

Prévention des risques mécaniques et physiques

Études et recherches

RAPPORT R-820



Secteur éolien

**Risques en santé et en sécurité au travail
et stratégies de prévention**

*Jean-Louis Chaumel
Laurent Giraud
Adrian Ilinca*



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

NOS RECHERCHES

travaillent pour vous !

Mission

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

Assurer la diffusion des connaissances et jouer un rôle de référence scientifique et d'expertise;

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

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

Pour en savoir plus

Visitez notre site Web ! Vous y trouverez une information complète et à jour. De plus, toutes les publications éditées par l'IRSST peuvent être téléchargées gratuitement. www.irsst.qc.ca

Pour connaître l'actualité de la recherche menée ou financée par l'IRSST, abonnez-vous gratuitement au magazine Prévention au travail, publié conjointement par l'Institut et la CSST. Abonnement : www.csst.qc.ca/AbonnementPAT

Dépôt légal

Bibliothèque et Archives nationales du Québec
2014
ISBN : 978-2-89631-727-1 (PDF)
ISSN : 0820-8395

IRSST - Direction des communications
et de la valorisation de la recherche
505, boul. De Maisonneuve Ouest
Montréal (Québec)
H3A 3C2
Téléphone : 514 288-1551
Télécopieur : 514 288-7636
publications@irsst.qc.ca
www.irsst.qc.ca
© Institut de recherche Robert-Sauvé
en santé et en sécurité du travail,
avril 2014



Prévention des risques mécaniques et physiques

Études et recherches

■ RAPPORT R-820

Secteur éolien

**Risques en santé et en sécurité au travail
et stratégies de prévention**

Avis de non-responsabilité

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

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

*Jean-Louis Chaumel¹, Laurent Giraud²,
Adrian Ilinca¹*

¹Université du Québec à Rimouski

²Prévention des risques mécaniques et physiques, IRSST

Cliquez recherche
www.irsst.qc.ca



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

CONFORMÉMENT AUX POLITIQUES DE L'IRSS

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

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient les techniciens qui, durant leur travail, ont accepté d'être suivis par l'équipe d'observation, ainsi que les responsables des diverses entreprises qui ont accepté d'ouvrir leurs portes pour la réalisation de cette étude.

Par le seul fait que cette recherche, au-delà même de la stricte publication de ses résultats, a engendré diverses évolutions et progrès en prévention chez plusieurs intervenants et entreprises de l'éolien, ceux qui ont donc soutenu et participé à ce projet innovateur dans le monde, doivent être assurés de retombées concrètes de leur contribution.

SOMMAIRE

Malgré une très forte croissance de l'implantation d'éoliennes à travers le monde et notamment au Québec, les statistiques d'accidents de travail, même au niveau international, demeurent fragmentaires et illustrent mal la situation en matière de santé et de sécurité au travail dans ce secteur. Cette étude visait à mieux comprendre les risques et les pratiques en santé et en sécurité du travail, alors que des centaines d'éoliennes de grande puissance s'ajoutent chaque année au Québec. Il s'agissait donc d'effectuer un état des lieux de l'industrie éolienne.

La démarche utilisée dans cette étude utilise plusieurs voies, autres que la seule analyse statistique, pour identifier, décrire et analyser les risques d'accident dans ce secteur, mais aussi les pratiques de prévention et la conformité de ces pratiques à celles que la CSST recommande. Il s'agit, à notre connaissance, de la première étude qui établit un portrait de la santé et de la sécurité au travail pour le personnel qui travaille dans ou en lien avec cette industrie.

Les résultats de l'étude portent, en premier lieu, sur la recension des accidents de travail survenus dans cette industrie depuis le début des années 2000. À cet égard, il convient de signaler, au-delà des risques associés aux aspects mécaniques des éoliennes, la présence de risques cardiaques ainsi que d'accidents dus aux risques électriques liés aux circuits de puissance ou aux circuits de commande. Ce sont deux résultats assez logiques puisque la caractéristique de ces travaux est de s'effectuer en hauteur, et que d'autre part, une éolienne étant une centrale électrique, c'est bien au niveau de l'électricité que se concentre une grande partie des risques.

Les programmes de prévention, qui ont pu être recensés, sont disparates et se présentent sous des formes multiples, souvent simplement empruntées aux fabricants d'éoliennes, dont aucun n'est québécois. Il n'existe pas non plus d'exemple clair et instructif de pratique, à cet égard, ailleurs dans le monde. Il faudra donc plutôt s'orienter vers la mise en place par les entreprises opérant au Québec, de plans de prévention adaptés et conformes à la législation québécoise et aux exigences de la CSST. L'analyse de la réalité du travail sur le terrain a conduit les chercheurs à plusieurs périodes d'observation des techniciens pendant leur travail d'exploitation et d'entretien des éoliennes, mais aussi des entreprises de construction et sous-traitants pendant la phase de construction d'un parc éolien. Ces observations ont permis de compléter le recueil des données et de caractériser les risques et les procédures de travail.

Le cadenassage, au sens où on l'entend au Québec pour les machines, n'est pas applicable comme tel dans le secteur éolien. La recherche a permis d'établir un premier cadre où pourraient s'appliquer des mesures renforcées, plus claires pour les travailleurs, mais aussi adaptées au contexte très particulier des éoliennes, véritables centrales électriques situées en hauteur.

Enfin, le travail en milieu isolé et dans des conditions hivernales, qui est caractéristique du travail exécuté dans l'industrie éolienne au Québec, pose des défis qui ne peuvent être abordés que d'une façon adaptée à la réalité d'ici. La problématique de l'assistance et de l'évacuation rapide de travailleurs blessés, loin de tout support en sauvetage, est prédominante. La recherche a permis d'identifier certains enjeux comme le temps de réponse des ambulances et l'évacuation hélicoptérée, et de jeter les bases de stratégies potentielles d'amélioration.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	i
SOMMAIRE	iii
TABLE DES MATIÈRES	v
LISTE DES TABLEAUX	viii
LISTE DES FIGURES	ix
1. INTRODUCTION.....	1
1.1 État de la situation	1
1.2 Objectifs de l'étude	2
2. ANALYSE DES ACCIDENTS ET DES INCIDENTS.....	3
2.1 Constat	3
2.2 Actions entreprises et méthodologie.....	3
2.2.1 Construction d'une banque de données SST basée sur celle du CWIF	4
2.2.2 Identification de nouveaux accidents.....	7
2.2.3 Traduction du formulaire de déclaration d'accident et expérimentation comme outil de cueillette de données	7
2.3 Analyse et synthèse des résultats	8
2.3.1 Nature de la tâche.....	8
2.3.2 Agent causal.....	9
3. ANALYSE DE LA RÉALITÉ DU TRAVAIL	14
3.1 Formation des employés de maintenance	14
3.2 Éléments clés de la réalité du travail.....	16
3.2.1 Conception des lieux de travail.....	16
3.2.2 Organisation du travail.....	18
3.2.3 Gestion de la SST.....	20

4.	ANALYSE DES PRATIQUES DE PRÉVENTION EXISTANTES	22
4.1	Approche méthodologique	22
4.2	Obligations applicables à l'industrie éolienne au Québec.....	22
4.2.1	Des obligations légales aux pratiques sur le terrain.....	24
4.2.2	Influence des grands acteurs dans la définition du plan de prévention.....	26
4.3	Les programmes de prévention tels qu'ils existent ailleurs dans le monde.....	26
4.4	Synthèse des résultats	26
5.	LE CADENASSAGE EN CONTEXTE ÉOLIEN	28
5.1	Approche méthodologique	28
5.2	Résultats.....	28
5.2.1	Le cadenassage, une priorité pour la CSST	28
5.2.2	La grande complexité de la technologie éolienne moderne.....	28
5.2.3	Caractéristiques spécifiques de cadenassage d'une éolienne.....	29
5.2.4	Sites de cadenassage d'une éolienne.....	30
5.2.5	Problématique du cadenassage face à la protection des secrets des fabricants.....	30
5.2.6	Observations des méthodes de cadenassage sur le terrain	31
5.3	Synthèse	31
6.	LOGISTIQUE LORS D'UNE ÉVACUATION D'URGENCE	33
6.1	Approche méthodologique	33
6.2	Constats.....	35
6.3	Recommandations.....	35
7.	SYNTHÈSE GÉNÉRALE	36
7.1	Analyse des accidents.....	36
7.2	Analyse de la réalité du travail	36
7.3	L'analyse des pratiques de prévention.....	37
7.4	Cadenassage.....	37
7.5	Logistique des interventions d'évacuation	38
7.6	Conclusions et recommandations	39

BIBLIOGRAPHIE	41
ANNEXE A : BASE DE DONNÉES	43
ANNEXE B : FICHE D'ACCIDENT OU D'INCIDENT.....	48
ANNEXE C : RAPPORT D'OBSERVATION.....	50

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Types d'information ajoutés à la base de données	6
Tableau 2 : Répartition des accidents selon leur type	9
Tableau 3 : Nombre d'accidents impliquant plusieurs travailleurs – Blessures	9
Tableau 4 : Liste de mise en service des parcs éoliens au Québec	15
Tableau 5 : Intervenants durant l'exploitation d'une éolienne	23
Tableau 6 : Synthèse des recommandations	40

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Nombre d'accidents selon l'agent causal	10
Figure 2 : Nombre de travailleurs impliqués selon l'agent causal	10
Figure 3 : Répartition des décès selon l'agent causal	11
Figure 4 : Répartition des travailleurs blessés selon l'agent causal	12
Figure 5 : Évolution de la taille et de la puissance des éoliennes	17
Figure 6 : Documents et plans pouvant être constitutifs d'un programme de prévention...	25

1. INTRODUCTION

1.1 État de la situation

L'implantation d'éoliennes au Québec a débuté il y a une dizaine d'années environ avec un parc de 133 turbines. Le gouvernement du Québec a récemment accéléré considérablement le développement éolien et Hydro-Québec a lancé 3 appels d'offres consécutifs de 1000 MW, de 2000 MW et enfin de 500 MW, sous la forme de projets communautaires et autochtones. Au mois de septembre 2013, la puissance éolienne installée au Québec était de 1866,2 MW, selon le TechnoCentre éolien¹. À l'horizon de 2014-2015, près de 3000 turbines éoliennes, véritables centrales électriques perchées sur un mât de 80 à 100 mètres de hauteur, seront disséminées sur le territoire québécois. La population de travailleurs concernés atteindra plus de 1000 personnes à temps plein dans l'exploitation et l'entretien des parcs éoliens et 2000 personnes supplémentaires intervenant occasionnellement.

Un parc d'éoliennes est une centrale électrique dont les unités sont réparties sur une assez vaste zone. Devant bénéficier de vents constants, la plupart de ces installations sont implantées en régions montagneuses, isolées ou éloignées des grands centres. La construction de parcs éoliens est un chantier qui dure deux ans environ et constitue une phase brève et très différente de l'exploitation des éoliennes qui elle, atteint plus de 20 ans. Lors de l'installation et de l'exploitation d'éoliennes, des travailleurs provenant de divers corps de métiers sont contraints à travailler à des hauteurs qui peuvent atteindre 100 mètres. En effet la plupart des systèmes électromécaniques qu'il faut entretenir se situent dans la nacelle de l'éolienne, au sommet de la tour. Il s'agit de systèmes techniques complexes qui nécessitent un entretien fréquent, exigeant des techniciens des compétences multiples, et également, demandant d'effectuer un travail en situation isolée, dans un espace exigü, pouvant créer un effort physique important.

Ainsi, le travail en hauteur, certaines opérations effectuées dans des espaces ressemblant à des espaces clos, l'isolement, l'absence de moyens de secours à proximité, les exigences physiques de l'escalade des tours, le travail par très basses températures, les risques d'électrocution, mais aussi l'absence d'entraînement pratique et une formation insuffisante des travailleurs occasionnels, constituent l'essentiel de la problématique. La prédominance de ces facteurs de risque demeure, pour plusieurs d'entre eux, à l'état d'hypothèses. C'est donc dans ces directions que la présente recherche a été orientée.

La jeunesse de cette industrie au Québec et surtout l'absence de statistiques sur les accidents de travail et sur les lésions professionnelles ont ralenti jusqu'ici l'adoption de mesures de prévention adaptées et de méthodes de formation à cet égard. Ce contexte conduit le Québec à prendre un certain retard sur ce qui se pratique en Europe et aux États-Unis, là où existent les plus importantes concentrations d'éoliennes. En outre, l'évidence de conditions de travail particulières telles que les conditions climatiques en hiver, l'isolement des parcs éoliens, crée

¹ <https://www.eolien.qc.ca/fr/eolien-quebec/liste-complete-des-parcs.html> [Dernière consultation: 17 septembre 2013]

vraisemblablement une augmentation du niveau de risque pour les travailleurs, sans qu'on en sache ni l'ampleur ni les moyens spécifiques de prévention à mettre en œuvre au Québec.

Somme toute, dans un objectif d'améliorer la prévention des accidents de travail et des maladies professionnelles dans ce nouveau secteur d'activité, il importe de combler certaines lacunes liées à l'absence de données statistiques sur les lésions professionnelles ainsi qu'à la méconnaissance de la réalité et des risques associés à ce travail, au Québec.

1.2 Objectifs de l'étude

Cette étude vise à apporter une meilleure connaissance des enjeux liés à la santé et à la sécurité du travail pour ce secteur d'avenir des énergies renouvelables au Québec. Puisqu'à ce jour, aucune étude portant sur la santé et la sécurité du travail dans le secteur éolien n'a pu être recensée, l'objectif poursuivi conjointement par une équipe de l'UQAR et des chercheurs de l'IRSST, était ambitieux. La méthodologie retenue était basée sur une approche concertée et multistratégique, c'est-à-dire une approche où l'analyse statistique était largement complétée par des études, notamment sur le terrain, avec les acteurs impliqués dans ce secteur.

Le projet comportait 5 étapes:

- une analyse des accidents impliquant des éoliennes à travers le monde;
- un recensement des plans de prévention existants (Québec, Canada, États-Unis et Europe);
- une analyse sommaire des situations de travail lors des phases de construction, d'exploitation et de maintenance d'un parc éolien;
- une étude de la problématique du cadenassage des éoliennes;
- un examen des moyens employés et des conditions d'évacuation d'une personne blessée dans un parc éolien.

En documentant davantage cette réalité et en fournissant une information scientifique plus complète, les chercheurs ont visé à fournir des recommandations adaptées au contexte de travail au Québec et à l'amélioration de la prévention des accidents.

2. ANALYSE DES ACCIDENTS ET DES INCIDENTS

2.1 Constat

Les banques de données relatant des accidents dans le secteur éolien et qui sont accessibles ont été historiquement initiées par des groupes qui s'opposaient au déploiement d'éoliennes et trouvaient donc, dans la publication de ces accidents, une justification aux dangers que représentent, selon eux, les éoliennes.²

De telles données identifient surtout les accidents mécaniques qui surviennent aux éoliennes, sans considération pour les travailleurs. Leur fiabilité est très discutable. Par exemple, le nombre particulièrement élevé d'accidents liés aux pales d'éoliennes (1/300 éoliennes)³ inclut, en réalité, des accidents dans les usines de fabrication de ces composantes ou durant leur transport, et non des accidents liés à l'exploitation des éoliennes. Par ailleurs, les assureurs doivent, eux aussi, recenser des risques. Certains assureurs estiment qu'ils doivent indemniser une moyenne d'un accident tous les 4 ans (Ragheb et Ragheb, 2011).

2.2 Actions entreprises et méthodologie

Devant l'absence de données statistiques relatives aux accidents du travail dans le secteur éolien, au Québec ainsi qu'en Amérique du Nord, l'équipe de recherche a travaillé dans deux directions. Elle a d'abord communiqué avec l'association britannique de l'énergie éolienne, auparavant le BWEA, maintenant RenewableR. U., qui tient un registre des accidents. Puis, elle a analysé les informations contenues dans la base de données de l'association Caithness Windfarm Information Forum (CWIF), qui milite contre la prolifération des éoliennes en Écosse, plus particulièrement dans la région des Highlands.

Dans le premier cas, malgré une demande formelle d'analyse et d'exploitation du registre des accidents auprès de RenewableR. U. et l'inscription de l'IRSST comme membre académique de cette association, l'équipe de recherche n'a pas eu l'autorisation d'accéder aux données. Il convient par ailleurs de noter que RenewableR. U. dispose d'un groupe de travail « Santé et sécurité », mais que ce dernier a été peu actif entre 2009 et 2012.

Dans le second cas, la base de données est disponible publiquement via le site internet de l'association⁴. Nous avons donc procédé à l'analyse de la banque de données du CWIF, une des rares bases de données accessibles. Les informations sont colligées par l'association qui fait une revue des journaux internationaux, principalement ceux qui sont publiés en anglais. De fait, la couverture des événements semble être meilleure pour des pays comme les États-Unis, le Royaume-Uni ou l'Allemagne que pour la France ou l'Espagne. L'association met à jour,

² L'une des plus importantes de ces banques de données tient une liste des accidents documentés dans la presse ou dans des rapports de police dans le monde : <https://www.wind-watch.org/news/tag/accidents/>

³ D'origine belge, cette banque fait surtout référence à des parcs éoliens du Nord de l'Europe. <http://www.leseoliennes.be/parceolien/accidents.htm>

⁴ <http://www.caithnesswindfarms.co.uk/index.htm>

plusieurs fois par an, sa base de données qui recense tous les accidents qui peuvent survenir concernant une éolienne. Les sources sont très variées : articles de journaux, site www.windaction.org⁵, rapport annuel de parcs éoliens, etc. Ces données ne reposent donc pas sur une procédure systématique menée par un organisme spécialisé en SST. Elles ne permettent pas d'établir de lien entre le nombre de travailleurs et la fréquence des accidents. Ces données sont aussi très imprécises sur les lésions subies par les travailleurs.

Ce manque d'information sur les accidents de travail dans le monde éolien est similaire au manque d'information sur les feux d'éolienne (Starr, 2011). Dans cet article non scientifique, la base de données du CWIF est aussi utilisée comme base de référence même si l'auteur mentionne que cette base sous-estime le nombre d'éoliennes ayant été référencées. Les raisons de cette sous-estimation (isolement des sites, appel non systématique des services d'urgence, absence de registres officiels quelle que soit la taille du sinistre, etc.) ne peuvent pas être transposées directement aux accidents du travail, mais semblent similaires. Par exemple, une étude menée par Le Métayer (2004) indique que les entreprises de maintenance d'éolienne sont parfois classées dans des secteurs très divers tels que « chauffage d'immeuble à forfait » ou « Commerce de gros, de fournitures et d'équipements industriels divers ». Une analyse des accidents par secteurs industriels par les assureurs SST réglementaires (CSST, CRAM, etc.) ne peut donc relier les accidents de ces entreprises au secteur éolien. Un autre exemple des difficultés rencontrées dans la recension des accidents liés aux parcs éoliens est celui-ci : un rapport de l'OSHA (2003) ne donne aucune précision sur le lieu d'un accident. Même si l'agent causal est précisé, soit la chute d'un objet dans la tour d'une éolienne, il est impossible de relier cet accident à un parc éolien.

