

É

Équipements de protection

Études et recherches

RAPPORT R-550



**Résistance du point d'ancrage d'un système
d'arrêt de chute et de positionnement
pour les poseurs d'acier d'armature**

*André Lan
Renaud Daigle*



Solidement implanté au Québec depuis 1980, l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST) est un organisme de recherche scientifique reconnu internationalement pour la qualité de ses travaux.

NOS RECHERCHES

Mission *travaillent pour vous !*

Contribuer, par la recherche, à la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles ainsi qu'à la réadaptation des travailleurs qui en sont victimes.

Offrir les services de laboratoires et l'expertise nécessaires à l'action du réseau public de prévention en santé et en sécurité du travail.

Assurer la diffusion des connaissances, jouer un rôle de référence scientifique et d'expert.

Doté d'un conseil d'administration paritaire où siègent en nombre égal des représentants des employeurs et des travailleurs, l'IRSST est financé par la Commission de la santé et de la sécurité du travail.

Pour en savoir plus

Visitez notre site Web ! Vous y trouverez une information complète et à jour.

De plus, toutes les publications éditées par l'IRSST peuvent être téléchargées gratuitement. www.irsst.qc.ca

Pour connaître l'actualité de la recherche menée ou financée par l'IRSST, abonnez-vous gratuitement au magazine Prévention au travail, publié conjointement par l'Institut et la CSST.
Abonnement : 1-877-221-7046

Dépôt légal

Bibliothèque et Archives nationales
2008

ISBN : 978-2-89631-241-2 (version imprimée)

ISBN : 978-2-89631-242-9 (PDF)

ISSN : 0820-8395

IRSST - Direction des communications
505, boul. De Maisonneuve Ouest
Montréal (Québec)
H3A 3C2
Téléphone : 514 288-1551
Télécopieur : 514 288-7636
publications@irsst.qc.ca
www.irsst.qc.ca
© Institut de recherche Robert-Sauvé
en santé et en sécurité du travail,
mars 2008



Équipements de protection

Études et recherches

■ RAPPORT R-550

Résistance du point d'ancrage d'un système d'arrêt de chute et de positionnement pour les poseurs d'acier d'armature

Avis de non-responsabilité

L'IRSST ne donne aucune garantie relative à l'exactitude, la fiabilité ou le caractère exhaustif de l'information contenue dans ce document. En aucun cas l'IRSST ne saurait être tenu responsable pour tout dommage corporel, moral ou matériel résultant de l'utilisation de cette information.

Notez que les contenus des documents sont protégés par les législations canadiennes applicables en matière de propriété intellectuelle.

*André Lan,
Service de la recherche, IRSST*

*Renaud Daigle,
Service soutien à la recherche et à l'expertise, IRSST*



Cette publication est disponible
en version PDF
sur le site Web de l'IRSST.

CONFORMÉMENT AUX POLITIQUES DE L'IRSS

Les résultats des travaux de recherche publiés dans ce document
ont fait l'objet d'une évaluation par des pairs.

SOMMAIRE

Les structures de béton armé peuvent être divisées en deux grands groupes : soit les édifices à colonnes et dalles et les autres structures. Dans le premier cas, les poseurs d'acier d'armature (ferrailleurs) sont très peu exposés aux chutes parce que l'armature des colonnes est préposée au sol à l'horizontale et soulevée en bloc par un engin de levage alors que l'armature de la dalle du plancher est posée aux pieds du ferrailleur. Les garde-corps sur le périmètre de la dalle protègent les travailleurs contre les chutes. Dans le deuxième cas, les structures en cause sont des culées de pont, des réservoirs, des barrages, etc. Dans la majorité des situations, une protection adéquate est possible avec l'emploi de coffrages coulissants, de coffrages outils, d'échafaudages fixes ou à mats. Cependant, il reste certains cas de murs de grandes dimensions où la protection contre les chutes est problématique; le ferrailleur grimpe dans la structure des armatures et doit s'y ancrer pour se positionner et se protéger contre les chutes. Deux problèmes sont identifiés : 1) le choix d'un harnais, des équipements de positionnement et des équipements d'arrêt de chutes, et 2) la présence d'un point d'ancrage pour le système individuel d'arrêt de chute, suffisamment solide et ce, à même les barres d'armature.

L'objectif des travaux est de vérifier la résistance des ancrages à même les barres d'armature dans les situations réelles de travail et en définir les conditions. Pour vérifier cette résistance, les méthodes de calculs classiques de l'analyse des structures et de la résistance des matériaux ne conviennent pas parce qu'il y a trop de paramètres à considérer et trop d'hypothèses à faire pour modéliser la structure. Dès lors, la méthode la plus simple et la plus rapide consiste à effectuer des essais dynamiques de chute de performance avec le système d'arrêt de chute identifié lors des essais avec les ferrailleurs et un torse de bois de 100 kg et des essais dynamiques de résistance avec un lien en acier de 3/8 pouce de diamètre et une masse compacte de 100 kg sur une section de coffrage et de ferrailage dans un environnement contrôlé.

Le présent rapport présente les résultats des essais dynamiques de chute qui ont été effectués pour vérifier la résistance du point d'ancrage à même les barres d'armature. Par ailleurs, le mur de ferrailage reconstitué au Centre de formation de l'acier a été érigé suivant les bonnes règles de pratique de ferrailage, avec les barres d'armature ligaturées à chaque deuxième barre. L'identification du harnais le plus approprié pour la tâche de poseur d'acier d'armature dans un mur vertical, le type de lien et la localisation de l'attache sur le harnais font l'objet d'un rapport séparé. À la lumière des résultats des essais dynamiques de chute, nous pouvons conclure que le point d'ancrage à même les barres d'armature du mur de ferrailage possède la résistance adéquate pour arrêter la chute d'un ferrailleur. Les ferrailleurs participant à l'étude confirment qu'ils ajoutent toujours des ligatures supplémentaires aux points d'ancrage où ils accrochent leurs longes, ce qui va dans le sens d'une sécurité accrue.

REMERCIEMENTS

La réalisation de cette étude a été rendue possible grâce à la collaboration d'un grand nombre d'organisations et d'individus. Nous tenons particulièrement à remercier les organisations patronale et syndicale, les ferrailleurs qui ont participé aux essais et le Centre de Formation des Métiers (CFMA) pour nous avoir accueillis pendant le déroulement des essais.

TABLE DES MATIÈRES

SOMMAIRE	i
REMERCIEMENTS	iii
TABLE DES MATIÈRES	v
LISTE DES TABLEAUX	vi
LISTE DES FIGURES	vi
1. INTRODUCTION – MISE EN CONTEXTE	1
2. PROBLÉMATIQUE SANTÉ ET SÉCURITÉ DU TRAVAIL	1
2.1 Travaux antérieurs	3
2.2 Exigence de résistance à l'ancrage	3
3. OBJECTIFS DE RECHERCHE	4
4. DÉMARCHES SUIVIES	4
5. MÉTHODE DE CALCUL AUX ÉTATS-LIMITES	5
5.1 Essais dynamiques de résistance et de performance	7
5.2 Exigences et critères d'observation pour les essais de résistance	7
5.3 Exigences et critères d'observation pour les essais de performance	8
6. PROTOCOLE D'ESSAIS	8
7. MONTAGE D'ESSAIS	11
8. DESCRIPTION DES ESSAIS	14
8.1 Essais de performance	14
8.2 Essais de résistance	15
8.3 Réalisation des essais	16
9. RÉSULTATS D'ESSAIS	17
9.1 Résultats des essais de performance	17
9.2 Résultats des essais de résistance	22
10. DISCUSSION	27
11. CONCLUSION	28
12. RÉFÉRENCES	28

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Protocole d'essais – Essais dynamiques de performance	9
Tableau 2 : Protocole d'essais – Essais dynamiques de résistance	10
Tableau 3 : Essais dynamiques de performance	18
Tableau 4 : Essais dynamiques de résistance.....	23

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Ferrailage de mur	2
Figure 2 : Mur reconstitué, en forme de L.....	11
Figure 3 : Ferrailage type.....	11
Figure 4 : Treuil pour le hissage des masses.....	12
Figure 5 : Cellule de charge.....	13
Figure 6 : Trois points d'ancrages possibles pour la longe.....	14
Figure 7 : Torse de bois de 100 kg et longe avec absorbeur d'énergie.....	15
Figure 8 : Masse de plomb de 100 kg et longe d'acier de 3/8" de diamètre utilisées pour les essais de résistance	16
Figure 9 : Paramètres de mesure et de référence	17
Figure 10 : Vue typique d'un essai de performance, largage et arrêt du torse de bois de 100 kg	19
Figure 11 : Déformation de l'absorbeur d'énergie, après essai	19
Figure 12 : Graphiques de la force et des déplacements enregistrés lors des essais de performance	20
Figure 13 : Vue typique d'un arrachement des sangles au support dorsal du harnais	21
Figure 14 : Déformation de la barre de support observée à l'essai de performance B	21
Figure 15 : Déformation du mousqueton observée à l'essai de performance C	22
Figure 16 : Graphiques de la force et des déplacements enregistrés lors des essais de résistance.....	24
Figure 17 : Mode d'attache du mousqueton au câble (essais de résistance A).....	25
Figure 18 : Déformation de l'armature observée lors de l'essai de résistance A	25
Figure 19 : Déformation observée du mousqueton (essai de résistance A).....	25
Figure 20 : Déformation de l'armature observée lors de l'essai de résistance B.....	26
Figure 21 : Chute complète de la masse d'essai lors de l'essai de résistance C	27

1. INTRODUCTION – MISE EN CONTEXTE

L'étude visait, d'une part à identifier un système individuel d'arrêt de chute et de positionnement pour les poseurs d'acier d'armature dans un mur vertical, et, d'autre part à vérifier la résistance du point d'ancrage à même les barres d'armature de ferrailage. L'École de Technologie Supérieure (ÉTS) a effectué l'identification du système individuel d'arrêt et de positionnement. Cette identification fait l'objet d'un rapport (Arteau et coll., 2008). L'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST), pour sa part, a effectué la vérification du point d'ancrage.

