

## Structures en fonte, fer, acier. Les enjeux de leurs commandes

Wouters, Ine; Wibaut, Romain

*Published in:*

Construire! Entre antiquité et époque contemporaine

*Publication date:*

2019

*Document Version:*

Final published version

[Link to publication](#)

*Citation for published version (APA):*

Wouters, I., & Wibaut, R. (2019). Structures en fonte, fer, acier. Les enjeux de leurs commandes. In G. Bienvenu, M. Monteil, & H. Rousteau-Chambon (Eds.), *Construire! Entre antiquité et époque contemporaine: Actes du 3e congrès francophone d'histoire de la construction, Nantes, 21-23 juin 2017* (pp. 581-590). Paris: Picard.

### General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

### Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

## Reference:

Wouters, I. & Wibaut, R. (2019), 'Structures en fonte, fer, acier. Les enjeux de leurs commandes' Construire!, in: Bienvenu, G., Monteil, M. & Rousteau-Chambon, H. (eds.) Entre antiquité et époque contemporaine: Actes du 3e congrès francophone d'histoire de la construction, Nantes, 21-23 juin 2017, Paris: Picard, p. 581-590

# Structures en fonte, fer, acier. Les enjeux de leurs commandes

Ine WOUTERS, Romain WIBAUT

## Introduction

L'évolution des matériaux métalliques au cours du XIX<sup>e</sup> s. est bien étudiée et documentée (Addis, 2007 ; Baele, De Herdt, 1983 ; Clarke, 2014 ; Rinke, Schwartz, 2010). Les analyses de ponts, serres, gares, marchés, grands magasins, églises, bâtiments industriels et expositions universelles ont montré la façon dont la fonte et le fer furent progressivement remplacés par l'acier à partir de la fin du XIX<sup>e</sup> s. Pour encore mieux comprendre l'évolution de ces structures métalliques, cet article se concentre en particulier sur la commande de ces ouvrages.

Bien qu'il soit souvent difficile de reconstruire le contexte de la commande en raison de l'absence d'archives, deux sources distinctes d'information nous permettent d'analyser cette étape en ce qui concerne les bâtiments à structures métalliques construits par la Ville de Bruxelles entre 1840 et 1900. Il s'agit d'une part des *Actes administratifs* qui contiennent les cahiers des charges, les plans d'architectes et les adjudications. D'autre part, les *Bulletins communaux* rassemblent les rapports des conseils communaux au cours desquels les échevins discutaient de ces bâtiments avant, pendant et après leur construction. Ainsi, grâce à ces documents, nous disposons non seulement d'informations exactes sur ces édifices (géométrie, matériaux et acteurs), mais aussi d'un aperçu détaillé des perceptions et motivations liées aux nouveaux matériaux et nouvelles techniques.

## *Actes administratifs* de la Ville de Bruxelles

De manière à reconstituer le contexte dans lequel les bâtiments commandés par la Ville de Bruxelles étaient conçus, différentes sources contenues dans les *Archives de la Ville de Bruxelles* (désormais AVB) peuvent être consultées. Les *Actes administratifs* (désormais AA), classés par années, contiennent tous les documents conservés par l'administration communale. Parmi ces documents, certains contiennent des informations de première importance pour l'étude des constructions. On peut y trouver les cahiers des charges, les devis, les métrés, les plans, les rapports de l'adjudication ainsi que les nombreuses soumissions. Le cahier des charges contenant « les clauses et conditions de la construction » en décrit les aspects techniques et administratifs. En fonction du type de bâtiment, le cahier des charges peut avoir été réalisé soit par l'architecte de la ville (Joseph Poelaert de 1856 à 1860, Gédéon Bordiau de 1859 à 1864, Victor Jamaer de 1864 à 1895), soit par un autre architecte mandaté par l'administration à cet effet. Dans tous les cas, c'était à l'ingénieur de la ville (Théophile de Jamblinne de Meux de 1840 à 1890, Emmanuel Putzeys de 1890 à 1900) d'approuver le document. Le nombre et le type de documents inclus dans les *Actes administratifs* varient au cours des soixante années que couvre cette étude (de 1840 à 1900). Dès le début, on y trouve les métrés, qui comprennent une liste détaillée des quantités de matériaux utilisés. D'autre part, jusqu'en 1868, les plans relatifs aux projets de construction étaient

inclus dans les *Actes administratifs*, soit à la suite du cahier des charges, soit dans un volume séparé ; après 1868, ces plans n'y sont plus inclus. Le rapport de l'adjudication, quant à lui, énumère tous les soumissionnaires ainsi que leurs offres de prix. Ce rapport est conclu par une argumentation à propos de la nomination de l'entrepreneur, lequel correspond, en règle générale, à celui ayant offert le prix le plus bas. Le rapport de l'adjudication mentionne le nom, l'adresse et la profession de ce dernier et permet donc de collecter des informations à propos d'acteurs de la construction trop souvent négligés et qui font rarement l'objet de recherches approfondies. L'offre sélectionnée est également annexée au rapport, ce qui permet d'avoir un aperçu des prix relatifs à la construction. Les documents contenus dans les *Actes administratifs* permettent donc de suivre le projet jusqu'à la désignation de l'entrepreneur. Néanmoins, lorsqu'un projet de construction était organisé en plusieurs phases, différents cahiers des charges correspondant à chacune d'elles étaient établis. Dans ce cas, les dates de publication de ces cahiers permettent de retracer le fil de la construction. Cependant, dans la majorité des cas, il n'est pas possible de procéder ainsi. Il peut donc s'avérer intéressant, lorsque le projet était à l'ordre du jour, de se référer aux *Bulletins des séances du conseil communal de la Ville de Bruxelles*, grâce auxquels le processus de construction peut être partiellement retracé.