À notre connaissance, aucun organisme de santé et de sécurité du travail dans le monde ne procède à un relevé statistique des accidents concernant le secteur éolien et aucune publication scientifique ne fournit de données statistiques ou descriptives. Par ailleurs, la déclaration d'accidents du travail, pouvant être appliquée de façon très variable dans les différents pays, rend très difficile tout recensement statistique international dans le secteur éolien.

2.2.1 Construction d'une banque de données SST basée sur celle du CWIF

Sachant que les banques de données existantes couvrent un champ de recensement beaucoup plus large que celui de la SST, l'équipe de recherche a dû travailler pour resserrer les critères de sélection et reconstruire une base de données dédiée spécifiquement aux accidents de travail. Les données initiales du CWIF ont été complétées par les nouvelles données recueillies par l'équipe de recherche (accidents au Québec ou dans d'autres pays, mais non recensés).

La banque de données initiale comportait huit types d'information :

- Type d'accident
- Date de l'accident
- Lieu de l'accident

⁵ Le *Industrial Wind Action Group* a été formé pour contrer les informations trompeuses promulguées par l'industrie de l'énergie éolienne et par divers groupes environnementaux. Le soutien à cet effort provient d'un groupe important et diversifié d'écologistes, d'experts de l'énergie et des citoyens ordinaires.

- Pays
- Type d'éolienne
- Détails de l'accident
- Source de l'information
- Lien internet

Les accidents étaient classés en onze catégories :

- Décès (fatal)
- Défaillance de pale (blade failure)
- Défaillance mécanique (mechanical failure)
- Défaillance structurelle (structural failure)
- Blessure (human injury)
- Éclair (lightning)
- Environnement (environmental)
- Feu (fire)
- Projection de glace (ice throw)
- Transport (transport)
- Divers (miscellaneous)

Après une analyse de la banque de données, nous avons exclu, dans le cadre de notre recherche, cinq catégories d'accident (défaillance de pale, défaillance structurelle, éclair, environnement et projection de glace), car elles concernent le public en général. Nous avons donc retenu les six catégories suivantes, liées aux travailleurs : décès, défaillance mécanique, blessure, feu, transport et divers. Ainsi, nous sommes passés de 994 accidents généraux à 133 accidents SST pour les années 2000 à 2010, en date du 6 avril 2011. Il s'agit d'accidents du travail impliquant un travailleur ou plus qui ont eu lieu dans l'éolienne ou à proximité de celle-ci, ou des accidents qui sont survenus lors de la manutention ou du transport des composantes d'une éolienne. Les accidents survenus dans les usines ou les lieux de production des éoliennes ont été éliminés de la base de données.

Par la suite, l'équipe de recherche a ajouté des informations à cette base de données, afin d'effectuer un traitement plus précis de ces dernières. Trois types d'informations (Tableau 1) ont ainsi été ajoutés :

- Détails de l'accident (nombre de travailleurs touchés, nature de l'accident, nature de la tâche, certitude de la tâche)
- Localisation du parc éolien
- Caractéristiques du parc éolien (date de construction du site, nombre d'éoliennes sur le site, puissance unitaire des éoliennes)

Tableau 1 : Types d'information ajoutés à la base de données

Types d'information ajoutés	Détail de l'information	Explication
Nombre	Valeur indiquant le nombre de personnes blessées ou décédées lors d'un même accident	La banque de données initiale ne permettait pas de comptabiliser avec certitude toutes les personnes blessées ou décédées (un seul accident peut entraîner un décès et des blessés).
Nature de l'accident	Choc Chute d'une personne Chute (ou renversement) d'une grue Chute d'un objet Contaminant Effort physique Électricité Explosion Feu Mer Pièces en mouvement (mécanique) Routier Température (froide, chaude) NSP	Les accidents ont été classés selon le phénomène dangereux en cause (mer pour noyade, par exemple).
Nature de la tâche	Recherche / Exploration Transport Construction Exploitation Maintenance NSP	La nature de la tâche a été déterminée en croisant les détails de l'accident avec la date de construction du parc éolien. Cette information permet de situer l'accident dans le cycle de vie de l'éolienne.
Certitude	1 = nature de la tâche certaine 0,5 = nature de la tâche estimée	La certitude exprime le degré de confiance de la nature de la tâche. Elle provient de la lecture des détails de l'accident. Par exemple : travailleur dans l'éolienne et aucune autre indication liée à la construction de l'éolienne n'est disponible, alors « nature de la tâche » = maintenance et « certitude » = 0,5.
Localisation	Terre (on shore) Mer (offshore)	Permet de faire la distinction entre un parc sur terre et un parc en mer.
Date de construction du site		Permet d'obtenir l'âge du parc éolien
Nombre de turbines		Permet de mieux connaître la taille du parc
Puissance (MW)		Puissance unitaire des éoliennes installées dans le parc

2.2.2 Identification de nouveaux accidents

La difficulté d'obtenir des données fiables par le biais de banques existantes en Amérique du Nord ou en Europe a conduit l'équipe de recherche à réaliser elle-même, au cours des 15 mois du projet de recherche (octobre 2009 - janvier 2011), son propre recueil de données. Ce processus de veille internationale, utilisant soit internet, soit des informations issues de l'industrie, a été structuré comme suit :

- Centrale de veille : UQAR, Clément Guitard et Jean-Louis Chaumel
- Deuxième poste de détection : IRSST, Laurent Giraud et Sabrina Boucenna
- Veilleur Europe : Than Hua, directeur sécurité chez Theolia, consultant pour le projet
- Veilleur Amérique du Nord : Peter Golbeck, expert en sécurité en éolien, consultant pour le projet.

Des données concernant 15 accidents, obtenues grâce à ce processus de veille, ont donc été ajoutées aux données initiales du CWIF, soient aux 133 accidents retenus. La base de données utilisée est disponible à l'Annexe A.

2.2.3 Traduction du formulaire de déclaration d'accident et expérimentation comme outil de cueillette de données

Un formulaire de recensement des accidents était disponible sur le site internet de RenewableR. U. lors de la recherche en 2009. Ce formulaire permettait à cet organisme de répertorier, sur la base de déclarations volontaires, divers accidents survenant principalement en Angleterre et en Europe. Des alertes de sécurité sont aussi diffusées par cet organisme, mais la fréquence de ces alertes est très faible : 5 alertes ont été diffusées en décembre 2008, une en avril 2009 et la dernière date de septembre 2009⁶. Ce partage d'information est réorganisé depuis la fin de l'année 2012 sous l'acronyme RISE⁷ (Renewable Industry Safety Exchange), mais il est toujours strictement limité aux partenaires du secteur éolien, membres de l'organisme.

L'équipe de recherche a procédé à la traduction et à l'adaptation du formulaire de RenewableR. U. (Annexe B) et a utilisé cet outil pour répertorier un nombre limité d'accidents du travail. Il ressort de la traduction et de l'utilisation du formulaire que sa structure semble intéressante au premier abord, mais qu'à l'usage, le formulaire est très difficile à compléter lorsque le répondant n'est pas en contact direct avec le milieu où s'est passé l'événement. De plus, le formulaire ne permet pas de faire de lien avec un parc éolien en particulier, compte tenu de son caractère anonyme, ce qui empêche tout lien d'analyse entre l'activité réelle de travail et l'organisation et ses ressources (Lamonde et coll. 2010).

⁶ Site www.renewableuk.com, visité le 10 juin 2011.

⁷ <http://www.renewableuk.com/en/our-work/health-and-safety/incidents--alerts.cfm> [Dernière consultation: 17 septembre 2013].

2.3 Analyse et synthèse des résultats

Comme on le constate dans la base de données constituée par l'équipe de recherche (Annexe A) le nombre total d'accidents, toutes sources confondues, reste limité compte tenu du nombre important d'éoliennes en fonction dans les pays suivis par l'association. En ce qui concerne le Québec, les données du CIWF n'identifient aucun accident. Ceci semble traduire une sous-déclaration publique des accidents, car les témoignages recueillis lors de l'étude auprès des partenaires rencontrés indiquent qu'un accident d'origine électrique est survenu au Québec depuis le début de l'exploitation commerciale des parcs éoliens récents (1 MW et plus). D'autres « presque accidents » ont aussi été recensés au Québec dont, par exemple, la chute d'un bloc de glace sur un véhicule de travail en hiver dans un parc en exploitation.

2.3.1 Nature de la tâche

Les 148 accidents retenus à l'Annexe A ont impliqué 287 travailleurs. Le Tableau 2 présente la répartition des accidents et des travailleurs selon le type d'accident et la nature de la tâche. Concernant les « décès », il y a un peu plus de décès lors de la *maintenance* des éoliennes (14) que lors de la *construction* (12). Dans un cas sur 34, deux travailleurs sont décédés lors du même accident.

Concernant les accidents « divers », 7 accidents de *construction* ont impliqué 86 travailleurs alors que trois accidents de *maintenance* ont impliqué trois travailleurs. Ceci provient du fait que les accidents « divers » de la base de données incluent deux accidents⁸ impliquant des bateaux ou des barges pour des parcs éoliens offshore.

Pour ce qui est des accidents de type « blessures », les accidents de *maintenance* (55) ont été 3,7 fois plus nombreux que les accidents de *construction* (15). Au total, ces deux catégories représentent 86% des travailleurs accidentés. Les accidents multiples, impliquant de deux à quatre travailleurs, ont été nettement plus nombreux lors des phases de *maintenance* que lors des autres phases de vie d'un parc éolien (Tableau 3). En effet, pour 12 accidents de *maintenance*, 4 impliquaient chacun 4 travailleurs, 2 ont impliqué 3 travailleurs et 6 ont impliqué chacun 2 travailleurs, soit un total de 34 travailleurs pour 12 accidents multiples sur les 19 survenus.

Parmi les accidents répertoriés dans la catégorie « transport », 8 accidents de *construction* ont impliqué 17 travailleurs, un seul accident de *maintenance* a impliqué 23 travailleurs et 10 accidents de *transport* ont impliqué un total de 11 travailleurs. La majorité de ceux-ci n'a donc impliqué qu'un seul travailleur (soit le conducteur du camion). Quelques rares accidents sortent du lot : l'accident de *maintenance* cité précédemment (évacuation d'un bateau en perdition avec 23 travailleurs), un accident de *construction* impliquant 10 travailleurs lorsqu'une barge qui transportait une grue géante a sombré durant son convoi et un accident routier impliquant 2 travailleurs lors d'une collision d'un camion avec un train. Il reste que cette catégorie est ambiguë, car les données qu'elle contient peuvent aussi relever d'une autre catégorie. Il a donc été décidé de ne pas recoder cette catégorie, mais de l'utiliser avec précautions.

⁸ Une barge évacuée en 2007 (38 travailleurs) et une barge évacuée en 2009 (42 travailleurs).

Tableau 2 : Répartition des accidents selon leur type et la nature de la tâche

	Nombre de travailleurs	Nombre d'accidents
Décès	35	34
construction	12	12
maintenance	14	14
recherche	4	3
transport	1	1
NSP	4	4
Divers	89	10
construction	86	7
maintenance	3	3
Blessure	106	82
construction	17	15
divers	4	4
exploitation	3	2
maintenance	74	55
recherche	3	2
transport	1	1
NSP	4	3
Feu	6	3
maintenance	6	3
Transport	51	19
construction	17	8
maintenance	23	1
transport	11	10
Total	287	148

Tableau 3 : Nombre d'accidents impliquant plusieurs travailleurs – Blessures

Nombre de travailleurs impliqués	Construction	Exploitation	Maintenance	Recherche	Transport	NSP
4			4			
3	1		2			
2	1	1	6	2	1	1

2.3.2 Agent causal

Pour ce qui est de l'agent causal, les Figures 1 et 2 renseignent sur le nombre d'accidents et sur le nombre de travailleurs impliqués selon la nature des accidents (ou l'agent causal). Il ressort de ces figures qu'il y a presque autant d'accidents routiers (23) que de chutes de travailleurs (24). Viennent ensuite l'électricité (16), les pièces en mouvement (15), la chute d'objet (14), les chocs (13), le feu (7) et les efforts physiques (7), la mer (6) et les chutes de grue (6), et finalement les explosions (2) et les contaminants (1).

Nombre d'accidents

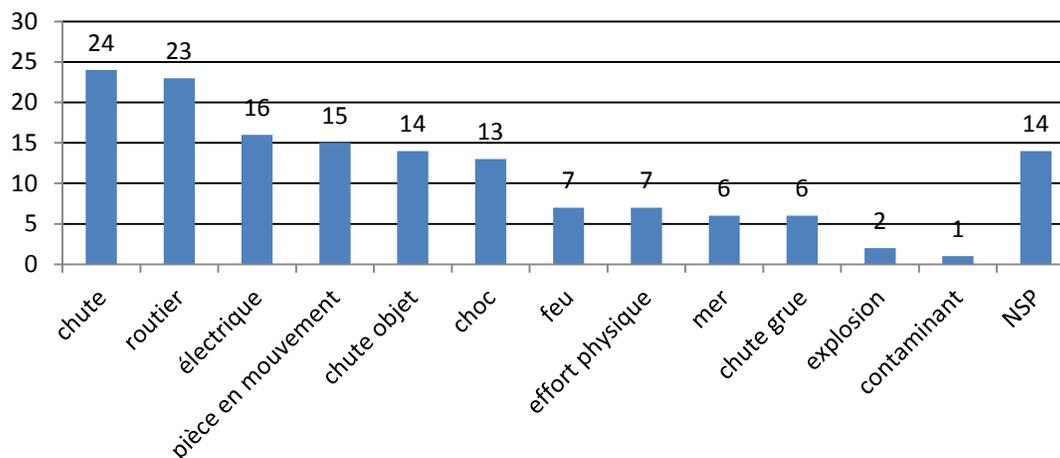


Figure 1 : Nombre d'accidents selon l'agent causal

Il est à noter que l'agent causal « mer » ressort immédiatement lorsque l'on regarde le nombre de travailleurs impliqués (Figure 2). En effet, quatre accidents ayant comme agent causal la mer ont impliqué 113 travailleurs : deux accidents de transport ont affecté 33 travailleurs et deux accidents divers ont affecté 80 travailleurs.

Nombre de travailleurs

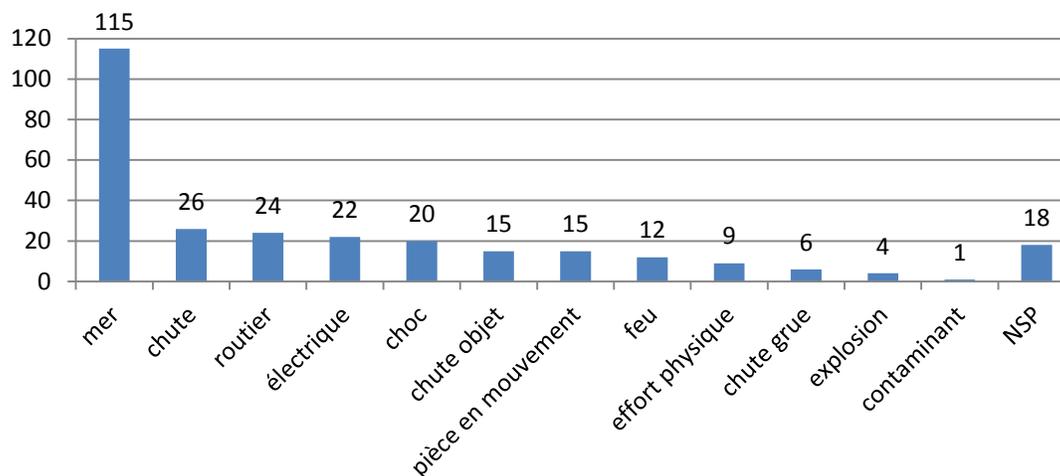


Figure 2 : Nombre de travailleurs impliqués selon l'agent causal

Hormis le cas exceptionnel de la mer, l'ordre d'importance des agents causaux n'est que peu modifié lorsque l'on examine le nombre de travailleurs impliqués plutôt que le nombre d'accidents. Ainsi, les chutes ont impliqué plus de travailleurs (26) que les accidents routiers (24). Viennent ensuite l'électricité (22), les chocs (20), la chute d'objet et les pièces en mouvement (15), le feu (12), les efforts physiques (9), les chutes de grue (6), et finalement les explosions (4) et les contaminants (1).

La répartition des travailleurs décédés selon l'agent causal est présentée à la Figure 3 alors que la répartition des travailleurs blessés selon l'agent causal est présentée à la Figure 4. Les décès répertoriés (35) ont été causés, en premier lieu, par des chutes (10), puis par des accidents routiers (6). La catégorie indéterminée est toutefois importante dans ce cas, car elle recense 7 accidents.

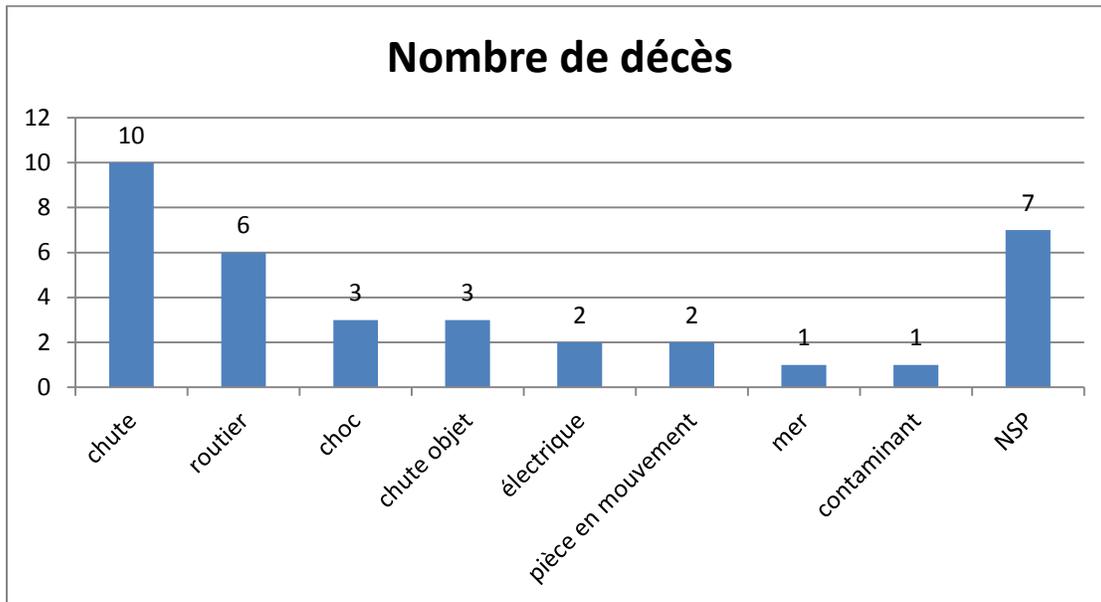


Figure 3 : Répartition des décès selon l'agent causal

Par contre, le classement des travailleurs blessés (106) selon la nature de l'agent causal (Figure 4) diffère nettement du classement précédent. Les deux agents causaux impliquant le plus de travailleurs sont l'électricité (20) et les chocs (17), suivis des chutes de personne (15). Viennent ensuite les pièces en mouvement (13), les efforts physiques (9), les chutes d'objet (7), le feu (6), les chutes de grue (4) et les explosions (4), et finalement la mer avec un seul travailleur impliqué.

