit à partir de minerai de fer et de coke (filière fonte) – le minerai de fer, de même que le charbon, est très abondant sur terre –, soit à partir de ferraille et d'électricité (filière électrique). Aujourd'hui, entre 40 % et 50 % de la production mondiale d'acier est réalisée à partir de ferrailles recyclées. Cette part d'acier produit à partir d'acier recyclé ne fait que croître. Ainsi, l'acier actuellement immobilisé dans des bâtiments ou des objets sera demain un gisement de matière première.



Épandage d'amendements (scories d'aciérie).

Acier compacté, en attente de recyclage.



Le procédé de fabrication de l'acier génère relativement peu de déchets ou de substances polluantes pour l'environnement et l'eau qu'il consomme est pour une large part recyclée. Les co-produits de la production de l'acier sont réutilisés, notamment le laitier de haut fourneau comme ballast dans la construction routière ou pour la fabrication du ciment. Les gaz émis sont recyclés ou filtrés. Cependant, et malgré les efforts des sidérurgistes pour réduire la quantité d'énergie nécessaire, la production d'acier à partir de minerai génère du CO<sub>2</sub>, à raison deux tonnes par tonne d'acier. Là encore, c'est l'augmentation du recyclage qui pourra apporter une solution à long terme.

En outre, l'acier se marie facilement avec les autres matériaux. Cela facilite leur choix en fonction de critères environnementaux tout en laissant une grande liberté de conception. Il est par exemple possible d'associer à une ossature métallique des vêtements en bois non tropical ou des façades en verre.

### La construction

La mise en œuvre de l'acier permet de minimiser les nuisances lors de la construction. Les éléments en acier sont relativement légers et donc faciles à transporter. En structure, cela représente une économie de matière et permet des fondations réduites qui n'exigent ni fouilles et ni excavations génératrices de déblais et de rotations de camions. Cela limite également l'utilisation sur le chantier de machines telles que les toupies à béton qui occasionnent circulation et salissures.

Les structures ou vêtements en acier sont en grande partie fabriquées en atelier ou en usine, dans un environnement contrôlé où les conditions de travail et de sécurité sont meilleures. La tendance est d'ailleurs à augmenter cette part de la fabrication hors site, pour ne réserver au montage proprement dit que l'assemblage d'éléments préfabriqués. La limite est ici fixée par le gabarit de transport (routier ou fluvial) et par la capacité des moyens de levage. En outre, les structures en acier peuvent être livrées juste à temps pour le montage en « flux tendu », limitant ainsi les besoins de stockage sur le chantier ce qui est particulièrement précieux en site urbain.

Une construction en acier signifie la mise en œuvre à sec, en partie ou en totalité, de produits finis, sans bruit ni poussière qui polluent et perturbent le voisinage. L'acier n'induisant aucun déchet, les contraintes d'évacuation sont supprimées et la rapidité de montage minimise la durée du chantier.

### La « vie en œuvre » du bâtiment

Dans le cycle de vie d'un bâtiment, on distingue, d'une part, l'énergie incorporée qui comporte toute l'énergie nécessaire pour l'extraction, la fabrication et le transport des produits ainsi que la construction et, d'autre part, l'énergie



Centre de tri de ferrailles.  
La séparation des ferrailles avec les autres matières se fait aisément par électro-aimant.



Passerelle fabriquée en atelier, en route pour être placée d'une seule pièce, garde-corps et platelage compris, au-dessus de la Leyse, France. Patriarche & Co architectes.



Hall de contrôle de véhicule à Savigny-le-Temple, France, dont la structure est composée de PRS et de profilés du commerce adaptés au montage *in situ*. H. Fricout-Cassagnol architecte.



