

La construction métallique

par **Jacques BROZZETTI**

Ingénieur de l'École nationale supérieure des arts et métiers

Master of Sciences

Docteur Honoris Causa

Professeur à l'École nationale des ponts et chaussées

Directeur scientifique du Centre technique industriel de la construction métallique (CTICM)

| | |
|---|--------------------|
| 1. Panorama de la construction métallique en France | C 2 500 - 2 |
| 2. Intervenants dans l'acte de construire | — 3 |
| 3. Organisation et rôle d'une entreprise de construction métallique | — 4 |
| 3.1 Structure opérationnelle d'une entreprise de construction métallique .. | — 4 |
| 3.1.1 Bureau d'études | — 5 |
| 3.1.2 Atelier | — 5 |
| 3.1.3 Montage | — 6 |
| 3.2 Déviations par rapport à l'organisation précédente | — 6 |
| 4. Évolution des techniques et des moyens de fabrication et de calcul | — 6 |
| 4.1 Matériaux | — 6 |
| 4.2 Outils et méthodes pour la fabrication | — 6 |
| 4.3 Rôle de la normalisation en charpente métallique | — 7 |
| 4.4 Apport de l'informatique au bureau d'études et à l'atelier | — 7 |
| 5. Sources de pathologie. Avantages intrinsèques de l'acier | — 8 |
| 5.1 Protection contre la corrosion | — 8 |
| 5.2 Résistance des éléments en acier | — 8 |
| 5.3 Protection contre l'incendie | — 9 |
| 6. De la qualification à la certification des entreprises du bâtiment | — 9 |
| 6.1 Qualibat | — 9 |
| 6.2 Certification suivant ISO 9000 | — 9 |
| 7. Règles de calcul en construction métallique | — 9 |
| 7.1 Contexte général sur l'origine des eurocodes | — 9 |
| 7.2 Contexte particulier à l'Eurocode 3 | — 10 |
| 7.3 Corpus des règles de construction métallique actuelles en regard de ce qu'apporte l'Eurocode 3 et son DAN | — 11 |
| Références bibliographiques | — 11 |

La construction métallique dispose dans le BTP d'une « ancienneté » que certains interprètent comme un signe de non-modernité alors que d'autres y voient l'évolution d'une industrie centenaire qui a su s'adapter au progrès. En considérant la qualité — au sens large — des ouvrages construits, on peut chercher à comparer les filières de construction entre elles. On s'aperçoit alors que la construction métallique fait figure plus qu'honorable dans le panorama d'ensemble.

Pour cela, nous présentons le panorama en chiffres de l'entreprise de construction métallique en rappelant comment elle s'insère dans la chaîne des

participants à l'acte de construire. Nous décrivons ensuite les modèles selon lesquels elle s'organise en tant qu'entreprise industrielle et en quoi les dernières évolutions des matériaux, des moyens de production, de l'informatique et de la normalisation influent sur son devenir.

Cela fait, nous reviendrons sur les avantages et inconvénients — parfois supposés ou surestimés — de l'acier, à la lumière des méthodes et des produits disponibles aujourd'hui. Parmi ces aspects, la qualification ou la certification des entreprises fera l'objet d'un développement particulier.

1. Panorama de la construction métallique en France

Les entreprises de construction métallique couvrent un spectre étendu de l'activité BTP en France. Les activités traditionnelles de la construction métallique concernent essentiellement le domaine de la fabrication et, parfois, du montage des ossatures métalliques. Les activités de couverture-bardage requièrent de plus en plus la mise en œuvre de composants industrialisés. Les produits sont fabriqués, soit par des filiales de groupes sidérurgiques, soit par des entreprises spécialisées dans la fabrication et le traitement de revêtement d'éléments minces formés à froid. Ces dernières travaillent essentiellement à partir de feuillards et ont investi dans des machines spéciales (figures 1 et 2).

Aussi parlerons-nous essentiellement des entreprises réalisant un volume d'affaires significatif en charpente métallique, soit un minimum de l'ordre de 200 tonnes usinées par an et 30 M€ de chiffre d'affaires, en rappelant au passage que le produit de base, profilé métallique ou plaque, vaut actuellement à l'achat entre 305 € et 610 € la tonne.

Sur ces critères, il existe environ 550 entreprises recensées en France, se caractérisant par des activités de fabrication couvrant les divers types de bâtiments, les ouvrages d'art, les mâts et pylônes de hauteur significative, les silos et divers autres équipements. Soulignons cependant que les cinq plus importantes entreprises restent des PME de moins de 700 employés.



Figure 1 – Profileuse à galets pour tôle de bardage



Figure 2 – Fabrication d'une panne Z par profilage à froid

La production de constructions métalliques usinées est d'environ 850 000 tonnes (année 2000) pour le marché intérieur et de 50 000 tonnes pour le marché à l'exportation. La production s'accroît régulièrement depuis 1994, année où fut enregistré le record plancher historique de 550 000 tonnes. La profession emploie au total 14 150 personnes environ (cadres et employés, ouvriers d'ateliers et de chantiers). La structure de la profession a peu varié au cours de cette dernière décennie. Elle peut s'examiner au regard du tonnage usiné en fonction de la taille des entreprises (tableau 1) :

Tableau 1 – Répartition du tonnage usiné en fonction de la taille des entreprises (sources SCMF) (1)

| Tonnage usiné (2) (t) | Entreprises concernées (%) |
|--------------------------|-------------------------------|
| tu > 15 000 | 7 |
| 9 000 < tu < 15 000 | 12 |
| 7 000 < tu < 9 000 | 7,5 |
| 5 000 < tu < 7 000 | 7 |
| 3 000 < tu < 5 000 | 19 |
| 2 000 < tu < 3 000 | 10 |
| tu < 2 000 | 37,5 |

(1) Syndicat de la Construction Métallique de France.

(2) tu : tonnage usiné.

Quant à la structure financière de ces entreprises, trois situations se présentent fréquemment :

- entreprise indépendante, à capital réparti entre particuliers (structure souvent de type familial) ;
- entreprise filiale d'un groupe d'entreprises de même type. On a constaté ces dix dernières années l'accroissement de tels regroupements ;
- entreprise filiale d'un groupe généraliste en BTP, c'est-à-dire un groupe de BTP désirant disposer d'une branche construction métallique.

2. Intervenants dans l'acte de construire

L'entrepreneur en construction métallique agit, bien entendu, en tant qu'entreprise dans un marché de construction, le plus souvent pour le lot de charpente métallique uniquement. Plus rarement, il intervient en tant qu'entreprise générale. Il faut en effet constater que sa profession de base d'entrepreneur industriel ne l'y encourage guère, l'entreprise générale étant un métier différent.

La figure 3 détaille classiquement la chaîne des intervenants dans la construction d'un projet de bâtiments.

