

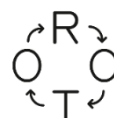
LE BATI
BRUXELLOIS
SOURCE DE
NOUVEAUX
MATERIAUX

Fiche produit-application : éléments de structures en acier destinés à être réemployés dans des applications structurales

Mai 2021



La Région et l'Europe investissent dans votre avenir !
Het Gewest en Europa investeren in uw toekomst!





LE BATI
BRUXELLOIS
SOURCE DE
NOUVEAUX
MATERIAUX

Auteurs :

Florence Poncelet (CSTC)

Jeroen Vrijders (CSTC)

Contact :

Florence Poncelet (CSTC)

florence.poncelet@bbri.be

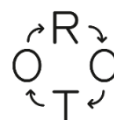
Nous tenons à remercier nos partenaires de recherche notamment Sophie Trachte (UCL), Émilie Gobbo, Waldo Galle (VUB), Niels de Temmerman (VUB), Michaël Ghyoot (Rotor), ainsi que les partenaires supports de ce projet : Bruxelles Environnement, le CDR-Construction, Batigroupe et Les Petits Riens, CCBC et Innoviris.

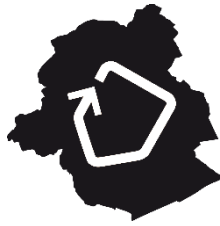
Nous remercions également Audrey Skowron (CSTC) pour les discussions enrichissantes.

Cette recherche a bénéficié du support financier du Fonds européen de développement régional (Feder), et de celui de la Région de Bruxelles-Capitale pour le projet de recherche *Le Bâti Bruxellois : Source de nouveaux Matériaux (BBSM)*.

Illustration page de garde : Rotor asbl/vzw

La Région et l'Europe investissent dans votre avenir !
Het Gewest en Europa investeren in uw toekomst!





LE BATI
BRUXELLOIS
SOURCE DE
NOUVEAUX
MATERIAUX

Avertissement

Cette fiche est destinée à être lue en complément du document « Cadre technique des matériaux de réemploi : Comment justifier les performances techniques des matériaux de réemploi ? ».

La procédure, ainsi que les méthodes d'évaluation des performances qui sont décrites décrite dans ce document et dans cette fiche, n'ont pas été validées par le secteur et sont à considérer comme des pistes d'exploration. Ces documents sont le résultat d'un programme de recherche, et n'ont pas le statut d'un document officiel du CSTC.

Cette fiche se base également sur le protocole développé par le SCI (Steel Construction Institute) dans le document *Structural Steel Reuse, Assessment, testing and design Principles*. Elle vise à comparer ce protocole à la procédure BBSM et n'entend pas se substituer à ce protocole, qui doit être consulté pour toute information supplémentaire.

La Région et l'Europe investissent dans votre avenir !
Het Gewest en Europa investeren in uw toekomst!

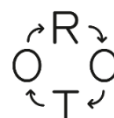


Table des matières

Introduction	5
Procédure de justification des performances techniques des éléments de structure en acier de réemploi	7
1. Identification des exigences relatives à l'application visée	7
1.1. Détermination de l'application visée	7
1.2. Identification des exigences	8
2. Analyse de l'état et de l'historique du produit	12
2.1. Identification du gisement	12
2.2. Analyse de l'état et de l'historique du gisement	13
3. Détermination des méthodes d'évaluation nécessaires	15
3.1. Confrontation des informations et définition du niveau de confiance nécessaire	15
3.2. Planification du processus d'évaluation	17
3.3. Stratégies pour augmenter le niveau de confiance	17
4. Evaluation des performances techniques	18
4.1. Contrôle de la chaîne	18
4.2. Méthodes d'évaluation des performances	19
Bibliographie	22

Introduction

Cette fiche vise à appliquer la procédure de justification des performances techniques des matériaux de réemploi développée dans le cadre du projet BBSM (Bati Bruxellois Source de nouveau Matériaux) au cas des structures métalliques, pour des applications visées structurelles dans lesquelles les structures sont non sujettes à la fatigue.

Ce document se base sur le protocole développé par le SCI (Steel Construction Institute) dans le document *Structural Steel Reuse, Assessment, testing and design Principles*¹. Ce protocole propose un système d'investigation et de tests pour évaluer les performances de composants individuels en acier², et permettre un nouveau marquage CE. Le document présent vise à comparer ce protocole à la procédure élaborée dans le cas du projet BBSM. Il se base sur le protocole du SCI et tente de l'appliquer au contexte belge, en l'organisant selon la procédure BBSM.

