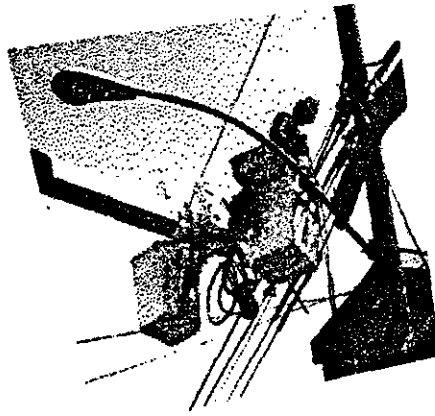


**Moyens de protection
contre les accidents
par contact d'équipements
avec des lignes électriques**

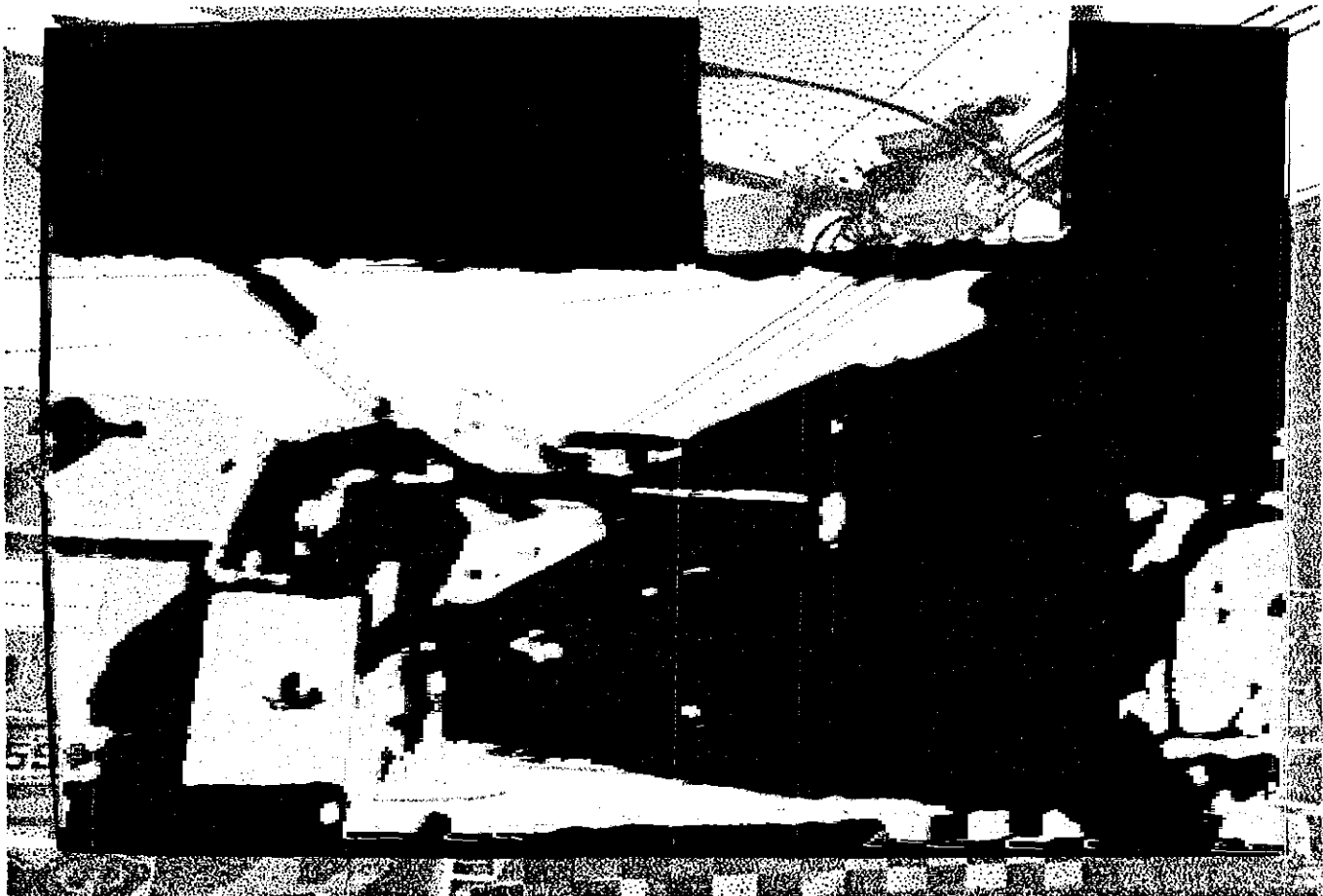


BILANS DE CONNAISSANCES

Joseph-Jean Paques

Septembre 1992 B-039

RAPPORT



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,

**Moyens de protection
contre les accidents
par contact d'équipements
avec des lignes électriques**

Joseph-Jean Paques
Programme sécurité-ingénierie, IRSST

**RECHERCHES
COMMISSARIAT
DES
SAUVAGES**

RAPPORT

Cette étude a été financée par l'IRSST. Les conclusions et recommandations sont celles de l'auteur.

© Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec, septembre 1992.
3^e trimestre 1992.

RÉSUMÉ

Les accidents par électrocution qui surviennent lorsque des machines entrent en contact avec des lignes électriques aériennes sous tension, sont une cause importante de décès, principalement sur les chantiers de construction au Québec.

Il existe toutefois un certain nombre de moyens de prévention qui vont de la mise hors tension des lignes sous-tension jusqu'à l'utilisation de dispositifs techniques spéciaux de protection.

L'analyse de trente documents publiés dans différents pays a permis de faire le point sur ces différents moyens de prévention. Parmi ces documents, on retrouve des textes à caractère légal (lois, normes ou règlements obligatoires⁸) et des descriptions de procédures de sécurité²².

