



Projet éolien Kronospan

Etude de dangers

design » shape » inspire

MAÎTRE D'OUVRAGE

BUREAU D'ETUDES



Kronospan Energy S.A.

ZI Gadderscheier|
L-4984 SANEM
Tél. : (+352) 30 57 99-1

LSC360

4, rue Albert Simon
L-5315 Contern
Tél. : +352 26 390-1

N° de référenceLSC-N°20241501-QSE-Etude de dangers éolienne

CheminP:\LSC360\2024\20241501_ENV-QSE_CI_Windkraft\C_Documents\01_Commodo

Suivi/Assurance qualité	Nom et qualité	Date
Rédigé par	Julien POLYNICE Tél. : 30 61 61-1	15/06/2025
Vérifié par	Jérôme Manente / Coordinateur de service Expertises Tél. :30 61 61-1	01/07/2025

Résumé et modifications

Indice	Description	Date
01	Création du document	15/06/2025

SOMMAIRE

1	CONTEXTE RÉGLEMENTAIRE	5
1.1	Réglementation française	6
1.2	Réglementation luxembourgeoise	9
2	PRÉAMBULE	10
2.1	Objectif de l'étude de dangers	11
2.2	Contexte législatif et réglementaire	11
2.3	Nomenclature des installations classés	12
3	INFORMATIONS GÉNÉRALES CONCERNANT L'INSTALLATION	13
3.1	Renseignement administratifs	14
3.2	Localisation du site	14
3.3	Définition de l'aire d'étude	15
4	DESCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT DE L'INSTALLATION	17
4.1	Environnement humain	18
4.1.1	Zones urbanisées	18
4.1.2	Etablissement recevant du public (ERP)	24
4.1.3	Installations classées pour la protection de l'environnement et installations nucléaires de base	24
4.1.4	Autre activité	24
4.2	Environnement naturel	26
4.2.1	Contexte climatique	26
4.2.2	Risques naturels	28
4.3	Environnement matériel	30
4.3.1	Voies de communication	30
4.3.2	Réseaux publics et privés	32
4.3.3	Autres ouvrages publics	33
4.4	Cartographie de synthèse	34
5	DESCRIPTION DE L'INSTALLATION	35
5.1	Caractéristiques de l'installation	36
5.1.1	Caractéristiques générales d'un parc éolien	36
5.1.2	Activité de l'installation	38
5.1.3	Composition de l'installation	38

5.2	Fonctionnement de l'installation	40
5.2.1	Principe de fonctionnement d'un aérogénérateur	40
5.2.2	Sécurité de l'installation	41
5.2.3	Opération de maintenance de l'installation	41
5.2.4	Stockage et flux de produits dangereux	42
5.3	Fonctionnement des réseaux de l'installation	43
5.3.1	Raccordement électrique	43
5.3.2	Autres réseaux	44
6	IDENTIFICATION DES POTENTIELS DE DANGERS DE L'INSTALLATION	45
6.1	Potentils de dangers liés aux produits	46
6.2	Potentils de dangers liés au fonctionnement de l'installation	46
6.3	Réduction des potentiels de dangers à la source	47
6.3.1	Principales actions préventives	47
6.3.2	Utilisation des meilleures techniques disponibles	47
7	ANALYSE DES RETOURS D'EXPÉRIENCE	48
7.1	Inventaire des accidents et incidents en France	49
7.2	Inventaire des accidents et incidents à l'international	50
7.3	Inventaire des accidents majeurs survenus sur les sites de l'exploitant	52
7.4	Synthèse des phénomènes dangereux redoutés issus du retour d'expérience	52
7.4.1	Analyse de l'évolution des accidents en France	52
7.4.2	Analyse des typologies d'accidents les plus fréquents	53
7.4.3	Limites d'utilisation de l'accidentologie	53
8	ANALYSE DES RETOURS D'EXPÉRIENCE	54
8.1	Objectif de l'analyse préliminaire des risques	55
8.2	Recensement des événements initiateurs exclus de l'analyse des risques	55
8.3	Recensement des agressions externes potentielles	55
8.3.1	Agressions externes liées aux phénomènes naturels	56
8.3.2	Agressions externes liées aux phénomènes naturels	56
8.4	Scénarios étudiés dans l'analyse préliminaire des risques	57
8.5	Effets dominos	61
8.6	Mise en place des mesures de sécurité	62
8.7	Conclusion de l'analyse préliminaire des dangers	70
9	ETUDE DÉTAILLÉE DES RISQUES	72
9.1	Rappels des définitions	73
9.1.1	Cinétique	73
9.1.2	Intensité	73
9.1.3	Gravité	75

9.1.4	Probabilité	75
9.2	Caractérisation des scénarios retenus	77
9.2.1	Effondrement de l'éolienne	77
9.2.2	Chute de glace	80
9.2.3	Chute d'éléments de l'éolienne	82
9.2.4	Projection de pales ou de fragments de pales	84
9.2.5	Projection de glace	86
9.3	Synthèse de l'étude détaillée des risques	89
9.3.1	Tableaux de synthèse des scénarios étudiés	89
9.3.2	Synthèse de l'acceptabilité des danger	90
9.3.3	Cartographie des risques	90
10	CONCLUSION	95

1 CONTEXTE REGLEMENTAIRE

1.1 Réglementation française

Application du régime des installations classées aux parcs éoliens

En application de la loi n°2010-788 du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement, dite loi Grenelle II, les éoliennes sont désormais soumises au régime des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE).

En effet, l'article 90 de ladite loi précise que « les installations terrestres de production d'électricité utilisant l'énergie mécanique du vent constituant des unités de production telles que définies au 3° de l'article 10 de la loi n°2000-108 du 10 février 2000 relative à la modernisation et au développement du service public de l'électricité, et dont la hauteur des mâts dépasse 50 mètres sont soumises à autorisation au titre de l'article L. 511-2, au plus tard un an à compter de la date de publication de la loi n°2010-788 du 12 juillet 2010 précitée. »

Le décret n°2011-984 du 23 août 2011, modifiant l'article R. 511-9 du Code de l'environnement, crée la rubrique 2980 pour les installations de production d'électricité à partir de l'énergie mécanique du vent et regroupant un ou plusieurs aérogénérateurs. Il prévoit deux régimes d'installations classées pour les parcs éoliens terrestres :

- Le régime d'autorisation pour les installations comprenant au moins une éolienne dont le mât a une hauteur supérieure ou égale à 50 m et pour les installations comprenant uniquement des éoliennes dont le mât a une hauteur comprise entre 12 et 50 m et dont la puissance totale est supérieure ou égale à 20 MW
- Le régime de déclaration pour les installations comprenant uniquement des éoliennes dont le mât a une hauteur comprise entre 12 et 50 m et dont la puissance totale est inférieure à 20 MW.

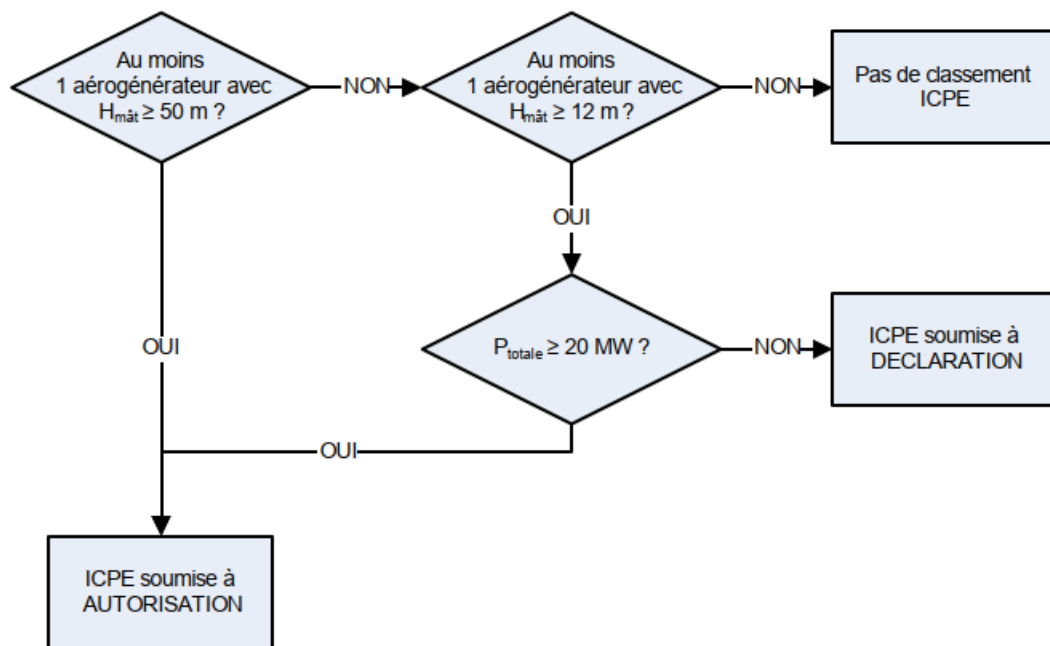


Figure 1 - Logigramme réglementaire française

La réglementation prévoit que, dans le cadre d'une demande d'autorisation d'exploiter, l'exploitant doit réaliser une étude de dangers.

Enfin, l'arrêté du 26 août 2011 relatif aux installations de production d'électricité utilisant l'énergie mécanique du vent au sein d'une installation soumise à autorisation au titre de la rubrique 2980 de la législation des installations classées pour la protection de l'environnement prévoit un certain nombre de dispositions par rapport à l'implantation, la construction, l'exploitation et la prévention des risques. Ces prescriptions nationales sont applicables à tous les nouveaux parcs éoliens et, pour partie, aux installations existantes. Elles devront être prises en compte dans le cadre de l'étude de dangers.

Réglementation relative à l'étude de dangers

Selon l'article L. 512-1 du Code de l'environnement, l'étude de dangers expose les risques que peut présenter l'installation pour les intérêts visés à l'article L. 511-1 en cas d'accident, que la cause soit interne ou externe à l'installation. Les impacts de l'installation sur ces intérêts en fonctionnement normal sont traités dans l'étude d'impact sur l'environnement.

Article L. 512-1 du Code de l'environnement :

Sont soumises à autorisation préfectorale les installations qui présentent de graves dangers ou inconvénients pour les intérêts visés à l'article L. 511-1.

L'autorisation ne peut être accordée que si ces dangers ou inconvénients peuvent être prévenus par des mesures que spécifie l'arrêté préfectoral.

Le demandeur fournit une étude de dangers qui précise les risques auxquels l'installation peut exposer, directement ou indirectement, les intérêts visés à l'article L. 511-1 en cas d'accident, que la cause soit interne ou externe à l'installation.

Le contenu de l'étude de dangers doit être en relation avec l'importance des risques engendrés par l'installation. En tant que de besoin, cette étude donne lieu à une analyse de risques qui prend en compte la probabilité d'occurrence, la cinétique et la gravité des accidents potentiels selon une méthodologie qu'elle explicite.

Elle définit et justifie les mesures propres à réduire la probabilité et les effets de ces accidents.

La délivrance de l'autorisation, pour ces installations, peut être subordonnée notamment à leur éloignement des habitations, immeubles habituellement occupés par des tiers, établissements recevant du public, cours d'eau, voies de communication, captages d'eau, ou des zones destinées à l'habitation par des documents d'urbanisme opposables aux tiers. Elle prend en compte les capacités techniques et financières dont dispose le demandeur, à même de lui permettre de conduire son projet dans le respect des intérêts visés à l'article L. 511-1 et d'être en mesure de satisfaire aux obligations de l'article L. 512-6-1 lors de la cessation d'activité.

Les intérêts visés à l'article L. 511-1 sont la commodité du voisinage, la santé, la sécurité, la salubrité publiques, l'agriculture, la protection de la nature, de l'environnement et des paysages, l'utilisation rationnelle de l'énergie, la conservation des sites et des monuments ainsi que des éléments du patrimoine archéologique. Cependant, il convient de noter que l'arrêté du 29 septembre 2005 relatif à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des installations classées soumises à autorisation [10] impose une évaluation des accidents majeurs sur les personnes uniquement et non sur la totalité des enjeux identifiés dans l'article L. 511-1. En cohérence avec cette réglementation et dans le but d'adopter une démarche proportionnée, l'évaluation des accidents majeurs dans l'étude de dangers s'intéressera prioritairement aux dommages sur les personnes. Pour les parcs éoliens, les atteintes à l'environnement (notamment le paysage), l'impact sur le fonctionnement des radars et les problématiques liées à la circulation aérienne feront l'objet d'une évaluation détaillée au sein de l'étude d'impact.

Ainsi, l'étude de dangers a donc pour objectif de démontrer la maîtrise du risque par l'exploitant. Elle comporte une analyse des risques qui présente les différents scénarios d'accidents majeurs susceptibles d'intervenir. Ces

scénarios sont caractérisés en fonction de leur probabilité d'occurrence, de leur cinétique, de leur intensité et de la gravité des accidents potentiels. Elle justifie que le projet permet d'atteindre, dans des conditions économiquement acceptables, un niveau de risque aussi bas que possible, compte tenu de l'état des connaissances et des pratiques et de la vulnérabilité de l'environnement de l'installation.

Selon le principe de proportionnalité, le contenu de l'étude de dangers doit être en relation avec l'importance des risques engendrés par l'installation, compte tenu de son environnement et de sa vulnérabilité. Ce contenu est défini par l'article R. 512-9 du Code de l'environnement.

Article R. 512-9 du Code de l'environnement :

I. - L'étude de dangers mentionnée à l'article R. 512-6 justifie que le projet permet d'atteindre, dans des conditions économiquement acceptables, un niveau de risque aussi bas que possible, compte tenu de l'état des connaissances et des pratiques et de la vulnérabilité de l'environnement de l'installation.

Le contenu de l'étude de dangers doit être en relation avec l'importance des risques engendrés par l'installation, compte tenu de son environnement et de la vulnérabilité des intérêts mentionnés aux articles L. 211-1 et L. 511-1.

II. - Cette étude précise, notamment, la nature et l'organisation des moyens de secours dont le demandeur dispose ou dont il s'est assuré le concours en vue de combattre les effets d'un éventuel sinistre. Dans le cas des installations figurant sur la liste prévue à l'article L. 515-81, le demandeur doit fournir les éléments indispensables pour l'élaboration par les autorités publiques d'un plan particulier d'intervention.

L'étude comporte, notamment, un résumé non technique explicitant la probabilité, la cinétique et les zones d'effets des accidents potentiels, ainsi qu'une cartographie des zones de risques significatifs.

Le ministre chargé des installations classées peut préciser les critères techniques et méthodologiques à prendre en compte pour l'établissement des études de dangers, par arrêté pris dans les formes prévues à l'article L. 512-5. Pour certaines catégories d'installations impliquant l'utilisation, la fabrication ou le stockage de substances dangereuses, le ministre chargé des installations classées peut préciser, par arrêté pris sur le fondement de l'article L. 512-5, le contenu de l'étude de dangers portant, notamment, sur les mesures d'organisation et de gestion propres à réduire la probabilité et les effets d'un accident majeur.

III. - Dans le cas des installations figurant sur la liste prévue à l'article L. 515-8, l'étude de dangers est réexaminée et, si nécessaire, mise à jour au moins tous les cinq ans, sans préjudice de l'application des dispositions de l'article R. 512-31. Cette étude, mise à jour, est transmise au préfet.

Enfin, d'autres textes législatifs et réglementaires, concernant les installations classées soumises à autorisation, s'appliquent aux études de dangers, notamment en ce qui concerne les objectifs et la méthodologie à mettre en œuvre :

- **Loi n°2003-699 du 30 juillet 2003** relative à la prévention des risques technologiques et naturels et à la réparation des dommages
- **Décret n°2005-1170 du 13 septembre 2005** modifiant le décret n°77-1133 du 21 septembre 1977 pris pour application de la loi n°76-663 du 19 juillet 1976 relative aux installations classées pour la protection de l'environnement
- **Arrêté du 10 mai 2000** relatif à la prévention des accidents majeurs impliquant des substances ou des préparations dangereuses présentes dans certaines catégories d'installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation.
- **Arrêté du 29 septembre 2005** modifiant l'arrêté du 10 mai 2000 relatif à la prévention des accidents majeurs impliquant des substances ou des préparations dangereuses présentes dans certaines catégories d'installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation
- **Circulaire du 10 mai 2010** récapitulant les règles méthodologiques applicables aux études de dangers, à l'appréciation de la démarche de réduction du risque à la source et aux plans de prévention des risques technologiques (PPRT) dans les installations classées en application de la loi du 30 juillet 2003.
-

1.2 Réglementation luxembourgeoise

Au Luxembourg, le règlement grand-ducal du 10 mai 2012 portant nouvelles nomenclature et classification des établissements classés est d’application pour des éoliennes d’une puissance électrique supérieure à 100 kVA.

Le point de nomenclature n° 070108 des installations destinées à l’exploitation de l’énergie éolienne (pour la production d’énergie) s’applique dans ce cadre.

070108	Installations destinées à l'exploitation de l'énergie éolienne (pour la production d'énergie)					
	01 éoliennes d'une puissance électrique de plus de 100 kVA	1				
	02 parcs éoliens (à partir de 2 éoliennes d'une puissance totale de plus de 100 kVA)	1				

Figure 2 - Réglementation luxembourgeoise

Plus particulièrement le point 02 relatif à des parcs éoliens étant donné que le parc éolien comprend deux installations d’une puissance totale supérieure à 100 kVA.

De ce fait un dossier de demande d’autorisation suivant la loi du 10 juin 1999 relative aux établissements classés s’avèrent nécessaires. Dans le cadre de ce dossier de demande d’autorisation une étude de dangers est nécessaire. L’étude sera basée sur le guide technique « Elaboration de l’étude de dangers dans le cadre des parcs éoliens » de mai 2012 publié par l’INERIS France.

2 PREAMBULE

2.1 Objectif de l'étude de dangers

La présente étude de dangers a pour objet de rendre compte de l'examen effectué la société Kronospan Luxembourg S.A. pour caractériser, analyser, évaluer, prévenir et réduire les risques du parc éolien relatifs à deux installations d'éoliennes autant que technologiquement réalisable et économiquement acceptable, que leurs causes soient intrinsèques aux substances ou matières utilisées, liées aux procédés mis en œuvre ou dues à la proximité d'autres risques d'origine interne ou externe à l'installation.

Cette étude est proportionnée aux risques présentés par les éoliennes du parc de deux installations éoliennes. Le choix de la méthode d'analyse utilisée et la justification des mesures de prévention, de protection et d'intervention sont adaptés à la nature et la complexité des installations et de leurs risques.

Elle précise l'ensemble des mesures de maîtrise des risques mises en œuvre sur le parc éolien de Kronospan Luxembourg S.A. qui réduisent le risque à l'intérieur et à l'extérieur des éoliennes à un niveau jugé acceptable par l'exploitant.

Ainsi, cette étude permet une approche rationnelle et objective des risques encourus par les personnes ou l'environnement, en satisfaisant les principaux objectifs suivants :

- Améliorer la réflexion sur la sécurité à l'intérieur de l'entreprise afin de réduire les risques et optimiser la politique de prévention ;
- Favoriser le dialogue technique avec les autorités d'inspection pour la prise en compte des parades techniques et organisationnelles dans l'arrêté d'autorisation ;
- Informer le public dans la meilleure transparence possible en lui fournissant des éléments d'appréciation clairs sur les risques.

2.2 Contexte législatif et réglementaire

Les objectifs et le contenu de l'étude de dangers sont définis dans la partie du Code de l'environnement relative aux installations classées. Selon l'article L. 512-1, l'étude de dangers expose les risques que peut présenter l'installation pour les intérêts visés à l'article L. 511-1 en cas d'accident, que la cause soit interne ou externe à l'installation.

L'arrêté du 29 septembre 2005 relatif à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des installations classées soumises à autorisation [10] fournit un cadre méthodologique pour les évaluations des scénarios d'accident majeurs. Il impose une évaluation des accidents majeurs sur les personnes uniquement et non sur la totalité des enjeux identifiés dans l'article L. 511-1. En cohérence avec cette réglementation et dans le but d'adopter une démarche proportionnée, l'évaluation des accidents majeurs dans l'étude de dangers d'un parc d'aérogénérateurs s'intéressera prioritairement aux dommages sur les personnes. Pour les parcs éoliens, les atteintes à l'environnement, l'impact sur le fonctionnement des radars et les problématiques liées à la circulation aérienne feront l'objet d'une évaluation détaillée au sein de l'étude d'impact.

Ainsi, l'étude de dangers a pour objectif de démontrer la maîtrise du risque par l'exploitant. Elle comporte une analyse des risques qui présente les différents scénarios d'accidents majeurs susceptibles d'intervenir. Ces scénarios sont caractérisés en fonction de leur probabilité d'occurrence, de leur cinétique, de leur intensité et de la gravité des accidents potentiels. Elle justifie que le projet permet d'atteindre, dans des conditions économiquement acceptables, un niveau de risque aussi bas que possible, compte tenu de l'état des connaissances et des pratiques et de la vulnérabilité de l'environnement de l'installation.

Selon le principe de proportionnalité, le contenu de l'étude de dangers doit être en relation avec l'importance des risques engendrés par l'installation, compte tenu de son environnement et de sa vulnérabilité. Ce contenu est défini par l'article R. 512-9 du Code de l'environnement :

- Description de l'environnement et du voisinage
- Description des installations et de leur fonctionnement
- Identification et caractérisation des potentiels de danger
- Estimation des conséquences de la concrétisation des dangers
- Enseignements tirés du retour d'expérience (des accidents et incidents représentatifs)
- Analyse préliminaire des risques
- Étude détaillée de réduction des risques
- Quantification et hiérarchisation des différents scénarios en termes de gravité, de probabilité et de cinétique de développement en tenant compte de l'efficacité des mesures de prévention et de protection
- Représentation cartographique

De même, la circulaire du 10 mai 2010 récapitulant les règles méthodologiques applicables aux études de dangers, à l'appréciation de la démarche de réduction du risque à la source et aux plans de prévention des risques technologiques (PPRT) dans les installations classées en application de la loi du 30 juillet 2003 précise le contenu attendu de l'étude de dangers et apporte des éléments d'appréciation des dangers pour les installations classées soumises à autorisation.

2.3 Nomenclature des installations classées

Conformément au règlement grand-ducal du 10 mai 2012 portant sur les nouvelles nomenclatures et classification des établissements classés, les parcs éoliens sont soumis au point 070108 de la nomenclature des établissements classés :

N°	Libellé de l'établissement ou du projet	Classe	EtRi	E. Ind.	DECH	EAU
070107	Installations destinées à la production d'énergie hydroélectrique	«1A» ¹				x
070108	Installations destinées à l'exploitation de l'énergie éolienne (pour la production d'énergie) 01 éoliennes d'une puissance électrique de plus de 100 kVA	1				
	02 parcs éoliens (à partir de 2 éoliennes d'une puissance totale de plus de 100 kVA)	1				

Figure 3 - Réglementation luxembourgeoise

Le parc éolien de la société Kronospan Luxembourg S.A. comprend deux éoliennes d'une puissance totale de plus de 100 kVA. (6800 KVA chacune).

Cette installation est donc soumise à autorisation au titre des installations classées pour la protection de l'environnement de classe 1 et doit présenter une étude de dangers au sein de sa demande d'autorisation d'exploiter.

3 INFORMATIONS GENERALES CONCERNANT L'INSTALLATION

3.1 Renseignement administratif

Kronospan Luxembourg S.A. prévoit l'implantation de deux éoliennes dans le cadre de l'extension envisagée de son site d'exploitation dans la commune de Sanem. Cette extension se situera à l'est du site existant. L'objectif de la nouvelle installation est de produire de l'électricité renouvelable et de l'injecter dans le réseau existant, afin de contribuer à l'extension des sources d'électricité renouvelable du Luxembourg.

La société LSC360 est chargée de réaliser une étude de dangers pour ce cas de figure.

Les deux installations d'énergie éolienne seront implantées entre Sanem au nord-est, Soleuvre au sud-est, Differdange au sud-ouest et Niederkorn au nord-ouest. Ces deux éoliennes sont éloignées de 440 m l'une de l'autre et se trouvent à une distance d'environ 600 m de la route départementale 32 située au sud. L'autoroute A13 se situe au nord-est, à une distance d'environ 780 m.

La durée d'exploitation du parc éolien est désormais estimée à ≥ 25 ans. Le promoteur se base sur un rendement de 2202 heures de pleine charge par an avec une puissance nominale allant jusqu'à 6,8 MW par éolienne. La production annuelle d'électricité est estimée à 27.740 MWh/a par le promoteur.

3.2 Localisation du site

La surface du projet se situe dans la zone d'extension prévue du site d'exploitation de Kronospan Luxembourg S.A. et se raccorde directement à l'est au site d'exploitation existant. Selon le PAG de la commune de Sanem, l'emplacement de l'éolienne prévue se trouve dans les limites de la « Zone d'activités économiques nationale ».

La parcelle cadastrale 6/8962 dans la section B de Soleuvre, représentée dans la figure 8, est concernée par le projet (lieu-dit Gadderscheuer) (Source : Geoportail 2024).

Initialement, la parcelle concernée faisait partie de la décharge de déchets inertes de Differdange-Sanem, gérée par RECYSAN S.A. Après la fin de ces activités, la surface a été remblayée. Actuellement, il est prévu d'y agrandir la zone d'activités économiques (ZAE) Gadderscheier existante.

À l'ouest, la décharge industrielle d'Arcelor Mittal ainsi que l'usine de Differdange sont adjacentes. Au nord, à environ 500 m, se trouve une zone industrielle (mesurée à partir de l'éolienne la plus proche).



