

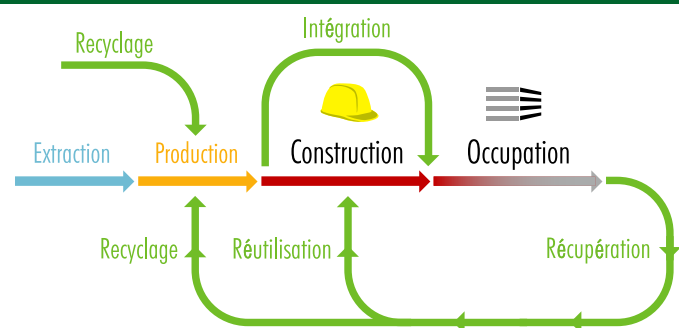
STRATÉGIES DE RÉCUPÉRATION POUR UN RETOUR AU BERCEAU

par Sylvie Boulanger et
David MacKinnon

Sept questions et réponses pour votre prochain projet

Après l'extraction du minerai et sa première production, l'acier connaît plusieurs cycles de vie grâce à des stratégies de récupération en boucle ouverte (Figure 1). L'acier contribuera ensuite à la durabilité du projet de façon optimale lorsque son ossature sera intégrée aux autres systèmes dès la phase préliminaire de conception ce qui aura un impact direct sur la construction, l'occupation et l'entretien du bâtiment. En fin de vie, plusieurs stratégies de récupération sont alors possibles: la réutilisation des pièces du bâtiment dans un autre projet, la réutilisation de l'ossature en vue d'une autre occupation (ce qui peut inclure une amélioration structurale), ou le démantèlement et la réutilisation de la charpente dans un autre lieu. Les stratégies de récupération de l'acier comprennent également le recyclage des produits de construction en acier, qui, combinés à d'autres produits d'acier post-consommateur deviennent d'autres éléments d'acier. Idéalement, on considérera les stratégies de récupération non seulement en fin de vie d'un bâtiment, comme on le fait couramment, mais dès la phase préliminaire de conception intégrée. La réutilisation d'une charpente existante et le recyclage des produits d'acier prolongent la vie d'un bâtiment et des matériaux grâce à des cycles de récupération multiples, respectant ainsi le concept du berceau au berceau ("from cradle to cradle" – voir Les Conseils de Dre Sylvie).

Figure 1 – Les multiples cycles de vie de l'acier de charpente.



L'atout indéniable dont dispose l'acier face aux exigences du développement durable dans le domaine de la construction est l'objet de cet article. L'atout unique de l'acier en tant que matériau le plus anti-gaspi de la construction sera examiné par le biais de sept questions (et réponses) sur la réutilisation et le recyclage, trois études de cas et quelques remarques sur l'avenir.