Si tous les moyens indiqués ou recommandés dans ces documents présentent une grande variété, ils n'ont toutefois pas tous la même efficacité. L'analyse des documents a confirmé qu'il faut les choisir en tenant compte de la **machine utilisée**, de l'**environnement de travail**, de l'**organisation du travail** et du niveau de la **qualification des travailleurs**.

Dans certains cas, il est apparu nécessaire de préciser les performances et les limites de certains moyens de prévention.

Dans d'autres cas, le développement de certaines techniques présente un bon potentiel d'amélioration, en autant que des critères stricts de sécurité et de fiabilité sont rencontrés.

TABLE DES MATIÈRES

	PAGE
1. INTRODUCTION	1
1.1 Définition des accidents	2
1.2 Types d'équipements concernés	2
1.3 Choix des moyens de prévention	3
2. PROTECTION PAR MISE HORS TENSION DES LIGNES ET LEUR MISE À LA TERRE	4
3. PROTECTION PAR DÉTOURNEMENT DES LIGNES SOUS-TENSION	4
4. PROTECTION PAR LA DISTANCE D'APPROCHE LÉGALE	5
4.1 Prise de conscience du risque	7
4.1.1 Dispositions générales	7
4.1.2 Détecteur qualificatif de lignes électriques	7
4.2 Travail à proximité de lignes électriques sous tension	8
4.2.1 Dispositions générales	8
4.2.2 Signaleur	9
4.2.3 Détection et limitation	9
5. PROTECTION PAR MISE À LA TERRE DES MACHINES MOBILES	11
6. PROTECTION PAR ISOLATION	12
7. CONCLUSION	14
8. BIBLIOGRAPHIE	16

1. INTRODUCTION

Les accidents qui surviennent lorsque des équipements mobiles entrent en contact ou se rapprochent suffisamment d'une ligne électrique sous tension pour qu'une circulation de courant électrique soit établie avec le sol, sont en général très graves. Malheureusement, les techniques qui permettraient de les réduire ou de les éviter ne sont pas toujours connues et applicables de façon absolue.

En fait, ces techniques sont assez spécifiques et ne donnent de bons résultats que pour des cas particuliers, correspondant à un type de machine précis, dans des conditions de travail données et avec du personnel entraîné pour les utiliser.

Afin d'aider à choisir les moyens de prévention adaptés pour chaque situation, nous avons classifié ces différents moyens pour prévenir le contact électrique entre des lignes aériennes et des machines ou engins associés à la construction, à partir d'informations recueillies dans différents milieux de travail et dans des publications diverses.

Dans le cadre d'une pré-étude sur les moyens de prévention des électrocutions associées aux pompes à béton, trente documents publiés dans différents pays ont été analysés afin de faire le point sur ces différents moyens de prévention. Parmi ces documents, on retrouve des textes à caractère légal (lois, normes ou règlements obligatoires⁸) et des descriptions de procédures de sécurité²².

Ces documents proviennent de plusieurs provinces du Canada (Québec, Ontario, Colombie Britannique, Terre-Neuve et Alberta) et de plusieurs pays, tels que les États-unis, la France et l'Angleterre.

Dans le présent document, nous allons décrire les moyens de prévention, en commençant par les plus souhaitables (suppression des dangers à la source ou sécurité intrinsèque), puis nous étudierons ceux qui permettent d'éviter la situation dangereuse (protection collective) et enfin ceux qui protègent le ou les travailleurs en cas de situation dangereuse (protection individuelle).

1.1 Définition des accidents

Avant de décrire les moyens de protection, il nous a semblé nécessaire de bien définir le type d'accidents que l'on cherche à éviter. Les moyens de prévention décrits ci-dessous cherchent à éviter les circonstances d'accidents suivantes :

Une machine mobile, motorisée et automotrice est entrée en contact ou s'est approchée suffisamment d'une ligne électrique sous-tension pour qu'une circulation de courant électrique ait été établie avec le sol.

1.2 Types d'équipements concernés

Les moyens de prévention décrits dépendent beaucoup des équipements eux-mêmes car certaines technologies s'appliquent facilement sur certains équipements et pas du tout à d'autres. Pour faciliter le choix, les équipements ont été classifiés selon huit catégories :

- Les grues mobiles, automotrices, incluant les grues conventionnelles (à flèche en treillis), les grues hydrauliques (extensibles et télescopiques) et les grues industrielles de tout genre; en anglais les termes techniques employés sont "*mobile cranes, lattice boom cranes, telescopic boom cranes, industrial cranes*";
- Les flèches de camion ou "*boom trucks*";
- Les bennes basculantes de camion ou "*dump trucks*";
- Les rétrocaveuses (ou tractopelles) ou "*backhoe*";
- Les nacelles aériennes avec ou sans tarière ou "*aerial bucket with or without auger*";
- Les pelles à chenille et les grues à chenille ou "*crawler mounted excavator, crawler mounted crane*";

- Les pompes à béton avec un mât de distribution ou avec des convoyeurs à bande ou "*concrete pump with placing boom or belt conveyor*";
- Les équipements divers (équipements de lutte contre les incendies, foreuses, machines à faire les fossés, autres machines) ou "*firefighting equipment, drilling rig, ditching machine, others*".

1.3 Choix des moyens de prévention

Si tous les moyens indiqués ou recommandés dans ces documents présentent une grande variété, ils n'ont toutefois pas tous la même efficacité. L'analyse des documents a confirmé qu'il faut les choisir en tenant compte de la **machine utilisée**, de l'**environnement de travail**, de l'**organisation du travail** et du niveau de la **qualification des travailleurs**.

