

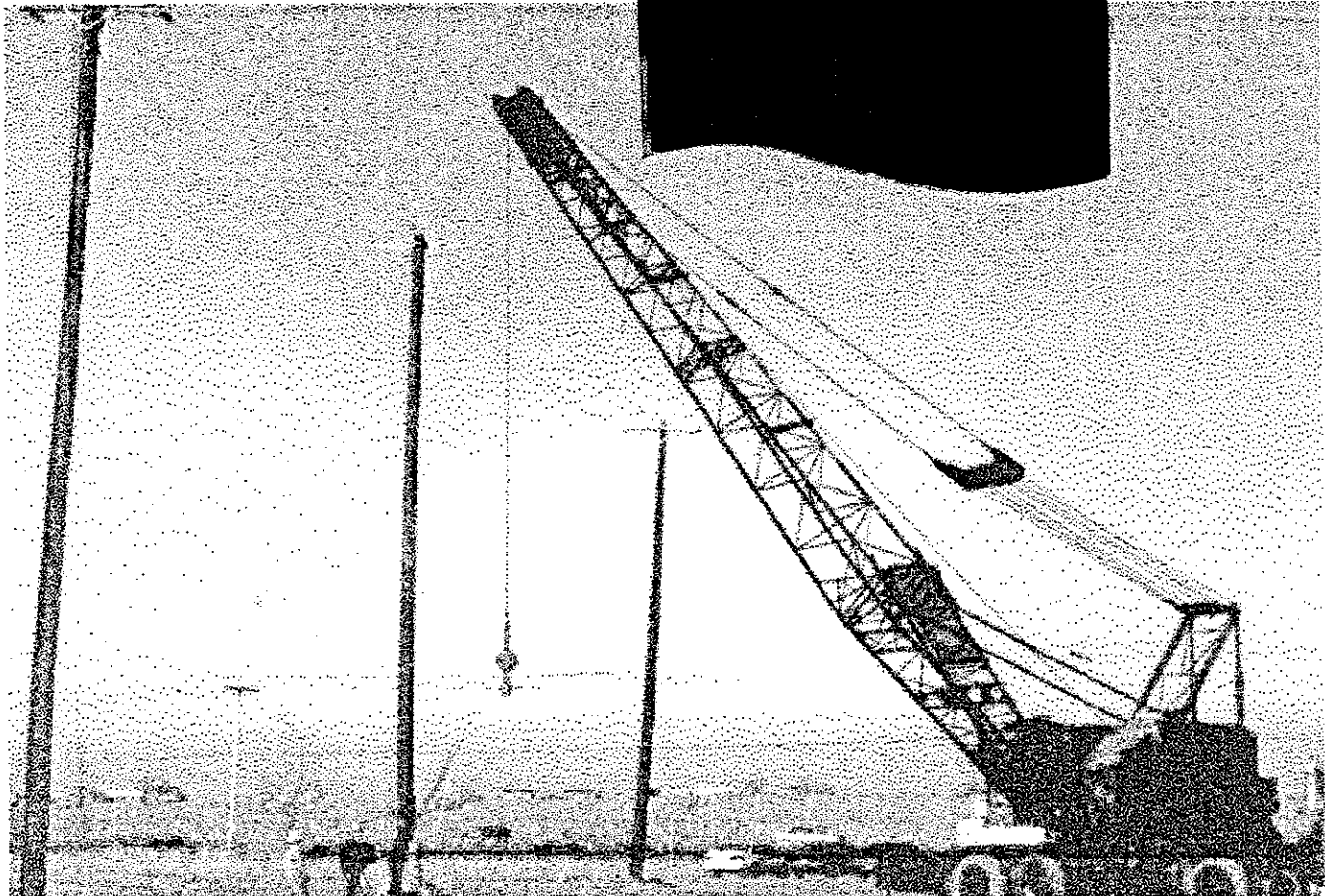
**Expérimentation d'un dispositif
limiteur de portée
pour grues mobiles
et évaluation des distances
aux lignes électriques**

Joseph-Jean Paques

Mai 1995

R-096

RAPPORT



**ÉTUDES ET
RECHERCHES**



IRSST
Institut de recherche
en santé et en sécurité
du travail du Québec

La recherche, pour mieux comprendre

L'Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec (IRSST) est un organisme de recherche scientifique voué à l'identification et à l'élimination à la source des dangers professionnels, et à la réadaptation des travailleurs qui en sont victimes. Financé par la CSST, l'Institut réalise et finance, par subvention ou contrats, des recherches qui visent à réduire les coûts humains et financiers occasionnés par les accidents de travail et les maladies professionnelles.

Pour tout connaître de l'actualité de la recherche menée ou financée par l'IRSST, abonnez-vous gratuitement au magazine *Prévention au travail*, publié conjointement par la CSST et l'Institut.

Les résultats des travaux de l'Institut sont présentés dans une série de publications, disponibles sur demande à la Direction des communications.

Il est possible de se procurer le catalogue des publications de l'Institut et de s'abonner à *Prévention au travail* en écrivant à l'adresse au bas de cette page.

ATTENTION

Cette version numérique vous est offerte à titre d'information seulement. Bien que tout ait été mis en œuvre pour préserver la qualité des documents lors du transfert numérique, il se peut que certains caractères aient été omis, altérés ou effacés. Les données contenues dans les tableaux et graphiques doivent être vérifiées à l'aide de la version papier avant utilisation.

Dépôt légal
Bibliothèque nationale du Québec

IRSST - Direction des communications
505, boul. de Maisonneuve Ouest
Montréal (Québec)
H3A 3C2
Téléphone : (514) 288-1 551
Télécopieur: (514) 288-7636
Site internet : www.irsst.qc.ca
© Institut de recherche en santé
et en sécurité du travail du Québec,

**Expérimentation d'un dispositif
limiteur de portée
pour grues mobiles
et évaluation des distances
aux lignes électriques**

Joseph-Jean Paques et Réal Bourbonnière
Programme sécurité-ingénierie, IRSST

Daniel Imbeau et Sylvie Bergeron
Université du Québec à Trois-Rivières

**ÉTUDES ET
RECHERCHES**

RAPPORT

RÉSUMÉ

En continuation avec le projet de développement d'un limiteur de portée pour grue mobile, cette expérimentation a été faite afin, d'une part, d'évaluer la précision de grutiers d'expérience à juger de la distance séparant des éléments de leur grue d'une ligne électrique et d'autre part, de vérifier l'adaptation de certains paramètres fonctionnels du dispositif limiteur de portée à la façon dont les opérateurs utilisent la grue et au comportement de la grue elle-même.

Deux méthodes d'évaluation des distances ont été comparées, une libre et l'autre imposée. Les résultats montrent que les grutiers sont généralement peu précis lorsqu'ils évaluent à vue d'oeil les distances entre leur grue et une ligne électrique. Par ailleurs, la méthode imposée qui a été évaluée au cours du projet, permet un jugement plus précis lors du repérage de la limite de la zone de danger. Cette méthode est simple et facilement utilisable en conditions réelles d'opération.

La grue, utilisée pour les essais, a été équipée d'un limiteur de portée développé antérieurement et d'une instrumentation informatisée afin d'enregistrer les paramètres représentatifs des multiples essais qui ont été effectués.

L'analyse des enregistrements a permis de démontrer le bon comportement du système grutier-limiteur de portée-grue-ligne. Des recommandations ont été faites sur les dimensions de la came ajustable et l'espacement des interrupteurs de positions, tous deux utilisés par le limiteur de portée.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier Pierre Robitaille de la Compagnie GUAY Inc. qui a fourni grue et terrain d'expérimentation, ainsi que les membres du Comité technique aviseur dont les avis et conseils ont été indispensables au projet : Réal Lefebvre, Robert Cyr, Jean-Marc Thouin, Michel Gagnon, Guy Desjardins, Jocelyn Dupuis, Gérard Bédard et Jos Fasone.

Les auteurs tiennent aussi à remercier Christian Sirard, André Raymond, Paul-André Courtois et Nancy Desfossés pour leur aide, que ce soit durant l'expérimentation elle-même ou pour la lecture des différents textes produits.

	Page
1. INTRODUCTION	1
2. BUT DE LA RECHERCHE	1
3. MÉTHODOLOGIE DES ESSAIS AVEC LA GRUE	2
3.1 Description du site de l'expérimentation et des équipements utilisés	2
3.2 Sujets expérimentaux	3
3.3 Approche des conducteurs	3
3.3.1 Méthode libre et méthode imposée	4
3.3.2 Mouvements d'approches	4
3.3.3 Hauteur du crochet durant l'approche	8
3.3.4 Position du marqueur	8
3.3.5 Essais avec charge	8
3.3.6 Ordre dans lequel les approches ont été effectuées	9
3.3.7 Mesures obtenues lors des approches	10
3.3.8 Essais du LPGMFF en mode semi-automatique	10
3.3.9 Essais du LPGMFF en mode automatique	11
3.3.10 Essais du LPGMFF avec la flèche de 49 mètres	11
4. MÉTHODOLOGIE DES ÉVALUATIONS DE DISTANCES	11
4.1 Évaluation de distance entre objets fixes	11
4.2 Évaluation et mesure de la hauteur des conducteurs	12
5. RÉSULTATS ET DISCUSSION	12
5.1 Mouvements d'approche en marche manuelle	12
5.1.1 Mouvements de rotation en méthode libre	13
5.1.2 Mouvements de descente et de levée de flèche en méthode libre	14
5.1.3 Positionnement du marqueur en méthode imposée	15
5.1.4 Positionnement du centre du crochet par rapport au marqueur pour les mouvements de rotation	16
5.1.5 Positionnement du centre du crochet par rapport au marqueur pour les mouvements de descente de la flèche	17
5.1.6 Effet de la hauteur du crochet sur la précision	18
5.1.7 Effet de la vitesse des essais sur la précision	18
5.2 Évaluation et mesure de distances	18
5.2.1 Évaluation des distances horizontales	18
5.2.2 Évaluation et mesures de la hauteur des conducteurs	19
5.3 Opération en modes semi-automatique et automatique	19
5.3.1 Mode semi-automatique	20
5.3.2 Mode automatique	21

	Page
Figure 1 : Ligne de distribution électrique utilisée pour les expérimentations	3
Figure 2 : Approche en rotation (position a : vers la droite et position b : vers la gauche) ...	5
Figure 3 : Approche en levée de la flèche	5
Figure 4 : Approche en descente de la flèche	6
Figure 5 : Représentation schématique des mouvements d'approche et de l'emplacement des marqueurs	7
Figure 6 : Disposition des cames et des interrupteurs du LPGMFF	10
Figure 7 : Exemple de mouvement de rotation à gauche, en méthode imposée, avec charge .	13
Figure 8 : Positions d'arrêt en rotation par la méthode libre	14
Figure 9 : Positions d'arrêt en descente et en levée par la méthode libre	15
Figure 10 : Précision du positionnement des marqueurs au sol	16
Figure 11 : Précision d'arrêt des mouvements de rotation en méthode imposée	17
Figure 12 : Précision d'arrêt des mouvements de descente en méthode imposée	18
Figure 13 : Évaluation de la hauteur des conducteurs électriques	19
Figure 14 : Exemple de freinage de rotation à gauche en charge, mode auto, flèche de 49 m .	20
Figure 15 : Distance d'arrêt en mode semi-automatique	21
Figure 16 : Distances d'arrêt en mode automatique	22
Figure 17 : Dimensions fonctionnelles recommandées pour le LPGMFF	23

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Description des essais effectués et de leur ordre	9
RÉFÉRENCES	24
ANNEXE	25

1. INTRODUCTION

Chaque année, des accidents graves surviennent lorsque des engins de levage mobiles arrivent trop près ou entrent en contact avec des lignes électriques à haute tension. Au Québec, environ 4 à 5 travailleurs par année sont victimes de ce type d'accident et 2 à 3 en décèdent (réf. 1).