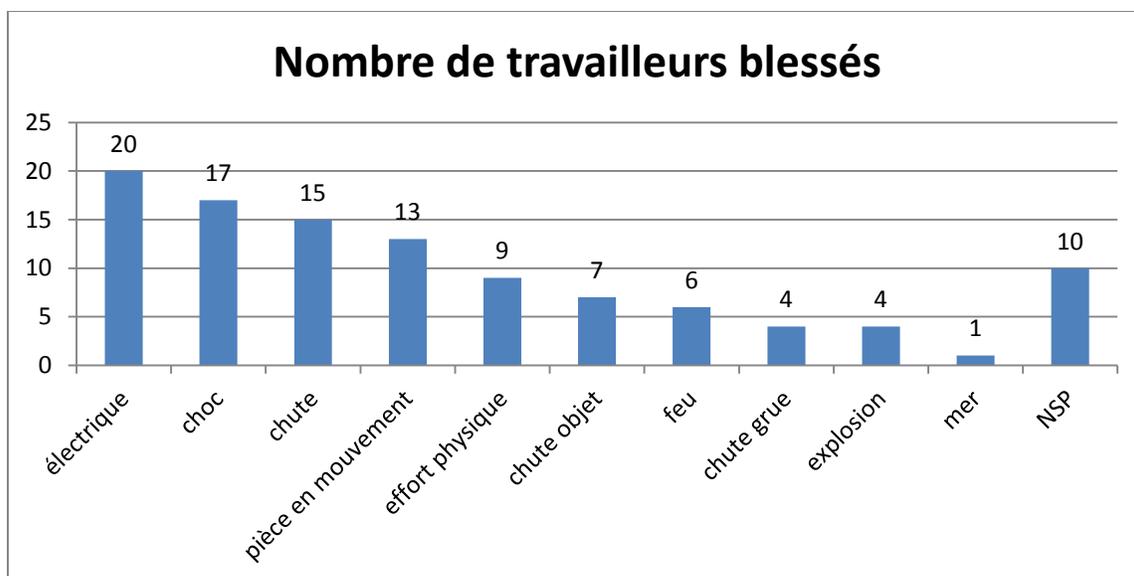


Figure 4 : Répartition des travailleurs blessés selon l'agent causal

En additionnant les catégories « décès » et « blessures », qui représentent 116 des 148 accidents ayant causé un dommage direct à 141 travailleurs, nous obtenons la liste des agents causals par ordre d'importance pour les travailleurs touchés dans le secteur éolien :

1. Chute de personne (25 travailleurs)
2. Électricité (22 travailleurs)
3. Choc (20 travailleurs)
4. Pièce en mouvement (15 travailleurs)
5. Chute d'objet et effort physique (10 et 9 travailleurs)
6. Feu et accident routier (6 travailleurs chacun)
7. Explosion et chute de grue (4 travailleurs chacun)
8. Mer (2 travailleurs)
9. Contaminant (1 travailleur)
10. NSP (17 travailleurs)

Si on tient également compte des accidents de la catégorie « transport » (soit un total de 135 des 148 accidents), correspondant principalement à la phase de construction des éoliennes et ayant causé un dommage indirect à 51 travailleurs supplémentaires, l'ordre est le suivant :

1. Mer (35 travailleurs)
2. Chute de personne (25 travailleurs)
3. Accident routier (24 travailleurs)
4. Électricité et choc (22 et 20 travailleurs)
5. Pièce en mouvement (15 travailleurs)
6. Chute d'objet (10 travailleurs)

7. Effort physique (9 travailleurs)
8. Feu (6 travailleurs)
9. Explosion et chute de grue (4 travailleurs chacun)
10. Contaminant (1 travailleur)
11. NSP (17 travailleurs)

Les deux différences notables sont la remontée au premier rang des accidents en mer (+ 33 travailleurs) et la remontée au troisième rang des accidents routiers (+ 18 travailleurs). Mais les accidents de chute de personne restent au deuxième rang et l'ordre de tous les autres agents causaux n'est pas modifié.

Compte tenu du fait que le contexte éolien au Québec n'implique pas d'éoliennes en mer et sachant que la phase de construction des éoliennes est une phase transitoire, l'ordre des agents causaux donné par les catégories « décès » et « blessures » est le plus représentatif. Il s'agit d'un ordre logique lorsque l'on considère l'environnement de travail (travail en hauteur sur un système mécanique de production d'électricité) et de la nature des travaux à réaliser dans une éolienne (vérification, démontage, remontage, etc.).

3. ANALYSE DE LA RÉALITÉ DU TRAVAIL

La description de la réalité du travail dans le secteur éolien repose sur l'analyse des données recueillies lors de trois périodes d'observation sur le terrain. La première fut une observation du chantier de construction du parc éolien de Rivière-au-Renard (TechnoCentre Éolien) par l'équipe de l'UQAR au cours du mois de décembre 2009 afin de couvrir la phase de construction. Compte tenu de la date de début et de la durée de cette recherche⁹, le seul parc éolien en construction qui a pu être observé était celui du TechnoCentre éolien (TCE) à Rivière-au-Renard. La phase de chantier observée a été la phase finale hivernale (montage de l'éolienne avec un échancier très serré), dans des conditions climatiques froides, typiques du Québec (Annexe C). Par ailleurs, au cours de ces dernières années, la CSST a concentré ses actions de prévention sur les chantiers de construction des éoliennes, car ces nouveaux chantiers impliquaient de nombreux travailleurs dans des zones isolées, avec du matériel hors normes.

Puis deux observations ont été menées par l'équipe de recherche conjointe IRSST-UQAR, lors d'opérations planifiées d'entretien d'un parc éolien, au cours de l'année 2010, afin de couvrir la phase d'exploitation et de maintenance. Se sont ajoutées à ces observations deux rencontres avec deux entreprises sous-traitantes du secteur, rencontres qui ont été effectuées en dehors des parcs éoliens, avec des responsables exécutifs ou SST de ces entreprises, ainsi que des discussions avec des intervenants qui gravitent autour de ce secteur, tels que la CSST. Les connaissances acquises lors de visites d'autres parcs éoliens par l'IRSST lors de la rédaction du devis d'activité ont aussi été intégrées à ce rapport.

3.1 Formation des employés de maintenance

Il n'existe qu'une formation de maintenance d'éolienne au niveau professionnel au Québec. C'est le CÉGEP de Gaspé, dans la région de la Gaspésie, qui l'offre depuis quelques années. Mais cette formation ne permet pas de pourvoir à tous les postes disponibles, car des élèves en formation sont régulièrement recrutés par des employeurs, avant même la fin de leur formation. Selon les différents témoignages recueillis lors des différentes visites de l'équipe de recherche dans les parcs éoliens et avec des sous-traitants du secteur éolien au Québec, il y a présentement une pénurie de techniciens, formés et autonomes, chez les exploitants, ce qui se traduit par l'embauche, chez des sous-traitants, de mécaniciens ou d'électriciens non spécifiquement formés au travail sur les éoliennes récentes. L'interprétation de l'équipe de recherche, à la suite de l'analyse des différentes données disponibles, est que le secteur éolien au Québec arrive dans une période critique en ce qui concerne la disponibilité du personnel de maintenance qualifié et formé. Cette situation semble déjà être d'actualité aux États-Unis (Gill, 2008)¹⁰ et dans le reste du monde (Truc, 2008). Ce contexte risque de se poursuivre ou même de s'amplifier avec la construction des parcs éoliens du second appel d'offres (2 000 MW) et du troisième appel d'offres (500 MW), parcs dont la mise en service s'échelonnera jusqu'en 2015 (Tableau 4).

⁹ La majorité des parcs éoliens du premier appel d'offres était déjà construite et les chantiers des parcs du second appel d'offres en étaient à la phase préparatoire de génie civil (création des chemins d'accès et des sites d'implantation des éoliennes).

¹⁰ http://www.orosha.org/admin/newsrelease/2008/nr2008_05.pdf

Tableau 4 : Liste de mises en service des parcs éoliens au Québec

Parc éolien	Appel d'offres	Date de mise en service
Montagne-Sèche, Mont-Louis (39, 67)*	1 ^{er}	2011
De l'Érable, Des Moulins, Saint-Robert-Bellarmin, Le Plateau (50, 78, 40, 60)	2 ^e	2011
Gros-Morne (141)	1 ^{er}	2011 et 2012
Saint-Valentin, Massif-du-Sud, St-Rémi, New Richmond (25, 75, 44, 33)	2 ^e	2012
Lac-Alfred (150)	2 ^e	2012 et 2013
Seigneurie de Beaupré-2 et 3 (63, 68)	2 ^e	2013
Le Plateau 2, Viger-Denonville, St-Damase (10, 12, 12)	3 ^e	2013
Seigneurie de Beaupré-4, Vents du Kempt (30, 43)	2 ^e	2014
Le Granit, St-Philémon, Témiscouata, La Mitis (12, 8, 11, 12)	3 ^e	2014
Clermont (12)	2 ^e	2015
Côte-de-Beaupré, Frampton, Pierre de Saurel, St-Cyprien, Val-Éo (nd, 12, 12, 8, 8)	3 ^e	2015

* Les chiffres entre parenthèses correspondent au nombre d'éoliennes par parc (nd : non disponible)

Selon l'Association Canadienne de l'Énergie Éolienne (ACÉÉ/CANWEA), il existe trois autres formations équivalentes à celle donnée au CÉGEP de Gaspé, au Canada¹¹ : Lethbridge College (Alberta), Northern Lights College (British Columbia) et Great Plains College (Saskatchewan). Une dizaine d'autres formations reliées aux énergies renouvelables et à l'énergie éolienne sont aussi offertes dans l'ensemble du Canada. Selon Bury (2011), il sera difficile de combler toute la demande de main-d'œuvre qualifiée pour cette industrie dans les prochaines années, malgré le discours optimiste de l'ACÉÉ.

Les chiffres concernant le personnel nécessaire à la maintenance des nouvelles éoliennes (1,5 MW et plus) divergent selon les sources disponibles. Bury utilise le chiffre de 1 technicien par 2 MW d'énergie produite alors que l'étude de Poore et Walford (2008), réalisée pour le National Renewable Energy Laboratory (NREL), aux États-Unis, indique qu'un technicien peut s'occuper de 10 turbines, soit un ratio de 1 technicien pour 20 MW. Cependant, cette dernière étude permet aussi de calculer le nombre d'autres personnes nécessaires à l'exploitation d'un parc éolien (responsable d'exploitation, employés de support, etc.) en utilisant des ratios personne/MW. Un rapport d'Industrie Canada (2004)¹² sur les besoins en ressources humaines de l'industrie canadienne de l'énergie éolienne indique, pour sa part, que 2231 personnes travailleront dans le secteur de l'exploitation des éoliennes au Canada en 2012 pour une puissance installée prévue de 5645 MW, soit un ratio de 1 personne pour 2,5 MW installés. Néanmoins, compte tenu des contraintes de déplacement entre les différents parcs implantés au Québec (surtout en hiver), il serait réaliste d'utiliser un ratio de 1 technicien pour 10 MW installé, ce qui représentera, en 2015, environ 400 emplois de techniciens de maintenance. Par la suite, ce nombre devrait

¹¹ <http://www.canwea.ca/pdf/EducationandTrainingPrograms.pdf>, mise à jour de juin 2012, [Dernière consultation: 17 septembre 2013].

¹² Gouvernement du Canada – Capacité de la chaîne d'approvisionnement de l'industrie canadienne de l'énergie éolienne, Étude – Novembre 2004, Disponible en ligne sur le site du TechnoCentre éolien : <https://www.eolien.qc.ca/fr/publications/realisation-d-etudes.html> [Dernière consultation: 17 septembre 2013]

augmenter, car les éoliennes sont des machines mécaniques qui nécessitent plus d'entretien au fur et à mesure de leur vieillissement (Poore et Walford, 2008; Andrawus, 2008).

La taille des parcs éoliens au Québec diffère très nettement de ceux de la France, ce qui va aussi influencer l'organisation de la maintenance de ces parcs. La France comptait, à la fin 2009, 2627 éoliennes réparties dans 446 parcs¹³, soit une moyenne de 6 éoliennes par parc, avec une puissance moyenne par parc avoisinant les 14 MW. Au Québec, les parcs issus des contrats gré à gré et des deux premiers appels d'offres rassemblent en moyenne 70 éoliennes chacun, pour une puissance d'environ 120 MW, valeurs qui baisseront respectivement à 63 éoliennes et 91 MW avec le troisième appel d'offres.

3.2 Éléments clés de la réalité du travail

Les résultats seront présentés sous l'angle de la conception des lieux de travail, de l'organisation du travail et de la gestion de la SST. La collaboration avec les différents intervenants de ce secteur n'a pas été facile et beaucoup d'intervenants ont exigé une certaine confidentialité. Au final, nous avons réussi à obtenir la collaboration que d'un exploitant de parc éolien et d'un constructeur de turbine, et ce, malgré l'assurance du maintien de la confidentialité de la part des chercheurs.

3.2.1 Conception des lieux de travail

Les éoliennes, et plus spécifiquement la nacelle, doivent être considérées comme des lieux de travail. Or, plusieurs facteurs tels que l'augmentation rapide de la taille des éoliennes, l'organisation du travail et le manque de rétroaction des défauts aux concepteurs par les utilisateurs (ou retour d'expérience) font que ces machines sont encore peu conçues pour faciliter le travail de maintenance. L'apport de l'utilisateur au concepteur, comme mentionné dans la norme ISO 12100¹⁴, est encore assez faible.

Les éoliennes commerciales utilisées sont des machines à trois pales tournant autour d'un axe horizontal situé dans une nacelle placée en haut d'un mât. La nacelle est elle-même mobile selon un axe vertical par rapport au mât qui est fixe, ce qui lui permet de s'orienter par rapport à la direction du vent. La nacelle concentre l'essentiel des équipements qui permettent de faire fonctionner l'éolienne. Mais l'évolution de la puissance des éoliennes a entraîné des modifications de conception de la nacelle, donc des conditions de sécurité (Figure 5):

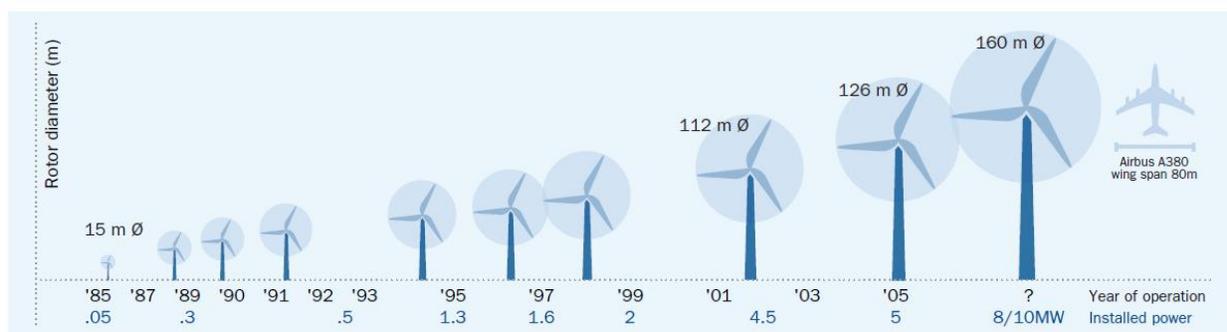
- Pour les éoliennes de moins de 300 kW, la nacelle ne contient que les composantes de l'éolienne et le personnel de maintenance doit se tenir à l'extérieur, sur une plate-forme pour effectuer le travail. De plus, l'accès à la nacelle se fait à l'extérieur du mât. Donc, le personnel est exposé aux conditions atmosphériques et à un risque de chute constant.

¹³ État des lieux du parc éolien français 2010, Syndicat des énergies renouvelables et France Énergie Éolienne, http://www.enr.fr/docs/2010170820_Parceolienfrancaisfindecembre09.pdf [Dernière consultation : 30 août 2013].

¹⁴ ISO 12100:2010 - Sécurité des machines -- Principes généraux de conception -- Appréciation du risque et réduction du risque, Genève, 2010.

- Pour les éoliennes de 400 kW à 1,5 MW, la nacelle permet au personnel de maintenance d'y entrer, mais les interventions que ces personnes doivent effectuer nécessitent majoritairement d'ouvrir le toit de la nacelle pour disposer d'assez d'espace de travail ou pour lever des charges. Ainsi, le personnel de maintenance est exposé, durant ces interventions, aux conditions atmosphériques et à un risque de chute constant. L'accès à la nacelle se fait à l'intérieur du mât.
- Pour les éoliennes de 1,5 à 2,5 MW, surtout les plus anciennes, la nacelle permet au personnel de maintenance d'y entrer et d'y effectuer les interventions de maintenance à l'abri des conditions météorologiques. L'accès au nez (hub) reliant les trois pales se fait encore majoritairement en sortant au-dessus de la nacelle puis en rentrant dans le nez. Le personnel de maintenance n'est donc plus exposé, durant la majorité de ces interventions, aux conditions atmosphériques et au risque de chute.
- Pour les éoliennes d'environ 2 MW et les plus récentes, la nacelle permet au personnel de maintenance d'y entrer et d'y effectuer les interventions de maintenance à l'abri des conditions météorologiques. L'accès au nez (hub) se fait directement par la nacelle sans sortir dehors. Le personnel de maintenance n'est donc plus exposé, sauf pour les interventions sur le toit de la nacelle, aux conditions atmosphériques et au risque de chute.