Figure 4 - Photos aériennes 2022 - Emplacement des deux éoliennes (en rouge) dans la zone de planification (Géoportail 2024)

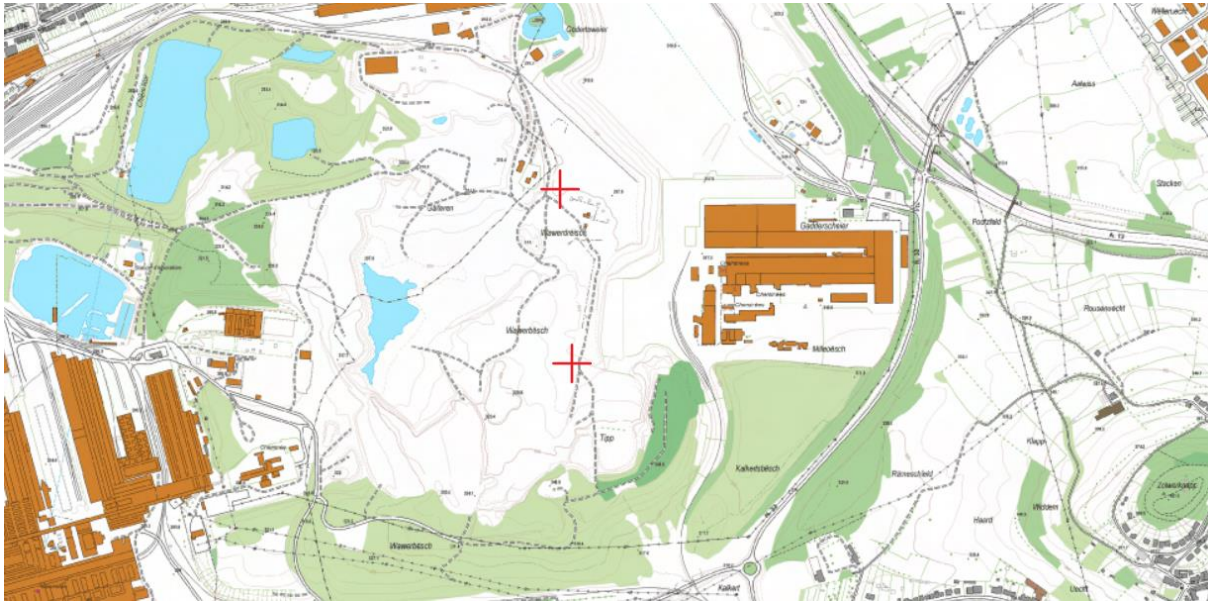


Figure 5 - Carte topographique (1:5000) emplacement des deux éoliennes (en rouge) dans la zone de planification (Géoportail 2024)

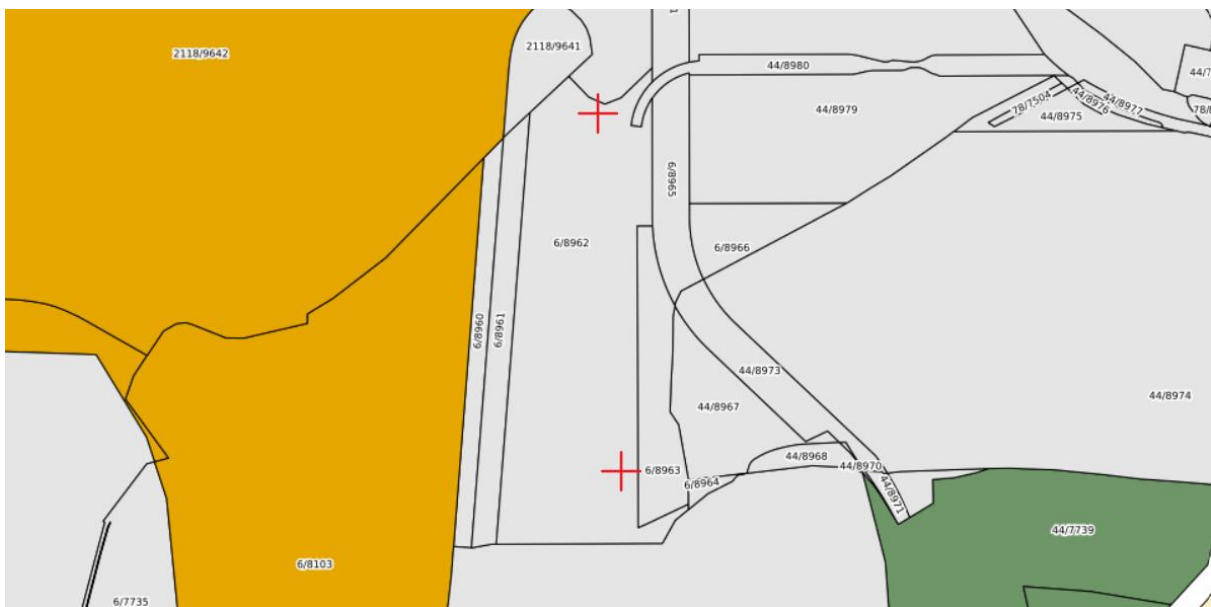


Figure 6 - Localisation des deux éoliennes (en rouge) sur plan cadastral. Voir en annexe (Géoportail 2024)

3.3 Définition de l'aire d'étude

Compte tenu des spécificités de l'organisation spatiale d'un parc éolien, composé de plusieurs éléments disjoints, la zone sur laquelle porte l'étude de dangers est constituée d'une aire d'étude par éolienne.

Chaque aire d'étude correspond à l'ensemble des points situés à une distance inférieure ou égale à 500 m à partir de l'emprise du mât de l'aérogénérateur. Cette distance équivaut à la distance d'effet retenue pour les phénomènes de projection, telle que définie au paragraphe IX.2.4.

La zone d'étude n'intègre pas les environs du poste de livraison, qui sera néanmoins représenté sur la carte. Les expertises réalisées dans le cadre de la présente étude ont en effet montré l'absence d'effet à l'extérieur du poste de livraison pour chacun des phénomènes dangereux potentiels pouvant l'affecter.

La zone de projet se trouve sur l'extension planifiée du site d'exploitation de Kronospan Luxembourg S.A. dans la commune de Sanem. Le terrain d'exploitation se trouve à environ 600 m au nord de la N32 et à environ 780 m à l'ouest de l'A13 (cf.7).

Pour l'accès au parc éolien projeté à partir de la N14 (WEA 1 et WEA 3), deux options sont actuellement ouvertes (cf. Fig. 1). La planification finale sera effectuée par le fabricant de l'éolienne. L'accès à l'éolienne 2 par le C.R.356 se fera depuis le nord, car l'angle d'entrée depuis le sud serait trop aigu pour le transport des composants, notamment les pales.

Étant donné que l'emplacement prévu se trouve sur un terrain à exploitation industrielle, il n'est pas nécessaire de procéder à des préparatifs considérables pour le transport des composants de l'éolienne. Les fondations, quant à elles, seront adaptées à la situation du terrain existant (remblayage du terrain).

Lors de la phase de chantier, il faut s'attendre à une augmentation du trafic des poids lourds pour le transport et des engins de chantier. Ce trafic ne sera toutefois que temporaire.

Durant la phase d'exploitation ultérieure, on ne s'attend qu'à une circulation occasionnelle à des fins de maintenance.

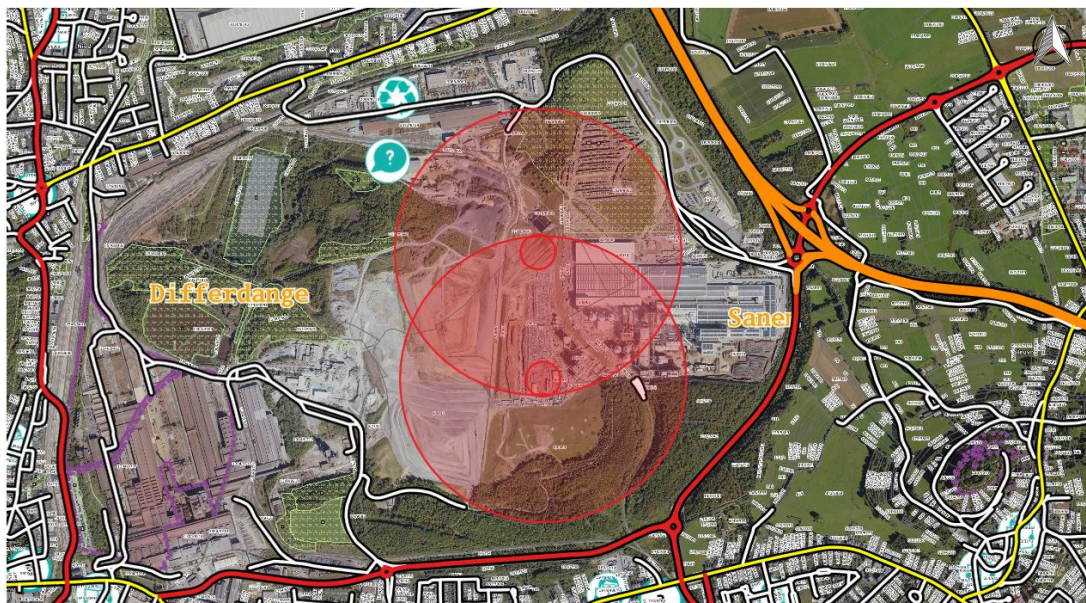


Figure 7 - Etude de la zone d'impact des éoliennes

4 DESCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT DE L'INSTALLATION

Ce chapitre a pour objectif de décrire l'environnement dans la zone d'étude de l'installation, afin d'identifier les principaux intérêts à protéger (enjeux) et les facteurs de risque que peut représenter l'environnement vis-à-vis de l'installation (agresseurs potentiels).

4.1 Environnement humain

4.1.1 Zones urbanisées

Heading 4

L'étude de danger évalue les populations situées dans la zone sur laquelle porte l'étude ou à proximité. Ici, les distances minimales par rapport aux bâtiments en fonction de chaque point cardinal ont été prises en compte.

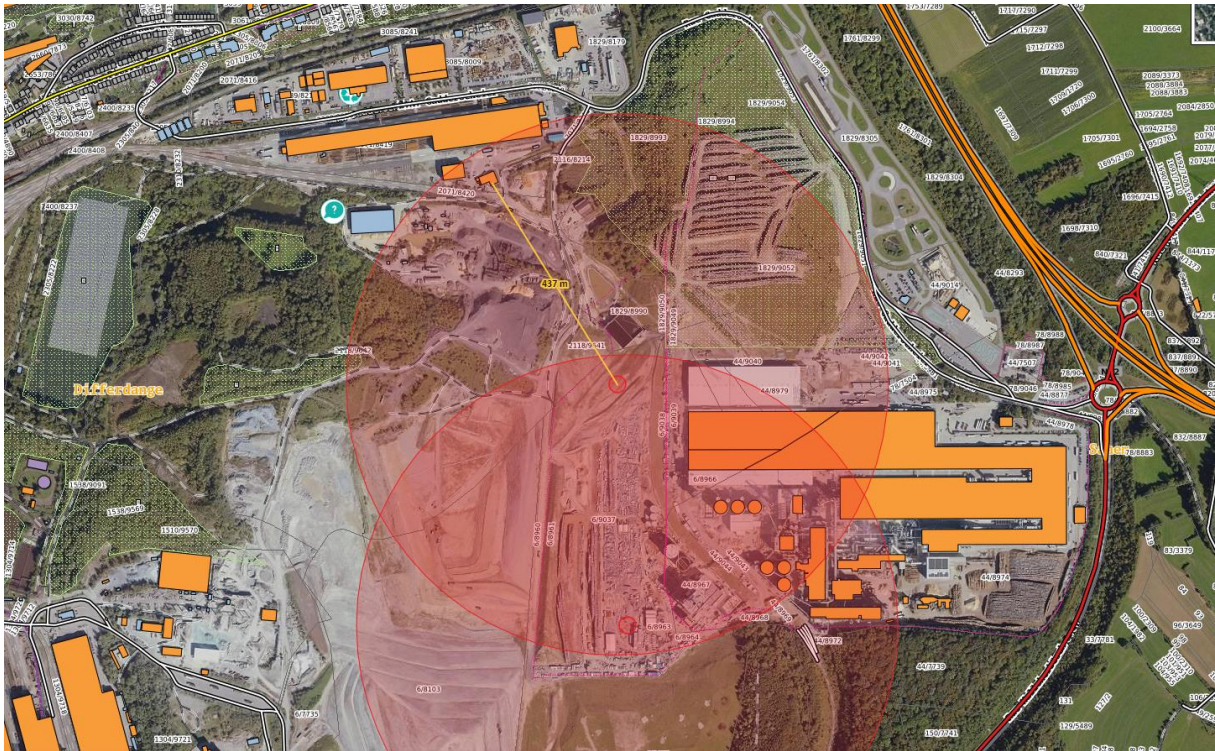


Figure 8 -Distance avec les habitations aux alentours

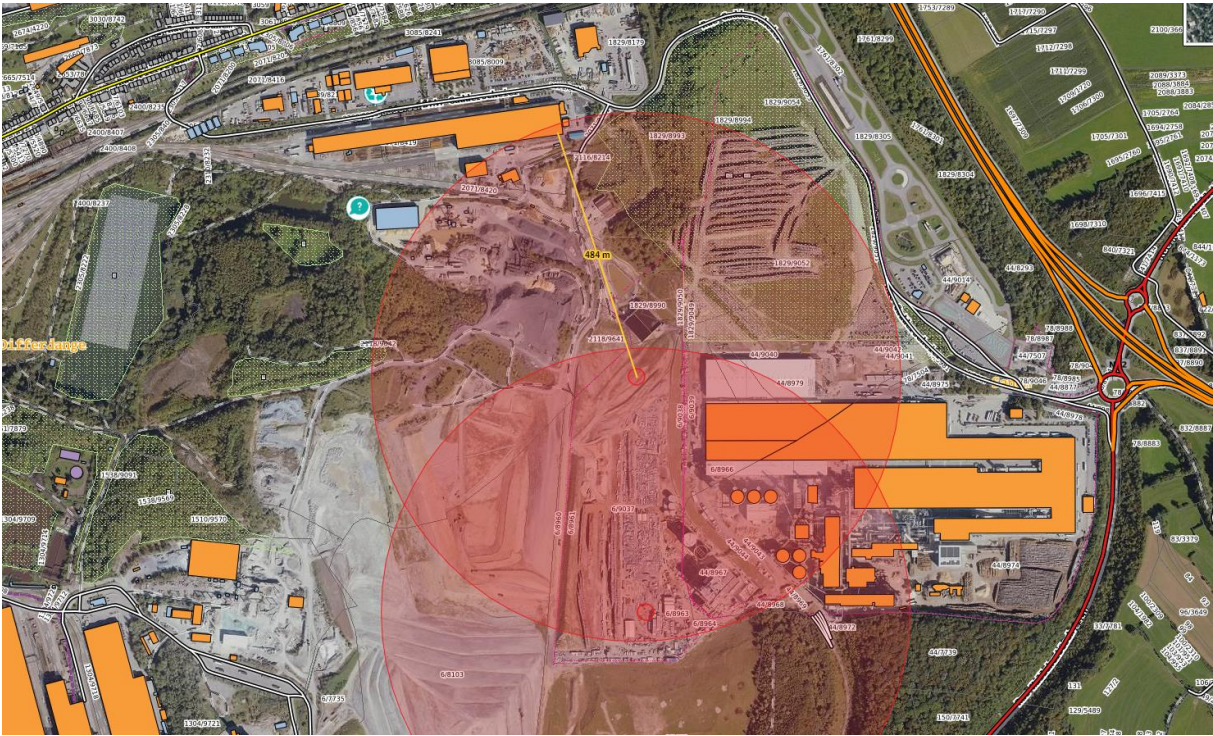


Figure 9 - Distance avec les habitations aux alentours

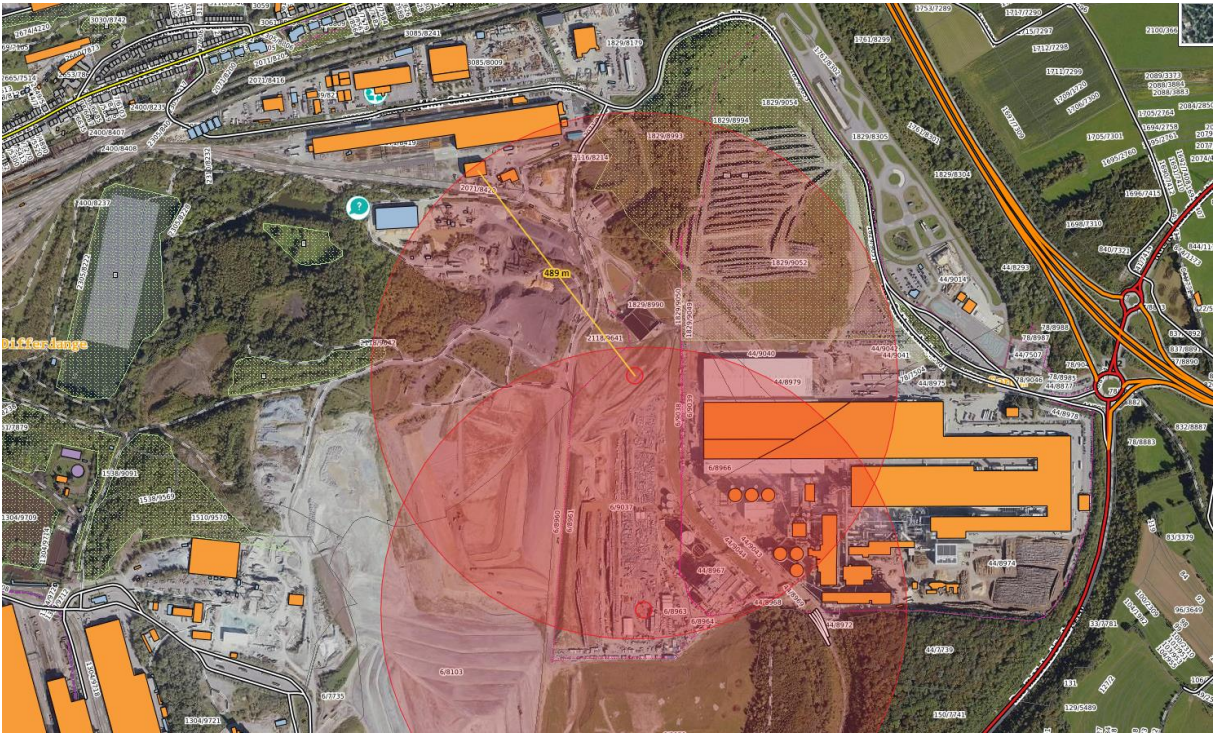


Figure 10 - Distance avec les habitations aux alentours

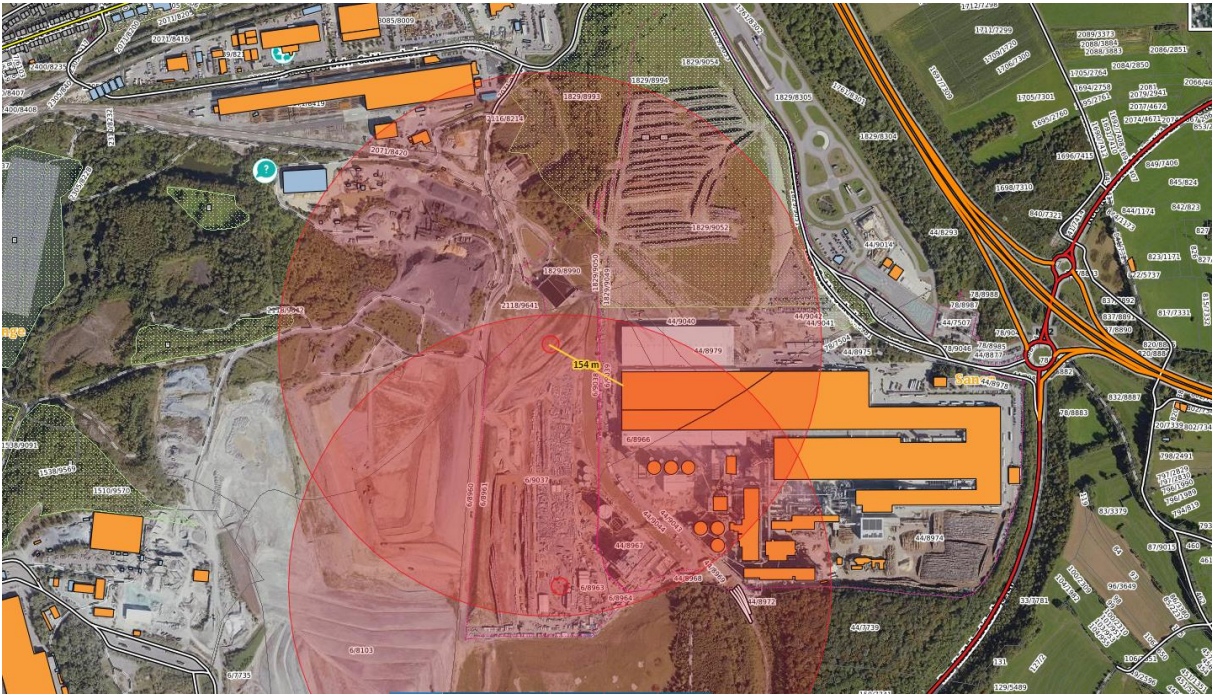


Figure 11 - Distance avec les habitations aux alentours



Figure 12 - Distance avec les habitations aux alentours

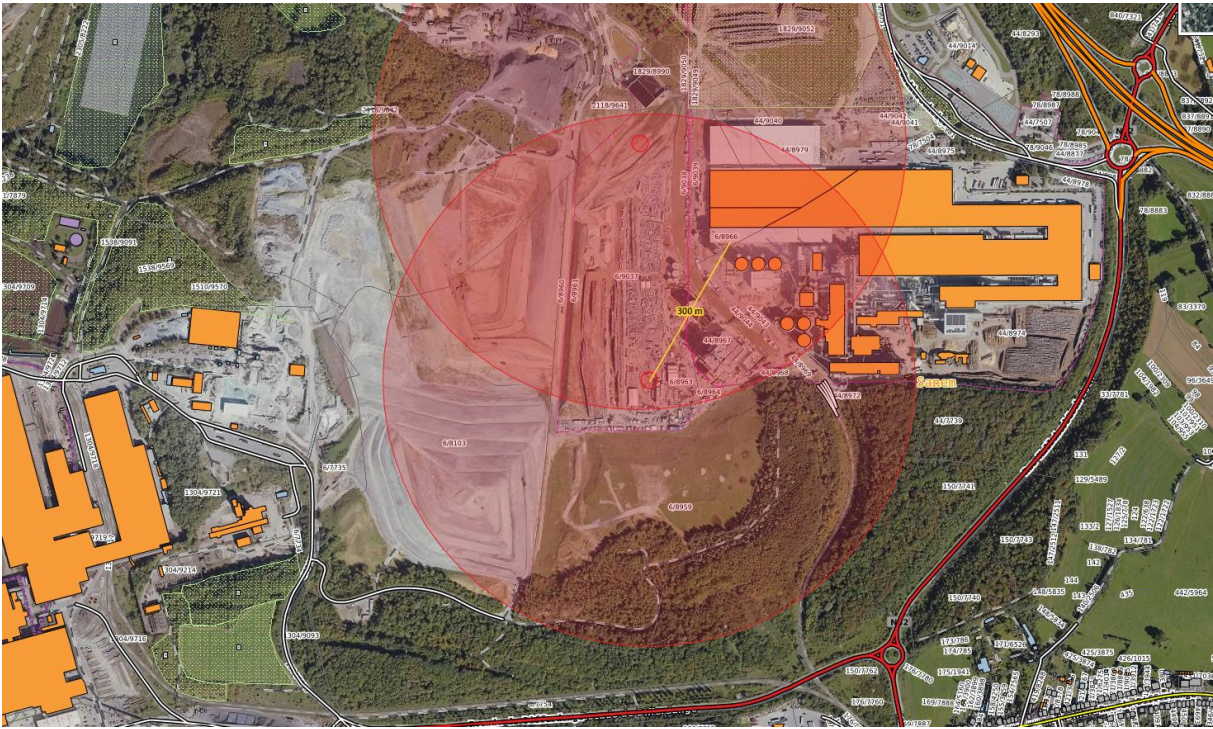


Figure 13 - Distance avec les habitations aux alentours

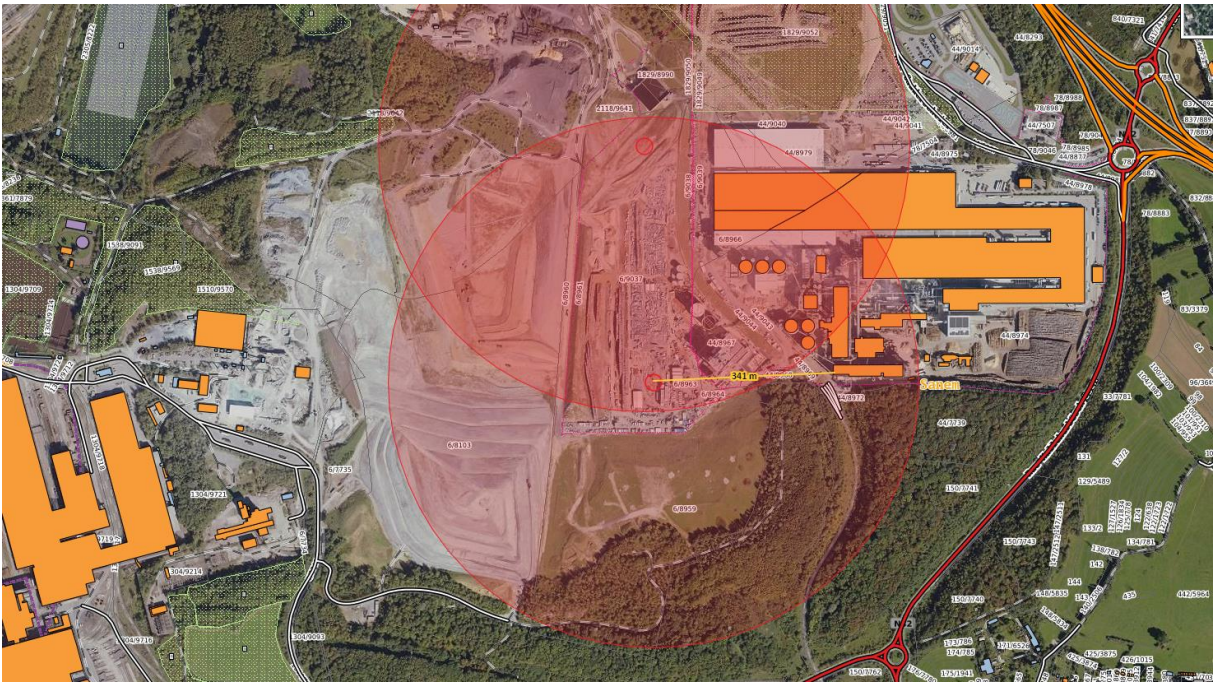


Figure 14 - Distance avec les habitations aux alentours



Figure 15 - Distance avec les habitations aux alentours

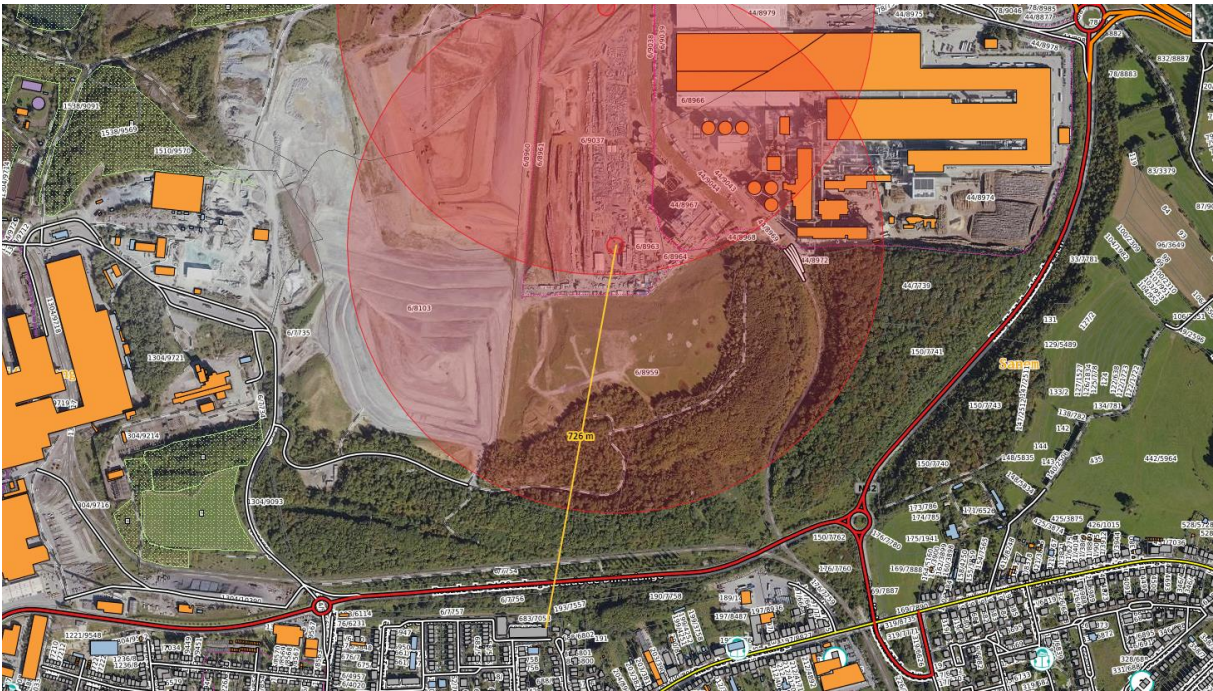


Figure 16 - Distance avec les habitations aux alentours

Coordonnées	Bâtiment	Distance
Nord	Bâtiment industriel	484 m
Est	Entreprise Kronospan Luxembourg S.A.	130 m
Sud	Bâtiment d'habitation	726 m
Ouest	Bâtiment industriel (ArcelorMittal)	651 m

Les éoliennes prévues se trouvent à l'intérieur de la zone d'activités planifiée « 53 Sanem (Gadderscheier-ouest) » avec la mention « extension de zone nationale ». À l'ouest des éoliennes prévues, directement à côté de la zone industrielle planifiée, se trouve la zone industrielle existante « 54 Sanem (Gadderscheier) ». Une zone industrielle également existante se trouve à environ 1 km au nord (12 Differdange/Sanem (Hahnebësch)) tandis qu'une zone industrielle prévue se trouve à environ 2 km à l'est (55 Sanem (Op den Äassen)) (cf. Fig. 17).