Au Québec, les équipements les plus fréquemment impliqués dans ce type d'accident sont les grues mobiles (25,7 %) et les flèches de camion (32,9 %). En ce qui concerne les grues, la majorité des travailleurs blessés dans ce type d'accident sont les aides au sol dans une proportion de 90 %. Les opérateurs de grue, blessés lors de ces accidents, l'ont été lorsqu'ils ont quitté leur cabine (réf. 2).

Parmi les moyens de protection requis par le Code de sécurité pour les travaux de construction du Québec (réf. 3) et dont le bilan a déjà été effectué dans des publications antérieures (réf. 4 et 5), on peut choisir d'utiliser un dispositif limiteur de course qui empêche la flèche d'une grue, par exemple, de pénétrer dans une zone dangereuse à proximité d'une ligne électrique sous-tension.

A la demande du Comité de révision du Code de sécurité pour les travaux de construction, un projet de recherche a été entrepris et réalisé par des chercheurs de l'Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec. Ce projet visait à développer un limiteur de portée sécuritaire destiné aux grues mobiles à flèche fixe (LPGMFF) et qui soit de manipulation simple. Les essais du dispositif installé sur une grue à titre expérimental ont mis en évidence deux points importants concernant la fiabilité et la sécurité du système (réf. 5).

Tout d'abord, pour être efficace, le LPGMFF doit être ajusté lors de l'installation de la grue et cet ajustement nécessite une évaluation des distances entre des composantes de la grue et la ligne électrique. Cette évaluation de distance, habituellement faite à vue d'oeil par les grutiers, peut présenter des risques d'erreur qui peuvent sérieusement affecter l'efficacité du LPGMFF.

De plus, le LPGMFF doit être adapté parfaitement au comportement de l'opérateur et de la grue lorsque celle-ci est utilisée à proximité d'une ligne électrique. En particulier, l'opérateur ajuste ses commandes selon plusieurs paramètres, tels que la géométrie de la grue (longueur de flèche, par exemple), la charge transportée, l'environnement dans lequel la grue évolue ou les réactions propres de la grue qui varient d'une grue à l'autre. Il est donc important de savoir à quelle vitesse la flèche s'approche des zones dangereuses et quelles sont les distances minimums nécessaires pour obtenir un arrêt sécuritaire initié par le LPGMFF.

2. BUT DE LA RECHERCHE

Cette expérimentation a comporté deux volets principaux. Le premier volet a été effectué afin de comparer la capacité des grutiers d'expérience à évaluer avec précision la distance entre des éléments de leur grue et une ligne électrique, selon qu'ils utilisent leur jugement à vue d'oeil ou selon une méthode d'évaluation imposée.

Le second volet a consisté à étudier le comportement du système grutier-grue-LPGMFF-ligne pour recommander certaines dimensions à donner au LPGMFF afin d'obtenir un arrêt sécuritaire qui tient compte de tous les paramètres importants.

Les recommandations qui en découlent serviront à définir une méthode d'ajustement précise et sécuritaire des dispositifs destinés à limiter la portée d'engins de levage en présence de lignes électriques et à donner des dimensions appropriées au LPGMFF adapté à la grue qui a servi à l'expérimentation.

3. MÉTHODOLOGIE DES ESSAIS AVEC LA GRUE

3.1 Description du site de l'expérimentation et des équipements utilisés

Une grue mobile de 100 tonnes (fabricant : American Crane, modèle : 7510) munie d'une flèche de treillis d'une longueur de 18 m (60 pieds) et d'un câble de levage à 1 brin a été utilisée pour la majorité des essais d'approche de la ligne. Cette grue était fournie par la compagnie Guay Inc. Le LPGMFF y était déjà installé et fonctionnel.

Une flèche de 49 m (160 pieds) a été utilisée pour les derniers essais.

La grue a été équipée d'un ensemble complet de capteurs de positions et d'enregistrement de mesures. Les capteurs ont permis principalement de surveiller tous les mouvements de rotation et de levage de la flèche, d'actionnement des interrupteurs de positions et des mouvement du frein de rotation de la flèche.

C'est ainsi que 436 mouvements de la grue ont été enregistrés puis utilisés pour analyser les 12 paramètres associés à chaque mouvement. Cette instrumentation très élaborée était requise pour faire un suivi très précis des mouvements de la flèche et du fonctionnement du LPGMFF. Les données ainsi recueillies ont fait l'objet d'un traitement informatique, principalement à l'aide des logiciels Lotus 1-2-3 et Excel.

Les principales dimensions de la grue ont été mesurées et des cibles repères ont été fixées à des points stratégiques. Certaines cibles ont servi de point de repère pour des visées au théodolite sur le terrain des essais.

Une ligne typique de distribution électrique de 25 kV, monoterne, à trois conducteurs en nappe horizontale, espacés de 112 cm avec neutre à 75 cm environ, en dessous des conducteurs a été choisie pour les besoins de l'expérimentation. Une section d'une telle ligne composée de trois poteaux espacés de 20 et de 27 m et pour laquelle la flèche du conducteur était de 1 m au maximum a été montée sur le site d'expérimentation tel que décrit à la figure 1. Cette ligne a servi de simulation et donc aucun courant n'était appliqué dans les conducteurs qui ont été raccordés en permanence au potentiel de la terre. La taille et la nature des conducteurs étaient conformes aux normes d'Hydro-Québec pour ce type de ligne de distribution. La localisation exacte des conducteurs a été faite avec le plus grand soin à l'aide d'instruments de mesure très précis (théodolite et faisceau laser).

Le véhicule porteur était placé de façon à ce que l'axe de rotation soit à 15 mètres du centre de la ligne. L'axe du véhicule porteur faisait un angle de 53 degrés avec les conducteurs.

Le site d'expérimentation prêté par la compagnie Guay Inc. est localisé à Sainte-Julie (Québec). Ce site est entièrement dégagé, sans obstacle dans les trajectoires utilisées pour l'expérimentation et de niveau dans toutes les directions. Une portion du site couverte de poussière de pierre a été utilisée pour l'installation de tous les équipements servant à cette étude.

Les expérimentations ont eu lieu dans des conditions climatiques favorables aux observations visuelles (pas de pluie ni de brume).

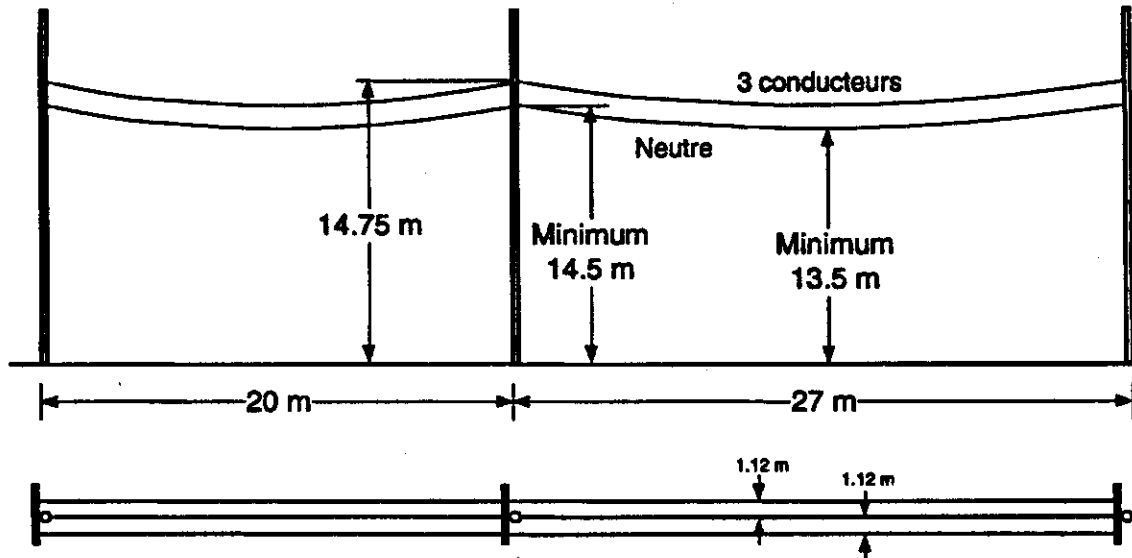


Figure 1 : Ligne de distribution électrique utilisée pour les expérimentations

3.2 Sujets expérimentaux

Au total, 16 grutiers ont participé à cette expérimentation. Ils étaient âgés entre 32 et 57 ans (moyenne 47,5 ans) et avaient en moyenne 21,2 ans d'expérience. Les opérateurs ont été choisis parmi les deux grands syndicats de grutiers selon les proportions approximatives suivantes : 25 % de l'Union internationale des opérateurs ingénieurs, Local 905 et 75 % de l'Union des opérateurs grutiers, local 791G. La moitié des sujets étaient des employés de la compagnie Guay Inc.

L'acuité visuelle de loin a été mesurée pour 13 sujets sur les lieux de l'expérimentation et ce, avec une charte traditionnelle d'optométriste. Trois sujets n'ont donc pu être testés. Deux sujets avaient une acuité visuelle de 20/25 alors que les 11 autres avaient une acuité visuelle égale ou meilleure que 20/20.

Tous les opérateurs étaient rémunérés pour leur participation. Mentionnons enfin que certains des sujets n'étaient pas familiers avec le type de grue utilisée ou n'en n'avait pas opérée depuis un certain temps.

3.3 Approche des conducteurs

Ces essais visaient à permettre d'évaluer la performance des opérateurs lorsqu'ils effectuent une approche vers une ligne de distribution électrique au moyen d'une grue et ce, dans des conditions qui se rapprochent de celles qu'on peut retrouver sur les chantiers de construction. Plus spécifiquement, il s'agissait d'une part d'évaluer la capacité de l'opérateur à repérer dans l'espace, depuis leur cabine, la zone de danger autour du conducteur le plus susceptible d'être touché par la grue et d'autre part, d'évaluer sa capacité à immobiliser sa grue dès qu'une partie de celle-ci arrive à la limite de cette zone. La zone de danger étant définie comme l'espace situé en dedans de la distance sécuritaire (3 mètres) du conducteur le plus susceptible d'être touché par la grue, tel que défini dans le Code de

sécurité pour les travaux de construction (réf. 3). Cette première partie des expérimentations faisait donc principalement appel à la capacité d'un opérateur à évaluer, à partir de sa cabine, la distance sécuritaire entre le conducteur d'une ligne à haute tension le plus proche de toute partie de la grue qu'il doit manoeuvrer.

3.3.1 Méthode libre et méthode imposée

Les approches vers la ligne à l'aide de la grue étaient effectuées en utilisant deux méthodes : une méthode libre et une méthode imposée. Dans la méthode libre, l'opérateur choisissait lui-même la méthode à utiliser pour réaliser les différentes approches décrites plus loin. Aucune contrainte ne lui était imposée, sinon que de demeurer dans les limites de la sécurité. Par exemple, l'opérateur avait la possibilité d'ajuster la hauteur du crochet et de descendre de la grue autant de fois qu'il le désirait.

