Zeitschrift: Ingénieurs et architectes suisses
Band: 124 (1998)
Heft: 3

Sonstiges

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 08.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

d'utilisation, ou pour les charges environnementales de la mise en œuvre sur le chantier. Cette démarche simplifiée est d'autant plus justifiée si les charges induites par les parties en question sont relativement faibles, ce qui semble bien être le cas. Cependant, nos connaissances accusent toujours des lacunes importantes en ce qui concerne aussi bien les besoins en énergie des différentes activités, que les déchets et émissions directes produits sur les chantiers.

- Il nous paraît essentiel, dans l'intérêt de l'efficacité et afin d'éviter des charges supplémentaires difficilement supportables pour les mandataires, que l'évaluation et l'optimalisation environnementales d'un projet donné puissent se faire en parallèle avec la planification financière, aux échéances de celle-ci (estimation sommaire, devis estimatif, devis détaillé) et en utilisant le plus possible les mêmes types de données. Elles devraient donc, dans la mesure du possible, s'appuyer sur des méthodes et outils couramment utilisés.
- Le CFE, dont l'utilité et l'efficacité pour la planification des coûts sont désormais reconnues, s'est avéré adéquat pour la description physique de projets de bâtiments en vue de leur évaluation environnementale. Quelques adaptations et affinements mineurs de la méthode devraient éventuellement être envisagés
- Il sera nécessaire de constituer des bases de données environnementales pour les groupes d'éléments et éléments, en analogie avec celles concernant les coûts (CVR, catalogue des valeurs référentielles, et CEC, catalogue des éléments calculés). La documentation SIA D0123 représente un premier pas important dans cette direction et notre étude des Triaudes D apporte, pour quelques éléments, de nouvelles valeurs pratiques.
- Dans les phases en amont du projet, il sera également nécessaire de disposer de valeurs de référence environnementales, plus grossières, applicables au bâtiment en bloc, comme c'est le cas des ratios de coût usuels pour les estimations sommaires des investissements. Les valeurs des Triaudes D, rapportées au m² de surface de référence énergétique, peuvent également être considérées comme références à ce titre.
- Les *types d'impacts* à prendre en compte dans l'évaluation environnementale d'un projet de construction ainsi que le principe et les méthodes de leur *agrégation*, sujets très controversés mais incontournables, sont discutés dans l'article intitulé « Vers un indicateur de durabilité pour le bâtiment ».

La seconde partie de cette série d'articles consacrés au thème « Architecture et développement durable » paraîtra dans notre N° 7 du 8 mars 1998.

Rédaction

La construction en bois

Un matériau compatible avec l'environnement et sa gestion durable

La suprématie d'une matière première renouvelable telle que le bois, par rapport à ses concurrents non renouvelables, est évidente. En Suisse le bois est produit dans le respect du principe de la gestion durable des ressources : l'exploitation ne dépasse pas la production – on vit des dividendes sans toucher au capital. L'élimination de bois de récupération ne pose pas de problème, car il ne s'agit pas d'un déchet : il peut être réutilisé ou être une source d'énergie neutre du point de vue CO_2. La production et l'utilisation de bois indigène évitent de longs transports nuisibles pour l'environnement. Exploitées de façon durable, les forêts fournissent d'importantes prestations de protection et de loisir. Utiliser du bois sert à entretenir la forêt, ce qui est bénéfique pour tout un chacun.

La forêt

Le bois est la seule matière première indigène générée continuellement et en quantité suffisante. Près d'un tiers de notre pays est couvert de forêts protégées : la loi impose de maintenir leur surface et leur répartition. La forêt est également protégée en tant que biotope, la coupe rase étant prohibée. Les essences sont réparties de manière très variée, reflétant la diversité de la nature. Selon une estimation, près des deux tiers de nos 500 millions d'arbres sont des résineux. Le reste est dévolu aux feuillus.

Production de bois

Ce sont quelque 9 millions de m³ de bois qui poussent chaque année dans la forêt suisse, alors que l'on n'en récolte que 4,5 millions. Il pousse donc plus de bois que l'on en utilise. Il est nécessaire que la forêt soit exploitée de manière convenable, et périodiquement rajeunie. « Le bois pousse à partir du bois », disent les forestiers : l'exploitation durable n'est pas un terme qui leur est étranger. Il en est ainsi depuis longtemps et il en sera ainsi pour les générations à venir.