**Maison à Stuttgart, Allemagne.**  
Autosuffisante sur le plan énergétique, elle est conçue pour être facilement déconstruite et recyclée en fin de vie. Werner Sobek architecte.

opérationnelle d'un bâtiment pendant sa durée de vie qui comprend l'éclairage, le chauffage, la ventilation, le fonctionnement, l'entretien, les réparations. Pour un immeuble de bureaux standard, l'énergie consommée pendant la durée de vie du bâtiment peut être jusqu'à dix fois supérieure à l'énergie incorporée. Il est donc essentiel de faire davantage porter l'effort d'économie sur l'énergie consommée que sur l'énergie incorporée. Par exemple, en privilégiant une bonne conception énergétique du bâtiment, l'isolation thermique (du froid comme de la chaleur), l'éclairage et la ventilation naturelle, la facilité de maintenance et la capacité d'évolution dans le temps. L'acier en structure facilite les vastes ouvertures qui laissent pénétrer la lumière et permettent éventuellement de profiter de l'énergie solaire. Très favorables au bilan énergétique, des solutions d'isolation par l'extérieur sont aisément applicables. Avec des charpentes en acier en poteaux-poutres, il n'y a pas de murs porteurs et les maîtres d'ouvrage et les architectes ont un maximum de liberté dans la conception de nouvelles organisations intérieures, voire dans la transformation des façades. Les édifices existants peuvent être facilement agrandis ou transformés et mis aux nouvelles normes d'usage ou même changer d'affectation.

Enfin, l'acier est durable et on sait le protéger de la corrosion. Bien entretenu, il dure longtemps à l'image de bâtiments plus que centenaires comme la Tour Eiffel. En allongeant la vie utile d'une structure, l'énergie incorporée dans celle-ci se répartira sur une période encore plus longue et dès lors on optimisera le rendement de l'énergie dans la construction. Pour rendre possible l'allongement de la vie d'un bâtiment, le projet constructif doit être souple et adaptable. L'acier est un matériau qui convient parfaitement à cette adaptabilité. Ses propriétés naturelles (ductilité, rapport résistance/poids, dureté), lui confèrent aussi une résistance élevée à des contraintes inattendues comme les catastrophes naturelles telles que les séismes.

### La fin de vie

La durée de vie « utile » de tout bâtiment et de toute structure n'est pas illimitée. Les bâtiments qui ne peuvent pas être rénovés doivent pouvoir être démontés ou « déconstruits » plutôt que simplement démolis, à défaut d'être transformés. Ce démontage peut se prévoir dès la conception, à l'image de ce qui se fait aujourd'hui dans l'automobile. L'objectif doit être de pouvoir séparer facilement les composants et d'en trier les matériaux, soit pour les réutiliser soit pour les recycler. Or l'acier se prête bien à un démontage, sans trop de bruit, de poussières et de déblais, en vue de la réutilisation des éléments. En outre, il se trie aisément grâce à ses propriétés magnétiques et peut être recyclé à 100 % et à l'infini sans rien perdre de ses qualités.