1. Où peut-on trouver de l'acier usagé?

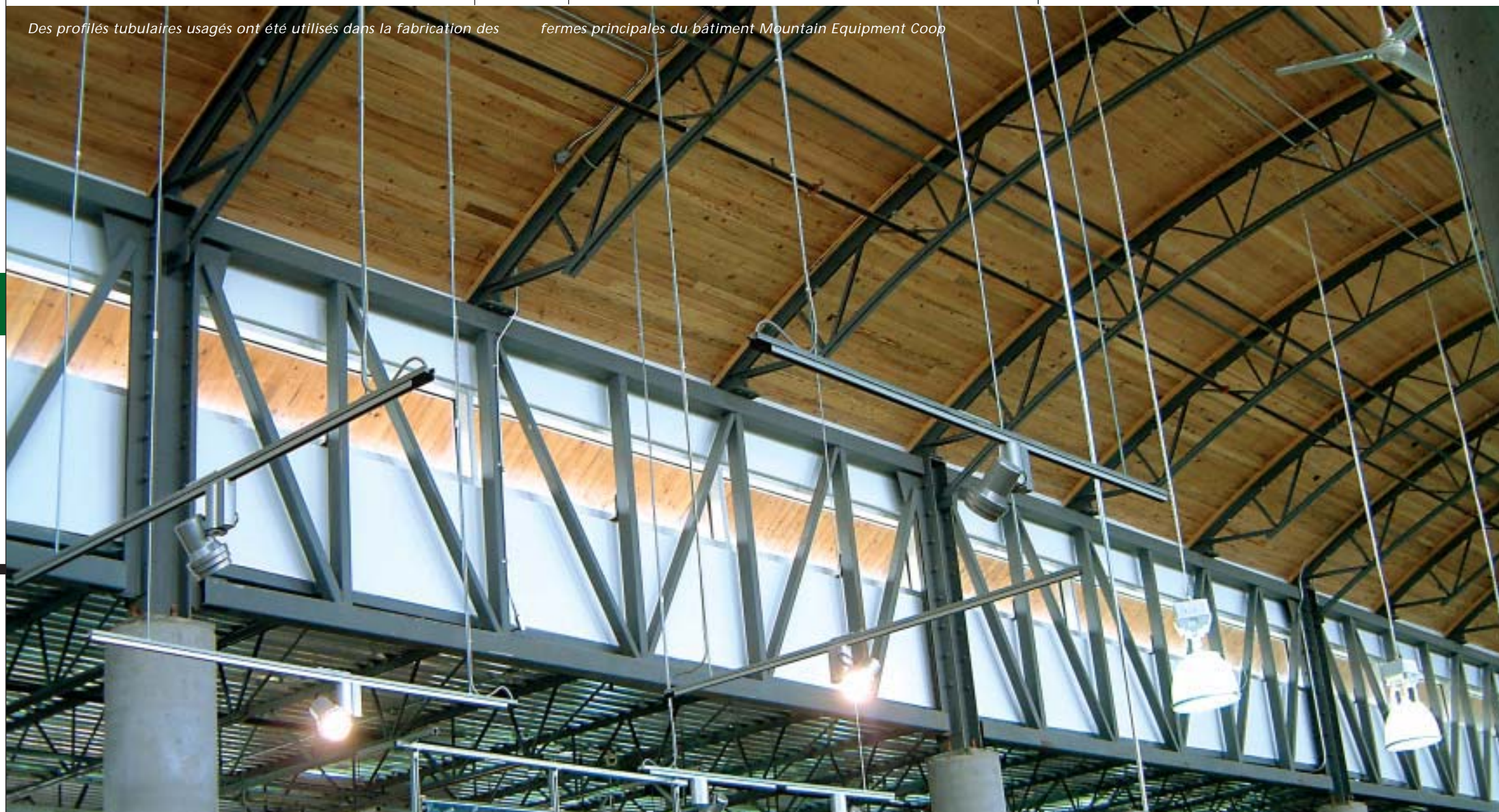
On peut se procurer de l'acier usagé à un centre de distribution d'acier, dans la cour d'un fabricant ou sur un chantier de démolition en cours ou en voie de l'être. Certains centres de distribution d'acier entreposent maintenant de l'acier usagé, pouvant représenter 10% de leur inventaire. L'acier usagé comprend principalement des profilés de type W, des cornières, des profilés tubulaires, et parfois des poutrelles. Toutefois, on ne peut s'attendre à ce qu'un centre de distribution puisse livrer 10 poutres en I identiques de longueur et de résistance spécifiques le jour suivant notre appel.

Même si l'on recherche principalement l'acier usagé en raison de son coût (environ la moitié du coût de l'acier neuf), la possibilité de gagner des points LEED^{MC} est une option prometteuse. À l'heure actuelle, cette option semble mieux adaptée aux projets de petite à moyenne envergure. Si l'on s'y prend d'avance, il est possible de trouver certaines pièces (surtout des poutres) en consultant les ingénieurs en structure qui peuvent puiser dans leur base de projets et entrer en contact avec des compagnies de démolition (voir Case 1).