Dans la méthode imposée, l'opérateur commençait par installer au sol des repères qui lui serviraient par la suite, lors des approches avec la grue. Il devait d'abord faire une marque au sol directement sous le conducteur qui est le plus rapproché de la grue (cette marque décrivait la projection au sol du conducteur le plus susceptible d'être touché par la grue). Ensuite, l'opérateur installait au sol un marqueur de couleur offrant un bon contraste avec celui-ci et ce, à 3 mètres de la marque. L'opérateur devait utiliser un ruban à mesurer pour cette étape. Le marqueur, décrivant la limite de la zone de danger, devait être parallèle au conducteur et installé vis-à-vis le point d'entrée dans cette zone par la partie de la grue la plus susceptible de toucher le conducteur lors d'un mouvement, soit le câble de levage dans le contexte de cette expérimentation.

Le marqueur était constitué de deux madriers de 2" sur 4" sur 8' de longueur, peints en orangé phosphorescent (contraste élevé avec le sol en poussière de pierre). Les deux madriers étaient disposés bout à bout sur le sol par l'opérateur. Le marqueur ainsi installé constituait le repère dont l'opérateur se servirait par la suite pour effectuer les approches vers la ligne à l'aide de la grue.

L'utilisation de marqueurs au sol s'inspire de la méthode d'identification au sol de la zone de danger proposée par McCollum (réf. 5). La validité de cette méthode n'a toutefois jamais été vérifiée.

3.3.2 Mouvements d'approches

Trois types d'approches étaient effectués : rotation de la flèche vers le conducteur, levée de la flèche et descente de la flèche. Ces types d'approches sont représentatifs des manoeuvres d'approche variées qu'on peut retrouver sur les chantiers de construction.

Dans les approches en rotation, on demandait à l'opérateur d'amener le câble de levage (la flèche de la grue faisant un angle de 45 degrés avec la verticale) le plus près possible de la limite de sécurité, par un mouvement de rotation à partir de la position de départ. À la position de départ, la flèche était inclinée à 45°. Une approche était d'abord effectuée par la gauche puis une seconde par la droite (figure 2).

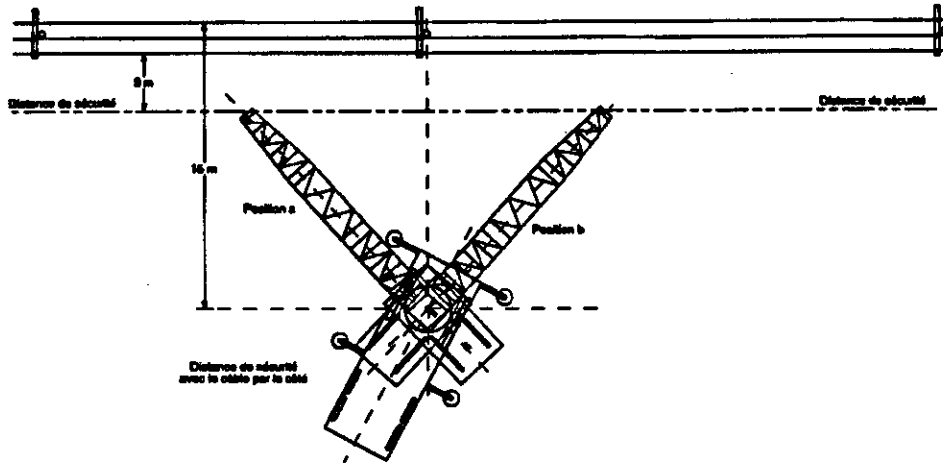


Figure 2 : Approche en rotation (position a : vers la droite et position b : vers la gauche)

La série de deux approches en rotation était répétée cinq fois en tout, soit une fois avec la méthode libre et quatre fois avec la méthode imposée.

Dans l'approche de levée de la flèche, on demandait à l'opérateur de baisser la flèche jusqu'à une position presque horizontale à la position de départ (repérée sur la figure 5) puis de l'amener par rotation jusqu'à une position perpendiculaire à la ligne sous celle-ci (figure 3). Ensuite, il effectuait le levage de la flèche afin d'amener le câble de support de la flèche à la limite de la zone de danger, en dessous du conducteur le plus bas de la ligne (soit le conducteur neutre).

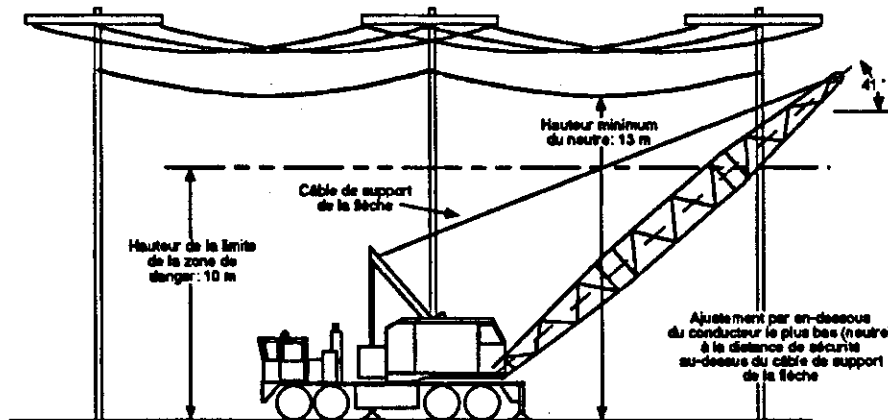


Figure 3 : Approche en levée de la flèche

L'approche en levée était effectuée pour la méthode libre seulement, puisque pour ce type d'approche, un repère au sol ne peut pas être utilisé (méthode imposée).

Dans les approches de descente de la flèche, on demandait à l'opérateur de relever la flèche jusqu'à un angle de 65° à la position de départ puis de l'amener par rotation jusqu'à une position perpendiculaire à la ligne (figure 4). Ensuite, il effectuait la descente de la flèche afin d'amener le câble de levage à la limite de la zone de danger. La flèche était par la suite ramenée à la position de départ pour l'essai suivant.

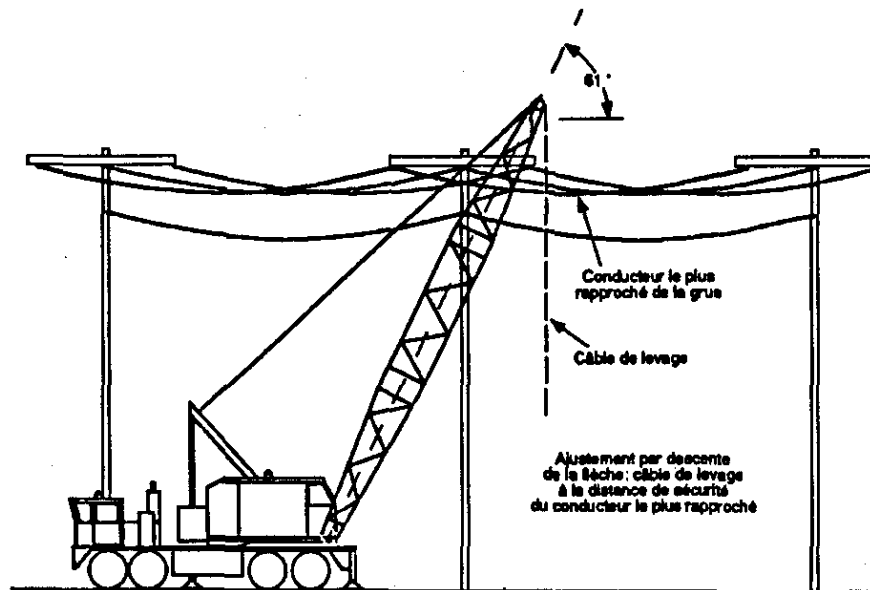


Figure 4 : Approche en descente de la flèche

L'approche de descente était effectuée, quatre fois en tout, soit une fois avec la méthode libre et trois fois avec la méthode imposée.

La figure 5 décrit de façon schématique les trois mouvements d'approche vers la ligne à haute tension ainsi que l'emplacement des marqueurs utilisés dans la méthode imposée. Les marqueurs étaient au nombre de trois puisque le crochet de la grue pouvait entrer à trois endroits différents de la zone de sécurité selon le mouvement d'approche effectué.

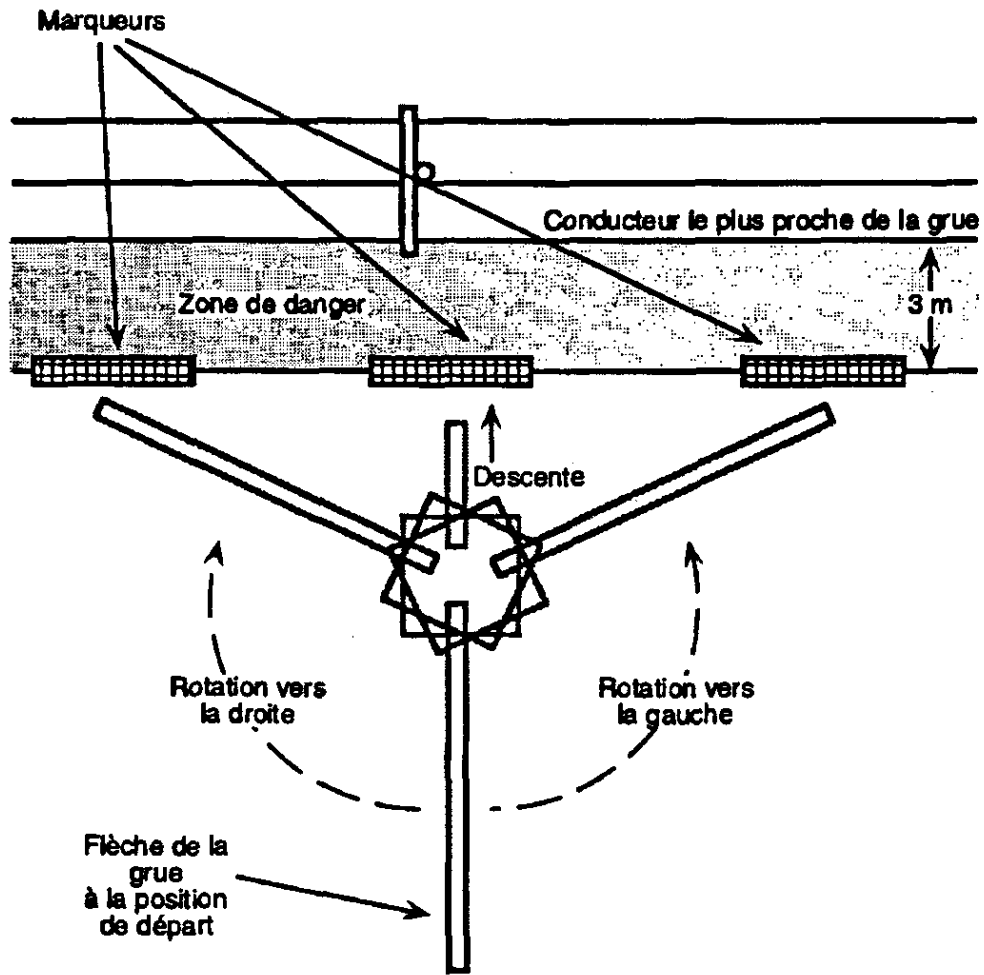


Figure 5 : Représentation schématique des mouvements d'approche et de l'emplacement des marqueurs

3.3.3 Hauteur du crochet durant l'approche

Avant le début de chacune des approches effectuées avec la méthode libre, le crochet était remonté à la hauteur d'entreposage (4 m). L'opérateur avait la liberté d'en changer la hauteur durant l'approche, s'il le jugeait opportun. Cependant, durant les approches effectuées avec la méthode imposée (i.e., en utilisant le marqueur installé au sol), la hauteur du crochet était maintenue fixe durant toute la durée de la manoeuvre d'approche et ce, à une valeur prédéterminée. Le crochet devait être ajusté à cette hauteur avant le début de l'approche, c'est-à-dire à la position de départ. Trois hauteurs de crochet (30 cm, 2 m et 4 m) ont été utilisées pour les approches.