La décision clé de construire en acier revient, la plupart du temps, à l'architecte et quelquefois à son client. Si ce dernier est fort de quelques expériences dans le domaine, il peut, à la rigueur, influencer sur le choix de l'architecte. En pratique, l'entrepreneur en construction métallique dispose de peu de ressources et de moyens pour influencer sur le spécificateur ou sur le concepteur du projet. On voit que cette organisation « classique » des intervenants dans l'acte de construire laisse peu de liberté à l'entrepreneur en construction métallique, qui dépend d'une part de l'entreprise générale et d'autre part de ses fournisseurs.

La réalisation de bâtiments à ossature en acier suppose des méthodes de travail et d'organisation différentes de celles consistant à fabriquer des ossatures ou à mettre au point des produits nouveaux. Elle nécessite aussi de se démarquer des habitudes de chantier propres à la construction en béton, fortement ancrées dans la culture des entreprises de construction françaises.

Des particularités sont propres aux constructions métalliques [7]. D'abord, il n'y a généralement plus, comme sur un chantier « en béton », la grue à tour de l'entreprise de gros œuvre. L'entreprise de montage de structure métallique recourt le plus souvent à une grue mobile de faible puissance, qu'elle loue la plupart du temps (figure 4).

En outre, le volume de matériaux et de produits de construction utilisé pour la phase de second œuvre est nettement plus important. On trouve des composants préassemblés plus encombrants et plus fragiles que les matériaux bruts ou en vrac. Bien entendu, le bon sens interdit de laisser différentes entreprises amener leur propre engin de levage ou de manutention ; la mise en commun des moyens dans le cadre d'une logistique d'ensemble n'est cependant pas simple et nécessite d'être organisée.

Une autre particularité tient aux produits manufacturés banalisés mis en œuvre par des entreprises spécialisées comme la fourniture et la pose de bardages ou la fourniture, la pose et la réalisation des systèmes de planchers mixtes sur bac acier (figure 5).

Ce type de construction élimine la quasi-totalité des tâches salissantes, réduit de plus de 30 % les heures de travail exposées aux accidents ainsi qu'aux intempéries, pour les remplacer par des heures de travail sous abris.

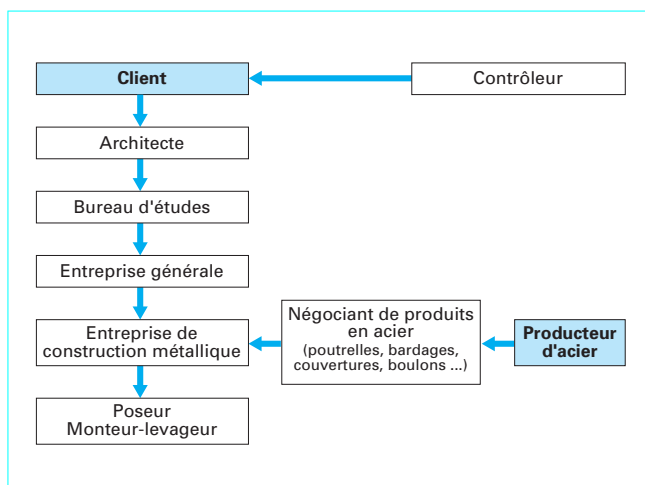


Figure 3 – Chaîne des intervenants et des fournisseurs dans un projet de construction en acier



Figure 4 – Montage d'une charpente métallique par grue mobile sur pneus



Figure 5 – Réalisation d'un plancher « bac acier » sur poutrelles alvéolaires

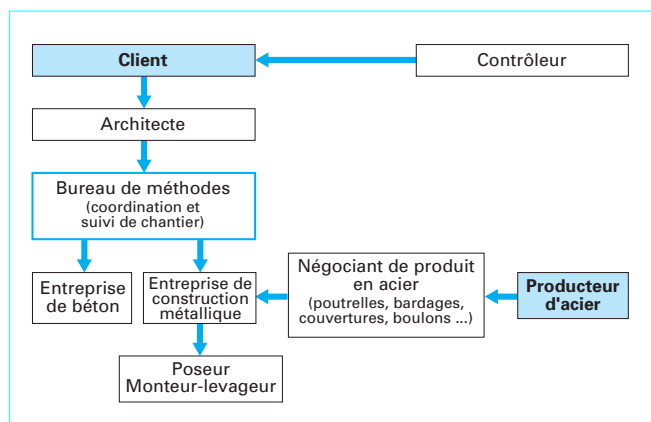


Figure 6 – Variante des intervenants et des fournisseurs dans un projet de construction à ossature en acier (coordination de chantier assurée par un bureau de méthodes)

La logistique nécessaire à la réalisation d'un bâtiment à ossature en acier n'est cependant pas plus complexe que celle nécessaire à une construction en béton. L'entreprise de béton, qui se positionne en tant qu'entreprise générale et qui assure traditionnellement le gros œuvre, n'est plus là pour organiser le chantier et redistribuer l'information. Quant aux ingénieries — ou bureau d'études — dans ce secteur, elles ne sont pas encore prêtes à jouer ce rôle, tout au moins en France.

Au schéma organisationnel de la figure 3 se substitue parfois celui présenté figure 6. Dans ce cas, le bureau des méthodes assure la mission de coordination et de suivi des travaux de chantier et gère l'intervention des différentes entreprises (entreprise de béton armé, entreprise de construction métallique...). Quelques entreprises de construction métallique, fort peu nombreuses, disposent des compétences et du savoir-faire indispensables pour assurer le « pilotage » des travaux des différents corps d'État sur le chantier. Dans ce cas, la mission de coordination et de suivi du chantier n'est plus assurée par un bureau d'études spécialisé.

L'entreprise fabrique la charpente, mais elle peut en assurer également la conception à condition d'être pourvue d'un bureau d'études. Elle participe alors à la maîtrise d'œuvre. Cette tâche de conception peut revêtir une dimension variable suivant les projets. Pour l'entreprise moyenne, il est possible de concevoir et de dimensionner des ouvrages relativement simples (bâtiments agricoles, commerciaux, de stockage, etc.). Les constructions plus complexes requièrent un bureau d'études de bonne envergure, qui existe de moins en moins dans les petites entreprises, exception faite des entreprises spécialisées dans des ouvrages particuliers (silos, par exemple) qui en assurent toujours la conception.

Au niveau des études d'exécution, trois situations peuvent se présenter :

- l'entreprise (son bureau d'études) dimensionne l'ensemble de l'ouvrage ;
- l'entreprise ne dimensionne que des éléments spécifiques (les assemblages, en particulier), le maître d'œuvre traitant des éléments principaux de l'ossature (poutres, poteaux, solives...) ;
- le maître d'œuvre dimensionne l'ensemble de l'ouvrage ; l'entreprise intervient uniquement au stade de la fabrication.

On peut avancer que, du point de vue de la qualité de l'ouvrage, les deux dernières situations demandent une bonne coordination entre le maître d'œuvre et l'entreprise, puisque *a contrario* la première situation met en jeu une coordination (interne à l'entreprise) entre bureau d'études et atelier de fabrication qui aboutira généralement à une conception et à une réalisation techniquement conformes aux meilleures capacités de l'entreprise.