Où peut-on trouver des poutrelles? Probablement par le biais d'une équipe de démolition avant le début des travaux. À ce moment, il faut s'assurer que les poutrelles seront manipulées avec soin. On suggère de trouver d'abord les

poutrelles usagées, puis de finaliser l'agencement en fonction des longueurs disponibles et non vice-versa, soit une leçon tirée du projet du Mountain Equipment Coop à Montréal. Toutefois, les ingénieurs de Saia Deslauriers Kadanoff ont réussi à intégrer des profilés tubulaires réutilisés lors de la fabrication des fermes principales et de la sculpture d'escalade. Les profilés étaient de plus grande dimension que ce qui était requis – souvent le cas lorsqu'on réutilise de l'acier – et par conséquent aucun test n'a été effectué car la valeur minimale permise était suffisante. On peut également s'informer des produits disponibles auprès du fabricant du projet, assurément un autre membre potentiel du processus de conception intégrée.

Des profilés tubulaires usagés ont été utilisés dans la fabrication des fermes principales du bâtiment Mountain Equipment Coop



2. Comment vérifier la qualité de l'acier réutilisé?

Le certificat d'essai de laminage ou les résultats d'essais sur éprouvette indiquent la qualité de l'acier réutilisé. Tout acier produit aujourd'hui est accompagné d'un "certificat d'essai de laminage". Le certificat d'essai de laminage, émis par l'aciérie, fournit des renseignements importants sur les propriétés chimiques et physiques de l'acier. Les essais ne sont pas exigés dans le cas où le certificat d'essai de laminage existe, même s'il date de plusieurs décennies, pourvu qu'il satisfasse les normes actuelles. Il est donc sage de conserver ces certificats pour l'avenir. On peut également adopter l'approche de l'article 5.2.2 de la norme CSA S16-01, qui stipule que la limite élastique utilisée pour calculer la résistance d'un acier non identifié ne doit pas dépasser 210 MPa.

Toutefois, on doit effectuer des essais si l'on recherche l'un ou l'autre des critères suivants, ou les deux: la soudabilité et la résistance. La soudabilité détermine si on peut relier des éléments d'acier par soudage. S'il n'est pas possible de souder, on peut toujours remplacer le soudage par le boulonnage. Pour bénéficier de la pleine résistance de l'acier, on obtiendra la limite élastique, F_y , et la résistance ultime en traction, F_u , de l'acier. Si la soudabilité est le seul critère à connaître, on peut effectuer uniquement l'essai chimique. Dans ce cas, un petit échantillon d'acier suffit. Toutefois, si on doit connaître les propriétés physiques, on doit recueillir un ou plusieurs échantillons d'essai appelés "éprouvettes" (voir ci-dessous).

Il importe de noter que le contenu recyclé de l'acier réutilisé ne peut être déterminé par essai. Des traces d'impuretés peuvent donner quelques indications mais ne constituent pas une mesure fiable. Grâce à l'homogénéité de l'acier, l'information tirée d'un essai sur éprouvette fournit des résultats aussi fiables que les normes dont ils dépendent.

3. Comment doit-on procéder pour faire des essais? Est-ce coûteux?

On coupe un échantillon, ou éprouvette, d'environ 300 mm de longueur et de 50 à 75 mm de largeur, située dans une zone neutre. Une zone neutre est un endroit peu visible où les contraintes ne sont pas trop élevées. La décision de prélever une, quatre ou douze éprouvettes sur les éléments d'acier (normalement les ailes) dépend du taux de confiance qu'a l'ingénieur dans le matériau et des différentes origines de l'acier.