Size evolution of wind turbines over time



Source : EWEA

Figure 5 : Évolution de la taille et de la puissance des éoliennes

Malgré une amélioration des conditions de travail du personnel de maintenance (p. ex., les nacelles des nouvelles éoliennes permettent généralement de travailler sans risque de chute), il demeure que l'intérieur de la nacelle est exigu, souvent sombre et que les paramètres ergonomiques nécessaires à une bonne accessibilité pour la maintenance sont souvent absents. En effet, les nacelles ne disposent pas de fenêtres pour y laisser entrer la lumière naturelle, ce qui oblige l'utilisation d'un éclairage artificiel souvent constitué de tubes fluorescents. Par ailleurs, il ressort des photos ou schémas disponibles de l'intérieur de nacelles (Schreck, 2006)¹⁵, que les espaces de circulation sont souvent très étroits, que le plancher de la nacelle est composé de multiples niveaux et de matériaux différents (caillebotis métallique, fibre de verre, pièces métalliques massives) et que les espaces de travail sont très restreints.

¹⁵ <http://rrbenergy.com/products/ps-1800-kw> [Dernière consultation : 17 septembre 2013].

De plus, la tendance actuelle en recherche dans le domaine éolien fait que l'ergonomie n'est pas une priorité. La recherche récente s'est concentrée principalement sur les éoliennes « offshore » et sur leur fiabilité (Hendriks et coll. 2000), ou sur les coûts de maintenance associés (Obdam et coll. 2007; Rademakers et coll. 2003), mais très peu sur l'amélioration des nacelles en termes de lieux de travail. Selon l'EWEA¹⁶, les quatre priorités de recherche en 2009 au sujet des éoliennes étaient l'optimisation des ressources aérauliques (prévisions, implantation des éoliennes, etc.), la fiabilité et le rendement des éoliennes, l'intégration de l'énergie éolienne dans le réseau de distribution électrique et le développement du secteur offshore en Europe.

Du point de vue de la maintenance, une éolienne récente, d'environ 2 MW et installée depuis deux à quatre ans, nécessite de 80 à 100 heures de maintenance par année, répartie de façon équivalente entre les interventions préventives et les interventions correctives, y compris les remises en route suite à un arrêt de sécurité (Poore et Walford, 2008). Ensuite, plus l'éolienne vieillit, plus le temps nécessaire à sa maintenance augmente, pour quasiment doubler en fin de vie, soit 160 à 200 heures. Il est donc concevable, pour un concepteur d'éolienne, de penser que la présence annuelle d'un travailleur en nacelle sera très faible (une centaine d'heures) pour une éolienne donnée. Mais plus globalement, compte tenu des nombreuses exigences de formation, de qualifications techniques et de sécurité nécessaires pour qu'un travailleur puisse être autorisé à exécuter des tâches de maintenance en nacelle, les exploitants vont rentabiliser leurs ressources en maximisant le temps passé en nacelle pour le personnel qualifié. Ainsi, il est prévisible que sur les parcs au Québec, des équipes de travailleurs qualifiés passeront plusieurs semaines en continu dans toutes les nacelles des éoliennes d'un parc pour, par exemple, réaliser la maintenance automnale ou le changement de lubrifiant du multiplicateur. De fait, ces travailleurs se retrouveront durant plusieurs mois dans le même espace physique de travail (la nacelle), même s'ils changent d'éolienne tous les jours. Une nacelle doit donc être considérée comme un lieu de travail avec tous les aménagements nécessaires à des conditions de travail saines et sécuritaires.

Par exemple, un cavalier anti-chute, utilisé dans les échelles de nombreuses éoliennes au Québec, a été interdit à l'utilisation à la suite d'une décision de la CSST. Celle-ci a identifié que malgré l'efficacité de retenue de l'appareil, il pouvait provoquer un basculement du corps et un heurt à la tête contre l'échelle. Cette décision d'application immédiate a forcé les exploitants de parcs à ajouter un second dispositif anti-chute dans les tours des éoliennes concernées.

3.2.2 Organisation du travail

Le défi majeur, en termes d'organisation du travail pour la maintenance des éoliennes, est la logistique associée aux interventions de maintenance dans la nacelle. En effet, compte tenu de la hauteur de cette dernière et des moyens limités d'accès, les interventions doivent être soigneusement planifiées.

Au Québec, l'accès des travailleurs se fait via des échelles verticales placées à l'intérieur des mâts. Cependant, ces accès ne respectent pas, pour les plates-formes de repos, les critères de la

¹⁶ http://www.ewea.org/fileadmin/ewea_documents/documents/publications/factsheets/EWEA_FS_Research.pdf
[Dernière consultation : 17 septembre 2013].

norme ISO 14122-4:2004¹⁷ relative aux échelles fixes utilisées comme moyens d'accès permanent à la machine. Cette norme précise que des paliers doivent être installés tous les 6 mètres (au maximum à 10 m) et que les échelles doivent être décalées. Or, dans les parcs récents du Québec, une seule échelle verticale, donc sans décalage, permet d'accéder à la nacelle et les paliers sont généralement placés aux jonctions entre les différentes parties du mât. De ce fait, la majorité des accès ne disposent que de quatre paliers espacés d'une distance allant de 20 à 28 m.

Cet accès limité se traduit par la présence systématique de tout au plus deux travailleurs en nacelle, afin d'assurer la sécurité du personnel, tout en n'effectuant pas un travail isolé (Guillemy et coll. 2006). Cet accès réduit, ou contraignant, influence aussi l'organisation du travail. En effet, au Québec, il n'est pas rare pour des techniciens de maintenance de monter le matin et de ne redescendre que le soir après avoir effectué toute leur journée de travail dans la nacelle. Ceci entraîne les contraintes de santé, de sécurité et de travail, suivantes :

- L'alimentation et les boissons sont restreintes et limitées aux quantités emportées le matin. La possibilité de manger des repas chauds est donc très limitée.
- La température dans la nacelle est dépendante de la température extérieure, car la nacelle est peu isolée et est exposée aux vents. Seuls le multiplicateur et la génératrice possèdent une inertie thermique qui régule, positivement ou négativement, la température en nacelle.
- L'hygiène est restreinte, car il n'y a pas de point d'eau pour se laver les mains ni de toilettes pour les besoins personnels.
- Tout le matériel doit être monté le matin, ce qui nécessite plusieurs treuillages, puis déplacé et positionné dans une nacelle exigüe, ce qui augmente les risques de trébuchements lors des déplacements.
- Tout écart au travail prescrit se traduit par un dilemme à résoudre immédiatement : faire avec les moyens du bord quitte à utiliser l'outil à la portée de la main et non celui qui serait normalement requis pour l'activité (Grusenmeyer, 2000), demander au collègue de travail d'aider (si cela peut résoudre le problème), effectuer un aller-retour en bas pour aller chercher l'outil manquant, ou faire apporter cet outil par une troisième personne.
- Il n'y a pas de supervision directe du travail sauf si le superviseur monte en nacelle après en avoir informé l'équipe, ce qui doit être fait, selon les procédures de sécurité en vigueur.

Si les travailleurs pouvaient monter et descendre plus souvent, certaines de ces contraintes disparaîtraient. Toutefois, selon les propos tenus lors de nos conversations avec des intervenants pendant cette recherche, les travailleurs ne semblent pas prêts à faire des efforts supplémentaires de montée et de descente. Un bilan global comparant les contraintes supplémentaires d'accès aux gains potentiels en termes de santé et de sécurité permettrait aux exploitants de décider de la meilleure stratégie à adopter sur une base plus factuelle.

La montée du matériel se fait via un treuil, situé à l'intérieur ou à l'extérieur du mât. Lorsque le treuil est à l'extérieur, il permet de déplacer une charge du pied de la tour jusqu'à la nacelle, sans

¹⁷ ISO 14122-4:2004 - Sécurité des machines – Moyens d'accès permanents aux machines – Partie 4 : échelles fixes, Genève. 2004.

passer par l'intérieur du mât. Cette charge est toutefois soumise au vent. Lorsque le treuil est à l'intérieur, la charge doit d'abord être apportée à l'intérieur du mât, par la porte d'accès située au pied de la tour, puis hissée jusque sous la nacelle avec le treuil, pour enfin finir son parcours par une manutention manuelle du haut de la tour (partie fixe) à la nacelle (partie tournante). Ce dernier point de passage peut varier dans le temps, car l'orientation de la nacelle varie selon l'orientation du vent. Cependant, dans ce cas-ci, la charge n'est pas soumise au vent. La vitesse du treuil étant limitée¹⁸, il faut tenir compte du temps de déplacement, en charge (aller) et à vide (retour) pour manutentionner l'ensemble du matériel.

Les conditions météorologiques doivent être prises en compte et dictent l'accès à l'éolienne. Au Québec, trois facteurs sont ainsi considérés : la vitesse du vent, la présence de glace sur l'éolienne et la présence d'éclairs. Pour assurer la sécurité des travailleurs, les exploitants utilisent les stratégies suivantes:

- Selon la vitesse du vent :
 - par vent nul ou très faible, toutes les interventions sont autorisées;
 - par vent moyen, l'accès au-dessus de la nacelle est interdit (ce qui peut interdire aussi l'accès au nez), mais toutes les interventions dans la nacelle sont autorisées;
 - par vent fort, seul l'accès au pied de la tour est autorisé (la montée dans le mât est interdite);
 - par vent très fort, il est interdit d'approcher l'éolienne.
- Selon la présence suspectée de glace sur l'éolienne :
 - l'éolienne est arrêtée à distance et orientée pour permettre un accès sécuritaire à la porte située au pied de la tour;
- Selon la présence d'éclairs :
 - Si les éclairs sont à l'extérieur d'une « zone de sécurité », les équipes déjà présentes dans le parc sont alertées et doivent se tenir prêtes à évacuer l'éolienne;
 - Si les éclairs sont à l'intérieur d'une « zone de sécurité », tout travail doit être suspendu immédiatement et tous les travailleurs doivent quitter les éoliennes, voire quitter le parc, selon les conditions météo.

3.2.3 Gestion de la SST

À l'heure actuelle, il existe au Québec plusieurs exploitants de tailles diverses, mais avec tous de grands parcs, soit plus de 50 éoliennes par parc. En 2015, une douzaine de petits exploitants, communautaires ou paramunicipaux, vont s'ajouter suite aux résultats du 3^e appel d'offres d'Hydro-Québec. Ces petits exploitants seront en charge de parcs limités à 25 MW, soit une douzaine d'éoliennes.

Les constructeurs disposent de procédures et de moyens formels de gestion de la SST qu'ils utilisent pendant la période de garantie. Ces règles et procédures sont très formalisées et priment sur celles de l'exploitant. Cependant, il est ressorti des diverses conversations tenues pendant

¹⁸ Au Québec, il faut compter de 4 à 5 minutes pour déplacer une charge du pied d'une éolienne à la nacelle.

cette recherche que ces systèmes de gestion de la SST étaient très développés, mais qu'ils pouvaient aussi être détournés du but ultime. En effet, le but ultime de ces systèmes de gestion est d'assurer la sécurité au quotidien des travailleurs. Sauf que le suivi et la mise à jour de ces systèmes nécessitent de remplir de nombreux formulaires, ce qui consomme du temps et de l'énergie, et que le rendement de l'équipe en termes de SST est souvent jugé à partir de ces systèmes de gestion. Il est donc tentant de ne pas documenter tous les incidents ou presque incidents qui n'ont eu aucune conséquence humaine, car cela permet de sauver du temps et de ne pas faire augmenter le taux de non-conformité. Ainsi, le retour d'expérience est biaisé et l'objectif ultime d'amélioration de la sécurité ne peut pas être atteint avec certitude.

Mais que se passera-t-il lorsque la période de garantie sera terminée et que la maintenance des éoliennes ne sera plus assurée par le fabricant ? Ceci est la grande incertitude pour tous les parcs éoliens implantés récemment au Québec. Depuis novembre 2012, au moins quatre parcs ne sont plus sous la garantie initiale des fabricants d'éoliennes : les deux parcs de Murdochville ainsi que deux parcs du premier appel d'offres d'Hydro-Québec, soient Baie-des-Sables et l'Anse-à-Valleau. Un troisième parc du premier appel d'offres, Carleton est sorti de la période de garantie en novembre 2013. Les grands exploitants pourront alors soit développer leurs propres procédures ou moyens de gestion de la SST, soit travailler avec les outils développés par les constructeurs si ces derniers continuent à assurer la maintenance des éoliennes. Mais que se passera-t-il avec les petits exploitants du 3^e appel d'offres qui exploiteront une douzaine d'éoliennes ? Seul l'avenir le dira.

4. ANALYSE DES PRATIQUES DE PRÉVENTION EXISTANTES

4.1 Approche méthodologique

Le recueil des données concernant les plans de prévention ou les pratiques existantes a été réalisé par l'ensemble de l'équipe de recherche, et ce, principalement en France, au Canada, aux États-Unis, en Angleterre et en Allemagne. Au Québec, le chantier de construction du parc éolien de Rivière au Renard (Techno Centre Éolien - TCE) a été soumis à l'observation de l'équipe de l'UQAR pendant la période hivernale. Par la suite, l'équipe de recherche conjointe IRSST-UQAR a mené deux observations lors des opérations d'entretien d'un autre parc éolien. Ces observations ont permis de vérifier, sur le terrain, le comportement des techniciens, les directives fournies en SST, l'existence et l'accessibilité des programmes de prévention, donc l'aspect opérationnel des plans de prévention.

Au niveau international, le travail a consisté à rechercher l'existence de toute directive, plan ou programme de prévention, concernant un parc d'éoliennes. À cet égard, la contribution du conseiller, Than Hua, responsable sécurité chez le gestionnaire de parcs éoliens Theolia, a été très importante.

4.2 Obligations applicables à l'industrie éolienne au Québec

Obligations légales : selon les règlements de la CSST au Québec :

« Tous les employeurs sont invités à mettre en œuvre un programme de prévention. Tous les travailleurs doivent en prendre connaissance. Il est obligatoire, pour les employeurs qui appartiennent à certains secteurs d'activité et pour ceux qui sont membres d'une mutuelle, d'élaborer un tel programme. »

CSST

Règlement sur le programme de prévention

Chap. 3 de la Loi sur la santé et la sécurité du travail

Or, dans le secteur éolien, on doit répartir l'activité des entreprises en deux secteurs : la construction et l'entretien (pendant l'exploitation) des parcs éoliens.

Lors de la phase de construction d'un parc éolien, les entreprises impliquées sont considérées comme appartenant au secteur de la construction et elles sont donc soumises à l'obligation de présenter un programme de prévention. Toutefois, les entreprises qui œuvrent à l'intérieur des éoliennes peuvent se soustraire à cette obligation, en raison du statut particulier dont bénéficient les éoliennes au Québec, car elles sont considérées comme étant des « machines ». Mais d'une façon générale, on peut néanmoins assimiler la phase de construction à la nécessité pour les entreprises qui participent à ces chantiers de présenter un programme de prévention.

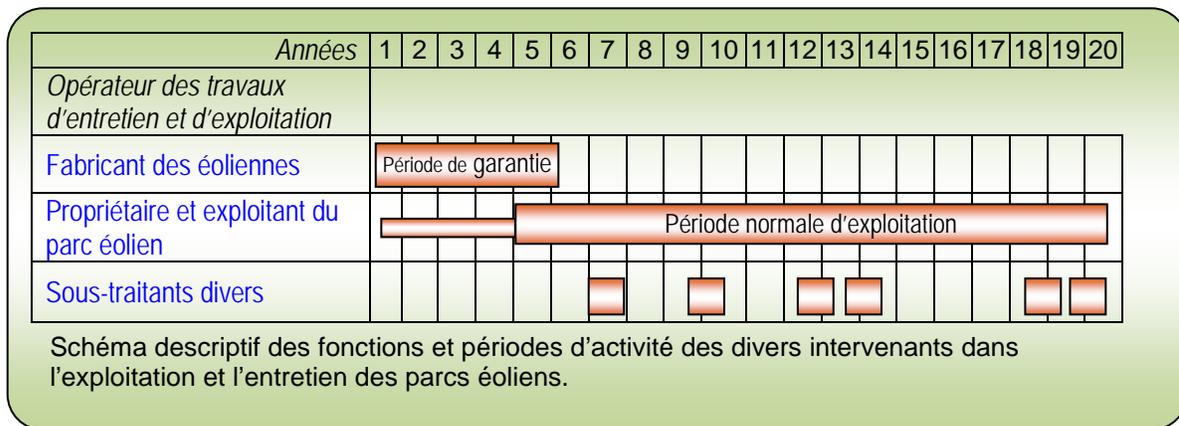
Lors de la phase d'exploitation d'un parc éolien, les entreprises doivent procéder à des activités d'entretien. Les entreprises qui exécutent ces activités au Québec n'appartiennent toutefois pas à

la liste des secteurs contraints, par la CSST, de présenter un programme de prévention. D'ailleurs, le statut même des éoliennes, considérées comme des machines, ne conduit pas à une identification précise des obligations de la part de la CSST. Le secteur de l'exploitation et de l'entretien des éoliennes se retrouve donc avec un statut hors catégorie.

Une fois le parc éolien mis en route, lors de la phase d'exploitation et d'entretien qui s'échelonne sur une période d'environ 20 ans, trois grands acteurs industriels interviennent, avec possiblement des directives et des pratiques différentes en matière de prévention (Tableau 5) :

- le fabricant des éoliennes (principalement durant la période de garantie),
- le propriétaire exploitant du parc éolien,
- les sous-traitants qui interviennent occasionnellement.

Tableau 5 : Intervenants durant l'exploitation d'une éolienne



En raison des pratiques en matière de garantie, tel qu'elles se déroulent pendant les premières années après la livraison des éoliennes au Québec (la garantie s'étend en général sur une période de trois à cinq ans), c'est l'équipe de techniciens du fabricant des éoliennes qui assume la majorité voire la totalité des travaux de surveillance, d'exploitation et d'entretien. Celui-ci forme son propre personnel à ses méthodes de travail et applique les méthodes de prévention et de sécurité qu'il a l'habitude de prendre. Si le fabricant fait appel à des sous-traitants, il impose alors ses méthodes de travail et ses méthodes de prévention et de sécurité au personnel du sous-traitant. Pour sa part, le propriétaire exploitant n'a d'autre choix que de suivre les méthodes du fabricant pendant cette période de garantie, bien qu'il puisse aussi faire une synthèse globale des éléments de prévention à mettre en œuvre pour tous les travailleurs qui interviennent dans son parc éolien.

Lors de cette recherche, seuls deux parcs récents étaient en fin de garantie. Tous les autres parcs étaient sous garantie, ce qui signifie que le fabricant des éoliennes de ces parcs était celui qui assurait la maintenance de ces machines.