Réserves et utilisation du bois en Suisse

Surface des forêts	1 200 000 ha (environ 30 % de la surface du pays)
Stock de bois	env. 400 millions de m³
Stock de bois par hectare	333 m³
Utilisation par hectare	4,0 m³
Utilisation totale	environ 4,6 millions m³

Valeurs WVS 1995

Cycle du CO_2

La forêt fixe le CO_2. Le bois est produit à partir de carbone (C), d'oxygène (O_2) et de substances nutritives contenues dans le sol. Un hêtre de 25 m de haut libère chaque jour la quantité d'oxygène que respirent trois personnes. Sous nos latitudes, les résineux atteignent 600 ans, les feuillus jusqu'à 800 ans. Plus un arbre est âgé, moins il croît. Il absorbe donc moins de CO_2. Si l'on n'abat pas un arbre, il finit par mourir, puis par se décomposer. Le carbone lié se transforme à nouveau en CO_2, qui est libéré dans l'atmosphère. Le cycle est ainsi bouclé.

Bois

On récolte chaque année dans le monde 3,5 milliards de m^3 de bois, dont près de la moitié sert à la production d'énergie. Un quart de ce volume est affecté à la production de carton et de papier, le dernier quart étant utilisé par l'industrie de la construction, pour la fabrication de meubles et pour l'emballage. Le bois est léger et les hommes le façonnent partout dans notre pays. Il ménage l'environnement, surtout si on le compare aux autres matériaux de construction. Durant toutes les phases de sa production et de son utilisation, la construction en bois est moins gourmande en énergie. Le matériau de construction bois est indigène : il se récolte et s'utilise pour la construction sur le plan local, ce qui évite de longs transports et garantit une utilisation économique avec une gestion durable des ressources.

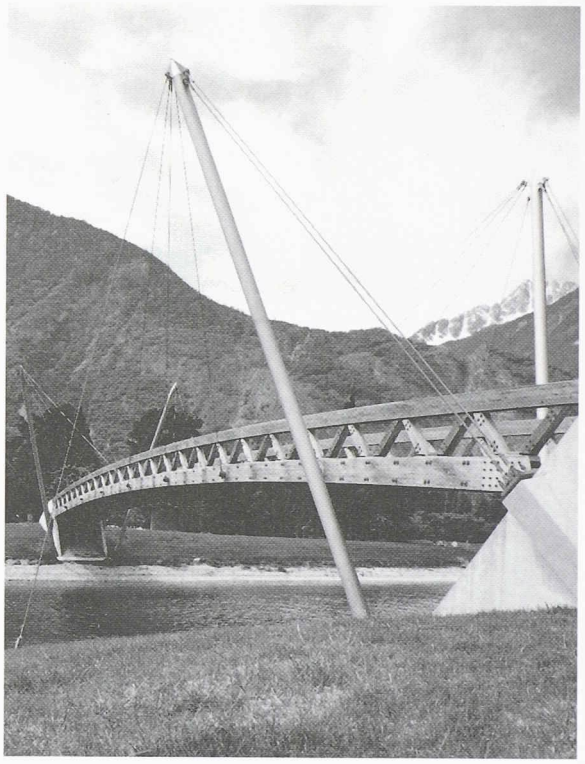
Bilan écologique

Une maison en bois ne contient pas que du bois. Toute construction en bois comporte aussi des fondations, des installations techniques, des moyens d'assemblage, du béton, de l'acier, du plâtre ou des surfaces vitrées. Les bilans écologiques servent à comparer différents matériaux utilisés dans le même but. Les résultats donnent des indications importantes aux consommateurs critiques. Les indications relatives à l'énergie grise nécessaire pour la fabrication des matériaux sont essentielles, et les critères ressortant de la biologie de la construction prennent de plus en plus d'importance. Le bois est un matériau classique, qui convient parfaitement non seulement pour les aménagements intérieurs, tels que revêtements de sols, de parois et de plafonds, mais également pour les structures porteuses. De nombreux nouveaux matériaux d'isolation sont faits à partir de bois. Dans ce domaine, on distingue notamment les panneaux de fibres mous et les isolations à base de papier recyclé. Leurs caractéristiques technologiques sont par ailleurs tout aussi bonnes que celles des produits couramment utilisés de nos jours.