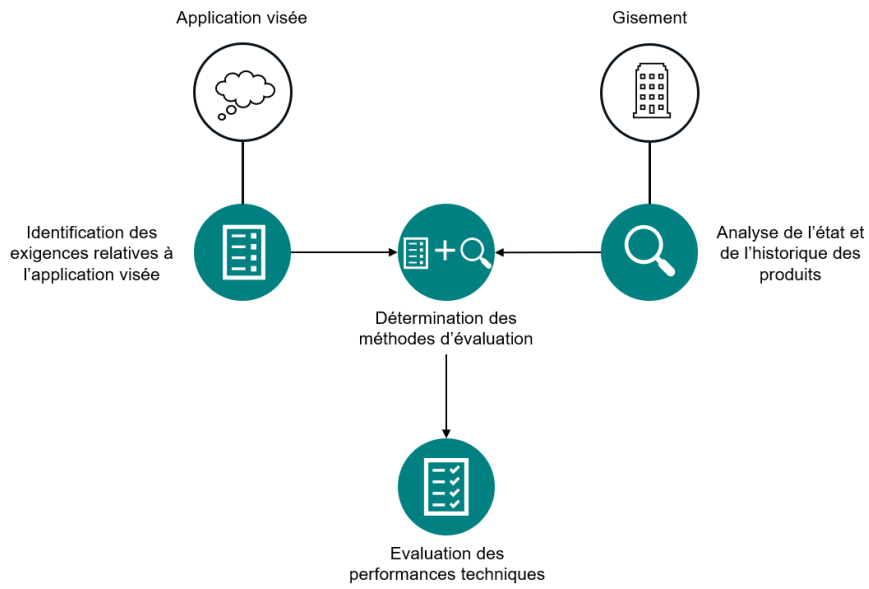
Dans un souci d'alléger le texte dans le cadre de ce document, le protocole développé par le SCI sera parfois désigné par « le protocole SCI », et la procédure développée dans le cadre du projet BBSM sera parfois nommée « la procédure BBSM ».

Ce document sera structuré selon les 4 étapes développées par la procédure BBSM citée ci-dessus. Le premier point concerne la destination des composants de structure métallique, et les conditions requises pour leur réemploi. Il s'agit d'identifier la nouvelle application visée pour les composants susceptibles d'être réemployés et les exigences qui y sont liées. Deuxièmement, c'est la source qui sera analysée. La situation existante mais également l'histoire des composants en acier seront étudiées de manière à réaliser un inventaire. Cette étape d'analyse de l'état et de l'histoire du gisement est essentielle, d'une part pour garantir l'homogénéité d'un lot et, d'autre part, pour permettre de choisir les méthodes d'évaluation appropriées grâce aux informations collectées. Troisièmement, les informations rassemblées au cours des deux premières étapes seront confrontées pour définir les méthodes d'évaluation nécessaires pour chaque exigence. Finalement, il s'agira d'effectuer des tests, des calculs, ou encore des déductions,... pour évaluer les performances recherchées. Des méthodes d'évaluation alternatives seront également développées.

Selon la situation, les deux premières étapes pourront être réalisées en parallèle ou l'une à la suite de l'autre.

¹ https://steel-sci.com/assets/downloads/steel-reuse-event-8th-october-2019/SCI_P427.pdf

² Le protocole développé par le SCI vise le réemploi des composants individuels, et non le réemploi d'une structure entière, bien qu'il n'exclue pas cette possibilité.



Procédure de justification des performances techniques des éléments de structure en acier de réemploi

1. Identification des exigences relatives à l'application visée

1.1. Détermination de l'application visée

Pour déterminer quelles sont les performances à déclarer ou à contrôler, il sera auparavant nécessaire de déterminer quelle est l'application visée, car des applications différentes requerront des exigences différentes. Cette application visée peut être identique, ou différer de l'application initiale du matériau. Si l'application est inconnue, cas qui pourrait se poser par exemple pour un revendeur de matériaux de réemploi, on pourra se référer à une application générale, reprenant les cas les plus courants d'applications.

La stratégie appliquée dans le cadre du protocole développé par le SCI consiste à limiter le réemploi des éléments en acier à certaines applications, pour lesquelles une ductilité trop importante n'est pas nécessaire. Ainsi, les éléments en acier de réemploi pourront être réemployés dans des structures de classes de conséquence³ 1,2,3 telles que définies dans les Eurocodes Structuraux (voir EN 1990), avec des exigences supplémentaires dans le cas de la classe 3⁴.

Cependant, le protocole développé par le SCI ne couvre pas les applications visées suivantes :

- Les structures sujettes à la fatigue (par exemple : éléments constitutifs de ponts)
- Les structures analysées plastiquement qui reposent sur la formation de rotules plastiques
- Les structures porteuses soumises à des charges sismiques

³ Ces classes sont établies sur les conséquences supposées de défaillance et l'exposition des constructions aux dangers potentiels.