4.2.1 Des obligations légales aux pratiques sur le terrain

Bien que les règlements de la CSST en matière de programme de prévention ne s'appliquent pas uniformément sur toutes les activités et entreprises œuvrant dans le secteur éolien, en pratique, la quasi-totalité des entreprises impliquées devrait présenter un tel programme, comme le recommande la CSST.

La recherche de programmes de prévention effectuée par les chercheurs auprès d'exploitants de parcs éoliens au Québec a démontré qu'en général, les entreprises impliquées dans les deux secteurs d'activités liés aux parcs éoliens (construction et exploitation/entretien) disposent d'éléments constitutifs d'un programme de prévention. Dans le secteur construction, la proportion d'entreprises possédant un plan de prévention est plutôt élevée. Par contre, dans le secteur exploitation/entretien, certains sous-traitants, dont les activités principales ne se font pas dans le domaine de l'éolien, mais qui y œuvrent occasionnellement, n'ont pas de plan de prévention adapté.

La pertinence de disposer de documents, plans, recommandations de prévention dans l'industrie éolienne au Québec apparaît comme relativement bien comprise. La plupart des entreprises peuvent démontrer qu'elles possèdent de tels plans, guides ou informations. Toutefois, on observe que :

- le niveau de précision de ces plans varie grandement d'une entreprise à l'autre et aucun standard n'existe vraiment;
- la méthode de présentation de ces plans s'écarte de la structure simple recommandée par la CSST. Certains sont en anglais et peu compréhensibles par des travailleurs au Québec;
- lorsqu'ils existent, ces documents et plans sont peu visibles et peu accessibles par les travailleurs et les techniciens, si ce n'est que sous une forme ultra simplifiée.

La plupart des acteurs industriels de l'éolien n'abordent pas la question du programme de prévention selon l'approche traditionnelle recommandée par la CSST, qui énonce comme suit les éléments d'un programme de prévention:

- Les principales sources de danger;
- Les règlements et les normes à respecter pour éliminer ou contrôler ces dangers;
- Les équipements de protection individuelle à utiliser pour protéger les travailleurs;
- Les mesures de surveillance et d'entretien à appliquer;
- Les besoins de formation à satisfaire et les moyens mis en œuvre pour y arriver.

Dans le secteur *Construction des parcs éoliens*, la présentation des plans de prévention est assez uniforme et reprend certains de ces principes, mais rappelons que cette activité ne dure que quelques mois et que ces entreprises quittent le secteur éolien une fois le chantier terminé. De plus, bon nombre d'entre elles sont familières avec les exigences de la CSST.

Sans doute en raison de la complexité des éoliennes, plus on examine les activités d'exploitation et d'entretien, plus on retrouve une succession de directives, d'explications, de guides et de recommandations, propres à chaque tâche. Cependant, à l'autre extrémité de ce processus de prévention peut se trouver un plan global de prévention qui est très souvent sobre et qui ne

fournit que les principales directives de prévention ou actions prévues. On peut schématiser cette succession de documents et plans qui, en s'imbriquant et dans leur globalité, constituent la preuve d'un « plan de prévention » sans en avoir nécessairement la forme au sens de la CSST (Figure 6):

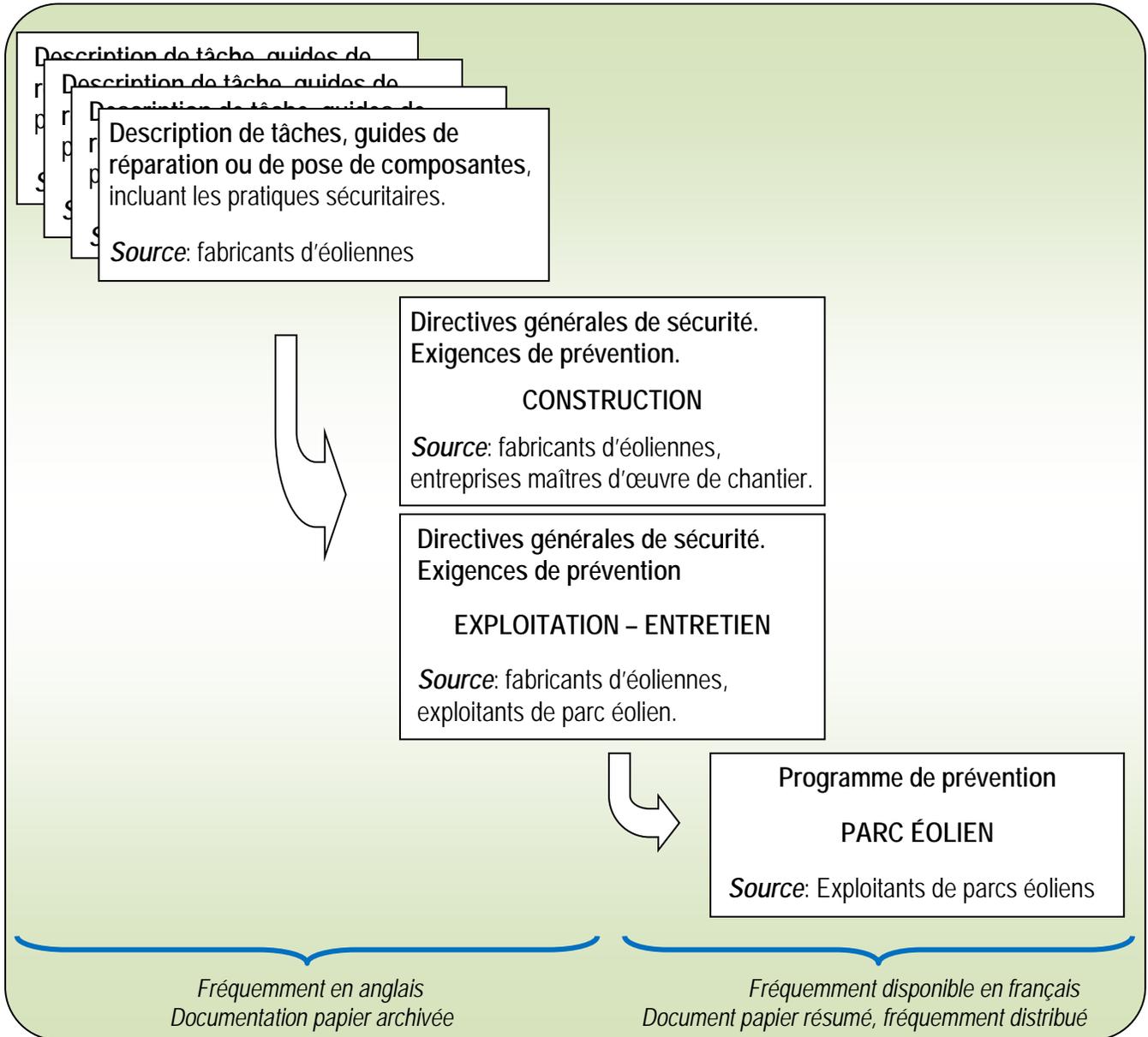


Figure 6 : Documents et plans pouvant être constitutifs d'un programme de prévention.

Ainsi, le plan de prévention, tel qu'il est défini par la CSST, n'est pas fréquent dans le secteur éolien. On utilise la documentation fournie par le fabricant et décrivant toutes les tâches d'entretien et les procédures sécuritaires pour l'exécution des travaux. Ce vaste recueil de documentation technique est, la plupart du temps, en anglais. Parmi les mesures de prévention décrites, on trouve des éléments relatifs à la consignation ou au cadenassage. En supplément à ce

recueil de procédures, l'exploitant de parcs éoliens rédige un document plus synthétique qui énonce les mesures de sécurité générales qui doivent être prises par son personnel. Au Québec, l'analyse des pratiques chez les opérateurs exploitants de parcs éoliens démontre que la quasi-totalité dispose de ce document synthèse, parfois appelé plan de prévention. Les formats de rédaction sont cependant inégaux et différents d'un opérateur à l'autre. Il n'y a donc pas de format standard.

4.2.2 Influence des grands acteurs dans la définition du plan de prévention

Les *fabricants d'éoliennes* exercent un rôle majeur dans la définition des mesures de sécurité et de prévention, car tous les documents techniques de travail sont rédigés par eux. En général, ce sont eux qui influencent l'approche sécuritaire, la vision et la philosophie de prévention. Lors des *opérations de construction*, alors que de nombreuses entreprises sont présentes simultanément sur un même chantier, les mesures de prévention s'imposent en général selon un ordre préétabli. C'est l'entreprise qui est maître d'œuvre qui, en général, établit le standard à respecter en matière de sécurité au travail à tous les sous-traitants qui travaillent sur le chantier. Ainsi, une entreprise dont les exigences de prévention sont inférieures à celles dictées par l'entreprise 'chef de chantier' devra hausser son niveau de sécurité. Par contre, une entreprise dont les exigences de prévention sont déjà supérieures à celles dictées par l'entreprise 'chef de chantier' aura le loisir de conserver ses exigences ou de les abaisser.

4.3 Les programmes de prévention tels qu'ils existent ailleurs dans le monde

Ce sont surtout les fabricants et les pratiques de l'industrie éolienne à l'étranger qui dictent notre organisation de la sécurité et de la prévention dans ce secteur d'activités au Québec. Chaque pays a ses propres règlements et exigences en matière de SST. De même, chaque entreprise fabricant d'éoliennes enseigne à ses équipes des procédures spécifiques. En général ce qui est décrit ci-dessus correspond à des protocoles, documents ou structures de prévention assez communes dans les parcs en activité, du moins en Allemagne, en Angleterre et aux États-Unis. En France l'inspection du travail¹⁹ émet des recommandations pour le secteur éolien, mais sans plus. Cependant, la quasi-totalité des projets éoliens est conçue par des fabricants d'éoliennes, entreprises souvent allemandes, espagnoles ou danoises, et ces entreprises dictent leurs propres règles et méthodes de sécurité. On observe même, du moins en France, une absence de plan global de prévention, tel qu'on l'entend au Québec. D'ailleurs, les exploitants de parcs éoliens reconnaissent qu'il s'agit là d'une des priorités sur lesquelles l'industrie et les organismes de réglementation doivent se pencher prochainement.

4.4 Synthèse des résultats

Au Québec, il existe des *plans de prévention* à l'étape de construction des parcs éoliens. On retrouve également des *plans d'urgence* qui fixent les mesures d'urgence à mettre en œuvre. Les exploitants de parcs éoliens, une fois leur parc en opération, mettent en place eux-mêmes des

¹⁹ En France, c'est l'entité gouvernementale « inspection du travail » qui réalise les inspections en entreprises, à l'égard des lois, y compris celles liées à la SST.

plans de prévention en faisant des compromis parmi des exigences provenant de différentes sources : fabricants d'éoliennes, réglementation québécoise, caractéristiques particulières du travail (conditions climatiques, distance et isolement, disponibilité des services d'urgence).

La plupart des plans de prévention n'intègrent que partiellement les caractéristiques particulières du travail en éolien au Québec, et ce, sans doute pour deux raisons. D'une part, parce que ces plans sont largement issus de documents des fabricants d'éoliennes qui eux, sont presque toujours européens. D'autre part, parce que la majorité des exploitants des parcs d'éoliennes sont des entreprises internationales ou nord-américaines, qui gèrent des parcs dans plusieurs pays. Ils ont donc tendance à imposer à tous leurs directeurs locaux un standard de méthodes de prévention conçu aux États-Unis ou en Europe, là où la majorité de leurs parcs éoliens se trouvent.

Dans plusieurs cas, on a observé sur le terrain que les travailleurs et techniciens connaissent l'existence d'un plan de prévention, que parfois ils ont lu le résumé de ce plan, mais que, par la suite, l'accès aux directives et aux protocoles décrits dans le plan de prévention est difficile. En d'autres termes, l'entreprise peut répondre aux exigences de la CSST et démontrer l'existence d'un tel plan, mais son accès et sa connaissance par les personnes autres que les administrateurs sont souvent inexistantes.

5. LE CADENASSAGE EN CONTEXTE ÉOLIEN

5.1 Approche méthodologique

Ce volet de la recherche a mis en œuvre les approches suivantes:

- analyse de la technologie des éoliennes actuelles et futures, réalisée à partir des guides d'exploitation et de maintenance publiés par les fabricants;
- prise en compte des contraintes imposées par les fabricants d'éoliennes par l'analyse de leur documentation et l'observation sur site;
- observations effectuées sur un chantier de construction et sur des éoliennes en phase de maintenance;
- étude des exigences typiques de la CSST pour le cadenassage dans les secteurs d'activité similaires ou à l'égard des machines par l'analyse de la réglementation CSST, des articles de revues de la CSST et de récentes campagnes d'information;
- prise en compte du point de vue des exploitants de parcs éoliens au Québec par des entrevues dans leurs bureaux et lors de réunions du comité de suivi;
- étude des pratiques réelles, du point de vue d'exploitants de parcs éoliens, à partir d'entrevues avec un opérateur de parcs Theolia, et démonstration des méthodes utilisées dans un parc éolien en Europe, par une entrevue avec un opérateur de parcs Boralex.

5.2 Résultats

5.2.1 Le cadenassage, une priorité pour la CSST

Depuis quelques années, la CSST a considérablement renforcé ses exigences et ses campagnes de sensibilisation en ce qui concerne le cadenassage. Le secteur éolien pourrait donc faire l'objet, lui aussi, d'une attention soutenue par la CSST. En effet, au Québec, les éoliennes sont assimilées à des machines et tombent, dès lors, sous les règlements qui s'appliquent à ce secteur. On verra, ci-dessous, que cette classification pose des problèmes, car la réalité est plus complexe dans le secteur éolien.

5.2.2 La grande complexité de la technologie éolienne moderne

Les éoliennes deviennent de plus en plus grosses et puissantes. Les premiers parcs éoliens au Québec, à Matane, étaient dotés de machines de 750 kW situées à 55 m de hauteur. Les nouvelles éoliennes atteignent une puissance de 2,3 MW et une hauteur de 100 mètres au moyen. De plus, avec le progrès technologique, la sophistication des éoliennes devient considérable. Une éolienne n'est pas une machine simple, mais un ensemble de plus de 15 systèmes autonomes et plus de 2000 composantes. Plusieurs sous-composantes sont des machines indépendantes en soi. Par exemple, le système de pas variable des trois pales est maintenant entièrement autonome et piloté par ses propres systèmes, intégrant batteries, automates, sécurité, etc. La rotation de la nacelle est aussi un système complètement indépendant, car la nacelle doit toujours être orientée face au vent. Enfin, le pilotage et le diagnostic de l'éolienne peuvent se réaliser à distance via un

centre de contrôle. En résumé, une éolienne est une véritable centrale électrique perchée à 100 mètres de hauteur et commandée à distance.

Le risque électrique est donc omniprésent dans cette centrale électrique. Les tensions présentes vont de 110 V (commandes, armoires d'automatisation, etc.) à 15 000 V ou 25 000 V à la sortie du transformateur, pour alimenter le réseau de distribution. La tension de sortie de la génératrice est d'environ 600 V. Le transformateur peut être installé dans la nacelle ou au pied de la tour. Le premier cas impliquera la présence de haute tension dans la nacelle. Ainsi, dans une éolienne, la problématique du cadenassage est présente principalement à l'égard de l'électricité.

Le risque mécanique est lui aussi omniprésent dans une éolienne, car cette dernière est conçue pour transformer l'énergie cinétique du vent en énergie électrique via un convertisseur mécanique que sont les pales, l'axe tournant et la génératrice. Contrairement à une machine en usine où la source d'énergie (électrique, mécanique, thermique, etc.) est contrôlable, la source d'énergie de l'éolienne, c'est-à-dire le vent, est incontrôlable et même difficilement prévisible localement. Un contrôle de l'énergie mécanique de l'éolienne doit donc être fait. La problématique du cadenassage est ainsi également présente à l'égard de l'énergie mécanique.

La perspective de dé-énergiser complètement une éolienne est difficilement envisageable. En effet, les éoliennes récentes sont incapables de s'orienter face au vent sans électricité, compte tenu de la technologie utilisée. De plus, l'angle des pales doit être contrôlé en permanence afin d'ajuster la puissance de l'éolienne à la force du vent. Donc, à moins de problèmes majeurs, une éolienne doit toujours être gardée sous tension pour être sécuritaire, surtout en cas de vent fort.

5.2.3 Caractéristiques spécifiques de cadenassage d'une éolienne

La notion de cadenassage, véhiculée au Québec tant dans l'industrie que par les organismes de réglementation, repose sur une condamnation totale des alimentations électriques et la mise en œuvre de blocages mécaniques interdisant toute erreur humaine et prévenant tout risque d'accident pour les travailleurs et techniciens. Or, les éoliennes sont, pour la quasi-totalité, conçues et fabriquées en Europe et les méthodes, les outils et les techniques permettant de condamner des actions sont, en pratique, définis par les concepteurs et les fabricants.

En Europe, on n'utilise pas le mot cadenassage dans le secteur éolien, mais plutôt celui de consignation, qui fait référence à l'isolement de cellules. L'industrie éolienne considère donc une turbine comme un ensemble complexe de nombreuses sous-unités (cellules), chacune de ces unités devant être « isolée » ou condamnée séparément ou en cascade. Ainsi, on procède à un cadenassage de cellules plutôt que de l'ensemble de l'éolienne. Des mécanismes (clés conditionnelles d'accès) permettent d'isoler progressivement des parties spécifiques d'une éolienne. De cette façon, ce n'est jamais l'ensemble d'une éolienne qui se trouve cadenassée et dé-énergisée.

Enfin, en Europe, la culture de la consignation est différente de celle de l'Amérique du Nord. En Europe, la consignation est l'un des moyens pour assurer la sécurité lors d'une intervention de maintenance alors qu'en Amérique du Nord, le cadenassage est le moyen privilégié.

5.2.4 Sites de cadenassage d'une éolienne

Les endroits où il est possible de condamner une éolienne, via soit le circuit de commande, soit le circuit de puissance, se situent :

- au centre de commande du parc éolien (circuit de commande, à distance);
- au poste de transformation du parc éolien (circuit de puissance);
- au pied de la tour (circuits de commande et de puissance, plusieurs endroits);
- dans la nacelle (circuits de commande et de puissance, plusieurs endroits).

Cependant, seule la condamnation de l'énergie via le circuit de puissance est considérée être strictement comme du cadenassage, l'utilisation du circuit de commande étant considéré comme un ordre d'arrêt maintenu selon la section 6.3 de la norme ISO 14118:2000²⁰.