### La fonte et le fer dans les cahiers des charges

En 1815, le ministère de la Guerre ratifia un cahier des charges général valide sur les zones géographiques du Royaume uni des Pays-Bas qui incluait à l'époque les territoires de la Belgique comme ils seront définis en 1830. En 1847, le Bruxellois Armand Demanet (1808-1865), ingénieur du génie militaire, dressa les *Conditions générales d'ordre et d'administration, applicables à toutes les entreprises de travaux ou fournitures concernant le service du matériel du génie militaire* qui comprenaient les *Conditions générales pour la fourniture des matériaux et l'exécution des travaux, applicables à toutes les entreprises concernant le service matériel du génie militaire*, dans lesquelles sont

décrites les caractéristiques des différents matériaux de construction (Van de Vijver, 2005). Ces *Conditions* devinrent effectives à partir de 1849. Comme on peut le lire pour le fer et la fonte, les descriptions des matériaux y sont vagues et ne mentionnent, par exemple, aucune valeur de résistance :

« Art 107. *Fers*. Le fer malléable sera fort, nerveux, dur, non rouverin, pliant à froid, résistant d'ailleurs aux épreuves que le devis prescrira. Les pièces forgées et soudées avec soin, sans pailles, doublures, travers, cendrules ou autres défauts. Les pièces limées ou tournées, travaillées artistement.

Art. 108. *Fonte*. La fonte de moulage sera grise et de seconde fusion, à moins que le devis n'exige le contraire. Les objets seront moulés purement, sans fentes, soufflures, lèvres ou bavures, flaches ou déformations nuisibles. Les modèles en bois sont fournis par l'entrepreneur. Si la fonte doit être tournée, rabotée ou alésée, elle le sera avec les moyens mécaniques les plus parfaits » (Demanet, 1850).

Jusque dans les années 1860, les cahiers des charges compris dans les *Actes administratifs* de la Ville de Bruxelles sont manuscrits et spécifiques pour chaque bâtiment à construire. Le premier de ces cahiers à détailler les propriétés de la fonte et du fer date de 1844, c'est-à-dire d'avant les *Conditions générales* de Demanet. Ce cahier des charges, écrit pour la construction du nouvel entrepôt public de Bruxelles, est analysé ci-dessous.

### La commande de l'entrepôt public (1842-1848)

En 1842, la Ville de Bruxelles organisait un concours d'architecture pour un « nouvel Entrepôt Public au confluent des canaux de Willebroeck et de Charleroi, sur le raccordement des chemins de fer du Nord et du Midi ». La compétition était ouverte aux « architectes qui ont remporté un grand prix d'architecture ou ceux qui ont dirigé l'exécution d'édifices consacrés à un usage public ou à toute autre destination d'une importance plus grande que de simples maisons de particuliers » (Programme, 1842). Pour permettre l'impartialité du jury, les plans devaient être soumis sans signature, mais accompagnés d'une épigraphe. Ce sont les plans présentés par l'architecte Louis

Spaak (1803-1893), alors architecte provincial du Brabant, qui furent sélectionnés. Son projet consistait en un bâtiment rectangulaire (114,5 m de longueur pour 63 m de largeur) de plusieurs étages contenant trois cours intérieures. La façade était constituée de murs en maçonnerie et l'intérieur d'un système de poutres et colonnes en fonte soutenant les étages. De fines fermes en fer forgé supportaient la toiture à double versant. L'idée de bannir tout élément structurel en bois et de n'utiliser que du fer ou de la fonte pour la construction n'est pas due à l'architecte. Cette spécificité était déjà mentionnée en 1842 lors de la publication du *Programme pour la mise au concours d'un projet d'entrepôt à établir dans la plaine de chien-vert, en cette ville*. Le septième article du programme, qui décrit les matériaux à employer décrète que «à l'exception du bois qui serait reconnu nécessaire pour établir les fondations, les matériaux à employer consisteront exclusivement en brique, chaux hydraulique, sable, pierres de taille et métaux» (Programme, 1842). Cependant, en comparant les plans des projets ayant obtenu le deuxième (architecte Gustave Deman) et troisième prix (architectes Jacques François et Pierre Paul Stoop), il est clair que la proportion de fer et fonte employée par Louis Spaak était exceptionnelle. Ses détails constructifs (fig. 1) sont le reflet de techniques de pointe pour l'époque au niveau international. Ils sont en effet similaires à ceux utilisés pour l'*Albert Dock* construit simultanément à Liverpool (1841-48) ou à ceux des *fire proof mills* construits au tournant du XIX<sup>e</sup> s. au Royaume-Uni. Après l'inauguration de l'entrepôt en 1847, le *Journal de l'Architecture et des arts relatifs à la construction*, journal belge publié à partir de 1848, dit à son propos : «C'est le premier de nos grands édifices publics où la fonte ait été employée sur une aussi grande échelle et d'une manière aussi générale [...]» (Marchand, 1848).