En effet le type de mouvement des machines, leurs structures déployables, leurs dimensions, leur rapidité de mise en place et de déplacement, la nature et la masse des charges déplacées sont parmi les principaux facteurs qui dictent le choix d'un ou plusieurs moyens de prévention appliqués à la machine elle-même.

La disposition des lieux de travail, la position relative des lignes électriques et des machines, la visibilité, l'espace disponible, les accès au lieu de travail, la durée du travail ont une influence sur le choix des moyens de prévention.

De façon plus générale, chaque secteur d'activité industrielle a ses habitudes de travail et de sécurité, ce qui a un impact direct sur son organisation du travail. De plus, le niveau de formation des travailleurs qui utilisent un type de machine n'est pas nécessairement le même dans un secteur d'activité industrielle que dans un autre ou selon la taille des entreprises. La répartition des tâches aussi peut varier d'une industrie à l'autre. De plus, il faut tenir compte aussi de la législation en vigueur sur les lieux de travail.

Il en résulte que le choix du moyen de prévention doit être fait en tenant compte de tous ces facteurs qui sont parfois antagonistes. Pour établir un choix approprié à chaque situation, il faut consulter autant les utilisateurs d'équipements que les préventionnistes.

2. PROTECTION PAR MISE HORS TENSION DES LIGNES ET LEUR MISE À LA TERRE

La mise hors tension des lignes électriques constitue le meilleur moyen de prévention contre les accidents qui surviennent par contact ou amorçage entre des machines mobiles et des lignes électriques sous-tension. Ceci est alors un cas typique de suppression des dangers à la source. Parmi les documents étudiés, 21 le recommandent.

Concrètement son application peut poser des problèmes et se révéler coûteuse. Les délais de mise en oeuvre de cette technique sont perçus parfois aussi comme un obstacle pour des travaux de courte durée à proximité de lignes électriques.

Il est important de noter que la mise hors tension de lignes électriques ne suffit pas pour supprimer les risques d'électrocution pour les travailleurs. Il faut aussi connecter à la terre les conducteurs désalimentés car des tensions parasites dangereuses peuvent être induites (par effet capacitif principalement), surtout si les lignes sont de grande longueur, et d'autre part, une réalimentation intempestive des lignes électriques, à la suite d'une erreur de manoeuvre, est toujours à craindre. Ces points ne sont pas toujours mentionnés de façon explicite dans les normes ou procédures obligatoires ou recommandées car seulement 10 documents le mentionnent.

3. PROTECTION PAR DÉTOURNEMENT DES LIGNES SOUS-TENSION

Afin de ne pas interrompre la distribution de courant électrique, il est parfois possible de déplacer physiquement les fils électriques pour les éloigner de la zone d'évolution des machines de chantier. Ceci peut se faire par déplacement complet des supports et des conducteurs, ou par simple élévation des conducteurs sur leurs supports habituels. Cette solution est mentionnée par 8 documents étudiés.

Si cette alternative comporte les mêmes inconvénients que la solution précédente (coûts et délais), elle peut constituer toutefois une alternative fort valable pour les chantiers de longue durée.

Il est aussi possible de remplacer les lignes aériennes par les lignes souterraines. Cette méthode est encouragée dans certains pays européens. Toutefois, si les risques de contacts avec les lignes aériennes sont ainsi supprimés, par contre, lorsque des excavations sont effectuées dans le sol à proximité de lignes enterrées, les risques de contacts et d'endommagements de ces lignes augmentent. D'autres moyens appropriés de prévention doivent alors être mis en place.

4. PROTECTION PAR LA DISTANCE D'APPROCHE LÉGALE

Lorsqu'il devient inévitable que l'équipement mobile soit placé d'une façon telle que sa structure puisse physiquement se rapprocher d'une ligne électrique sous-tension, il faut alors prendre les moyens pour que tout élément de la machine reste en deçà des **distances** sécuritaires par rapport aux conducteurs électriques. Ces distances minimum garantissent que, par l'**isolation de l'air**, aucun courant électrique dangereux ne circulera. La grande majorité des documents consultés, soit 26 sur 30, mentionne qu'il faut se tenir à distance des conducteurs.

Il est donc nécessaire que les opérateurs d'équipements connaissent bien ces distances de sécurité pour pouvoir les respecter. Rappelons qu'au Québec, le "Code de sécurité pour les travaux de construction"⁶ spécifie "la distance d'approche minimale" suivante :

<u>Tension entre phases (en volts)</u>	<u>Distance d'approche minimale (mètres)</u>
Moins de 125 000	3
125 000 à 250 000	5
250 000 à 550 000	8
Plus de 550 000	12

Ces valeurs sont reportées sur la figure 1. À titre de comparaison, les distances d'approche minimum préconisées par certaines références d'origine américaine⁵ sont indiquées également sur la figure 1, ainsi que celles d'origine française¹⁷.