Production mondiale estimée

	Milliards de t	Milliards de m^3
Bois	2,1	3,5
Ciment	1,1	1,0
Acier	0,8	0,1
Matière synthétique	0,09	0,08
Aluminium	0,02	0,007

Schulz Munich (1990), Springer Heidelberg, 1993



La Suisse bénéficie d'une riche tradition dans la construction de ponts. De nos jours, on utilise de nouveau le bois pour réaliser des ponts modernes. Exemple convaincant, tant techniquement qu'esthétiquement : la passerelle du restoroute de Martigny.

Circuit économique

Si une maison en bois doit être transformée ou démolie, la quantité de travail à fournir est faible. Nombre d'éléments d'une maison en bois sont facilement démontables, puisque cloués, vissés ou agrafés. Le bois et les matériaux dérivés ont plusieurs vies. Les éléments de construction récupérés peuvent être directement réutilisés, car les caractéristiques du bois restent intactes. Il s'agit là d'un véritable recyclage. D'autres parties peuvent être réutilisées dans la construction après un traitement approprié (*downcycling*). Si le bois ne peut plus servir de matériau de construction, il peut encore nous chauffer, et le cycle de la nature est ainsi bouclé.

Lignum communication
Charles von Büren

Nouvelles de l'AIPC[1]

Nouveau président

Klaus Ostenfeld, président de l'AIPC pour la période 1997-2001 a pris officiellement ses fonctions à la clôture de la Conférence Internationale à Innsbruck, en Autriche, le 18 septembre 1997, succédant à John M. Hanson, USA.

Citoyen danois, né en 1943, Klaus Ostenfeld a acquis un solide bagage professionnel en tant qu'ingénieur

[1] Association internationale des ponts et charpentes

au cours d'une carrière s'étendant sur trente ans. Il a obtenu son diplôme d'ingénieur civil de l'Université Technique du Danemark en 1966. Après de premières expériences dans son pays, il a travaillé aux Etats-Unis, en France et au Canada, où il a été notamment chef de projet de plusieurs constructions des Jeux Olympiques de Montréal.
Il est actuellement directeur exécutif de la Division Transport de COWI, ingénieurs-conseils, au Danemark. Il assume des fonctions dirigeantes pour les projets d'infrastructure en cours au Danemark et dans la région : chef de projet pour les tunnels et ponts du Great Belt et pour le pont de Øresund, une traversé combinée rail/route[2]. Il a également dirigé les études de faisabilité pour la traversée de Fehrmarn entre le Danemark et l'Allemagne.
Klaus Ostenfeld est actif dans le monde entier. Il a été conseil spécial de la Commission économique des Nations Unies pour l'Afrique et l'Europe pour une traversée du détroit de Gibraltar, ainsi que membre de la Commission d'experts de la Banque mondiale pour un pont de dix kilomètres sur la rivière Jamuna au Bangladesh, actuellement en cours de construction.
Membre de l'AIPC depuis 1978, M. Ostenfeld apporte une richesse de connaissances techniques et professionnelles et une expérience internationale précieuses dans sa fonction de président de l'AIPC.