⁴ La classe de conséquences 3 (CC3) a des conséquences élevées en termes de perte de vie humaine, ou conséquences économiques, sociales ou d'environnement très importantes.

1.2. Identification des exigences

Des réglementations belges fixent certaines de ces exigences. Outre ces réglementations, la norme NBN EN 1090-2 *Exécution des structures en acier et des structures en aluminium - Partie 2: Exigences techniques pour les structures en acier* détermine les caractéristiques qui doivent être spécifiées lorsque les produits constitutifs des structures en acier ne sont pas couverts par les normes répertoriées. Le protocole du SCI se base sur ces exigences dans le cadre de son marquage CE. La partie 1 de la même norme (*Partie 1: Exigences pour l'évaluation de la conformité des éléments structuraux*) fixe des exigences pour les éléments de structure en acier. Ces exigences seront également prises en compte dans le cadre de la procédure BBSM.

Exigences fondamentales

Les exigences fondamentales sont définies dans le cadre de cette procédure comme les performances qui sont requises légalement et/ou nécessaires pour que le matériau soit apte à l'usage auquel il est destiné, compte tenu de la santé et de la sécurité des personnes concernées tout au long du cycle de vie de l'ouvrage. Les caractéristiques grisées sont les caractéristiques reprises dans le protocole développé par le SCI. Les autres exigences ont été ajoutées dans le cadre du présent document.

Exigences fondamentales	Caractéristiques des composants / éléments structuraux en acier	Performance à atteindre ou à déclarer ⁵		Application
		Classes ou niveaux à déclarer	Classes ou niveaux à atteindre	
Résistance mécanique et stabilité	Résistance	Limite d'élasticité	Valeur seuil limite pour atteindre classe acier	Toutes (structurales)
		Résistance à la traction	Valeur seuil limite pour atteindre classe acier	Toutes (structurales)
	Allongement		Valeur seuil limite pour atteindre classe acier	Toutes (structurales)
	Exigences relatives à la striction			Si nécessaire (pour certaines connexions – généralement non nécessaire)
	Tolérances sur les dimensions et la forme			Toutes (structurales)
	Résistance au choc ou ténacité		Valeur seuil limite pour atteindre les classes d'acier	Si nécessaire (aciers exposés à de basses températures,...)
	Condition de traitement thermique			Toutes (structurales)
	Exigence dans le sens de l'épaisseur	Qualité Z		Si nécessaire
	Limites sur les discontinuités internes ou les fissures dans les zones à souder			Si nécessaire
	Aptitude au soudage ou « soudabilité »	Classification selon le système de groupement des matériaux défini dans l'ISO/TR 15608 ou		Valeur seuil limite pour atteindre classe acier
Limite maximale pour le carbone équivalent de l'acier ou				
Déclaration de sa composition chimique suffisamment détaillée pour permettre le calcul de son carbone équivalent				

⁵ Voir conditions supplémentaires concernant la déclaration des niveaux et des classes dans les législations et les normes concernant les mesures de mise en œuvre de ces exigences.

Sécurité en cas d'incendie	Réaction au feu ⁶	Classe de réaction au feu	Doit satisfaire les conditions de l'Arrêté royal du 7 juillet 1994 fixant les normes de base en matière de prévention contre l'incendie et l'explosion.	Pour les éléments structuraux destinés à être utilisés dans des constructions soumises à des exigences de résistance au feu. S'applique aux structures
	Résistance au feu			S'applique aux structures
Hygiène, santé et environnement	Substances dangereuses ⁷	Déclaration des émissions/ contenu en substances dangereuses	Absence de rejet de cadmium et émission de radioactivité	Toutes applications S'applique aux structures
Durabilité	Durabilité	Protection contre la corrosion	Valeur seuil limite pour atteindre classe acier	S'applique aux structures, selon les applications

⁶ L'Arrêté royal du 7 juillet 1994 fixant les normes de base en matière de prévention contre l'incendie et l'explosion précise que les exigences en matière de réaction au feu ne s'appliquent pas dans les cas suivants : bâtiments industriels, bâtiments ayant au maximum 2 niveaux et une superficie $\leq 100\text{m}^2$ et maisons unifamiliales.

⁷ Les exigences belges en terme de qualité de l'air intérieur ne concernent actuellement que les revêtements de sol. Concernant les substances dangereuses, le règlement européen REACH (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals, 2007), liste les substances qui ne peuvent pas être utilisées.

Exigences complémentaires

Les exigences complémentaires sont définies dans le cadre de cette procédure comme les exigences relatives à l'aptitude à l'usage du produit (non reprises dans les exigences fondamentales) et les exigences liées à des choix de mise en œuvre ou des choix esthétiques.