Généralement, un essai typique coûte moins de 500 \$ si l'éprouvette est livrée à la compagnie d'essai, et coûte jusqu'à 1000 \$ si la compagnie d'essai doit prélever l'éprouvette au chantier. Une palette typique comprend un essai chimique et un essai mécanique. L'essai chimique



Déboulonnage des poutres mixtes du ROM (Musée royal de l'Ontario)

Case 1 - Du Musée royal de l'Ontario en route pour le Centre étudiant de l'Université de Toronto à Scarborough

(Date de l'acier réutilisé: les années 1970)
En 2003, les étudiants de l'Université de Toronto (également membres du comité de la construction) ont demandé à Dunlop Architects de leur construire un Centre étudiant digne d'une approche écologique. En effet, les étudiants ne pouvaient s'imaginer que cela ne s'applique pas à tous les bâtiments en construction aujourd'hui. Pour commencer, Dunlop Architects et Halsall Engineers ont eu l'idée de récupérer des matériaux d'ailleurs, notamment du bâtiment ROM (Musée royal de l'Ontario). Comme par hasard, Halsall Engineers travaillaient à ce moment même sur la démolition d'une partie de ce bâtiment. Puisque Halsall était responsable de la première partie du ROM à la fin des années 1970, ils avaient toutes les archives nécessaires pour documenter et évaluer la qualité de l'acier qu'ils comptaient réutiliser – donc aucun essai n'a été requis. En fait, l'aspect administratif s'est avéré presque plus

Le 2^e vie des poutres du ROM au Centre étudiant de l'Université de Toronto



lourd à gérer que le côté technique: l'architecte a eu de la peine à identifier les administrateurs en règle pour permettre au ROM de faire ce don particulier à l'Université de Toronto. En tout, les poutres réutilisées représentent 18 tonnes d'acier.

indique la teneur en carbone, en fer et en silicium, résultant en une teneur de "carbone équivalent" servant à évaluer la soudabilité de l'acier. L'essai mécanique habituel consiste en un essai de traction servant à déterminer les caractéristiques de contrainte-déformation, par ex., la limite élastique, la résistance ultime en traction et l'allongement (voir l'article 5.2.3 de CSA S16-01 et le Commentaire de l'ICCA pour de plus amples renseignements).

4. Quand peut-on réutiliser une charpente d'acier in situ?

Cela dépend de l'état de l'acier, de l'âge de la charpente, de l'information disponible des archives et des modifications prévues; et si l'on prévoit réhabiliter la structure tel quel, si elle fait l'objet d'une réfection sismique ou si on doit souder. Les données précisant le lieu et la date de production de l'acier de même que la norme en vigueur au moment de la construction aident l'ingénieur à évaluer la charpente. Un récent exemple du dépouillement complet d'une charpente d'acier et de la transformation totale de l'enveloppe du bâtiment est le cas du concessionnaire de voitures BMW à Toronto.

Il est intéressant de noter que l'industrie de l'acier a réalisé de grands progrès technologiques à partir du début du 20^e siècle. Déjà dans les années 1910, l'acier était un matériau relativement homogène et fiable; c'est pourquoi l'acier de cette époque peut encore être utilisé aujourd'hui (voir Case 2).

Par contre, le béton s'est seulement amélioré après les années 1950, et il y a donc moins de bâtiments et de ponts en béton précédant cette période qui peuvent être réutilisés ou remis à neuf.

La compagnie d'essai X-per-X affirme qu'elle reçoit régulièrement des éprouvettes prélevées d'anciens bâtiments en acier, et déclarent rarement un matériau comme étant inutilisable. Pour les aciers précédant les années 1950, le souci demeure la soudabilité de l'acier; car à cette époque, les aciers avaient une teneur en carbone plus élevée. Dans certains cas, il faut adapter les méthodes de soudage.

X-per-X et les ingénieurs de Pasquin, St-Jean et Associés (voir Case 2) ont identifié une tendance parmi les ingénieurs de cette époque qui était de concevoir des poteaux et des poutres de format "adulte", c'est-à-dire des profilés plus massifs qui créent une réserve de capacité comparativement aux conceptions plus légères d'aujourd'hui. Cela tient probablement aussi au fait que les charges admissibles étaient plus élevées. En fait, la chasse aux dimensions est souvent un facteur plus perturbateur pour l'ingénieur. Heureusement, on réutilise couramment l'acier depuis le début du siècle et un guide publié par l'AISC indique les dimensions, les limites élastiques et d'autres renseignements utiles pour fin de réhabilitation. Les aciers produits après les années 1950 posent

généralement peu de problèmes, à l'exception de la limite élastique qui peut être plus faible que les aciers actuels. Mais peu importe leur teneur en carbone, les aciers produits après 1910 peuvent tout au moins être recyclés.