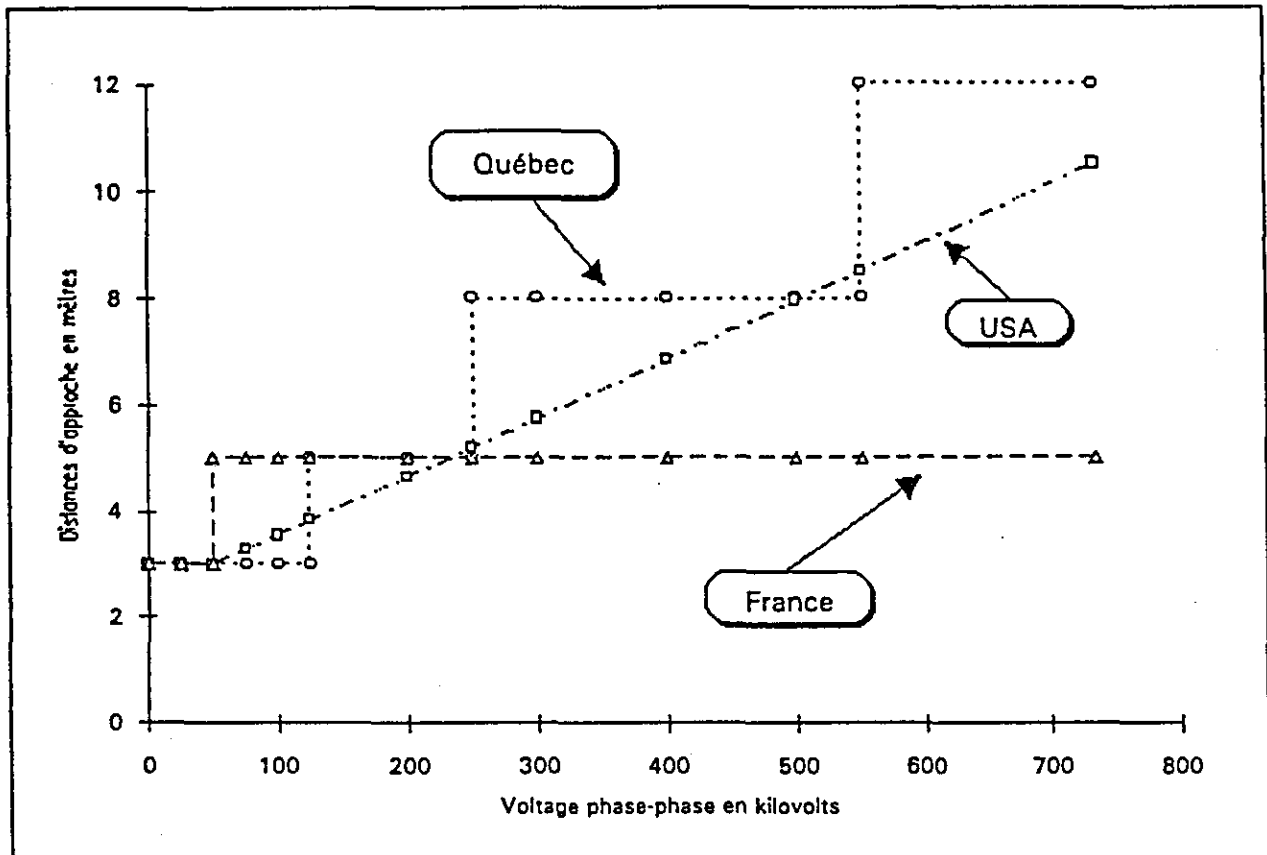


Figure 1 - Distances d'approches légales

Pour pouvoir respecter ces distances d'approche aux lignes électriques aériennes, l'opérateur doit premièrement **détecter** la présence de ces lignes dangereuses et deuxièmement **limiter** les mouvements de l'équipement en conséquence.

La détection de la ligne électrique dangereuse comporte deux volets :

- premièrement, il faut avoir **conscience de la présence d'une ligne électrique sous-tension** qui présente un danger pour le travailleur en cas de contact avec un équipement;
- et deuxièmement, lorsque l'équipement fonctionne, il faut **évaluer en permanence la proximité** des éléments de la structure avec les conducteurs sous-tension pour limiter ses mouvements.

4.1 Prise de conscience du risque

4.1.1 Dispositions générales

Lorsque l'opérateur met en place son équipement à proximité de lignes électriques, il peut prendre conscience du risque que cela représente grâce aux moyens décrits ci-après. Tout d'abord un écriteau explicite sur son véhicule lui rappellera le risque général que représente le contact avec les lignes électriques. Il est ainsi encouragé à faire une inspection visuelle de son environnement de travail, avant d'installer son équipement. Il sera aidé dans cette inspection, si une signalisation fixe (pancartes et délimitation de zones dangereuses) a été mise en place auparavant, dans le cadre d'un programme de prévention par exemple. Ce programme de prévention du chantier, s'il existe, devra impérativement mentionner les lignes électriques dangereuses et prévoir des moyens de prévention appropriés.

4.1.2 Détecteur qualitatif de lignes électriques

Il faut noter que cette étape de prise de conscience du danger sur le chantier est importante, car dans certains cas d'accidents, l'opérateur n'avait pas conscience de la présence de lignes électriques ou que ces lignes étaient sous-tension. Pour aider cette prise de conscience, il est possible d'utiliser un détecteur de lignes électriques sous-tension qui, installé en permanence sur la partie motrice de l'équipement, va donner une **indication** si une ligne électrique sous-tension se trouve à proximité mais n'en mesurera pas la distance. C'est un dispositif strictement **qualitatif**.

Toutefois, il est nécessaire de bien comprendre les contraintes fonctionnelles que doit rencontrer un tel dispositif : le détecteur de lignes électriques doit donner une indication sonore et visuelle à l'opérateur de l'équipement lorsqu'il le met en place à une distance inférieure à un certain seuil (à fixer). De plus, cette indication doit être **fiable** et **sécuritaire**, c'est-à-dire que l'indication se fera **toujours** à proximité d'une ligne électrique et **seulement** à proximité d'une ligne électrique. Le détecteur sera conçu en application des principes de **sécurité positive**, c'est-à-dire que pour tout défaut susceptible de mettre la sécurité de l'opérateur en cause, une indication explicite sera donnée à l'opérateur et, au besoin, le déploiement des structures sera bloqué.