Caractéristiques des composants / éléments structuraux en acier	Performance à atteindre ou à déclarer ⁸		Application
	Classes ou niveaux à déclarer	Classes ou niveaux à atteindre	
Etat de surface	Pas de coup, éraflure, tâches de peinture, ...		Applications spécifiques
Finition	Peinture, ...		Applications spécifiques

⁸ Voir conditions supplémentaires concernant la déclaration des niveaux et des classes dans les législations et les normes concernant les mesures de mise en œuvre de ces exigences.

2. Analyse de l'état et de l'historique du produit

2.1. Identification du gisement

Pour rappel, le gisement est défini dans le cadre de la procédure BBSM comme l'ensemble de matériaux ou d'éléments d'un même type se trouvant dans une zone définie et présentant des caractéristiques et une histoire communes.

Le protocole du SCI semble en phase avec cette définition : il définit des *groups*, définis comme un nombre d'éléments récupérés :

- Identiques (De même forme, taille et détails de connexion,...)
- De même fonction originelle (même fonction structurelle : exemple : colonnes,...)
- De la même structure-source, de la même origine

De plus, ces *groups* ont une masse totale maximale définie de 20 tonnes.

Ce protocole du SCI est basé sur la connaissance de l'ancienne application. La connaissance du gisement est donc un prérequis à cette méthode. Le document insiste sur la nécessité de traçabilité de chaque élément. Les informations récoltées durant l'analyse de l'état et de l'historique du gisement (point 2.2) devront donc être conservées précieusement en fonction de chaque membre du gisement identifié.

Dans la pratique, les éléments en acier que l'on trouve sur le marché de réemploi proviennent de différentes sources, et sont parfois rassemblés sans aucune information concernant leur origine. Dès lors, il semblerait intéressant de pouvoir adapter le protocole du SCI à ces éléments dont l'origine est inconnue. Une autre possibilité consisterait à améliorer la traçabilité de ces éléments.

Dans le cas de ce protocole, le gisement est donc supposé toujours en place, ou une série d'informations ont déjà été récoltées et peuvent être associées aux différents éléments composant les structures.

Applications antérieures

Le protocole limite les applications antérieures acceptées. Est autorisé :

- L'acier qui n'a pas été sujet à la fatigue
- L'acier qui est resté dans son domaine élastique (non plastifié)

En plus des applications antérieures citées ci-dessus, le protocole du SCI se limite à :

- L'acier sans perte significative (< 5% de l'épaisseur) de section due à la corrosion. Une attention particulière devrait donc être portée aux applications susceptibles

d'engendrer de la corrosion : structures enterrées, structures soumises à un haut taux d'humidité,...

- L'acier qui n'a pas été exposé au feu
- L'acier érigé après 1970 (= considéré couvert par les principes de conceptions des normes modernes : EN 10025 et 10219)
- De plus, les membres assemblés ne seront pas acceptés, sauf si les soudures sont testées.

Les informations concernant ces critères pourront être rassemblées lors de l'analyse de l'état et de l'historique du gisement.

2.2. Analyse de l'état et de l'historique du gisement

Cette étape permet de réunir un maximum d'informations concernant les caractéristiques originelles et/ou actuelles du gisement, d'une part en relevant un maximum d'informations concernant son état, mais aussi toute information pertinente concernant son histoire et ses performances originelles. Dans le cas du protocole SCI, cet inventaire doit être réalisé avant l'extraction de tous les éléments. Lors du démontage, il sera important de bien conserver la traçabilité des informations récoltées tant que l'évaluation des performances n'a pas été réalisée.

Voici une liste non exhaustive d'informations pouvant être collectées (en gras, devant être collectées selon le protocole SCI) :

2.2.1. Informations relatives au produit « carte d'identité » :

- « curriculum vitae » : date de production de l'acier (ou informations permettant de la déduire), fabricant, date de mise en œuvre,...
- Information technique (classe d'acier, dimensions de la section, informations géométriques, présence de marquage, cahiers des charges originels, fiches techniques, propriétés, référence à la norme en application, schémas, liste des éléments...), protection contre la corrosion,...
- Aspects visuels : états de surface, état homogène, peinture, type de revêtement et épaisseur, présence de détérioration (signes de corrosion, réduction de l'épaisseur, signes d'exposition au feu, coups, planéité, défauts de surface provoqués par la rouille ou la calamine, signes de plasticité...)
- Présence d'assemblages : boulons, soudures,... et informations concernant les assemblages-même
- Aspects quantitatifs : taux de perte, quantité estimée, etc.