Le fait que la fonte n'était pas encore, à cette époque, un matériau de construction usuel est démontré en 1844 dans le huitième cahier des charges, dans lequel sont stipulées différentes mesures de contrôle et de sécurité. Les sept cahiers précédents, publiés depuis 1842, concernent respectivement, dans l'ordre de construction de l'entrepôt, les travaux de déblais, la fourniture de bois de chêne ou de hêtre (pour les fondations),

la fourniture des briques, la fourniture de chaux, la main-d'œuvre pour les travaux de maçonnerie et la taille des pierres blanches. En janvier 1844 donc, les *Clauses et conditions pour l'entreprise de la fourniture, de l'ajustement et de la pose des objets en fer de fonte et en fer battu ou laminé nécessaires à la construction du nouvel entrepôt* sont soumises. Ce cahier des charges traite de tous les éléments en fer ou en fonte de la construction. L'entreprise y est divisée en trois lots : poutres et colonnes en fonte (lot 1), petits éléments métalliques tels que les boulons ou les ancrés (lot 2) et les fermes en fer forgé (lot 3). Huit plans dédiés à être suivis avec «exactitude» (art. 5) sont également annexés à ce cahier des charges. Ces plans cotés sont dressés à différentes échelles, la plus précise correspondant aux «détails grandeur d'exécution» de toutes les colonnes, poutres et composantes des fermes de toiture. Une description des propriétés des matériaux de construction y est aussi présente :

«Art. 4. Les objets en fer de fonte devront être exécutés en fonte de seconde fusion, de première qualité, douce, ductile et homogène. Les fers compris dans le deuxième lot seront en fer laminé ou battu, connu dans le commerce sous le n° 2, bonne qualité, ductile et nerveux. Les fers dont se compose le troisième lot, devront être de première qualité, de fer fort, nerveux, ductile, désigné dans le commerce sous le n° 3. Des échantillons des fers désignés ci-dessus, revêtus du cachet de la Ville, sont déposés au bureau des travaux à l'inspection des amateurs» (AVB, AA1844, dossier 47).

La qualification «connu dans le commerce» suggère que ces classes (n° 2 et n° 3) étaient pratiquées et standardisées (de Bouw *et al.*, 2010). Cependant, Demanet n'y fait référence ni dans son *Cours de construction* (Demanet, 1850), ni dans le *Cahier des charges général* adopté dès 1849. Le premier cahier des charges général qui mentionne explicitement une classification date de 1890 et est donc bien moins ancien (*Cahier général*, 1890), mais nous y reviendrons plus loin.

Pour faire face au problème de la résistance des matériaux lors de la construction du nouvel entrepôt en 1844, plusieurs tests furent réalisés *in situ*. Comme beaucoup de composants structurels identiques devaient être fabriqués (plus de 200 colonnes tubulaires et 500 poutrelles en fonte

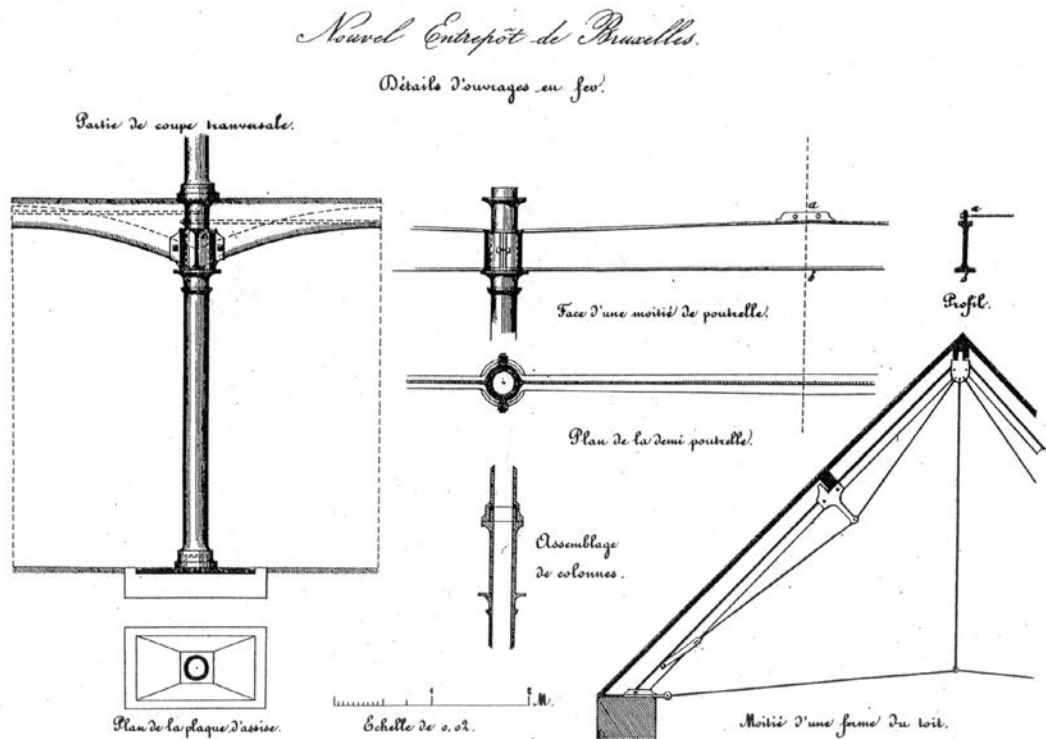


Fig. 1. Détails des éléments en fonte et fer, réalisés en 1842 par l'architecte Louis Spaak pour la compétition portant sur la construction du nouvel entrepôt public de Bruxelles (Marchand, 1848).

ainsi que plus de 100 fermes de toiture en fer), le cahier des charges stipule que les premiers modèles confectionnés d'après chaque épure devaient être livrés à l'Administration afin d'être soumis à différents contrôles. Les tests étaient menés de la manière suivante :

« Art. 8. Chaque poutrelle en fonte, de six mètres dix centimètres de longueur, sera posée sur deux points d'appui, comme elle doit être placée dans la construction du bâtiment, et, dans cet état, elle sera chargée uniformément jusqu'à concurrence de 25 000 kilogrammes. Les poutrelles qui se déforment ou subiront une altération quelconque dans cette épreuve seront rebutées. Quant aux fers battus ou laminés, ils seront soumis aux épreuves propres à assurer qu'ils ont les qualités exigées » (AVB, AA1844, dossier 47).