Bruno Thürlimann, le couronnement d'une carrière

Le « Mérite International des Ponts et Charpentes » 1997 a été attribué par l'AIPC à Bruno Thürlimann en reconnaissance de ses « contributions exceptionnelles aux développements théoriques et pratiques du génie civil et son engagement exceptionnel pour la profession d'ingénieur civil ».
Le récipiendaire est une des personnalités les plus remarquables dans le monde du génie civil. Né en 1923, il obtient son diplôme d'ingénieur civil à l'EPFZ en 1946, couronnant ses études en 1951 à l'Université de Lehigh à Bethlehem en Pennsylvanie, États-Unis, avec un doctorat. Il y enseigne de 1953 à 1960, puis retourne à l'EPFZ, où il enseigne la statique et la construction, y dirigeant des recherches jusqu'en 1990.
Chercheur, Bruno Thürlimann contribue avec ses travaux aussi bien au développement de la construction métallique qu'à celle du béton, les principaux matériaux de la construction mixte. Au Laboratoire de génie civil à Lehigh il effectue des recherches sur les voiles en béton et développe la théorie de la plasticité en construction métallique. Ses travaux se concentrent à Zurich sur le domaine du béton précontraint. Durant toute sa carrière académique et même plus tard, Bruno Thürlimann est consulté pour la solution de problèmes complexes relatifs à de grands ouvrages dans le monde entier. Trois exemples d'une longue liste sont la CN Tower à Toronto, la Hancock Tower à Boston et les recherches des causes de l'accident de la plate-forme de forage Sleipner A, au large des côtes norvégiennes.
Les distinctions académiques de Bruno Thürlimann sont trop nombreuses pour être mentionnées ici. Membre de nombreuses associations internationales, il est entre autres président d'honneur de l'AIPC, membre d'honneur de l'ASCE et de l'ACI et membre de l'Académie suisse des sciences techniques. Les titres de Docteur *honoris causa* des Universités de Stuttgart et de Glasgow témoignent de l'estime que lui porte le monde académique et professionnel.

Ulrike Kuhlmann lauréate du Prix AIPC 1997

Le Prix 1997 de l'AIPC a été décerné à Ulrike Kuhlmann en reconnaissance de ses « contributions théoriques et pratiques exceptionnelles dans le domaine des constructions de génie civil, en particulier dans celui des structures métalliques ».
Née à Dortmund en 1957, Ulrike Kuhlmann fait ses études d'ingénieur civil à l'Université de la Ruhr à Bochum. Diplômée en 1981, elle poursuit son activité dans cette école comme collaboratrice scientifique à la chaire de construction métallique du professeur K. Roik, et y obtient en 1986 son titre de docteur.
En 1987, elle est professeur invité à l'Institut de la construction métallique (ICOM) de l'EPFL dans le domaine de recherche des constructions mixtes et de la fatigue. Suivent huit années dans l'industrie : trois ans au sein du bureau d'étude Dr. Weyer et cinq autres dans l'entreprise de construction métallique Johannes Dörner à Dortmund, où elle dirige le bureau technique. Les calculs statiques et leurs contrôles étant son activité principale dans le bureau d'études, ce sont les problèmes liés à l'exécution et à la coordination qui demandent tout son engagement professionnel, principalement pour des ponts métalliques ou en construction mixte.
En 1995, elle est appelée à la chaire de la construction métallique et en bois de l'Université de Stuttgart. Elle y dirige l'Institut pour la construction et l'étude du projet 1, qui s'occupe principalement de recherches dans le domaine des constructions mixtes, des ponts, de la capacité de rotation et de la stabilité.
La récipiendaire est membre de la Commission de travail 2 de l'AIPC « Constructions métalliques, en bois et mixtes » depuis 1989 et en est l'actuelle vice-présidente. Elle est également la correspondante pour l'Allemagne de *Structural Engineering International, la* revue de l'AIPC.
Le Prix AIPC est attribué chaque année à un membre AIPC de moins de 40 ans, en reconnaissance de contributions particulières dans le domaine des structures du génie civil.

[2] Voir *IAS* N° 26 du 4 décembre 1996 : « Traversée des détroits : Øresund »

R&D Carbon, une PME qui vit du charbon

Par Françoise Kaestli, rédactrice

L'entreprise R&D Carbon Ltd *s'est forgé une réputation internationale en offrant ses services aux producteurs d'aluminium, sur un élément apparemment secondaire de la production: l'anode de charbon. Douze années après son démarrage, cette PME sierroise est devenue leader mondial du test d'anodes et du contrôle de fabrication de ces dernières, avec plus de 50% du marché. Elle développe en permanence sa gamme de prestations à laquelle s'ajoutent le conseil et l'ingénierie de systèmes de production d'anodes complets, une façon de garder une avance importante sur la concurrence et d'élargir sa niche de marché.*

Fig. 1. – Installations de mesure de la réactivité des anodes au CO_2. Les carottes sont chauffées puis refroidies et leur perte de poids est précisément enregistrée.