2.2.2. Informations relatives à son application :

- Type d'ouvrage
- Date de construction de l'ouvrage
- Règlements en vigueur au moment de la construction de l'ouvrage
- Localisation de l'ouvrage (bord de mer,...)
- Type(s) d'application(s) initiale(s), fonction structurelle (exemple : colonne)
- Informations structurelles : présence de contreventements, raidisseurs,...
- Liste des éléments composant la structure
- Localisation dans le bâtiment (le produit pourrait avoir subi des sollicitations particulières en fonction de sa localisation) :
 - Utilisation en intérieur/extérieur
 - Localisation dans la structure métallique (plus ou moins de contraintes subies)

2.2.3. Informations relatives à sa mise en œuvre et à son entretien :

- Traitements, peintures éventuels (dates, produits utilisés, compositions chimiques...)
- Réparations éventuelles
- Contrôle des assemblages, des soudures, des peintures...
- L'état de l'ensemble de la structure et des matériaux mis en œuvre autour de celle-ci, ainsi que les conditions seront également inspectés (trace d'incendie,...)

3. Détermination des méthodes d'évaluation nécessaires

3.1. Confrontation des informations et définition du niveau de confiance nécessaire

Les informations récoltées lors des deux premières étapes peuvent être confrontées lors de cette étape. Comme décrit dans la procédure BBSM, le protocole SCI détermine des méthodes d'évaluation différentes en fonction de différents critères :

- Selon l'application visée. Par exemple, dans le cas d'une utilisation dans une structure de classe de conséquence 3, un degré de confiance plus important sera nécessaire pour l'évaluation de certaines performances.
- En fonction des informations récoltées lors de l'analyse de l'état et de l'histoire du produit. Il sera nécessaire de vérifier les informations listées au point 2 afin de pouvoir évaluer les performances selon les méthodes préconisées par le SCI.

Le tableau ci-dessous fait correspondre certaines informations visuelles ou documentaires qui peuvent être directement liées aux performances à évaluer (en gris, d'après le protocole SCI). Le seul fait de retrouver ces informations ne suffit pas à justifier que le produit répond aux exigences applicables à son application visée. Une évaluation des performances est requise (voir étape 4).

Performances	Informations pertinentes	
	Visuelles	Documentaires
Résistance et ductilité	Pas d'évidence de déformation plastique observée à la surface	Date de production > 1970
	Pas de signes de perte de section due à la corrosion. L'intérieur des tubes creux devrait également être inspecté.	Ancienne application (n'ayant pas mené à des déformations plastiques)
Allongement	Pas d'évidence de déformation plastique observée à la surface	
	Pas de signes de perte de section	
Exigences relatives à la striction		
Tolérances sur les dimensions et la forme	Dimensions, planéité, déformations	Informations géométriques
Résistance au choc ou ténacité		Date de production > 1970
Condition de traitement thermique		Information concernant la condition de traitement thermique
Exigence dans le sens de l'épaisseur		
Limites sur les discontinuités internes ou les fissures dans les zones à souder		
Aptitude au soudage ou « soudabilité »		Déclaration de la composition chimique
Réaction au feu ⁹	Revêtements éventuels	Performance initiale déclarée
		Règlementation en vigueur au moment de la mise en œuvre initiale
Résistance au feu		Performance initiale déclarée
		Règlementation en vigueur au moment de la mise en œuvre initiale
Substances dangereuses ¹⁰	Présence de peintures, de protection contre la corrosion...	Composition chimique, indications de traitements éventuels
		Règlementation en vigueur au moment de la mise en œuvre initiale
Durabilité	Signes de corrosion, présence de protection contre la corrosion...	Déclaration de la composition chimique

⁹ L'Arrêté royal du 7 juillet 1994 fixant les normes de base en matière de prévention contre l'incendie et l'explosion précise que les exigences en matière de réaction au feu ne s'appliquent pas dans les cas suivants : bâtiments industriels, bâtiments ayant au maximum 2 niveaux et une superficie $\leq 100\text{m}^2$ et maisons unifamiliales.

¹⁰ Les exigences belges en terme de qualité de l'air intérieur ne concernent actuellement que les revêtements de sol. Concernant les substances dangereuses, le règlement européen REACH (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals, 2007), liste les substances qui ne peuvent pas être utilisées.

3.2. Planification du processus d'évaluation

Afin de procéder aux évaluations décrites dans le protocole, un certain nombre de vérifications visuelles/documentaires doivent avoir préalablement été effectuées (voir point 2 et 4).