Les deux parties de l'étude, même si elles sont reliées, sont indépendantes puisque le système individuel d'arrêt de chute avec un absorbeur d'énergie intégré influence principalement la convivialité et le confort. L'absorbeur d'énergie de classe E4 conforme à la norme CAN/CSA Z259.11-05 «Absorbeurs d'énergie et cordons d'assujettissement» limite la force maximale d'arrêt de chute à 4 kN à température ambiante et à haute température et à 6 kN lorsque l'absorbeur d'énergie est imbibé d'eau et gelé quel que soit le harnais utilisé.

La vérification de la résistance du point d'ancrage a été effectuée avec un harnais prototype de classe AP recommandé par l'ÉTS. Peu importe que l'enrouleur dérouleur avec un absorbeur d'énergie intégré ou la longe avec absorbeur soit retenu, les deux génèrent une force maximale d'arrêt de 4 kN lors de l'arrêt de la chute. Puisque la longe produit la distance de chute libre la plus grande, elle a été utilisée pour les essais dynamiques de chute.

Le présent rapport présente les résultats des essais dynamiques de chute qui ont été effectués pour vérifier la résistance du point d'ancrage à même les barres d'armature pour le système individuel d'arrêt de chute et de positionnement pour les poseurs d'acier d'armature.

2. PROBLÉMATIQUE SANTÉ ET SÉCURITÉ DU TRAVAIL

Les structures de béton armé peuvent être divisées en deux grands groupes : soit les édifices à colonnes et dalles et les autres structures. Dans le premier cas, les ferrailleurs sont très peu exposés aux chutes parce que l'armature des colonnes est préposée au sol à l'horizontale et puis soulevée en bloc par un engin de levage alors que l'armature de la dalle du plancher est posée aux pieds du ferrailleur. Les garde-corps sur le périmètre de la dalle protègent tous les travailleurs contre les chutes. Dans le deuxième cas, les structures en cause sont des culées de pont, des réservoirs, des barrages, etc. Dans la majorité des situations, une protection adéquate est possible avec l'emploi de coffrages coulissants, de coffrages outils et d'échafaudages fixes ou à mats. Cependant, il reste certains cas de murs de grandes dimensions où la protection contre les chutes est problématique; le poseur d'acier d'armature grimpe alors dans la structure des armatures et doit s'y ancrer pour se positionner et se protéger contre les chutes (Figure 1). Cette situation présente des risques majeurs de lésions sévères pour les ferrailleurs en cas de chute sur les barres d'armature en attente et sur le sol encombré. Deux problèmes sont identifiés : 1) le choix d'un harnais, des équipements de positionnement et des équipements d'arrêt de chutes, et 2) la présence d'un point d'ancrage pour le système individuel d'arrêt de chute, suffisamment solide et ce, à même les barres d'armature. Le deuxième problème consiste à vérifier la résistance du

point d'ancrage à même les barres d'armature du mur de ferrailage pour le système d'arrêt de chute et de positionnement pour les poseurs d'acier d'armature.

Les articles révisés sur la protection contre les chutes du Code de sécurité pour les travaux de construction (S-2.1, r.6, 2001) sont entrés en vigueur le 15 février 2001. Dans le cadre de cette révision, la problématique de la protection contre les chutes pour les travailleurs telle qu'exposée ci-haut est le seul point dont la mise en œuvre pose encore problème. Une forte volonté des parties syndicale et patronale de régler ce problème ainsi qu'un consensus sur la protection contre les chutes se traduisent par la demande unanime du Comité de révision du Code de sécurité pour les travaux de construction ont conduit à ce rapport.



Figure 1 : Ferrailage de mur

2.1 Travaux antérieurs

Diverses propositions ont été étudiées, entre autre, par Fertek, une entreprise spécialisée dans la fourniture et la pose d'acier d'armature. Bien que très prometteuses, elles ne semblent pas être très utilisées. Conséquemment, le problème d'une protection contre les chutes utilisée demeure entier.

2.2 Exigence de résistance à l'ancrage

L'article 2.10.12 3) du *Code de sécurité pour les travaux de construction du Québec* stipule que « le point d'attache du cordon d'assujettissement doit être :

a) ancré à un élément ayant une résistance à la rupture d'au moins 18 kilonewtons ».

Les articles 5.3, 5.6, 5.7 de la norme CAN/CSA Z259.11-05 « *Absorbeurs d'énergie et cordons d'assujettissement* » stipulent les exigences de performance d'un absorbeur d'énergie. La force maximale d'arrêt pour un absorbeur d'énergie classe E4 varie de 4 kN, à température ambiante et à haute température et à 6 kN lorsque l'absorbeur est imbibé d'eau et gelé. Si un absorbeur d'énergie de classe E4 certifié CSA est utilisé comme exigé par le Code de sécurité pour les travaux de construction (S-2.1, r.6, 2001), une résistance à la rupture de 9 kN de l'ancrage peut être retenue. Avec un tel absorbeur d'énergie, dans les conditions usuelles d'utilisation à température ambiante, le facteur de sécurité est $9/4 = 2.25$. Lorsque l'absorbeur d'énergie est imbibé d'eau et gelé, le facteur de sécurité devient $9/6 = 1.5$, ce qui est satisfaisant puisque cette condition extrême est moins fréquente.

Les articles 2.3.1 et 2.9.1 du Code de sécurité pour les travaux de construction permettent un ancrage de résistance moindre pourvu que l'équivalence soit démontrée.

L'article 2.3.1 se lit comme suit :

« Dans l'application du présent code, la nature, les dimensions et la disposition des matériaux peuvent différer des règles fixées pour autant que la résistance des matériaux et leur emploi offrent une sécurité équivalente à celle prescrite. »

L'article 2.9.1 se lit comme suit :

« Mesures de sécurité : Tout travailleur doit être protégé contre les chutes dans les cas suivants : ...

Dans de tels cas et sous réserve de l'article 2.9.2, une ou plusieurs des mesures suivantes doivent être prises par l'employeur pour assurer la sécurité du travailleur :

1° modifier la position de travail du travailleur de manière à ce que celui-ci exécute son travail à partir du sol ou d'une autre surface où il n'y a aucun risque de chute;

2° installer un garde-corps ou un système qui, en limitant les déplacements du travailleur, fait en sorte que celui-ci cesse d'être exposé à une chute;

3° utiliser un moyen ou un équipement de protection collectif, tel un filet de sécurité;

4° s'assurer que le travailleur porte, à l'occasion de son travail, un harnais de sécurité conforme à l'article 2.10.12;

5° utiliser un autre moyen qui assure une sécurité équivalente au travailleur. »

3. OBJECTIFS DE RECHERCHE

L'objectif des travaux est de vérifier la résistance des ancrages, à même les barres d'armature dans les situations actuelles de travail et en définir les conditions, pour le système d'arrêt de chute et de positionnement pour les poseurs d'acier d'armature identifié par l'ÉTS (Arteau et coll., 2008).

4. DÉMARCHES SUIVIES

Pour vérifier la résistance du point d'ancrage, nous avons observé trois chantiers de coffrage et de ferrailage pour documenter les tâches qu'effectuent les ferrailleurs. Ces observations nous ont permis d'analyser les situations actuelles de travail, de cibler le(s) type(s) de coffrage de murs utilisé(s) sur les chantiers du Québec et d'examiner les moyens de protection contre les chutes qu'ils utilisent. Ces visites ont permis, entre autres, de colliger :

- le type de coffrage de mur le plus utilisé, soit un coffrage-outil ou un coffrage conventionnel fait de contreplaqué de 17,5 mm d'épaisseur monté sur une fausse charpente en bois de 4 x 4 ou une fausse charpente en aluminium;
- le ferrailage type d'un mur, entre autres, les tiges d'armature utilisées, les broches métalliques et la disposition des armatures en attente;
- la hauteur du mur;
- les moyens de protection contre les chutes et le type d'ancrage qu'utilisent présentement les ferrailleurs.

D'après les commentaires recueillis auprès des principaux entrepreneurs de coffrage (Coffrage Dominic, Coffrage Alliance, Formco), le coffrage-outil est peu utilisé au Québec. L'ensemble des travaux de coffrage de mur au Québec est effectué avec le coffrage conventionnel. De façon générale, la fausse charpente du coffrage et/ou les armatures verticale et horizontale (transversale) fournissent un point d'appui et un point d'ancrage au ferrailleur. La fausse charpente métallique d'un coffrage-outil constitue un bon ancrage pour le ferrailleur. Par contre, avec un coffrage conventionnel, le ferrailleur utilise une tige d'armature verticale qu'il attache avec des broches métalliques n° 16 à une série de paires de clous fixés en X à la paroi coffrante à intervalles réguliers sur toute la hauteur de la tige d'armature verticale. Il est préférable d'utiliser, lorsque c'est possible, comme fond de clouage, un montant de 4 x 4 pour des clous en X auquel le ferrailleur attache aussi le haut de la tige d'armature verticale avec deux broches métalliques n° 16 passées par-dessus de la paroi coffrante.