Figure 17 - Localisation de la zone de planification (en rouge) par rapport au plan directeur sectoriel: en rose "zones d'activités économiques". Zone d'activité prévue "53 sanem (gadderscheier ouest)" et "55 sanem (op den äassen)" en violet

4.1.2 Etablissement recevant du public (ERP)

L'étude de dangers recense l'ensemble des ERP dans les limites de la zone d'étude. La zone d'étude retenue pour ce parc éolien (500 mètres) n'a aucun établissement recevant du public dans son périmètre. Le symbole pris en compte dans l'aire d'étude est une activité agricole et non un établissement recevant du public.

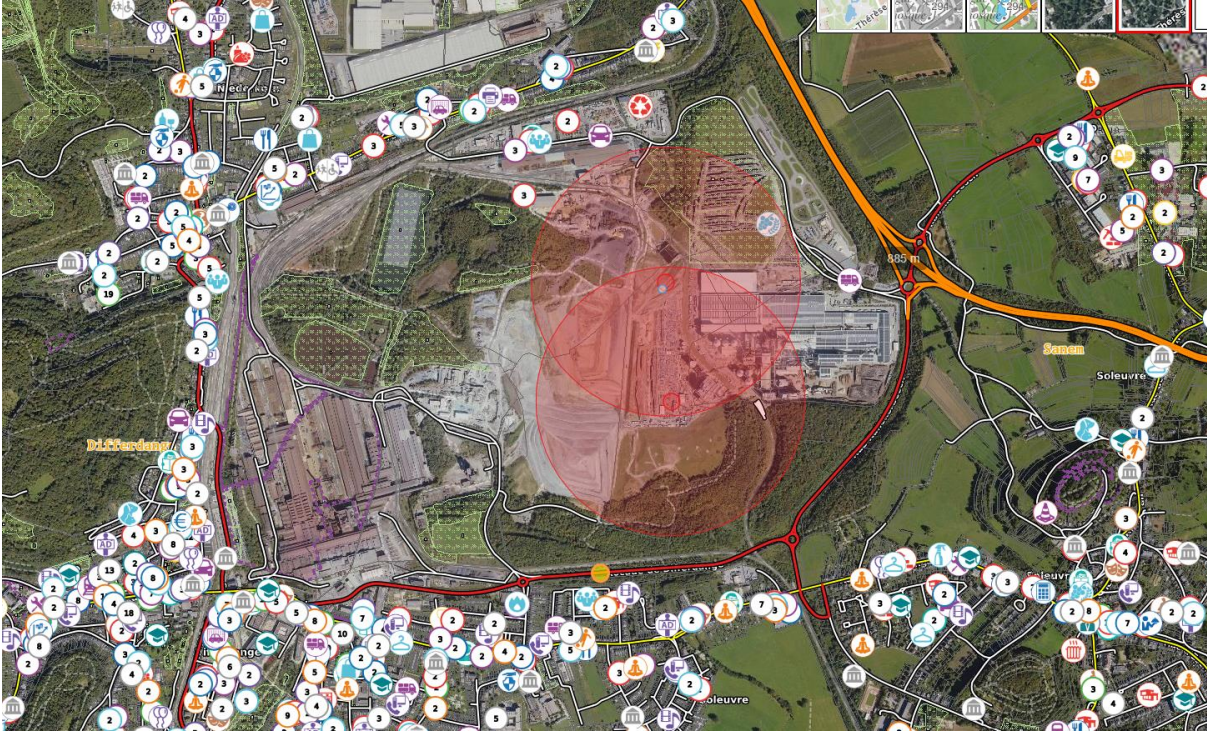


Figure 18 - ERP présent dans l'aire d'étude

4.1.3 Installations classées pour la protection de l'environnement et installations nucléaires de base

Aucun site SEVESO ni d'installations nucléaires de base (INB) sont recensés dans la zone d'étude.

4.1.4 Autre activité

Au Nord, une zone industrielle est présente.

A l'Ouest, la décharge industrielle de la société ArcelorMittal Differdange est dans la zone d'impact.

A l'Est, la société Kronospan Luxembourg S.A. est également dans l'aire d'étude. C'est un établissement classé et soumis à la loi du 9 mai 2014 relative aux émissions industrielles.

Initialement, la parcelle concernée faisait partie de la décharge de déchets inertes de Differdange-Sanem, gérée par RECYSAN S.A. Après la fin de ces activités, la surface a été remblayée. Actuellement, il est prévu d'y agrandir la zone d'activités économiques (ZAE) Gadderscheier existante.



Figure 19 - Activité industrielle présent dans l'aire d'étude

En revanche, les éoliennes sont très proches de l'activité industrielle du site.

Un hall de stockage de produit chimique se situe à 30 m du mât d'une des éoliennes comme en témoigne la figure.



Figure 20 - Stockage de produits chimiques à proximité de l'éolienne

4.2 Environnement naturel

4.2.1 Contexte climatique

La carte d'analyse climatique et la carte indicative de planification du Luxembourg (GEO-net & LIST 2021) servent de base à l'évaluation des conditions climatiques de la zone de planification. Celle-ci est classée comme surface verte/en plein air avec une densité de flux d'air froid modérée à élever ($10-25 \text{ m}^3/(\text{s} \cdot \text{m})$, cf. Fig. 21). Cette valeur décrit la quantité d'air froid qui s'écoule par temps à travers la coupe transversale de la surface. Le flux d'air froid résulte de la surface agricole pour laquelle les échanges d'énergie se limitent à la couche supérieure du sol, c'est-à-dire que la surface du sol se réchauffe rapidement, mais se refroidit aussi rapidement. De ce fait, le sol non cultivé est soumis à des variations de température relativement importantes. Outre les propriétés du sol, la végétation a également une influence majeure sur le comportement thermique des surfaces. Ainsi, le sol recouvert de végétation de la surface plane absorbe beaucoup moins de chaleur que les zones sans végétation. Les prairies et les champs couverts de cultures sont plus frais que les surfaces de sol nu, tant pendant la journée que pendant la nuit. De plus, les prairies se refroidissent très rapidement après le coucher du soleil.

En raison de ses grandes masses d'air froid, la zone de planification est en partie classée comme une zone de génération d'air froid importante. L'air froid ainsi généré s'écoule selon la pente topographique en direction de la rivière Chiers, qui forme un couloir directeur en direction de la zone d'habitation Pétange/Käerjeng (cf. Fig. 22). Au niveau du sol (à 2 mètres au-dessus du sol), la vitesse de l'air froid peut atteindre 1 m/s (cf. Fig. 23).

La carte indicative de planification (GEO-net & LIST 2021), basée sur ces informations, décrit la zone de planification comme un espace de compensation d'une importance bioclimatique accrue (cf. fig. 24). Pour la structure d'urbanisation actuelle, la zone de planification compte parmi les aires favorables en matière de climat et d'écologie, présentant une forte sensibilité face à la densification des bâtiments.

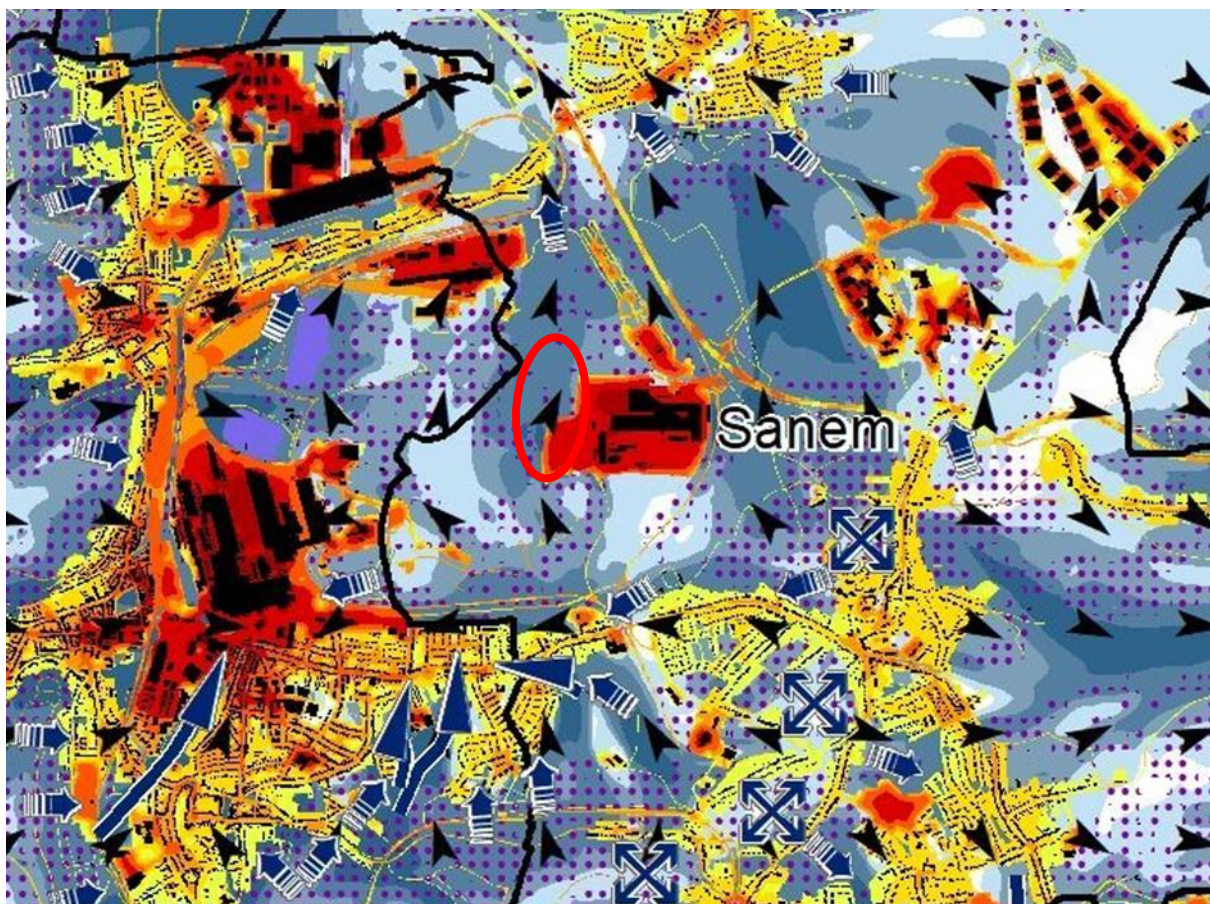


Figure 21 - Analyse régionale du climat basée sur un modèle pour le grand-duché de Luxembourg - Carte de l'analyse climatique. La zone de planification est représentée en rouge (GEO NET & LIST 2021)

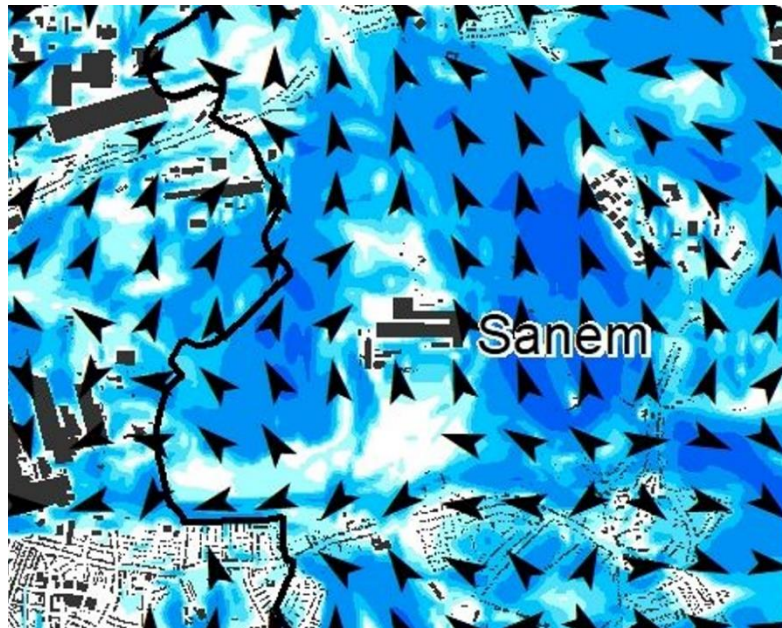


Figure 22 - Analyse régionale du climat basée sur un modèle pour le grand-duché de Luxembourg - vitesse des flux d'air froid à 4 heures du matin à 2m au-dessus du sol (GEO NET & LIST 2021). La zone de planification est entourée en rouge

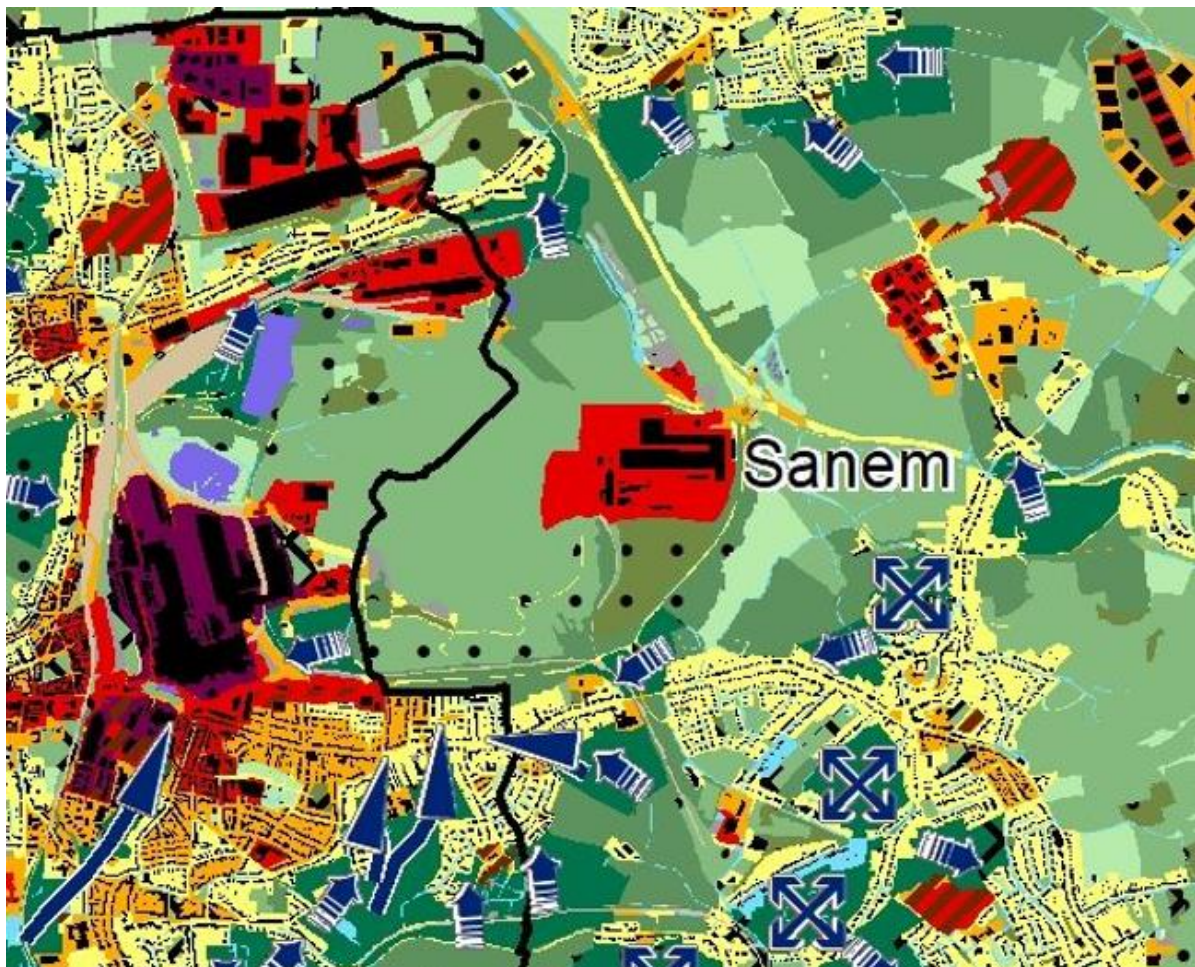


Figure 23 - Analyse régionale du climat basée sur un modèle pour le grand-duché de Luxembourg - Carte indicative de planification (GEO NET & LIST 2021). La zone de planification est entourée en rouge

4.2.2 Risques naturels

Dans le cadre de l'examen du bien à protéger, des aspects tels que la qualité du sol, les sites pollués, les apports de substances nocives, le degré d'utilisation et de scellement du sol, ainsi que les modifications de terrain et les risques naturels qui en découlent, comme le risque de glissement de terrain, sont d'une importance capitale. Dans le contexte présent, un bref descriptif des conditions du sol et des informations sur les sites contaminés ou vraisemblablement pertinents sont rassemblées.

Géologie/Pédologie

Le substrat géologique initial sur le terrain est caractérisé par des remblais (r) ou des comblements de l'ancienne décharge Differdange-Sanem effectués par la société RECYSAN S.A. Dans la zone de la route d'accès projetée, le substrat initial est caractérisé par de l'argilite marneuse avec des concrétions calcaires (cf. Fig. 24).

Selon la carte des sols disponible datant de 1969, la zone de planification est classée comme zone d'habitation, zone commerciale et zone industrielle (cf. Fig. 25).

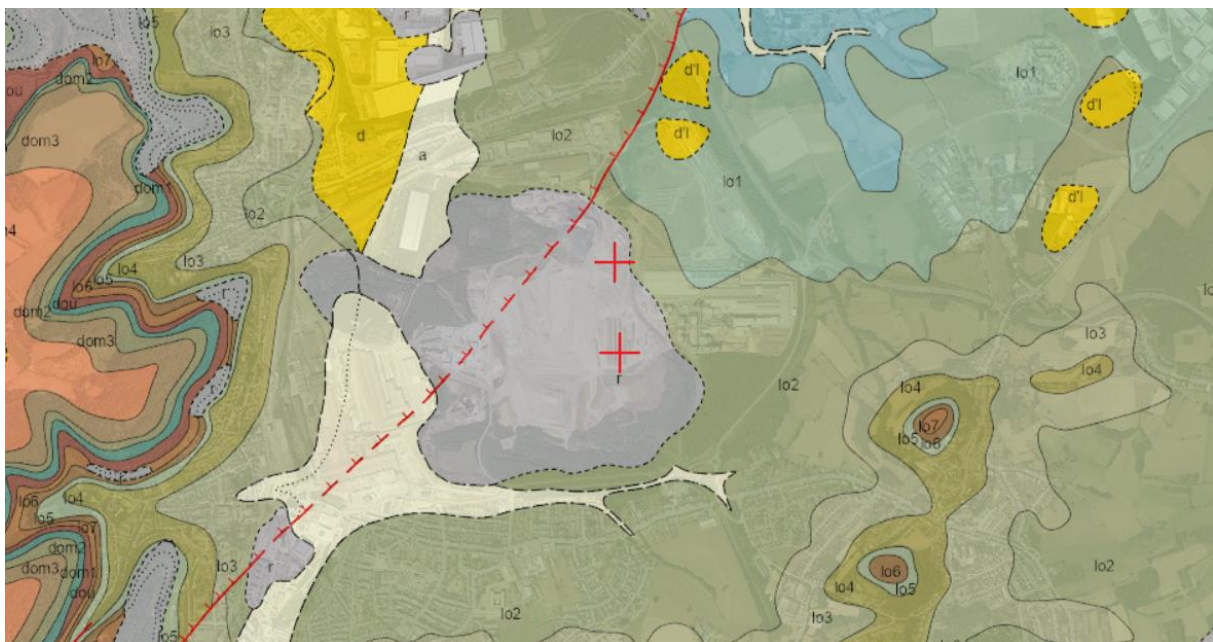


Figure 24 - Localisation de la zone de planification (en rouge) et situation géologique - extrait de la carte topographique harmonisée (Géoportail 2024)

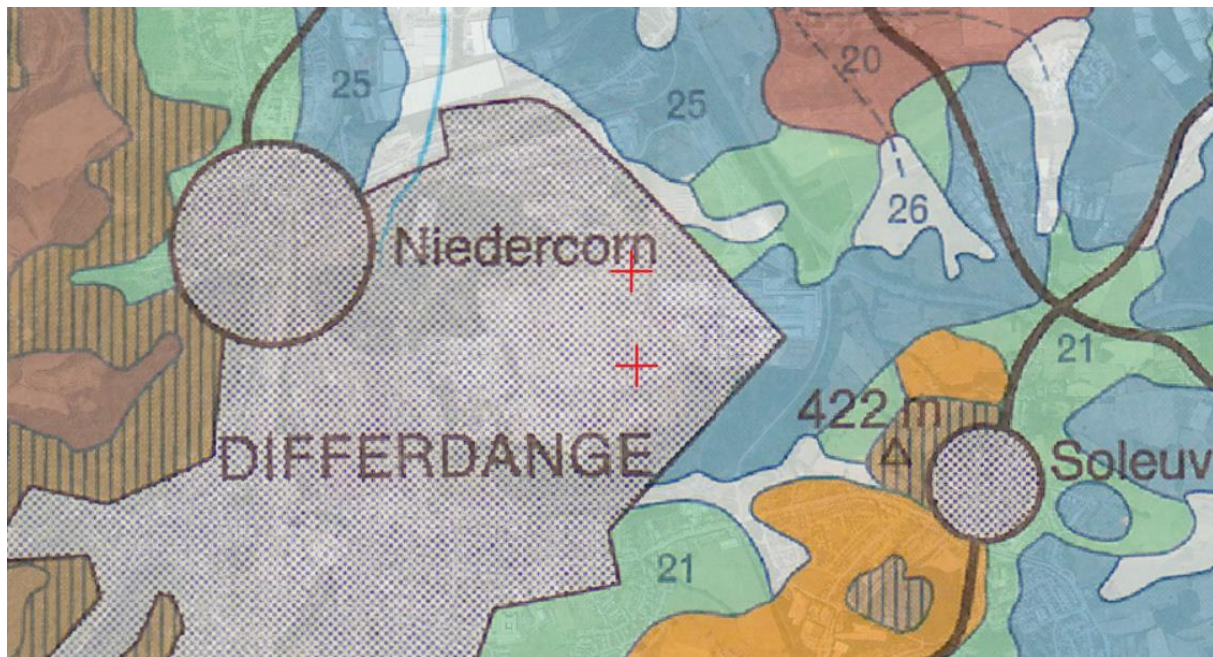


Figure 25 - Localisation de la zone de planification (en rouge) par rapport au matériau pédologique initial - extrait de la carte des sols datant de 1969 (échelle 1:100000) (Géoportail 2024)

Dans la zone de planification des deux éoliennes, la qualité des sols est classée comme surface non exploitable à des fins agricoles (ASTA provisoire 2017, 25). La zone de planification est une extension du site d'exploitation de Kronospan Luxembourg S.A., qui était jusqu'à présent utilisé entre autres comme aire de stockage de bois. Il est donc à supposer que la parcelle cadastrale concernée est au moins partiellement scellée, hormis les chemins d'exploitation probablement asphaltés.

En ce qui concerne les possibilités d'utilisation agricole après le démantèlement, la surface est à nouveau disponible telle que dans la situation initiale, à l'exception de la route d'accès, des fondations souterraines de la tour et de l'aire d'installation de la grue à tour.

Au niveau sismique, d'après le site « thinkhazard.org », le niveau de risque au Luxembourg est très faible. Cela signifie qu'il existe une probabilité inférieure à 2% qu'un séisme susceptible de causer des dommages survienne au cours des 50 prochaines années (cf Fig.26).

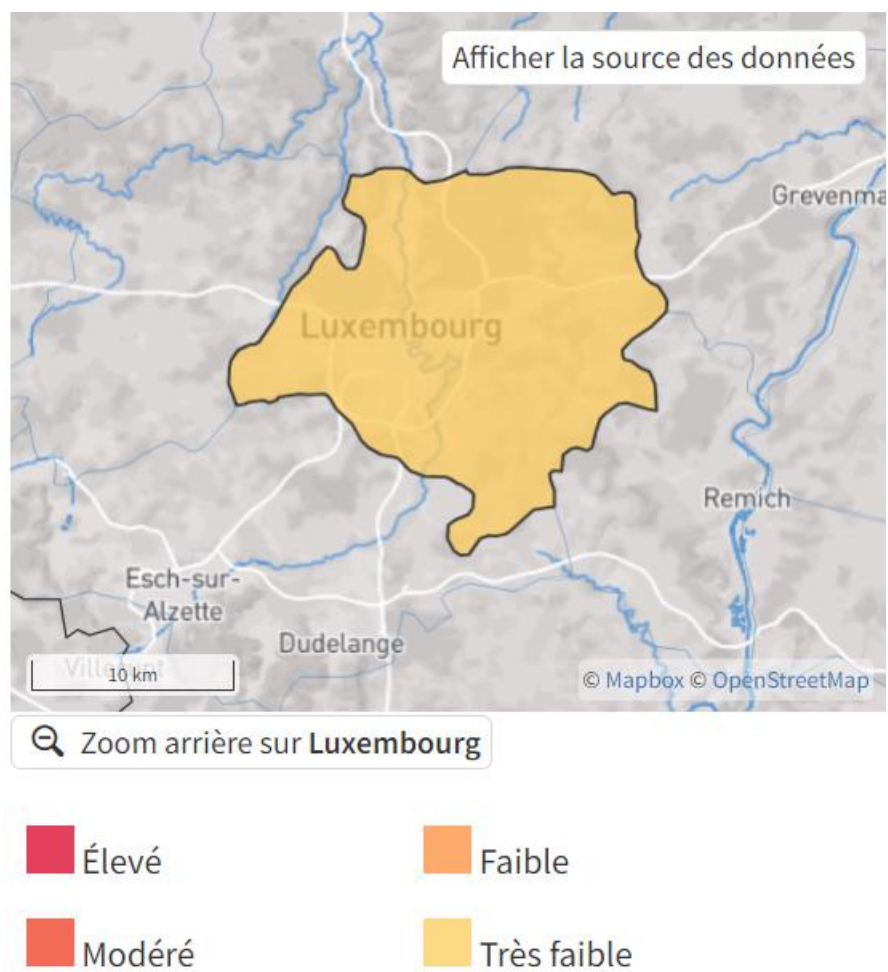


Figure 26 - Evaluation de la sismicité du luembourg (Thinkhazard.org)

4.3 Environnement matériel

4.3.1 Voies de communication

L'étude de danger identifie l'ensemble des réseaux de communication présent dans les limites de la zone d'étude:

La zone de projet se trouve sur l'extension planifiée du site d'exploitation de Kronospan Luxembourg S.A. dans la commune de Sanem. Le terrain d'exploitation se trouve à environ 600 m au nord de la N32 et à environ 780 m à l'ouest de l'A13 (cf. fig.27).