L'utilisation de hauteurs différentes pour l'approche vers le marqueur au sol visait à évaluer l'effet de l'erreur de parallaxe entre le crochet et le marqueur, principaux repères visuels lors des approches avec la méthode imposée. Ces valeurs de hauteur ont été choisies dans le but d'obtenir une gamme relativement étendue mais réaliste de hauteurs de crochet.

3.3.4 Position du marqueur

Afin de minimiser l'effet de l'apprentissage associé à l'utilisation possible de repères visuels, autres que le marqueur au sol (ex. repères sur la grue ou dans la scène visuelle) durant les séries consécutives d'essais associées aux différentes hauteurs de crochet dans la méthode imposée, le marqueur était déplacé d'environ 45 cm d'un côté ou de l'autre de sa position originale (i.e., limite de la zone de danger) pour les hauteurs de crochet 2 m et de 4 m.

Par conséquent, la hauteur du crochet de 30 cm par rapport au sol était donc toujours utilisée en premier et ce, uniquement avec la position au sol du marqueur qui décrit la limite de la zone sécuritaire (3 m). On obtenait ainsi un résultat comportant un minimum de pratique avec cette hauteur de crochet imposée. Puis, pour les hauteur de 2 m et de 4 m (séries d'approches subséquentes), on utilisait une position au sol du marqueur qui était soit 45 cm à l'intérieur de la zone de danger, soit 45 cm à l'extérieur.

La combinaison de hauteur de crochet (2 m ou 4 m) et de position du marqueur au sol pour la seconde série d'approches était variée pour chacun des opérateurs, de sorte qu'un nombre égal d'opérateurs a commencé par chacune des combinaisons.

C'est l'expérimentateur qui changeait la position du marqueur au sol en prenant bien soin d'effacer les traces de la position précédente et en évitant que l'opérateur ne le regarde. Le grutier était informé du fait que le marqueur avait changé de position mais il ne connaissait pas l'ampleur du changement. Ainsi, il lui était inutile d'utiliser des points de repère sur sa grue ou dans l'environnement pour effectuer l'approche : seul le marqueur pouvait être utilisé. Ainsi, chaque mouvement d'approche effectué simulait en quelque sorte une première approche comme lors de l'installation de la grue.

3.3.5 Essais avec charge

À la fin des essais en rotation lors de la méthode imposée, des essais en rotation étaient effectués en suspendant au crochet une charge sous forme d'un bloc de béton d'environ 1 500 kg. Cette charge avait pour effet de changer la réponse de la grue suite à l'activation des commandes par l'opérateur en augmentant l'inertie de l'ensemble. Avec une flèche de 18 m (60 pieds), inclinée à 45 degrés, cette charge de 1 500 kg représentait 9 % de la charge maximum admissible pour la grue, selon les tables de charge du fabricant. Avec une flèche de 49 m (160 pieds), inclinée à 45 degrés, cette charge de 1 500 kg représentait 35 % de la charge maximum admissible pour la grue, selon les tables de charge du fabricant.

Afin de maintenir les conditions de ces essais comparables à celles des essais précédents, une hauteur de crochet de 2 m était utilisée. La charge était entreposée au sol de façon à faciliter sa manipulation. C'est au cours des approches avec charge que les essais du LPGMFF en mode semi-automatique étaient effectués.

3.3.6 Ordre dans lequel les approches ont été effectuées

Le tableau 1 décrit sommairement les approches et l'ordre dans lequel elles ont été effectuées. En tout, 15 mouvements d'approche ont été effectués par chacun des opérateurs.

Méthode	Approches effectuées
Libre	<ul style="list-style-type: none"> ● rotation : 1 essai à gauche et 1 essai à droite ● levée de la flèche : 1 essai ● descente de la flèche : 1 essai
Installation de trois marqueurs au sol, soit un premier pour les rotations vers la droite, un second pour les rotations vers la gauche et un troisième pour les descentes de la flèche.	
Imposée	<ul style="list-style-type: none"> - hauteur du crochet : 30 cm - marqueur : à la limite de la zone de danger ● rotation : 1 essai à gauche et 1 essai à droite - hauteur du crochet : 2 ou 4 m (en alternant avec la série qui suit) - marqueur : 45 cm à l'intérieur ou à l'extérieur de la limite de la zone de danger (en alternant avec la série qui suit) ● rotation : 1 essai à gauche et 1 essai à droite - hauteur du crochet : 2 ou 4 m (en alternant avec la série qui précède) - marqueur : 45 cm à l'intérieur ou à l'extérieur de la limite de la zone de danger (en alternant avec la série qui précède) ● rotation : 1 essai à gauche et 1 essai à droite <p>La charge est accrochée</p> <ul style="list-style-type: none"> - hauteur du crochet : 2 m (essais avec charge) - marqueur : 45 cm à l'intérieur ou à l'extérieur de la limite de la zone de danger (en alternant avec la série qui précède) ● rotation : 1 essai à gauche et 1 essai à droite <p>Note : suite à chacun des deux derniers de ces essais en mode manuel, deux essais du LPGMFF sont effectués en mode semi-automatique.</p> <p>La charge est décrochée</p> <ul style="list-style-type: none"> - hauteur du crochet : 30 cm - marqueur : à la limite de la zone de danger ● descente de la flèche : 1 essai - hauteur du crochet : 2 ou 4 m (en alternant avec l'essai qui suit) - marqueur : 45 cm à l'intérieur ou à l'extérieur de la limite de la zone de danger (en alternant avec la série qui suit) ● descente de la flèche : 1 essai - hauteur du crochet : 2 ou 4 m (en alternant avec l'essai qui précède) - marqueur : 45 cm à l'intérieur ou à l'extérieur de la limite de la zone de danger (en alternant avec la série qui précède) ● descente de la flèche : 1 essai

Tableau 1 : Description des essais effectués et de leur ordre

3.3.7 Mesures obtenues lors des approches

vrai

La plupart des mesures manuelles, effectuées au cours des mouvements d'approche, ont été faites de façon indirecte, c'est-à-dire en utilisant des repères fixes arbitraires dictés par la géométrie des lieux. Les mesures instantanées, effectuées à l'aide de capteurs et enregistrées sur ordinateur, ont complété les mesures manuelles et ont permis de calculer, à l'aide des mesures géométriques relevées sur le terrain et sur la grue, les vraies valeurs significatives telles que, principalement, la position absolue du câble de levage après arrêt de tout mouvement, le positionnement absolu des marqueurs, la distance aux conducteurs, le temps d'exécution des mouvements, la vitesse instantanée des mouvements, la distance requise pour arrêter les mouvements, le dépassement de position finale, etc.

3.3.8 Essais du LPGMFF en mode semi-automatique

Dans le mode semi-automatique du LPGMFF, l'opérateur doit d'abord, placer le crochet à la verticale du marqueur au sol, indiquant la limite de la zone dangereuse. Il descend ensuite de sa cabine et place une came du LPGMFF de façon à actionner le signal d'avertissement de rotation correspondant. Pour cela, il fait glisser la came (figure 6, repère N° 50) sur le rail de fixation (figure 6, repère N° 14) jusqu'à ce que la came soit centrée sur le dispositif de fixation des interrupteurs de position. Il retourne ensuite à sa cabine et amène la flèche de la grue en position de départ pour enfin revenir vers la ligne haute tension dans un mouvement d'approche. Entre-temps, les marqueurs au sol ont été enlevés.

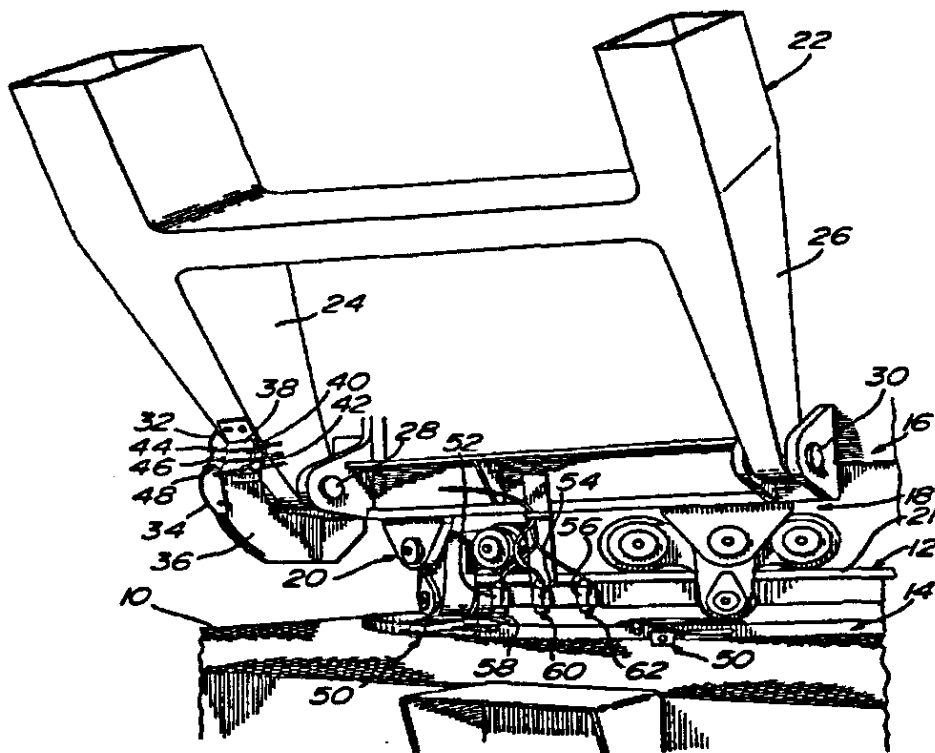


Figure 6 : Disposition des cames et des interrupteurs du LPGMFF

Durant cette approche, dès que la came (figure 6, repère N° 50) touche un des interrupteurs d'avertissement (figure 6, repère N° 58 ou 62), le signal d'alarme du LPGMFF est activé et un klaxon se fait entendre dans la cabine; l'opérateur doit alors amorcer lui-même le freinage de la grue.

Les essais en mode semi-automatique sont réalisés avec la charge accrochée (1 500 kg), juste après les deux derniers essais en rotation (méthode imposée), pour différentes vitesses de rotation.

Pour cet essai, l'interrupteur de position actionnant l'arrêt automatique (figure 6 repère N° 60) avait été neutralisé pour ne pas intervenir au cas où l'opérateur aurait pris plus de distance que l'espacement entre les interrupteurs d'avertissement et d'arrêt, pour arrêter le mouvement.

3.3.9 Essais du LPGMFF en mode automatique

Dans cet essai, le grutier ajuste les marqueurs au sol ainsi que les comes comme en mode semi-automatique, mais l'interrupteur de mise à l'arrêt de la rotation (figure 6 repère N° 60) est actif.