Bien que ces divers points d'isolement varient d'une éolienne à l'autre, voici une liste de ces points les plus courants :

- Ligne d'alimentation de l'éolienne ou d'une sous-section du parc éolien au poste de transformation (puissance);
- Commande d'arrêt par système central de gestion du parc (commande);
- Cellule de puissance et de haute tension (puissance);
- Sectionneur de haute tension (puissance);
- Sectionneur général de basse tension (puissance);
- Armoire onduleur (puissance);
- Armoire des systèmes de contrôle (commande);
- Mise en mode forcé du pas des pales en drapeau (commande);
- Désorientation manuelle de l'éolienne en dehors des vents dominants (commande);
- Blocage mécanique du rotor (puissance);
- Systèmes électriques du moyeu et du pas variable (puissance).

5.2.5 Problématique du cadenassage face à la protection des secrets des fabricants

La question du cadenassage est d'autant plus délicate qu'elle est largement déterminée par la technologie propre à chaque fabricant. Par exemple, l'industrie s'oriente de plus en plus vers des éoliennes à génératrice synchrone, ce qui est fort différent (absence de réducteur mécanique, génératrice surdimensionnée, électronique de puissance, etc.) des éoliennes à machine asynchrone, utilisées jusqu'ici.

Étant donné que les méthodes et procédures de cadenassage sont étroitement liées aux concepts technologiques, aux automatismes et aux commandes définis et conçus par chaque fabricant, les protocoles de commande, rédigés très souvent en anglais, sont conservés secrètement. Dès lors, le fabricant impose les procédures qui permettront d'isoler et de cadenasser différentes parties

²⁰ ISO 14118:2000 - Sécurité des machines — Prévention de la mise en marche intempestive, Genève, 2000.

d'une éolienne. C'est également le fabricant qui définit les procédures de travail pour l'entretien, la réparation et l'inspection des différentes composantes de l'éolienne. Il en résulte donc que ces procédures varient d'un fabricant à un autre et il est plutôt irréaliste de croire à une méthode de cadenassage uniforme pour toutes les éoliennes, compte tenu de la variété technique de celles-ci.

5.2.6 Observations des méthodes de cadenassage sur le terrain

L'industrie éolienne, consultée sur le terrain et dans le cadre de rencontres du comité de suivi, a clairement exprimé son intention que soient respectés ces concepts technologiques différents et que les méthodes de cadenassage existantes dans les autres secteurs industriels ne soient pas imposées sans discernement à l'industrie éolienne au Québec. Le principe de base mentionné était que les éoliennes sont des machines spéciales qui doivent bénéficier d'un statut différent des autres machines.

Malgré ces contraintes et particularités, on a pu identifier l'émergence d'un consensus autour des problématiques suivantes :

- La présence permanente et croissante, dans toutes éoliennes, de courants électriques de forte puissance et de tension élevée, confirme qu'il s'agit d'un risque majeur d'accident par électrocution pour les travailleurs.
- La complexité technologique des éoliennes modernes est telle qu'il est virtuellement impossible pour un technicien de comprendre toutes les procédures de cadenassage et de définir, sans réflexion préalable, celles qui sont appropriées dans une circonstance particulière.
- La multiplication des systèmes de consignation, propres à chaque fabricant et même à chaque type de machine, rend extrêmement difficile, pour le personnel d'entretien, l'application rapide d'une procédure particulière.

5.3 Synthèse

Il ressort de cette étude exploratoire que :

- La question du cadenassage est centrale dans tout le processus d'amélioration des conditions de travail et de prévention des accidents en milieu éolien.
- Il est possible d'améliorer la situation actuelle sans nécessairement contrevenir aux préoccupations des fabricants qui veulent protéger leurs secrets industriels et faire évoluer leur technologie.
- Il s'agit d'une problématique complexe et la plupart du personnel semble insuffisamment formé pour y faire face. Il est donc nécessaire que des guides d'intervention en français expliquant clairement les procédures de sécurité à suivre soient conçus et fournis au personnel de maintenance et soient disponibles en tout temps.
- Il est nécessaire d'accroître les connaissances portant sur le fonctionnement d'une éolienne, les dangers liés à son fonctionnement et les procédures de cadenassage appropriées. Ces nouvelles connaissances doivent être intégrées dans les plans de prévention et dans les directives de cadenassage.

- Des efforts doivent être fournis pour assurer la formation du personnel d'entretien.
- Étant donné la très grande complexité des procédures d'entretien d'une éolienne, si la formation et l'affichage apparaissent comme des mécanismes insuffisants pour transmettre l'information pertinente au personnel concerné, il pourrait être utile d'examiner l'utilisation de nouveaux supports afin de rendre rapidement accessible l'information aux techniciens, p. ex. des supports informatiques individuels (tablettes, ordinateurs portables, etc.).

6. LOGISTIQUE LORS D'UNE ÉVACUATION D'URGENCE

6.1 Approche méthodologique

Ce volet de la recherche concerne les conditions très particulières dans lesquelles les travailleurs du secteur éolien œuvrent au Québec. Dans le présent exemple, la problématique concerne un travailleur accidenté, situé dans un espace exigü, parfois même classé comme espace clos, et en plus, situé à plusieurs dizaines de mètres au-dessus du sol. Bien que la règle imposée aux entreprises du secteur éolien soit que chaque exploitant d'un parc éolien soit en mesure non seulement d'assurer la sécurité de son personnel, mais aussi de l'évacuer dans les cas graves, l'employeur doit faire intervenir non seulement les secours de base (ambulanciers), mais parfois aussi d'autres équipes spécialisées en sauvetage. Au Québec, où les distances sont grandes et où la faible densité des populations dans les régions où sont installées les éoliennes ne permet pas d'avoir des équipes de sauveteurs spécialisés, la problématique des évacuations et du sauvetage est encore plus complexe et pose des défis majeurs.

Bien que des protocoles d'évacuation soient prévus et parfois testés, ils reflètent souvent des conditions idéales. Dans le cadre de ce projet de recherche, il n'a pas été possible d'assister ou de réaliser sur le terrain une simulation d'évacuation d'urgence, et d'en analyser rigoureusement l'organisation, les problèmes rencontrés et les conclusions. En l'absence d'observation sur le terrain d'une véritable simulation, ou de cas d'accidents récents au Québec impliquant l'évacuation d'un blessé, les chercheurs ont tenté d'évaluer les risques à partir de témoignages et de points de vue de personnes impliquées dans ce type d'intervention.

La méthodologie suivie a donc été de réaliser des entrevues avec des individus provenant des groupes suivants :

- Travailleurs eux-mêmes
- Exploitants de parc éolien
- Ambulanciers
- Intervenants en santé et services sociaux
- Pompiers
- Agents de la Sûreté du Québec
- Inspecteurs de la CSST
- Membres des équipes régionales de cordistes
- Formateurs agréés en sauvetage en hauteur
- Travailleurs forestiers ayant l'expérience de géolocalisation de points de rencontre
- Personnel des Centres régionaux 911

Outre les réunions et les interviews réalisées avec ces personnes, les chercheurs ont regroupé plusieurs d'entre eux dans le cadre d'un mini-colloque, organisé à Cap-Chat qui réunissait une trentaine d'intervenants du secteur éolien en juin 2011. Ainsi, la plupart des intervenants régionaux, notamment les services d'urgence et de protection civile, qui desservent les parcs éoliens, ont pu exprimer leur vision de la situation et de la sécurité, ainsi que les problèmes ou

défis vécus sur le terrain. En une seule journée, il a été possible de recueillir plusieurs points de vue et d'en discuter.

Afin d'illustrer les enjeux d'une opération d'évacuation d'une éolienne, voici le déroulement type d'une de ces opérations, en hiver, dans le contexte standard d'une équipe de 2 techniciens opérant seuls, dans une éolienne située en milieu forestier, loin de la route principale. Les chercheurs ont pu recomposer ce déroulement fictif à partir de protocoles d'évacuation existants chez les exploitants de parcs éoliens et d'entrevues avec les services d'urgence en Gaspésie.

1. L'accident du travail se produit : blessure d'un technicien dans la nacelle
2. Dégagement du blessé par son coéquipier. Stabilisation du blessé. Diagnostic jugé grave. Les 2 techniciens se trouvent isolés dans la nacelle. Le coéquipier cherche à appeler des secours.
3. Contact par téléphone cellulaire avec l'employeur-opérateur du parc.
4. Contact par téléphone cellulaire avec le 911. Localisation difficile à fournir. On recherche le numéro exact de l'éolienne.
5. Départ d'une ambulance se dirigeant vers le site.
6. Le coéquipier tente de préparer une évacuation du blessé par système de sauvetage.
7. L'ambulance pénètre dans la zone du parc éolien, mais en raison de la neige, elle a de la difficulté à trouver le bon chemin (chemins non cartographiés sur GPS). En outre l'ambulance se trouve stoppée à la limite de la zone de déneigement (dite point de rencontre).
8. L'équipe de sécurité de l'exploitant du parc arrive et déploie 3 personnes et une chenillette équipée d'une civière afin d'aller chercher le blessé au pied de l'éolienne.
9. Les ambulanciers ont identifié le point de rencontre (géolocalisé), se stationnent à cette position sur la route d'accès (mais sans pouvoir atteindre l'éolienne) et attendent qu'on leur achemine le blessé au point de rencontre.
10. Des procédures de cadenassage sont mises en œuvre par l'équipe de l'opérateur afin d'assurer la sécurité de tous.
11. Avec l'aide du 911, une liaison téléphonique est établie entre la nacelle où se trouve le blessé et un médecin, afin de recevoir des directives concernant les symptômes du blessé.
12. L'état du blessé se dégrade et les équipes envisagent un autre moyen d'évacuation par la nacelle ou les airs.
13. La Sûreté du Québec a déclenché une alerte et son hélicoptère décolle de l'aéroport de St-Hubert, à 2h30 de vol du parc éolien.
14. Le blessé est préparé pour une évacuation d'urgence par l'équipe en sauvetage de l'opérateur.
15. Il est finalement acheminé au point de rencontre et pris en charge par l'ambulance avant l'arrivée de l'hélicoptère. La mission de l'hélicoptère est annulée.

Lors des observations sur le terrain, la question de l'évacuation d'urgence a été particulièrement examinée.

6.2 Constats

- Le délai de réponse des ambulanciers dans le cas d'un appel d'urgence dans un parc éolien présente une problématique typique du Québec où les distances sont importantes et les services ambulanciers sont, en général, éloignés des éoliennes. Un système de repérage géoréférencé de points de rencontre entre l'équipe de sauvetage du parc éolien et les ambulanciers a été développé pour les travailleurs forestiers, puis généralisé dans le cas des parcs éoliens. Mais les risques que les ambulanciers se perdent dans le dédale de petits chemins et perdent un temps précieux est élevé, d'autant plus que la plupart des véhicules ambulanciers, en Gaspésie, ne sont pas munis de GPS intégrant la cartographie des parcs éoliens.
- Les protocoles de communication des travailleurs vers leur centrale de répartition ou leur entreprise demeurent imprécis. Par exemple, il arrive fréquemment que, dans un parc d'une centaine d'éoliennes, une équipe de 2 techniciens travaillant en milieu isolé ne sache pas exactement le numéro de référence de l'éolienne où ils travaillent, ce qui est pourtant essentiel pour l'acheminement rapide des secours en cas d'accident.
- Les services d'évacuation hélicoptérée, pour les cas d'accidents graves, sont essentiels, mais peu accessibles ou opérationnels dans l'est de la Gaspésie. En effet, la seule équipe fournissant un service hélicoptéré, appartenant à la Sûreté du Québec, est basée à l'aéroport de St-Hubert, à 5h de vol de la région de la Gaspésie.

6.3 Recommandations

À la lumière de ces constats, l'équipe de recherche a choisi de proposer deux recommandations susceptibles de s'appliquer à la majorité des parcs éoliens au Québec qui sont de très grande taille et la plupart situés en zones rurales ou forestières, avec un réseau complexe de chemins forestiers non balisés:

1. Doter tous les véhicules d'ambulance desservant les régions de parcs éoliens d'un système GPS contenant la cartographie des petits chemins, afin que tout chauffeur de ces véhicules puisse facilement et avec le minimum de délai, rejoindre une éolienne où un accident s'est passé.
2. Réaliser davantage de pratiques d'évacuation de blessés, notamment avec les services de sauvetage hélicoptérés de la Sûreté du Québec. En effet, les zones des parcs éoliens sont isolées, et souvent situées en régions éloignées ou montagneuses. Il existe donc plusieurs techniques ou méthodes pour évacuer rapidement un blessé grave : évacuation encordée par une équipe de cordistes spécialement entraînée, intervention en hélicoptère. Dans tous les cas, les conditions météo, la disponibilité de l'équipe de sauvetage, et d'autres facteurs déterminent le moyen possible à utiliser. Or peu d'exercices de cette complexité sont organisés et ces services d'intervention devraient mieux comprendre et maîtriser le choix de la méthode lorsqu'un accident va survenir.

7. SYNTHÈSE GÉNÉRALE

7.1 Analyse des accidents

Aucun organisme dans le monde ne tient à jour de base de données scientifique axée sur la SST dans le secteur éolien. En Angleterre, la RenewableR. U. (anciennement connue sous le nom BWEA, British Wind Energy Association) est sans doute l'organisme qui effectue le meilleur suivi, mais ce suivi semble limité à ce pays et l'accès à ces données, sollicité par l'équipe de recherche, a été refusé. L'insuffisance de données est d'autant plus marquante en constatant que la seule source de données accessible provient d'une association regroupant des militants anti-éoliens : la Caithness Windfarm Information Forum (CWIF).

Quant au Canada et au Québec, l'absence quasi totale de déclaration d'accidents dans des parcs éoliens depuis quinze ans suggère un manque de suivi et de déclaration d'accidents dans ce secteur d'activités. Selon l'équipe hélicoptérée de la Sûreté du Québec avec qui nous avons discuté, l'intérêt modéré de l'industrie éolienne pour des pratiques de prévention et de sauvetage pourrait être en partie attribuable à l'absence d'accidents graves déclarés jusqu'à maintenant, éliminant ainsi tout incitatif à cet égard.

Devant une telle absence de données, une veille internationale systématique, principalement via internet, a pu être réalisée par l'équipe de recherche et elle a permis d'esquisser l'image la plus fidèle possible des dangers et des accidents liés au travail dans l'industrie éolienne. Ces risques et accidents concernent principalement :

- Les chutes, liées au travail en hauteur;
- Les collisions avec des objets, dont la masse est importante, ou tombant de haut;
- L'électrocution, liée à la présence permanente d'électricité sous haute tension;
- Les crises cardiaques, liées à la montée en tour.

7.2 Analyse de la réalité du travail

L'industrie éolienne, malgré sa forte croissance au Québec et dans plusieurs pays dans le monde, est encore jeune et les conditions de travail qu'elle impose à ses travailleurs sont peu documentées. Également, au Québec, plusieurs facteurs particuliers créent des conditions de travail qui ne sont pas nécessairement celles rencontrées ailleurs dans le monde. Par exemple :

- Les équipements sont, en quasi-totalité, conçus et fabriqués à l'étranger;
- La taille des parcs d'éoliennes est souvent beaucoup plus élevée au Québec qu'ailleurs dans le monde;
- Les conditions climatiques en hiver et la présence de ces parcs en zone isolée constituent des contraintes majeures pour les travailleurs.

Parmi les phénomènes météorologiques ou situations de travail que l'on retrouve de façon plus présente au Québec, mentionnons :

- présence quasi systématique chaque hiver de givre accumulé sur les pales provoquant une éjection de blocs de glace qui risquent de frapper les travailleurs lorsqu'ils approchent d'une éolienne.
- installation des éoliennes dans des zones boisées et isolées qui rendent le repérage visuel difficile pour un véhicule de secours qui cherche à se rendre à l'éolienne.
- utilisation de chenillettes ou skidoos ou autres véhicules spéciaux pour accéder aux éoliennes en hiver, puisque les chemins d'accès n'étant pas totalement déneigés, les véhicules de service ne peuvent se rendre au pied des éoliennes. Utilisation de ce mode de transport pour un travailleur accidenté.
- travaux effectués en hiver avec des températures très basses autour de l'éolienne et parfois dans la tour, mais élevées dans la nacelle (contraste de températures, habits de travail et harnais à changer en cours de travaux...)

7.3 L'analyse des pratiques de prévention

Sans doute en raison du caractère récent de cette industrie, les données d'accidents et une grande partie de la réglementation confondent et regroupent de façon inappropriée :

- La phase de construction des parcs éoliens, c'est-à-dire la période pendant laquelle des entreprises relevant du secteur de la construction œuvrent, et ce, pour un temps assez court et prédéterminé.
- La phase d'exploitation des éoliennes, c'est-à-dire la période pendant laquelle des entreprises spécialisées s'assurent du fonctionnement des éoliennes, pour une durée de 20 ans.

Quant aux pratiques de prévention, elles sont plutôt limitées par rapport à d'autres secteurs. Les programmes de prévention sont peu détaillés et loin de correspondre aux exigences ou aux bonnes pratiques véhiculées par la CSST.

7.4 Cadenassage

Les grandes éoliennes implantées au Québec et au Canada sont toutes importées, notamment d'Allemagne et du Danemark. Même les éoliennes de marque General Electric (États-Unis) sont de conception européenne. Seules les pièces peu technologiques et de très grande dimension, comme les pales ou les tours, sont fabriquées ici. Les méthodes et les pratiques de cadenassage sont donc définies et imposées par les ingénieurs (concepteurs) européens. Or, la notion même de cadenassage est abordée différemment en Europe et en Amérique du Nord. Ainsi, la complexité de ces véritables centrales électriques, fixées à plus de 80 mètres au-dessus du sol, interdit de procéder à un cadenassage complet, tel qu'on l'entend au Québec. La nacelle d'une éolienne est plutôt assimilable à une mini-usine, dotée de multiples sous-ensembles. L'approche européenne de ce que nous nommons ici 'cadenassage', correspond plutôt à un isolement de certaines composantes ou parties de l'éolienne, et est appelée 'consignation'.

Le cas des ascenseurs qui commence à apparaître dans les éoliennes au Québec est un bon exemple de cette particularité. L'ascenseur doit, autant que possible, être maintenu en marche, ce qui empêche la mise hors énergie de l'ensemble de l'éolienne. Les fabricants d'éoliennes

énoncent donc des procédures d'isolement pour des cellules bien précises et selon un protocole qui dépend de l'intervention à effectuer. D'ailleurs, ces fabricants ne prévoient presque jamais la dévitalisation complète d'une éolienne, hormis lors de situations extrêmement majeures.