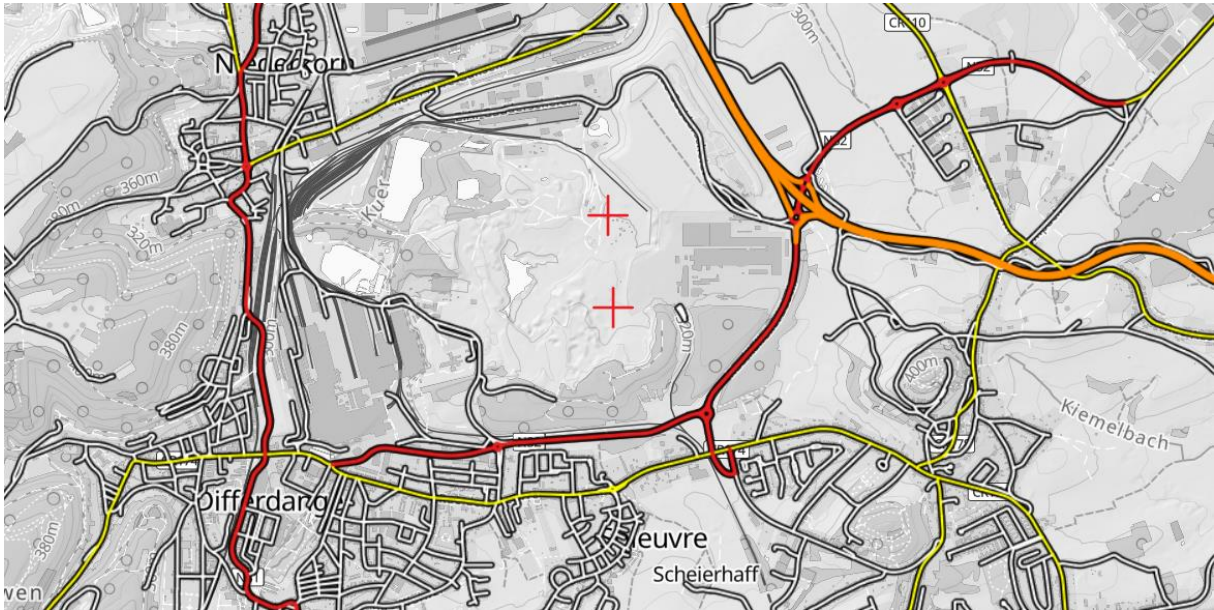


Figure 27 - Routes principales à proximité du site d'exploitation (en rouge : route nationale, en jaune : route départementale (Géoportail 2024). L'emplacement de la zone de projet est indiqué en rouge.



Figure 28 - Route impactée par l'aire d'étude

Certaines routes figurent dans l'aire d'études du parc éolien. Ce sont des routes pour des zones d'activités ou privées. Les routes nationales (rouge) et départementales (jaunes) ne sont pas impactées par ce projet.

Les autres infrastructures ne sont pas dans l'aire d'étude définie au préalable.

4.3.2 Réseaux publics et privés

L'étude de danger recense les principales installations publiques non enterrées présentes dans les limites de la zone d'étude :

Le raccordement au réseau électrique du parc éolien est n'est pas encore prévu à ce stade du projet.

Le projet faisant l'objet de la présente vérification préliminaire est localisé sur le territoire de la commune de Sanem, au sein du périmètre de l'usine de production de la société Kronospan S.A.

Celui-ci s'étend en limite Ouest du ban communal, à proximité des installations ArcelorMittal implantées sur la commune de Differdange (cf. **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

Le secteur d'étude est situé entre Sanem au Nord-Est, Soleuvre au Sud-Est, Differdange à l'Ouest et Niederkorn au Nord-Ouest.



Figure 29 - Localisation du site d'étude (cercle rouge) sur carte topographique (Géoportail, 2025)

L'extension projetée du site se fera en direction du Sud-Ouest, sur une plateforme de terrains surplombant le site existant. D'autres installations sont planifiées sur cette plateforme, notamment une troisième unité de combustion/valorisation qui sera prochainement mise en exploitation (cf. **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

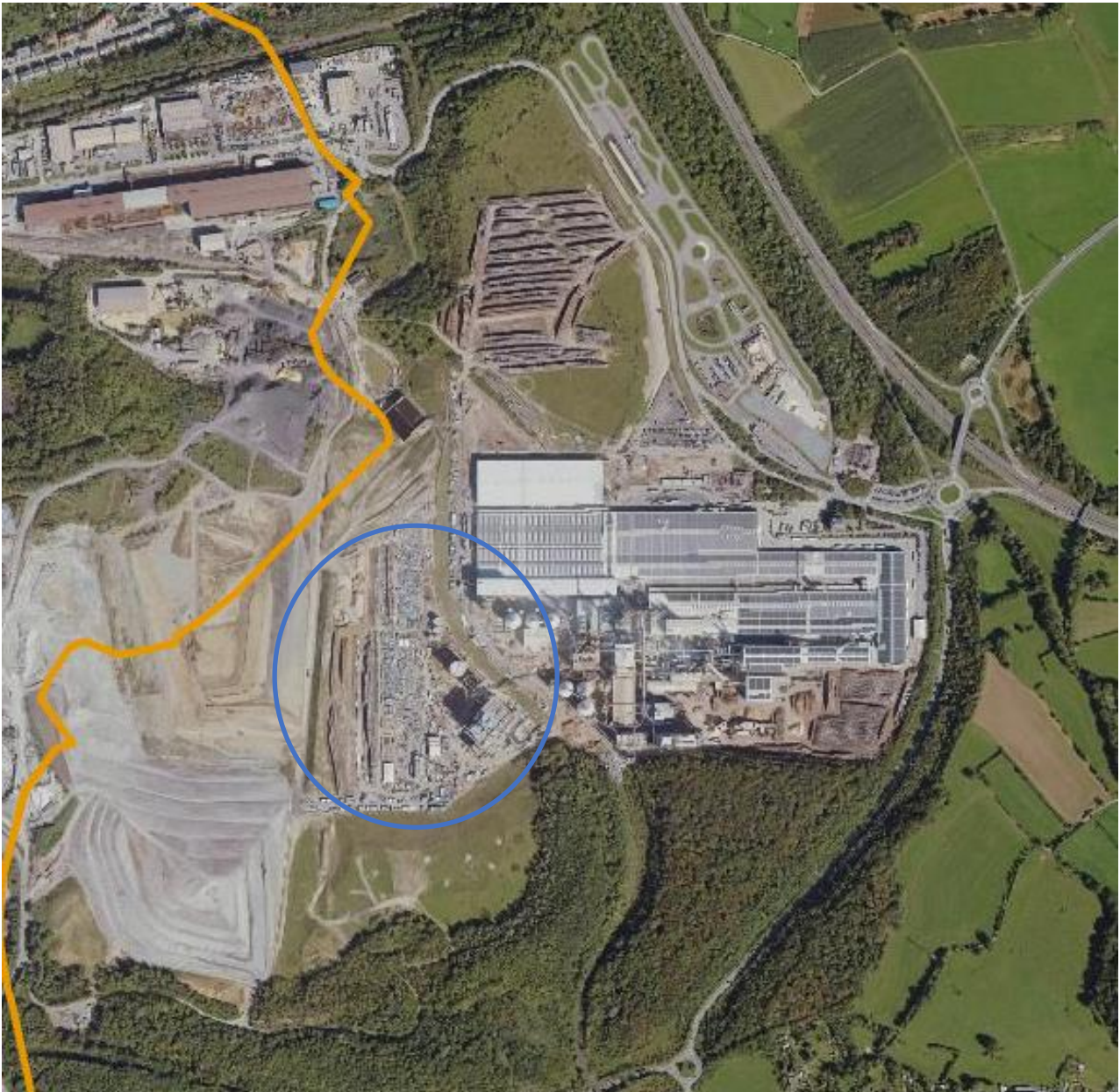


Figure 30 - Localisation du projet d'extension du site Kronospan qui accueillera les 2 éoliennes projetées (cercle bleu) sur vue aérienne (Géoportail, 2025)

Les deux éoliennes seront implantées sur la parcelle 6/9037 de la section B de Soleuvre (lieudit GADERSCHEUER) du cadastre de la commune de Sanem.

Elles seront éloignées de 440 m l'une de l'autre. L'éolienne n°1 (Nord) sera implantée à environ 760 m au Sud-Ouest de l'autoroute A13 alors que l'éolienne n°2 (Sud) sera localisée à environ 620 m au Nord de la rocade de Differdange/Route Nationale 32).

4.3.3 Autres ouvrages publics

Aucun autre ouvrage public n'est situé dans la zone d'étude.

4.4 Cartographie de synthèse

En conclusion de ce chapitre de l'étude de dangers, une cartographie lisible pour chaque aérogénérateur permet d'identifier géographiquement les enjeux à protéger dans la zone d'étude :

- Le nombre de personnes exposées par secteur (champs, routes, habitations...)
- La localisation des biens, infrastructures et autres établissements.

La méthode de comptage des enjeux humains dans chaque secteur est présentée en annexe 1. Elle se base sur la fiche n°1 de la circulaire du 10 mai 2010 relative aux règles méthodologiques applicables aux études de dangers.

Cette méthode permet de comptabiliser les enjeux humains présents dans les ensembles homogènes situés dans l'aire d'étude de l'éolienne considérée.

Des terrains non bâtis et très peu fréquentés (champs, prairies, forêts, friches, marais...) sont dans la zone d'étude des éoliennes. Il y a donc 1 personne par tranche de 100 ha.

Dans la zone d'étude du parc éolien de Kronospan Luxembourg S.A., l'ensemble correspond plutôt à des zones industrielles. En effet, les éoliennes s'implantent sur des terrains de la société Kronospan Luxembourg S.A. L'effectif présent sur site sera pris en compte. Même si la zone d'étude n'inclut pas entièrement le site, les fournisseurs, clients et sous-traitants sont inclus dedans.

Eolienne 1

Zone homogène	Nombre de personnes prévues
Terrains non bâtis éolienne 1	Environ 61 ha soit 1 personne
Voie de circulation	1.36 km considérée pour les activités industrielles. $0.4 \times 1.36 \times 500 \text{ (véhicules/j)} / 100 = 3 \text{ personnes.}$
Zones d'activités	350 personnes

Eolienne 2

Zone homogène	Nombre de personnes prévues
Terrains non bâti éolienne 2	Environ 62 hectares soit 1 personnes
Voie de circulation n°2	812 m considérée pour la route dans la forêt compris dans la zone d'étude de l'éolienne au sud. $0.4 \times 0.812 \times 500 \text{ (véhicules/j)} / 100 = 2 \text{ personnes}$
Zone d'activité :	350 personnes

5 DESCRIPTION DE L'INSTALLATION

5.1 Caractéristiques de l'installation

5.1.1 Caractéristiques générales d'un parc éolien

Un parc éolien est une centrale de production d'électricité à partir de l'énergie du vent. Il est composé de plusieurs aérogénérateurs et de leurs annexes (cf. schéma du raccordement électrique au paragraphe IV.3.1) :

- Plusieurs éoliennes fixées sur une fondation adaptée, accompagnée d'une aire stabilisée appelée « plateforme » ou « aire de grutage »
- Un réseau de câbles électriques enterrés permettant d'évacuer l'électricité produite par chaque éolienne vers le ou les poste(s) de livraison électrique (appelé « réseau inter-éolien »)
- Un ou plusieurs poste(s) de livraison électrique, concentrant l'électricité des éoliennes et organisant son évacuation vers le réseau public d'électricité au travers du poste source local (point d'injection de l'électricité sur le réseau public)
- Un réseau de câbles enterrés permettant d'évacuer l'électricité regroupée au(x) poste(s) de livraison vers le poste source (appelé « réseau externe » et appartenant le plus souvent au gestionnaire du réseau de distribution d'électricité)
- Un réseau de chemins d'accès
- Éventuellement des éléments annexes type mât de mesure de vent, aire d'accueil du public, aire de stationnement

Éléments constitutifs d'un aérogénérateur

Au sens du l'arrêté du 26 août 2011 relatif aux installations de production d'électricité utilisant l'énergie mécanique du vent au sein d'une installation soumise à autorisation au titre de la rubrique 2980 de la législation des installations classées pour la protection de l'environnement, les aérogénérateurs (ou éoliennes) sont définis comme un dispositif mécanique destiné à convertir l'énergie du vent en électricité, composé des principaux éléments suivants : un mât, une nacelle, le rotor auquel sont fixées les pales, ainsi que, le cas échéant, un transformateur.

Les aérogénérateurs se composent de trois principaux éléments :

Le **rotor** qui est composé de trois pales (pour la grande majorité des éoliennes actuelles) construites en matériaux composites et réunies au niveau du moyeu. Il se prolonge dans la nacelle pour constituer l'arbre lent.

Le **mât** est généralement composé de 3 à 4 tronçons en acier ou 15 à 20 anneaux de béton surmonté d'un ou plusieurs tronçons en acier. Dans la plupart des éoliennes, il abrite le transformateur qui permet d'élever la tension électrique de l'éolienne au niveau de celle du réseau électrique.

La **nacelle** abrite plusieurs éléments fonctionnels :

Le générateur transforme l'énergie de rotation du rotor en énergie électrique ;

Le multiplicateur (certaines technologies n'en utilisent pas) ;

Le système de freinage mécanique ;

Le système d'orientation de la nacelle qui place le rotor face au vent pour une production optimale d'énergie ;

Les outils de mesure du vent (anémomètre, girouette),

Le balisage diurne et nocturne nécessaire à la sécurité aéronautique

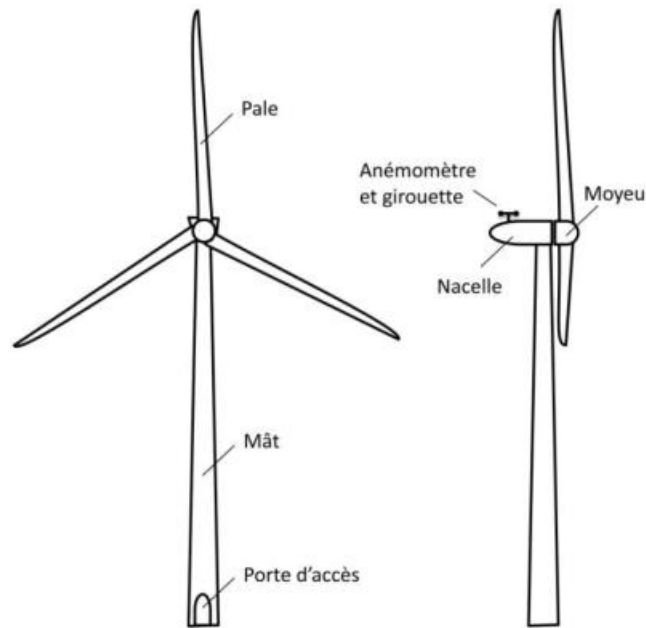


Figure 31 - Schéma simplifié d'un aérogénérateur

Emprise au sol

Plusieurs emprises au sol sont nécessaires pour la construction et l'exploitation des parcs éoliens :

- La surface de chantier est une surface temporaire, durant la phase de construction, destinée aux manœuvres des engins et au stockage au sol des éléments constitutifs des éoliennes.
- La fondation de l'éolienne est recouverte de terre végétale. Ses dimensions exactes sont calculées en fonction des aérogénérateurs et des propriétés du sol.
- La zone de surplomb ou de survol correspond à la surface au sol au-dessus de laquelle les pales sont situées, en considérant une rotation à 360° du rotor par rapport à l'axe du mât.
- La plateforme correspond à une surface permettant le positionnement de la grue destinée au montage et aux opérations de maintenance liées aux éoliennes. Sa taille varie en fonction des éoliennes choisies et de la configuration du site d'implantation.

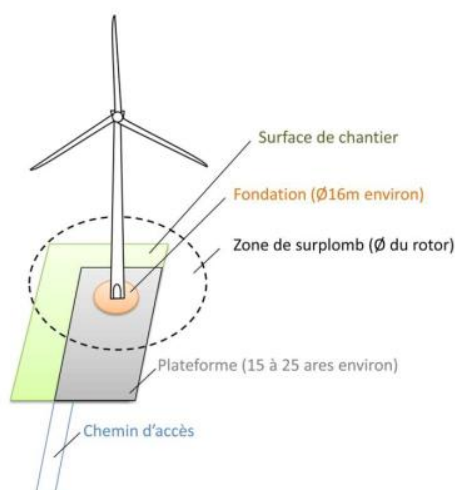


Figure 32 - Illustration des emprises au sol d'une éolienne

Chemin d'accès :

Pour accéder à chaque aérogénérateur, des pistes d'accès sont aménagées pour permettre aux véhicules d'accéder aux éoliennes aussi bien pour les opérations de constructions du parc éolien que pour les opérations de maintenance liées à l'exploitation du parc éolien :

- L'aménagement de ces accès concerne principalement les chemins agricoles existants ;
- Si nécessaire, de nouveaux chemins sont créés sur les parcelles agricoles

Durant la phase de construction et de démantèlement, les engins empruntent ces chemins pour acheminer les éléments constituant les éoliennes et de leurs annexes.

Durant la phase d'exploitation, les chemins sont utilisés par des véhicules légers (maintenance régulière) ou par des engins permettant d'importantes opérations de maintenance (ex : changement de pale).

Autres installations

Ce parc éolien ne contiendra pas d'aire d'accueil, de parking d'accès ou encore de parcours pédagogiques.

5.1.2 Activité de l'installation

L'activité principale du parc éolien de Kronospan Luxembourg S.A. est la production d'électricité à partir de l'énergie mécanique du vent avec une hauteur (mât + nacelle) de 164 m. Cette installation est donc soumise au règlement grand-ducal du 10 mai 2012 portant sur les nouvelles nomenclatures et classification des établissements classés.

5.1.3 Composition de l'installation

Le parc éolien de Kronospan Luxembourg S.A. est composé de deux aérogénérateurs et d'un poste de livraison. Chaque aérogénérateur a une hauteur de moyeu de 164 mètres (soit une hauteur de mât de 164 mètres) et un diamètre de rotor de 163 mètres, soit une hauteur totale en bout de pale de 245.5 mètres.

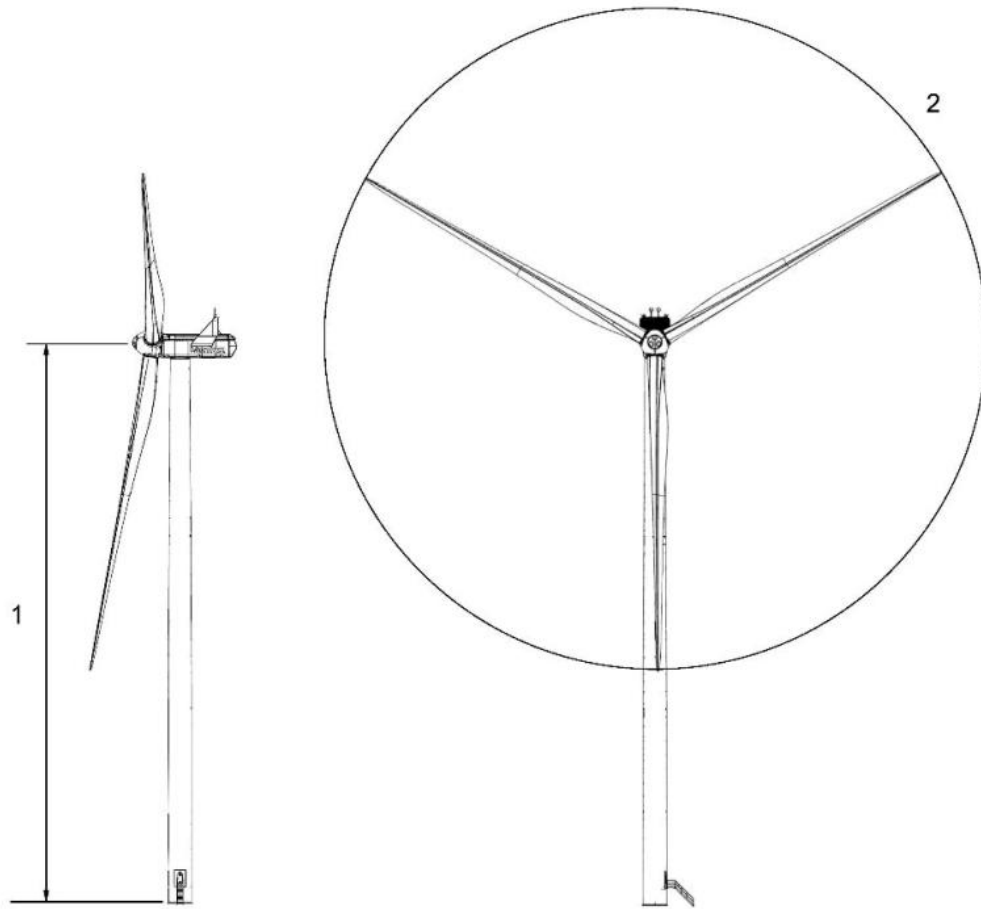


Figure 33 - Schéma représentant les éoliennes prévues d'une hauteur de moyeu de 164 m et d'un diamètre de rotor de 163 m (nordex 2022)



Figure 34 - Schéma représentant les éoliennes prévues d'une hauteur de moyeu de 164 m et d'un diamètre de rotor de 163 m (nordex 2022)

5.2 Fonctionnement de l'installation

5.2.1 Principe de fonctionnement d'un aérogénérateur

Les instruments de mesure de vent placés au-dessus de la nacelle conditionnent le fonctionnement de l'éolienne. Grâce aux informations transmises par la girouette qui détermine la direction du vent, le rotor se positionnera pour être continuellement face au vent.

Les pales se mettent en mouvement lorsque l'anémomètre (positionné sur la nacelle) indique une vitesse de vent d'environ 10 km/h et c'est seulement à partir de 12 km/h que l'éolienne peut être couplée au réseau électrique. Le rotor et l'arbre dit « lent » transmettent alors l'énergie mécanique à basse vitesse (entre 5 et 20 tr/min) aux engrenages du multiplicateur, dont l'arbre dit « rapide » tourne environ 100 fois plus vite que l'arbre lent. Certaines éoliennes sont dépourvues de multiplicateur et la génératrice est entraînée directement par l'arbre « lent » lié au rotor. La génératrice transforme l'énergie mécanique captée par les pales en énergie électrique.

La puissance électrique produite varie en fonction de la vitesse de rotation du rotor. Dès que le vent atteint environ 50 km/h à hauteur de nacelle, l'éolienne fournit sa puissance maximale. Cette puissance est dite « nominale ».

Pour un aérogénérateur de 2,5 MW par exemple, la production électrique atteint 2 500 kWh dès que le vent atteint environ 50 km/h. L'électricité produite par la génératrice correspond à un courant alternatif de fréquence 50 Hz avec une tension de 400 à 690 V. La tension est ensuite élevée jusqu'à 20 000 V par un transformateur placé dans chaque éolienne pour être ensuite injectée dans le réseau électrique public. Lorsque la mesure de vent, indiquée par l'anémomètre, atteint des vitesses de plus de 100 km/h (variable selon le type d'éoliennes), l'éolienne cesse de fonctionner pour des raisons de sécurité. Deux systèmes de freinage permettront d'assurer la sécurité de l'éolienne :

- Le premier par la mise en drapeau des pales, c'est-à-dire un freinage aérodynamique : les pales prennent alors une orientation parallèle au vent ;
- Le second par un frein mécanique sur l'arbre de transmission à l'intérieur de la nacelle.

Element de l'installation	Fonction	Caractéristiques
Fondation	Ancrer et stabiliser l'éolienne dans le sol	/
Mât	Supporter la nacelle et le rotor	/
Nacelle	Supporter le rotor Abriter le dispositif de conversion de l'énergie mécanique en électricité (Génératrice, etc.) ainsi que les Dispositifs de contrôle et de sécurité	Arbre de rotor, multiplicateur, générateur, système d'azimut transformateur moyenne tension et variateur de fréquence. Palan électrique à chaîne (poids max de 850 kg) pour l'évacuation du personnel de services en cas d'urgence ou pour le transport d'équipements. Deux anémomètres et plusieurs balises d'obstacles (skylights).
Rotor / pales	Capter l'énergie mécanique du vent et la transmettre à la génératrice	Trois pales de rotor d'une longueur de 79,7 m dotées de « serrations » et fabriquées en matériaux composites renforcés de fibres de verre et de carbone

Transformateur	Elever la tension de sortie de la génératrice avant l'acheminement du courant électrique par le réseau	Tour en acier tubulaire ou tour hybride avec tableau de distribution moyenne tension.
Poste de livraison	Adapter les caractéristiques du courant électrique à l'interface entre le réseau privé et le réseau public	/

5.2.2 Sécurité de l'installation

L'installation est conforme aux prescriptions relatives à la sécurité de l'installation.

En effet, les installations sont dotés d'équipements de sécurité :

- L'installation est conçue en conformité avec la directive 2006/42/CE relative aux machines et certifiée selon la norme IEC 61400.
- Alimentation sans interruption (ASI) afin d'assurer les fonctions essentielles (p. ex. balisage des obstacles, « pitch ») ;
- System de freinage pour les rotors ;
- Overspeed Protection ;
- Détection des arcs électriques dans le convertisseur HT (Détection optique des éclairs) ;
- Détecteurs incendie, situés dans la nacelle ;
- Système de protection contre la foudre, composé de paratonnerres, conducteurs, parasurtenseur, prise de terre ;
- Système de détection de givre et de chauffage du rotor ;
- Système de sécurité pour le personnel de maintenance (ascenseur de service, système d'évacuation d'urgence, Interrupteur d'arrêt d'urgence, etc.).

En cas d'accident, une procédure d'urgence est disponible.