La première situation prévaut dans la majorité des ouvrages réalisés en acier : bâtiments commerciaux ou de stockage, dont l'entreprise de construction métallique assure la conception d'ensemble.

Un bureau de contrôle technique intervient pour le compte du maître d'ouvrage pour une mission de contrôle dit « externe », complémentaire du contrôle interne de la maîtrise d'œuvre et de l'entreprise. Cette mission porte en particulier sur les tâches de justification de l'ouvrage (note de calculs) et de réalisation (fabrication et montage).

Les différents intervenants dans l'acte de construire communiquent entre eux par les documents indispensables à la réalisation de l'ouvrage : cahier des charges, notes de calcul, plans d'exécution, certificats de matériaux, descriptions et qualifications des modes opératoires de soudage, plans de montage, etc. À cet égard, le caractère industriel de la fabrication, qui s'exécute en atelier, facilite *a priori* toute les opérations liées au contrôle et à l'assurance de la qualité.

3. Organisation et rôle d'une entreprise de construction métallique

Chaque profession a ses particularités et, à l'intérieur de celle-ci, chaque entreprise a aussi les siennes. La profession de la construction métallique n'échappe pas à ce constat. Voyons donc les problèmes et autres caractéristiques d'une entreprise de ce secteur, avant d'en définir l'organisation type.

La diversité des commandes est très grande, en importance et en nature. Dans le bâtiment, activité principale de la profession, la prestation va de la simple fourniture d'éléments standards à la livraison d'un bâtiment complexe en « tous corps d'État ».

Cette diversité étant rappelée, citons, par ordre d'importance, les contraintes résultant des autres particularités de la profession, auxquelles l'organisation des entreprises doit faire face :

- travail au coup par coup ;
- existence de commandes d'importance très variable ;
- fidélisation d'une clientèle qui impose presque toujours d'accepter des petites commandes dans l'espoir d'autres commandes plus importantes ;
- travaux multiples et multiformes ;
- marché très étroit et très compétitif ;
- technique très traditionnelle.

Il est évident, dans ces conditions, que la structure et l'organisation des entreprises de construction métallique par fonction (commerciale, administrative et technique) sont fort différentes de l'une à l'autre.

3.1 Structure opérationnelle d'une entreprise de construction métallique

Avant de préciser les tâches de chaque unité de production, rappelez brièvement la structure opérationnelle de la fonction technique dans une entreprise de construction métallique, c'est-à-dire :

- le bureau d'études « projets » et le bureau des méthodes « dessin-tracé » ;
- l'atelier de production (peinture comprise) ;
- le montage.

Deux évolutions marquantes ont permis aux entreprises d'améliorer leur productivité ; ce sont essentiellement :

- l'informatisation des tâches qui a eu un impact important sur la préparation de la production où, de plus en plus, on voit disparaître le bureau des méthodes « dessin-traçage » pour ne conserver que le bureau d'études « projets » en y intégrant la préparation ;
- l'équipement des ateliers en machines à commande numérique.

Rappelons à présent le contenu de chaque structure opérationnelle.

3.1.1 Bureau d'études

Le bureau d'études a en charge l'exécution des tâches suivantes, en tout ou en partie :

- plans généraux pour finaliser la conception des structures métalliques en conformité avec la conception architecturale ;
- plans d'implantation de tous les poteaux sur les massifs des fondations ;
- détails constructifs des assises de scellement ;
- tableau de descente des charges présenté par cas de charge ;
- notes de calcul justifiant la résistance des ossatures principales et secondaires et la stabilité générale de l'ouvrage, avec indication des hypothèses de charges et de calcul conformes aux normes en vigueur ;
- notes de calcul des assemblages principaux boulonnés ou soudés ;
- plans d'exécution de toutes les pièces de l'ossature, avec définition des spécifications et procédures de soudage, en atelier et sur chantier, et les spécifications et procédures de pose des boulons ;
- métré quantitatif, liste des matières et nomenclature des pièces ;
- plans de montage avec repères d'expédition et, selon l'organisation des bureaux d'études, préparation des données, fichiers ou autres supports numériques, nécessaires pour les machines à commande numérique ou pour opérer la fabrication des pièces.

3.1.2 Atelier

L'atelier n'est pas une entité indépendante. Son activité est tributaire, en amont, des documents graphiques ou numériques fournis par le bureau d'études et, en aval, des contraintes imposées par la législation (hygiène et sécurité), par les donneurs d'ordres (protection, mode d'expédition), par la charge de l'atelier (nombre d'affaires en cours).

D'une façon générale, les produits de base de la construction métallique sont constitués de plaques ou de profilés. Les principales opérations réalisées en atelier ont donc pour but de les débiter, de les usiner, de les assembler par soudage ou boulonnage (accessoirement par rivetage et boulons sertis) et de les protéger. L'atelier est organisé autour de ces différentes opérations, de manière à en optimiser le séquençement et les délais d'exécution.

Notons que les opérations d'usinage (ou de soudage) proprement dites ne représentent qu'une faible part du temps global de production. Les manipulations aux postes de travail et les manutentions dites « générales » — alimentation du premier poste à partir du parc à fers, alimentation entre postes de travail, avec ou sans reprise sur aire de stockage, transfert des pièces terminées sur aire d'assemblage, puis, de là, à la peinture, au stockage et au chargement pour expédition — sont les opérations les plus longues.

C'est pourquoi, l'amélioration des manutentions et du circuit d'acheminement des pièces entre postes de travail constitue un facteur important de gain de productivité des ateliers.

Les principaux postes de travail d'un atelier de construction métallique sont les suivants.



Figure 7 – Machine à oxycouper multitouche à commande numérique

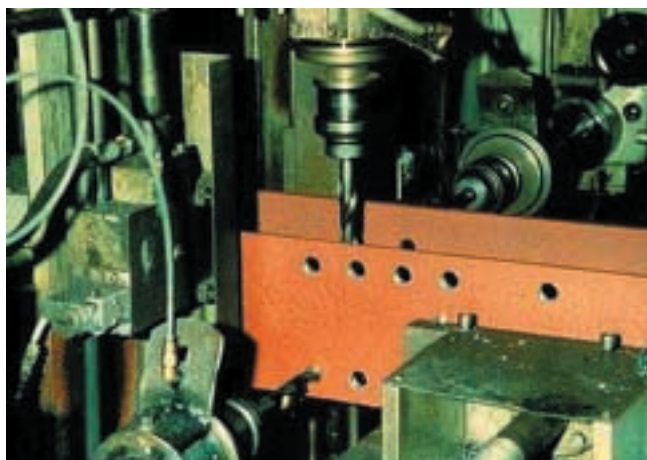


Figure 8 – Perçuse multibroche à commande numérique

■ Débit

Sciage, cisailage, oxycoupage (oxygaz ou plasma) (figure 7), tronçonnage.