Par exemple, un détecteur non sécuritaire pourra tomber en panne sans que l'opérateur le sache, ou ne pas donner d'indication de lignes électriques pour certaines configurations de lignes particulières comme des croisements de lignes ou des lignes multiples à tension différentes. Un détecteur non fiable pourra provoquer de faux déclenchements qui réduiront la confiance de l'opérateur et conduiront à l'élimination du dispositif à cause de la gêne que cela représente pour l'opérateur.

Il est très important donc que les critères de **sécurité** soient respectés car lorsqu'un tel détecteur est installé sur un équipement, son opérateur aura tendance, après un certain temps, à se fier à lui entièrement, selon "l'hypothèse de dépendance" qui a été mise en évidence par certains chercheurs¹¹.

À l'heure actuelle, on peut trouver sur le marché des détecteurs de ligne qui sont présentés sous forme d'**aide à l'opérateur**. Il faut savoir que ces détecteurs ne remplissent pas nécessairement les critères de **fiabilité** et de **sécurité** décrits ci-dessus.

Avec cette aide à l'opération, l'opérateur devra être quand même attentif à la présence de lignes électriques, même si le détecteur ne lui en donne aucune indication. Le détecteur ne peut alors pas se substituer à aucune des autres mesures de sécurité requises par les règlements ou lois applicables.

À l'heure actuelle, ce type de détecteur procède par mesure de champ électrique à l'aide d'un circuit électronique. Toutefois, la **fiabilité** et la **sécurité** des dispositifs disponibles sur le marché doit faire encore l'objet d'études et d'expérimentations, avant qu'ils puissent être considérés comme des dispositifs de sécurité.

4.2 Travail à proximité de lignes électriques sous-tension

4.2.1 Dispositions générales

Lorsqu'un équipement déployable doit travailler à proximité de ligne électrique sous-tension, la position relative de la ligne électrique et des structures de l'équipement devra toujours être connue et appréciée afin de limiter la distance d'approche en fonction de la réglementation en vigueur.

Si cette tâche est confiée à l'opérateur, cela constitue une charge mentale supplémentaire pour intégrer la ligne électrique dans les différents obstacles dont il doit tenir compte pour faire évoluer son équipement. L'opérateur pourra le faire à partir de l'observation visuelle continue de son aire de travail. Il est possible de l'aider à apprécier la position des lignes électriques au moyen de signalisations fixes au sol ou d'écrans isolants, ou d'obstacles rigides ou semi-rigides à proximité des zones dangereuses. En tout temps, l'opérateur devra donc être prêt à actionner les commandes pour limiter la course des mouvements dangereux de son équipement.

4.2.2 Signaleur

Dans 13 documents, l'aide d'un signaleur est requise ou fortement recommandée. Le signaleur, dont le travail est d'indiquer à l'opérateur que l'équipement surveillé s'approche des lignes dangereuses, doit toutefois avoir la formation et les outils nécessaires pour apprécier correctement les distances. Ce point est parfois difficile à satisfaire, car la disposition des lieux, les conditions d'éclairage et de contraste, la position relative des observateurs (signaleur comme opérateur) et leur formation sont des facteurs qui peuvent influencer largement la précision de l'évaluation des distances relatives.

Par ailleurs, une méthode de communication efficace et fiable doit être établie entre l'opérateur et le signaleur. Des facteurs de disponibilité de personnel peuvent être un obstacle à l'utilisation de ce moyen.

4.2.3 Détection et limitation

La législation du Québec reconnaît le bien-fondé de l'usage d'un dispositif qui "avertit le conducteur ou bloque les manoeuvres de façon à respecter la distance d'approche minimale" aux lignes électriques. D'autres réglementations reconnaissent aussi cette possibilité mais de façon plus nuancée.

Il semble en effet possible de concevoir des dispositifs intégrés à l'équipement qui puissent automatiquement avertir l'opérateur ou arrêter les mouvements dangereux lorsqu'un élément de l'équipement s'approche des lignes électriques. Deux principes de base peuvent être utilisés : la **détection quantitative** et la **limitation de course** :

- **Détection de ligne électrique quantitative** : la détection de la présence de conducteurs électriques sous-tension peut se faire aussi par moyen automatique, à l'aide de circuits électroniques utilisant les mêmes principes que les détecteurs de lignes qualitatifs, par mesure de champ électrique, en général. Ces dispositifs effectuent une mesure analogique de la distance entre un ou plusieurs points de la structure et les conducteurs électriques sous-tension. Ces détecteurs peuvent soit donner une simple indication (visuelle et auditive), soit provoquer un arrêt du mouvement dangereux, si cela est possible sans risquer de déséquilibrer l'équipement protégé.

Les contraintes de **fiabilité** et de **sécurité** à suivre pour la conception et l'utilisation de ces détecteurs-limiteurs sont les mêmes que pour les détecteurs qualitatifs mentionnés ci-dessus. Un dispositif conçu seulement pour aider l'opération risque de devenir inutilisable ou de nuire à l'opérateur, comme cela a été mentionné auparavant au sujet des détecteurs qualitatifs.

- **Limitation des mouvements** : pour des appareils de levage simple, la limitation des mouvements peut se faire automatiquement, à l'aide d'un dispositif qui avertit l'opérateur lorsque la partie mobile de l'équipement se rapproche trop d'une ligne électrique dangereuse. Ce dispositif peut aussi arrêter le mouvement dangereux s'il a été prouvé que ceci peut se faire sans introduire de risque pour l'équipement ou la charge transportée. Ces dispositifs, qui doivent être **fiables** et **sécuritaires**, sont utilisables lorsque le nombre de mouvements à limiter est réduit (1, 2 ou 3).