**Démontage du pont de Hammer à Düsseldorf, Allemagne.**



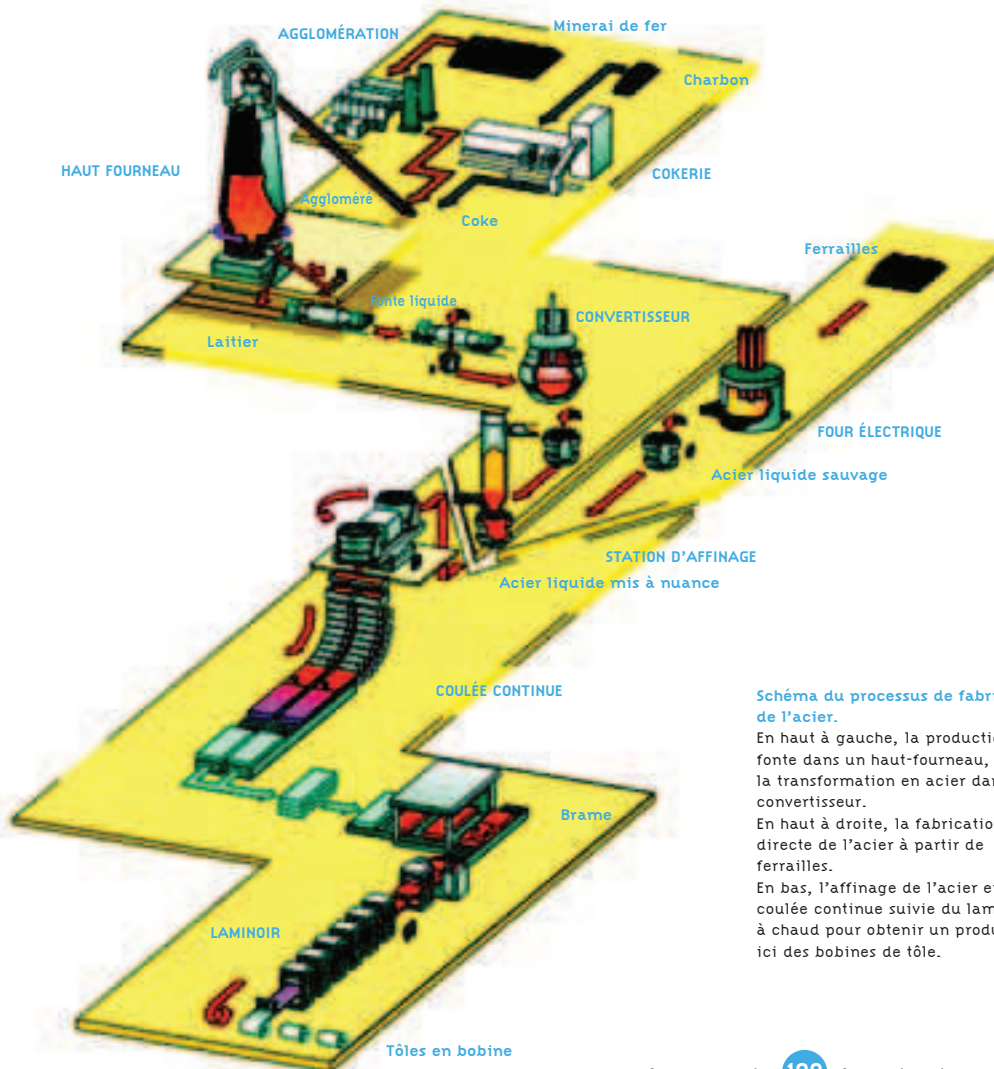
## Annexe 1 : la fabrication de l'acier

### La filière fonte

Le minerai de fer et le coke (du carbone presque pur) sont disposés en couches en haut d'un haut-fourneau. Un haut-fourneau peut atteindre 90 m de hauteur et 14 m de diamètre. Sa production varie entre 2 000 et 15 000 t de fonte par jour. Il fonctionne en continu et on l'arrête en moyenne une fois tous les quinze ans. De l'air chaud à 1 200 °C est insufflé à la base du haut-fourneau. Il provoque la combustion du coke. La chaleur dégagée fait fondre le fer et la gangue dans une masse liquide, où la gangue surnage.



Haut-fourneau.



#### Schéma du processus de fabrication de l'acier.

En haut à gauche, la production de fonte dans un haut-fourneau, puis la transformation en acier dans un convertisseur.

En haut à droite, la fabrication directe de l'acier à partir de ferrailles.

En bas, l'affinage de l'acier et la coulée continue suivie du laminage à chaud pour obtenir un produit fini, ici des bobines de tôle.

On obtient de la fonte liquide. Celle-ci est alors conduite à l'aciérie dans des wagons pour être versée dans un convertisseur à oxygène.

### La filière électrique

L'acier y est directement produit à partir de ferrailles de récupération, sélectionnées suivant leur composition ou leur nuance. Elles proviennent des emballages jetés, des bâtiments, des machines, des véhicules, des chutes de fonte et des aciers récupérés. Ces ferrailles sont chargées dans un four électrique. La fusion a lieu à 1 600° grâce à des arcs électriques. Le métal liquide est conduit ensuite à la station d'affinage de l'aciérie.

### L'aciérie

La première étape de l'aciérie est le convertisseur à oxygène où l'on convertit la fonte en acier. On verse la fonte en fusion sur un lit de ferraille. Les éléments indésirables (carbone et résidus) contenus dans la fonte sont alors brûlés en insufflant de l'oxygène pur. On obtient de l'acier liquide dit « sauvage » – l'acier est encore imparfait à ce stade – qui est versé dans une poche. La production d'un convertisseur à oxygène est de 300 t par coulée. Une tonne de fonte permet d'obtenir 1,1 t d'acier (on a ajouté 0,1 t de ferraille).