Nous nous sommes aussi rendus compte que la vérification de la résistance de l'ancrage à même les barres d'armature du système d'arrêt de chute du ferrailleur par les méthodes classiques d'analyse de structures ou des programmes d'éléments finis est complexe puisqu'il y a trop de paramètres à prendre en compte pour modéliser correctement le système d'arrêt de chute et l'ancrage. Dans ce contexte, la méthode la plus simple et la plus rapide consiste à effectuer des essais dynamiques de chute in situ pour vérifier la résistance de l'ancrage. Cependant, avec les contraintes de production et de sécurité pour les travailleurs, cette démarche n'était pas appropriée. Dès lors, nous avons décidé d'effectuer les essais sur un coffrage et un ferrailage de mur reconstitués dans un environnement intérieur.

En tenant compte de la nature destructive et des coûts élevés des essais dynamiques de chute, nous avons décidé d'effectuer le nombre minimal d'essais nécessaires, qui, combinés avec l'expérience acquise lors de plus de 200 essais dynamiques de chute antérieurs au Laboratoire de structures de l'École Polytechnique (Corbeil, 1995), nous permettaient de valider ou d'infirmer la solidité de l'ancrage. Cette approche a déjà été utilisée dans la validation d'un système d'attache pour les afficheurs de la compagnie Médiacom (Lan et Arteau, 1994) et dans le développement et la validation d'une méthode d'évaluation des garde-corps fabriqués et installés à pied d'œuvre sur les chantiers (Lan et Arteau, 2000).

5. MÉTHODE DE CALCUL AUX ÉTATS-LIMITES

Pour le calcul des charpentes, la méthode de calcul aux états-limites est maintenant couramment utilisée au Canada ainsi que dans plusieurs pays du monde. La philosophie de cette méthode se résume ainsi : une charpente temporaire ou permanente doit satisfaire aux deux exigences fondamentales suivantes :

- 1) ne pas s'effondrer sous les charges pour lesquelles elle a été conçue (exigence de résistance);
- 2) avoir une bonne tenue en service (exigence de comportement ou de performance).

À partir de ces deux exigences, deux états-limites sont définis : les états-limites ultimes et les états-limites d'utilisation. Vérifier ou concevoir une charpente suivant la méthode de calcul aux états limites revient à vérifier les états limites ultimes (rupture) et les états limites de service (utilisation) de la charpente. L'article 4.1.3.1 du Code national du bâtiment du Canada (CNBC) (CNBC, 1995) définit un état limite comme un point auquel une structure cesse de remplir la fonction pour laquelle elle a été conçue. Les états-limites ultimes mettent en cause la sécurité et concernent le dépassement de la résistance de la charpente aux charges, le renversement, le glissement, la rupture et la fatigue. L'état limite ultime correspond à la ruine (rupture) ou à la défaillance de la structure. C'est donc une exigence de résistance. Les états-limites d'utilisation se rapportent à l'usage prévu de la charpente et concernent les flèches, les vibrations, la déformation permanente et la fissuration. C'est donc une exigence de performance. Les états-limites d'utilisation sont vérifiés avec les charges de service, alors que les états-limites ultimes sont vérifiés avec les charges pondérées. Les charges de service sont les charges réelles qui sollicitent la charpente. Elles sont dénotées et définies par le CNBC de la façon suivante :

- D : charge permanente. La charge permanente spécifiée pour un élément structural comprend : a) le poids propre de l'élément; b) le poids de tous les matériaux de construction incorporés au bâtiment et destinés à être supportés de façon permanente par l'élément; c) le poids des cloisons; d) le poids de l'équipement permanent; et e) les sollicitations de précontrainte;
- E : les surcharges dues aux séismes;
- L : les surcharges dues aux forces statiques et d'inertie résultant de l'usage prévu du bâtiment (y compris les charges dues aux ponts roulants), de la neige, de la glace, de la pluie, des poussées du sol et des pressions hydrostatiques;

- T : les efforts imputables aux dilatations provoquées par les variations de température, au retrait, aux variations hygrométriques, au fluage des matériaux constitutifs, au mouvement résultant du tassement différentiel ou à une combinaison de ceux-ci; et
- W : les surcharges dues au vent spécifiées à la sous-section 4.1.8 du CNB.

Les charges pondérées sont obtenues en multipliant les charges de service par les coefficients de pondération des charges donnés par le CNBC. Vérifier la sécurité d'une charpente, c'est-à-dire les états-limites ultimes de la charpente, revient à vérifier la règle fondamentale du calcul aux états-limites qui stipule que la résistance pondérée de la charpente doit être supérieure ou égale à la sollicitation maximale produite par la combinaison la plus critique des charges pondérées. Mathématiquement, cette règle s'écrit :

$$R_r \geq S_f$$

La résistance pondérée R_r d'une charpente est calculée conformément aux règles des textes suivants :

- CSA-086.1-M94 « Engineering Design in Wood - Limit States Design » pour une charpente en bois;
- CSA-A23.3-94 « Design of Concrete Structures » pour une charpente en béton armé;
- CAN/CSA-S16.1-94 « Règles de calcul aux états-limites des charpentes en acier » pour une charpente en acier.

La sollicitation maximale S_f est calculée à partir des méthodes d'analyse des structures et de la résistance des matériaux en appliquant sur la charpente la combinaison des charges pondérées $\alpha_D D$, $\alpha_L L$, $\alpha_Q Q$ et $\alpha_T T$ qui produit la sollicitation la plus critique dans la charpente.

S_f est donnée par l'équation suivante :

$$S_f = \alpha_D D + \gamma \psi (\alpha_L L + \alpha_W W + \alpha_T T)$$

Les coefficients de charge α sont :

$$\alpha_D = 1,25; \text{ toutefois si la charge permanente s'oppose au renversement, au soulèvement ou à l'inversion de l'effet de la charge, } \alpha_D = 0,85;$$

$$\alpha_L = 1,5;$$

$$\alpha_W = 1,5; \text{ et}$$

$$\alpha_T = 1,25.$$

Le coefficient de simultanéité des charges ψ est égal à :

- 1,0 si une seule des trois charges L, T ou W est en jeu;
- 0,70 si deux des trois charges L, T ou W sont en jeu;
- 0,60 si les trois charges L, T ou W sont en jeu.

La valeur du coefficient du risque γ doit être au moins 1,0 pour tous les bâtiments.

Pour vérifier le bon comportement de la charpente, c'est-à-dire les états-limites d'utilisation, il faut définir les critères de bon comportement en service, tels que les flèches maximales et les déformations admissibles et le bon fonctionnement de la charpente. Cette règle est plus complexe à exprimer mathématiquement.

5.1 Essais dynamiques de résistance et de performance

L'ancrage du système d'arrêt de chute doit rencontrer des exigences de résistance et de performance. Pour appliquer les concepts de la méthode de calcul aux états limites au système d'arrêt de chute, deux types d'essais sont définis: les essais dynamiques de résistance et les essais dynamiques de performance.

Les essais dynamiques de résistance simulent les états limites ultimes calculés avec les charges pondérées dans la méthode de calcul aux états limites. Ils sont donc effectués avec une masse rigide et compacte à laquelle un lien d'assujettissement d'essai fait d'un câble d'acier est attaché afin de maximiser les forces d'impact dans le système d'arrêt de chute pour simuler la rupture. Les essais dynamiques de performance simulent les états limites d'utilisation calculés avec les charges réelles dans la méthode de calcul aux états limites. Ils sont donc effectués en reproduisant d'aussi près que possible les conditions réelles d'utilisation. Pour ce faire, ils sont effectués avec le système d'arrêt de chute qu'utilisera le ferrailleur. Seul l'humain est remplacé par un torse rigide en bois. La distance totale de chute est la principale mesure effectuée pour vérifier le bon comportement du système d'arrêt de chute. En effectuant les essais dynamiques de résistance et de performance, nous appliquons expérimentalement les concepts de la méthode de calcul aux états limites du CNBC.

5.2 Exigences et critères d'observation pour les essais de résistance

Les essais de résistance visent à générer des forces maximales dans le système d'arrêt de chute. À cette fin, une masse rigide en plomb de 100 kg est utilisée avec un câble d'acier de 3/8 pouce de diamètre comme lien de retenue. Ainsi donc, lors des essais dynamiques de résistance, le système d'arrêt de chute doit rencontrer les exigences suivantes :

- Aucune interaction dangereuse des composantes;
- Aucune rupture (résistance);
- Pas d'arrachement ou début d'arrachement des ancrages;
- Pas de rupture ou bris ou amorce de rupture/bris d'aucune composante des ancrages;
- Déformation plastique permise, mais en aucun cas cette déformation plastique ne doit causer l'abandon de la charge ou donner une distance totale de chute qui causerait un risque de frapper le sol ou autres matériaux emmagasinés sur le sol.

Les observations et mesures à effectuer sont :

- Observation du mode de rupture éventuelle.

5.3 Exigences et critères d'observation pour les essais de performance

Les essais de performance visent à tester le système aussi prêt que possible du système réel. À cette fin, les essais sont réalisés avec le système d'arrêt de chute que portera le ferrailleur; seul, un torse rigide en bois de 100 kg remplace le corps humain. Ainsi donc, lors des essais dynamiques de performance, le système d'arrêt de chute doit rencontrer les exigences suivantes :

- Aucune interaction dangereuse des composantes;
- Aucune rupture (performance);
- Pas d'arrachement ou début d'arrachement des ancrages;
- Pas de rupture ou bris ou amorce de rupture/bris d'aucune composante des ancrages;
- Déformation plastique permise, mais en aucun cas cette déformation plastique ne doit causer l'abandon de la charge ou donner une distance totale de chute qui causerait un risque de frapper le sol ou autres matériaux emmagasinés sur le sol.