Ce type de tests, réalisé *in situ*, n'était pas inhabituel pour l'époque. À titre d'exemple, on peut

citer la construction du Crystal Palace en 1850, où tous les composants métalliques devaient être testés avant de pouvoir être utilisés pour la construction (Addis, 2006). Une autre mesure prise, afin de contrôler la qualité des éléments en fer et en fonte lors de la construction de l'entrepôt, consistait à interdire leur revêtement de toutes peintures ou de tous mastics de manière à laisser visible les imperfections :

« Art. 7. Tous les objets, tant en fer de fonte qu'en fer laminé ou battu, devront être parfaitement exécutés et sans défauts ; ils ne pourront, sous aucun prétexte, être revêtus de peinture ou mastic avant leur réception » (AVB, AA1844, dossier 47).

Ce principe sera radicalement revu dans les cahiers des charges des périodes suivantes, où un nombre minimal de couches de peinture protectrice sera stipulé. Pour terminer, de manière à assurer

la qualité des éléments livrés par l'entrepreneur, la ville le soumettait à une pression financière :

« Art. 12. L'entrepreneur sera responsable, pendant deux ans, de tous dommages qui pourraient résulter, soit des défauts des pièces de fonte et de fer, soit des défectuosités des assemblages. Il lui sera, en conséquence, fait une retenue de dix pour cent sur le montant de chaque fourniture, à titre garanti ; et cette retenue ne sera payée que deux ans après le placement des objets, lors de leur réception définitive » (AVB, AA1844, dossier 47).

Le nouvel entrepôt étant décrit par le *Journal de l'architecture* comme un des premiers bâtiments à employer une si grande quantité de fer et de fonte dans sa construction, on pourrait croire à tort que le délai de livraison stipulé par le cahier des charges était trop court pour être respecté. Il n'en fut rien, car les fonderies, forges et ateliers de constructions, travaillant déjà à la construction de rails de chemins de fer et de locomotives, étaient prêts à se lancer dans la construction de bâtiments qui, pour eux, ne correspondait qu'à une petite fraction du marché. Au total, vingt-et-un soumissionnaires firent une offre portant sur un, deux ou les trois lots. Non seulement de grands acteurs tels que la Société anonyme de Cockerill ou la Société des Forges et fonderies de Clabecq participèrent, mais également de plus petits marchands de fer et constructeurs. Neuf dossiers furent soumis pour le premier lot, qui comprenait les colonnes et poutrelles en fonte pour un total de 700 000 kg. Ce lot fut attribué à Frédéric Louis Behr, directeur de la Société anonyme des charbonnages et hauts fourneaux de l'espérance à Seraing pour un prix de 16,25 francs belges par 100 kg (il était mentionné dans le cahier des charges que les offres de prix seraient exprimées par 100 kg). Étant les moins chers, le maître serrurier Bernard Gilson et le constructeur Hamal et Compagnie furent désignés respectivement pour le deuxième lot comprenant les fers d'ancrages et pour le troisième lot comprenant les fermes en fer laminé. Dans le *Bulletin communal de la ville de Bruxelles*, on peut lire que l'Administration fut satisfaite de ces entrepreneurs et que le chantier fut terminé sans retard. En effet, le bâtiment ouvrit et fut utilisé comme entrepôt public dès 1847.

## Vers une classification des fers et tôles

En 1855, la Ville de Bruxelles publie son propre *Cahier des charges général des entreprises des travaux publics*, contenant 54 articles, auxquels les cahiers des charges de tous les bâtiments construits à Bruxelles à partir de cette époque se réfèrent. En 1884, ce *Cahier des charges général* fut révisé et complété de 96 articles. Ces deux versions se concentrent essentiellement sur la partie administrative mais n'abordent pas les aspects techniques ; la description des matériaux n'y est donc pas incluse. Entre-temps, en 1863-1864, le ministère des Travaux publics publie également un cahier des charges général intitulé *Royaume de Belgique. Cahier des charges, clauses et conditions générales applicables aux entreprises de travaux publics* (Bertels, De Jonge, 2009). Dans ce document, le fer et la fonte sont subdivisés en différentes catégories : fonte, fer forgé, tôle et fer laminé.

« Art. 51. *Fonte*. La fonte de moulage présentera dans sa cassure un grain gris, serré et régulier avec arrachement ; elle sera exempte de gerçures, gravelure, soufflures, gouttes froides, lèvres, bavures, flaches et autres défauts susceptibles d'altérer la résistance et la netteté de forme de pièces. Elle devra être à la fois douce et tenace, facile à entamer à la lime et au burin. L'administration pourra exiger qu'à chaque coulée il soit fondu deux barreaux destinés à constater la qualité de la fonte.

Art. 52. *Fer forgé*. Le fer forgé sera de première qualité, fort, nerveux, non rouverin, pliant à froid sans se casser, d'un grain fin, serré et homogène, sans pailles, fentes, doublures, travers, criques, cendrures et autres défauts. L'administration pourra s'assurer de la qualité du fer en faisant casser au hasard, pour le compte de l'entrepreneur quelques-unes des pièces soumises à son acceptation. Les pièces seront forgées et soudées avec soin.