On demande alors à l'opérateur d'exécuter le mouvement d'approche à vitesse normale et de ne pas freiner lorsque le signal d'avertissement (sonore et lumineux), généré par l'interrupteur d'avertissement (figure 6 repère N° 58 ou 62), retentit, contrairement au mode semi-automatique. L'arrêt est déclenché par l'interrupteur de position d'arrêt (figure 6 repère N° 60) et l'arrêt est entièrement automatique.

Ces essais ont été effectués à vide et en charge, pour différentes inclinaisons de flèche et diverses vitesses de rotation.

3.3.10 Essais du LPGMFF avec la flèche de 49 mètres

Pour comparer le comportement de la grue et des grutiers avec une flèche différente, des essais en mode semi-automatique et en mode automatique ont été effectués aussi, après avoir installé une flèche de 49 mètres (160 pieds). Les procédures suivies ont été approximativement les mêmes qu'avec la flèche de 18 mètres. Le paramètre qui a varié de la façon la plus significative a été la vitesse de rotation. Les essais se sont faits avec et sans charge, pour une inclinaison de la flèche de 45 degrés.

4. MÉTHODOLOGIE DES ÉVALUATIONS DE DISTANCES

4.1 Évaluation de distance entre objets fixes

Cette partie des expérimentations visait à évaluer l'erreur de jugement de chacun des opérateurs afin de pouvoir mieux interpréter leur performance dans la partie expérimentale. Un sujet qui sous-estime la distance sécuritaire dans les essais de la première partie, sous-estime-t-il aussi la distance entre deux points dans un autre contexte d'évaluation de distances? Ces expérimentations ont aussi servi à caractériser la capacité des grutiers d'expérience à évaluer des distances.

Dans cette partie des expérimentations, les opérateurs, debout sur le sol et dans une zone dégagée et éloignée de la grue, effectuaient trois jugements de distances entre deux objets fixes et ce, pour trois distances de vision. Tel que mentionné plus haut, ces jugements servent à vérifier d'une part, la constance des erreurs commises par les opérateurs dans la première partie des expérimentations (approches vers la ligne à haute tension avec la grue) et d'autre part, l'influence de la présence d'une référence sur la qualité du jugement d'une distance.

Les objets étaient des tiges de bois de 2.5 cm de diamètre d'une hauteur de 1.07 m (42 pouces) du sol. Deux tiges de longueurs différentes (60 cm ou 2 pi et 90 cm ou 3 pi) ont été utilisées comme références. Les tiges étaient toutes peintes en orangé phosphorescent de manière à offrir un excellent

contraste avec leur arrière plan. L'évaluation de la distance entre les objets était effectuée à une distance de 9 m, 16 m et 20 m perpendiculairement à la ligne reliant les deux objets et vis-à-vis le centre de celle-ci. Ces valeurs sont typiques des distances auxquelles les évaluations peuvent être effectuées en chantier. On a utilisé cinq valeurs de distance entre les tiges se rapprochant de la distance sécuritaire (2.4 m : 8 pi, 2.7 m : 9 pi, 3 m : 10 pi, 3.4 m : 11 pi et 3.7 m : 12 pi).

On demandait d'abord au sujet d'évaluer la distance entre les deux objets sans référence et ce, à une distance de 20 m. La distance entre les objets était alors l'une des cinq valeurs choisie au hasard. Une fois le jugement effectué, on demandait au sujet de se rapprocher à la distance de 16 m puis de se tourner en direction opposée. Pendant ce temps, l'expérimentateur changeait la distance entre les objets (valeur encore tirée au hasard parmi les quatre valeurs non testées). On demandait alors au sujet de se retourner et d'évaluer la distance entre les objets en lui faisant remarquer que la distance entre ceux-ci avait été changée.

Suite à la seconde évaluation de distance par l'opérateur, on lui demandait de se déplacer à la distance de 9 m des objets puis de se retourner encore une fois en direction opposée. Pendant ce temps, on changeait encore une fois la distance entre les objets. On demandait alors au sujet de se retourner encore une fois et d'évaluer la distance entre les objets en lui faisant encore remarquer que la distance entre les objets avait été changée. Le sujet était uniquement informé de la longueur des références; en aucun temps, il ne connaissait les valeurs exactes de distance entre les objets, non plus que les valeurs de distance de vision auxquelles on lui demandait de faire les évaluations.

4.2 Évaluation et mesure de la hauteur des conducteurs

Une fois que l'opérateur avait complété ces évaluations, on lui demandait d'estimer à l'oeil, la hauteur d'un des conducteurs de la ligne électrique.

Il devait ensuite mesurer au télémètre optique cette hauteur, de la façon suivante : il se plaçait sous le conducteur indiqué, le plus exactement possible à la verticale du conducteur et mesurait ensuite la distance verticale entre ce conducteur et un télémètre optique (fabricant : RANGING Inc.; modèle : 120). Les expérimentateurs relevaient ensuite la hauteur des yeux de l'opérateur augmentée de sa visée sur le conducteur. Une brève explication de l'utilisation du télémètre était donnée avant usage.

5. RÉSULTATS ET DISCUSSION

5.1 Mouvements d'approche en marche manuelle

Ces mouvements correspondent aux cas où le LPGMFF n'a pas été utilisé, ni en mode semi-automatique, ni en mode automatique.

La figure 7 montre un exemple de mouvement de rotation (essai D1220200), représenté sur des courbes indiquant la trajectoire en rotation (courbe A), la vitesse instantanée de rotation (courbe C) et la distance entre le conducteur électrique le plus proche (courbe D) et le câble de levage. Environ 180 courbes de ce type ont été tracées après dépouillement des résultats et calculs.

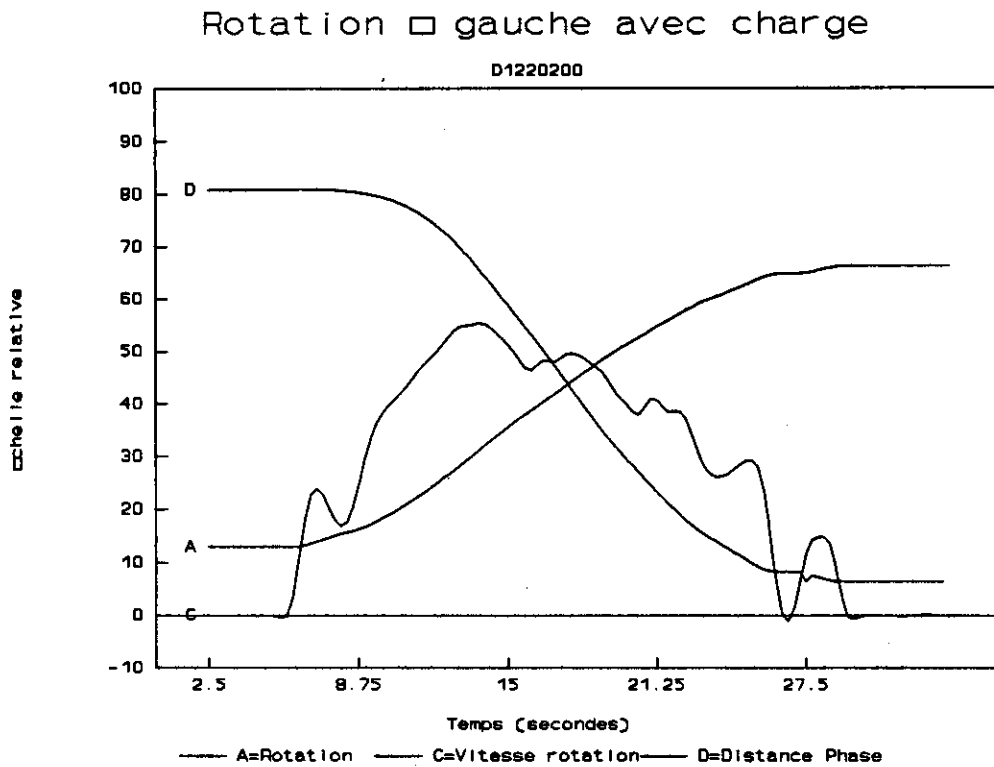


Figure 7 : Exemple de mouvement de rotation à gauche, en méthode imposée, avec charge

5.1.1 Mouvements de rotation en méthode libre

Pour les mouvements d'approche en rotation avec la méthode libre, la distance horizontale moyenne entre le conducteur le plus proche et le câble de levage de la grue, soit la partie la plus susceptible d'entrer en contact avec le conducteur, a été de 5.3 m, avec un maximum de 7.5 m et un minimum de 4 m (écart type 1.05 m).

La figure 8 montre la répartition des points d'arrêt pour des mouvements de rotation vers la droite et vers la gauche. Sur cette figure ainsi que sur la suivante, l'ordonnée représente la distance du câble aux conducteurs, après que le mouvement ait été arrêté; l'abscisse est un nombre arbitraire associé au numéro de l'essai. La moyenne des distances d'arrêt a été représentée sous forme de ligne horizontale, de même que la distance de sécurité à 3 m.

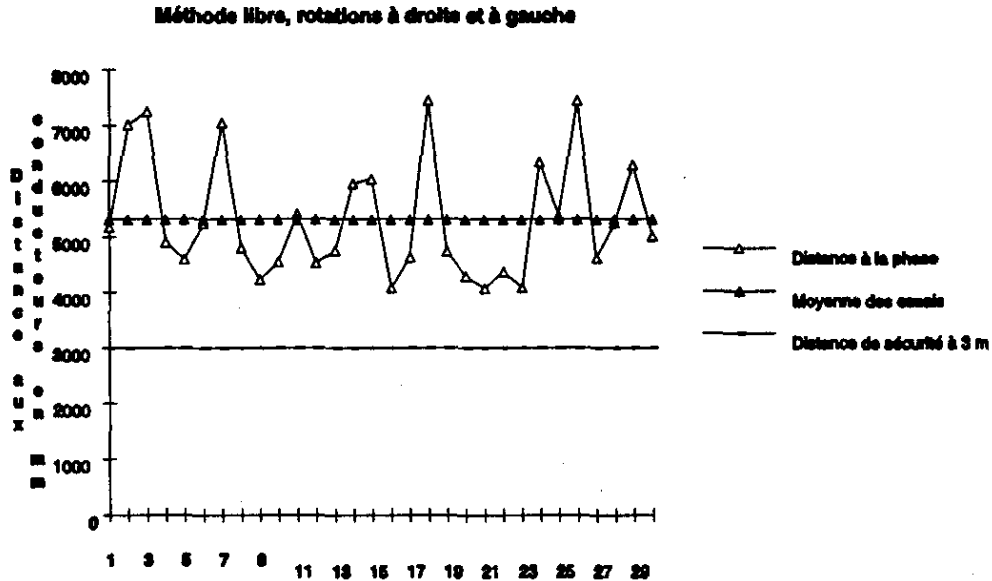


Figure 8 : Positions d'arrêt en rotation par la méthode libre

En moyenne, les grutiers ont donc immobilisé la partie de la grue la plus rapprochée du conducteur à 2.3 m de la limite de la zone de danger et ce, du côté sécuritaire. Il n'est pas possible de dire que ce comportement est relié aux conditions propres de l'expérimentation ou s'il reflète un comportement habituel sur les chantiers de construction à proximité de lignes électriques.

5.1.2 Mouvements de descente et de levée de flèche en méthode libre

Lors des mouvements de descente et de levée de flèche avec la méthode libre, la distance horizontale moyenne entre le conducteur le plus près et le câble de levage de la grue, pour la descente, et le sommet de la flèche et le fil de neutre pour la levée, a été de 3.3 m, avec un maximum de 7 m et un minimum de 1.3 m (écart type 1.2 m).