Cette recherche a donc permis de constater, à l'égard du cadenassage, que :

- Les risques d'accident du travail par électrocution sont élevés et en croissance, donc la prévention concernant les aspects électriques est nécessaire et devrait constituer une priorité pour les travailleurs œuvrant dans les éoliennes.
- La complexité des procédures est réelle et elle diffère significativement des procédures classiques de cadenassage enseignées ou pratiquées au Québec dans d'autres industries. Il est donc important de former adéquatement les techniciens et les opérateurs d'éoliennes à ces méthodes et procédures particulières, essentielles pour la prévention.
- Les risques sont accrus par le fait que les techniciens d'entretien, surtout les sous-traitants, ont parfois à intervenir sur des éoliennes de divers types ou fabriquées par des entreprises différentes. Les procédures de cadenassage varient en fonction du fabricant, mais aussi selon l'une ou l'autre des grandes technologies utilisées : avec ou sans multiplicateur. Un technicien (ou un sous-traitant), même bien formé, peut donc être confus face à la diversité des protocoles à suivre.

7.5 Logistique des interventions d'évacuation

Au cours de la période d'exploitation, les principaux risques se situent lorsque le travailleur se trouve à l'intérieur de la structure ou sur celle-ci, donc travaillant soit dans la tour, soit dans la nacelle située à environ 80 mètres au-dessus du sol. La recherche a permis de caractériser quatre étapes ou actions qui doivent être bien maîtrisées pour un sauvetage efficace d'un travailleur blessé, dans un parc éolien au Québec :

1. La descente du travailleur blessé dans la tour, ce qui exige des équipements spéciaux et une formation adéquate des autres travailleurs disponibles.
2. Une intervention rapide des ambulanciers même si le site est isolé, exigeant des systèmes de communication, de navigation et de déplacement aptes à permettre au chauffeur de rejoindre le travailleur blessé le plus rapidement possible.
3. Des chemins accessibles même en hiver, en prévoyant l'utilisation d'un transport spécial sur neige pour se rendre à l'éolienne lorsque le chemin d'accès à l'éolienne, à partir d'un point de rencontre avec les ambulanciers, n'est pas déneigé.
4. La disponibilité d'un transport par hélicoptère, en présence de sauveteurs spécialisés, lorsque le travailleur blessé ne peut être descendu de la tour ou transporté sur le terrain.

Selon les consultations effectuées auprès de différents intervenants, l'action 1 est correctement maîtrisée au Québec. L'action 2 pose des problèmes, car certains véhicules ambulanciers ne sont pas munis de GPS incluant la cartographie des parcs éoliens. L'identification et la géolocalisation de points de rencontre précis sont en cours, effectuées par l'industrie forestière, ce qui aidera à réaliser l'action 3. L'action 4 n'existe pas puisque seule la Sûreté du Québec

dispose de moyens hélicoptés significatifs, basés à près de 5 heures de vol de la majorité des parcs éoliens québécois. Toutefois, la Sûreté du Québec, consciente de l'importance de rendre disponible ce service de sauvetage à toute l'industrie éolienne et à ses travailleurs, a proposé de mettre en place, conjointement avec l'industrie, des protocoles précis qui incluent une chaîne d'alerte et des entraînements réguliers de son équipe de sauvetage hélicoptée pour effectuer des interventions sur des éoliennes.

7.6 Conclusions et recommandations

Bien qu'exploratoire, cette première étude portant sur le secteur éolien a permis de réaliser un état des lieux qui permettra aux intervenants de mieux connaître les enjeux et les risques encourus par les travailleurs de cette industrie. Nous pouvons conclure que :

- La phase de construction des parcs éoliens, d'une durée de 2 ans, ne doit pas être assimilée aux opérations normales d'exploitation des parcs éoliens. Les chantiers de construction sont relativement bien organisés et inspectés en matière de SST, mais il s'agit d'une étape brève n'impliquant pas les opérateurs des éoliennes qui sont à l'œuvre pendant toute la période d'exploitation des éoliennes (autour de 20 ans).
- Les principaux risques auxquels doivent faire face les travailleurs du secteur éolien sont liés aux travaux en hauteur, à l'omniprésence d'électricité sous haute tension, à la présence de pièces en mouvement dans un espace restreint, et à l'éloignement.
- Les conditions particulières de travail dans les éoliennes au Québec, dont le climat et l'isolement, accentuent les risques pour les travailleurs, alors que les programmes de prévention tiennent peu compte de ces spécificités.
- Les moyens existants pour assurer le sauvetage de travailleurs gravement accidentés sont insuffisants et surtout peu opérationnels. Seule la Sûreté du Québec dispose de ressources hélicoptées alors que les pompiers locaux ne sont pas équipés et entraînés pour effectuer un sauvetage dans une éolienne.

Les principales recommandations issues de la présente étude sont indiquées au Tableau 6.

Tableau 6 : Synthèse des recommandations

Recommandation	Propositions pour la mise en œuvre
<p><u>Plans de prévention</u></p> <p>Favoriser la mise en place, par l'industrie exploitant les parcs éoliens, de plans de prévention adaptés aux conditions de travail au Québec, de façon à ce qu'ils intègrent des plans d'urgence et qu'ils soient facilement accessibles aux travailleurs.</p>	<p>Procéder à la conception d'un plan de prévention typique, en français, adapté à l'éolien et pouvant être diffusé auprès des entreprises exploitantes. À cet égard, un projet pilote initié par l'équipe de recherche, en collaboration avec le Techno-Centre Éolien, a permis de proposer et de tester certains éléments à intégrer à un plan de prévention (logiciel d'identification des risques et d'aide à la construction d'un plan de prévention, fiche d'identification d'accident ou d'incident critique).</p> <p>Dans les cours dispensés par les CÉGEPS, améliorer la formation des travailleurs du secteur éolien en introduisant la notion de plan de prévention, son contenu et son application.</p>
<p><u>Cadenassage</u></p> <p>Diffuser davantage d'information et de formation en français.</p>	<p>Préciser davantage, détailler et rendre accessibles, en français et à tous le personnel (incluant les sous-traitants), les protocoles et méthodes de cadenassage.</p> <p>Dans les cours dispensés par les CÉGEPS, accroître la formation en introduisant la notion de cadenassage, son contenu et son application particulière en contexte éolien.</p>
<p><u>Protocoles d'évacuation et de sauvetage</u></p> <p>Définir et mettre en place des protocoles de sauvetage pour les accidents graves nécessitant une évacuation avec l'aide d'une équipe de sauvetage spécialisée ou par hélicoptère.</p>	<p>Collaborer avec la Sûreté du Québec pour définir des protocoles d'urgence et de sauvetage appropriés.</p> <p>Effectuer au moins un entraînement réel par année au Québec.</p>
<p><u>Poursuite d'analyse de cas</u></p> <p>Dans un domaine où la CSST effectue assez peu de prévention ou inspection, en dehors des chantiers de construction de parcs éoliens, continuer à identifier les risques à travers des observations et des analyses sur le terrain.</p>	<p>Poursuivre la compilation des cas d'accidents du travail dans des parcs éoliens afin d'obtenir des statistiques solides sur ces événements.</p> <p>Poursuivre l'observation et l'analyse des travaux effectués sur les éoliennes afin de mieux documenter les méthodes de travail utilisées et de recommander des procédures de prévention adéquates.</p>

BIBLIOGRAPHIE

- Andrewus JA (2008). *Maintenance optimization for wind turbines*, thèse de doctorat de la Robert Gordon University.
- Bury S (2011). *Workin' Your Way Up: Is Canada generating enough workers to handle its wind energy goals?* », Plant and Engineering Maintenance, p. 16-19.
- Gill G (2008). *Maintaining the Wind Turbine Revolution*, Lube Report, Vol. 8, # 34.
- Grusenmeyer C (2000). *Interactions maintenance-exploitation et sécurité*. Étude bibliographique, INRS, NS 189.
- Guillemy N, Liévin D, Pagliero D (2006). *Travail isolé - Prévention des risques : Synthèse et application*, INRS.
- Hendriks HB, Bulder BH, Heijdra JJ *et al.* (2000). *DOWEC Concept Study: Evaluation of Wind Turbine Concepts for Large Scale Offshore Application*. Offshore Wind Energy in Mediterranean and Other European Seas (OWEMES conference), Siracusa, Italie.
- Lamonde F, Richard J-G, Langlois L, Dallaire J, Vinet A (2010). *La prise en compte des situations de travail dans les projets de conception - La pratique des concepteurs et des opérations impliqués dans un projet conjoint entre un donneur d'ouvrage et une firme de génie-conseil*, Rapport IRSST #R-636.
- Le Métayer S (2004). *Montage et maintenance des éoliennes – Prévention des risques professionnels*, Mémoire de prévention, 78 pages.
- Obdam T, Rademakers L, Braan H, Eecen P (2007). *Estimating Costs of Operation & Maintenance for Offshore Wind Farms*, European Offshore Wind Energy Conference, Berlin, Allemagne, 4-6 décembre.
- OSHA (2003). Inspection #304208507, Accident #200331320, Report ID: 0830300, Event Date: 05/13/2003. Disponible en ligne : https://www.osha.gov/pls/imis/accidentsearch.accident_detail?id=200331320. [Dernière consultation : 23 août 2013]
- Poore R, Walford C (2008). *Development of an Operation and Maintenance Cost Model to Identify Cost of Energy Savings for Low Wind Speed Turbines*, Global Energy Concepts, LLC Seattle, Washington, rapport NREL/SR-500-40581. Disponible en ligne: <http://www.nrel.gov/docs/fy08osti/40581.pdf> [Dernière consultation : 11 septembre 2013].
- Rademakers LWMM, Braam H, Zaaijer MB, van Bussel GJW (2003). *Assessment and Optimisation of Operation and Maintenance of Offshore Wind Turbines*, European Wind Energy Conference, Madrid, Espagne, 16-19 juin.
- Ragheb AM, Ragheb M (2011). *Wind Turbine Gearbox Technologies*. Dans : *Fundamental and Advanced Topics in Wind Power*, chapitre 8, édité par Carriveau R. Disponible en ligne :

[http://cdn.intechopen.com/pdfs/16248/InTech-Wind turbine gearbox technologies.pdf](http://cdn.intechopen.com/pdfs/16248/InTech-Wind_turbine_gearbox_technologies.pdf).

[Dernière consultation : 23 août 2013]

Schreck S (2006). *Advanced Wind Turbine Program - Next Generation Turbine Development Project*, GE Wind Energy, LLC, rapport NREL/SR-500-38752. Disponible en ligne: <http://www.nrel.gov/docs/fy06osti/38752.pdf> [Dernière consultation : 11 septembre 2013].

Starr S (2011). *Newer Safety Standards Include Precautions For Turbine Fires*, North American Windpower, vol. 8, No. 2, pp. 64- 70.

Truc O (2008). *La fiabilité des éoliennes du leader mondial du secteur, le danois Vestas, est mise en doute*. Journal Le Monde, 1^{er} février.

ANNEXE A : BASE DE DONNÉES

Mise à jour en juin 2011 basée sur la mise à jour du CWIF du 6 avril 2011.

Certitude	Nature de l'accident	Nature de la tâche	Nombre de travailleurs impliqués	Type d'accident	Date	Nom du parc	Localisation	Pays	Année de construction du parc
1,0	électrique	maintenance	1	Blessure	2000-04-01	Palm Springs, CA	terre	États-Unis	
1,0	pièce en mouvement	maintenance	1	Blessure	2000-10-26	Kern County, CA	terre	États-Unis	
1,0	routier	transport	1	Décès	2000-12-19	Erwitte - Westfalen	terre	Allemagne	
1,0	chute objet	divers	1	Blessure	2001-10-09	Brithdir Mawr eco-commune, Newport, Wales	terre	R.-U. ²¹	
1,0	électrique	maintenance	1	Blessure	2002-07-01	Sigean, Aude	terre	France	
0,5	chute	maintenance	1	Décès	2002-07-10	Eemmeerdiijk, Zeewolds, Flevoland	terre	Pays-Bas	
0,5	chute	maintenance	1	Blessure	2002-07-10	Eemmeerdiijk, Zeewolds, Flevoland	terre	Pays-Bas	
1,0	routier	transport	1	Transport	2002-11-19	Dahlenburg, Lueneburger	terre	Allemagne	
1,0	électrique	maintenance	1	Blessure	2002-11-19	NorthWind ?, Byron, CA	terre	États-Unis	1999
1,0	NSP	construction	1	Divers	2002-12-31	Horns Rev offshore wind park	mer	Danemark	déc-02
0,5	chute objet	construction	1	Décès	2003-05-13	Burlington, North Dakota	terre	USA	
1,0	chute grue	construction	1	Divers	2003-07-28	Windpark Fiebig/Ostfriesland	terre	Allemagne	
1,0	feu	exploitation	2	Blessure	2003-07-30	Castilla y León	terre	Espagne	
1,0	feu	maintenance	3	Feu	2003-08-15	Schwochel bei Ahrensböök im Kreis Ostholstein / Schleswig-Holstein	terre	Allemagne	
1,0	électrique	NSP	1	Décès	2003-09-18	Tres Vaqueros Wind Farm, Byron, Alamont Pass, CA	terre	États-Unis	
0,5	chute	maintenance	1	Décès	2003-10-15	Neuruppen, Brandenburg	terre	Allemagne	
1,0	NSP	NSP	1	Blessure	2003-12-31	Cabo Vilán windfarm, Galicia	terre	Espagne	
1,0	NSP	NSP	1	Décès	2004-01-07			Suède	
1,0	NSP	NSP	1	Décès	2004-01-07	Hontalbilla de Almazán, Soria		Espagne	
1,0	chute	NSP	1	Décès	2004-07-16	Wittmund in Ostfriesland / Niedersachsen, Lower Saxony		Allemagne	
1,0	chute objet	construction	1	Blessure	2004-07-28	Windpark Schwirzheim nahe Büdesheim bei Prüm im Kreis Bitburg-Prüm / Rheinland-Pfalz		Allemagne	
1,0	chute	maintenance	1	Décès	2004-09-14	Meyersdale, Somerset, PA	terre	États-Unis	2003
1,0	effort physique	maintenance	1	Blessure	2004-10-01	North Hoyle offshore wind farm	mer	R.-U.	déc-03
0,5	routier	construction	1	Transport	2004-11-21	Tiskalaw, Illinois	terre	États-Unis	
0,5	feu	maintenance	2	Feu	2004-12-07	Schaller, near Storm Lake, IA	terre	États-Unis	
1,0	chute	maintenance	1	Blessure	2005-01-01	Scroby Sands offshore wind farm	mer	R.-U.	mars-04
1,0	effort physique	maintenance	1	Blessure	2005-01-01	North Hoyle offshore wind farm	mer	R.-U.	déc-03

²¹ Royaume-Uni

Certitude	Nature de l'accident	Nature de la tâche	Nombre de travailleurs impliqués	Type d'accident	Date	Nom du parc	Localisation	Pays	Année de construction du parc
1,0	pièce en mouvement	maintenance	1	Blessure	2005-01-01	Scroby Sands offshore wind farm	mer	R.-U.	mars-04
1,0	pièce en mouvement	maintenance	1	Blessure	2005-02-02	Voigtstedt / Thüringen		Allemagne	
1,0	effort physique	maintenance	1	Blessure	2005-04-01	North Hoyle offshore wind farm	mer	R.-U.	déc-03
0,5	choc	exploitation	1	Blessure	2005-05-01	North Hoyle offshore wind farm	mer	R.-U.	déc-03
1,0	pièce en mouvement	maintenance	1	Décès	2005-05-07	Marsberg- Erlingshausen - Hochsauerlandkreis, Westphalia		Allemagne	
1,0	pièce en mouvement	maintenance	1	Blessure	2005-05-07	Marsberg- Erlingshausen - Hochsauerlandkreis, Westphalia		Allemagne	
1,0	routier	construction	1	Transport	2005-10-18	A' Chleit, Kintyre, Scotland	terre	R.-U.	
1,0	routier	transport	1	Transport	2005-11-05	Wells Fargo, ND		États-Unis	
1,0	chute	maintenance	1	Décès	2005-11-11	East Ridge Wind Farm, Chandler, Minnesota	terre	États-Unis	2006
1,0	feu	maintenance	2	Blessure	2005-11-11	East Ridge Wind Farm, Chandler, Minnesota	terre	États-Unis	2006
1,0	routier	construction	1	Transport	2005-11-29	A941 Elgin-Rothes road at Drumbain, less than a mile from Rothes, Moray, Scotland	terre	R.-U.	
1,0	routier	construction	1	Transport	2005-12-02	Larrabee, Iowa	terre	États-Unis	2006
1,0	NSP	NSP	2	Blessure	2005-12-22	Woolnorth Windfarm, Tasmania		Australie	
1,0	choc	maintenance	4	Blessure	2006-01-01	Scroby Sands offshore wind farm	mer	R.-U.	mars-04
1,0	effort physique	maintenance	2	Blessure	2006-01-01	Scroby Sands offshore wind farm	mer	R.-U.	mars-04
1,0	feu	maintenance	1	Blessure	2006-01-01	Scroby Sands offshore wind farm	mer	R.-U.	mars-04
0,5	NSP	maintenance	4	Blessure	2006-01-01	Kentish Flats offshore wind farm	mer	R.-U.	oct-05
1,0	pièce en mouvement	maintenance	1	Blessure	2006-01-01	Scroby Sands offshore wind farm	mer	R.-U.	mars-04
1,0	pièce en mouvement	maintenance	1	Décès	2006-01-10	Bording and Karup		Danemark	
1,0	chute objet	maintenance	1	Divers	2006-01-16	Locust Ridge I Wind Farm, Pennsylvania	terre	États-Unis	
1,0	routier	construction	1	Décès	2006-01-23	Port Burwell, Ontario		Canada	
1,0	NSP	maintenance	1	Blessure	2006-02-18	Buchbrunn, Würzburg, Bavaria		Allemagne	
0,5	NSP	maintenance	1	Blessure	2006-06-01	North Hoyle offshore wind farm	mer	R.-U.	déc-03
1,0	routier	construction	1	Transport	2006-08-24	Portland, Oregon	terre	États-Unis	
1,0	pièce en mouvement	construction	1	Blessure	2006-08-25	Beatrice Oil Field, Highlands, Scotland		R.-U.	
1,0	NSP	maintenance	1	Décès	2006-10-22	Gemeinde Schlangen in Kreis Lippe, North Rhine/Westphalia		Allemagne	
1,0	électrique	maintenance	1	Blessure	2006-11-27	Scroby Sands, Norfolk, England		R.-U.	
1,0	routier	construction	1	Décès	2006-12-13	Falls Township, Bucks County, PA	terre	États-Unis	
1,0	choc	construction	1	Blessure	2006-12-19	Johnstown, Cambria County, PA		États-Unis	
1,0	choc	maintenance	4	Blessure	2007-01-01	North Hoyle offshore wind farm	mer	R.-U.	déc-03