L'étape suivante est la station d'affinage où les filières fonte et électrique citées précédemment se rejoignent. Les opérations d'affinage (ou de décarburation) et d'additions chimiques se font dans un récipient sous vide, l'acier étant mis en rotation. On insuffle de l'oxygène pour activer la décarburation et réchauffer le métal. La « mise à nuance » de l'acier, à savoir l'ajustement de sa composition chimique, est réalisée avec une grande précision grâce à ce procédé.



Four électrique d'Olaberria en Espagne.

### La coulée continue

Vient ensuite l'étape de la coulée continue qui permet le moulage d'ébauches (ou demi-produits). On coule l'acier en fusion en continu dans un moule sans fond. Le métal au contact des parois refroidies à l'eau commence à se solidifier. Il descend du moule, guidé par un jeu de rouleaux, et continue de se refroidir. Arrivé à la sortie, il est solidifié à cœur. Il est immédiatement coupé aux longueurs voulues.

Les demi-produits obtenus sont :

- les brames, de 20 à 30 cm d'épaisseur, 2 m de largeur et de 5 à 6 m de longueur permettent la production des produits plats laminés à chaud (plaques, feuilles, bobines...);
- les blooms, de 15 cm à 100 cm de côté, pouvant aller jusqu'à 12 m de longueur, et les billettes, de 15 cm de côté, qui donneront les produits longs laminés à chaud (fil, barres, rails, profilés divers, poutrelles...).

## Bibliographie

- [1] Antropius, Jean-Daniel – *Planchers à bacs collaborants* – Éditions du CTICM, Saint-Rémy-les-Chevreuse, 1995
- [2] Archambault, Guy et Thomas, Loïc – *Sécurité incendie* – Éditions Otua, coll. « Mémentos acier », La Défense, 2002
- [3] Bourrier, Pierre et Brozzetti, Jacques (sous la dir.) – *Construction métallique et mixte acier-béton*, vol. 1 « Calcul et dimensionnement selon les Eurocodes 3 et 4 » ; vol. 2 « Conception et mise en œuvre » – Éditions Eyrolles, Paris, 1996
- [4] *Construire avec les aciers* – ouvrage collectif, 2<sup>e</sup> éd. revue et augmentée, sous la dir. de Bertrand Lemoine – coll. « Techniques de conception » Éditions du Moniteur, Paris, 2002
- [5] Daussy, Robert – *Guide pratique de charpente métallique* – Éditions Eyrolles, Paris, 1993
- [6] Eekhout, Mick – *Structures tubulaires en architecture* – Éditions Cidect, Genève, 1994
- [7] *Eurocode 3 et documents d'application nationale. Calcul des structures en acier* – Éditions Eyrolles, Paris, 1996
- [8] *Eurocode 4 et documents d'application nationale. Conception et dimensionnement des structures mixtes acier-béton* – Éditions Eyrolles, Paris, 1996
- [9] Fruitet, Louis – *Cours de construction métallique* – Éditions Dunod/UPA1, Paris, 1983
- [10] Habermann, Karl J., Schulitz, Helmut C., Sobek, W. *Construire en acier* – Éditions Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, 2003 – Édition originale en langue allemande, Detail, Munich, 1999
- [11] Hart, F, Henn, W & Sontag, H – *Structure acier - Bâtiments à étages* – Éditions Publimétal et SEPFI, Paris, 2<sup>e</sup> éd. 1986
- [12] Hirt, Manfred A. et Crisinel, Michel – *Charpentes métalliques : Conception et dimensionnement des halles et bâtiments* – Traité de Génie Civil, vol. 11, Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, 2001
- [13] Hirt, Manfred A., Nussbaumer, Alain, Crisinel, Michel et Lebet, Jean-Paul – *Construction métallique. Bases de calcul et exemples numériques adaptés aux nouvelles normes* – Complément du Traité de Génie Civil, Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, 2004
- [14] Lemoine, Bertrand – *L'Architecture du fer. France : XIX<sup>e</sup> siècle* – Éditions Champs-Vallon, collection « Milieux », Paris, 1986
- [15] Lescouarc'h, Yvon – *Initiation au calcul d'un bâtiment à structure en acier* – Éditions du CTICM, Saint-Rémy-les-Chevreuse, 1997
- [16] Miettinen Esko, Ripatti Harri, Saarni Risto *Use of Steel in Housing Renovation* – The Finnish Constructional Steelwork Association, Helsinki, 1997
- [17] *Light Steel-Framed Construction* – LSK 2004
- [18] Miettinen Esko, Saarni Risto – *Use of Steel in house building* – The Finnish Constructional Steelwork Association, Helsinki, 2000
- [19] Muttoni, Aurelio – *L'Art des structures. Une introduction au fonctionnement des structures en architecture* – Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, 2004
- [20] Roesch, Louis – *L'Acier, sa fabrication, ses propriétés, sa mise en œuvre, ses emplois* – Éditions Otua, La Défense, 2003
- [21] Schittich, Christian – *Building Skins : Concepts, Layers, Materials* – Edition Detail, Munich, Birkhäuser, Bâle, 2001
- [22] Seitz, Frederick – *L'Architecture métallique au XX<sup>e</sup> siècle : architecture et « savoir-fer »* – Éditions Belin, Paris, 1995
- [23] Slessor, Catherine – *Eco-Tech: Sustainable Architecture and High Technology* – Thames and Hudson, London, 1997
- [24] Zacek, Milan – *Construire parasismique* – Éditions Parenthèses, Marseille, 1996