3.3. Stratégies pour augmenter le niveau de confiance

Lorsque les méthodes d'évaluation disponibles semblent ne pas pouvoir offrir un niveau de confiance suffisant, ou si elles sont trop coûteuses, différentes stratégies peuvent être mises en place. :

- Combinaison de méthodes d'évaluation : Dans le protocole SCI, différents types de méthodes d'évaluation sont combinés pour vérifier certaines performances. Par exemple, pour évaluer certaines performances, le protocole prévoit de réaliser un test non-destructif sur l'ensemble des éléments (contrôle de la chaîne) permettant de vérifier l'homogénéité du lot, pour ensuite réaliser des tests destructifs sur uniquement quelques échantillons.
- Stratégies de conception :
 - Dans le protocole SCI, les analyses plastiques globales ne sont pas recommandées. Il est considéré plus prudent de s'en tenir à des analyses élastiques.
 - Le protocole SCI prévoit la modification du coefficient de sécurité lors du calcul de résistance au flambement : $\gamma_{M1, mod} = 1.15 \gamma_{M1}$
- Limitation des applications :
 - Comme décrit au point 1.1, le protocole SCI limite les applications visées.
 - Une autre stratégie, non décrite dans le protocole SCI, pourrait être développée sur base du principe de l'application en cascade. Le principe est de réutiliser les éléments de réemploi pour des applications moins exigeantes. Ces applications pourraient être structurelles, ou non. Cela suppose que l'ancienne application soit connue (voir points 2 et 4).

4. Evaluation des performances techniques

Afin de procéder aux évaluations décrites dans le protocole, un certain nombre de vérifications visuelles/documentaires devront avoir préalablement été effectuées (voir point 2). Pour rappel, celles-ci concernaient :

- Indications concernant la date de production de l'acier : acier produit après 1970.
- Informations concernant la présence d'assemblages et les assemblages-mêmes
- Pas de signes de perte de section due à la corrosion
- Pas de signe d'exposition au feu
- Pas d'évidence de plasticité observée à la surface
- Informations géométriques (dimensions, planéité,...)

4.1. Contrôle de la chaîne

Selon le protocole, préalablement à l'évaluation des performances, après la déconstruction, une inspection et un enregistrement des caractéristiques suivantes devront être effectués pour tous les éléments :

- Dimensions (section et longueur) à évaluer en fonction des tolérances
- Linéarité (à évaluer en fonction des tolérances)
- Toute perte de section
- Signes d'endommagement ou de contrainte plastique

4.2. Méthodes d'évaluation des performances

Voici un tableau décrivant les méthodes d'évaluation prescrites par le protocole SCI. Leur correspondance avec les types de méthodes décrites dans la procédure BBSM sont indiquées dans la deuxième colonne.

Performances	Méthodes d'évaluation	Détails	Résultat
Résistance (limite d'élasticité et valeur limite de résistance à la traction)	Evaluation par essais non-destructifs (essai corrélé) combiné à un contrôle de la chaîne	<p><u>Evaluation par essais non-destructifs (essai corrélé de dureté) combiné à un contrôle de la chaîne</u></p> <p>Les tests non-destructifs sont utilisés pour déterminer la classe de l'acier. Les valeurs pour la limite d'élasticité et la résistance ultime à déclarer sont les valeurs décrites dans les normes en fonction de la classe de l'acier déterminée. Les tests non-destructifs servent également à vérifier l'homogénéité des éléments du lot. L'ensemble des éléments doit donc être testé.</p> <p>La corrélation entre la dureté et la résistance de l'acier est utilisée via EN ISO 18265. Cette relation dépend du type de test de dureté.</p> <p>Les tests devraient être réalisés sur les rebords des éléments, là où il y a le moins de contrainte en service. Tout traitement de surface doit avoir été enlevé de l'endroit testé. 3 mesures doivent être réalisées au même endroit et la moyenne calculée. Si cette moyenne diffère de plus de 10% des autres membres du gisement, ce membre devrait être enlevé du gisement.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Déterminer la classe de l'acier Contrôler l'homogénéité
	+ Evaluation par essais destructifs	<p><u>Evaluation par essais destructifs</u></p> <p>Les essais de traction destructifs sont décrits dans ISO 6892 et permettent de déterminer la limite élastique, la limite ultime, le rapport de la limite élastique sur la limite ultime, et la contrainte l'allongement à la rupture afin de confirmer la classe de l'acier qui a précédemment été identifiée.</p> <ul style="list-style-type: none"> Tests non-statistiques : Pour l'acier qui doit être utilisé dans les structures classe de conséquence 1 et 2, un seul test destructif (pris au hasard) est nécessaire pour confirmer l'évaluation via les essais non-destructifs (essai corrélé de dureté). <p><u>Commentaire :</u> Cette méthode, proposée par le SCI, comporte selon nous une certaine prise de risque. Elle ne semble pas suffisante pour établir une valeur caractéristique. Des tests statistiques, tels que préconisés dans les normes et tels qu'indiqués ci-dessous, permettent d'établir une confiance plus importante dans la performance de l'élément. Selon les normes, 3 tests sont nécessaires pour établir une valeur caractéristique.</p>	Confirmer la classe de l'acier