Le développement de R&D Carbon

En pénétrant dans la halle de production de *R&D Carbon*, l'œil du visiteur est attiré par d'énormes blocs noirs rongés ou brisés, à l'allure presque artistique, gisant à l'entrée: des anodes de charbon n'ayant pas supporté les conditions extrêmes de l'électrolyse. Plus de deux cent mille échantillons ont ainsi été testés depuis la création de l'entreprise. Les raisons d'une usure ou d'une rupture prématurées de l'anode sont analysées par la PME sierroise: matière première de qualité insuffisante, cuisson inadaptée, etc. Un important effort de recherche, couronné par des reconnaissances et des prix internationaux, est consenti, afin de toujours mieux comprendre le comportement des anodes, soit les corrélations entre matière première, conditions de cuisson et fonctionnement de ces blocs de charbon calciné. De nombreuses collaborations existent également avec des instituts de recherche et de formation.

Fondateur de l'entreprise, Werner Fischer a installé sa propre installation pilote pour la production d'anodes. Pour comprendre plus finement le comportement de la matière, il a élaboré, au fil des années, une batterie d'instruments de mesure et de tests, simples et précis, applicables aussi bien dans les raffineries que chez les producteurs d'aluminium. La société fait figure de pionnier dans le domaine et a établi des références de qualité reconnues par l'ISO (organisation internationale de normalisation). Plus de cinquante types

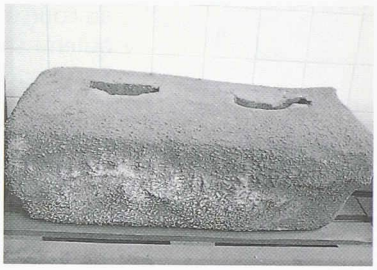


Fig. 2. – Anode endommagée par une combustion au CO_2

d'instruments ont été développés et vendus, pour des analyses chimiques, des tests de dureté, de densité ou de résistivité, ou pour la mesure de réactivité aux gaz oxydants notamment. Ils sont utilisés pour l'évaluation de l'anode, de la cathode et d'autres produits dérivés du charbon, ainsi que pour les produits servant de matière première, le coke cru et le liant. *R&D Carbon* offre ses services dans ses locaux, ou chez le client pour le test d'une installation en fonctionnement. En effet, un mini-laboratoire, adapté à la taille d'un container, a été développé; il peut être déplacé aux quatre coins du monde.

Le souci d'obtenir une meilleure qualité du produit final, des processus à la fois moins coûteux (à l'investissement comme à l'exploitation) et plus respectueux de l'environnement, a poussé la PME à s'intéresser toujours davantage à tout le cycle de production de l'anode. Ainsi, *R&D Carbon* propose un nouveau concept pour la préparation des matières premières, le coke calciné et le liant, de même que pour la fabrication de l'anode, sa mise en forme et

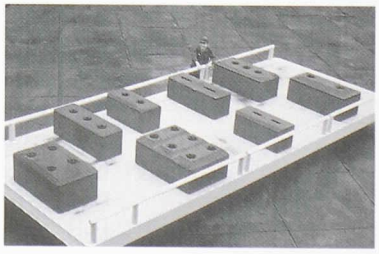


Fig. 3. – Anodes de différentes tailles: le poids des éléments visibles sur ce cliché va de 450 kg à 1,25 t

sa cuisson. Une attention particulière est portée à cette dernière partie du processus, du fait de son influence sur la qualité finale et de sa consommation en énergie. Ainsi *R&D Carbon* a conçu un four pour la cuisson de l'anode et un système de contrôle intégré pour le réglage des brûleurs; le processus est protégé par plusieurs brevets. Les systèmes développés garantissent une faible consommation d'énergie, une efficacité de la cuisson grâce au réglage du débit des brûleurs et au contrôle de pression dans les cheminées et une plus grande longévité des fours; ils optimisent le brûlage des gaz volatils présents dans le liant diminuant ainsi la pollution. Le résultat est probant: la consommation en anodes est réduite de 20 %.

Grâce à des outils de conception et de simulation, la totalité d'une ligne de production d'anodes peut également être dessinée pour le client, qui dispose ainsi d'un service global. Une période de formation accompagne toutes les mises en place de nouveaux procédés. Quelque mille cinq cents personnes sont ainsi accueillies dans les locaux de *R&D Carbon*, ce qui amène un nombre important de nuitées dans la région.