### Documentations techniques

Arcelor / [www.constructalia.com](http://www.constructalia.com)  
 Arcelor Sections Commercial / [www.asc.arcelor.com](http://www.asc.arcelor.com)  
 Haironville / [www.haironville.com](http://www.haironville.com)  
 Lafarge plâtre / [www.lafarge-platres.com](http://www.lafarge-platres.com)  
 PAB / [www.pab.com](http://www.pab.com)  
 Ugine & ALZ / [www.ugine-alz-construction.com](http://www.ugine-alz-construction.com)

### Sites d'information

[www.acierconstruction.com](http://www.acierconstruction.com)  
[www.cticm.com](http://www.cticm.com)  
[www.otua.org](http://www.otua.org)

## Crédits iconographiques

### A

Abbadie, Hervé : 87 (2), 90.  
Apex : 108 (1).  
Aranguren, Joxe : 48 (1).  
Avenel, Éric : 80 (1), 88 (3).

### B

Baltanás, A. L. + Sánchez, E. : 95 (3).  
Boëgly, Luc/Archipress : 94 (2).  
Bordaz, Marie-Claire : 49 (2).  
Burt/Apex : 43 (3).

### C

*Charpentes métalliques : Conception et dimensionnement des halles et bâtiments* [12] : 23 (2), 24 (1-3), 26 (1), 27 (2), 38 (2), 45 (2), 52 (1), 57 (1), 68 (1).  
Chavanne, Patrick : 88 (4).  
Cepezed : 61 (3, 5).  
Construire avec les aciers [4] : 13 (1), 49 (3), 51 (1), 53 (1, 3, 5), 67 (1), 87 (1).  
Construire en acier [10] : 12, 27 (1), 35 (1), 46 (2).  
Construire parasismique [24] : 17 (1-3).  
Construction mixte acier-béton, vol. 2 [3] : 46 (1, 6), 47 (3).  
Cours de construction métallique [9] : 8 (1-3), 9 (1), 10 (2), 14 (2), 23 (1, 3), 35 (2, 3), 36, 42 (2, 3), 43 (1, 2), 49 (1), 50 (2), 51 (4), 52 (2-4), 53 (2, 4), 81 (3).  
Couturier, Stéphane/Archipress : 84.

### D

Défossez, Joseph : 96, 97 (1-3), 98 (1-3), 99 (1, 2), 100, 101 (1, 2), 102 (1, 2), 103 (1-4), 104 (1-4), 105 (1-4).  
Denancé, Michel/Archipress : 65 (1), 79 (2).  
DR : 7 (1, 2, 3), 9 (2, 3), 11 (2), 16 (1), 18, 26 (2), 33 (2), 34 (2), 37 (2), 39 (3), 41 (4), 42 (1), 44 (1-4), 45 (1, 3), 46 (3), 47 (1), 48 (4), 50 (1, 3), 51 (2, 3), 54 (1), 55 (3), 56 (2), 57 (4, 5), 58 (1-4), 59 (2, 3), 60 (1, 2), 63 (2), 68 (3), 70 (3), 76, 77 (3), 78 (1), 79 (3), 80 (2), 83 (4), 85 (1-3), 86 (2), 87 (3), 88 (1), 91 (1), 94 (3), 106 (1, 2), 107 (1), 108 (2), 109 (2), 110.  
Dubosc et Landowski : 30 (2), 32 (2), 56 (3, 4), 58 (6), 66 (1, 2), 72 (1), 74 (1, 2), 75 (1-4), 77 (1), 78 (2), 79 (1), 80 (3, 4), 83 (4), 86 (1).