5.2.3 Opération de maintenance de l'installation

Des opérations de maintenance périodique sont programmées :

- Une première opération a lieu au bout de 3 mois de fonctionnement. Sont ainsi notamment vérifiés :
 - o Les couples de serrage (brides sur les diverses sections de la tour, brides de raccordement des pales au moyeu, bride de raccordement du moyeu à l'arbre lent, éléments du châssis, éléments du pitch (éléments du système de variation de pas du rotor), couronne du Yaw Gear (système d'orientation de la nacelle), boulons de fixation de la nacelle...). Ces vérifications sont ensuite renouvelées tous les 4 ans
 - o L'état des LCTU (Unité de transfert de courant d'éclairage), inspection visuelle des câbles, des balais du rotor, vérification des serrages sur les jeux de barre, contrôle du dispositif de mise à la terre
 - o L'état des pales et du dispositif de captage de foudre.
 - o Les niveaux de l'huile du multiplicateur, de la centrale hydraulique et des motoréducteurs du Yaw Gear, le niveau du fluide de refroidissement, l'absence de fuite
 - o La présence et l'état des équipements de sécurité

- Le bon fonctionnement des dispositifs de sécurité (arrêts d'urgence, frein à disque, capteur de vibration, arrêt sur survitesse générateur, arrêt par le système VOG (Vidéoculographie)
 - L'état des batteries du système de contrôle
 - L'état du transformateur.
- Tous les 6 mois, certaines des opérations ci-dessus sont refaites et des opérations supplémentaires sont effectuées, notamment :
- Le contrôle des batteries en pied de tour (batteries remplacées tous les 5 ans), le contrôle de bruit et de vibrations des roulements,
 - Les opérations de graissage et de lubrification (paliers et roulements notamment)
 - Le contrôle de la qualité des huiles
 - Le contrôle de la pression des circuits hydrauliques et hydropneumatiques
 - Le contrôle des capteurs de vents, ¾ Le contrôle des extincteurs.
 - D'autres contrôles complémentaires ont lieu annuellement :
 - Le contrôle de bon fonctionnement du pitch
 - Le remplacement de certains filtres (à huile, à air sur les armoires électriques)
 - Le contrôle de l'usure du frein
 - Le contrôle de pression du circuit de freinage d'urgence

D'autres contrôles complémentaires ont lieu annuellement :

- Le contrôle de bon fonctionnement du pitch
 - Le remplacement de certains filtres (à huile, à air sur les armoires électriques)
 - Le contrôle de l'usure du frein
 - Le contrôle de pression du circuit de freinage d'urgence
 - Le contrôle du système UPS (Uninterruptible Power Supply – alimentation sans interruption)
 - Le contrôle de l'élévateur de personnes et du palan (le palan, monté sur une potence ou un portique mobile dans la nacelle, permet de transporter des charges de masses importantes (jusqu'à 1 tonne) dans le cadre d'opération de maintenance).
- Enfin d'autres opérations sont faites tous les 4 ans. C'est le cas de certains contrôles de couples de serrage et du contrôle de la pression du circuit d'huile du multiplicateur
- Les huiles hydrauliques et de lubrification (multiplicateur) sont analysés tous les 6 mois. Elles sont remplacées tous les 4 ans.
- Lors de ces contrôles, si des pièces défectueuses ou usées sont détectées, elles sont remplacées. Certaines pièces ou consommables sont par défaut remplacés périodiquement (liquide de refroidissement et batterie tous les 5 ans, flexible sur circuit d'huile tous les 7ans)
- Un test d'arrêt du système par le VOG est fait tous les 6 mois. Ce test est fait avec le générateur hors charge et en jouant sur l'orientation des pales de façon à atteindre la vitesse de déclenchement.

Tous ces contrôles sont décrits en détail dans des procédures spécifiques et font l'objet de formulaires d'enregistrement des opérations effectuées.

5.2.4 Stockage et flux de produits dangereux

Conformément à l'article 16 de l'arrêté du 26 août 2011, aucun matériel inflammable ou combustible ne sera stocké dans les éoliennes du parc.

5.3 Fonctionnement des réseaux de l'installation

5.3.1 Raccordement électrique

Le raccordement au réseau électrique du parc éolien est prévu au niveau du poste de transformation de CREOS près de Freckeisen (environ 6,5 km de distance aérienne). Le tracé exact n'a pas encore été déterminé à ce stade. La planification se fait en accord avec le promoteur belge Ether Energy, qui prévoit un parc solaire au sud des futures éoliennes (à proximité de l'ancienne décharge de déchets de chantier à Folkendange) (cf. **Erreur ! Source du renvoi introuvable., Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Le bureau Kneip a été chargé par Ether Energy de concevoir un tracé de câble. En raison du grand nombre de propriétaires de terrains concernés (environ 35), aucun plan détaillé du tracé n'a été établi jusqu'à présent.

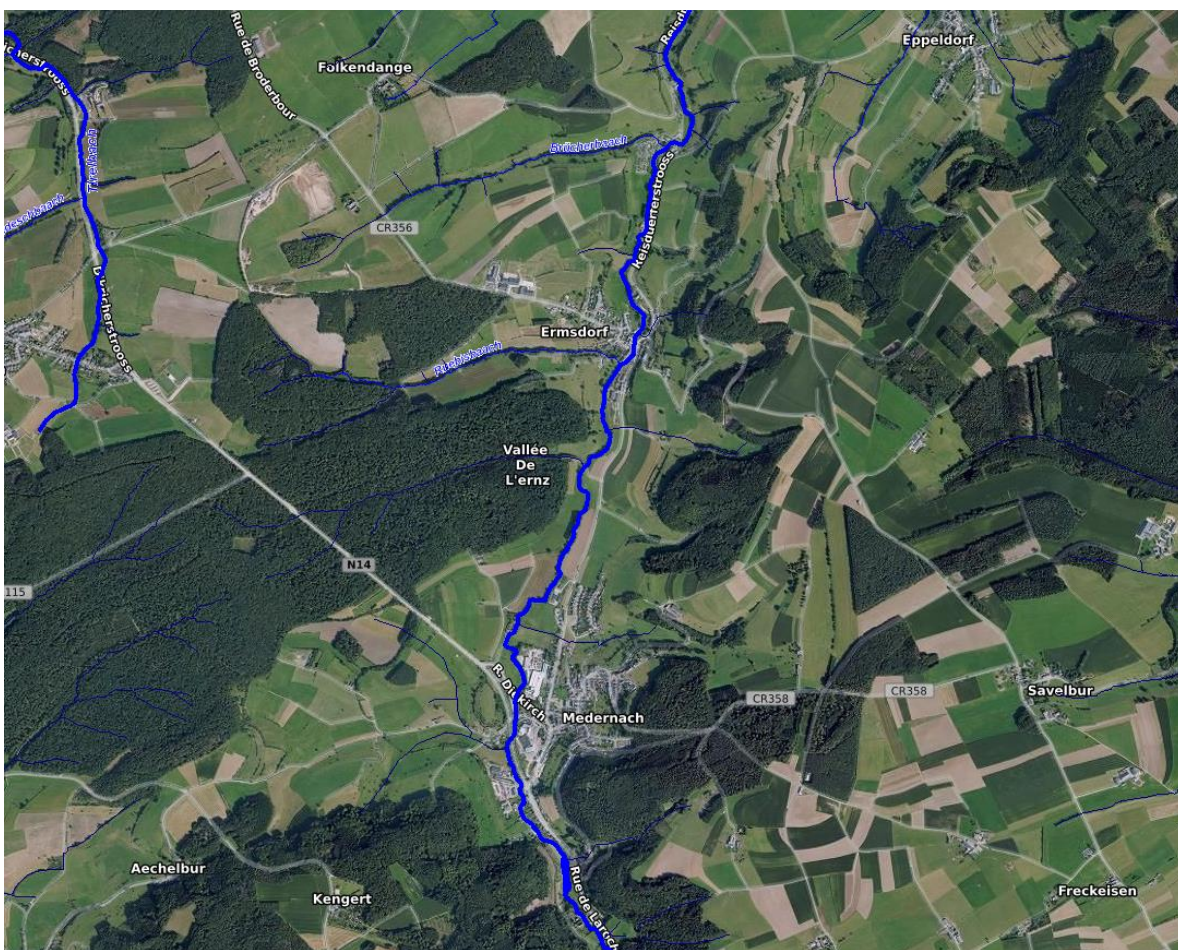


Figure 35 - Localisation du parc éolien projeté (en rouge) par rapport au point d'alimentation prévu au poste de transformation (en jaune) au nord de Freckeisen et à un parc solaire projeté (en orange) (act 2022)

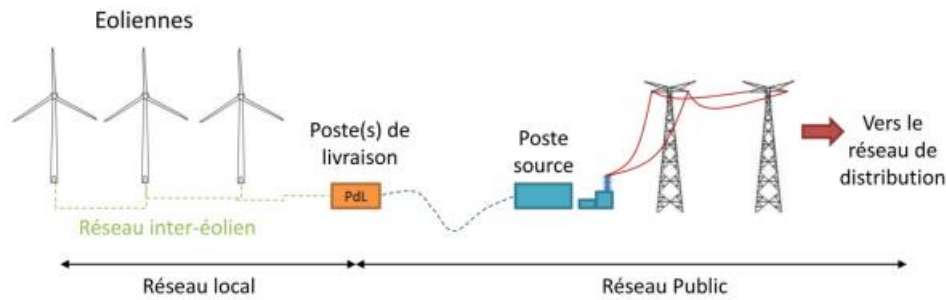


Figure 36 - Raccordement électrique des installations (Source : INERIS)

Réseau inter-éolien

Le réseau inter-éolien permet de relier le transformateur, intégré ou non dans le mât de chaque éoliennes, au point de raccordement avec le réseau public. Ce réseau comporte également une liaison de télécommunication qui relie chaque éolienne au terminal de télésurveillance. Ces câbles constituent le réseau interne de la centrale éolienne, ils sont tous enfouis à une profondeur minimale de 80 cm.

Poste de livraison

Le poste de livraison est le nœud de raccordement de toutes les éoliennes avant que l'électricité ne soit injectée dans le réseau public. Certains parcs éoliens, par leur taille, peuvent posséder plusieurs postes de livraison, voire se raccorder directement sur un poste source, qui assure la liaison avec le réseau de transport d'électricité (lignes haute tension).

La localisation exacte des emplacements des postes de livraison est fonction de la proximité du réseau inter-éolien et de la localisation du poste source vers lequel l'électricité est ensuite acheminée.

Réseau électrique externe

Le réseau électrique externe relie le ou les postes de livraison avec le poste source (réseau public de transport d'électricité). Ce réseau est réalisé par le gestionnaire du réseau de distribution (généralement ERDF - Électricité Réseau Distribution France). Il est lui aussi entièrement enterré.

5.3.2 Autres réseaux

Le parc éolien de Kronospan Luxembourg S.A. ne comporte aucun réseau d'alimentation en eau potable ni aucun réseau d'assainissement. De même, les éoliennes ne sont reliées à aucun réseau de gaz.

6 IDENTIFICATION DES POTENTIELS DE DANGERS DE L'INSTALLATION

Ce chapitre de l'étude de dangers a pour objectif de mettre en évidence les éléments de l'installation pouvant constituer un danger potentiel, que ce soit au niveau des éléments constitutifs des éoliennes, des produits contenus dans l'installation, des modes de fonctionnement, etc.

L'ensemble des causes externes à l'installation pouvant entraîner un phénomène dangereux, qu'elles soient de nature environnementale, humaine ou matérielle, seront traitées dans l'analyse de risques.

6.1 Potentiels de dangers liés aux produits

L'activité de production d'électricité par les éoliennes ne consomme pas de matières premières, ni de produits pendant la phase d'exploitation. De même, cette activité ne génère pas de déchet, ni d'émission atmosphérique, ni d'effluent potentiellement dangereux pour l'environnement.

Les produits identifiés dans le cadre du parc éolien sont utilisés pour le bon fonctionnement des éoliennes, leur maintenance et leur entretien :

- Produits nécessaires au bon fonctionnement des installations (graisses et huiles de transmission, huiles hydrauliques pour systèmes de freinage...), qui une fois usagés sont traités en tant que déchets industriels spéciaux
- Produits de nettoyage et d'entretien des installations (solvants, dégraissants, nettoyeurs...) et les déchets industriels banals associés (pièces usagées non souillées, cartons d'emballage...)

6.2 Potentiels de dangers liés au fonctionnement de l'installation

Les dangers liés au fonctionnement du parc éolien de Kronospan Luxembourg S.A. sont de cinq types :

- Chute d'éléments de l'aérogénérateur (boulons, morceaux d'équipements, etc.)
- Projection d'éléments (morceaux de pale, brides de fixation, etc.)
- Effondrement de tout ou partie de l'aérogénérateur
- Echauffement de pièces mécaniques
- Courts-circuits électriques (aérogénérateur ou poste de livraison).

Ces dangers potentiels sont recensés dans le tableau suivant :

Installation ou système	Fonction	Phénomène redouté	Danger potentiel
Système de transmission	Transmission d'énergie mécanique	Survitesse	Echauffement des pièces mécaniques et flux thermique
Pale	Prise au vent	Bris de pale ou chute de pale	Energie cinétique d'éléments de pales
Aérogénérateur	Production d'énergie électrique à partir d'énergie éolienne	Effondrement	Energie cinétique de chute
Poste de livraison intérieur de l'aérogénérateur	Réseau électrique	Court-circuit interne	Arc électrique
Nacelle	Protection des équipements destinés à la production électrique	Chute d'éléments	Energie cinétique de projection
Rotor	Transformer l'énergie éolienne en énergie mécanique	Projection d'objets	Energie cinétique des objets
Nacelle	Protection des équipements destinés à la production électrique	Chute de nacelle	Energie cinétique de chute

6.3 Réduction des potentiels de dangers à la source

6.3.1 Principales actions préventives

L'implantation du parc éolien de Kronospan Luxembourg S.A. a été pensée afin de les disposer dans les terrains à l'écart de toute habitation. Il a été choisi d'implanter des éoliennes de grande puissance et de grande taille afin de limiter, pour une puissance et une production électrique donnée, le nombre de machines.

6.3.2 Utilisation des meilleures techniques disponibles

L'Union Européenne a adopté un ensemble de règles communes au sein de la directive 96/61/CE du 24 septembre 1996 relative à la prévention et à la réduction intégrées de la pollution, dite directive IPPC (« Integrated Pollution Prevention and Control »), afin d'autoriser et de contrôler les installations industrielles.

Pour l'essentiel, la directive IPPC vise à minimiser la pollution émanant de différentes sources industrielles dans toute l'Union Européenne. Les exploitants des installations industrielles relevant de l'annexe I de la directive IPPC doivent obtenir des autorités des Etats-membres une autorisation environnementale avant leur mise en service.

Les installations éoliennes, ne consommant pas de matières premières et ne rejetant aucune émission dans l'atmosphère, ne sont pas soumises à cette directive.

7 ANALYSE DES RETOURS D'EXPERIENCE

Il n'existe actuellement aucune base de données officielle recensant l'accidentologie dans la filière éolienne. Néanmoins, il a été possible d'analyser les informations collectées en France et dans le monde par plusieurs organismes divers (associations, organisations professionnelles, littérature spécialisée, etc.). Ces bases de données sont cependant très différentes tant en termes de structuration des données qu'en termes de détail de l'information.

L'analyse des retours d'expérience vise donc ici à faire émerger des typologies d'accident rencontrés tant au niveau national qu'international. Ces typologies apportent un éclairage sur les scénarios les plus rencontrés. D'autres informations sont également utilisées dans la partie VIII. pour l'analyse détaillée des risques.

7.1 Inventaire des accidents et incidents en France

Un inventaire des incidents et accidents en France a été réalisé afin d'identifier les principaux phénomènes dangereux potentiels pouvant affecter le parc éolien de Kronospan Luxembourg S.A. Cet inventaire se base sur le retour d'expérience de la filière éolienne tel que présenté dans le guide technique de conduite de l'étude de dangers (mars 2012).

Plusieurs sources ont été utilisées pour effectuer le recensement des accidents et incidents au niveau français. Il s'agit à la fois de sources officielles, d'articles de presse locale ou de bases de données mises en place par des associations :

- Rapport du Conseil Général des Mines (juillet 2004)
- Base de données ARIA du Ministère du Développement Durable
- Communiqués de presse du SER-FEE et/ou des exploitants éoliens
- Site Internet de l'association « Vent de Colère »
- Site Internet de l'association « Fédération Environnement Durable »
- Articles de presse divers
- Données diverses fournies par les exploitants de parcs éoliens en France

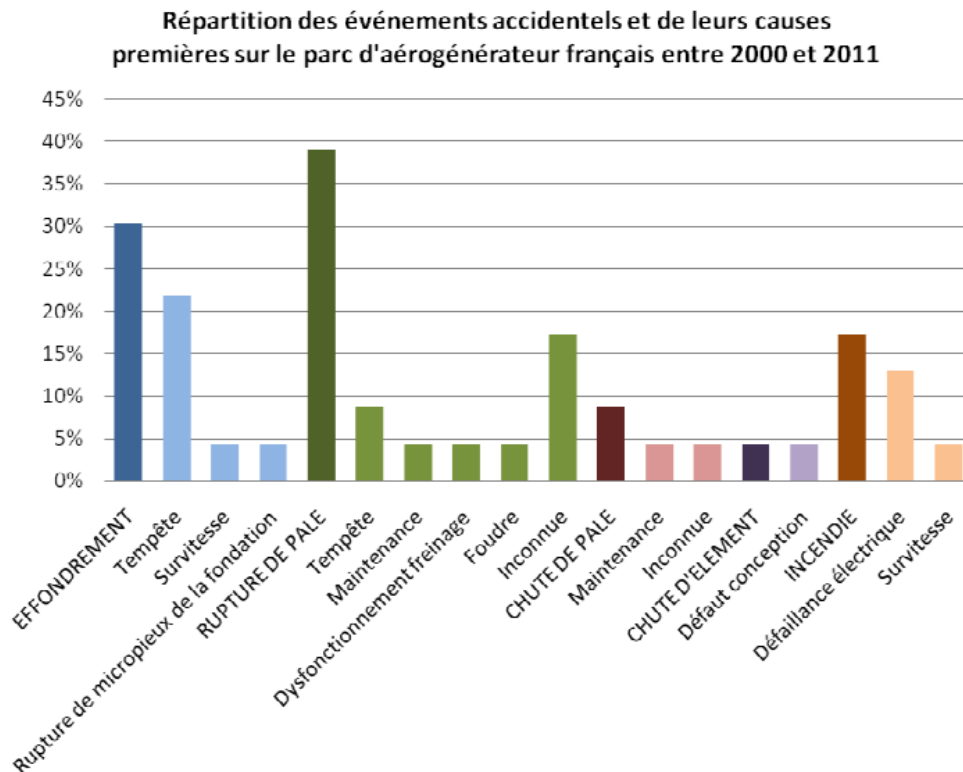
Dans le cadre de ce recensement, il n'a pas été réalisé d'enquête exhaustive directe auprès des exploitants de parcs éoliens français. Cette démarche pourrait augmenter le nombre d'incidents recensés, mais cela concernerait essentiellement les incidents les moins graves.

Dans l'état actuel, la base de données élaborée par le groupe de travail de SER/FEE ayant élaboré le guide technique d'élaboration de l'étude de dangers dans le cadre des parcs éoliens apparaît comme représentative des incidents majeurs ayant affecté le parc éolien français depuis l'année 2000. L'ensemble de ces sources permet d'arriver à un inventaire aussi complet que possible des incidents survenus en France. Un total de 37 incidents a pu être recensé entre 2000 et début 2012 (voir tableau détaillé en annexe). Ce tableau de travail a été validé par les membres du groupe de travail précédemment mentionné.

Il apparaît dans ce recensement que les aérogénérateurs accidentés sont principalement des modèles anciens ne bénéficiant généralement pas des dernières avancées technologiques.

Le graphique suivant montre la répartition des événements accidentels et de leurs causes premières sur le parc d'aérogénérateur français entre 2000 et 2011. Cette synthèse exclut les accidents du travail (maintenance, chantier de construction, etc.) et les événements qui n'ont pas conduit à des effets sur les zones autour des aérogénérateurs. Dans ce graphique sont présentés :

- La répartition des événements effondrement, rupture de pale, chute de pale, chute d'éléments et incendie, par rapport à la totalité des accidents observés en France. Elles sont représentées par des histogrammes de couleur foncée ;
- La répartition des causes premières pour chacun des événements décrits ci-dessus. Celle-ci est donnée par rapport à la totalité des accidents observés en France. Elles sont représentées par des histogrammes de couleur claire.



Par ordre d'importance, les accidents les plus recensés sont les ruptures de pale, les effondrements, les incendies, les chutes de pale et les chutes des autres éléments de l'éolienne. La principale cause de ces accidents est les tempêtes.

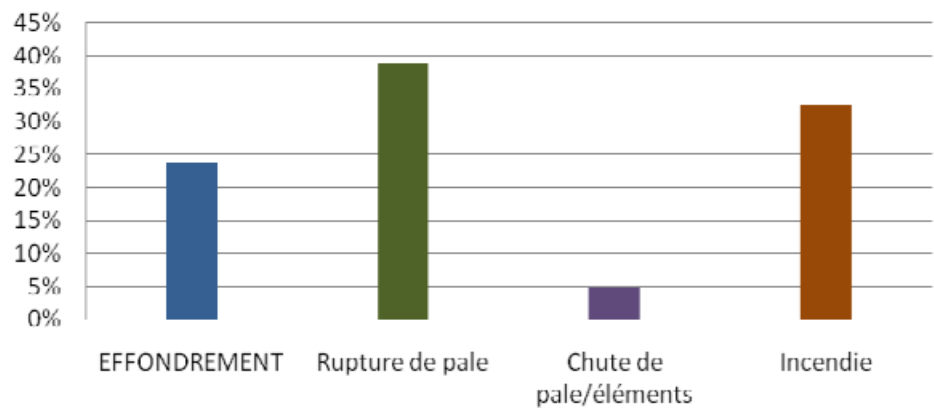
7.2 Inventaire des accidents et incidents à l'international

Un inventaire des incidents et accidents à l'international a également été réalisé. Il se base lui aussi sur le retour d'expérience de la filière éolienne fin 2010.

La synthèse ci-dessous provient de l'analyse de la base de données réalisée par l'association Caithness Wind Information Forum (CWIF). Sur les 994 accidents décrits dans la base de données au moment de sa consultation par le groupe de travail précédemment mentionné, seuls 236 sont considérés comme des « accidents majeurs ». Les autres concernant plutôt des accidents du travail, des presque-accidents, des incidents, etc. et ne sont donc pas pris en compte dans l'analyse suivante.

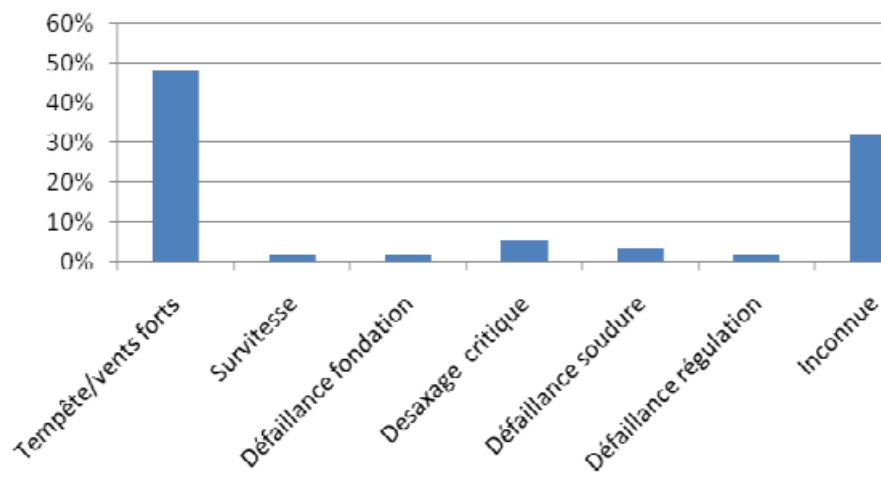
Le graphique suivant montre la répartition des événements accidentels par rapport à la totalité des accidents analysés.

Répartition des événements accidentels dans le monde entre 2000 et 2011

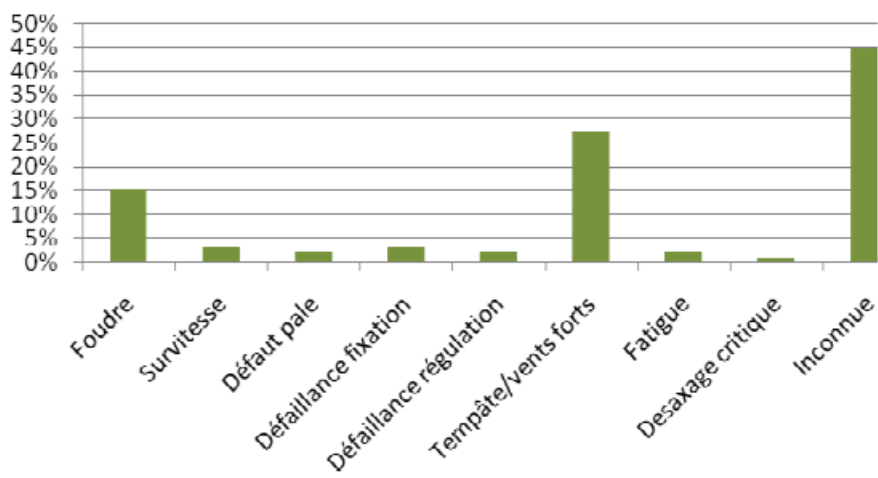


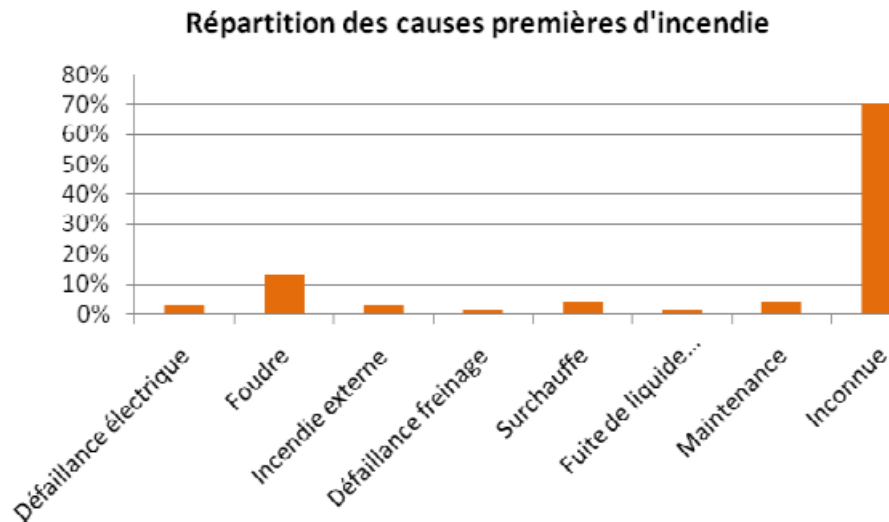
Ci-après, est présenté le recensement des causes premières pour chacun des événements accidentels recensés (données en répartition par rapport à la totalité des accidents analysés).

Répartition des causes premières d'effondrement



Répartition des causes premières de rupture de pale





Tout comme pour le retour d’expérience français, ce retour d’expérience montre l’importance des causes « tempêtes et vents forts » dans les accidents. Il souligne également le rôle de la foudre dans les accidents.

7.3 Inventaire des accidents majeurs survenus sur les sites de l’exploitant

Le parc éolien Kronospan Luxembourg S.A. n’est pas concerné par ce volet, les installations étant en cours de construction.

7.4 Synthèse des phénomènes dangereux redoutés issus du retour d’expérience

7.4.1 Analyse de l’évolution des accidents en France

A partir de l’ensemble des phénomènes dangereux qui ont été recensés, il est possible d’étudier leur évolution en fonction du nombre d’éoliennes installées.

La figure ci-dessous montre cette évolution et il apparaît clairement que le nombre d’incidents n’augmente pas proportionnellement au nombre d’éoliennes installées. Depuis 2005, l’énergie éolienne s’est en effet fortement développée en France, mais le nombre d’incidents par an reste relativement constant.

Cette tendance s’explique principalement par un parc éolien français assez récent, qui utilise majoritairement des éoliennes de nouvelle génération, équipées de technologies plus fiables et plus sûres.