■ Usinage

Poinçonnage, perçage (figure 8), chanfreinage, grugeage, repérage, pliage.

■ Assemblage

Pointage des pièces, soudage, montage à blanc éventuel, protection (peinture avec ou sans décapage préalable, galvanisation), colisage (éventuellement), chargement pour expédition.

■ Peinture

L'aire de peinture, faisant suite à l'aire d'assemblage, doit en être isolée (problèmes d'hygiène et de sécurité). Cette disposition nécessite un transfert d'une aire de travail à l'autre. Les pièces doivent être préparées avant peinture. La rouille et la calamine sont



Figure 9 – Ossature de bâtiment en cours de montage

éliminées par brossage, martelage, piquage ou par projection d'abrasifs. Lorsque l'atelier dispose d'un poste de grenaillage, celui-ci doit être placé entre le stock des pièces assemblées et l'atelier de peinture afin de minimiser les coûts de transfert.

3.1.3 Montage

Les opérations de montage (figure 9) revêtent une importance très grande en matière de construction métallique, tant au plan économique que technique. La complexité croissante des structures et le manque de préparation des opérations de montage d'une part, la délimitation parfois imprécise des responsabilités et le manque de coordination des différents intervenants dans l'acte de construire d'autre part, ont pour effet d'augmenter les risques de dysfonctionnement des chantiers, voire d'être à la source de nombreux accidents. Les sinistres en cours de montage représentent, en nombre, près de la moitié de la totalité des sinistres concernant les ouvrages de construction métallique en France.

3.2 Déviations par rapport à l'organisation précédente

Pour des raisons économiques ou de responsabilités, on trouve, en France, de plus en plus d'entreprises de construction métallique qui sous-traitent les études et le montage. Ce modèle d'entreprise est assez courant en Angleterre. Dans ce cas, l'entreprise de construction métallique abandonne son rôle de **constructeur** pour ne devenir, alors, qu'un **fabricant**. Ce type d'entreprises n'est pas sans poser des problèmes particuliers d'organisation et de qualité du projet. Une étroite relation entre le bureau d'études sous-traitant et l'entreprise se révèle alors indispensable. Des spécifications précises doivent être définies et un contrôle rigoureux des études mis en place au risque de voir apparaître, en l'absence de ces procédures, des erreurs et retards dans le processus de fabrication. Généralement, dans ce type d'organisation, l'entreprise de construction métallique garde la maîtrise de la préparation de la fabrication en conservant une section « dessin-traçage ».

Le fait que la fonction montage soit dissociée de l'entreprise de construction métallique ne constitue pas un inconvénient majeur. Il convient cependant de traiter avec soin les documents techniques nécessaires au montage : plan d'implantation, plans complets de l'ouvrage, nomenclatures d'expédition, plan de repérage des pièces.

4. Évolution des techniques et des moyens de fabrication et de calcul

4.1 Matériaux

L'ossature d'une structure métallique se compose généralement d'un assemblage de poteaux et de poutres stabilisé par un système de contreventement. Ces éléments sont fabriqués à partir de profilés laminés marchands ou reconstitués soudés, tôles, tubes, plats, en acier de construction [1]. Ils sont assemblés le plus fréquemment par soudage en atelier et rendus solidaires sur site au moyen d'assemblages boulonnés. En complément des produits sidérurgiques, la construction métallique constitue donc un grand consommateur de produits d'apport de soudage et de produits de boulonnerie.

Conséquence des progrès technologiques et de la concurrence industrielle, la qualité et les performances de tous les éléments de base collaborant à la résistance des structures n'ont cessé de s'accroître ces dernières années. Leurs caractéristiques minimales garanties à la livraison, bases retenues par les normes de calcul, sont spécifiées dans des normes de produit. Pour ces éléments de base, les textes normatifs nationaux seront d'ailleurs bientôt totalement remplacés par des normes européennes. Les produits conformes à ces exigences offrent aux utilisateurs une véritable garantie quantifiée vis-à-vis de leur résistance, de leur ductilité, de leur ténacité, de leur soudabilité, etc. Bref, leurs caractéristiques et leur comportement sont connus, leur fiabilité démontrée ; ils peuvent être utilisés en confiance.

En complément de la stricte conformité aux normes en vigueur, l'Afnor a développé des systèmes de certification de produit intitulés « Marque NF-Acier » et « Marque NF-Boulons à serrage contrôlé » qui apportent des garanties supplémentaires comme la traçabilité du produit, l'homogénéité de ses caractéristiques, la constance de la qualité de fabrication.

4.2 Outils et méthodes pour la fabrication

Toujours réalisée en atelier, la fabrication des charpentes métalliques ne subit pas les aléas des conditions atmosphériques et des contextes spécifiques de chantier. Les opérations réalisées dans l'atelier d'un constructeur métallique se décomposent en quatre phases principales. Les produits sidérurgiques de base sont débités, usinés, assemblés et protégés des effets de la corrosion par peinture ou galvanisation.

Pour les mises à longueur, les découpes et la préparation des bords à souder, les perçages et les poinçonnages, l'utilisation de machines à commande numérique tend à se généraliser (cf. figure 8). Elles sont de plus en plus souvent interfacées avec les logiciels de dessin utilisés par le bureau d'études. En complément de gains sur la productivité, cette pénétration de l'informatique dans les ateliers a contribué à accroître la qualité des réalisations par une réduction appréciable des tolérances de fabrication.

Pour l'assemblage, deux méthodes sont principalement usitées :

- les poutres reconstituées sont fabriquées sur des bancs automatisés au moyen du procédé de soudage à l'arc sous flux en poudre (figure 10) ;
- les éléments d'habillage des poutres (platinas, raidisseurs, goussets, etc.) sont assemblés au moyen du procédé de soudage semi-automatique MAG ou l'un de ses dérivés.

Dans tous les cas, l'exécution du soudage est régie par des prescriptions décrites dans la série de normes « Construction



Figure 10 – Soudage semi-automatique sous flux solide

métallique. Assemblages soudés » NF P 22-470 (Dispositions constructives et justification des soudures), NF P 22-471 (Fabrication), NF P 22-472 (Qualification d'un mode opératoire de soudage), NF P 22-473 (Étendues des contrôles non destructifs) ou dans les normes européennes de la série EN 1090-X. En particulier, les modes opératoires de soudage et les soudeurs sont qualifiés selon des règles précises par des organismes indépendants. Répondant aux mêmes préoccupations, le contrôle non destructif des assemblages soudés est pratiqué suivant des méthodes et des critères d'acceptation normalisés par des opérateurs certifiés par la COFREND (Confédération française pour les essais non destructifs).

L'ensemble des prescriptions et qualifications contractuellement applicables à l'exécution des structures métalliques ne peut, à lui seul, être considéré comme suffisant pour garantir la qualité des réalisations. Toutefois, il constitue assurément un outil fondamental pour l'ensemble des acteurs impliqués dans une opération de construction.