5. Est-il possible de démanteler et récupérer toute une charpente d'acier?

Les charpentes se prêtent bien au démantèlement et au déplacement, car elles sont pour la plupart boulonnées. En effet, le soudage est effectué dans l'atelier du fabricant, et les ensembles de pièces soudées sont ensuite livrés au chantier et boulonnés. À part le type de connecteur, on devra tenir compte des éléments de contreventement, de la portée des poutres, des détails des épissures de poteaux, et de la liaison mixte ou non entre la dalle et la poutre. En principe, si on prévoit relocaliser la charpente, il est préférable d'utiliser des assemblages boulonnés et d'éviter l'utilisation de planchers mixtes. Le démantèlement et le montage au nouveau site seront généralement effectués par le monteur spécialisé plutôt que par l'équipe de démolition. Cette pratique est en évolution, avec ses propres normes en voie de développement par la CSA. Bien qu'en général on ne conçoit pas les charpentes en vue de leur déconstruction, il arrive souvent qu'on les déplace. Dans les années 1990, une école en Colombie-Britannique a été entièrement déménagée 1000 km (voir Case 3). Dans notre décennie actuelle, plusieurs petits bâtiments industriels ont été démantelés dans les Maritimes et relocalisés en vue d'un nouvel usage. Et si vous êtes de passage à Moscou, n'oubliez pas de visiter le pavillon russe de l'Expo 67 de Montréal!

6. Comment l'acier est-il récupéré par les équipes de démolition?

Deux méthodes sont disponibles: l'acier peut être coupé en pièces pour le recyclage, ou démantelé pour la réutilisation. L'entreprise Murray Demolition a comme politique de récupérer toutes les pièces d'acier. Selon Murray Demolition, il existe deux méthodes pour extraire les pièces d'acier qui seront réutilisées: le déboulonnage ou le cisaillement. Dans le cas du bâtiment du ROM (voir Case 1), les poutres à réutiliser ont été déboulonnées. Étant donné le plancher mixte (muni de goujons de cisaillement soudés sur l'aile supérieure des poutres d'acier et noyés dans la dalle de béton), on a dû effectuer un nettoyage supplémentaire. Les poutres de 38 pi. du bâtiment du ROM ont été raccourcies à 32 pi. par le fabricant et réutilisées dans le Centre étudiant de l'Université de Toronto à Scarborough. Le cisaillement des pièces près des assemblages ou appuis se réalise à l'aide de ciseaux métalliques géants, ce qui introduit des contraintes résiduelles. Par conséquent, les pièces sont encore



Mariage réussi entre le nouveau et l'ancien

Photo: Stephan Poulin

Case 2 - Le bâtiment Eaton de Montréal devient le Complexe les Ailes

(Date de l'acier réutilisé: des années 1920 à 1950)
En 2002, Lemay & Associés ont repensé le bâtiment Eaton à Montréal pour en faire de lui le nouveau et très élégant Complexe les Ailes. Même si une partie du bâtiment a dû être évidée pour créer un espace ovoïde, presque toute la charpente métallique existante a pu être réutilisée. La plupart des pièces d'acier, produite, fabriquée et érigée sur un intervalle de plusieurs décennies, a pu être réutilisée. C'est à cette conclusion qu'en est arrivée la firme Pasquin St-Jean & Associés, qui a prélevé plusieurs éprouvettes pour obtenir la limite élastique et la teneur en carbone de l'acier. Il s'avère que la