Les observations et mesures à effectuer sont :

- Mesure du déplacement de la masse (déformation du système ou flèche);
- Observation du comportement général du système d'arrêt de chute.

En principe, l'essai de performance est réalisé en premier lieu pour éviter d'endommager la structure in situ. Si la structure est trop endommagée, elle sera réparée pour s'assurer que l'essai de résistance sera réalisé sous les mêmes conditions expérimentales que l'essai de performance.

6. PROTOCOLE D'ESSAIS

À la lumière de la définition des essais dynamiques de résistance et de performance, le protocole d'essais qui décrit les essais à effectuer pour valider la résistance du point d'ancrage du système d'arrêt de chute du ferrailleur a été utilisé. Peu importe le harnais, que l'enrouleur dérouleur ou la longe avec l'absorbeur d'énergie soit retenu lors des essais avec les ferrailleurs, les deux génèrent une force maximale d'arrêt de 4 kN. Puisque la longe produit la hauteur de chute libre la plus grande, elle a été utilisée pour les essais dynamiques de performance. À cette fin, l'ÉTS a recommandé d'effectuer les essais avec le modèle de harnais et de longues suivants :

- Harnais de Classe ADP, modèle Project 220, de la compagnie "Sécurité Landry Inc.", conforme à la norme CAN/CSA Z259.10-M90 (R1998) «Harnais de sécurité (Full Body Harnesses)».
- Longes avec absorbeur d'énergie intégré, modèle EZ-Stop II – 1220048C, de 5' (1.52 m) de longueur de la compagnie "DBI Sala", conforme à la norme CAN/CSA-Z259.11-M92 (R1998) «*Absorbeurs d'énergie pour dispositifs antichutes (Shock Absorbers for Personal Fall Arrest Systems)*».

D'après l'ÉTS, ce harnais est le plus prometteur; il possède l'ensemble des caractéristiques requises pour les tâches des ferrailleurs et il y avait de fortes chances qu'il soit le harnais le plus populaire auprès des ferrailleurs.

Tableau 1 : Protocole d'essais – Essais dynamiques de performance

Essais dynamiques de performance				
Essais	Système d'arrêt de chute et conditions de chute	Point d'ancrage	Paramètres à mesurer	Critères d'essai et observations
1	<ul style="list-style-type: none"> • Système d'arrêt de chute du ferrailleur. Pour nos essais : 1) Harnais de Classe AP, modèle Project 220, de la compagnie "Sécurité Landry Inc." conforme à la norme CAN/CSA Z259.10-M90 (R1998). 2) Longes avec absorbeur d'énergie intégré, modèle EZ-Stop II – 1220048C, de 5' (1.52 m) de longueur de la compagnie "DBI Sala" conforme à la norme CAN/CSA-Z259.11-M92 (R1998). • Masse qui chute : Torse de bois de 100 kg ; • Hauteur de chute libre H = 2 fois la longueur de la longe L (H = 2L). <p>Note : Nous testons la longe puisqu'elle donne la plus grande hauteur de chute libre (H = 2L)</p>	Barre d'armature verticale, lits arrières.	<ul style="list-style-type: none"> • Déplacement de la masse ; • Déformation ou glissement de la barre ; • Distance totale de chute. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aucune rupture ou amorce de rupture; • Pas d'arrachement ou début d'arrachement des ancrages; • Pas de rupture ou bris, ou amorce de rupture/bris d'aucune composante des ancrages; • Déformation plastique permise, mais en aucun cas abandon de la charge; • Déformation plastique permise et une distance totale de chute telle que le ferrailleur ne heurte pas le sol ou autre objet emmagasiné sur le sol ; • Observation du comportement général du système d'arrêt de chute.
2	Idem	Barre d'armature horizontale, lits avant.	Idem	Idem
3	Idem	Barre d'armature verticale, lits avant (cas le plus critique).	Idem	Idem

Tableau 2 : Protocole d'essais – Essais dynamiques de résistance

Essais dynamiques de résistance				
Essais	Système d'arrêt de chute et conditions de chute	Point d'ancrage	Paramètres à mesurer	Critères d'essai et observations
1	<p>Un cordon d'assujettissement en acier, équipé de cosses et d'épissures à œil maintenues en place par des bagues serties. Le cordon doit être en acier inoxydable de type 302, de type câble d'aéronef 7 x 19, de 9,5 mm (0,37 pouce) de diamètre conforme à la norme CAN/CSA-Z259.1-95 « <i>Ceintures de sécurité et cordons d'assujettissement (Safety Belts and Lanyards)</i> ». Norme nationale du Canada. Canadian Standards Association, Rexdale.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sa longueur doit permettre une chute libre de 2L, où L = longueur de la longe. • Masse qui chute : Masse rigide de plomb de 100 kg; • Hauteur de chute libre H = 2 fois la longueur de la longe (H = 2L). 	Barre d'armature verticale, lits arrières.	<ul style="list-style-type: none"> • Déplacement de la masse ; • Déformation ou glissement de la barre ; • Distance totale de chute. <p>Note : Ces paramètres sont mesurés si possibles.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Aucune rupture ou amorce de rupture; • Pas d'arrachement ou début d'arrachement des ancrages; • Pas de rupture ou bris, ou amorce de rupture/bris d'aucune composante des ancrages; • Déformation plastique permise, mais en aucun cas abandon de la charge; • Déformation plastique permise et une distance totale de chute telle que le ferrailleur ne heurte pas le sol ou autre objet emmagasiné sur le sol ; • Observation du comportement général du système d'arrêt d chute.
2	Idem	Barre d'armature horizontale, lits avant.	Idem	Idem
3	Idem	Barre d'armature verticale, lits avant (cas le plus critique).	Idem	Idem

7. MONTAGE D'ESSAIS

Pour effectuer les essais, une section de ferrailage typique d'environ 9 m de longueur par 4.5 m de hauteur et 250 mm de profondeur a été reconstituée dans les locaux du Centre de Formation des Métiers de l'Acier (CFMA) (Figure 2). Le mur comportait 2 lits verticaux et horizontaux d'armature 15M. L'espacement des barres verticales était de 300 mm tandis que celui des barres horizontales était de 250 mm centre en centre (Figure 3). Le mur a été reconstitué conformément aux règles de bonne pratique quant à la position et au nombre de ligatures avec des broches # 16 usuelles liant les barres horizontale et verticale comme dans un chantier. Aucun soin particulier n'a été apporté lors du ferrailage pour assurer la représentativité et la reproductibilité de l'ouvrage.

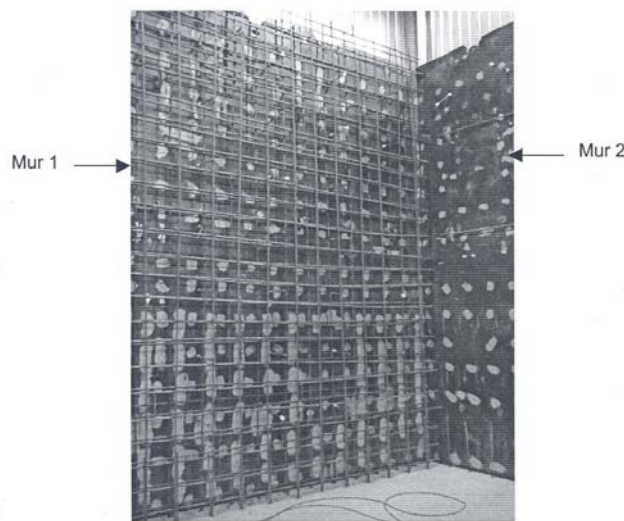


Figure 2 : Mur reconstitué, en forme de L

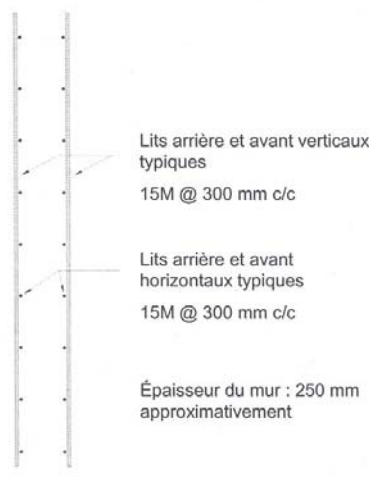


Figure 3 : Ferrailage type

Pour les essais, un échafaudage muni d'un treuil a été érigé à proximité du point d'ancrage. Le treuil permettait de hisser la masse d'essai à la hauteur de chute libre désirée. La masse était attachée au treuil par l'entremise d'un anneau installé dans un dispositif de largage à bascule. Une simple tension vers le bas sur une corde fixée au largueur suffisait à enclencher à distance la chute de la masse (Figure 4).



Figure 4 : Treuil pour le hissage des masses

Une cellule de charge était placée entre la masse à larguer et la longe reliant cette masse à son point d'ancrage pour mesurer la force maximale d'arrêt dans la longe (Figure 5). Un potentiomètre à corde, installé du sol à la base du torse permettait de mesurer la distance verticale parcourue lors de la chute jusqu'à l'arrêt. Les données étaient enregistrées à une fréquence de 1000 lectures/sec, tout au long de la chute.