4.3 Rôle de la normalisation en charpente métallique

Peut-être plus que tout autre métier du BTP, la construction métallique opère sur la base de normes auxquelles se réfèrent systématiquement les documents contractuels du marché ; cet ensemble de normes se décompose schématiquement en quatre ensembles :

- les normes de produits ;
- les normes d'essai ;
- les normes de conception et calcul ;
- les normes d'exécution.

Ces quatre ensembles, loin d'être indépendants, sont au contraire cohérents ou compatibles entre eux, bien qu'ils soient élaborés par des bureaux de normalisation différents, au plan français ou européen.

On peut dire que cette cohérence est assurée au niveau des normes de calcul, puisque celles-ci tiennent compte des normes des deux autres ensembles et y renvoient. Dans l'exemple général d'une charpente soudée, les normes de calcul renvoient aux normes de produit acier pour le choix des aciers et leurs caractéristiques mécaniques (limite d'élasticité, fonction de l'épaisseur, par exemple), aux normes de produits de soudage, aux normes d'exécution concernant le soudage, etc. Il en est de même pour les assemblages boulonnés.

Le caractère complet de ce corps de normes, la facilité à faire la preuve de leur respect ou à le contrôler et, enfin, sa cohérence sont des facteurs certains de qualité des réalisations.

Au plan de l'évolution à court terme, comme on peut le voir dans les références [2] et [3], la construction métallique est, comme d'autres filières, engagée dans l'émergence des normes européennes harmonisées. C'est un effort important que cette profession prend à cœur de consentir plutôt que de le subir. Il va également dans le sens de la qualité car, à cette occasion, la cohérence déjà évoquée est assurée presque d'un seul coup et bénéficie des résultats de recherche obtenus dans toute l'Europe ces dernières années.

4.4 Apport de l'informatique au bureau d'études et à l'atelier

Dans un atelier traditionnel de construction métallique, la préparation de la fabrication est répartie entre le bureau d'études et le bureau de traçage. La tendance actuelle est de traiter, au bureau d'études, l'ensemble des tâches de préparation de la fabrication. Deux raisons essentielles motivent cette évolution : le gain de productivité et la qualité.

L'amélioration attendue de cette évolution est une conséquence directe de la suppression des reports multiples, par exemple d'une même cote (en moyenne cinq fois entre plan directeur, plan d'exécution, métré, commande matière, fiche de traçage, nomenclature, plan de montage) avec la méthode manuelle, par l'intégration des fonctions conception, dessin, traçage, nomenclatures [8].

La plupart des machines de débit-perçage-poinçonnage et des machines d'oxycoupage équipant actuellement les ateliers de construction métallique disposent de commande numérique.

Le problème essentiel à résoudre est celui du choix et de l'intégration des systèmes informatiques dans les domaines du calcul et de la conception, du dessin et de la préparation du dossier de fabrication en construction. Nous avons parlé de systèmes informatiques ; rappelons ceux qui s'inscrivent dans la chaîne de production d'une charpente métallique, de la conception à la réalisation sur le site.

■ DAO

Le dessin assisté par ordinateur (DAO) met à la disposition du dessinateur des outils graphiques interactifs destinés à faciliter son travail. Le résultat reste purement graphique, la notion de matière n'existe pas. Il n'y a aucune aide à la conception. Le dessinateur doit tout prévoir et tout vérifier. Pour des éléments de structures bien définis, les documents du dossier de fabrication peuvent être produits.

■ CAO

La conception assistée par ordinateur (CAO), spécifique à la construction métallique, va plus loin car une partie de la connaissance du métier est incorporée dans le programme qui a connaissance des objets manipulés. De plus, les fonctions de calculs, des vérifications de validité aux règlements et des contrôles de non-collisions permettent d'établir un véritable dialogue entre le concepteur et le programme dans le but de concevoir une ossature apte à assurer le service demandé par le cahier des charges. Les détails d'assemblages, en particulier, peuvent être définis au coup par coup ou être issus d'une bibliothèque de solutions standardisées.

■ CFAO

La conception et fabrication assistées par ordinateur (CFAO) est une extension de la CAO. Elle a pour objectif le pilotage des machines à commande numérique et, d'une façon générale, la production de tous les documents nécessaires à la fabrication (gammas d'usinage, nomenclatures...).

■ GPAO

La gestion de production assistée par ordinateur (GPAO) assure la planification de la fabrication et du montage en fonction des critères, bien souvent conflictuels entre eux, de contraintes de disponibilité de ressources (hommes, machines...), de délai de mise à disposition de tout ou partie de l'ouvrage et de coût de maintenance et de stockage.

Il existe actuellement sur le marché une pluralité de logiciels qui répondent aux fonctionnalités spécifiques décrites précédemment. Par contre, il n'existe pas de système général répondant à l'ensemble des fonctionnalités. Actuellement, le problème posé à l'entreprise est celui d'aboutir à un système incluant l'ensemble des applications métier que nous appellerons « système intégré ». Ce système intégré permet la définition de la **structure informatique d'accueil** de l'ensemble des applications et des informations au sein de l'entreprise. Cela nécessite, en particulier, le développement d'un modèle de produit spécifique à la construction métallique et la définition puis la mise en œuvre progressive de l'architecture du système intégré. Cette architecture doit rendre possible l'intégration à la fois des applications existantes, qui fonctionnent déjà de façon satisfaisante dans l'entreprise, et des applications prévues ou en cours de développement à l'intérieur ou à l'extérieur de l'entreprise.

5. Sources de pathologie. Avantages intrinsèques de l'acier

Examinons maintenant comment la construction métallique se situe réellement face à des inconvénients souvent mis en avant.

5.1 Protection contre la corrosion

Le choix de la protection et son efficacité dans le temps dépendent en premier lieu de l'environnement futur de la structure à protéger. L'efficacité de la protection anticorrosion et la pérennité de l'aspect du revêtement dépendent de la qualité [4] :

- de la préparation de surface ;
- des produits utilisés ;
- de la mise en œuvre de ces produits.

Normalement, dans le domaine du bâtiment, pour les charpentes intérieures non visibles, les pièces sont livrées, sur le chantier, revêtues d'une couche primaire antirouille. Les retouches nécessaires sont effectuées, après montage, sur les parties de revêtement détériorées accidentellement.

Dans le domaine des ouvrages d'art, la protection est généralement obtenue par l'application de trois couches de peinture d'une épaisseur totale d'environ 200 micromètres. La première couche est un primaire antirouille d'environ 50 micromètres d'épaisseur. Cette première couche est protégée par une seconde couche de l'ordre de 120 micromètres à laquelle vient s'ajouter une couche de finition de 40 micromètres. Généralement, les deux couches de peinture sont appliquées en atelier et la dernière couche, sur le chantier.