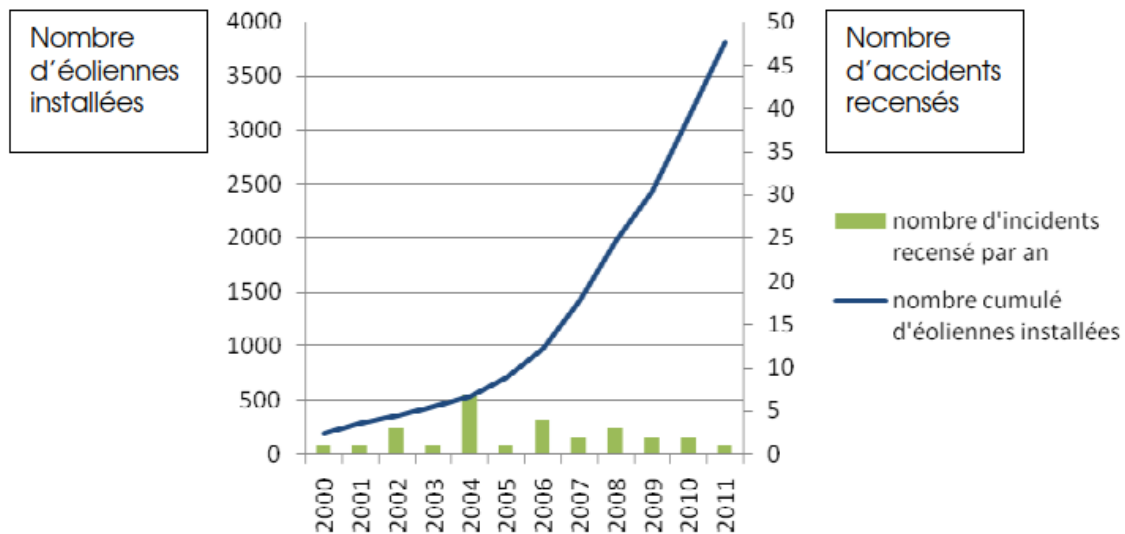


Figure 37 - Evolution du nombre d'incidents annuels en France et nombre d'éoliennes installées

7.4.2 Analyse des typologies d'accidents les plus fréquents

Le retour d'expérience de la filière éolienne française et internationale permet d'identifier les principaux événements redoutés suivants :

- Effondrements
- Ruptures de pales
- Chutes de pales et d'éléments de l'éolienne
- Incendie

7.4.3 Limites d'utilisation de l'accidentologie

Ces retours d'expérience doivent être pris avec précaution. Ils comportent notamment les biais suivants :

La non-exhaustivité des événements : ce retour d'expérience, constitué à partir de sources variées, ne provient pas d'un système de recensement organisé et systématique. Dès lors certains événements ne sont pas reportés. En particulier, les événements les moins spectaculaires peuvent être négligés : chutes d'éléments, projections et chutes de glace ;

La non-homogénéité des aérogénérateurs inclus dans ce retour d'expérience : les aérogénérateurs observés n'ont pas été construits aux mêmes époques et ne mettent pas en œuvre les mêmes technologies. Les informations sont très souvent manquantes pour distinguer les différents types d'aérogénérateurs (en particulier concernant le retour d'expérience mondial) ;

Les importantes incertitudes sur les causes et sur la séquence qui a mené à un accident : de nombreuses informations sont manquantes ou incertaines sur la séquence exacte des accidents ;

L'analyse du retour d'expérience permet ainsi de dégager de grandes tendances, mais à une échelle détaillée, elle comporte de nombreuses incertitudes.

8 ANALYSE DES RETOURS D'EXPERIENCE

8.1 Objectif de l'analyse préliminaire des risques

L'analyse des risques a pour objectif principal d'identifier les scénarios d'accident majeurs et les mesures de sécurité qui empêchent ces scénarios de se produire ou en limitent les effets.

Cet objectif est atteint au moyen d'une identification de tous les scénarios d'accident potentiels pour une installation (ainsi que des mesures de sécurité) basée sur un questionnement systématique des causes et conséquences possibles des événements accidentels, ainsi que sur le retour d'expérience disponible.

Les scénarios d'accident sont ensuite hiérarchisés en fonction de leur intensité et de l'étendue possible de leurs conséquences. Cette hiérarchisation permet de « filtrer » les scénarios d'accident qui présentent des conséquences limitées et les scénarios d'accident majeurs – ces derniers pouvant avoir des conséquences sur les personnes.

8.2 Recensement des événements initiateurs exclus de l'analyse des risques

Conformément à la circulaire du 10 mai 2010, les événements initiateurs (ou agressions externes) suivants sont exclus de l'analyse des risques :

- Chute de météorite
- Séisme d'amplitude supérieure aux séismes maximums de référence éventuellement corrigés de facteurs, tels que définis par la réglementation applicable aux installations classées considérées
- Crues d'amplitude supérieure à la crue de référence, selon les règles en vigueur
- Événements climatiques d'intensité supérieure aux événements historiquement connus ou prévisibles pouvant affecter l'installation, selon les règles en vigueur
- Chute d'avion hors des zones de proximité d'aéroport ou aérodrome (rayon de 2 km des aéroports et aérodromes)
- Rupture de barrage de classe A ou B au sens de l'article R.214-112 du Code de l'environnement ou d'une digue de classe A, B ou C au sens de l'article R. 214-113 du même code
- Actes de malveillance

D'autre part, plusieurs autres agressions externes qui ont été détaillées dans l'état initial peuvent être exclues de l'analyse préliminaire des risques car les conséquences propres de ces événements, en termes de gravité et d'intensité, sont largement supérieures aux conséquences potentielles de l'accident qu'ils pourraient entraîner sur les aérogénérateurs.

Le risque de suraccident lié à l'éolienne est considéré comme négligeable dans le cas d'événements suivants :

- Inondations ;
- Séismes d'amplitude suffisante pour avoir des conséquences notables sur les infrastructures ;
- Incendies de cultures ou de forêts ;
- Pertes de confinement de canalisations de transport de matières dangereuses ;
- Explosions ou incendies générés par un accident sur une activité voisine de l'éolienne.

8.3 Recensement des agressions externes potentielles

La première étape de l'analyse des risques consiste à recenser les « agressions externes potentielles ». Ces agressions provenant d'une activité ou de l'environnement extérieur sont des événements susceptibles d'endommager ou de détruire les aérogénérateurs de manière à initier un accident qui peut à son tour impacter des personnes. Par exemple, un séisme peut endommager les fondations d'une éolienne et conduire à son effondrement.

Traditionnellement, deux types d’agressions externes sont identifiés :

- Les agressions externes liées aux activités humaines ;
- Les agressions externes liées à des phénomènes naturels.

Les tableaux suivants constituent une synthèse des agressions externes identifiées par le groupe de travail à l’origine du présent guide.

8.3.1 Agressions externes liées aux phénomènes naturels

Le tableau ci-dessous synthétise les principales agressions externes liées aux activités humaines

Infrastructure		Voie de circulation	Aérodrome	Ligne électrique très haute tension	Aérogénérateur
Evènement redouté		Accident entraînant la sortie de voie de véhicules	Chute d’aéronef	Rupture de câble	Accident générant des projections d’éléments
Danger potentiel		Energie cinétique des véhicules et flux thermiques	Energie cinétique des aéronefs et flux thermiques	Arcs électriques et surtensions	Energie cinétique des éléments projetés
Périmètre d’interaction retenu		200 m	2 000 m	200 m	500 m
Distance par rapport au mât de l’éolienne	E1	NC	NC	NC	400 m
	E2	NC	NC	NC	400 m

Tableau 1 : Principale agressions liés aux activités humaines (Source : INERIS)

8.3.2 Agressions externes liées aux phénomènes naturels

Le tableau ci-dessous synthétise les principales agressions externes liées aux naturels :

Agression externe	Intensité
Tempête et vents forts	<ul style="list-style-type: none">- En moyenne 1 jour par an avec vent >100 km/h (tempête)- Zone non affectée par des cyclones tropicaux
Foudre	<ul style="list-style-type: none">- Niveau kéraunique non communiqué- Respect de la norme IEC 61400-24
Mouvement de terrain	<ul style="list-style-type: none">- Zone non soumise à des mouvements de terrain

Tableau 2 : Principales agressions externes liées aux phénomènes naturels

Le cas spécifique des effets directs de la foudre et du risque de « tension de pas » n’est pas traité dans l’analyse des risques et dans l’étude détaillée des risques dès lors qu’il est vérifié que la norme IEC 61 400-24 (Juin 2010) ou la norme EN 62 305-3 (Décembre 2006) est respectée. Ces conditions sont reprises dans la fonction de sécurité n°6 ci-après.

En ce qui concerne la foudre, on considère que le respect des normes rend le risque d’effet direct de la foudre négligeable (risque électrique, risque d’incendie, etc.). En effet, le système de mise à la terre permet d’évacuer l’intégralité du courant de foudre. Cependant, les conséquences indirectes de la foudre, comme la possible fragilisation progressive de la pale, sont prises en compte dans les scénarios de rupture de pale.

8.4 Scénarios étudiés dans l'analyse préliminaire des risques

Le tableau ci-dessous présente une proposition d'analyse générique des risques. Celui-ci est construit de la manière suivante :

- Une description des causes et de leur séquençage (événements initiateurs et événements intermédiaires) ;
- Une description des événements redoutés centraux qui marquent la partie incontrôlée de la séquence d'accident ;
- Une description des fonctions de sécurité permettant de prévenir l'événement redouté central ou de limiter les effets du phénomène dangereux ;
- Une description des phénomènes dangereux dont les effets sur les personnes sont à l'origine d'un accident
- Une évaluation préliminaire de la zone d'effets attendue de l ces événements

L'échelle utilisée pour l'évaluation de l'intensité des événements a été adaptée au cas des éoliennes :

- « 1 » correspond à un phénomène limité ou se cantonnant au surplomb de l'éolienne ;
- « 2 » correspond à une intensité plus importante et impactant potentiellement des personnes autour de l'éolienne.

Les différents scénarios listés dans le tableau générique de l'APR sont regroupés et numérotés par thématique, en fonction des typologies d'événement redoutés centraux identifiés grâce au retour d'expérience groupe de travail précédemment cité (« G » pour les scénarios concernant la glace, « I » pour ceux concernant l'incendie, « F » pour ceux concernant les fuites, « C » pour ceux concernant la chute d'éléments de l'éolienne, « P » pour ceux concernant les risques de projection, « E » pour ceux concernant les risques d'effondrement).

N°	Evènement initiateur	Evènement intermédiaire	Evènement redouté central	Fonction de sécurité (intitulé générique)	Phénomène dangereux	Qualification de la zone d'effet
G0 1	Conditions climatiques favorables à la formation de glace	Dépôt de glace sur les pales, le mât et la nacelle	Chute de glace lorsque les éoliennes sont arrêtées	Prévenir l'atteinte des personnes par la chute de glace (n°2)	Impact de glace sur les enjeux	1
G0 2	Conditions climatiques favorables à la formation de glace	Dépôt de glace sur les pales	Projection de glace lorsque les éoliennes sont en mouvement	Prévenir la mise en mouvement de l'éolienne lors de la formation de la glace (n°1)	Impact de glace sur les enjeux	2
I01	Humidité/gel	Court-circuit	Incendie de tout ou partie de l'éolienne	Prévenir les courts-circuits (n°5)	Chute/projection d'éléments enflammés Propagation de l'incendie	2
I02	Dysfonctionnement électrique	Court-circuit	Incendie de tout ou partie de l'éolienne	Prévenir les courts-circuits (n°5)	Chute/projection d'éléments enflammés	2

					Propagation de l'incendie	
I03	Survitesse	Echauffement des parties mécaniques et inflammation	Incendie de tout ou partie de l'éolienne	Prévenir l'échauffement significatif des pièces mécaniques (N°3) Prévenir la survitesse (N°4)	Chute/projection d'éléments enflammés Propagation de l'incendie	2
I04	Désaxage de la génératrice / Pièce défectueuse / Défaut de lubrification	Echauffement des parties mécaniques et inflammation	Incendie de tout ou partie de l'éolienne	Prévenir l'échauffement significatif des pièces mécaniques (N°3)	Chute/projection d'éléments enflammés Propagation de l'incendie	2
I05	Conditions climatiques humides	Surtension	Court-circuit	Prévenir les courts-circuits (N°5) Protection et intervention incendie (N°7)	Incendie poste de livraison (flux thermiques + fumées toxiques SF6) Propagation de l'incendie	2
I06	Rongeur	Surtension	Court-circuit	Prévenir les courts-circuits (N°5) Protection et intervention incendie (N°7)	Incendie poste de livraison (flux thermiques + fumées toxiques SF6) Propagation de l'incendie	2
I07	Défaut d'étanchéité	Perte de confinement	Fuites d'huile isolante	Prévention et rétention des fuites (N°8)	Incendie au poste de transformation Propagation de l'incendie	2
F01	Fuite système de lubrification Fuite convertisseur	Ecoulement hors de la nacelle et le long du mât, puis sur le sol	Infiltration d'huile dans le sol	Prévention et rétention des fuites (N°8)	Pollution environnement	1

	Fuite transformateur	avec infiltration				
F02	Renversement de fluides lors des opérations de maintenance	Ecoulement	Infiltration d'huile dans le sol	Prévention et rétention des fuites (N°8)	Pollution environnement	1
C0 1	Défaut de fixation	Chute de trappe	Chute d'élément de l'éolienne	Prévenir les erreurs de maintenance (N°10)	Impact sur cible	1
C0 2	Défaillance fixation anémomètre	Chute anémomètre	Chute d'élément de l'éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N°9)	Impact sur cible	1
C0 3	Défaut fixation nacelle – pivot central – mât	Chute nacelle	Chute d'élément de l'éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N°9)	Impact sur cible	1
P01	Survitesse	Contraintes trop importantes sur les pales	Projection de tout ou partie pale	Prévenir la sur vitesse (N°4)	Impact sur cible	2
P02	Fatigue / Corrosion	Chute de fragment de pale	Projection de tout ou partie pale	Prévenir la dégradation de l'état des équipements (N°11)	Impact sur cible	2
P03	Serrage inapproprié Erreur maintenance – desserrage	Chute de fragment de pale	Projection de tout ou partie pale	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N°9)	Impact sur cible	2

E01	Effets dominos autres installations	Agression externe et fragilisation structure	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N°9)	Projection/ chute fragments et chute mât	2
E02	Glissement de sol	Agression externe et fragilisation structure	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N°9)	Projection/chut e fragments et chute mât	2
E05	Crash d'aéronef	Agression externe et fragilisation structure	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N°9)	Projection/chut e fragments et chute mât	2
E07	Effondrement engin de levage travaux	Agression externe et fragilisation structure	Effondrement éolienne	Actions de prévention mises en œuvre dans le cadre du plan de prévention (N°13)	Chute fragments et chute mât	2
E08	Vents forts	Défaillance fondation	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N°9) Prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en	Projection/ chute fragments et chute mât	2

				cas de vent fort (N°12)		
E09	Fatigue	Défaillance mât	Effondrement éolienne	Prévenir la dégradation de l'état des équipements (N°11)	Projection / chute fragments et chute mât	2
E10	Désaxage critique du rotor	Impact pale mât	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N°9) Prévenir les erreurs de maintenance (N°10)	Projection/chute fragments et chute mât	2

Ce tableau présentant le résultat d’une analyse des risques peut être considéré comme représentatif des scénarios d’accident pouvant potentiellement se produire sur les éoliennes.

8.5 Effets dominos

Lors d’un accident majeur sur une éolienne, une possibilité est que les effets de cet accident endommagent d’autres installations. Ces dommages peuvent conduire à un autre accident.

Par exemple, la projection de pale impactant les canalisations d’une usine à proximité peut conduire à des fuites de canalisations de substances dangereuses. Ce phénomène est appelé « effet domino ».

Les effets dominos susceptibles d’impacter les éoliennes sont décrits dans le tableau d’analyse des risques générique présenté ci-dessus.

En ce qui concerne les accidents sur des aérogénérateurs qui conduiraient à des effets dominos sur d’autres installations, le paragraphe 1.2.2 de la circulaire du 10 mai 2010 précise :

« [...] seuls les effets dominos générés par les fragments sur des installations et équipements proches ont vocation à être pris en compte dans les études de dangers [...]. Pour les effets de projection à une distance plus lointaine, l’état des connaissances scientifiques ne permet pas de disposer de prédictions suffisamment précises et crédibles de la description des phénomènes pour déterminer l’action publique ».

C’est la raison pour laquelle, il est proposé de négliger les conséquences des effets dominos dans le cadre de la présente étude.

Dans le cadre des études de dangers éoliennes, il est proposé de limiter l’évaluation de la probabilité d’impact d’un élément de l’aérogénérateur sur une autre installation classée se situe à moins de 100 mètres. Ici aucune autre installation classée se situe à moins de 100 mètres du parc éolien.

8.6 Mise en place des mesures de sécurité

Les tableaux suivants ont pour objectif de synthétiser les fonctions de sécurité identifiées et mise en œuvre sur les éoliennes du parc Kronospan Luxembourg S.A. Dans le cadre de la présente étude de dangers, les fonctions de sécurité sont détaillées selon les critères suivants :

- **Fonction de sécurité** : il est proposé ci-dessous un tableau par fonction de sécurité. Cet intitulé décrit l'objectif de la ou des mesure(s) de sécurité : il s'agira principalement de « empêcher, éviter, détecter, contrôler ou limiter » et sera en relation avec un ou plusieurs événements conduisant à un accident majeur identifié dans l'analyse des risques. Plusieurs mesures de sécurité peuvent assurer une même fonction de sécurité.
 - **Numéro de la fonction de sécurité** : ce numéro vise à simplifier la lecture de l'étude de dangers en permettant des renvois à l'analyse de risque par exemple.
 - **Mesures de sécurité** : cette ligne permet d'identifier les mesures assurant la fonction concernée. Dans le cas de systèmes instrumentés de sécurité, tous les éléments de la chaîne de sécurité sont présentés (détection + traitement de l'information + action).
 - **Description** : cette ligne permet de préciser la description de la mesure de maîtrise des risques, lorsque des détails supplémentaires sont nécessaires.
 - **Indépendance** (« oui » ou « non ») : cette caractéristique décrit le niveau d'indépendance d'une mesure de maîtrise des risques vis-à-vis des autres systèmes de sécurité et des scénarios d'accident. Cette condition peut être considérée comme remplie (renseigner « oui » ou non (renseigner « non »).
 - **Temps de réponse** (en secondes ou en minutes) : cette caractéristique mesure le temps requis entre la sollicitation et l'exécution de la fonction de sécurité.
 - **Efficacité (100% ou 0%)** : l'efficacité mesure la capacité d'une mesure de maîtrise des risques à remplir la fonction de sécurité qui lui est confiée pendant une durée donnée et dans son contexte d'utilisation.
 - **Test (fréquence)** : dans ce champ sont rappelés les tests/essais qui seront réalisés sur les mesures de maîtrise des risques. Conformément à la réglementation, un essai d'arrêt, d'arrêt d'urgence et d'arrêt à partir d'une situation de survitesse seront réalisés avant la mise en service de l'aérogénérateur. Dans tous les cas, les tests effectués sur les mesures de maîtrise des risques seront tenus à la disposition de l'inspection des installations classées pendant l'exploitation de l'installation.
 - **Maintenance (fréquence)** : ce critère porte sur la périodicité des contrôles qui permettront de vérifier la performance de la mesure de maîtrise des risques dans le temps. Pour rappel, la réglementation demande qu'à minima : un contrôle tous les ans soit réalisé sur la performance des mesures de sécurité permettant de mettre à l'arrêt, à l'arrêt d'urgence et à l'arrêt à partir d'une situation de survitesse et sur tous les systèmes instrumentés de sécurité.
- ① Note 1 : Pour certaines mesures de maîtrise des risques, certains de ces critères peuvent ne pas être applicables. Il convient alors de renseigner le critère correspondant avec l'acronyme « NA » (Non Applicable).
- ① Note 2 : Certaines mesures de maîtrise des risques ne remplissent pas les critères « efficacité » ou « indépendance » : elles ont une fiabilité plus faible que d'autres mesures de maîtrise des risques. Celles-ci peuvent néanmoins être décrites dans le tableau ci-dessous dans la mesure où elles concourent à une meilleure sécurité sur le site d'exploitation.

Fonction de sécurité	Prévenir la mise en mouvement de l'éolienne lors de la formation de glace	N° de la fonction de sécurité	1
Mesures de sécurité	Système de détection ou de déduction de la formation de glace sur les pales de l'aérogénérateur. Procédure adéquate de redémarrage.		
Description	<p>Système de détection redondant du givre permettant, en cas de détection de glace, une mise à l'arrêt rapide de l'aérogénérateur.</p> <p>Le redémarrage peut ensuite se faire soit automatiquement après disparition des conditions de givre, soit manuellement après inspection visuelle sur site.</p>		
Indépendance	<p>Non</p> <p>Les systèmes traditionnels s'appuient généralement sur des fonctions et des appareils propres à l'exploitation du parc. En cas de danger particulièrement élevé sur site (survol d'une zone fréquentée sur site soumis à des conditions de gel importantes), des systèmes additionnels peuvent être envisagés.</p>		
Temps de réponse	Quelques minutes (<60 min.) conformément à l'article 25 de l'arrêté du 26 août 2011		
Efficacité	100 %		
Tests	Tests menés par le concepteur au moment de la construction de l'éolienne		
Maintenance	Vérification du système au bout de 3 mois de fonctionnement puis maintenance de remplacement en cas de dysfonctionnement de l'équipement		

Fonction de sécurité	Prévenir l'atteinte des personnes par la chute de glace	N° de la fonction de sécurité	2
Mesures de sécurité	<p>Panneautage en pied de machine</p> <p>Eloignement des zones habitées et fréquentées</p>		
Description	Mise en place de panneaux informant de la possible formation de glace en pied de machines (conformément à l'article 14 de l'arrêté du 26 août 2011).		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	NA		
Efficacité	100 %. Nous considérons que compte tenu de l'implantation des panneaux et de l'entretien prévu, l'information des promeneurs sera systématique.		
Tests	NA		
Maintenance	Vérification de l'état général du panneau, de l'absence de détérioration, entretien de la végétation afin que le panneau reste visible.		

Fonction de sécurité	Prévenir l'échauffement significatif des pièces mécaniques	N° de la fonction de sécurité	3
Mesures de sécurité	Capteurs de température des pièces mécaniques Définition de seuils critiques de température pour chaque type de composant avec alarmes Mise à l'arrêt ou bridge jusqu'à refroidissement		
Description	/		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	NA		
Efficacité	100%		
Tests	A préciser si possible		
Maintenance	Vérification du système au bout de 3 mois de fonctionnement puis contrôle annuel conformément à l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2011. Maintenance de remplacement en cas de remplacement en cas de dysfonctionnement de l'équipement.		

Fonction de sécurité	Prévenir la survitesse	N° de la fonction de sécurité	4
Mesures de sécurité	Détection de survitesse et système de freinage		
Description	Systèmes de coupure s'enclenchant en cas de dépassement des seuils de vitesse prédéfinis, indépendamment du système de contrôle commande. NB : Le système de freinage est constitué d'un frein aérodynamique principal (mise en drapeau des pales) et / ou d'un frein mécanique auxiliaire.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	Temps de détection < 1 minute L'exploitant ou l'opérateur désigné sera en mesure de transmettre l'alerte aux services d'urgence compétents dans un délai de 15 minutes suivant l'entrée en fonctionnement anormal de l'aérogénérateur conformément aux dispositions de l'arrêté du 26 août 2011.		
Efficacité	100%		
Tests	Test d'arrêt simple, d'arrêt d'urgence et de la procédure d'arrêt en cas de survitesse avant la mise en service des aérogénérateurs conformément à l'article 15 de l'arrêté du 26 août 2011.		
Maintenance	Vérification du système au bout de 3 mois de fonctionnement puis contrôle annuel conformément à l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2011.		

	(Notamment de l'usure du frein et de pression du circuit de freinage d'urgence.) Maintenance de remplacement en cas de dysfonctionnement de l'équipement.
--	--

Fonction de sécurité	Prévenir les courts-circuits	N° de la fonction de sécurité	5
Mesures de sécurité	Coupure de la transmission électrique en cas de fonctionnement anormal d'un composant électrique.		
Description	Les organes et armoires électriques de l'éolienne sont équipés d'organes de coupures et de protection adéquats et correctement dimensionnés. Tout fonctionnement anormal des composants électriques est suivi d'une coupure de la transmission électriques et à la transmission d'un signal d'alerte vers l'exploitant qui prend alors les mesures appropriées.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	De l'ordre de la seconde		
Efficacité	100 %		
Tests	/		
Maintenance	Des vérifications de tous les composants électriques ainsi que des mesures d'isolement et de serrage des câbles sont intégrées dans la plupart des mesures de maintenance préventive mises en œuvre. Les installations électriques sont contrôlées avant la mise en service du parc puis à une fréquence annuelle, conformément à l'article 10 de l'arrêté du 26 août 2011.		

Fonction de sécurité	Prévenir les effets de la foudre	N° de la fonction de sécurité	6
Mesures de sécurité	Mise à la terre et protection des éléments de l'aérogénérateur.		
Description	Respect de la norme IEC 61 400 – 24 (juin 2010) Dispositif de capture + mise à la terre Parasurtenseurs sur les circuits électriques		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	Immédiat dispositif passif		
Efficacité	100 %		
Tests	/		
Maintenance	Contrôle visuel des pales et des éléments susceptibles d'être impactés par la foudre inclus dans les opérations de maintenance, conformément à l'article 9 de l'arrêté du 26 août 2011.		

Fonction de sécurité	Prévenir et intervention incendie	N° de la fonction de sécurité	7
Mesures de sécurité	Capteurs de températures sur les principaux composants de l'éolienne pouvant permettre, en cas de dépassement des seuils, la mise à l'arrêt de la machine Système de détection incendie relié à une alarme transmise à un poste de contrôle Intervention des services de secours		
Description	Détecteurs de fumée qui lors de leur déclenchement conduisent à la mise en arrêt de la machine et au découplage du réseau électrique. De manière concomitante, un message d'alarme est envoyé au centre de télésurveillance. L'éolienne est également équipée d'extincteurs qui peuvent être utilisés par les personnels d'intervention (cas d'un incendie se produisant en période de maintenance)		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	< 1 minute pour les détecteurs et l'enclenchement de l'alarme L'exploitant ou l'opérateur désigné sera en mesure de transmettre l'alerte aux services d'urgence compétents dans un délai de 15 minutes suivant l'entrée en fonctionnement anormal de l'aérogénérateur. Le temps d'intervention des services de secours est quant à lui dépendant de la zone géographique.		
Efficacité	100 %		
Tests	/		

Maintenance	<p>Vérification du système au bout de 3 mois de fonctionnement puis contrôle annuel conformément à l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2011.</p> <p>Le matériel incendie (type extincteurs) est contrôlé périodiquement par le fabricant du matériel ou un organisme extérieur.</p> <p>Maintenance curative suite à une défaillance du matériel.</p>
--------------------	--

Fonction de sécurité	Prévenir et rétention des fuites	N° de la fonction de sécurité	8
Mesures de sécurité	Détecteurs de niveau d'huiles Procédure d'urgence Kit antipollution		
Description	<p>Nombreux détecteurs de niveau d'huile permettant de détecter les éventuelles fuites d'huile et d'arrêter l'éolienne en cas d'urgence.</p> <p>Les opérations de vidange font l'objet de procédures spécifiques. Dans tous les cas, le transfert des huiles s'effectue de manière sécurisée via un système de tuyauterie et de pompes directement entre l'élément à vidanger et le camion de vidange.</p> <p>Des kits de dépollution d'urgence composés de grandes feuilles de textile absorbant pourront être utilisés afin :</p> <ul style="list-style-type: none"> - De contenir et arrêter la propagation de la pollution - D'absorber jusqu'à 20 litres de déversements accidentels de liquides (Huile, eau, alcools ...) et produits chimiques (acides, bases, solvants ...) - de récupérer les déchets absorbés. <p>Si ces kits de dépollution s'avèrent insuffisants, une société spécialisée récupérera et traitera le gravier souillé via les filières adéquates, puis le remplacera par un nouveau revêtement.</p>		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	Dépendant du débit de fuite		
Efficacité	100 %		
Tests	/		
Maintenance	Inspection des niveaux d'huile plusieurs fois par an		

Fonction de sécurité	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation)	N° de la fonction de sécurité	9
Mesures de sécurité	Contrôles réguliers des fondations et des différentes pièces d'assemblages (ex : brides ; joints, etc.) Procédures qualités Attestation du contrôle technique (procédure permis de construire)		
Description	La norme IEC 61 400-1 « Exigence pour la conception des aérogénérateurs » fixe les prescriptions propres à fournir « un niveau approprié de protection contre les dommages résultant de tout risque durant la durée de vie » de l'éolienne. Ainsi la nacelle, le nez, les fondations et la tour répondent au standard IEC 61 400-1. Les pales respectent le standard IEC 61 400-1 ; 12 ; 23. Les éoliennes sont protégées contre la corrosion due à l'humidité de l'air, selon la norme ISO 9223.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	NA		
Efficacité	100 %		
Tests	NA		
Maintenance	Les couples de serrage (brides sur les diverses sections de la tour, bride de raccordement des pales au moyeu, bride de raccordement du moyeu à l'arbre lent, éléments du châssis, éléments du pitch system, couronne du Yam Gear, boulons de fixation de la nacelle...) sont vérifiés au bout de 3 mois de fonctionnement puis tous les 3 ans, conformément à l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2011.		