Certitude	Nature de l'accident	Nature de la tâche	Nombre de travailleurs impliqués	Type d'accident	Date	Nom du parc	Localisation	Pays	Année de construction du parc
1,0	choc	maintenance	1	Blessure	2007-01-01	Scroby Sands offshore wind farm	mer	R.-U.	mars-04
1,0	choc	maintenance	1	Blessure	2007-01-01	Scroby Sands offshore wind farm	mer	R.-U.	mars-04
1,0	chute objet	maintenance	1	Blessure	2007-01-01	Kentish Flats offshore wind farm	mer	R.-U.	oct-05
1,0	effort physique	maintenance	2	Blessure	2007-01-01	Scroby Sands offshore wind farm	mer	R.-U.	mars-04
1,0	pièce en mouvement	maintenance	1	Blessure	2007-01-01	Kentish Flats offshore wind farm	mer	R.-U.	oct-05
1,0	effort physique	maintenance	1	Blessure	2007-02-14	Barrow offshore wind farm	mer	R.-U.	juil-06
1,0	chute objet	transport	1	Blessure	2007-02-23	Unspecified port, Texas	terre	États-Unis	
1,0	électrique	NSP	1	Blessure	2007-02-25	Lake Bonney wind farm, Tantanoola, South East Australie	terre	Australie	
1,0	choc	construction	1	Blessure	2007-05-15	Dalswinton, Dumfries and Galloway, Scotland		R.-U.	
1,0	chute	construction	1	Décès	2007-05-22	Earlsburn windfarm, Stirling, Scotland		R.-U.	
0,5	chute	maintenance	1	Blessure	2007-05-23	Barrow offshore wind farm	mer	R.-U.	juil-06
1,0	pièce en mouvement	maintenance	1	Blessure	2007-07-03	Oasis, Mojave, CA	terre	États-Unis	2004
0,5	chute grue	maintenance	1	Blessure	2007-07-30	Noordzeewind, IJmuiden, near Amsterdam	mer	Pays-Bas	2006
1,0	chute	maintenance	1	Décès	2007-08-25	Klondike III Wind Project, Wasco, Oregon	terre	États-Unis	2007
1,0	chute	maintenance	1	Blessure	2007-08-25	Klondike III Wind Project, Wasco, Oregon	terre	États-Unis	2007
1,0	mer	construction	38	Divers	2007-09-16	Robin Rigg off-shore wind farm, Solway Firth, Dumfries & Galloway, Scotland	mer	R.-U.	2010
1,0	choc	maintenance	1	Blessure	2007-09-18	Barrow offshore wind farm	mer	R.-U.	juil-06
1,0	routier	transport	1	Transport	2007-09-19	A87 Kyle to Portree road, Skye, Highland, Scotland	terre	R.-U.	
1,0	chute objet	maintenance	1	Blessure	2007-09-26	Barrow offshore wind farm	mer	R.-U.	juil-06
1,0	routier	transport	1	Transport	2007-10-15	Texas	terre	États-Unis	
1,0	routier	construction	1	Transport	2007-10-16	Ashurst		Nouvelle-Zélande	
0,5	pièce en mouvement	maintenance	1	Blessure	2007-10-22	Barrow offshore wind farm	mer	R.-U.	juil-06
1,0	routier	construction	1	Transport	2007-11-07	Lincoln County, Kansas		États-Unis	
1,0	chute	maintenance	1	Blessure	2007-11-11	Oasis (2004) ou Difwind VIII (1999) ou Difwind VI (1999), Mojave, CA	terre	États-Unis	
1,0	effort physique	maintenance	1	Blessure	2007-12-21	Barrow offshore wind farm	mer	R.-U.	juil-06
1,0	feu	maintenance	1	Blessure	2008-01-01	Kentish Flats offshore wind farm	mer	R.-U.	
1,0	pièce en mouvement	maintenance	1	Blessure	2008-01-01	Kentish Flats offshore wind farm	mer	R.-U.	oct-05
1,0	feu	maintenance	1	Feu	2008-01-15	Mount Storm, West Virginia	terre	États-Unis	2008
1,0	électrique	maintenance	1	Blessure	2008-01-21	Scroby Sands offshore wind farm	mer	R.-U.	mars-04
1,0	mer	maintenance	23	Transport	2008-01-31	Barrow offshore wind farm	mer	R.-U.	juil-06

Certitude	Nature de l'accident	Nature de la tâche	Nombre de travailleurs impliqués	Type d'accident	Date	Nom du parc	Localisation	Pays	Année de construction du parc
1,0	électrique	maintenance	1	Blessure	2008-02-09	Buffalo Gap (supposé), Taylor County, Texas	terre	États-Unis	2005
1,0	choc	maintenance	2	Blessure	2008-02-21	Barrow offshore wind farm	mer	R.-U.	juil-06
1,0	chute	construction	1	Blessure	2008-03-03	Edom Hills Wind Park, Cathedral City, California	terre	États-Unis	2008
1,0	chute grue	construction	1	Divers	2008-03-03	Growind park, Eemshaven	terre	Pays-Bas	
1,0	chute	divers	1	Blessure	2008-03-06	Cathedral City, CA	terre	États-Unis	
0,5	routier	maintenance	1	Décès	2008-03-18	Cefn Croes, Wales	terre	R.-U.	juin-05
1,0	chute	maintenance	1	Divers	2008-03-26	Palm Springs, California	terre	États-Unis	
1,0	chute	maintenance	1	Blessure	2008-04-16	Abilene, Taylor County, Texas	terre	États-Unis	
1,0	mer	recherche	1	Décès	2008-05-12	Off US Delaware Coast	mer	États-Unis	
1,0	mer	recherche	1	Blessure	2008-05-12	Off US Delaware Coast	mer	États-Unis	
1,0	chute	recherche	2	Décès	2008-05-17	Jersey Atlantic Wind Farm, Atlantic City, NJ	mer	États-Unis	2005
1,0	chute	recherche	2	Blessure	2008-05-17	Jersey Atlantic Wind Farm, Atlantic City, NJ	mer	États-Unis	2005
1,0	chute	maintenance	1	Décès	2008-06-24	Osório wind farm		Brésil	
1,0	chute objet	construction	1	Blessure	2008-07-14	Brahamasagara		Inde	
1,0	pièce en mouvement	divers	1	Blessure	2008-07-15	Tehachapi, CA	terre	États-Unis	
0,5	électrique	maintenance	1	Blessure	2008-08-02	Silver Star wind farm, Eastland and Erath Counties, Texas		États-Unis	
1,0	routier	construction	1	Décès	2008-09-17	St. Cloud, Minnesota	terre	États-Unis	
1,0	explosion	construction	1	Blessure	2008-09-24	Parc Les Crêtes, La Tourlandry	terre	France	janv-09
1,0	choc	construction	1	Décès	2008-10-09	Barton Windmill Project, Worth County, Iowa		États-Unis	
1,0	chute objet	recherche	1	Décès	2008-11-09	Gulf Winds project, Kennedy County, Texas	terre	États-Unis	
1,0	mer	construction	10	Transport	2008-11-13	Rhyl Flats offshore wind, North Wales	mer	R.-U.	
1,0	chute grue	construction	1	Blessure	2008-11-23	Winnebago County, Minnesota		États-Unis	
0,5	pièce en mouvement	construction	1	Blessure	2008-11-23	Robin Rigg offshore windfarm, Solway Firth, Scotland	mer	R.-U.	2010
1,0	explosion	construction	3	Blessure	2008-12-01	Elkhorn Ridge, Bloomfield, Nebraska		États-Unis	
1,0	choc	construction	1	Décès	2008-12-17	Santa Clarita, Los Angeles, CA		États-Unis	
1,0	électrique	maintenance	1	Blessure	2008-12-17	Dexter, Mower County, MN	terre	États-Unis	
1,0	électrique	maintenance	2	Blessure	2009-01-26	Parc de Saint Simon, Clastres, Aisne	terre	France	avr-04
1,0	mer	construction	42	Divers	2009-01-30	Robin Rigg, Irish Sea	mer	R.-U.	
1,0	chute	construction	1	Blessure	2009-02-04	Pico de Meda wind farm, Galicia		Espagne	
1,0	NSP	construction	1	Décès	2009-02-04	Pico de Meda wind farm, Galicia		Espagne	
0,5	NSP	maintenance	1	Blessure	2009-04-15	Kern County, CA		États-Unis	
1,0	électrique	maintenance	1	Décès	2009-05-10	Sleeping Bear, Woodward, OK	terre	États-Unis	2008
1,0	routier	transport	1	Transport	2009-06-07	Kellog, Iowa	terre	États-Unis	
1,0	contaminant	construction	1	Décès	2009-07-21	Wind farm construction site, Pictou County		Canada	
1,0	routier	transport	2	Transport	2009-07-31	Oxford, Southern Nebraska		États-Unis	

Certitude	Nature de l'accident	Nature de la tâche	Nombre de travailleurs impliqués	Type d'accident	Date	Nom du parc	Localisation	Pays	Année de construction du parc
0,5	électrique	maintenance	4	Blessure	2009-08-15	Texas	terre	États-Unis	
1,0	NSP	maintenance	1	Décès	2009-09-16	Causewaymire wind farm, Caithness, Scotland		R.-U.	
1,0	chute grue	maintenance	1	Blessure	2009-09-22	Dutch Hill/Cohocton Wind Farm, Cohocton, New York	terre	États-Unis	2008
1,0	chute	construction	1	Blessure	2009-09-23	Gunfleet Sands, Clacton, North sea, England	mer	R.-U.	avr-10
1,0	électrique	maintenance	1	Blessure	2009-11-03	Murdochville, Mont-Copper	terre	Canada	juin-05
1,0	chute	maintenance	1	Blessure	2009-11-07	Winnebago I, Thompson ou Forst City, Iowa	terre	États-Unis	janv-08
1,0	choc	construction	1	Décès	2009-11-13	Greater Gabbard offshore wind farm, England	mer	R.-U.	janv-12
1,0	choc	construction	1	Blessure	2009-11-13	Greater Gabbard offshore wind farm, England	mer	R.-U.	janv-12
1,0	pièce en mouvement	maintenance	1	Blessure	2009-12-08	AeroTurbine, North Palm Springs, CA	terre	États-Unis	1989
1,0	NSP	maintenance	1	Décès	2010-02-17	Derrybrien, south Galway	terre	Irlande	oct-05
1,0	chute	divers	1	Blessure	2010-02-18		terre	CA, USA	
1,0	chute objet	construction	1	Divers	2010-03-08	Hennickendorf, Brandenburg	terre	Allemagne	
1,0	électrique	maintenance	3	Blessure	2010-04-18	Campo Inden Reservation turbines, California	terre	États-Unis	2005
1,0	NSP	maintenance	1	Décès	2010-04-20	Toufflers	terre	France	déc-93
1,0	chute objet	construction	1	Décès	2010-05-21	Greater Gabbard offshore wind farm	mer	R.-U.	été 2009
1,0	chute objet	construction	1	Blessure	2010-05-21	Greater Gabbard offshore wind farm	mer	R.-U.	été 2009
1,0	chute grue	maintenance	1	Blessure	2010-06-20	Port Alma, Merlin, Ontario	terre	Canada	nov-08
1,0	chute objet	construction	2	Divers	2010-08-01	Walney offshore wind farm, England	mer	R.-U.	2011
1,0	routier	transport	1	Transport	2010-09-06	Baileyville Wind Farm, Forreton, Ogle County, IL	terre	États-Unis	déc-10
0,5	électrique	construction	1	Blessure	2010-10-01	Cayuga Ridge, Ill.	terre	États-Unis	2010
1,0	routier	construction	1	Décès	2010-10-12	Wind turbine construction site near Kimball, SD	terre	États-Unis	sept-10
1,0	chute objet	maintenance	1	Divers	2010-10-21	Le Grand Camp	terre	France	
1,0	routier	transport	1	Transport	2010-10-22	Barhill, Ayrshire, Scotland	terre	R.-U.	
1,0	routier	transport	1	Transport	2010-12-07	Sheffield wind park, VT	terre	États-Unis	déc-10
1,0	routier	transport	1	Transport	2010-12-09	Te R.-U.u, near Raglan	terre	Nouvelle-Zélande	janv-11
1,0	chute	maintenance	1	Blessure	2010-12-16	Parc à Pouille-les-Coteaux (Beauséjour ou Mésanger II)	terre	France	

ANNEXE B : FICHE D'ACCIDENT OU D'INCIDENT

Partie 1A - Relevé d'accident ou d'incident

En favorisant un partage de l'information, l'objectif de cette banque de données est de mieux comprendre où et comment surviennent les principaux risques, afin que des mesures de prévention efficaces puissent être mises en place par l'industrie, les travailleurs et le secteur éolien en général.

Instructions pour remplir le formulaire: Utilisez les choix multiples qui apparaissent en posant votre souris sur les cases grises. Les diverses définitions sont précisées à la fin du présent formulaire.

Détails de l'événement

Date (jj/mm/aaaa) / /	Heure (HH:mm)	Survenu combien de temps après la prise de quart ?
Type: Sélectionner	Es ce que l'incident résulte de la chute d'une pièce de l'éolienne (ou pourrait) ?	Sélectionner
Gravité par type, selon le cas :	Accident ou Incident	Effets secondaires
	Sélectionner Sélectionner	Sélectionner
	<i>Si autre, précisez :</i>	
Type d'accident: Sélectionner	<i>Si autre, précisez ...</i>	

Gravité de l'événement

Sélectionnez le niveau de gravité de l'événement qui a causé des blessures et / ou des dommages en choisissant l'option dans la zone de liste déroulante sur la droite qui correspond à l'impact le plus grave qui en a résulté.

Impact	Nb. de personnes/type de blessure					Gravité des dommages	Impact (cocher)	Choisissez
	<i>Pr. soins</i>	<i>Faible interrupt</i>	<i>0-3jours</i>	<i>Majeur</i>	<i>Mortel</i>			
Faible	1 - 3	1	X	X	X	Tolérable		Sélectionner
Moyen	4 +	2 - 9	1	X	X	Temps d'arrêt – réparé durant le quart de travail		
Elevé	X	10 +	2 - 9	1	X	Temps d'arrêt – réparé/remplacé sur site		
Sévère	X	X	10 +	2 +	1	Irréparable sans démobiliser ou délais important ou avertir la population		

Détails du lieu de travail		
Lieu: Sélection terre-mer Sélectionner <i>Si autre, précisez...</i>	Phase de travail: Sélectionner <i>Si autre, précisez ...</i>	Type de travail: Sélectionner <i>Si autre, précisez ...</i>
Détails sur le travailleur et blessures		
Rôle de l'employé: Sélectionner		<i>Si autre, précisez...</i>
Profession: Sélectionner		<i>Si autre, précisez...</i>
Age (années) :		
Compétences:	Qualifications Sélectionner <i>Lister ou spécifier, si approprié ...</i>	Expérience dans ce milieu (nbre d'années approx.):

Description du déroulement de l'accident ou incident
Description de la situation.

Précisions optionnelles fournies sur base volontaire	
Les détails ci-dessous seront traités de façon confidentielle et ils ne pourront apparaître sur aucun rapport ni sur internet. Ils ne peuvent servir qu'à la recherche et répondent aux règles d'éthique énoncées par l'Université du Québec à Rimouski et l'IRSST.	
Nom :	
Poste:	Compagnie:
Email:	Tel:
Date où le document a été rempli (jj/mm/aaaa): / /	Etape du rapport: Sélectionner

ANNEXE C : RAPPORT D'OBSERVATION

Rapport d'observation – Projet de recherche IRSST-UQAR

DATE : 16 Décembre 2009

LIEU :

Montagne de Rivière-au-Renard

Chantier de construction des 2 éoliennes Repower²² 2,5 MW pour le TCE, Rivière-au-Renard, Gaspésie



Observations et rapport :

Anthony Lajus et Jean-Louis Chaumel

ETAT D'AVANCEMENT A DATE

1 éolienne complétée

1 éolienne en cours de montage

OBSERVATIONS

Conditions hivernales de travail (vent, neige, froid)

Nombreuses entreprises travaillant simultanément sur le site

- Repower (fabricant éolienne, 2 pers.)
- Borea (constr. générale, 10 pers. environ)
- Groupe Ohmega (électricité, 14 per. environ)
- KR Wind (grutage et supervision, 3 pers.)
- RES (supervision implantation, 3 pers. environ)
- Hydro-Québec (2 pers.)
- Fibre Opt. (2 pers.)

Langue de travail : anglais surtout.

Réunions de chantier : le matin à 7h et le soir à 16h

Principaux risques observables : accidents liés à manutention charges lourdes, erreurs de communications.

Impact conditions météo : travail plus lent. Nombreux équipements de réchauffage parsemés sur site. Limite maximale de vitesse de vent pré-déterminée, décision de

²² Selon un communiqué émis en janvier 2014, l'entreprise REpower Systems SE s'appelle désormais Senvion.

suspension des travaux par la grue principale.

Plans de prévention en vigueur:

- Le plan de RES (chargé implantation) s'impose à tous les autres s'ils ont des normes inférieures.
- RES supervise la sécurité (accès au site)
- Gros document détaillant toutes les procédures de travail (semble peu consulté)
- Le chantier (comme chaque chantier, selon RES) dispose d'un plan spécifique de prévention (quelques pages).

Comportement des travailleurs sur site :

Équipement individuel de sécurité porté par tous.

Plusieurs travaillent sous les flèches de grue en opération.

CADENASSAGE

La mise en tension initiale de l'éolienne s'effectue toujours par un groupe de 3 :

- Hydro-Québec
- Ingénieur électrique de RES
- Repower (fabricant)

Il est rarissime que l'éolienne soit dé-énergisée par la suite. Les vérifications et tests nécessitent des arrêts et démarrages de divers systèmes et on isole électriquement les sections concernées (système de consignation par clés conditionnelles).

PHOTOS





KR Wind Safety Rules

- Correct positioning**
 - Check the documentation for ground bearing pressure.
 - Assess the ground bearing pressure.
 - Position all cranes on suitable mattresses or outrigger plates.**Assume responsibility and avoid accidents!**
- Correct lifting**
 - Never overload the equipment.
 - Ensure to position the load correctly.**Use your common sense!**
- Correct rigging**
 - Check all lifting equipment prior to use.
 - Control wear and tear and avoid using lifting equipment over sharp edges or similar.**Use your profound knowledge!**
- Correct service and maintenance**
 - Protect the equipment.
 - Comply with and report all service and maintenance issues.**Think of your colleagues!**
- Correct safety equipment**
 - Use required safety equipment including personal protective equipment.
 - Follow all other regulations prevailing on site.**Focus on safety!**