	+ Evaluation indirecte : utilisation de valeurs tabulées	<ul style="list-style-type: none"> Tests statistiques : Si l'acier doit être utilisé dans une classe de conséquence 3, un degré de fiabilité plus grand est nécessaire, et le nombre de tests destructifs devrait être augmenté en complément d'une évaluation selon EN 1990. Minimum 3 tests destructifs devront être réalisés au sein du gisement pour établir la valeur caractéristique. Augmenter le nombre de tests permet d'augmenter la précision de la valeur caractéristique calculée selon la loi de Student pour un intervalle de confiance unilatéral de 95%. (selon norme NBN EN 1990). 	
		<p><u>Combinaison des méthodes et utilisation de valeurs tabulées</u> Les résultats des tests destructifs et non destructifs (valeurs moyennes, valeurs minimum et valeurs caractéristiques, rapports de la limite élastique sur limite ultime) sont comparés avec les valeurs de résistance théoriques liées aux valeurs de classe de l'acier. . Chaque élément du gisement doit être conforme à la valeur minimale d'élasticité.</p> <p><u>Commentaire:</u> Cette méthode, proposée par le SCI, comporte selon nous une certaine prise de risque de surévaluation de la classe de l'acier. Selon les normes, la comparaison entre la valeur expérimentale et la valeur théorique ne doit se faire que sur base des valeurs caractéristiques et non des valeurs moyennes.</p>	Déterminer la classe de l'acier
	+ Contrôle de la chaîne	Inspection visuelle de chaque élément, vérification des tolérances pour confirmer qu'il n'y a pas eu de déformation plastique et que les « réserves de ductibilité » ne sont pas entamées par rapport à un acier neuf.	Confirmer qu'il n'y a pas eu de déformation plastique
Tolérance sur les dimensions et la forme	Contrôle de la chaîne (mesures de l'ensemble des éléments)	<p>Le protocole du SCI indique selon quelles normes les différents types d'éléments doivent être mesurés et leurs tolérances vérifiées.</p> <p><u>Dimensions de la section transversale</u> Tous les membres doivent être mesurés.</p> <p><u>Manque de rectitude</u> La rectitude de chaque membre dans les deux axes doit être mesurée et comparée avec les déviations permises dans NBN EN 1090-2. Les membres sortant des déviations permises devraient être redressés lors du processus de remanufacturing.</p> <p><u>Commentaire:</u> Le manque de rectitude est à considérer avec précaution. Celui-ci pourrait être le signe d'une déformation plastique.</p>	Les éléments dont la tolérance est acceptable selon les normes sont conservés.
Résistance au choc ou ténacité	Evaluation indirecte : utilisation de valeur par défaut	<p><u>Pour des usages internes non sujets à la fatigue</u> La qualité JR peut être estimée sans essai (niveau de qualité le plus bas).</p>	Qualité de l'acier
	Evaluation par essai destructif	<u>Usages spécifiques, par exemple des aciers épais très contraints et exposés à de basses températures, ou pour prouver que l'acier est plus résistant (avantage économique)</u>	

	pour des usages spécifiques	Les éléments doivent être testés selon NBN EN 10025-1. 6 échantillons doivent être testés, pris aux emplacements identifiés dans la norme. <u>Commentaire</u> : Le protocole SCI semble se placer du côté de la sécurité pour l'évaluation de cette performance, la norme NBN EN 10025-1 spécifiant 3 échantillons dans la plupart des cas, et 6 seulement dans certains cas spécifiques.	
Condition de traitement thermique	Evaluation indirecte – Valeur par défaut	Les sections creuses sont soit formées à froid, soit à chaud. Il est recommandé de faire l'hypothèse que toutes les sections creuses de réemploi sont formées à froid selon EN 10219.	
Limite maximale pour le carbone équivalent de l'acier ou	Evaluation indirecte – Connaissance de la performance	Maximum à déclarer à partir des certificats de test	<ul style="list-style-type: none"> • Carbone équivalent de l'acier
Déclaration de sa composition chimique suffisamment détaillée pour permettre le calcul de son équivalent carbone (et sa soudabilité)	Contrôle de la chaîne (non destructif)	<u>Contrôle de la chaîne (essais non destructifs)</u> La composition chimique de chaque membre devrait être testée et enregistré. Si un élément diffère de plus de 10% de la valeur moyenne du gisement, le membre sera retiré du gisement. Le test consiste en un test de spectroscopie d'émission optique.	<ul style="list-style-type: none"> • Carbone équivalent de l'acier • Homogénéité
	+Evaluation par essai destructif	<u>Essai destructif</u> : Il consiste à analyser un copeau prélevé dans cavité percée (à un emplacement avec peu de contrainte). Tests non-statistiques : <ul style="list-style-type: none"> • Pour les classes de conséquence 1 et 2 : 1 seul membre représentatif peut être testé Pour les classes de conséquence 3 : si minimum 3 échantillons sont testés, une analyse statistique n'est pas nécessaire.	Carbone équivalent de l'acier
	Combinaison	Le carbone équivalent de l'acier sera la valeur maximale déterminée à partir des tests non destructifs et destructifs.	Carbone équivalent de l'acier