faible valeur de la limite élastique typique de cette époque était satisfaisante encore aujourd'hui car la plupart des pièces construites étaient de taille "adulte"; cette matière "supplémentaire" a largement suffi pour combler cette plus faible résistance. Même si l'acier avait une teneur en carbone plus élevée que ce que l'on rencontre aujourd'hui, il a été possible de souder sur la charpente existante. Toutefois, des poutrelles ont été ajoutées à un toit, à cause de sa nouvelle vocation de plancher! En ce qui a trait au reste du bâtiment, une grande partie de la complexité a pu être attribuée aux problèmes d'interfaces entre les différentes parties du bâtiment et des géométries complexes atypiques. L'équipe explique qu'elle aurait profité d'une palette d'essais et d'auscultation plus étoffée, et plus tôt dans ce projet à calendrier accéléré.

raccourcies de 2 ou 3 pi. dans l'atelier de fabrication au moyen d'outils plus sophistiqués, et de nouveaux assemblages sont posés. Un tel raccourcissement signifie que les poutres réutilisées seront généralement plus profondes (et donc plus résistantes) que ce qui est demandé.

Les équipes de démolition constatent que le comportement des bâtiments en acier est plus prévisible qu'un bâtiment semblable en béton, dont le comportement lors de la démolition est étroitement lié à l'état des barres d'armatures exposées. Si l'on compare un bâtiment en acier de 3 millions de pi. ca. à un bâtiment de mêmes dimensions en béton, celui en acier coûtera 0\$ / pi. ca. à démolir alors que celui en béton en coûtera 2\$ à 3\$ / pi. ca. La différence s'explique facilement: l'acier est récupérable en grande partie et génère donc un revenu, alors que l'élimination du béton entraîne surtout des coûts.

7. Est-il facile de récupérer l'acier pour le recyclage?

Bien que la réponse dépende du site particulier, l'ossature exposée d'une charpente d'acier favorise la récupération. Dans un cas exceptionnel comme celui des tours jumelées du World Trade Centre, on a récupéré 95% des poutres et plaques d'acier, et 50% des barres d'armature. Ces chiffres correspondent aux taux de recyclage estimés de ces matériaux respectifs, selon le Steel Recycling Institute. Quant au recyclage des automobiles, le déchetage peut les tailler en pièces en 45 secondes, c'est-à-dire 80 à 100 automobiles par heure! En 2001, 14,5 millions d'automobiles ont alimenté le cycle de recyclage aux États-Unis. À l'heure actuelle, les carrosseries d'automobiles sont recyclées à un taux de 96%. Les rebuts ferreux proviennent non seulement du secteur automobile, mais également des chantiers de démolition et du secteur industriel. Des entreprises telles que la SNF (Société nationale de ferrailles) se spécialise dans le recyclage de l'acier en employant des grues électromagnétiques et des cisailles en guillotine pour trier, déchetage, cisailier, écraser et réduire les métaux en morceaux. La récupération de l'acier se complique lorsque le site est contaminé ou lorsque d'autres matériaux sont fixés aux pièces d'acier (voir Case 1). En effet, il faudra plus d'énergie (et de temps) pour séparer les matériaux. Par exemple, la récupération des barres d'armature est environ deux fois plus coûteuse que pour les poutres d'acier.

L'AVENIR

L'avenir de l'acier est plutôt vert, voire très vert, autant en termes de réutilisation que de recyclage. Toutefois, il en demeure qu'un certain travail doit encore être fait pour faciliter l'échange d'information et pour répertorier des sites



L'école de Cassiar déménage pièce par pièce à Coquitlam

Case 3 – L'école de Cassiar en Colombie-Britannique prend racine 1000 Km plus loin à l'école Roy Stibbs

(Date de l'acier réutilisé: les années 1990)