La figure 9 montre la répartition des points d'arrêt pour des mouvements de descente et de levée de flèche.

Méthode libre, descente et levée de la flèche

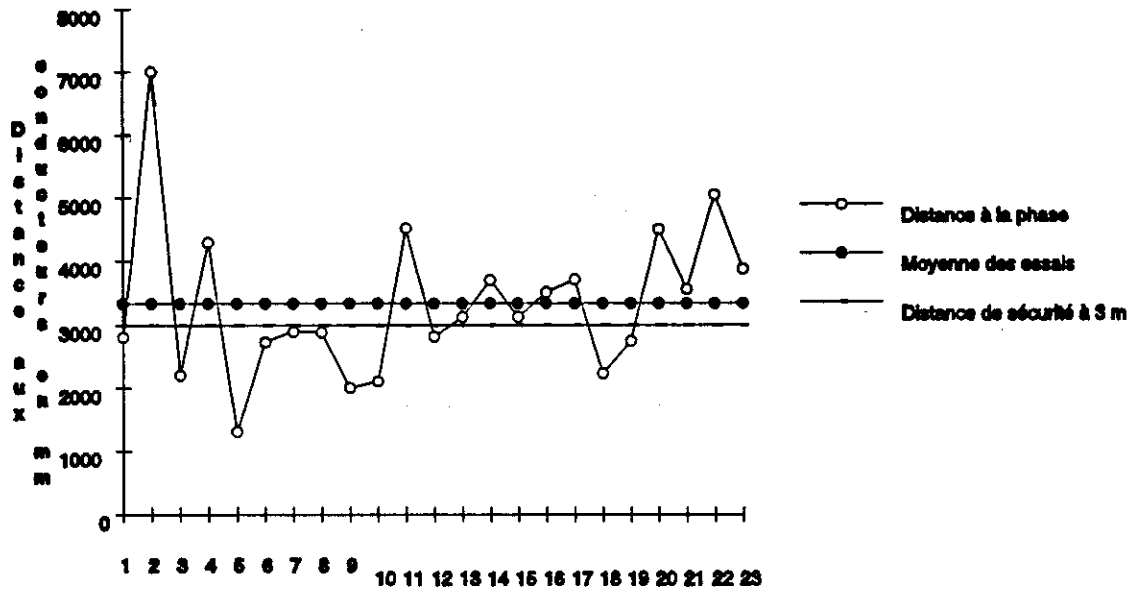


Figure 9 : Positions d'arrêt en descente et en levée par la méthode libre

En moyenne, les grutiers ont donc immobilisé la partie de la grue la plus rapprochée du conducteur à 3.3 m de la limite de la zone de danger et ce, du côté sécuritaire. Toutefois, certaines valeurs minimum montrent que le risque de s'approcher des conducteurs au delà de la distance de sécurité est élevé.

5.1.3 Positionnement du marqueur en méthode imposée

Au début de chaque séquence de mouvement d'approche en méthode imposée, les marqueurs ont été positionnés par l'opérateur. La figure 10 montre la distance entre le marqueur concerné et la projection au sol des conducteurs. En moyenne, les marqueurs ont été placés à 2.84 m de la projection au sol des conducteurs les plus proches de la grue, avec un maximum de 3.8 m et un minimum de 2.2 m (écart type : 29 cm).

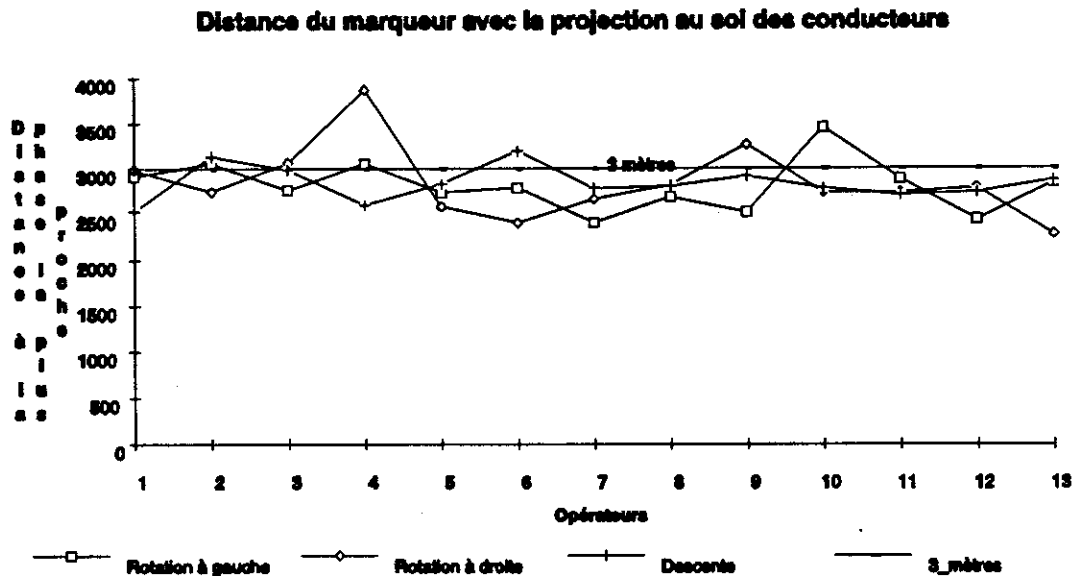


Figure 10 : Précision du positionnement des marqueurs au sol

Malgré une valeur moyenne inférieure de 16 cm à la distance de sécurité de 3 m, on peut dire que la méthode imposée présente une très grande précision et reflète la capacité des opérateurs à repérer avec précision la position des conducteurs s'ils utilisent la méthode dite imposée.

L'écart moyen de 16 cm peut provenir de plusieurs sources qu'il est actuellement impossible de différencier, telles que erreur systématique de mesures des dimensions de la grue sur les positions de remise à zéro des capteurs de mouvements de la grue, sur les repères d'arpentage du site d'expérimentation, sur la géométrie exacte de la ligne expérimentale, ou bien erreur non identifiée liée aux opérateurs eux-mêmes. Cet écart de 16 cm sur 3 m (5.3 %) ne met pas en cause la validité des conclusions des expérimentations.

5.1.4 Positionnement du centre du crochet par rapport au marqueur pour les mouvements de rotation

Pour mettre en évidence la capacité des opérateurs à placer le crochet au-dessus du marqueur, au cours de mouvements d'approche en rotation à droite comme à gauche, la mesure de la distance entre la projection au sol du centre du crochet et le marqueur a été effectuée. Le résultat de ces mesures est montré sur la figure 11. Sur cette figure, en ordonnées sont la distance mesurée et la moyenne de ces distances, toutes deux en millimètres. Les abscisses représentent un chiffre arbitraire repère de l'essai concerné.

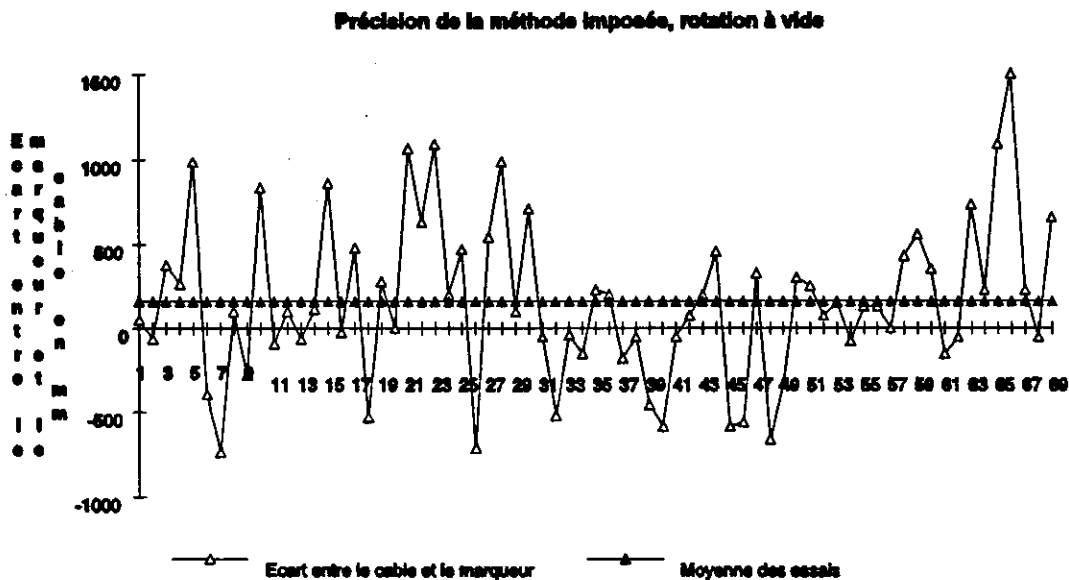


Figure 11 : Précision d'arrêt des mouvements de rotation en méthode imposée

La moyenne des écarts a été de 11 cm, avec un maximum de 1,5 m et un minimum de -76 cm (écart type : 47 cm). Lorsque le positionnement du crochet a été fait avec un bloc de béton d'environ 1 500 kg attaché en dessous, des résultats analogues ont été obtenus.

En comparant ces résultats avec ceux de la méthode libre (paragraphe 5.1.1), il est clair que la méthode imposée permet de respecter la distance réglementaire avec une meilleure précision et une meilleure sécurité que la méthode libre.

5.1.5 Positionnement du centre du crochet par rapport au marqueur pour les mouvements de descente de la flèche

De la même façon, pour mettre en évidence la capacité des opérateurs à placer le crochet au-dessus du marqueur au cours de mouvements d'approche en descente de la flèche, la mesure de la distance entre la projection au sol du câble et le marqueur a été effectuée. Le résultat de ces mesures est montré sur la figure 12.

La moyenne des écarts a été de 26 cm, avec un maximum de 83 cm et un minimum de -54 cm (écart type : 35 cm).

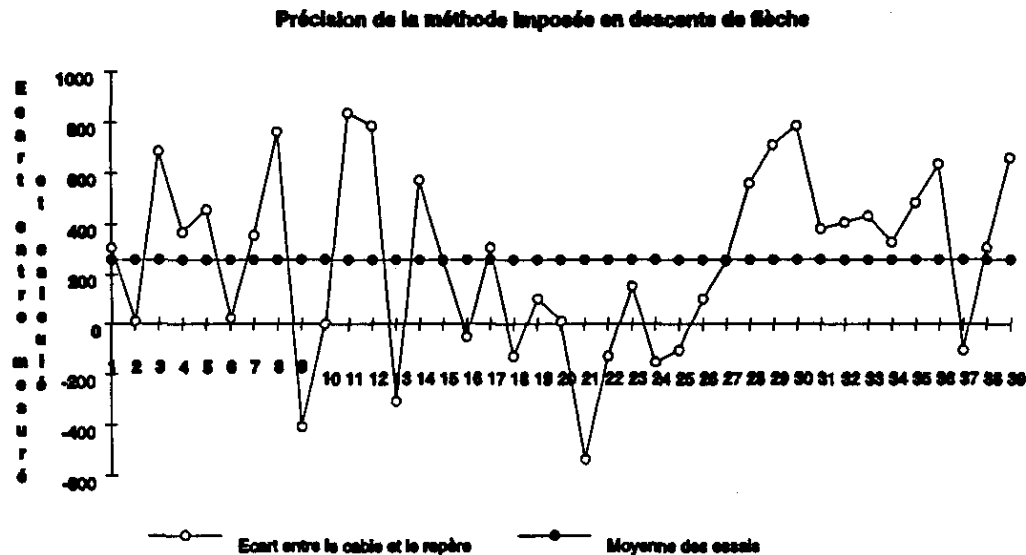


Figure 12 : Précision d'arrêt des mouvements de descente en méthode imposée

Dans ce cas aussi, la comparaison avec les résultats de la méthode libre (paragraphe 5.1.2) montre la meilleure précision obtenue en utilisant la méthode imposée.