Figure 5 : Cellule de charge

Trois points d'ancrage du système d'arrêt de chute à même les barres d'armatures ont été déterminés par l'IRSST sur le mur reconstitué (Figure 6). Ces points d'ancrage sont représentatifs des pratiques usuelles des ferrailleurs et ont été corroborés par les professeurs des métiers de l'acier du CFMA. Le premier point d'ancrage, cas A, était situé sur la barre verticale des lits arrières du mur de ferrailage. Le deuxième point d'ancrage, cas B, était situé sur une barre horizontale des lits avant du mur. Le troisième point d'ancrage, cas C, était situé sur une barre verticale des lits avants. Compte tenu de la configuration du mur d'essais avec les lits verticaux à l'extérieur et les lits horizontaux à l'intérieur, les points d'ancrage A et B correspondent aux alternatives privilégiées par les ferrailleurs, soit de s'attacher sur les barres situées vers l'arrière. Les ferrailleurs disent qu'en général, par habitude, ils renforcent toujours le point d'attache de leurs liens avec des broches supplémentaires. Le point d'ancrage C simule le cas le plus défavorable, associé au choix d'un travailleur inexpérimenté ou distrait. Les points d'ancrage A, B et C ont été choisis chacun dans les tiers gauche, central et droit du mur dans la partie supérieure afin de maximiser la hauteur de chute.

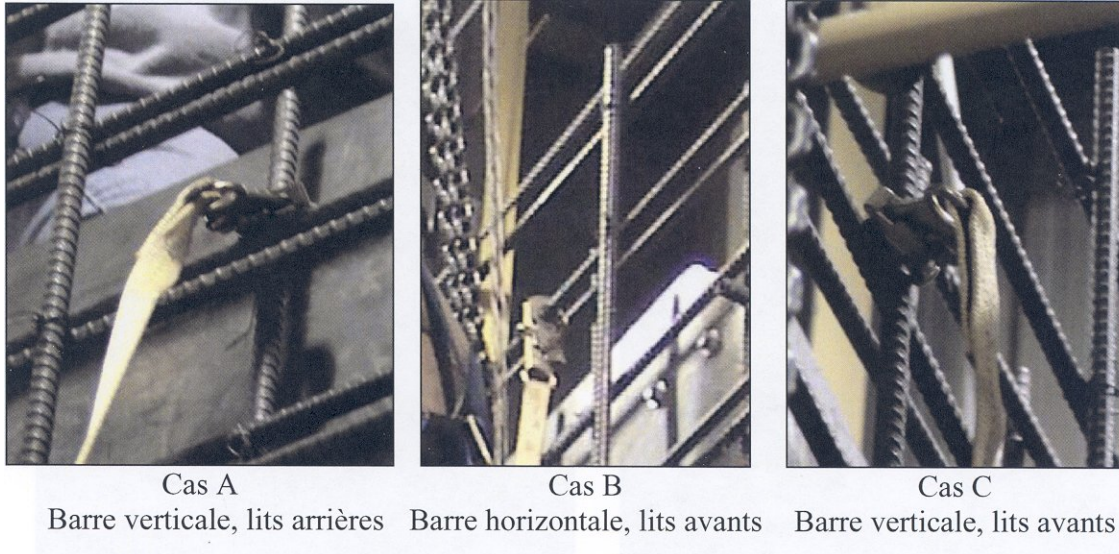


Figure 6 : Trois points d'ancrages possibles pour la longe

8. DESCRIPTION DES ESSAIS

Tel qu'indiqué au protocole d'essais, des essais dynamiques de chute de performance et de résistance ont été réalisés.

8.1 Essais de performance

Les essais de performance visent à simuler les états limites d'utilisation et se doivent de recréer le plus fidèlement possible les conditions réelles prévalant lors d'une chute. Pour rappel, ils sont réalisés en larguant un torse de bois de 100 kg, conforme à la norme CAN/CSA 10-M90 (R1998) «Harnais de sécurité». Les dimensions du torse correspondent à celles d'un travailleur de stature moyenne (Figure 7). Le torse est muni d'un harnais de classe AP, modèle Project 220 de la compagnie « Sécurité Landry » et d'une longe avec absorbeur d'énergie de la compagnie « DBI Sala, modèle EZ-Stop II – 1220048C, de 5' de longueur (1.52 m) ».



Torse de bois et plomb de 100 kg et harnais classe AP– Vue dorsale



Torse de bois et plomb de 100 kg et harnais classe AP– Vue sternale

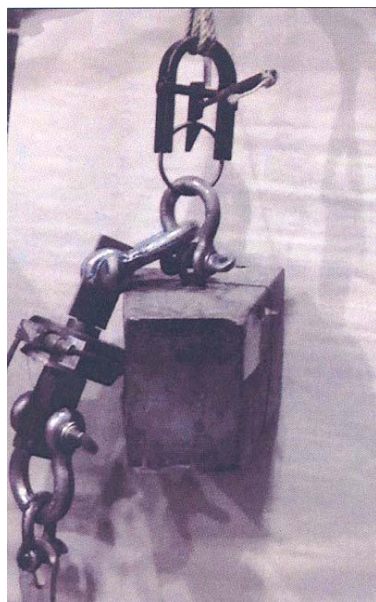


Longe avec absorbeur d'énergie de la compagnie «DBI Sala, modèle EZ-Stop II – 1220048C, 1,52 m de long

Figure 7 : Torse de bois de 100 kg et longe avec absorbeur d'énergie

8.2 Essais de résistance

Les essais de résistance visent à simuler les états limites ultimes. Pour rappel, ils sont réalisés en larguant une masse de plomb de 100 kg reliée au point d'ancrage par une longe faite d'un câble d'acier de 3/8 pouce de diamètre et 1,5 m de longueur (Figure 8). De cette façon, l'impact est considérablement augmenté par rapport au cas précédent, car il n'y a aucun mécanisme permettant de dissiper l'énergie de la chute.



Masse de plomb de 100 kg utilisée pour les essais de résistance avec cellule de charge et largeur



Longe faite d'un câble d'acier de 3/8 pouce de diamètre et 1,5 m de longueur

Figure 8 : Masse de plomb de 100 kg et longe d'acier de 3/8" de diamètre utilisées pour les essais de résistance

8.3 Réalisation des essais

Les essais dynamiques de performance et de résistance ont été réalisés en suivant la même procédure de largage, décrite ci-après, et illustrée à la Figure 9:

1. Hissage partiel de la masse à l'aide d'un treuil et fixation de la longe au point d'ancrage désigné ;
2. Détermination du niveau de référence (position basse de la masse produisant une légère tension dans la longe);
3. Hissage de la masse à une hauteur d'au moins 1,8 m au-dessus du niveau de référence et mesure de la distance de chute disponible;
4. Largage de la masse et début simultané de l'acquisition des données ;
5. Mesure du niveau final de la masse, de la distance de glissement du point d'ancrage et relevé des observations visuelles.

Les essais de performance et de résistance ont été effectués exactement au même point d'ancrage (Cas A, B et C tels que décrits précédemment). Les essais de performance ont été réalisés en premier pour éviter d'endommager le mur, dans l'ordre A à C à partir du tiers gauche vers le tiers droit du mur, suivis des essais de résistance dans l'ordre inverse C à A. Après chaque essai, l'échafaudage était déplacé au prochain tiers du mur pour l'essai suivant. Il est à noter que

lorsque requis, les zones des points d'ancrages endommagés lors d'un essai étaient réparées avant d'effectuer le prochain essai. Ceci assurait les mêmes conditions expérimentales pour chaque essai respectivement.

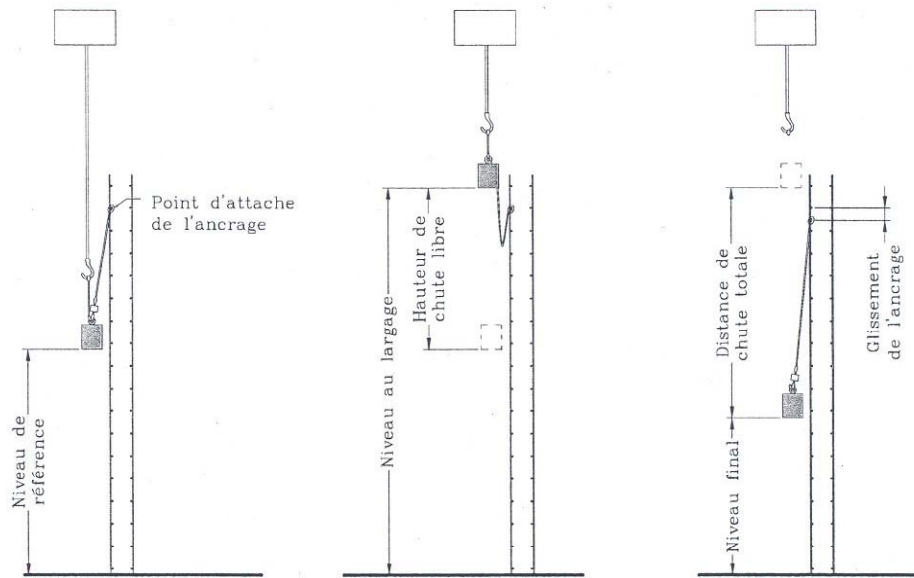


Figure 9 : Paramètres de mesure et de référence

9. RÉSULTATS D'ESSAIS

Pour chaque type d'essai, les paramètres d'essai, les distances mesurées manuellement, avant et après essais, ainsi que les valeurs maximales de charge et de distance mesurées de façon électronique ont été regroupés dans un tableau. Les termes utilisés pour les paramètres de mesure se réfèrent à la Figure 9. Les observations faites sur place, relatives aux bris d'équipements ou autres sont aussi indiquées. Les photos illustrent les essais et certaines des observations effectuées. La progression dans le temps de la force obtenue sur la cellule de charge et des déplacements mesurés sur le potentiomètre à corde est également indiquée. Il est à noter que les courbes de charges et de déplacements ont été insérées dans un même graphique afin de permettre une meilleure compréhension des forces, selon la progression de la chute.