Art. 53. *Tôle et fer laminé*. La tôle et le fer laminé, en général, seront de toute première qualité, bien homogènes, bien soudés, sans paille, stries, gerçures ou manque de matière. Les tôles devront présenter une coupe grasse dans le travail à la machine à percer, à la machine à raboter ou à la cisaille. Les rognures devront se détacher sans se rompre. Les tôles aigres à nerf feuillé qui se fendraient ou s'ouvriraient sous le poinçon ou qui se déchireraient quand on voudrait les courber, infléchir ou entailler, seront rebutées » (*Cahier des charges*, 1876).

On pourrait cependant se demander pourquoi les résistances spécifiques n'y sont pas indiquées, comme il en était alors coutume en France, ce qu'illustre le *Devis et cahier des charges général* (1861) de la section des chemins de fer du ministère de l'Agriculture, du Commerce et des Travaux publics :

« Art. 33. Tous les fers seront corroyés, doux, non cassants, malléables à froid, nerveux, d'un grain fin et homogène, sans paille, gerçures et autres défauts. Ils ne devront pas se rompre par traction, sous une charge moindre que quatre mille kilogrammes par centimètre carré de section.

Art 34. La fonte devra être de première qualité, [...]. Soumise à un effort de traction, elle ne devra pas se rompre sous une charge moindre que treize cents kilogrammes par centimètre carré. Toute la fonte blanche ou truitée sera refusée » (*Devis et cahier des charges général*, 1861).

Dans sa révision de 1890, le cahier des charges général du Royaume de Belgique présente finalement un aperçu des résistances à la rupture, des allongements et des comportements au pliage. Cette version est approuvée conjointement par le ministère des Chemins de fer, Postes et Télégraphes et celui de l'Agriculture, de l'Industrie et des Travaux publics. Les descriptions de la fonte et du fer restent vagues, mais les articles 57 (*Tôles de fer*) et 58 (*Fer laminés*) proposent une classification des matériaux par leurs résistances et présentent des tests (épreuves par traction et essais de pliage à froid et à chaud) permettant de contrôler la qualité des matériaux livrés (fig. 2).

La dénomination « acier », quant à elle, n'est pas reprise dans le cahier des charges général de 1890. Néanmoins, les forges et fonderies belges fabriquaient déjà des profilés en acier depuis plusieurs années. La première coulée d'acier en Belgique date de 1863, et des profilés en acier furent laminés sur le continent dès les années 1870 (Clarke, 2014). Mais de quand date l'introduction de l'acier dans la construction de bâtiments à Bruxelles ? Et de quelle année date la première mention d'éléments en acier dans les cahiers des charges de la Ville de Bruxelles ? Les mots « acier fondu » et « acier doux » apparaissent pour la première fois dans la série des cahiers des charges dédiés à la construction de l'usine à gaz de Bruxelles près de la Senne et du

chemin de fer de la Dendre-et-Waes. Examinons le contexte dans lequel a été construite cette usine.

### La commande de l'usine à gaz (1874-1899) : fer ou acier ?

À ses débuts, la production de gaz à Bruxelles fut confiée à des entreprises privées. Ce n'est qu'en 1875 qu'est mise en service la première usine à gaz construite par la Ville de Bruxelles et placée sous la supervision de l'ingénieur Léon Somzée (1837-1901). L'usine est aujourd'hui démolie, mais un atlas contenant 177 dessins détaillés dressés par ce dernier permet de se faire une idée précise des bâtiments et installations (fig. 3). À sa nomination en tant que directeur de l'usine, Léon Somzée était déjà pourvu d'une expérience non négligeable, comme le prouvent les cahiers des charges rédigés sous sa responsabilité. Dans la période comprise entre 1874 et 1878, il en écrivit vingt-quatre. Ces cahiers sont très précis et très complets, les matériaux et la façon de les mettre en œuvre dans la construction y sont décrits de manière très détaillée. Dans le cahier n° 4 de 1875, qui décrit « l'entreprise des charpentes métalliques et couvertures en zinc ondulé, des halles aux fours et des halles aux charbons », on trouve pour la première fois une référence concrète à la résistance des matériaux :

« Art. 11. *Conditions de résistance et épreuves.* Les tôles et fers [...] devront pouvoir supporter, sans se rompre à la traction, une charge de (32 kg) trente-deux kilogrammes par millimètre carré de section dans le sens des fibres et de (29 kg) vingt-neuf kilogrammes par millimètre carré dans le sens transversal aux fibres [...] » (AVB, AA1875, dossier 220).

Dans le cahier n° 17 de 1877, qui détaille la « construction du tablier métallique d'un pont de chemin de fer à établir sur la Senne », en plus de la résistance requise pour le fer laminé, on trouve une description des tests qu'il faudra appliquer aux assemblages rivetés ou boulonnés. Le cahier n° 21 de la même année, qui traite d'un « gazomètre de 36 mètres » va encore plus loin en ajoutant une page entière dédiée au procédé de rivetage (AVB, AA1877, dossier 619).