Bibliographie

- SCI, *Structural Steel Reuse, Assessment, Testing and Design Principles*, 2019
- CCTB (*Cahier des Charges Type-Bâtiments*), [en ligne] <https://batiments.wallonie.be/home/iframe-html.html>, mis à jour le 08/12/20

Références normatives

- NBN EN 1090-1+A1: « Exécution des structures en acier et en aluminium" Partie 1 : Evaluation et vérification de la constance des performances des éléments de structure.
- NBN EN 1090-2 : "Exécution des structures en acier et en aluminium" Partie 2 : Exigences techniques pour les structures en acier.
- NBN EN 1090-3 : "Exécution des structures en acier et en aluminium" Partie 3 : Exigences techniques pour les structures en aluminium
- NBN EN 1090-4 : "Exécution des structures en acier et en aluminium" Partie 4 : Exigences techniques pour les éléments de charpente en acier formés à froid et pour les structures en acier formées à froid dans des applications de toiture, plafond plancher et mur.
- NBN EN 1090-5 : "Exécution des structures en acier et en aluminium" Partie 5 : Exigences techniques pour les éléments de charpente en aluminium formés à froid et pour les structures en aluminium formées à froid dans des applications de toiture, plafond, plancher et mur.
- NBN EN 1990 ANB, Eurocode : Bases de calcul des structures.
- NBN EN 1991 (toutes parties), Eurocode 1: Actions sur les structures.
- NBN EN 1993 (toutes parties), Eurocode 3: Calcul des structures en acier.
- NBN EN 1994 (toutes parties), Eurocode 4: Calcul des structures mixtes acier-béton.
- NBN EN 1998 (toutes parties), Eurocode 8: Calcul des structures pour leur résistance aux séismes.
- NBN EN 1999 (toutes parties), Eurocode 9: Calcul des structures en aluminium.
- NBN EN 10164, Acier de construction avec caractéristiques de déformation améliorées dans le sens perpendiculaire à la surface du produit - Conditions techniques de livraison.
- NBN EN 13501-1, Classement au feu des produits et éléments de construction Partie 1: Classement à partir des données d'essais de réaction au feu.
- NBN EN 13501-2, Classement au feu des produits et éléments de construction – Partie 2 Classement à partir des données d'essais de résistance au feu à l'exclusion des produits utilisés dans les systèmes de ventilation.
- NBN EN ISO 9001, Systèmes qualité-Exigences (ISO 9001:2000).
- NBN EN ISO 14731, Coordination en soudage-Tâches et responsabilités (ISO 14731:2006).
- NBN ISO 7976-1, Tolérances pour le bâtiment- Méthodes de mesure des bâtiments et des produits pour le bâtiment - Partie 1: Méthodes et instruments.
- NBN ISO 7976-2, Tolérances pour le bâtiment – Méthodes de mesure des bâtiments et des produits pour le bâtiment – Partie 2 – Position des points de mesures

Pour plus d'informations :

- La Fondation Bâtiment Energie a souhaité soutenir des travaux de recherche concernant l'évaluation des performances en vue d'un réemploi pour huit familles de produits, afin de proposer un cadre à la sécurisation de ces pratiques

qui émergent à nouveau. Un document a été produit concernant les éléments d'ossature en acier :

Fondation Bâtiment Energie, *Economie Circulaire des Bâtiments, Méthodologie de diagnostic et d'évaluation des performances pour le réemploi des éléments d'ossature en acier*, [pdf en ligne], <http://www.batiment-energie.org/doc/70/FBE-ECB-enjeu-A-ossature-V9.pdf>, décembre 2020

- Projet PROGRESS : PROvisions for a Greater REuse of Steel Structures (2017-2020)
Le projet PROGRESS fournit des méthodologies, des outils et des recommandations sur la réutilisation des composants à base d'acier des bâtiments existants et en projet : <https://www.steelconstruct.com/eu-projects/progress/>
- Récemment, une initiative a été lancée pour rédiger un NTA (accord technique néerlandais) pour la réutilisation des éléments en acier. La publication est prévue début 2022.