Fonction de sécurité	Prévenir les erreurs de maintenance	N° de la fonction de sécurité	10
Mesures de sécurité	Procédure maintenance		
Description	Préconisations du manuel de maintenance Formation du personnel		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	NA		
Efficacité	100 %		
Tests	A préciser si possible		
Maintenance	NA		

Fonction de sécurité	Prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de vent fort	N° de la fonction de sécurité	11
Mesures de sécurité	Classe d'éolienne adaptée au site et au régime de vents. Détection et prévention des vents forts et tempêtes. Arrêt automatique et diminution de la prise au vent de l'éolienne (mise en drapeau progressive des pâles) par le système de conduite		
Description	L'éolienne est mise à l'arrêt si la vitesse de vent mesurée dépasse la vitesse maximale pour laquelle elle a été conçue.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	< 1 min		
Efficacité	100 %. NB : En fonction de l'intensité attendue des vents, d'autres dispositifs de diminution de la prise au vent de l'éolienne peuvent être envisagés.		
Tests	A préciser si possible		
Maintenance	A préciser si possible		

Fonction de sécurité	Prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de cyclones dans les zones cycloniques.	N° de la fonction de sécurité	12
Mesures de sécurité	Mise en place d'une procédure de veille cyclonique et d'intervention + mise en œuvre d'éoliennes équipées de dispositifs anticycloniques permettant abattage et arrimage au sol des éléments les plus sensibles, en particulier les pales		
Description	L'ensemble de la structure [mât et/ou nacelle + hélice] peut être rabattu et arrimé au sol Détection des cyclones Formation des opérateurs Mise en place d'une procédure d'intervention suivant les niveaux d'alerte		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	A préciser si possible.		
Efficacité	100 %.		
Tests	A préciser si possible		
Maintenance	Contrôle et entretien des équipements de repli cyclonique.		

L'ensemble des procédures de maintenance et des contrôles d'efficacité des systèmes sera conforme à l'arrêté du 26 août 2011.

Notamment, suivant une périodicité qui ne peut excéder un an, l'exploitant réalise une vérification de l'état fonctionnel des équipements de mise à l'arrêt, de mise à l'arrêt d'urgence et de mise à l'arrêt depuis un régime de survitesse en application des préconisations du constructeur de l'aérogénérateur.

8.7 Conclusion de l'analyse préliminaire des dangers

Dans le cadre de l'analyse préliminaire des risques génériques des parcs éoliens, quatre catégories de scénarios sont a priori exclues de l'étude détaillée, en raison de leur faible intensité :

Nom du scénario exclu	Justification
Incendie de l'éolienne (effets thermiques)	<p>En cas d'incendie de nacelle, et en raison de la hauteur des nacelles, les effets thermiques ressentis au sol seront mineurs.</p> <p>Par exemple, dans le cas d'un incendie de nacelle située à 50 mètres de hauteur, la valeur seuil de 3 kW/m² n'est pas atteinte.</p> <p>Dans le cas d'un incendie au niveau du mât les effets sont également mineurs et l'arrêté du 26 Août 2011 encadre déjà largement la sécurité des installations. Ces effets ne sont donc pas étudiés dans l'étude détaillée des risques.</p> <p>Néanmoins il peut être redouté que des chutes d'éléments (ou des projections) interviennent lors d'un incendie. Ces effets sont étudiés avec les projections et les chutes d'éléments.</p>
Incendie du poste de livraison ou du transformateur	<p>En cas d'incendie de ces éléments, les effets ressentis à l'extérieur des bâtiments (poste de livraison) seront mineurs ou inexistants du fait notamment de la structure en béton.</p> <p>De plus, la réglementation encadre déjà largement la sécurité de ces installations (l'arrêté du 26 août 2011 [9] et impose le respect des normes NFC 15-100, NFC 13-100 et NFC 13-200)</p>
Chute et projection de glace dans les cas particuliers où les températures hivernales ne sont pas inférieures à 0°C	<p>Lorsqu'un aérogénérateur est implanté sur un site où les températures hivernales ne sont pas inférieures à 0°C, il peut être considéré que le risque de chute ou de projection de glace est nul.</p> <p>Des éléments de preuves doivent être apportés pour identifier les implantations où de telles conditions climatiques sont applicables.</p>
Infiltration d'huile dans le sol	<p>En cas d'infiltration d'huiles dans le sol, les volumes de substances libérées dans le sol restent mineurs.</p> <p>Ce scénario peut ne pas être détaillé dans le chapitre de l'étude détaillée des risques sauf en cas d'implantation dans un périmètre de protection rapprochée d'une nappe phréatique.</p>

Les cinq catégories de scénarios étudiées dans l'étude détaillée des risques sont les suivantes :

- Projection de tout ou une partie de pale
- Effondrement de l'éolienne
- Chute d'éléments de l'éolienne
- Chute de glace
- Projection de glace

Ces scénarios regroupent plusieurs causes et séquences d'accident. En estimant la probabilité, gravité, cinétique et intensité de ces événements, il est possible de caractériser les risques pour toutes les séquences d'accidents.

9 ETUDE DETAILLEE DES RISQUES

L'étude détaillée des risques vise à caractériser les scénarios retenus à l'issue de l'analyse préliminaire des risques en termes de probabilité, cinétique, intensité et gravité. Son objectif est donc de préciser le risque généré par l'installation et d'évaluer les mesures de maîtrise des risques mises en œuvre. L'étude détaillée permet de vérifier l'acceptabilité des risques potentiels générés par l'installation.

9.1 Rappels des définitions

Les règles méthodologiques applicables pour la détermination de l'intensité, de la gravité et de la probabilité des phénomènes dangereux sont précisées dans l'arrêté ministériel du 29 septembre 2005.

Cet arrêté ne prévoit de détermination de l'intensité et de la gravité que pour les effets de surpression, de rayonnement thermique et de toxique.

Cet arrêté est complété par la circulaire du 10 mai 2010 récapitulant les règles méthodologiques applicables aux études de dangers, à l'appréciation de la démarche de réduction du risque à la source et aux plans de prévention des risques technologiques (PPRT) dans les installations classées en application de la loi du 30 juillet 2003.

Cette circulaire précise en son point 1.2.2 qu'à l'exception de certains explosifs pour lesquels les effets de projection présentent un comportement caractéristique à faible distance, les projections et chutes liées à des ruptures ou fragmentations ne sont pas modélisées en intensité et gravité dans les études de dangers.

Force est néanmoins de constater que ce sont les seuls phénomènes dangereux susceptibles de se produire sur des éoliennes.

Afin de pouvoir présenter des éléments au sein de cette étude de dangers, il est proposé de recourir à la méthode ad hoc préconisée par le guide technique nationale relatif à l'étude de dangers dans le cadre d'un parc éolien dans sa version de mai 2012. Cette méthode est inspirée des méthodes utilisées pour les autres phénomènes dangereux des installations classées, dans l'esprit de la loi du 30 juillet 2003.

Cette première partie de l'étude détaillée des risques consiste donc à rappeler les définitions de chacun de ces paramètres, en lien avec les références réglementaires correspondantes.

9.1.1 Cinétique

La cinétique d'un accident est la vitesse d'enchaînement des événements constituant une séquence accidentelle, de l'événement initiateur aux conséquences sur les éléments vulnérables.

Selon l'article 8 de l'arrêté du 29 septembre 2005 [13], la cinétique peut être qualifiée de « lente » ou de « rapide ». Dans le cas d'une cinétique lente, les personnes ont le temps d'être mises à l'abri à la suite de l'intervention des services de secours. Dans le cas contraire, la cinétique est considérée comme rapide.

Dans le cadre d'une étude de dangers pour des aérogénérateurs, il est supposé, de manière prudente, que tous les accidents considérés ont une cinétique rapide. Ce paramètre ne sera donc pas détaillé à nouveau dans chacun des phénomènes redoutés étudiés par la suite.

9.1.2 Intensité

L'intensité des effets des phénomènes dangereux est définie par rapport à des valeurs de référence exprimées sous forme de seuils d'effets toxiques, d'effets de surpression, d'effets thermiques et d'effets liés à l'impact d'un projectile, pour les hommes et les structures (article 9 de l'arrêté du 29 septembre 2005 [13]).

On constate que les scénarios retenus au terme de l'analyse préliminaire des risques pour les parcs éoliens sont des scénarios de projection (de glace ou de toute ou partie de pale), de chute d'éléments (glace ou toute ou partie de pale) ou d'effondrement de machine.

Or, les seuils d'effets proposés dans l'arrêté du 29 septembre 2005 [13] caractérisent des phénomènes dangereux dont l'intensité s'exerce dans toutes les directions autour de l'origine du phénomène, pour des effets de surpression, toxiques ou thermiques). Ces seuils ne sont donc pas adaptés aux accidents générés par les aérogénérateurs.

Dans le cas de scénarios de projection, l'annexe II de cet arrêté précise : « Compte tenu des connaissances limitées en matière de détermination et de modélisation des effets de projection, l'évaluation des effets de projection d'un phénomène dangereux nécessite, le cas échéant, une analyse, au cas par cas, justifiée par l'exploitant. Pour la délimitation des zones d'effets sur l'homme ou sur les structures des installations classées, il n'existe pas à l'heure actuelle de valeur de référence. Lorsqu'elle s'avère nécessaire, cette délimitation s'appuie sur une analyse au cas par cas proposée par l'exploitant ».

C'est pourquoi, pour chacun des événements accidentels retenus (chute d'éléments, chute de glace, effondrement et projection), deux valeurs de référence ont été retenues :

- 5% d'exposition : seuils d'exposition très forte
- 1% d'exposition : seuil d'exposition forte

Le degré d'exposition est défini comme le rapport entre la surface atteinte par un élément chutant ou projeté et la surface de la zone exposée à la chute ou à la projection.

Intensité	Degré d'exposition
Exposition très forte	Supérieur à 5 %
Exposition forte	Compris entre 1 % et 5 %
Exposition modérée	Inférieur à 1%

Les zones d'effets sont définies pour chaque événement accidentel comme la surface exposée à cet événement.

9.1.3 Gravité

Par analogie aux niveaux de gravité retenus dans l'annexe III de l'arrêté du 29 septembre 2005, les seuils de gravité sont déterminés en fonction du nombre équivalent de personnes permanentes dans chacune des zones d'effet définies dans le paragraphe précédent.

Intensité Gravité	Zone d'effet d'un événement accidentel engendrant une exposition très forte	Zone d'effet d'un événement accidentel engendrant une exposition forte	Zone d'effet d'un événement accidentel engendrant une exposition modérée
Désastreux	Plus de 10 personnes exposées	Plus de 100 personnes exposées	Plus de 100 personnes exposées
Catastrophique	Moins de 10 personnes exposées	Entre 10 et 100 personnes exposées	Entre 100 et 1000 personnes exposées
Important	Au plus 1 personne exposée	Au plus 1 personne exposée	Moins de 10 personnes exposées
Sérieux	Aucune personne exposée	Au plus 1 personne exposée	Moins de 10 personnes exposées
Modéré	Pas de zone de létalité en dehors de l'établissement	Pas de zone de létalité en dehors de l'établissement	Présence humaine exposée inférieure à « une personne »

9.1.4 Probabilité

L'annexe I de l'arrêté du 29 septembre 2005 définit les classes de probabilité qui doivent être utilisées dans les études de dangers pour caractériser les scénarios d'accident majeur :

Niveaux	Echelle qualitative	Echelle quantitative (probabilité annuelle)
A	Courant Se produit sur le site considéré et/ou peut se produire à plusieurs reprises pendant la durée de vie des installations, malgré d'éventuelles mesures correctives.	$P > 10^{-2}$
B	Probable S'est produit et/ou peut se produire pendant la durée de vie des installations.	$10^{-3} \leq P \leq 10^{-2}$
C	Improbable Événement similaire déjà rencontré dans le secteur d'activité ou dans ce type d'organisation au niveau mondial, sans que les éventuelles corrections intervenues depuis apportent une garantie de réduction significative de sa probabilité.	$10^{-4} \leq P \leq 10^{-3}$
D	Rare S'est déjà produit mais a fait l'objet de mesures correctives réduisant significativement la probabilité.	$10^{-5} \leq P \leq 10^{-4}$

E	Extrêmement rare Possible mais non rencontré au niveau mondial. N'est pas impossible au vu des connaissances actuelles.	$\leq 10^{-5}$
---	---	----------------

Dans le cadre de l'étude de dangers des parcs éoliens, la probabilité de chaque événement accidentel identifié pour une éolienne est déterminée en fonction :

- De la bibliographie relative à l'évaluation des risques pour des éoliennes
- Du retour d'expérience français
- Des définitions qualitatives de l'arrêté du 29 Septembre 2005

Il convient de noter que la probabilité qui sera évaluée pour chaque scénario d'accident correspond à la probabilité qu'un événement redouté se produise sur l'éolienne (probabilité de départ) et non à la probabilité que cet événement produise un accident suite à la présence d'un véhicule ou d'une personne au point d'impact (probabilité d'atteinte). En effet, l'arrêté du 29 septembre 2005 impose une évaluation des probabilités de départ uniquement.

Cependant, on pourra rappeler que la probabilité qu'un accident sur une personne ou un bien se produise est très largement inférieure à la probabilité de départ de l'événement redouté.

La probabilité d'accident est en effet le produit de plusieurs probabilités :

$$P_{\text{accident}} = P_{\text{ERC}} \times P_{\text{orientation}} \times P_{\text{rotation}} \times P_{\text{atteinte}} \times P_{\text{présence}}$$

P_{ERC} = probabilité que l'événement redouté central (défaillance se produise = probabilité de départ

P_{ERC} = probabilité que l'événement redouté central (défaillance) se produise = probabilité de départ

$P_{\text{orientation}}$ = probabilité que l'éolienne soit orientée de manière à projeter un élément lors d'une défaillance dans la direction d'un point donné (en fonction des conditions de vent notamment)

P_{rotation} = probabilité que l'éolienne soit en rotation au moment où l'événement redouté se produit (en fonction de la vitesse du vent notamment)

P_{atteinte} = probabilité d'atteinte d'un point donné autour de l'éolienne (sachant que l'éolienne est orientée de manière à projeter un élément en direction de ce point et qu'elle est en rotation)

$P_{\text{présence}}$ = probabilité de présence d'un enjeu donné au point d'impact sachant que l'élément est projeté en ce point donné

Dans le cadre des études de dangers des éoliennes, une approche majorante assimilant la probabilité d'accident (P_{accident}) à la probabilité de l'événement redouté central (P_{ERC}) a été retenue.

9.2 Caractérisation des scénarios retenus

9.2.1 Effondrement de l'éolienne

Zone d'effet

La zone d'effet de l'effondrement d'une éolienne correspond à une surface circulaire de rayon égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale, soit 245.5 m dans le cas des éoliennes du parc de Kronospan Luxembourg S.A.

Cette méthodologie se rapproche de celles utilisées dans la bibliographie (références [5] et [6]). Les risques d'atteinte d'une personne ou d'un bien en dehors de cette zone d'effet sont négligeables et ils n'ont jamais été relevés dans l'accidentologie ou la littérature spécialisée.

Intensité

Pour le phénomène d'effondrement de l'éolienne, le degré d'exposition correspond au ratio entre la surface totale balayée par le rotor et la surface du mât non balayée par le rotor, d'une part, et la superficie de la zone d'effet du phénomène, d'autre part.

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène d'effondrement de l'éolienne dans le cas du parc éolien de kronospan Luxembourg S.A. R est la longueur de pale (R= 79.7m) H la hauteur du mât (164 m) et L la largeur du mât (L= base du mât=10.2m). LB correspond à la largeur de base d'une pale (LB = 4.53 m).

Effondrement de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale)			
Zone d'impact en m ²	Zone d'effet du phénomène étudié en m ²	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
$(H) \times L + 3 \times R \times \frac{LB}{2}$ 2214	$\pi \times (H + R)^2$ =186578	1,18% (1%≤x≤5%)	Exposition forte

L'intensité du phénomène d'effondrement est nulle au-delà de la zone d'effondrement.

Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions issues de l'arrêté du 29 septembre 2005 (voir paragraphe VIII.1.3.), il est possible de définir les différentes classes de gravité pour le phénomène d'effondrement, dans le rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l'éolienne :

- Plus de 100 personnes exposées → « Désastreux »
- Entre 10 et 100 personnes exposées → « Catastrophique »
- Entre 1 et 10 personnes exposées → « Important »
- Au plus 1 personne exposée → « Sérieux »
- Pas de zone de létalité en dehors de l'établissement → « Modéré »

Le tableau suivant indique, pour chaque aérogénérateur, le nombre de personnes exposées dans la zone d'effet du phénomène d'effondrement et la gravité associée :

Effondrement de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale)		
Eolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité
E1/E2	357	Désastreux



Figure 38 - Zone d'étude de l'effondrement de l'éolienne

Probabilité

Pour l’effondrement d’une éolienne, les valeurs retenues dans la littérature sont détaillées dans le tableau suivant :

Source	Fréquence	Justification
Guide for risk-based zoning of wind turbines (5)	4.5×10^{-4}	Retour d’expérience
Specification of minimum distances (6)	1.8×10^{-4} (Effondrement de la nacelle et de la tour)	Retour d’expérience

Ces valeurs correspondent à une classe de probabilité « C » selon l’arrêté du 29 septembre 2005.

Le retour d’expérience français montre également une classe de probabilité « C ». En effet, il a été recensé seulement 7 événements pour 15 667 années d’expériences, soit une probabilité de 4.5×10^{-4} par éolienne et par an.

Ces événements correspondent également à la définition qualitative de l’arrêté du 29 septembre 2005 d’une probabilité « C », à savoir : « *Événement similaire déjà rencontré dans le secteur d’activité ou dans ce type*

d'organisation au niveau mondial, sans que les éventuelles corrections intervenues depuis apportent une garantie de réduction significative de sa probabilité ».

Une probabilité de classe « C » est donc retenue par défaut pour ce type d'événement.

Néanmoins, les dispositions constructives des éoliennes ayant fortement évolué, le niveau de fiabilité est aujourd'hui bien meilleur. Des mesures de maîtrise des risques supplémentaires ont été mises en place sur les machines récentes et permettent de réduire significativement la probabilité d'effondrement. Ces mesures de mesures de sécurité sont notamment :

- Respect intégral des dispositions de la norme IEC 61 400-1
- Contrôles réguliers des fondations et des différentes pièces d'assemblages
- Système de détection des survitesses et un système redondant de freinage
- Système de détection des vents forts et un système redondant de freinage et de mise en sécurité des installations – un système adapté est installé en cas de risque cyclonique

On note d'ailleurs, dans le retour d'expérience français, qu'aucun effondrement n'a eu lieu sur les éoliennes mises en service après 2005.

De manière générale, le respect des prescriptions de l'arrêté du 26 août 2011 relatif aux installations éoliennes soumises à autorisation permet de s'assurer que les éoliennes font l'objet de mesures réduisant significativement la probabilité d'effondrement.

Il est considéré que la classe de probabilité de l'accident est « D », à savoir : « *S'est produit mais a fait l'objet de mesures correctives réduisant significativement la probabilité* ».

Acceptabilité

Le tableau suivant rappelle, pour chaque aérogénérateur du parc de Kronospan Luxembourg S.A., la gravité associée et le niveau de risque (acceptable/inacceptable) :

Effondrement de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale)		
Eolienne	Gravité	Niveau de risque
E1/E2	Désastreux	Inacceptable

Ainsi, pour le parc éolien de Kronospan Luxembourg S.A., le phénomène d'effondrement des éoliennes constitue un risque non acceptable pour les personnes.

9.2.2 Chute de glace

Conditions générales

Les périodes de gel et l’humidité de l’air peuvent entraîner, dans des conditions de température et d’humidité de l’air bien particulières, une formation de givre ou de glace sur l’éolienne, ce qui induit des risques potentiels de chute de glace.

Selon l’étude WECO [15], une grande partie du territoire français (hors zones de montagne) est concerné par moins d’un jour de formation de glace par an. Certains secteurs du territoire comme les zones côtières affichent des moyennes variantes entre 2 et 7 jours de formation de glace par an.

Lors des périodes de dégel qui suivent les périodes de grand froid, des chutes de glace peuvent se produire depuis la structure de l’éolienne (nacelle, pales). Normalement, le givre qui se forme en fine pellicule sur les pales de l’éolienne fond avec le soleil. En cas de vents forts, des morceaux de glace peuvent se détacher. Ils se désagrègent généralement avant d’arriver au sol. Ce type de chute de glace est similaire à ce qu’on observe sur d’autres bâtiments et infrastructures.

Zone d’effet

Le risque de chute de glace est cantonné à la zone de survol des pales, soit un disque de rayon égal à un demi-diamètre de rotor autour du mât de l’éolienne. Pour le parc éolien de Kronospan Luxembourg S.A., la zone d’effet a donc un rayon de 81.5 mètres. Cependant, il convient de noter que, lorsque l’éolienne est à l’arrêt, les pales n’occupent qu’une faible partie de cette zone.

Intensité

Pour le phénomène de chute de glace, le degré d’exposition correspond au ratio entre la surface d’un morceau de glace et la superficie de la zone d’effet du phénomène (zone de survol).

Le tableau ci-dessous permet d’évaluer l’intensité du phénomène de chute de glace dans le cas du parc éolien de Kronospan Luxembourg S.A. Z_i est la zone d’impact, Z_E est la zone d’effet, R est la longueur de pale (R= longueur de pale des aérogénérateurs de l’installation), SG est la surface du morceau de glace majorant (SG= 1 m²).

Chute de glace (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)			
Zone d’impact en m²	Zone d’effet du phénomène étudié en m²	Degré d’exposition du phénomène étudié en %	Intensité
$Z_i = SG$ 1	$Z_E = \pi \times R^2$ 20868	$d = \frac{Z_i}{Z_E}$ 0.005 (<1%)	Exposition modérée

L’intensité est nulle hors de la zone de survol.

Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions issues de l’arrêté du 29 septembre 2005 (voir paragraphe IV.1.3.), il est possible de définir les différentes classes de gravité pour le phénomène de chute de glace, dans la zone de survol de l’éolienne :

- Plus de 1000 personnes exposées → « Désastreux »
- Entre 100 et 1000 personnes exposées → « Catastrophique »
- Entre 10 et 100 personnes exposées → « Important »
- Moins de 10 personnes exposées → « Sérieux »
- Présence humaine exposée inférieure à « une personne » → « Modéré »

Le tableau suivant indique, pour chaque aérogénérateur, le nombre de personnes exposées dans la zone d’effet du phénomène de chute de glace et la gravité associée :

Chute de glace (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)		
Eolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité
E1/E2	D’après la méthode de comptage, le nombre de personne est estimé à 7. Présence humaine estimé à moins de 10 personnes	Exposition sérieuse



Probabilité

De façon conservatrice, il est considéré que la probabilité est de classe « A », c'est-à-dire une probabilité supérieure à 10⁻².

Acceptabilité

Le tableau suivant rappelle, pour chaque aérogénérateur du parc de Kronospan Luxembourg S.A., la gravité associée et le niveau de risque (acceptable/inacceptable) :

Chute de glace (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)		
Eolienne	Gravité	Niveau de risque
E1/E2	Exposition sérieuse	Non acceptable

Ainsi, pour le parc éolien de Kronospan Luxembourg S.A., le phénomène de chute de glace des éoliennes constitue un risque non acceptable pour les personnes.

Il convient également de rappeler que, conformément à l'article 14 de l'arrêté du 26 août 2011 relatif aux installations éoliennes soumises à autorisation, un panneau informant le public des risques (et notamment des risques de chute de glace) sera installé sur le chemin d'accès de chaque aérogénérateur, c'est-à-dire en amont de la zone d'effet de ce phénomène.

Cette mesure permettra de réduire les risques pour les personnes potentiellement présentes sur le site lors des épisodes de grand froid.

9.2.3 Chute d'éléments de l'éolienne

Zone d'effet

La chute d'éléments comprend la chute de tous les équipements situés en hauteur : trappes, boulons, morceaux de pales ou pales entières. Le cas majorant est ici le cas de la chute de pale. Il est retenu dans l'étude détaillé des risques pour représenter toutes les chutes d'éléments.

Le risque de chute d'élément est cantonné à la zone de survol des pales, c'est-à-dire une zone d'effet correspondant à un disque de rayon égal à un demi-diamètre de rotor.

Intensité

Pour le phénomène de chute d'éléments, le degré d'exposition correspond au ratio entre la surface d'un élément (cas majorant d'une pale entière se détachant de l'éolienne) et la superficie de la zone d'effet du phénomène (zone de survol).

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène de chute d'éléments de l'éolienne dans le cas du parc éolien de Kronospan Luxembourg S.A. d est le degré d'exposition, Z_i la zone d'impact, Z_E la zone d'effet, R la longueur de pale (R= 81.5 mètres) qui correspond au diamètre du rotor divisé par deux. LB la largeur de la base de la pale (LB= 4.53m).

Chute d'éléments de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)			
Zone d'impact en m²	Zone d'effet du phénomène étudié en m²	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
$Z_i = R \times \frac{LB}{2}$ 185	$Z_E = \pi \times R^2$ 20868	$d = \frac{Z_i}{Z_E}$ 0.89 (<1%)	Exposition modérée

L'intensité en dehors de la zone de survol est nulle.

Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions issues de l’arrêté du 29 septembre 2005 (voir paragraphe IX.1.3), il est possible de définir les différentes classes de gravité pour le phénomène de chute d’éléments dans la zone de survol de l’éolienne.