9.1 Résultats des essais de performance

Le Tableau 3 présente les principaux paramètres d'essais et les résultats obtenus pour les trois essais de performance. La figure 10 montre une vue générale de la position du torse de bois au largage et à l'arrêt de la chute. La Figure 11 montre la déformation de l'absorbeur d'énergie, après essai. La Figure 12 illustre les courbes de la force et du déplacement en fonction du temps.

Tableau 3 : Essais dynamiques de performance

Essais de performance – États limites d'utilisation			
Systeme d'arrêt de chute	Torse de bois, 100 kg Harnais de classe AP, Project 220, Sécurité Landry Longe et absorbeur d'énergie DBI Sala, EZ-Stop II, 05062704/1220048C		
Numéro essai	Performance A	Performance B	Performance C
Numéro du harnais	H160989	H160978	H160987
Point d'ancrage Orientation de la barre Position	Verticale Externe, Arrière	Horizontale Interne, Avant	Verticale Externe, Avant
Mesures manuelles pré-essais			
Longueur initiale de la longe	1524 mm	1535 mm	1550 mm
Niveau de référence	2255 mm	2170 mm	2025 mm
Niveau de largage	4155 mm	4215 mm	3825 mm
Hauteur de chute libre	1900 mm	2045 mm	1800 mm
Mesures manuelles post-essais			
Longueur finale de la longe	2400 mm	2405 mm	2580 mm
Glissement de l'ancrage	14 mm	152 mm	5 mm
Niveau final	1030 mm	620 mm	575 mm
Distance totale de chute	3125 mm	3595 mm	3250 mm
Mesures électroniques			
Force maximale d'arrêt P_{max}	3.698 kN	3.149 kN	2.950 kN
Distance parcourue à P_{max}	2260 mm	2610 mm	2365 mm
Distance maximale	3183 mm	3636 mm	3247 mm
Distance finale	3134 mm	3565 mm	3194 mm



Largage de torse de bois de 100 kg



Arrêt du torse de bois de 100 kg

Figure 10 : Vue typique d'un essai de performance, largage et arrêt du torse de bois de 100 kg



Figure 11 : Déformation de l'absorbeur d'énergie, après essai

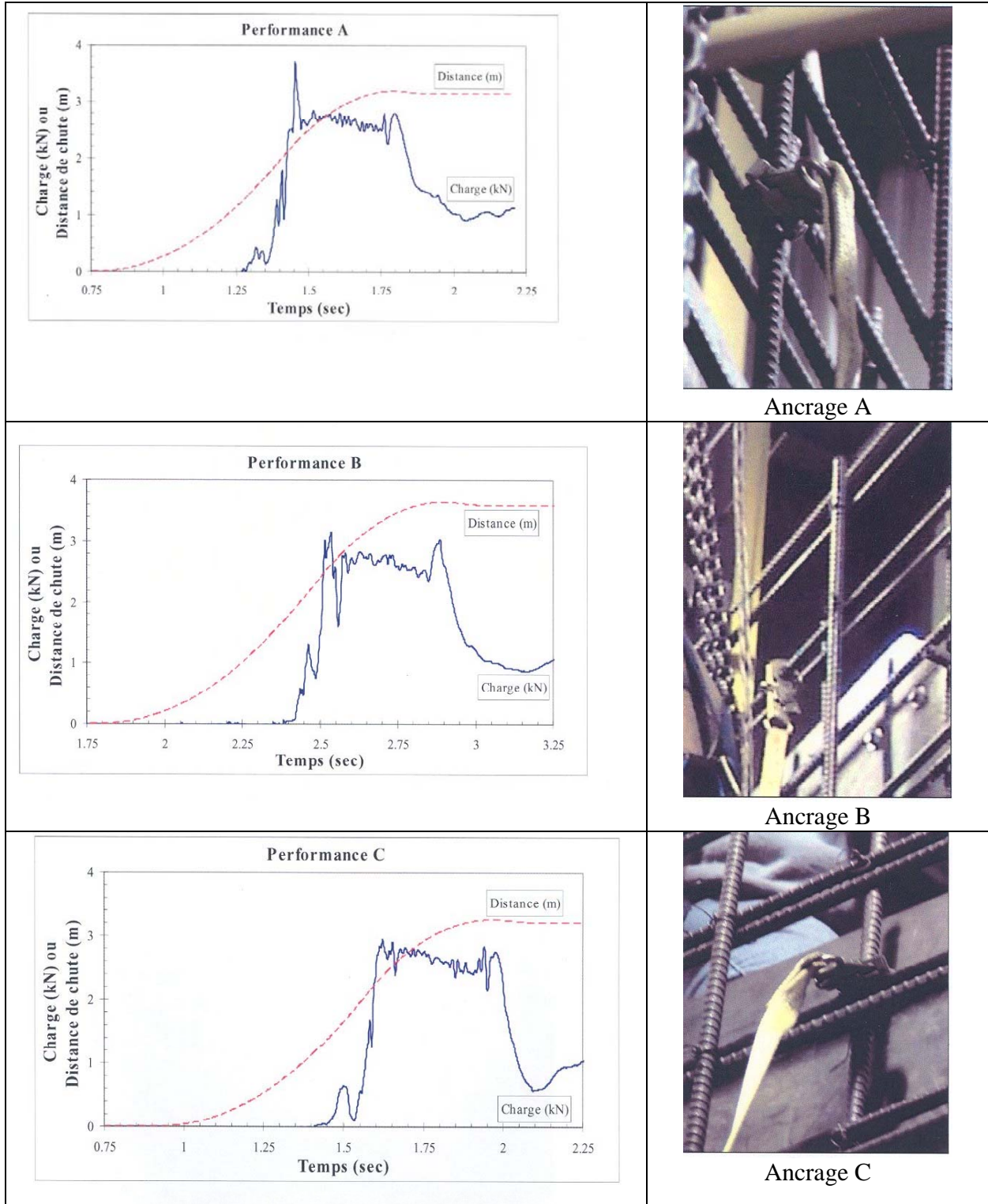


Figure 12 : Graphiques de la force et des déplacements enregistrés lors des essais de performance

Dans l'ensemble des essais de performance, nous avons observé un arrachement partiel ou complet des sangles dorsales des harnais, par déchirure du support dorsal à la jonction des sangles (Figure 13). L'étude de cheminement des efforts au travers du harnais permettrait d'améliorer la conception dans cette zone. Plus particulièrement, lors de l'essai de performance à l'ancrage B, nous avons constaté après essai que la ceinture de cuir du harnais était mal installée (pas insérée dans la boucle d'acier), ce qui a causé l'arrachement complet des sangles dorsales (et non partiel, comme dans les autres cas).



Figure 13 : Vue typique d'un arrachement des sangles au support dorsal du harnais

Lors de l'essai de performance B, la barre de support de l'ancrage (barre horizontale arrière) a subi une déformation plastique par flexion sur une longueur sur environ 1 500 mm (glissement sans bris des ligatures) (Figure 14).

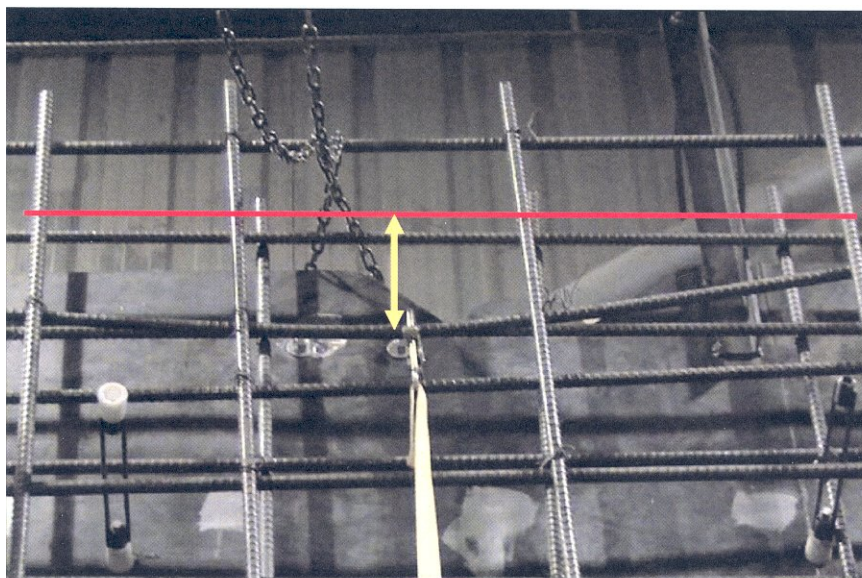


Figure 14 : Déformation de la barre de support observée à l'essai de performance B

Finalement, lors de l'essai de performance C, le coincement du mousqueton du harnais par butée contre l'armature a stoppé la chute du torse, provoquant une déformation plastique de la pièce, comme l'illustre la Figure 15.