Les surfaces à peindre doivent être propres, exemptes de rouille et de calamine. Les traces de corrosion doivent être éliminées par brossage, martelage, piquage ou par projection d'abrasif, selon le degré de soin, fonction du type de peinture utilisée et de durabilité recherchée. De très grands progrès ont été accomplis vers un meilleur accrochage des couches de peinture.

Lorsque l'on cherche à accroître la durabilité des systèmes de protection, on a recours à la galvanisation. Ce procédé suppose l'application préalable d'un traitement de surface spécifique. Les

produits galvanisés peuvent être ensuite revêtus d'une ou plusieurs couches de peinture. Ce système de protection est d'une très grande durabilité et peut être utilisé dans des environnements particulièrement corrosifs.

Il est préférable d'exécuter les travaux de peinture à l'atelier à l'abri de la poussière et des intempéries. Les parties à souder ne sont pas peintes avant soudure, ni éventuellement avant contrôle de celle-ci, sauf en cas d'utilisation de peintures primaires permettant le soudage. Il existe des spécifications techniques particulières pour les préparations de surface par grattage, piquage et brossage, jusqu'à élimination de la calamine et de la rouille. Ces opérations peuvent se faire au burin pneumatique, au pistolet à aiguilles pneumatique ou à la brosse métallique rotative, électrique ou pneumatique. L'état de surface correspondant à ces techniques s'apprécie par référence à la norme française NF E 05-051 « *État de surface des produits. Moyens de mesure. Échantillons de comparaison visotactile*. Septembre 1981 ».

Une conception soigneusement étudiée de la construction peut réduire considérablement le risque de corrosion. Il est préférable d'étudier toutes les solutions permettant d'éviter la corrosion, **dès la conception**, plutôt que d'envisager de la combattre uniquement par protection de la surface de l'acier. Les recommandations suivantes doivent être respectées :

- prévoir un accès facile et en toute sécurité pour l'application des peintures sur le chantier et pour l'entretien ;
- éviter les poches et les recoins qui retiennent l'eau et les débris de toute nature (feuilles, poussières...). Évacuer les produits chimiques corrosifs des éléments de structure, comme les sels de déneigement ;
- supprimer tous les interstices, espaces et joints à recouvrement, par un choix de profilés et d'attaches correctes pour éviter la corrosion cavernieuse ;
- prévoir pour toutes les zones inaccessibles après le montage un système de protection conçu pour la même durée de vie que la structure. Si cela n'est pas possible, la conception doit être modifiée ;
- choisir des aciers qui ne réagissent pas vis-à-vis de la galvanisation (teneur en silicium).

Il faut aussi être conscient que :

- certains profils de structure conviennent mieux que d'autres pour des systèmes de protections spécifiques ;
- la méthode d'usinage ou d'assemblage peut exclure ou limiter les besoins de protections, par exemple pour des boulons de serrage travaillant par friction ;
- des précautions spéciales sont à prendre lorsque l'acier est susceptible d'être en contact avec d'autres métaux ;
- des coins arrondis offrent une meilleure durabilité de la protection ;
- les tubes, s'ils sont fermés donc étanches à l'air, auront leurs parois intérieures qui ne présenteront pas de risque de corrosion.

5.2 Résistance des éléments en acier

Deux grandes catégories de phénomènes peuvent se produire dans une structure en acier :

- l'épuisement de la résistance d'une section par plastification ;
- l'instabilité locale ou globale.

Les règles de calcul permettent d'envisager séparément ces différents états limites ultimes, avec des modèles de calcul et des coefficients de sécurité adaptés à chacun. Il s'agit en effet de tirer parti de la ductilité importante du matériau, dont une conséquence est que le dépassement de résistance en section est un phénomène progressif, pour lequel on peut dire que la structure « prévient », c'est-à-dire que les déformations devenant excessives sont un signe avant-coureur de désordres. Par contre, les instabilités se manifestent de manière plus soudaine, c'est pourquoi les vérifications sont plus sévères. Ces considérations sont connues et prises en compte depuis fort longtemps [2] [5].

Soulignons enfin que, par le caractère linéaire de ses composants, une structure métallique présente pour l'ingénieur une très bonne « lisibilité » et lui permet d'apprécier le cheminement des efforts à l'œil nu. Il en résulte une plus grande facilité pour détecter d'éventuelles erreurs de conception ou de fabrication.

5.3 Protection contre l'incendie

La résistance au feu d'un élément de structure — ou d'une structure — est évaluée à partir de trois modèles de calcul :

- un modèle de développement du feu ;
- un modèle de calcul de transfert thermique permettant de connaître l'échauffement de l'élément ;
- enfin, un modèle de calcul thermomécanique permettant de déterminer le comportement de l'élément au cours du temps en fonction de son échauffement.

En France, l'approche réglementaire actuelle, en matière de résistance au feu, est fondée sur la notion d'un feu conventionnel défini par une loi température-temps. À partir de là, on détermine la résistance de l'élément échauffé par des méthodes de calcul de plasticité ou, plus simplement, on calcule le temps mis pour atteindre une certaine température critique définie forfaitairement dans les règlements. Signalons cependant la prise en compte croissante de modèles de développement du feu plus réalistes dits « d'incendie naturel » [6].

Il existe de multiples procédés, techniques ou dispositions constructives, permettant de protéger l'élément de structure contre le feu, si la durée de résistance au feu ne satisfait pas les règles de sécurité. On citera, pour mémoire, parmi les techniques les plus couramment utilisées, l'application de peintures intumescentes, les protections par produits projetés ou produits en plaque, les protections par écran, l'utilisation des structures mixtes, le refroidissement par eau. D'importants progrès ont été accomplis concernant l'efficacité des peintures et des produits intumescents.

6. De la qualification à la certification des entreprises du bâtiment

6.1 Qualibat

Créé en 1949 à l'initiative des représentations officielles d'entreprises, d'architectes et de maîtres d'ouvrage, **Qualibat** (à l'origine OPQCB) est, en France, l'organisme chargé de la **qualification** et de la **certification** des entreprises de bâtiment. La vocation de Qualibat, organisme de droit privé placé sous le contrôle de l'État, est de fournir, aux donneurs d'ordre et aux prescripteurs, l'ensemble des éléments d'information nécessaires pour apprécier une entreprise de bâtiment.

Par la **qualification**, Qualibat atteste des capacités techniques d'une entreprise à réaliser des travaux dans une activité donnée. Par la **classification**, cet organisme témoigne des moyens humains et financiers de l'entreprise en classant celle-ci dans une catégorie, en fonction de ses effectifs et de son chiffre d'affaires. Par la **certification**, Qualibat apporte, au maître d'ouvrage et à son maître d'œuvre, l'assurance — au sens de la confiance — que l'entreprise gère la qualité de ses prestations et qu'elle s'est donné les moyens de satisfaire, de manière permanente, les demandes de son client.