Si le phénomène de chute d’élément engendre une zone d’exposition modérée :

- Plus de 1000 personnes exposées → « Désastreux »
- Entre 100 et 1000 personnes exposées → « Catastrophique »
- Entre 10 et 100 personnes exposées → « Important »
- Moins de 10 personnes exposées → « Sérieux »
- Présence humaine exposée inférieure à « une personne » → « Modéré »

Si le phénomène de chute d’élément engendre une zone d’exposition importante :

- Plus de 100 personnes exposées → « Désastreux »
- Entre 10 et 100 personnes exposées → « Catastrophique »
- Entre 1 et 10 personnes exposées → « Important »
- Au plus 1 personne exposée → « Sérieux »
- Pas de zone de létalité en dehors de l’établissement → « Modéré »

Le tableau suivant indique, pour chaque aérogénérateur, le nombre de personnes exposées dans la zone d’effet du phénomène de chute d’éléments et la gravité associée :

Chute d’éléments de l’éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)		
Eolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité
E1/E2	Présence humaine de moins de dix personnes.	Sérieux

Probabilité

Peu d’élément sont disponibles dans la littérature pour évaluer la fréquence des événements de chute de pales ou d’éléments d’éoliennes.

Le retour d’expérience connu en France montre que ces événements ont une classe de probabilité « C » (2 chutes et 5 incendies pour 15 667 années d’expérience, soit 4.47×10^{-4} événement par éolienne et par an).

Ces événements correspondent également à la définition qualitative de l’arrêté du 29 Septembre 2005 d’une probabilité « C » : « Événement similaire déjà rencontré dans le secteur d’activité ou dans ce type d’organisation au niveau mondial, sans que les éventuelles corrections intervenues depuis apportent une garantie de réduction significative de sa probabilité ».

Une probabilité de classe « C » est donc retenue par défaut pour ce type d’événement

Acceptabilité

Le tableau suivant rappelle, pour chaque aérogénérateur du parc de Kronospan Luxembourg S.A., la gravité associée et le niveau de risque (acceptable/inacceptable) :

Chute d’éléments de l’éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)		
Eolienne	Gravité	Niveau de risque

E1/E2	Sérieux	Acceptable
-------	---------	------------

Ainsi, pour le parc éolien de Kronospan Luxembourg S.A., le phénomène de chute de glace des éoliennes constitue un risque acceptable pour les personnes

9.2.4 Projection de pales ou de fragments de pales

Zone d’effet

Dans l’accidentologie française rappelée en annexe, la distance maximale relevée et vérifiée par le groupe de travail précédemment mentionné pour une projection de fragment de pale est de 380 mètres par rapport au mât de l’éolienne. On constate que les autres données disponibles dans cette accidentologie montrent des distances d’effet inférieures.

L’accidentologie éolienne mondiale manque de fiabilité car la source la plus importante (en termes statistiques) est une base de données tenue par une association écossaise majoritairement opposée à l’énergie éolienne [3].

- ① L’analyse de ce recueil d’accidents indique une distance maximale de projection de l’ordre de 500 mètres à deux exceptions près :
- ① 1300 m rapporté pour un accident à Hundhammerfjellet en Norvège le 20/01/2006
- ① 1000 m rapporté pour un accident à Burgos en Espagne le 09/12/2000
- ① Toutefois, pour ces deux accidents, les sources citées ont été vérifiées par le SER-FEE et aucune distance de projection n’y était mentionnée. Les distances ont ensuite été vérifiées auprès des constructeurs concernés et dans les deux cas elles n’excédaient pas 300 m.
- ① Ensuite, pour l’ensemble des accidents pour lesquels une distance supérieure à 400 m était indiquée, les sources mentionnées dans le recueil ont été vérifiées de manière exhaustive (articles de journal par exemple), mais aucune d’elles ne mentionnait ces mêmes distances de projection. Quand une distance était écrite dans la source, il pouvait s’agir par exemple de la distance entre la maison la plus proche et l’éolienne, ou du périmètre de sécurité mis en place par les forces de l’ordre après l’accident, mais en aucun cas de la distance de projection réelle.

Pour autant, des études de danger déjà réalisées dans le monde ont utilisé une distance de 500 mètres, en particulier les études [5] et [6].

Sur la base de ces éléments et de façon conservatrice, une distance d’effet de 500 mètres est considérée comme distance raisonnable pour la prise en compte des projections de pales ou de fragments de pales dans le cadre des études de dangers des parcs éoliens.

Intensité

Pour le phénomène de projection de pale ou de fragment de pale, le degré d’exposition correspond au ratio entre la surface d’un élément (cas majorant d’une pale entière) et la superficie de la zone d’effet du phénomène (500 m).

Le tableau ci-dessous permet d’évaluer l’intensité du phénomène de chute d’éléments de l’éolienne dans le cas du parc éolien de Kronospan Luxembourg S.A. d est le degré d’exposition, Z_i la zone d’impact, Z_E la zone d’effet, R la longueur de pale (R= 81.5) et LB la largeur de la base de la pale (LB=4.53).

Projection de pale ou de fragment de pale (Zone de 500 m autour de chaque éolienne)			
Zone d’impact en m²	Zone d’effet du phénomène étudié en m²	Degré d’exposition du phénomène étudié en %	Intensité

$Z_i = R * LB / 2$ 185	$Z_E = \pi \times R^2$ 20868	0.89 (< 1 %)	Exposition modérée
---------------------------	---------------------------------	-----------------	--------------------

Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions issues de l’arrêté du 29 septembre 2005 (voir paragraphe IX.1.3), il est possible de définir les différentes classes de gravité pour le phénomène de projection dans la zone de 500 m autour de l’éolienne :

Si le phénomène de chute d’élément engendre une zone d’exposition modérée :

- Plus de 1000 personnes exposées → « Désastreux »
- Entre 100 et 1000 personnes exposées → « Catastrophique »
- Entre 10 et 100 personnes exposées → « Important »
- Moins de 10 personnes exposées → « Sérieux »
- Présence humaine exposée inférieure à « une personne » → « Modéré »

Le tableau suivant indique, pour chaque aérogénérateur, le nombre de personnes exposées dans la zone d’effet du phénomène de projection et la gravité associée :

Projection de pale ou de fragment de pale (Zone de 500 m autour de chaque éolienne)		
Eolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité
E1/E2	Présence humaine entre 100 et 1000 personnes	Catastrophique

Probabilité

Les valeurs retenues dans la littérature pour une rupture de tout ou partie de pale sont détaillées dans le tableau suivant :

Source	Fréquence	Justification
Site specific hazard assessment for a wind farm project (4)	1×10^{-6}	Respect de l’Eurocode EN 1990 – Basis of structural design
Guide for risk-based zoning of wind turbines (5)	1.1×10^{-3}	Retour d’expérience au Danemark (1984-1992) et en Allemagne (1989-2001)
Specification of minimum distances (6)	6.1×10^{-4}	Recherche internet des accidents entre 1996 et 2003

Ces valeurs correspondent à des classes de probabilité de « B », « C » ou « E »

Le retour d’expérience français montre également une classe de probabilité « C » (12 événements pour 15 667 années d’expérience, soit $7,66 \times 10^{-4}$ événement par éolienne et par an).

Ces événements correspondent également à la définition qualitative de l’arrêté du 29 Septembre 2005 d’une probabilité « C » : « Événement similaire déjà rencontré dans le secteur d’activité ou dans ce type d’organisation

au niveau mondial, sans que les éventuelles corrections intervenues depuis apportent une garantie de réduction significative de sa probabilité ».

Une probabilité de classe « C » est donc retenue par défaut pour ce type d'événement. Néanmoins, les dispositions constructives des éoliennes ayant fortement évolué, le niveau de fiabilité est aujourd'hui bien meilleur. Des mesures de maîtrise des risques supplémentaires ont été mises en place notamment :

- Les dispositions de la norme IEC 61 400-1
- Les dispositions des normes IEC 61 400-24 et EN 62 305-3 relatives à la foudre
- Système de détection des survitesses et un système redondant de freinage
- Système de détection des vents forts et un système redondant de freinage et de mise en sécurité des installations – un système adapté est installé en cas de risque cyclonique
- Utilisation de matériaux résistants pour la fabrication des pales (fibre de verre ou de carbone, résines, etc.)

De manière générale, le respect des prescriptions de l'arrêté du 26 août 2011 relatif aux installations éoliennes soumises à autorisation permet de s'assurer que les éoliennes font l'objet de mesures réduisant significativement la probabilité de projection.

Il est considéré que la classe de probabilité de l'accident est « D » : « S'est produit mais a fait l'objet de mesures correctrices réduisant significativement la probabilité ».

Acceptabilité

Le tableau suivant rappelle, pour chaque aérogénérateur du parc de Kronospan Luxembourg S.A., la gravité associée et le niveau de risque (acceptable/inacceptable) :

Projection de pale ou de fragment de pale (Zone de 500 m autour de chaque éolienne)		
Eolienne	Gravité	Niveau de risque
E1/E2	Catastrophique	Acceptable

Ainsi, pour le parc éolien de Kronospan Luxembourg S.A., le phénomène de projection de tout ou partie de pale des éoliennes constitue un risque acceptable pour les personnes

9.2.5 Projection de glace

Zone d'effet

L'accidentologie rapporte quelques cas de projection de glace. Ce phénomène est connu et possible, mais reste difficilement observable et n'a jamais occasionné de dommage sur les personnes ou les biens.

En ce qui concerne la distance maximale atteinte par ce type de projectiles, il n'existe pas d'information dans l'accidentologie. La référence [15] propose une distance d'effet fonction de la hauteur et du diamètre de l'éolienne, dans les cas où le nombre de jours de glace est important et où l'éolienne n'est pas équipée de système d'arrêt des éoliennes en cas de givre ou de glace :

Distance d'effet = $1,5 \times (\text{hauteur de moyeu} + \text{diamètre de rotor})$

Cette distance de projection est jugée conservatrice dans des études postérieures [17]. A défaut de données fiables, il est proposé de considérer cette formule pour le calcul de la distance d'effet pour les projections de glace.

Intensité

Pour le phénomène de projection de glace, le degré d'exposition correspond au ratio entre la surface d'un morceau de glace (cas majorant de 1 m²) et la superficie de la zone d'effet du phénomène.

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène de projection de glace dans le cas du parc éolien de Kronospan Luxembourg S.A. d est le degré d'exposition, Z_i la zone d'impact, Z_E la zone d'effet, R la longueur de pale (R= 81.5) et H la hauteur au moyeu (H=163 mètres), et SG la surface majorante d'un morceau de glace.

Chute d'éléments de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)			
Zone d'impact en m²	Zone d'effet du phénomène étudié en m²	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
$Z_i = SG$ 1	$Z_E = \pi \times 1.5 \times (H + 2 \times R)^2$ 500814	0.0002 (< 1 %)	Exposition modérée

Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions issues de l'arrêté du 29 septembre 2005 (voir paragraphe IX.1.3), il est possible de définir les différentes classes de gravité pour le phénomène de projection de glace dans la zone d'effet de ce phénomène (489 mètres).

Si le phénomène de chute d'élément engendre une zone d'exposition modérée :

- Plus de 1000 personnes exposées → « Désastreux »
- Entre 100 et 1000 personnes exposées → « Catastrophique »
- Entre 10 et 100 personnes exposées → « Important »
- Moins de 10 personnes exposées → « Sérieux »
- Présence humaine exposée inférieure à « une personne » → « Modéré »

Il a été observé dans la littérature disponible (17) qu'en cas de projection, les morceaux de glace se cassent en petits fragments dès qu'ils se détachent de la pale. La possibilité de l'impact de glace sur des personnes abritées par un bâtiment ou un véhicule est donc négligeable et ces personnes ne doivent pas être comptabilisées pour le calcul de la gravité.

Le tableau suivant indique, pour chaque aérogénérateur, le nombre de personnes exposées dans la zone d'effet du phénomène de projection de glace et la gravité associée :

Projection de morceaux de glace (Dans un rayon $R_{PG} = 1.5 \times (H + 2R)$ autour de l'éolienne)		
Eolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité
E1/E2	Présence humaine comprise entre 10 et 100 personnes	Important

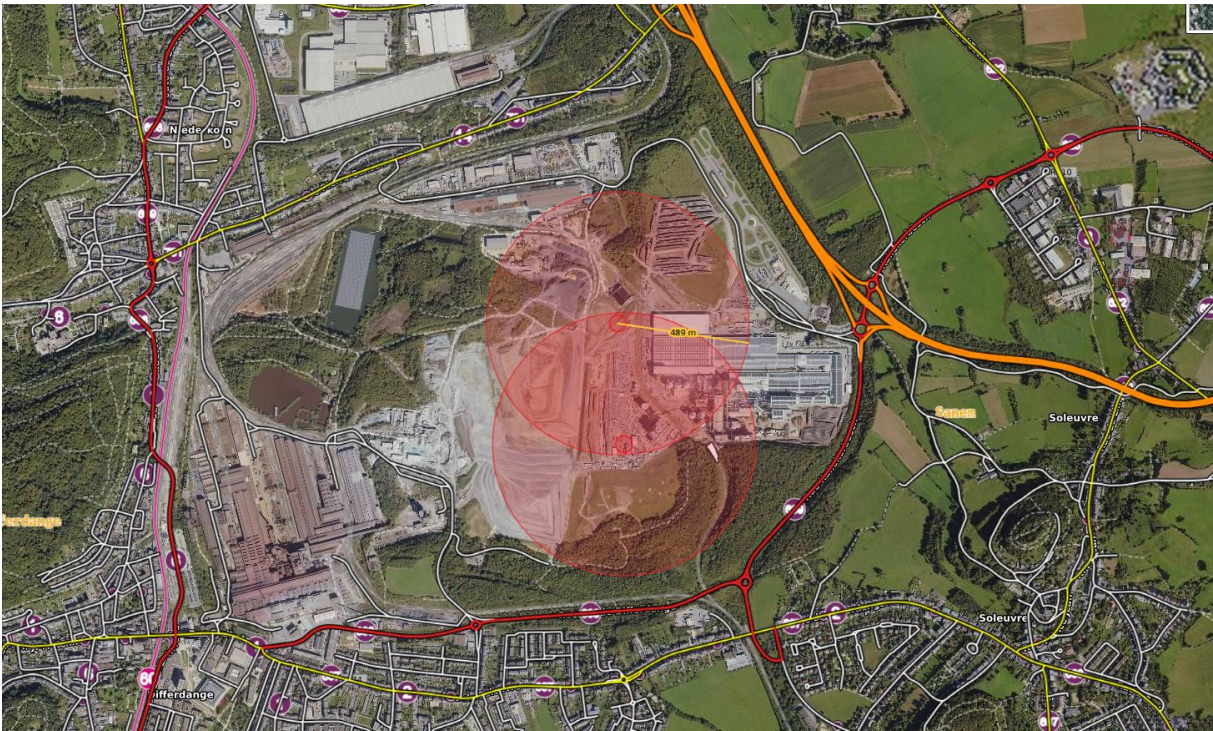


Figure 39 - Zone d'effet pour le phénomène de projection de glace

Probabilité

Au regard de la difficulté d’établir un retour d’expérience précis sur cet événement et considérant des éléments suivants :

- Les mesures de prévention de projection de glace imposées par l’arrêté du 26 août 2011 ;
- Le recensement d’aucun accident lié à une projection de glace ;

Une probabilité forfaitaire « B – événement probable » est proposé pour cet événement.

Acceptabilité

Le risque de projection pour chaque aérogénérateur est évalué comme acceptable dans le cas d’un niveau de gravité « sérieux ». Cela correspond pour cet événement à un nombre équivalent de personnes permanentes inférieures à 10 dans la zone d’effet.

Le tableau suivant rappelle, pour chaque aérogénérateur du parc de nom de l’installation, la gravité associée et le niveau de risque (acceptable/inacceptable) :

Projection de pale ou de fragment de pale (zone de 500 m autour de chaque éolienne)			
Eolienne	Gravité	Présence de système d’arrêt en cas de détection ou déduction de glace et de procédure de redémarrage	Niveau de risque
E1/E2	Important	Oui	Non acceptable

Ainsi, pour le parc éolien de Kronospan Luxembourg S.A., le phénomène de projection de glace constitue un risque non acceptable pour les personnes.

9.3 Synthèse de l'étude détaillée des risques

9.3.1 Tableaux de synthèse des scénarios étudiés

Les tableaux suivants récapitulent, pour chaque évènement redouté central retenu, les paramètres de risques : la cinétique, l'intensité, la gravité et la probabilité. Les tableaux regrouperont les éoliennes qui ont le même profil de risque.

Scénario	Zone d'effet	Cinétique	Intensité	Probabilité	Gravité
Effondrement de l'éolienne	Disque dont le rayon correspond à une hauteur totale de la machine en bout de pale	Rapide	Exposition forte	D (pour des éoliennes récentes)	Désastreux Pour les éoliennes E1 et E2
Chute d'élément de l'éolienne	Zone de survol	Rapide	Exposition modérée	C	Sérieux Pour les éoliennes E1 et E2
Chute de glace	Zone de survol	Rapide	Exposition modérée	A sauf si les températures hivernales sont supérieures à 0°C	Sérieux Pour les éoliennes E1 et E2
Projection de pale	500 m autour de l'éolienne	Rapide	Exposition modérée	D (pour des éoliennes récentes)	Catastrophique Pour les éoliennes E1 et E2
Projection de glace	1.5x(H+2R) autour de l'éolienne	Rapide	Exposition modérée	B sauf si les températures hivernales sont supérieures à 0°C	Important Pour les éoliennes E1 et E2
Autre scénario (si cas spécifique)	/	/	/	/	/

9.3.2 Synthèse de l’acceptabilité des danger

Enfin, la dernière étape de l’étude détaillée des danger consiste à rappeler l’acceptabilité des accidents potentiels pour chacun des phénomènes dangereux étudiés.

Pour conclure à l’acceptabilité, la matrice de criticité ci-dessous, adaptée de la circulaire du 29 septembre 2005 reprise dans la circulaire du 10 mai 2010 mentionnée ci-dessus sera utilisée.

Conséquence	Classe de probabilité				
	E	D	C	B	A
Désastreux		Effondrement de l'éolienne			
Catastrophique		Projection de pale			
Important				Projection de glace	
Sérieux			Chute d'élément de l'éolienne		Chute de glace
Modéré					

Légende de la matrice

Niveau de risque	Couleur	Acceptabilité
Risque très faible		Acceptable
Risque faible		Acceptable
Risque important		Non acceptable

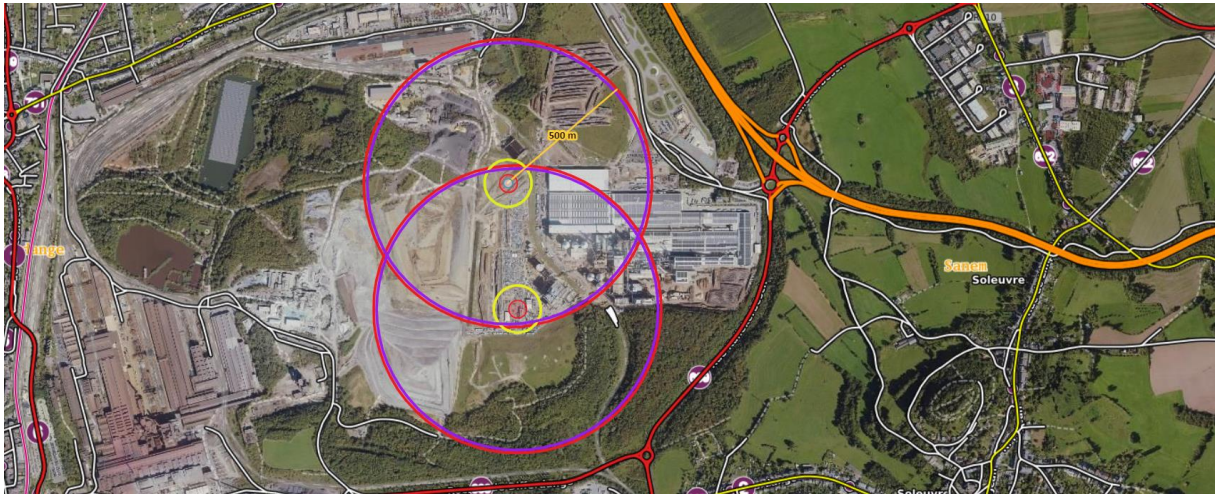
Il apparaît au regard de la matrice ainsi complétée que :

Plusieurs accidents apparaissent dans les cases rouges de la matrice correspondant au risque non acceptable. Pour ce ces risques importants, les mesures entreprises sont insuffisantes.

9.3.3 Cartographie des risques

A l’issue de la démarche d’analyse des risques, une carte de synthèse des risques doit être proposée par les exploitants pour chaque aérogénérateur. Elle fait apparaître, pour les scénarios détaillés dans le tableau de synthèse :

- Les enjeux étudiés dans l’étude détaillée des risques
- L’intensité des différents phénomènes dangereux dans les zones d’effet de chaque phénomène dangereux
- Le nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes) exposées par zone d’effet.



- Figure 40 – Zones d'études

- Cercle rouge : Zone d'étude de 500 m
- Cercle violet : Zone d'étude de 489 m
- Cercle jaune : Zone d'étude de 81.5 m

Suite à la réalisation de la matrice de criticité sur le parc éolien Kronospan Luxembourg S.A. Il apparaît clairement que les risques liés à la projection de glace, à la chute de glace et à l'effondrement de l'éolienne sont importants. En réalisant l'étude détaillée des dangers, le niveau de risque est non acceptable.

Le tableau de synthèse reprend le niveau de risques pour ces pour l'ensemble des scénarios étudiés dans l'étude à savoir :

- Effondrement de l'éolienne
- Projection de pale
- La chute d'éléments de l'éolienne
- La projection de glace
- La chute de glace

Scénario	Zone d'effet	Cinétique	Intensité	Probabilité	Gravité	Risque
Effondrement de l'éolienne	Disque dont le rayon correspond à une hauteur totale de la machine en bout de pale	Rapide	Exposition forte	D (pour des éoliennes récentes)	Désastreux Pour les éoliennes E1 et E2	Non acceptable
Chute d'élément de l'éolienne	Zone de survol	Rapide	Exposition modérée	C	Sérieux Pour les éoliennes E1 et E2	Acceptable
Chute de glace	Zone de survol	Rapide	Exposition modérée	A sauf si les températures hivernales sont supérieures à 0°C	Sérieux Pour les éoliennes E1 et E2	Non acceptable
Projection de pale	500 m autour de l'éolienne	Rapide	Exposition modérée	D (pour des éoliennes récentes)	Catastrophique Pour les éoliennes E1 et E2	Acceptable
Projection de glace	1.5x(H+2R) autour de l'éolienne	Rapide	Exposition modérée	B sauf si les températures hivernales sont supérieures à 0°C	Important Pour les éoliennes E1 et E2	Non acceptable
Autre scénario (si cas spécifique)	/	/	/	/	/	/

Des mesures de sécurités doivent être mises en place pour réduire le niveau de risque.

Fonction de sécurité	Prévenir la mise en mouvement de l'éolienne lors de la formation de glace	Prévenir l'atteinte des personnes par la chute de glace	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation)	Prévenir la survitesse	Prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de vent fort
Mesure de sécurité	Système de détection ou de déduction de la formation de glace sur les pales de l'aérogénérateur. Procédure adéquate de redémarrage.	Panneautage en pied de machine Eloignement des zones habitées et fréquentées	Contrôles réguliers des fondations et des différentes pièces d'assemblages (ex : brides, joints, etc...) Procédures qualités attestation du contrôle technique (procédure permis de construire)	Détection de survitesse et système de freinage	Classe d'éolienne adaptée au site et au régime de vents. Détection et prévention des vents forts et tempêtes Arrêt automatique et diminution de la prise au vent de l'éolienne par le système de conduite.
Description	Système de détection redondant du givre permettant, en cas de détection de glace, une mise à l'arrêt rapide de l'aérogénérateur.	Mise en place de panneaux informant de la possible formation de glace en pied de machines (conformément à l'article 14 de	La norme IEC 61 400-1 « Exigence pour la conception des aérogénérateurs » fixe les prescriptions propres à fournir « un niveau approprié de protection contre les dommages résultant de tout risque durant la durée de vie » de l'éolienne.	Systèmes de coupure s'enclenchant en cas de dépassement des seuils de vitesse prédéfinis, indépendamment du	L'éolienne est mise à l'arrêt si la vitesse de vent mesurée dépasse la vitesse maximale pour laquelle elle a été conçue.

	Le redémarrage peut ensuite se faire soit automatiquement après disparition des conditions de givre, soit manuellement après inspection visuelle sur site.	l'arrêté du 26 août 2011).	Ainsi la nacelle, le nez, les fondations et la tour répondent au standard IEC 61 400-1. Les pales respectent le standard IEC 61 400-1 ;12 ;23. Les éoliennes sont protégées contre la corrosion due à l'humidité de l'air, selon la norme ISO 9223.	système de contrôle commande.	
Efficacité	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %

10 CONCLUSION

Suite à l'élaboration de la matrice de criticité appliquée aux installations du parc éolien prévu par la société Kronospan Energy S.A. il apparaît clairement que plusieurs scénarios présentent un niveau de risque important, et dans certains cas, non acceptable en l'état actuel du projet. En particulier, les événements liés à la projection de glace, à la chute de glace, ainsi qu'à l'effondrement de l'éolienne sont identifiés comme critiques.

L'étude détaillée des risques a permis de confirmer et d'affiner cette analyse, en évaluant précisément la gravité, la fréquence et les moyens de maîtrise de chaque phénomène dangereux. Le tableau de synthèse regroupe l'ensemble des scénarios étudiés :

- Effondrement de l'éolienne
- Projection de pale
- Chute d'éléments de l'éolienne
- Projection de glace
- Chute de glace

Parmi ces scénarios, trois présentent un niveau de risque non acceptable au regard des critères d'évaluation retenus :

L'effondrement de l'éolienne, en raison de sa gravité maximale (atteinte possible aux personnes, dommages environnementaux et matériels majeurs)

La projection de glace, qui peut affecter des zones situées au-delà du périmètre immédiat du parc

La chute de glace, notamment dans les zones d'accès ou de circulation à proximité des installations

Ces risques nécessitent la mise en œuvre de mesures techniques et organisationnelles renforcées pour être ramenés à un niveau acceptable, conformément à la réglementation en vigueur et aux bonnes pratiques de l'industrie.

Parmi les pistes envisagées figurent :

- L'élargissement des périmètres de sécurité autour des éoliennes en période de givre
- L'installation de systèmes de détection et de dégivrage automatisés
- La mise en place de procédures d'arrêt préventif en conditions météorologiques défavorables
- Une signalisation spécifique et une information claire à destination du personnel intervenant

Cependant, la configuration actuelle du site limite fortement la faisabilité de ces mesures. En effet, les zones exposées aux phénomènes dangereux incluent des secteurs actifs de l'usine, fréquentés régulièrement par du personnel. Dans ce contexte, les mesures classiques de restriction d'accès ou de périmètre d'exclusion ne sont pas applicables sans compromettre l'activité industrielle elle-même.

Conclusion générale

En l'état actuel du projet, aucune mesure technique ou organisationnelle réaliste ne permet de ramener les risques identifiés à un niveau acceptable, compte tenu de la proximité des installations éoliennes avec des zones occupées et actives. L'acceptabilité du projet repose donc sur une révision en profondeur de l'implantation des éoliennes, ou à défaut, sur une reconfiguration des zones d'activité industrielle pour éloigner les personnes des périmètres de danger.

À défaut de telles adaptations structurelles, le projet ne peut être considéré comme acceptable au regard des exigences réglementaires en matière de sécurité des personnes. Il est impératif que l'exploitant engage une réflexion stratégique sur la compatibilité du projet avec l'environnement industriel existant, avant toute poursuite de la procédure d'autorisation



4, rue Albert Simon
L-5315 Contern
T (+352) 26 390-1
LSC360.lu