Dans les années 1880, H. Aerts devint directeur de l'usine à gaz, ce qui se remarque à la nouvelle

| — 96 —   |                                  | EPREUVES DE RECEPTION                                     |   |                                   |  | — 97 —  |   |               |
|--|----------------------------------|---|---|-----------------------------------|--|---|---|---------------|
| SPÉCIFICATIONS<br>des<br>PROFILS.  | NOMENCLATURE<br>des<br>QUALITÉS. | ESSAIS PAR TRACTION.                                      |   |                                   |  | CASSURES<br>faites<br>à FROID.  | ESSAIS<br>à<br>CHAUD.   | OBSERVATIONS. |
|  |                                  | Résistance<br>minimum en kilo<br>par millimètre<br>carré. |   | Allongement<br>minim.             |  |   |   |               |
|  |                                  | dans<br>le sens<br>du<br>laminage                         | dans le<br>sens<br>perpen-<br>diculaire<br>au<br>laminage | dans<br>le sens<br>du<br>laminage | dans<br>sens<br>perpen-<br>diculaire<br>au<br>laminage   |   |   |               |
| A. Fers à section<br>ronde ou poly-<br>gonale, fers<br>d'angle, fers<br>profilés, fers<br>plats ou pou-<br>vant y être<br>assimilés. | N° 2.<br>Qualité ordinaire.      | 30  | »   | 5 p. e.                           | Texture mélangée de grains<br>et de nerf assez court;<br>nerf gris-blanc.  | Tous ces fers<br>doivent se prêter facilement aux travaux de forge,<br>sans que la surface se crique. | La quantité de grains<br>à admettre dans les fers<br>à diamètre ou d'épaisseur<br>supérieure à 30 millimè-<br>tres variera proportionnel-<br>lement à l'augmentation de<br>ce diamètre ou épaisseur;<br>un rond de 100 millimè-<br>tres, bon n° 3, n'est presque<br>pas nerveux; un rond de<br>150 millimètres, bon n° 4,<br>à 50 p. e. de grain. |               |
|  | N° 3.<br>Bonne qualité.          | 33  | »   | 9 p. e.                           | Texture nerveuse, nerf<br>blanc; les fers de diamè-<br>tre ou d'épaisseur supé-<br>rieure à 30 millimètres,<br>pourront présenter envi-<br>ron 20 p. e. de grain.    |   |   |               |
|  | N° 4.<br>Qualité supérieure.     | 35  | »   | 13 p. e.                          | Texture nerveuse, nerf<br>blanc soyeux; les fers de<br>diamètre ou d'épaisseur<br>supérieure à 30 millimè-<br>tres, pourront présenter<br>environ 15 p. e. de grain. |   |   |               |
|  | N° 5.<br>Fers fins grains.       | 40  | »   | 15 p. e.                          | Textures à fins grains, blan-<br>che bleuâtre, présentant<br>environ 10 p. e. de nerf<br>blanc soyeux.   |   |   |               |
| B. Larges plats.   | Plats<br>bonne qualité.          | 35  | 24  | 7 p. e. 1/2                       | Texture entièrement ner-<br>veuse dans le sens du<br>laminage; nerf blanc.   | 20 p. e. de grain au-<br>dessus de 15 millimètres<br>d'épaisseur.                                     |   |               |
|  | Plats<br>supérieurs.             | 37  | 25  | 10 p. e. 1/2                      | Texture entièrement ner-<br>veuse dans le sens du<br>laminage; nerf blanc<br>soyeux.   | 40 p. e. de grain au-<br>dessus de 15 millimètres<br>d'épaisseur.                                     |   |               |

Fig. 2. Classification des fers laminés, mentionnant les résistances à la rupture, les allongements et les cassures à froid pour chaque classe de résistance (Cahier général des charges, 1890, p. 96-97).

mise en page utilisée pour les cahiers des charges. Dans le cahier des charges pour un « nouveau gazomètre télescopique », les différents profilés métalliques sont divisés en 5 catégories en fonction de leurs propriétés : « fers pour boulons et rivets, fers en U, larges plats, tôles et fers pour la cloche, tôles et fers pour le fond de la cuve, le beffroi, la charpente du guidonnage et le garde-corps du dôme de la cloche ». Les « fers pour boulons et rivets » ont une résistance à la traction légèrement supérieure aux autres catégories (38 kg/mm<sup>2</sup> au lieu de 32 kg/mm<sup>2</sup>), qui ont, elles, la même résistance dans la direction de laminage, mais différente dans la direction transverse. Plus la pression appliquée sur

l'élément sera élevée, plus la résistance perpendiculaire à la direction de laminage devra être grande : tôle pour cloche (30 kg/mm<sup>2</sup>), tôle pour le fond de la cuve (28 kg/mm<sup>2</sup>), larges plats (24 kg/mm<sup>2</sup>). D'autres paramètres sont également décrits :

« Art 23. [...] *Épreuves des fers.* À la température ordinaire, ou en temps de gelée dans les limites de env. 10 centigrades, les fers devront se plier sans casser ni gercer, et cela jusqu'à ce que les deux bouts sur toute la longueur soient parallèles à une distance l'un de l'autre égale au diamètre de la barre. À chaud, ils se prêteront facilement à tous les travaux de forge sans que la surface se crique. Leur limite d'élasticité ne pourra pas être inférieure à 15 kilog. Aux essais