### F

Fessy, Georges : 31 (1), 40 (4).

### G

Gaston Bergeret : 71 (2).  
Guérin, G. : 87 (4).

### H

Haironville : 64 (2), 71 (1, 3), 73 (1), 81 (1), 82 (1), 93 (1).  
Héroult, Isabel et Armod, Yves : 41 (5).  
Herbin, Stéphane : 48 (2).  
Hunt, Anthony Associates : 40 (3).

### J

Jaffre, J. : 83 (3).  
Jouannais, Emmanuel : 13 (2), 14 (1, 3), 15, 16 (2), 25 (1), 27 (3), 28, 29 (1, 2), 32 (3), 34 (4), 38 (1), 39 (1), 40 (1), 41 (1, 3), 46 (2), 54 (2), 63 (1), 67 (2).  
Jouannais, Eve : 48 (3).

### K

Kasper, G. : 32 (1).  
Keuzenkamp, Franz : 69 (1).

### L

Lafarge plâtre : 86 (3, 4).  
Lemoine, Bertrand : 25 (2), 30 (1), 33 (3), 34 (3), 47 (2), 77 (2), 89 (3).

### M

Martius, Herbert : 93 (2).  
Maurer, Paul : 89 (2), 107 (2).  
Meister, Heidi : 9 (4).  
Monthiers, Jean-Marie : 39 (4), 88 (2), 89 (2), 94 (1).  
Monthiers, Vincent : 91 (2).  
Morin, André : 95 (1).

### N

Naux, Élisabeth et Poux, Luc : 89 (1).

### P

PAB : 10 (1), 58 (5), 72 (2), 73 (2, 3), 81 (2).  
Profil du futur : 10 (3).

### Q

Quirot, Bernard et Vichard, Olivier : 64 (1).

### R

Richters, Christian : 95 (2).  
Ruault, Philippe : 34 (1).

### S

Saillet, Érick : 39 (2).  
Savary, Stéphane : 65 (2).  
Shinken Chiku-Sha : 43 (4).  
SMB : 41 (2).  
SNCF AP-Arep : 11 (1).  
*Structure acier* [11] : 27 (1), 31 (2), 33 (1), 37 (1), 40 (2), 55 (2), 69 (2, 3), 70 (1, 2).  
Sucheyre, Dalhiette : 62 (1), 92.

### T

Terrell Rooke Associés : 59 (1).

### U

Ugine & ALZ : 82 (2), 83 (1, 2).

### Z

Zekri, A. : 106 (3).

# Concevoir et Construire en acier

L'acier est un matériau de construction universel, présent dans les bâtiments sous de multiples formes. Il s'adapte aux nécessités pour combiner liberté de création avec efficacité constructive. Il offre des possibilités uniques de grandes portées, de souplesse d'adaptation, de possibilités de combinaison avec les autres matériaux, de construction durable et recyclable.

Ce manuel présente de manière didactique et synthétique l'essentiel de ce qu'il faut savoir sur l'acier, ses performances mécaniques, sa mise en œuvre dans le domaine des structures, des planchers, des façades, des couvertures, des cloisons et des équipements intérieurs. Il souligne également les performances de l'acier en matière de durabilité et de sécurité incendie. Outil de conception simple et pratique, ce «Mémento acier», second ouvrage de la collection initiée par le groupe Arcelor, s'adresse aussi bien aux professionnels confirmés de l'acte de bâtir qu'aux étudiants.

Les  
auteurs

*Marc Landowski* architecte dplg, enseignant à l'école d'architecture de Bordeaux, associé de l'agence Dubosc et Landowski connue pour ses réalisations à dominante acier.  
*Bertrand Lemoine* ingénieur diplômé de l'École polytechnique et de l'École nationale des ponts et chaussées, architecte dplg, enseignant à l'école d'architecture de Marne-la-Vallée, spécialiste de la construction métallique.



ISBN : 2-9523318-0-4

15 €