La qualification, la classification et, pour partie, la certification sont attribuées, sur dossier fourni par l'entreprise volontaire, par une commission indépendante, sur la base de critères d'ordre administratif, technique et financier. Le système de certification d'entreprise Qualibat dispose de quatre paliers permettant à l'entreprise d'intégrer progressivement la gestion et l'assurance de

la qualité de ses prestations, le dernier palier ne pouvant être atteint qu'après audit. Le référentiel Qualibat pour la certification repose sur treize critères d'appréciation compatibles avec ceux retenus dans les normes internationales de la série ISO 9000.

6.2 Certification suivant ISO 9000

La certification suivant le référentiel ISO 9000 (paru en 1987) est basée sur l'engagement pris par l'entreprise d'appliquer un modèle d'exigences concernant son système d'assurance de la qualité, en d'autres termes, son organisation et sa méthodologie. La certification est prononcée par un organisme certificateur chargé de vérifier, par des audits, la pertinence de cet engagement.

Après avoir connu une première actualisation en 1994, aujourd'hui en 2002, les normes ISO ont subi une révision en profondeur. Le référentiel ISO 9000 : 2000 sur les systèmes de management de la qualité s'applique à tous les domaines d'activités. Il comprend trois normes : ISO 9000 qui décrit les principes essentiels des systèmes de management de la qualité et spécifie la terminologie, ISO 9001 qui spécifie les exigences, ISO 9004 qui fournit les lignes directrices sur l'efficacité et l'efficience du système de management de la qualité.

Désormais, il n'y a qu'un seul texte de référence pour la certification (l'ISO 9001) applicable à toutes les tailles d'entreprises et à tous les domaines d'activités. Il est reconnu que chaque entreprise a ses spécificités et son activité propre aboutissant à un produit ou à une prestation de service. Et le grand changement des normes ISO 9000 (version 2000) par rapport aux normes ISO 9000 (version 1987) consiste à privilégier, non plus le modèle type de l'organisation industrielle par séquence, mais une approche par processus.

La méthode consiste à raisonner, non plus de façon verticale, hiérarchique, cloisonnée, mais de façon globale et transversale, pour trouver les liens entre les différentes fonctions de l'entreprise, identifier les interfaces et étudier, à chaque entrée et chaque sortie, les valeurs ajoutées. On identifie et on délimite ainsi le processus afin de répondre à la demande du « client » par rapport au « contrat ». On voit ainsi tout l'intérêt de ce changement de démarche que représentent les normes ISO 9000 : 2000 dans le cas du management d'un projet ou d'une prestation sur devis.

La certification d'entreprises n'a débuté qu'il y a une douzaine d'années en France. Cela explique que le nombre d'entreprises de construction métallique, dont les activités sont certifiées conformes à l'un des modèles ISO 9000, reste encore faible à ce jour. Cependant, l'intérêt croissant porté à ce référentiel par les pouvoirs publics, les collectivités locales et les grands donneurs d'ordre, lui confère assurément un fort potentiel de développement pour les années à venir.

7. Règles de calcul en construction métallique

L'Eurocode 3 (EC3) « *Calcul des structures en acier* » est l'un des neuf eurocodes de projet traitant de la conception et du calcul des bâtiments et des ouvrages de génie civil.

7.1 Contexte général sur l'origine des eurocodes

Dès 1980, la Commission des communautés européennes confiait à des groupes d'experts le soin de rédiger un ensemble de projets d'eurocodes. En 1990, la Commission décidait de transférer au Comité européen de normalisation (CEN) la responsabilité de conduire jusqu'à son terme l'élaboration des eurocodes sous la forme de normes. Un comité *ad hoc*, le CEN/TC 250 était créé pour suivre et piloter ces travaux.

Il était convenu d'éditer, dans un premier temps, les eurocodes avec un statut de prénorme ou de norme expérimentale (ENV) afin que l'application expérimentale volontaire de ceux-ci, pendant une période donnée de trois ans, (l'application étant non obligatoire du fait du statut d'ENV) puisse permettre aux professions et aux parties intéressées de les tester et de faire des remarques si nécessaires.

Cette période transitoire s'est achevée en avril 1995. Le CEN lança alors une procédure d'enquête auprès de l'ensemble des pays membres de l'Union européenne et de l'Association européenne de libre échange (AELE) à l'issue de laquelle la majorité des pays (excepté l'Italie et l'Espagne) se prononçaient en faveur d'une conversion du statut des eurocodes de prénorme (ENV) en norme (EN) après révision par les sous-comités techniques pour renforcer certaines imperfections des ENV actuelles.

L'expression de cette consultation se trouvait confirmée en novembre 1995 par le fait que l'ensemble des délégations au Comité permanent de la construction était favorable à une conversion **rapide** des ENV en EN. La programmation relative à cette conversion est actuellement finalisée et les travaux de conversion, confiés à des équipes de projet, sont en cours et devraient se terminer en 2004.

7.2 Contexte particulier à l'Eurocode 3

L'Eurocode 3 au stade ENV 1993, c'est-à-dire au stade de la norme expérimentale, est composé d'un ensemble de parties rappelées dans le tableau 2.

Tableau 2 – Normes ENV de calcul et de conception de la construction en acier

| Partie | Intitulé (1) |
|---|--|
| Partie 1.1 | Règles générales et règles pour les bâtiments |
| Partie 1.1 (Annexes) | Annexes additionnelles — D : acier S420 et S460 — G : torsion — H : modélisation — J _{rev} : calcul des assemblages — K _{rev} : calcul des assemblages de profils creux — N : calcul des âmes ajourées — Z : détermination de la résistance à partir d'essais |
| Partie 1.2 | Résistance au feu |
| Partie 1.3 | Calcul des éléments minces profilés à froid |
| Partie 1.4 | Calcul des structures en acier inoxydable |
| Partie 1.5 | Résistance des plaques raidies chargées dans le plan |
| Partie 1.6 | Résistance des coques cylindriques |
| Partie 1.7 | Résistance des plaques raidies chargées hors du plan |
| Partie 2 | Calcul des ponts métalliques |
| Partie 3.1 | Tours et mâts |
| Partie 3.2 | Cheminées |
| Partie 4.1 | Silos |
| Partie 4.2 | Réservoirs |
| Partie 4.3 | Pipelines |
| Partie 5 | Pieux et palplanches |
| Partie 6 | Chemins de roulement |
| (1) Communiqué à l'Afnor par le Bureau de Normalisation de la Construction Métallique (BNCM). | |