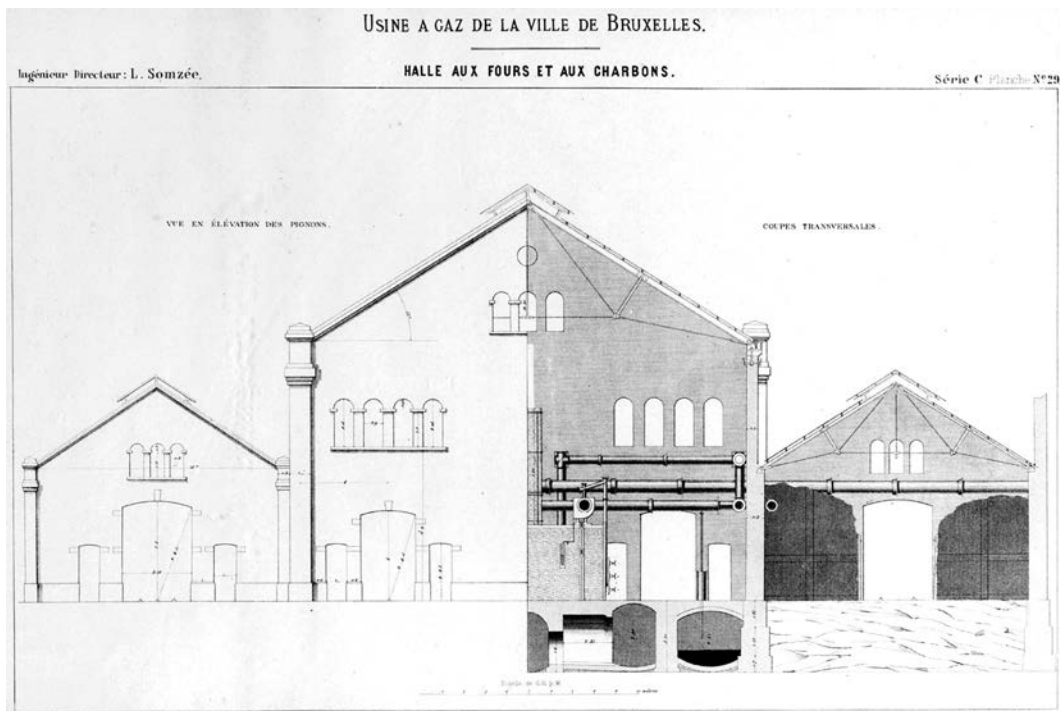


Fig. 3. Extrait de l'atlas comprenant 177 dessins détaillés dressés par l'ingénieur Léon Somzée et permettant de se faire une idée précise des bâtiments et installations de l'usine à gaz (Somzée, 1879).

par traction, la résistance minima sera de 38 kilo par millimètre carré de section initiale, et l'allongement correspondant, rapporté aux repères de la barre d'essai, écartés de 200 millimètres, ne pourra pas être inférieur à 16 p.c. En même temps, la contraction de la section de rupture sera au moins de 30 p.c. de la section initiale. Les mêmes fers seront aussi éprouvés à la résistance au cisaillement sous une charge de rupture de 33 kilog. par millimètre carré» (AVB, AA1888, dossier 2136).

Dans le cahier des charges de 1888, une nouvelle catégorie apparaît pour la première fois : «acier fondu et forgé». Cette catégorie est définie comme suit :

«Art 31. *Acier fondu et forgé. a. Conditions générales.* Cet acier sera de l'acier fondu travaillé au marteau-pilon. Il présentera dans ses cassures faites à froid, une texture grenue et compacte, exempte de toutes soufflures, à grains très fins, serrés et d'un gris clair tirant sur le blanc. *b. Épreuves.* Aux essais par traction, la résistance minima sera de 55 kilog. par

millimètre carré de section initiale» (AVB, AA1888, dossier 2136).

L'acier fondu (55 kg/mm<sup>2</sup>) est donc considéré comme plus résistant que le fer ordinaire (35 kg/mm<sup>2</sup>), ce qui est répercuté dans les prix demandés par le soumissionnaire. La Société anonyme de construction et des ateliers de Willebroeck, à qui la construction a été adjugée, demande 0,23 franc belge par kg pour la fonte moulée, 0,36 pour le fer soudé, 0,60 pour l'acier fondu et forgé, et 0,80 pour l'acier fondu et moulé. En 1892, ce cahier sera copié pour la construction d'un autre gazomètre, dans lequel toutes les propriétés des matériaux restent inchangées, mais les propriétés de l'acier fondu et forgé sont décrites différemment :

«Aux essais par traction, la résistance minima sera de 50 kilog. et la résistance maxima de 60 kilog. par millimètre carré; l'allongement correspondant rapporté aux repères des barres d'essai distantes de

100 millimètres ne pourra pas être inférieur à 15 p.c.» (AVB, AA1892, dossier 2848).

Dans les années suivantes, les résistances de l'acier fondu et forgé mentionnées dans les cahiers des charges changèrent constamment: allant de 44 kg/mm<sup>2</sup> dans le cahier n° 38 (1893) à 50-60 kg/mm<sup>2</sup> dans le cahier n° 34 (1893) et n° 42 (1894). En 1895, dans le cahier n° 43, la dénomination «acier doux» est introduite pour la première fois. Il est important de souligner que, dans ce cahier, le choix est donné à l'entrepreneur d'utiliser soit le fer, soit l'acier doux pour les profilés:

«Art 9. Au choix de l'entrepreneur, les profilés seront en fer n° 3 de la qualité stipulée ci-dessus ou en acier doux présentant une résistance de rupture par traction de 42 kg/mm<sup>2</sup> tout en donnant un allongement de 20 p.c. au moins» (AVB, AA1895, dossier 3495).

Là encore, dans les années qui suivirent, les résistances varièrent de 42 kg/mm<sup>2</sup> dans le cahier n° 44 (1896) jusqu'à l'intervalle de 37 à 44 kg/mm<sup>2</sup> dans les cahiers n° 48 (1897), n° 49 (1898) et n° 54 (1899) avec toujours le choix laissé à l'entrepreneur d'opter soit pour le fer soit pour l'acier doux. Cette dernière découverte est surprenante dans le sens où, jusqu'à présent, le choix de l'acier pouvait être justifié par une résistance supérieure à celle du fer. Cependant, l'analyse montre que la différence entre la résistance de rupture par traction du fer et celle de l'acier n'a pas toujours été prise en compte dans ces cahiers des charges.

