



Dossier de demande d'autorisation environnementale
Étude de dangers

Projet de parc éolien

COMMUNE DE CRAPEAUMESNIL (60)

Environnement



Service



FERME EOLIENNE PLANCHETTE
233 rue du Faubourg Saint-Martin
75 010 PARIS

Étude réalisée par :



5 bis rue de Verdun
80710 QUEVAUVILLERS
Tél : 03 22 90 33 90
Fax : 03 22 90 33 99
Courriel : eqs@wanadoo.fr
Web : www.allianceverte.com

Dossier n° : 2010217

en Décembre 2021

REMERCIEMENTS

- **aux élus de la commune de Crapeaumesnil,**
- **aux administrations concernées,**
- **aux propriétaires et aux exploitants des parcelles concernées pour leur participation au choix des types d'aménagement,**
- **et, plus généralement, aux habitants des communes citées dont l'intérêt et les suggestions ont permis d'améliorer le projet présenté.**

INTERVENANTS

Ont collaboré à cette étude, et plus particulièrement à l'intégration du projet dans son environnement :

DOMAINE	RÉFÉRENCES	PRINCIPAUX INTERVENANTS
Etude et conception du projet et photosimulations	Energieteam S.A.S Parc environnemental de Bresle-Maritime 1 rue des Energies nouvelles 80460 Oust-Marest Tél : 03 22 61 10 80 Fax : 03 22 60 52 95	François THIEBAULT - Responsable des études Energieteam Benoît DUVAL - Responsable des études Energieteam Ludovic POIRIER - Chargé d'Etudes Energieteam
Etude de danger	Environnement Qualité Service 5 bis rue de Verdun 80710 QUEVAUVILLERS Tél : 03 22 90 33 90 Fax : 03 22 90 33 99	Christophe BINET - Directeur - Docteur es Sciences Thibaut DELAPORTE - Chargé d'études - Master Environnement

SOMMAIRE

A - MÉTHODE D'ANALYSE UTILISÉE POUR IDENTIFIER ET CARACTÉRISER LES POTENTIELS DE DANGERS	1
B - POTENTIELS DE DANGERS LIÉS AUX PRODUITS	1
C - POTENTIELS DE DANGERS LIÉS AUX PROCÉDÉS	3
C1 - POTENTIELS DE DANGERS LIÉS AUX CONDITIONS D'EXPLOITATION.....	3
C2 - POTENTIELS DE DANGERS LIÉS AUX PERTES D'UTILITÉS.....	3
D - POTENTIELS DE DANGERS LIÉS AUX ÉVÉNEMENTS EXTERNES AUX PROCÉDÉS	4
E - RÉDUCTION DES POTENTIELS DE DANGERS	7
E1 - RÉDUCTION DES POTENTIELS DE DANGERS PAR LE CHOIX D'IMPLANTATION.....	7
E2 - SUPPRESSION ET RÉDUCTION DES POTENTIELS DE DANGERS LIÉS AUX PRODUITS.....	7
F - ANALYSE DE L'ACCIDENTOLOGIE	8
F1 - INVENTAIRE DES ACCIDENTS ET INCIDENTS EN FRANCE.....	8
F2 - INVENTAIRE DES ACCIDENTS ET INCIDENTS À L'INTERNATIONAL.....	17
F3 - SYNTHÈSES DES PHÉNOMÈNES DANGEREUX REDOUTÉS ISSUS DU RETOUR D'EXPÉRIENCE.....	18
G - ANALYSE PRÉLIMINAIRE DES RISQUES	19
G1 - RECENSEMENT DES ÉVÉNEMENTS INITIATEURS EXCLUS DE L'ANALYSE DES RISQUES.....	19
G2 - RECENSEMENT DES AGRESSIONS EXTERNES POTENTIELLES.....	19
G3 - SCÉNARIOS ÉTUDIÉS DANS L'ANALYSE PRÉLIMINAIRE DES RISQUES.....	21
G4 - MISE EN PLACE DES MESURES DE SÉCURITÉ.....	24
G5 - CONCLUSION DE L'ANALYSE PRÉLIMINAIRE DES RISQUES.....	31
H - ÉTUDE DÉTAILLÉE DES RISQUES	32
H1 - RAPPEL DES DÉFINITIONS.....	32
H2 - CARACTÉRISATION DES SCÉNARIOS RETENUS.....	36
H3 - EFFETS DOMINOS.....	60
H4 - MOYENS D'INTERVENTION ET DE LIMITATION DES CONSÉQUENCES.....	60
H5 - SYNTHÈSE DE L'ÉTUDE DÉTAILLÉE DES RISQUES.....	63