L'usage d'un repère au sol tel qu'un marqueur, présente donc un avantage certain tant en termes de précision de l'approche que de fiabilité.

5.1.6 Effet de la hauteur du crochet sur la précision

La hauteur du crochet par rapport au sol n'a pas d'effet significatif sur la précision (l'erreur moyenne) de l'approche. Cependant, c'est pour les hauteurs de crochet de 2 m et de 4 m que les valeurs d'erreurs à l'intérieur de la zone de danger sont les plus importantes. En effet, le crochet a pénétré jusqu'à 2.08 m dans la zone de danger avec une hauteur de crochet de 4 m alors qu'il a pénétré jusqu'à un maximum de 74 cm avec la hauteur de crochet de 30 cm. Il semble donc que la grandeur des incursions à l'intérieur de la zone de danger soit moindre lorsque le grutier effectue son mouvement d'approche vers un marqueur avec le crochet près du sol.

5.1.7 Effet de la vitesse des essais sur la précision

La durée de l'essai est indépendante de la méthode utilisée : la durée est légèrement plus courte avec la méthode libre (38 sec vs 41 sec) mais la différence n'est pas significative. Peu importe la méthode utilisée (libre ou imposée), aucune corrélation n'existe entre la durée de l'approche et sa précision.

5.2 Évaluation et mesure de distances

5.2.1 Évaluation des distances horizontales

Dans la partie de l'expérimentation portant sur les évaluations de distance entre les tiges, les distances réelles ont été surestimées avec une erreur moyenne de 16 %. L'erreur de surestimation augmente avec la distance à évaluer (i.e., distance entre les deux tiges) : lorsque la distance est petite, l'erreur

est petite. La distance à laquelle l'évaluation est effectuée de même que la présence ou non de références verticales ou horizontales n'ont pas d'effet significatif sur la précision des évaluations.

5.2.2 Évaluation et mesures de la hauteur des conducteurs

Le conducteur, dont la hauteur devait être évaluée, se situait à 13.8 m du sol. Les opérateurs ont évalué sa hauteur avec un écart moyen de 30 cm, un maximum de 6,6 m et un minimum de moins 3,14 m. La surestimation importante qui a été faite dans certains cas peut se révéler très dangereuse si la grue doit évoluer en dessous des conducteurs.

En utilisant le télémètre optique, l'écart moyen a été de moins 45 cm, avec un maximum de 1.46 m et un minimum de moins 1.1 m. En comparant avec les valeurs estimées, ces mesures sont donc nettement plus précises. La figure 13 montre la valeur des hauteurs estimées et mesurées; elle comporte deux groupes de points, correspondant à une période de l'expérimentation avant et après qu'une couche de neige, épaisse d'environ 50 cm, ne soit établie sur le sol.

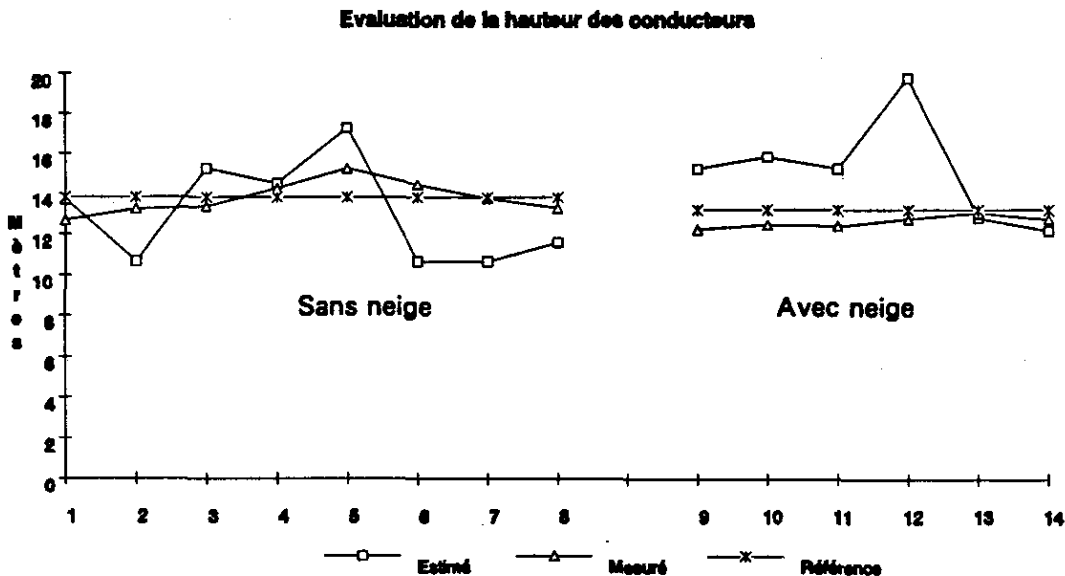


Figure 13 : Évaluation de la hauteur des conducteurs électriques

L'usage d'un télémètre optique peut donc améliorer la précision des mesures de la hauteur de conducteurs électriques; toutefois, il nécessite une formation appropriée et l'étalonnage de l'instrument doit être vérifié régulièrement.

5.3 Opération en modes semi-automatique et automatique

Ces mouvements correspondent aux cas où le LPGMFF a été utilisé, soit en mode semi-automatique, soit en mode automatique.

La figure 14 montre un exemple de mouvement de freinage (essai F0114409), représenté par des courbes normalisées, indiquant la trajectoire en rotation (courbe A), la vitesse instantanée de rotation (courbe B), la distance au conducteur le plus proche (courbe C) et le déclenchement des interrupteurs d'avertissement (courbe D) et d'arrêt (courbe E). Environ 70 courbes de ce type ont été tracées après dépouillement des résultats et calculs.

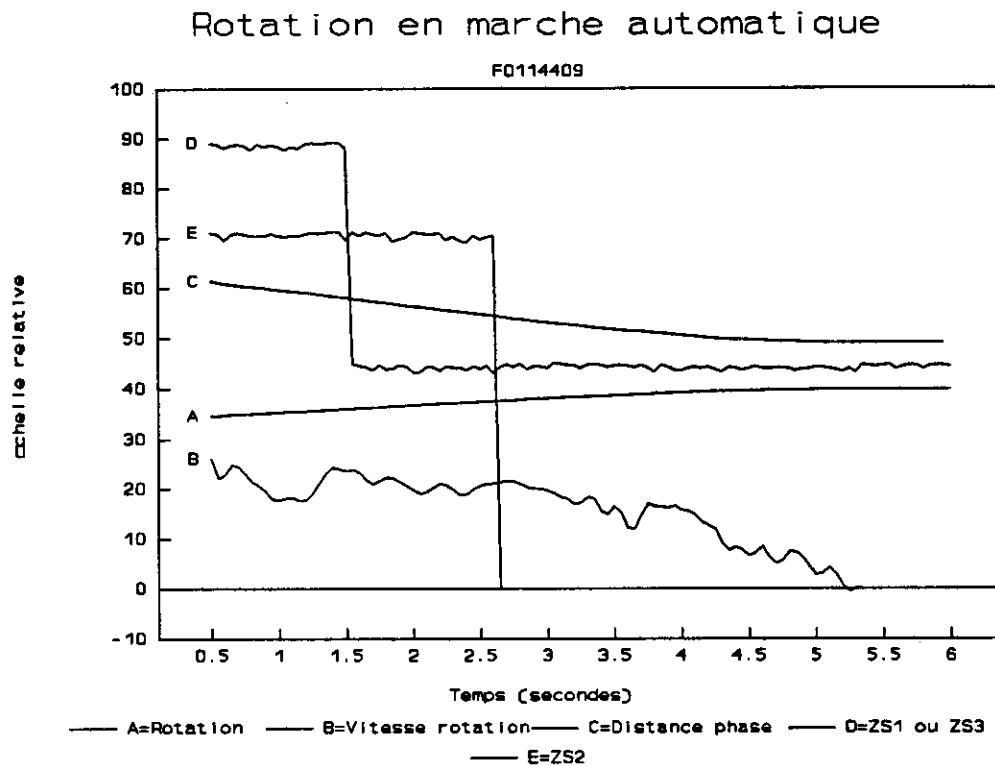


Figure 14 : Exemple de freinage de rotation à gauche en charge, mode auto, flèche de 49 m

5.3.1 Mode semi-automatique

La figure 15 représente les valeurs obtenues pour la distance (ordonnées) parcourue par l'interrupteur d'avertissement, entre son actionnement et l'arrêt effectif du mouvement de rotation de la flèche, en fonction de la vitesse de rotation (abscisses) au moment de l'actionnement de l'interrupteur d'avertissement. Cette distance est mesurée au niveau du rail de fixation des cames.

Deux ensembles de points ont été identifiés séparément : avec flèche de 18 m et avec flèche de 49 m. Une ligne horizontale a été placée arbitrairement à 115 mm pour représenter la distance entre l'avertissement et l'arrêt automatique si les interrupteurs de position étaient espacés de 115 mm (voir 5.3.2).

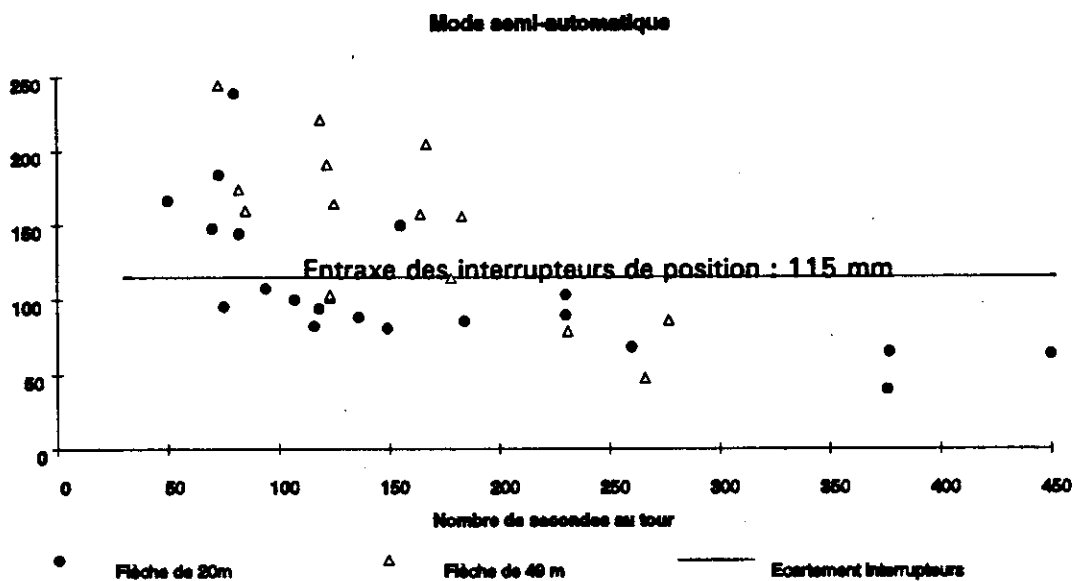


Figure 15 : Distance d'arrêt en mode semi-automatique

La vitesse de rotation au moment du déclenchement de l'interrupteur de position d'avertissement (ZS1 ou ZS3) a varié de 50 secondes au tour (vitesse très élevée, selon les opérateurs) jusqu'à 450 secondes au tour (vitesse très lente).