## Conclusion

La recherche systématique d'innovations dans l'utilisation et la qualification du fer, de la fonte et de l'acier pour la construction des bâtiments commandés par la Ville de Bruxelles entre 1840 et 1900 a ouvert de nouvelles perspectives quant à l'étude des cahiers des charges, lesquels peuvent renfermer des indications utiles à de futurs projets de rénovation. Le renvoi à des classes de résistances et les campagnes de tests *in situ* détaillés dans le cahier des charges élaboré dès 1844 par la Ville de Bruxelles contrastent avec les vagues descriptions présentes dans le *Cahier des charges général* ratifié

par le ministère de la Guerre en 1849. Dans les deux cas, cependant, il apparaît clairement que les connaissances fondamentales à ce sujet n'y sont pas abordées. Trouver comment ces classes «connues dans le commerce» fonctionnaient dans les années 1840 n'est donc pas chose aisée, d'autant plus que la documentation à propos des profilés disponibles à cette époque est rare. Ces difficultés sont encore plus importantes dans les années 1890, lorsque l'acier fut introduit, les profilés faits à partir de ce dernier étaient difficiles à distinguer visuellement de ceux en fer forgé. Les cahiers des charges apparaissent dès lors comme des outils non négligeables permettant d'aider à identifier les matériaux employés. De manière surprenante, les cahiers des charges de l'usine à gaz de Bruxelles laissent libre choix à l'entrepreneur d'opter soit pour le fer forgé, soit pour l'acier doux, à la seule condition que les profilés présentent les propriétés structurelles demandées. De plus, la résistance à la rupture par traction requise pour les profilés en acier varie entre 37 et 60 kg/mm<sup>2</sup> avec un allongement maximal de 20%. Un large éventail de résistance peut donc correspondre à l'élément mis en œuvre, ce qui impose de considérer une plus large gamme d'hypothèses lors de projets de réhabilitation. Ces observations confirment finalement que le début de la période de transition, durant laquelle le fer forgé et l'acier furent utilisés simultanément, se date à Bruxelles dans les années 1890.

## Remerciements

Cette recherche est financée par la *Research Foundation – Flanders* (FWO).

## Sources

*Cahier des charges, clauses et conditions générales applicables aux entreprises de travaux publics*, Louvain, Peeters-Reulens, 1876.

*Cahier général des charges clauses et conditions imposées aux entreprises de travaux*, ministère de l'Agriculture, de l'Industrie et des Travaux publics et ministère des Chemins de fer, Postes et Télégraphes, Bruxelles, Weissenbruch, 1890.

Devis et cahier des charges général, ministère de l'Agriculture, du Commerce et des Travaux publics. Chemin de fer. Projet définitif des terrassements et des ouvrages d'art, 1861.

Programme pour la mise au concours d'un projet d'entrepôt à établir dans la plaine de chien-vert, en cette ville, Bruxelles, Arrêté par le collège des bourgmestre et échevins de la ville de Bruxelles, 1842.

## Bibliographie

- B. ADDIS, *3 000 years of design engineering and construction*, London, Phaidon, 2007.
- , « The Crystal Palace and its Place in Structural History », *International Journal of Space Structures*, vol. XXI, n° 1, 2006, p. 3-19.
- J. BAELE, R. DE HERDT, *Vrij gedacht in ijzer: een essay over de architectuur in het industriële tijdperk 1779-1913*, Gent, Stad Gent, 1983.
- I. BERTELS, K. DE JONGE, « Building Specifications and the Growing Standardizing of Public Building Regulation in Nineteenth-Century Belgium », in K. KURRER, W. LORENZ, V. WETZK (dir.), *Proceedings of the Third International Congress on Construction History*, Cottbus, Brandenburg University of Technology, vol. III, 2009, p. 197-204.
- J. CLARKE, *Early structural steel in London buildings. A discreet revolution*, Swindon, English Heritage, 2014.
- M. DE BOUW, I. WOUTERS, J. VEREECKEN, L. LAURIKS, « Le vrai sens des mots fer et acier en Belgique entre 1860 et 1920 », in R. CARVAIS *et al.* (dir.), *Édifice & Artifice. Histoires constructives*, Paris, Picard, 2010, p. 377-387.
- A. DEMANET, *Cours de construction professé à l'École Militaire de Bruxelles (1843 à 1847)*, Bruxelles, Delevingne et Callewaert, 1850.
- E. MARCHAND, « Nouvel entrepôt à Bruxelles », *Journal de l'architecture et des arts relatifs à la construction: revue des travaux exécutés en Belgique*, n° 4, avril 1848, p. 5-6.
- F. PASQUASY, *La sidérurgie au pays de Liège: du martelage du fer au revêtement de l'acier*, Liège, Société des bibliophiles liégeois, 2017.
- M. RINKE, J. SCHWARTZ, *Before steel: the introduction of structural iron and its consequences*, Zürich, Sulgen, 2010.
- L. SOMZÉE, *L'usine à gaz de la ville de Bruxelles. Ouvrage comprenant la construction, l'installation, la fabrication, l'outillage et l'exploitation de l'usine*, Paris, Bernard, 1879.
- D. VAN DE VIJVER, « Demanet's 1848/9 General building specifications for the Belgian Ministry of War », in G. MOCHI (dir.), *Theory and practice of construction: knowledge, means, models. Didactic and research experiences*, Bologne, Dipartimento di Architettura e Pianificazione Territoriale, Univeristà di Bologna, 2005, p. 905-914.