La limitation des mouvements peut faire appel à une technologie simple (relais et interrupteurs de position) ou plus sophistiquée (transducteurs de position et microprocesseur programmable), en autant que la **fiabilité** et la **sécurité** positive du dispositif ont été prouvées.

Il est important de noter que les détecteurs quantitatifs, comme les dispositifs de limitation de mouvement automatique, doivent **toujours** être réajustés à chaque fois que l'équipement est placé ou déplacé à proximité d'une ligne électrique. Ceci est dû au fait que la géométrie des lieux (incluant

la disposition des lignes électriques et la géométrie de l'équipement) et la tension de la ligne ont une grande influence sur la mesure effectuée par le dispositif ou sur les points de repère utilisés par rapport à la ligne électrique.

À l'heure actuelle, les détecteurs quantitatifs disponibles sur le marché aussi bien que les limiteurs de mouvement doivent faire encore l'objet d'études et d'expérimentations afin de démontrer leur **fiabilité** et leur **sécurité** de fonctionnement.

5. PROTECTION PAR MISE À LA TERRE DES ÉQUIPEMENTS MOBILES

Dans cette technique, des mesures rigoureuses sont prises pour que les équipements, susceptibles d'entrer en contact ou d'amorcer un arc avec les lignes électriques, soient maintenus au potentiel du sol. En cas de circulation de courant électrique, la mise à la terre directe (MALT) prévient théoriquement la circulation de courant électrique à travers le corps de travailleurs, à proximité de l'équipement en question et fait ouvrir l'alimentation de la ligne électrique par son propre système de protection.

Le principe de protection est que, en cas de contact entre l'équipement (raccordé à la terre) et la ligne électrique sous-tension, les circuits de protection de la ligne détecteront une circulation de courant de terre élevée et déclencheront l'ouverture du disjoncteur d'alimentation. Toutefois, il faut noter que pour la plupart des lignes électriques aériennes, ce disjoncteur est refermé automatiquement après un bref délai (une demie à trois secondes environ); finalement, en cas de défaut prolongé, comme par exemple le contact franc avec la structure d'équipement mise à la terre, le disjoncteur peut être refermé une ou plusieurs fois avant d'être ouvert définitivement.

Il est possible, lorsqu'on le sait à l'avance de prendre des mesures pour empêcher cette refermeture du disjoncteur d'alimentation par une procédure de retenue qui fait partie des ententes préalables à prendre avec le distributeur d'électricité.

Même si certains règlements ou normes demandent d'établir une connexion électrique solide entre les équipements mobiles et le sol, pour des travaux utilisant des équipements mobiles à l'intérieur de postes électriques ou à proximité d'installations électriques sous-tension, ce type de protection ne

garantit pas la protection des aides au sol, et ne peut être utilisé que comme complément de protection du personnel et du matériel (fixe et mobile) dans certaines circonstances, et avec du personnel entraîné.

Tout d'abord, la connexion de mise à la terre doit avoir une résistance la plus faible possible et requiert donc une qualification particulière de la part du personnel qui l'installe. Par exemple, la grosseur du conducteur de MALT doit être établie en fonction du courant de court circuit de la ligne dont on veut se protéger.

Même si le raccordement à la terre est fait convenablement, ce principe de protection ne protège pas les aides au sol. Ceci vient de ce que, en cas de mise à la terre de la ligne électrique à travers l'équipement, la circulation du courant de terre est suffisamment grande (400 à 500 ampères dans certains cas) pour élever la tension entre le véhicule mobile et la terre de façon dangereuse pour un travailleur qui s'y serait accoudé ou serait en train de guider la charge avec un câble conducteur. Certains accidents sont survenus dans ces circonstances.

L'autre limitation vient du fait que l'alimentation de la ligne électrique n'est pas nécessairement coupée instantanément ni définitivement après un premier contact entre l'équipement et la ligne électrique.

6. PROTECTION PAR ISOLATION

Pour se protéger de lignes électriques à basse tension (inférieure à 750 V) ou à moyenne tension (750 V à 34 kV), l'isolation entre la partie de l'équipement qui est susceptible d'entrer en contact avec la ligne électrique et le travailleur, est une technique qui est utilisée parfois comme moyen de protection. Toutefois, il faut noter qu'il s'agit d'une protection a posteriori, une fois que le contact a été établi entre la ligne électrique et l'équipement mobile. L'isolation introduite prévient la circulation d'un courant électrique dangereux pour les travailleurs.

Dans tous les cas, les techniques d'isolation impliquent toujours un minimum de qualification de la part du ou des travailleurs qui l'utilisent pour se protéger eux-même ou leurs compagnons de travail. En particulier, il est important de s'assurer que les qualités isolantes des matériaux employés n'ont pas

été dégradées, principalement par des circonstances dues à l'environnement (poussières, humidité, choc, usure, etc) ou le temps. Ceci nécessite donc un minimum de formation afin de pouvoir faire les essais requis.

L'isolation peut s'effectuer de plusieurs façons :

La structure déployable de l'équipement mobile peut comporter une partie réalisée en matériau isolant. Certains équipements, par exemple du type nacelle, comportent dans leur structure déployable des portions de structure en matériau isolant composite. Ceci permet un contact physique entre la ligne aérienne et la partie supérieure de la structure, dans laquelle un travailleur peut se trouver éventuellement. Le travailleur se trouve alors placé au potentiel de la ligne mais aucune circulation de courant électrique n'est établie et la situation n'est pas dommageable pour le travailleur dans la nacelle.

Ce type de protection, par isolation entre le sol et les parties sous-tension, requiert une surveillance par du personnel qualifié pour garantir la qualité de l'isolation. Des mesures régulières de l'isolation doivent être effectuées. C'est une technique utilisée pour les travaux d'élagage des arbres à proximité de lignes aériennes ou pour des travaux sur le réseau de distribution électrique par les compagnies de distribution d'électricité ou leurs entrepreneurs.