C'est en intégrant plusieurs métiers: la mécanique, la connaissance des matériaux et la compréhension des phénomènes électrolytiques, que les collaborateurs de *R&D Carbon* ont pu établir le dialogue avec les raffineurs de pétrole, fournisseurs de coke, les producteurs d'anodes et les producteurs d'aluminium (par électrolyse). De là, ont pu être développés des normes de qualité et des appareils de mesure à usage universel.

La société existe depuis une dizaine d'années. En 1986, Werner Fischer, alors responsable de la recherche et du développement chez *Alusuisse*, décidait de créer sa propre entreprise pour pallier une restructuration de la société. Avec dix de ses collaborateurs, il mettait sa longue expérience de la production d'anodes aux services de tous les fabricants d'aluminium. Actuellement, *R&D Carbon* occupe vingt-trois personnes. Ses principaux atouts sont un portefeuille de clients bien développé, la masse de connaissances accumulée depuis de nombreuses années sur le comportement des anodes et le dynamisme d'une équipe de collaborateurs motivés. En outre, en offrant une expertise toujours plus large, son succès à long terme devrait être assuré.

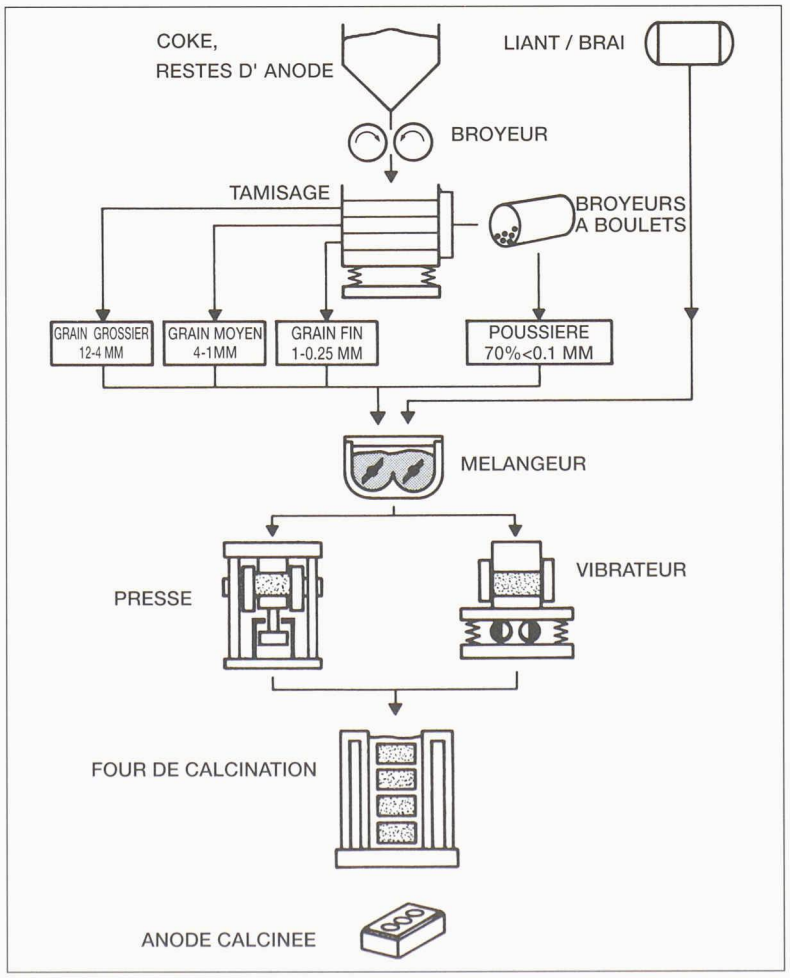


Fig. 4. – Représentation schématique des étapes de production d'une anode

De l'aluminium au charbon, les étapes de la production

Lorsque l'on parle production d'aluminium, on pense avant tout à de grandes installations situées près de sources d'énergie avantageuses. On ne sait pas toujours que le charbon joue encore un rôle important dans le processus d'électrolyse à partir duquel s'obtient l'aluminium (électrolyse de l'oxyde d'aluminium, lui-même extrait de la bauxite). Pour produire vingt millions de tonnes d'aluminium, production annuelle mondiale, dix millions de tonnes d'anodes de charbon sont nécessaires. Celles-ci sont situées au cœur de grandes cuves électrolytiques servant à la séparation de l'oxyde d'aluminium. C'est sur cet élément, qui constitue une part faible du prix de revient de l'aluminium, (environ 7 % – contre 20 % pour l'énergie utilisée, 16 % pour la main-d'œuvre, 26 % pour la matière première et 31 % pour le capital investi dans les équipements) et dont certains producteurs se désintéressent, que *R&D*