Tableau 3 – Normes EN de calcul et conception de la construction métallique

| Partie | Intitulé |
|------------------------------------|---|
| a) Parties « génériques » | |
| EN 1993-1-1 | Règles générales pour le calcul des structures métalliques |
| EN 1993-1-2 | Calcul du comportement au feu des structures en acier |
| EN 1993-1-3 | Calcul des éléments minces formés à froid |
| EN 1993-1-4 | Calcul des structures en acier inoxydable |
| EN 1993-1-5 | Résistance au voilement des plaques raidies chargées dans le plan |
| EN 1993-1-6 | Résistance des coques cylindriques |
| EN 1993-1-7 | Résistance des plaques raidies chargées hors du plan |
| EN 1993-1-8 | Calcul des assemblages |
| EN 1993-1-9 | Résistance à la fatigue |
| EN 1993-1-10 | Choix des aciers par la mécanique de la rupture |
| EN 1993-1-11 | Résistance des câbles |
| b) Parties « applicatives » | |
| EN 1993-2 | Ponts |
| EN 1993-3 | Bâtiments |
| EN 1993-4-1 | Silos |
| EN 1993-4-2 | Réservoirs |
| EN 1993-4-3 | Pipelines |
| EN 1993-5 | Pieux |
| EN 1993-6 | Chemins de roulement |
| EN 1993-7-1 | Tours et mâts |
| EN 1993-7-2 | Cheminées |

Au stade EN (norme européenne), l'Eurocode 3 a été restructuré comme indiqué dans le tableau 3 pour répondre à trois préoccupations :

- premièrement, bien dissocier les documents génériques des documents relatifs à un domaine d'application particulier ;
- deuxièmement, introduire une hiérarchie claire entre documents permettant à l'utilisateur de s'y retrouver facilement ;
- troisièmement, éviter la duplication de règles particulières en se référant à des règles « génériques » (par exemple : fatigue, voilement) quel que soit le domaine d'application (bâtiment, ouvrage d'art).

Le texte ENV de l'Eurocode 3 a été examiné par la Commission de normalisation de la construction métallique (CNCMet) en vue de constituer la base des nouvelles règles de construction métallique française « *Conception et calcul des constructions en acier* ».

Cet examen, donnant lieu à la rédaction du document d'application nationale (DAN), a porté sur :

- la définition des documents d'accompagnement (référence au corpus des normes et autres documents français) ;
- le choix des coefficients partiels de sécurité ;
- les modifications apportées aux textes de l'ENV (invalidation, amendements et commentaires sur les clauses de l'Eurocode 3 jugées insatisfaisantes).

L'Eurocode 3 ainsi que son document d'application nationale (DAN), qui constituent la norme expérimentale française de construction métallique XP P 22-311-1/A1 (*Construction métallique - Eurocode 3 - « Calcul des structures en acier et document d'application nationale »*, Partie 1-1 : règles générales et règles pour les bâtiments), étaient publiés en novembre 1999.

7.3 Corpus des règles de construction métallique actuelles en regard de ce qu'apporte l'Eurocode 3 et son DAN

Le corps principal des règles françaises applicables aux marchés privés de construction métallique en vigueur actuellement date de 1966 (règles DTU CM66), puis il a été complété par l'additif de 1980. Ce corps principal de règles s'appuie sur un ensemble de normes françaises (dites de la série de normes NF P 22...) qui ont été rassemblées dans un recueil de l'Afnor (*Bâtiment et Génie Civil - Construction Métallique, Tome 1 : conception et calcul - 3^e édition* 1990).

On peut dire que, actuellement, les textes applicables aux travaux de bâtiment et de génie civil, relevant du domaine de la construction métallique, constituent un ensemble des plus hétérogènes, tant par leur origine (règles CM66 et son additif 80, titre V fascicule 64) que par leur nature (règles couvrant le domaine du bâtiment d'une manière générale et règles couvrant le domaine des ouvrages d'art), leur objet, leur domaine d'application et leur contenu.

Face à cette situation, ce que l'on peut attendre de l'Eurocode 3 se résume ainsi.

- Il contient une très grande densité de règles détaillées et complétées par les informations utiles à leur clarté et leur compréhension.

- L'EC3 est fondé sur le format semi-probabiliste de la sécurité. En d'autres termes, l'aptitude à l'exploitation normale relève des états limites de service (ELS) tandis que la résistance et la stabilité de la construction, et donc la sécurité des biens et des personnes, relèvent des états limites ultimes (ELU).

- Dans le même esprit, l'EC3 permet un choix éclairé du matériau acier, propose des détails constructifs appropriés, par exemple vis-à-vis de la fatigue et de la corrosion, et impose dans la mesure du nécessaire des contrôles, au niveau de la fabrication, du montage, voire de l'exploitation pour s'assurer du respect des hypothèses adoptées dans les calculs (ces conditions sont maintenant précisées dans l'ENV 1090-1).

- Il traite de nombreux sujets totalement absents de nos règles actuelles (rupture brutale, fatigue...).

- Il a, sur un grand nombre de points (voilement, calcul des assemblages) une approche plus précise, voire même parfois plus sécuritaire, que celle de nos règles présentes.

- Il propose souvent des alternatives qui laissent au concepteur le choix de sa stratégie de calcul, avec la possibilité de l'adapter aux moyens dont il dispose.

- C'est un règlement moderne dont chaque formule a été calibrée, par une méthode probabiliste, par rapport à des essais. Ainsi la détermination des facteurs partiels de sécurité confère à l'ensemble de ces formules une sécurité plus homogène. Les valeurs de coefficients partiels de sécurité données dans l'EC3 sont des valeurs recommandées qui apparaissent encadrées dans le texte pour signifier qu'elles peuvent être adaptées par les autorités de chaque pays. C'est l'un des objets du document d'application nationale (DAN) qui accompagne l'EC3.

- Enfin, la norme ENV 1090 qui est la norme européenne sur l'« exécution des structures en acier » (dont il n'existe aucune équivalence en France) et qui a été élaborée conjointement avec l'EC3 comprend 6 parties et donne à l'ensemble des textes applicables aux constructions en acier un cadre cohérent, clair et complémentaire. En particulier, la norme ENV 1090-1, dont les recommandations d'application nationale sont en cours d'examen par la CNCMet et constitue un référentiel sur la politique de qualité et de son contrôle des projets de construction en acier.

Références bibliographiques

Dans les Techniques de l'Ingénieur Traité Construction

- [1] FRUITET (L.) et MURRY (G.). – *Aciers de construction. Caractéristiques et base de choix*. C 2 501 (1997).
- [2] VERCELLINO (K.A.). – *Composants métalliques. Conception et dimensionnement*. C 2 550 (2001).

- [3] VERCELLINO (K.A.). – *Composants métalliques tendus et comprimés*. C 2 551 (2001).
- [4] BOUILLETTE (J.P.). – *Protection des constructions en acier contre la corrosion*. C 2 505 (1983).
- [5] MAYÈRE (J.). – *Pathologie des structures métalliques*. C 2 690 (1992).
- [6] FRUITET (L.). – *Sécurité contre l'incendie dans la construction métallique*. C 2 506 (1979).

- [7] DUCOUT (J.-P.). – *Ponts métalliques*. C 2 675, C 2 676 (1997).

Traité L'entreprise industrielle

- [8] GUILLET (P.). – *Apport de l'informatique en ingénierie*. AG 3 800 (2000).