Il est aussi possible de recouvrir certaines parties de la structure déployable par un matériau isolant. Toutefois cette technique semble en voie de disparition, principalement à cause de la difficulté de conserver les qualités isolantes du matériau et aussi de la protection limitée dans l'espace qu'elle présente.

Des équipements de protection individuelle (gants, bottes) sont souvent recommandés pour les travailleurs qui aident les manoeuvres (aides au sol). Si, dans certains cas d'accidents, une réelle protection a été établie, l'efficacité absolue est loin d'être garantie, en particulier dans des circonstances (temps humide, présence de boue ou de poussière) l'intégrité de l'isolation est difficile à maintenir.

Des équipements de protection collective des travailleurs par isolation sont aussi utilisables et parfois fortement recommandés. Que ce soit des tapis ou des élingues isolantes ou des capots de couverture des conducteurs électriques, il est toujours indispensable de s'assurer que leur qualité d'isolation est maintenue. Comme pour les équipements de protection individuelle, ce genre de technique est utilisée par les compagnies de distribution d'électricité ou leurs entrepreneurs.

Enfin, il est possible à l'opérateur de commander son équipement à travers un boîtier de commande entièrement isolé de l'équipement susceptible d'entrer en contact avec une ligne électrique. Ceci est possible à l'aide d'une télécommande radio ou par lien optique (fibre optique, rayon infrarouge, etc.) entre le boîtier de commande et l'équipement. Cette technique est plus facile à utiliser car la qualité de l'isolation est garantie de façon quasi-intrinsèque. Toutefois, seul l'opérateur se trouve ainsi protégé mais pas les aides au sol qui guideraient une charge ou seraient accoudés sur l'équipement. Par exemple, pour des activités où l'opérateur est la plupart de temps seul, comme dans la livraison de matériaux de construction à l'aide de flèche de camion, les télécommandes radio présentent un très bon potentiel.

Contrairement à une notion que l'on rencontre parfois, il est important de noter qu'un opérateur qui commande un équipement avec un boîtier de commande à distance, connecté par un câble électrique n'est nullement protégé contre l'électrocution en cas de contact de l'équipement avec un ligne électrique sous-tension. En effet, la tension élevée des lignes électriques de transport ou de distribution est la plupart du temps, largement supérieure à la tension d'isolation prévue par le fabricant du boîtier de commande à distance. Des cas d'électrocution se sont produits lorsque l'opérateur, qui se tenait au sol à distance de l'équipement, a été électrocuté à travers le câble électrique qui relie le boîtier de commande à l'équipement.

7. CONCLUSION

Cette étude a permis de répertorier tous les moyens de prévention disponibles pour protéger les travailleurs contre les accidents qui surviennent lorsqu'un équipement mobile entre en contact ou se rapproche suffisamment d'une ligne électrique sous-tension, pour qu'une circulation de courant électrique soit établie avec le sol.

Cette étude a également permis de préciser les performances et les limites de ces moyens de prévention car, si tous les moyens indiqués présentent une grande variété, ils n'ont toutefois pas tous la même efficacité. Il faut les choisir en tenant compte de la **machine utilisée**, de l'**environnement de travail**, de l'**organisation du travail** et du niveau de la **qualification des travailleurs**.

Certains de ces moyens de prévention sont connus et appliqués, comme par exemple la mise hors tension et leur MALT des lignes aériennes, l'isolation de certaines parties des structures de nacelles aériennes ou la limitation de course pour les grues mobiles.

D'autres techniques requièrent encore des efforts de recherche et de développement, comme la détection de ligne sous-tension. Dans ce dernier cas, en particulier, on ne sait pas exactement de quelle façon le champ électrique des lignes électriques sous-tension est déformé lorsqu'une flèche déployable s'en approche. De même, on ne connaît pas non plus de façon rigoureuse l'influence de la forme et de la position d'une ou plusieurs sondes de mesure sur le champ électrique mesuré. Enfin, des critères stricts de sécurité et de fiabilité devront être rencontrés pour pouvoir considérer des détecteurs de lignes comme de réels dispositifs de sécurité.

Enfin rappelons que, s'il est possible de définir à l'avance une stratégie de prévention de façon générale, il est aussi nécessaire de réévaluer cette stratégie pour chaque nouvelle installation d'équipement mobile car la nature essentiellement volatile et temporaire des chantiers de construction peut introduire des circonstances non prévues à l'avance qui peuvent avoir une influence sur l'efficacité des moyens de prévention prévus. Cette évaluation sera plus efficace si elle implique les utilisateurs et les préventionnistes.

8. BIBLIOGRAPHIE

1. Joseph-Jean Paques. Accidents par contacts d'engins avec des lignes électriques. Institut de recherche en santé et en sécurité du Travail du Québec. Mai 1990.
2. Mobile cranes. Canadian Standards Association. Z-150. 1974.
3. Request for assistance in preventing electrocutions from contacts between cranes and power lines. National Institute for Occupational Safety and Health. Juillet 1985.
4. Safety standards, Rule 1910.67, Vehicle-mounted elevating and rotating work platforms. Department of Labor, Construction Safety Standards Commission, Michigan, USA. Juillet 1988.
5. Safety standards, Rule 1910.181, Derricks. Department of Labor, Construction Safety Standards Commission, Michigan, USA. Avril 1982.
6. Code de sécurité pour les travaux de construction. Gouvernement du Québec. Février 1987, Révision 31 janvier 1990.
7. Industrial Health and Safety Regulations. Gouvernement de Colombie Britannique. Janvier 1978.
8. Electrical Safety for Construction and Equipment Operators. Workers' compensation board of British Columbia.
9. Occupational Health and Safety Regulations, Section 36. Gouvernement de Terre-Neuve. 12 juillet 1989.
10. Power Line Hazards, Electrical Safety for boom truck and crane operators. Government of Newfoundland and Labrador Department of Employment and Labour Relations.
11. Ralph L. Barnett, Gene D. Litwin, Peter Barroso Jr.. The Dependency Hypothesis (Part II)- Expected Use. Safety Brief. December 1984.