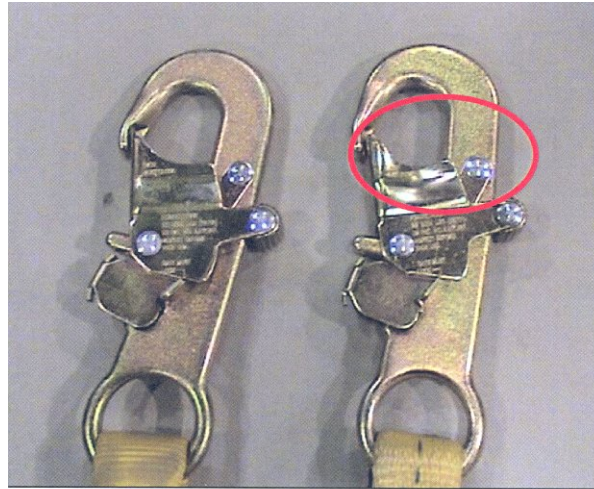


Figure 15 : Déformation du mousqueton observée à l'essai de performance C

9.2 Résultats des essais de résistance

Les principaux paramètres d'essais et résultats obtenus pour les trois essais de résistance sont présentés au Tableau 4. Les courbes de la force et du déplacement sont illustrées à la Figure 16. En raison du bris imprévu des mousquetons des longes d'acier lors des essais B et C, l'essai de résistance A (effectué le dernier) a été réalisé avec l'une des longes précédentes, en remplaçant le mousqueton abîmé par un mousqueton de même modèle fixé au câble à l'aide d'une manille (Figure 17). L'extrémité modifiée a été installée du côté de la cellule de charge afin que cette modification n'affecte pas la validité de l'essai. Pour l'essai de résistance A, nous avons observé une flexion importante de la barre de support de l'ancrage (verticale, arrière) ainsi que l'entraînement dans la chute de la barre horizontale située sur la face avant du mur (Figure 18). Le linguet de sécurité du mousqueton s'est également déformé latéralement (Figure 19).

Tableau 4 : Essais dynamiques de résistance

Essais de résistance – États limites ultimes			
Système d'arrêt de chute	Masse de 100 kg Longes de câble d'acier 3/8'' de diamètre, 1550 mm de longueur Cellule de charge 10 000 lbs Potentiomètre à corde de 350''		
Numéro essai	Résistance A	Résistance B	Résistance C
Point d'ancrage Orientation de la barre Position	Verticale Externe, Arrière	Horizontale Interne, Avant	Verticale Externe, Avant
Mesures manuelles pré-essais			
Niveau de référence	2455 mm	2405 mm	2165 mm
Niveau au largage	4255 mm	4205 mm	3965 mm
Hauteur de chute libre	1800 mm	1800 mm	1800 mm
Mesures manuelles post-essais			
Glissement de l'ancrage	282 mm	684 mm	Non définie > 2000 mm
Niveau final	2110 mm	1720 approx.	0 mm
Distance totale de chute	2145 mm	2485 mm approx.	3965 mm
Mesures électroniques			
Force maximale d'arrêt P_{max}	11.31 kN	6.72 kN	---
Distance parcourue à P_{max}	2057 mm	2270 mm	---
Distance maximale	2146 mm	2535 mm	---
Distance finale	2118 mm	2496 mm	---

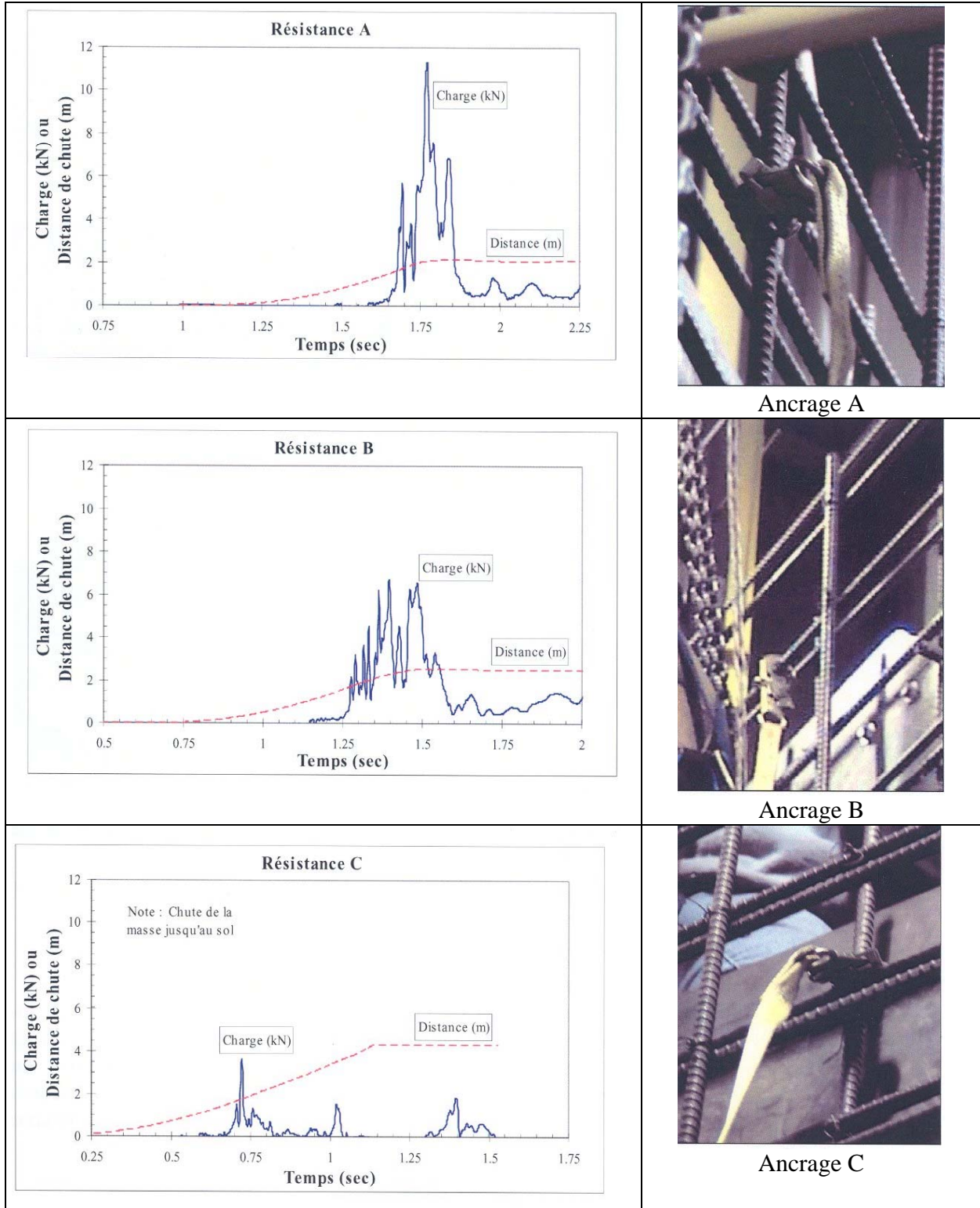


Figure 16 : Graphiques de la force et des déplacements enregistrés lors des essais de résistance

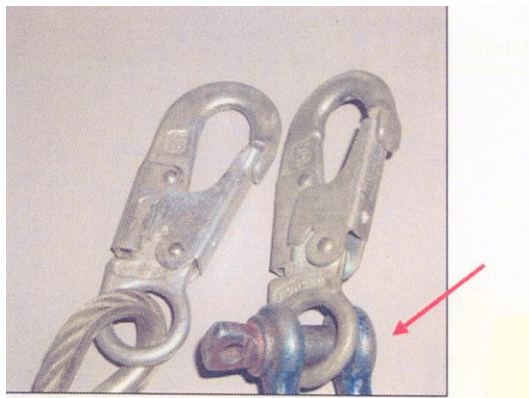


Figure 17 : Mode d'attache du mouseton au câble (essais de résistance A)

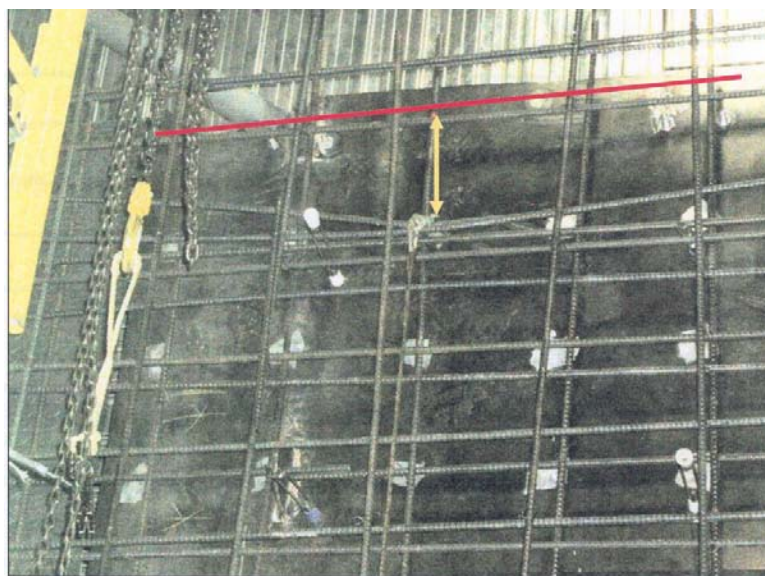


Figure 18 : Déformation de l'armature observée lors de l'essai de résistance A



Figure 19 : Déformation observée du mouseton (essai de résistance A)

Lors de l'essai de résistance B, nous avons observé une plastification par flexion des barres longitudinales sur 4 niveaux. Comme nous le constatons à la Figure 20, les ligatures de la barre d'attache ont cédé sur une longueur approximative de 2 200 mm. Nous avons également noté le bris du linguet de sécurité du mousqueton du câble faisant en sorte que le câble était retenu de façon précaire, et prenant appui sur deux barres.