La distance, au niveau du rail de fixation des cames, parcourue par l'interrupteur d'avertissement entre son actionnement et l'arrêt effectif du mouvement de rotation de la flèche a varié de 40 mm à 245 mm. Ces variations sont dues à deux facteurs principaux : la vitesse du mouvement de rotation de la flèche de la grue au moment du déclenchement de l'avertissement à l'opérateur et le temps de réaction de l'opérateur.

5.3.2 Mode automatique

La figure 16 représente les variations de la distance d'arrêt du bloc d'interrupteurs de position selon la vitesse de rotation au moment de l'avertissement du LPGMFF. Deux courbes ont été identifiées séparément : avec flèche de 18 m et avec flèche de 49 m. Une ligne horizontale a été placée arbitrairement à 115 mm pour représenter la distance entre l'avertissement et l'arrêt automatique si les interrupteurs de position étaient espacés de 115 mm.

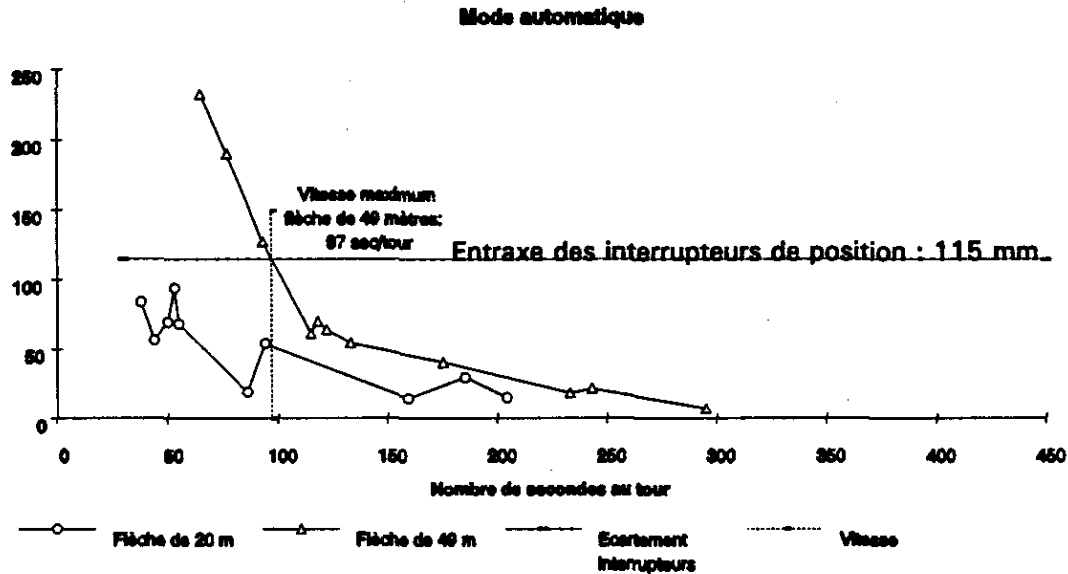


Figure 16 : Distances d'arrêt en mode automatique

La vitesse de rotation au moment du déclenchement de l'interrupteur de position d'arrêt (ZS2) a varié de 38 secondes au tour (vitesse très élevée, selon les opérateurs) jusqu'à 295 secondes au tour (vitesse très lente).

La distance, au niveau du rail de fixation des cames, parcourue par l'interrupteur d'arrêt (ZS2) entre son actionnement et l'arrêt effectif du mouvement de rotation de la flèche a varié de 7 mm à 232 mm. Cette variation est due uniquement aux caractéristiques propres de la grue (inertie, caractéristiques de freinage, pression d'air de freinage, temps de propagation des signaux d'arrêts électrique et pneumatique). Il faut remarquer que la pression d'air est un facteur déterminant sur ces performances. Au cours des essais, il a fallu porter la pression d'air de 56 psi à 80 psi pour obtenir un freinage normal du mouvement de rotation.

Le problème du temps de freinage ne se pose pas avec les mouvements de levée et de descente de flèche dont l'arrêt est quasiment instantané.

On peut donc se servir des courbes des figures 15 et 16 pour déterminer l'espacement optimum des interrupteurs de position de façon à être sûr que le mouvement de rotation de la grue s'arrêtera suffisamment vite. Théoriquement, il faudrait donc tracer une ligne horizontale au-dessous du point le plus élevé des courbes (correspondant à la distance d'arrêt maximum). En fait, de par les conditions de l'expérimentation et de l'avis des opérateurs, les trois points de la courbe pour la flèche de 49 m correspondent à des vitesses de rotation beaucoup trop élevées et totalement irréalistes dans des conditions normales de chantier à proximité d'une ligne électrique. Nous avons donc choisi de tracer la ligne horizontale, correspondant à l'espacement des interrupteurs de position, à 115 mm.

5.3.3 Espacement des interrupteurs de position et dimensions de la came

En conclusion, la distance de 115 mm entre les interrupteurs garantit que :

- l'opérateur a un temps raisonnable pour réagir au signal d'avertissement et amener la charge en position d'arrêt sécuritaire (position en dessous de la ligne horizontale de la figure 15);
- si l'opérateur ne réagit pas ou trop tard, l'arrêt automatique a le temps d'intervenir avant que la charge ne pénètre dans la zone dangereuse (position en dessous de la ligne horizontale de la figure 16).

La dimension minimum de la came doit permettre l'actionnement des deux interrupteurs de positions (avertissement et arrêt) jusqu'à l'arrêt complet du mouvement de rotation. La came doit donc être active pendant au moins 2 fois 115 mm, soit 230 mm. Pour tenir compte des jeux et variations possibles, nous retiendrons une longueur utile de 250 mm pour les comes utilisées dans le mouvement de rotation de la flèche. Ces distances recommandées sont indiquées sur la figure 17.

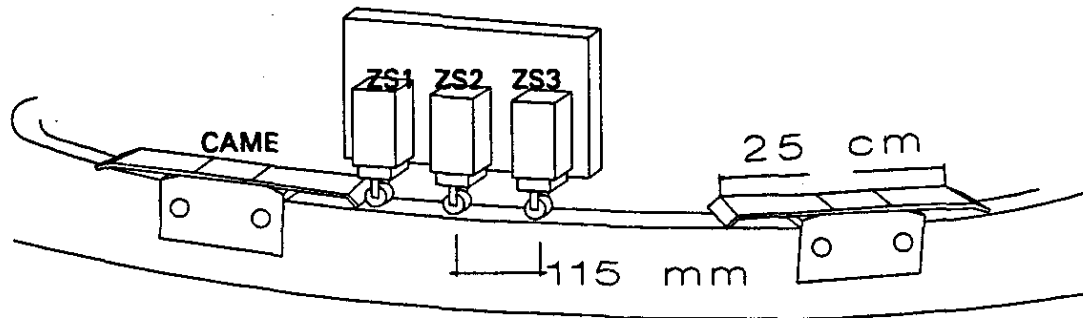


Figure 17 : Dimensions fonctionnelles recommandées pour le LPGMFF

6. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Les résultats des essais du LPGMFF en mode automatique montrent qu'il est possible d'utiliser un limiteur de portée pour une grue mobile à flèche fixe en autant que le limiteur ait été soigneusement adapté aux caractéristiques de la grue et à son opération par les grutiers. Ce limiteur doit être ajusté avec soin en utilisant une méthode spécifique, après que la localisation des zones dangereuses ait été faite.

Plus précisément en méthode libre d'évaluation des distances, il a été montré que les jugements de distance entre une ligne à haute tension et une partie de grue faits à vue d'oeil, à partir de la cabine, sans repère au sol, tel que lors de l'installation de la grue, sont relativement peu fiables lors d'un mouvement d'approche vers une ligne à haute tension.

Par contre, la méthode imposée mise à l'épreuve dans cette étude offre une précision et une fiabilité beaucoup supérieures aux jugements effectués à vue d'oeil sans repère autres que la ligne à haute tension. De plus, cette méthode est simple et requiert des équipements peu coûteux (madrers peints d'une couleur contrastante avec le sol). Elle offre aussi l'avantage de ne nécessiter aucune aide au sol.

Les dimensions critiques du LPGMFF ont été appuyées sur une expérimentation en vraie grandeur qui garantit le fonctionnement sécuritaire du système constitué de l'opérateur, de la grue, du LPGMFF et des lignes électriques.

RÉFÉRENCES

1. PAQUES, J.-J., *Accidents par contacts d'engins avec des lignes électriques*, Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec, Bilan de connaissances B-025, 1990, 32 p.
2. PAQUES, J.-J., *Crane accidents by contact with powerlines*, *Safety Science*, Vol. 16, 1993, pp 129-142.
3. *Code de sécurité pour les travaux de construction*, Gouvernement du Québec. 7 juillet 1992, Révision 2 juillet 1992, Section V.
4. DEI SVALDI, D., GILET, J.-C., PAQUES, J.-J., *Contacts directs d'engins avec les lignes électriques*, Institut National de Recherche et de Sécurité, Cahiers de Notes Documentaires ND 1879-147-92, 1992, pp 177-193.
5. PAQUES, J.-J. *Moyens de protection contre les accidents par contact d'équipements avec des lignes électriques*, Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec, Bilan des connaissances B-039, 1992, 19 p.
6. PAQUES, J.-J., BOURBONNIÈRE, R., MICHAUD, P., VAN DYKE P., BENJAMIN, S., *Développement d'un dispositif limiteur de portée pour grues mobiles*, Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec, Rapport d'étape, 1993, 49 p.
7. MACCOLLUM, D.V., *Critical hazard analysis of crane design*, *Professional Safety*, Janvier 1980, p. 31-36.

Référence générale

DICKIE, D.E., *Manuel du grutier*, Commission des accidents du travail du Québec, Direction générale des publications gouvernementales du ministère des Communications du Québec, 1985, 304 p.

ANNEXE

PROCÉDURE À SUIVRE POUR L'ÉVALUATION DES DISTANCES ENTRE UN CONDUCTEUR ET LA PARTIE LA PLUS PROCHE D'UNE GRUE

A. Matériel nécessaire

Pour cette opération, le grutier doit disposer d'un madrier de 5 cm par 10 cm environ (2" x 4") de 3 m (10 pieds) de longueur peint en orangé fluorescent ou de tout autre objet possédant des caractéristiques analogues, c'est-à-dire long, étroit et offrant un excellent contraste avec le sol.

B. Procédure

- 1 - Identifier l'endroit approximatif au sol où le crochet est susceptible d'entrer dans la zone de danger décrite par une ligne imaginaire située à 3 m (10 pieds) de la ligne à haute tension.
- 2 - À peu près vis-à-vis de ce point d'entrée dans la zone de danger, se placer le plus exactement possible à la verticale sous le conducteur le plus proche de la grue et effectuer une marque au sol.
- 3 - Installer le madrier à 3 m (10 pieds) de cette marque pour délimiter la zone de danger. Utiliser un ruban à mesurer ou la longueur du madrier pour cette opération. Le madrier doit être situé approximativement à l'endroit où le crochet passera au-dessus du madrier en entrant dans la zone de danger.
- 4 - Descendre le crochet aussi près du sol que possible et l'amener directement au-dessus du madrier.
- 5 - Ajuster la position des cames ou des repères du dispositif destiné à limiter la portée de la grue, en suivant les directives particulières du fournisseur du dispositif.