12. J.A. Bassingthwaite. Fiber-optic control electrically isolates aerial workbasket. Hydraulics and Pneumatics. April 1990.
13. Denis Price. Machinery Operational Safety Near Overhead Lines. International Industrial Ergonomics and Safety Conference. Cincinnati. Juin 1989.
14. David V. MacCollum. How safe the Lift? 22nd Annual Meeting of the Humans Factors Society.
15. Theodore M. Leigh. The construction machine : power line hazard. Professionnel Safety. Septembre 1979.
16. Michel Gagnon. Danger : lignes électriques aériennes. PLAN. Décembre 1990.
17. J.C. Gilet. Prévention des contacts directs avec des lignes électriques aériennes dans des zones à activités industrielles ou artisanales. Institut National de Recherche et de Sécurité. Juin 1990.
18. Engins de levage ou de manutention appelés à travailler à proximité de conducteurs électriques nus. Recommandations approuvées par le comité technique national des industries des pierres et terres à feu. Travail et Sécurité. Septembre 1990.
19. Lorna Middendorf. Judging clearance distances near overhead power lines. 22nd Annual Meeting of the Humans Factors Society. 1978.
20. Frederick H. Raab. Alternative Power-Line Proximity-Warning Techniques. Green Mountain Radio Research Co. for Bureau of Mines, Washington, DC. Janvier 1982.
21. Appareils de levage et engins de chantiers travaillant au voisinage des lignes aériennes. Institut National de Recherche et de Sécurité, ND 1047-86-77. 1977.
22. Emmanuel K. Jarasunas. Crane Accidents & Prevention. Hazard Prevention. Juillet/août 1982.
23. Emmanuel K. Jarasunas. Crane Accidents : Causes and Prevention. Hazard Prevention. Janvier/Février 1984.

24. Emmanuel K. Jarasunas. Crane Accidents. Hazard Prevention. Premier quart 1991.
25. Richard W. Braddee. Boomed Vehicles and Overhead Power Lines. Concrete International, Vol. 11 No. 2. Février 1989.
26. OSHA Preamble and final rule for electrical safety work practices. 55 FR 31984, Aug.6, 1990. The bureau of National Affairs Inc., Washington, D.C.. 1990.
27. F. Cariou. Un dispositif toujours réinventé : le détecteur de proximité de lignes électriques aériennes. Cahiers de comités de prévention du bâtiment et des travaux publics. No 4, 1988.
28. Mobile Cranes and Power Lines. Data sheet 1-743 New 90. Safety and Health. Février 1991.
29. Vehicle-mounted Aerial Devices. Canadian Standards Association. CSA C225-1976.
30. Bétonnage, finition du béton. Guide de sécurité. Association paritaire pour la santé et la sécurité du travail, Secteur construction. Montréal 1989.
31. Pompes à béton. Rapport d'études. Association paritaire pour la santé et la sécurité du travail, Secteur construction. Montréal 1989.
32. Mesures des champs électriques à proximité des ouvrages à haute tension. Résultats et enseignements. Conférence Internationale des Grands Réseaux Électriques à Haute Tension. Paris 1978.
33. Safety Precautions for Concrete Pumping. National Safety Council. Data Sheet 1-702-83. 1983.
34. François Fontaine. Les pompes à béton. Commission de la santé et de la sécurité du travail du Québec, Direction programmation, prévention-inspection. Document de travail, 1987.
35. Directives concernant des pompes à béton et les mâts de distribution. Association générale des coopératives des métiers industriels. Saint-Augustin, Allemagne. 1986.
36. The advisory code for safety in concrete pumping. British concrete pumping association. 1982.

37. Certification of concrete pump operators. American concrete pumping association. 1990.
38. Consignes générales de sécurité et consignes particulières aux chantiers de construction. Service de prévention des accidents, Hydro-Québec. 1973.
39. Avoidance of danger from overhead electric lines. Guidance Note GS6, Health and Safety Executive. United Kingdom. Novembre 1990.
40. D.E. Dickie. Manuel du grutier. Commission de la Santé et de la Sécurité du Travail. 1985.
41. Temporary grounding techniques, Safe Practice Guide. Electrical Utilities Safety Association of Ontario. Mississauga. 1990.
42. Rule Book, Electric Utility Operations. Electrical Utilities Safety Association of Ontario. Mississauga. 1990.
43. Grounding Electric Showels, Cranes and others mobile Equipment. National Safety Council. Data sheet 1-287. Rev. 1989.
44. Procedures for the operation and maintenance of mobile cranes and hoists. Alberta Construction Association. Mars 1982.
45. Safe operating procedures for the operation and maintenance of concrete pumps and placing booms. Alberta Occupational Health and Safety and Alberta Ready Mixed Concrete Association. Draft 1991.
46. Code des travaux. Hydro Québec, 2ième édition. 1976.
47. Opérateurs d'équipements lourds et de pelles mécaniques. Guide de sécurité. Association paritaire pour la santé et la sécurité du travail, Secteur construction. Montréal 1990.
48. L. Middendorf. Problems in the perception of overhead power lines. HAZARD PREVENTION. March/April 1985.