Lorsque la ville minière de Cassiar a fermé ses portes en 1992, la structure d'acier de l'école secondaire a été abandonnée après seulement une année de service. L'école, située au nord de la Colombie-Britannique, a failli être mise aux oubliettes jusqu'à ce qu'un feu détruise l'école primaire de Roy Stibbs à Coquitlam. Le remplacement de cette école avant l'automne 1994 était tellement urgent qu'ils ont décidé de démanteler et réutiliser l'école de Cassiar située à 1000 Km de distance. Environ 75% de la charpente d'acier a été transportée pièce par pièce. Chaque pièce était identifiée selon la marque indiquée aux dessins d'atelier. Les conditions sismiques plus élevées et un aménagement différent de l'espace nécessaire au fonctionnement d'une école primaire plutôt que secondaire sont des critères qui ont posé défi à la firme Bush, Bohlman & Partners. Les contreventements ont dû être adaptés en conséquence. Avant le montage de la charpente sur le nouveau site, la charpente d'acier a été inspectée par des spécialistes indépendants, pour identifier tout dommage causé par le démantèlement ou le transport. Cette réutilisation unique d'un bâtiment existant vers un nouveau site a non seulement contribué à une approche plus écologique, mais également plus économique et plus rapide.

potentiels de réutilisation, ainsi que pour cataloguer les pièces usagées disponibles sur le marché. À l'heure actuelle, chaque recherche demande un effort unique et individuel. Nous imaginons que dans un avenir non lointain, les ingénieurs en structure avec l'appui des compagnies de démolition et des fabricants, pourraient contribuer au développement d'une liste de matériaux disponibles aux diverses communautés de la construction. Certains centres de distribution pourraient se spécialiser et entreposer exclusivement des produits d'acier usagés qui sont déjà testés et classés, et dont les dimensions sont connues. Pour évoluer dans cette direction, l'Institut canadien de la construction en acier, Ressources Naturelles Canada, ainsi

que des partenaires académiques et industriels envisagent de collaborer prochainement pour obtenir un portrait plus détaillé du flux des matériaux (Figure 1). En particulier, il sera intéressant de connaître le taux de réutilisation actuel de l'acier, les obstacles inhibant sa réutilisation, et les améliorations à apporter aux méthodes de communication pour favoriser le processus de réutilisation.

Les acteurs de l'industrie du recyclage de l'acier font partie d'une tradition légendaire qui ne peut que continuer. Même si certaines informations doivent se faire plus visibles, il en va de soi que les améliorations se multiplieront étant donné les nombreux avantages écologiques (et économiques) offerts par le recyclage; stratégie de récupération qui fait partie d'une boucle ouverte du cycle de vie de l'acier de charpente. En attendant tous ces développements, il ressort qu'une bonne pratique actuelle est d'impliquer les ingénieurs et les fabricants tôt dans le processus d'un concept vert qui a recours à l'acier. En effet, ces acteurs sont bien placés pour repérer des chantiers de démolition ou d'autres projets (répertoriés et identifiés pour la réutilisation). Toutes ces démarches pointent vers un concept intégré, des points LEED™, des résultats de récupération efficaces et par conséquent des bâtiments verts performants. Les stratégies de récupération de l'acier permettront sans aucun doute d'éviter le tombeau, et de retourner au berceau pour un autre cycle de vie.

Les auteurs tiennent à remercier les personnes suivantes pour leurs remarques et leur contribution: Sylvain Boulanger, Boldwing Continuum, François Deslauriers, Saia Deslauriers Kadanoff Leconte Brisebois Blais & Associés, Pierre Larouche, Lemay & Associés, Normand Leboeuf, Pasquin, St-Jean et Associés, Stephen Phillips, Dunlop Architects, Michael Jelacic et Shahé Sagharian, Halsall & Associates, Harry Virdee, Mirage Steel, Kareem El Khatib, Murray Demolition, Simon Pesant, S.N.F. Société nationale de ferrailles, Ken de Souza, Dofasco, Yvan Hubert, X-Per-X.

Sylvie Boulanger et David MacKinnon sont de l'Institut canadien de la construction en acier.

Des parties de cet article ont été publiées dans les numéros de janvier et de mars 2004 de Canadian Architect, sous les titres de "Sustainability and Steel I: Integration" et de "Sustainability and Steel II: Recovery". Ces articles ont été écrits par Sylvie Boulanger et Sylvain Boulanger.