Fig. 5. – Four de calcination d'anodes: les systèmes de combustion (au premier plan) et de refroidissement se déplacent le long des traverses. Un cycle complet de cuisson et refroidissement dure deux semaines.

Carbon Ltd a bâti son développement.

De la qualité de l'anode découlent sa résistance aux chocs thermiques et aux manipulations, sa durabilité, la consommation énergétique du processus et son impact sur l'environnement: à savoir la quantité de gaz émis et les possibilités d'élimination des résidus.

Quatre étapes principales sont à la base de la fabrication de l'anode. Les agrégats sont tout d'abord préparés sous forme sèche avec du coke de pétrole et des résidus d'anodes broyés à la granulométrie souhaitée. Une anode crue se compose de 55 à 65 % de coke de pétrole calciné, de 20 à 30 % de résidus d'anodes et d'environ 15 % de liants. La qualité et l'homogénéité de la matière première sont soigneusement contrôlées d'autant plus que ces dernières années, suite à une croissance de la demande, l'approvisionnement en coke se fait à partir de plusieurs sites. Cela nécessite de développer de nouveaux processus capables de s'adapter à ces différences de qualité et d'en corriger les influences.

L'agrégat sec est ensuite mélangé avec le liant (brai de houille provenant de la distillation des goudrons), dont la qualité est aussi de première importance. L'anode crue est alors façonnée, par compactage ou vibration, puis cuite dans un four spécial (fig. 5). Cette partie du processus est coûteuse et délicate. De la matière première, de la forme des fours, du contrôle de la flamme, des réglages de température dépendra la qualité du produit final. La vitesse de chauffage et la température maximale de cuisson sont deux paramètres critiques. Les gradients de température ne doivent pas excéder 12°C/h, dans la première partie du cycle, faute de quoi la résistance électrique en pâtirait. Trop basse, la température maximale favorise la formation d'une anode qui réagit avec l'air et le CO_2, lors de l'électrolyse; trop haute, on risque une combustion à l'air. La température maximale idéale se situe entre 1050 et 1200°C. Le cycle complet de chauffage et refroidissement dure deux semaines. Les paramètres d'optimisation sont donnés en fonction du four et de l'anode crue. Ils sont réévalués à chaque changement de matière. Bien sûr, les conditions de cuisson sont pilotées par un système de contrôle informatisé extrêmement puissant, assisté par des capteurs qui suivent, de façon séparée, l'évolution de chaque brûleur et les flux de chaleur.

Le but des ces opérations est d'obtenir une anode de bonne qualité avec une haute résistance aux attaques par le CO_2 et l'air, une basse résistance électrique, une conductivité thermique modérée, afin de diminuer les risques de combustion à l'air, et de faibles variations de toutes ces propriétés sur le volume de l'anode.

La capacité des usines d'électrolyse augmentant progressivement (courant plus fort, cuves plus grandes), une anode peut atteindre des dimensions de 1,5 m de base sur 0,60 m de hauteur, et pèse plus de 1500 kg. Chez les fabricants d'anodes, l'évolution est nette: les nouvelles installations pilotées par ordinateur permettent des performances accrues et les dernières générations de four garantissent une meilleure qualité d'anodes, ainsi qu'une cuisson plus homogène grâce une maîtrise des flux de chaleur. Ces nouvelles installations ont de plus l'avantage de diminuer le niveau des investissements et les coûts d'exploitation (consommation d'énergie et entretien moindres).

Quant à savoir si ses améliorations suffiront à préserver, pour le prochain millénaire, des usines d'électrolyse en Europe, cela semble bien incertain.

Références

« Anodes for the Aluminium Industry », *R&D Carbon Ltd*, Sierre, 1995

« Schweizer Know-how für die Aluminiumindustrie in aller Welt », *Industrade features*, Wallisellen, 2/1991