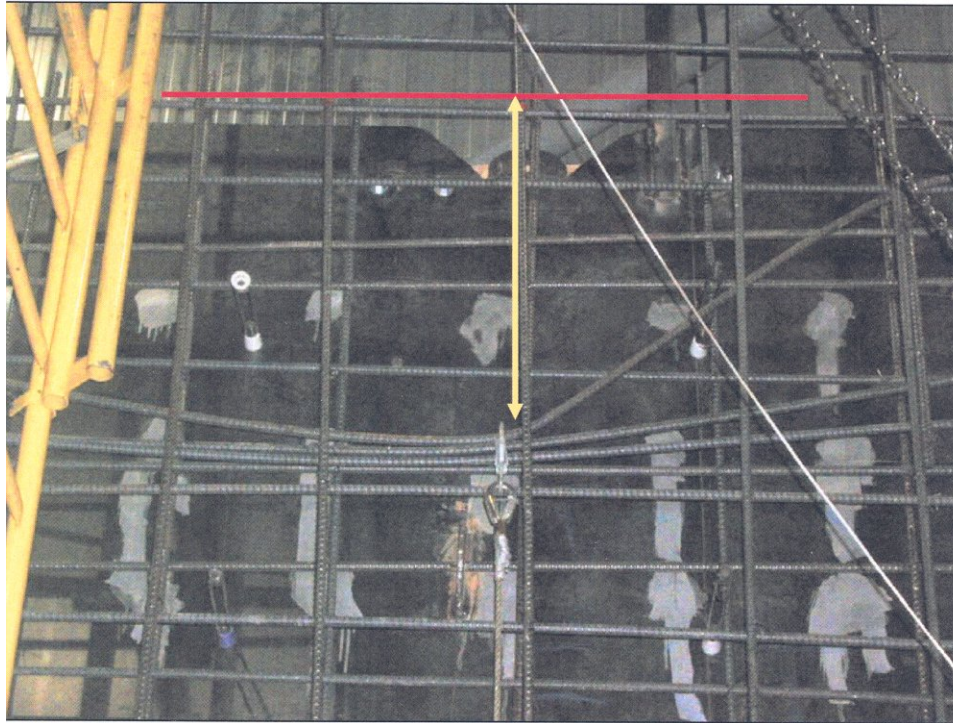


Figure 20 : Déformation de l'armature observée lors de l'essai de résistance B

Lors de l'essai de résistance C, la masse a chuté jusqu'au sol en raison de la rupture des ligatures du mur de ferrailage, tout au long de la descente (voir Figure 21). La force maximale enregistrée était de 3,65 kN, ce qui est inférieure à 4 kN permis pour l'absorbeur d'énergie. Dans cette configuration, la descente d'un travailleur n'aurait donc pas été empêchée. Ce mode de rupture n'a pas été observé lors de l'essai de performance C en raison du coincement du mousqueton.



Figure 21 : Chute complète de la masse d'essai lors de l'essai de résistance C

10. DISCUSSION

Trois essais dynamiques de performance et trois essais dynamiques de résistance ont été réalisés pour valider la résistance du point d'ancrage de la longe du ferrailleur à même les barres d'armature du mur de coffrage. Pour les trois essais de performance A, B et C, pour des hauteurs de chute libres de 1900, 2045 et 1800 mm, les forces maximales d'arrêt enregistrées dans les longes sont 3,698, 3,595 et 2,950 kN. Les distances totales de chute sont 3 125, 3 595 et 3 250 mm pour les essais A, B et C et en aucun cas le torse de bois de 100 kg n'a heurté le sol. Ces résultats confirment les états de service du système d'arrêt de chute expérimental des ferrailleurs.

Lors de l'essai de performance B, la ceinture de cuir du harnais a été mal installée et ceci a causé l'arrachement complet des sangles dorsales. La complexité du harnais comporte donc de grands risques d'erreur lors de sa mise en place. Lors de l'essai de performance C, le coincement du mousqueton du harnais par butée contre l'armature a causé la déformation plastique de la pièce.

Il serait approprié de vérifier la différence de comportement obtenue avec un plus gros mousqueton couramment utilisé par les ferrailleurs.

Pour les essais de résistance A et B, pour des hauteurs de chute libres de 1800 mm, les forces maximales d'arrêt enregistrées dans les longes sont 11,31, 6,72 kN. Les distances totales de chute sont 2 145 et 2 485 mm pour les essais A et B et en aucun cas la masse de plomb de 100 kg n'a heurté le sol. Pour l'essai C, pour une hauteur de chute libre de 1800 mm, la force maximale d'arrêt dans la longe était de 3,65 kN < 4 kN, mais le résultat de cet essai n'est pas concluant puisque la masse a chuté jusqu'au sol en raison de la rupture des ligatures du mur de ferrailage, tout au long de la descente. La distance totale de chute libre était de 3 965 mm. Ces résultats confirment les états ultimes du système d'arrêt de chute expérimental des ferrailleurs.

11. CONCLUSION

À la lumière de ces résultats, nous pouvons conclure que le point d'ancrage à même les barres d'armature du mur de ferrailage possède la résistance adéquate pour arrêter sécuritairement la chute d'un ferrailleur portant le système d'arrêt de chute fait d'un harnais de classe AP, d'une longe avec un absorbeur d'énergie de classe E4 certifiés CSA. Le mur de ferrailage reconstitué au Centre de formation de l'acier a été érigé suivant les bonnes règles de pratique enseignées dans les écoles de métiers. Les barres d'armature ont été ligaturées à chaque deuxième barre. Les ferrailleurs qui ont participé à l'étude disent que sur un chantier, ils mettent toujours des ligatures supplémentaires aux points d'ancrage où ils accrochent le mousqueton de leurs longes. Nous notons aussi que les forces maximales d'arrêt avec un câble d'acier lors des essais de résistance sont 11,31 et 6,72 kN pour les essais de résistance A et B. Avec les règlements en vigueur qui rendent le port d'un absorbeur d'énergie obligatoire dans un système d'arrêt de chute (S-2.1, r.6), nous pensons que les essais de résistance avec un câble d'acier sont trop sévères. Ceci nous amène à recommander de remplacer le câble d'acier par la longe sans absorbeur d'énergie dans les essais de résistance.

12. RÉFÉRENCES

Arteau, J. et coll. 2008. Choix d'un système d'arrêt de chute et de positionnement pour les poseurs d'acier d'armature (ferrailleurs). Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST), Montréal, 55 p. et appendices.

CAN/CSA-Z259.1-95 « *Ceintures de sécurité et cordons d'assujettissement (Safety Belts and Lanyards)* ». Norme nationale du Canada. Canadian Standards Association, Rexdale (remplacée par CAN/CSA-Z259.1-05).

CAN/CSA Z259.1.05 « *Ceintures de travail et selles pour le maintien en position de travail et pour la limitation du déplacement* ». Norme nationale du Canada. Canadian Standards Association, Mississauga.

CAN/CSA-S16.1-94 - « *Limit States Design of Steel Structures* ». National Standard of Canada. Canadian Standard Association. Rexdale, Ontario.

- CAN/CSA Z259.10-M90 (R1998) «Harnais de sécurité (Full Body Harnesses)». Norme nationale du Canada. Canadian Standards Association. Rexdale (remplacée par CAN/CSA Z259.10-06).
- CAN/CSA Z259.10-06. 2006. «Harnais de sécurité». Norme nationale du Canada. Canadian Standards Association, Mississauga, Ontario.
- CAN/CSA-Z259.11-M92 (R1998) «*Absorbeurs d'énergie pour dispositifs antichutes (Shock Absorbers for Personal Fall Arrest Systems)*». Norme nationale du Canada. Canadian Standards Association, Rexdale (remplacée par CAN/CSA-Z259.11-05).
- CAN/CSA-Z259.11-05. 2005. «*Absorbeurs d'énergie et cordons d'assujettissement*». Norme nationale du Canada. Canadian Standards Association, Mississauga.
- CNBC. 1995. «Code national du bâtiment du Canada». Commission canadienne des codes du bâtiment et de prévention des incendies, Conseil national de recherches du Canada, Ottawa, Ontario.
- Corbeil, J. F. 1995. «Ancrages déformables pour une ligne d'assurance horizontale». Mémoire de Maîtrise ès Sciences Appliquées. Département de génie mécanique. École Polytechnique de Montréal.
- CSA Z259.3-M78. 1978. «Ceintures et courroies de sécurité de monteurs de lignes». Canadian Standards Association. Rexdale.
- Crawford, H. 2000. «Analysis of Tests on Devices Developed for Compliance with Performance Criteria for Fall-Prevention / Fall-Arrest Devices for Use on Wood-Poles whilst Ascending and Descending». Report for the Electricity Association U.K., 21st April 2000. 39 p.
- CSA Z259.1-05. 2005. «Ceintures de travail et selles pour le maintien en position de travail et pour la limitation de déplacement». Canadian Standards Association, Mississauga, Ontario.
- CSA Z259.3-M78 «Ceintures et courroies de sécurité de monteurs de lignes». Canadian Standards Association. Rexdale.
- CSA-086.1-M94 - «*Engineering Design in Wood (Limit States Design)*». Canadian Standard Association. Etobicoke, Ontario.
- CSA-A23.3-94 - «Design of Concrete Structures (Structures Design)». Canadian Standard Association. Rexdale, Ontario.
- S-2.1, r.6. 2001. *Code de sécurité pour les travaux de construction, S-2.1, r.6*. Éditeur officiel du Québec.
- Lan, A, Arteau, J. 1994. «*Système d'attaches pour afficheurs*». Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST), Montréal, 66 p. et appendices.

Lan, A., Arteau, J. 2000. «Développement et validation d'une méthode d'évaluation des garde-corps fabriqués et installés à pied d'œuvre sur les chantiers», projet # 99-030, IRSST.

Oregon OSHA Occupational Safety and Health Division. 2000. "Fall Protection Rebar and Concrete Formwork". Document 440-2824D (7/00), 16 p.