FIGURES

FIGURE 1 : RÉPARTITION DES ÉVÉNEMENTS ACCIDENTELS (EN MAJUSCULE ET COULEUR FONCÉES) ET DE LEURS CAUSES PREMIÈRES (EN MINUSCULE ET COULEUR CLAIRES) SUR LE PARC D'AÉROGÉNÉRATEURS FRANÇAIS ENTRE 2000 ET 2011.....	8
FIGURE 2 : MISE EN PARALLÈLE DE L'ÉVOLUTION DU PARC ÉOLIEN FRANÇAIS ET ÉVOLUTION DU NOMBRE D'INCIDENTS RECENSÉS CHAQUE ANNÉE.....	18
FIGURE 3 : AGRESSIONS EXTERNES POTENTIELLES.....	20
FIGURE 4 : ARBRE DE DÉFAILLANCE LIÉ À UN EFFONDREMENT DE L'ÉOLIENNE.....	38
FIGURE 5 : SCHÉMA DU SCÉNARIO EFFONDREMENT DE L'ÉOLIENNE.....	39
FIGURE 6 : SCÉNARIO D'EFFONDREMENT DE L'ÉOLIENNE.....	42
FIGURE 7 : LOCALISATION DES ZONES À RISQUE DE GLACE.....	43
FIGURE 8 : ARBRE DE DÉFAILLANCE DES SCÉNARIOS LIÉS À LA FORMATION DE GLACE.....	44
FIGURE 9 : SCHÉMA DU SCÉNARIO CHUTE DE GLACE.....	44
FIGURE 10 : SCÉNARIO DE CHUTE DE GLACE.....	46
FIGURE 11 : SCHÉMA DU SCÉNARIO PROJECTION DE GLACE.....	47
FIGURE 12 : SCÉNARIO DE PROJECTION DE GLACE.....	49
FIGURE 13 : ARBRE DE DÉFAILLANCE LIÉ À LA CHUTE ET PROJECTION D'ÉLÉMENTS DE L'ÉOLIENNE.....	53
FIGURE 14 : SCHÉMA DU SCÉNARIO CHUTE D'ÉLÉMENT DE L'ÉOLIENNE.....	54
FIGURE 15 : SCÉNARIO DE CHUTE D'ÉLÉMENTS DE L'ÉOLIENNE.....	56
FIGURE 16 : SCHÉMATISATION DU SCÉNARIO PROJECTION DE PALE.....	57
FIGURE 17 : SCÉNARIO DE PROJECTION D'ÉLÉMENTS DE L'ÉOLIENNE.....	59
FIGURE 18 : RISQUES LIÉS AUX SCÉNARIOS DE L'ÉTUDE DÉTAILLÉE DES RISQUES ET LEURS ZONES D'EFFET SPÉCIFIQUES.....	64
FIGURE 19 : SYNTHÈSE DES ZONES D'EFFET.....	66

A - MÉTHODE D'ANALYSE UTILISÉE POUR IDENTIFIER ET CARACTÉRISER LES POTENTIELS DE DANGERS

Cette étude s'appuie notamment sur le guide technique de l'INERIS (Élaboration de l'étude de dangers dans le cadre des parcs éoliens - Mai 2012).

Les objectifs de l'identification des dangers ou potentiels de dangers sont :

- recenser et caractériser les dangers d'une installation,
- localiser les éléments porteurs de dangers sur un schéma d'implantation de l'installation,
- identifier les Événements Redoutés potentiels (ER), étudiés lors de l'Analyse Préliminaire des Risques (APR).

La méthodologie utilisée pour identifier et caractériser les potentiels de dangers repose sur une analyse aussi exhaustive que possible des 4 catégories d'éléments porteurs de dangers, à savoir :

- les produits pouvant être présents à l'intérieur de l'installation,
- les procédés,
- les utilités en cas de perte,
- les événements externes aux procédés, d'origine naturelle et non naturelle.

Cette étude de dangers est réalisée sur la base des caractéristiques des 2 modèles d'éoliennes retenus, la V136 pour les éoliennes E1, E4, E5 et E6 et la V117 pour l'éolienne E2, toutes de 180 m de haut.

B - POTENTIELS DE DANGERS LIÉS AUX PRODUITS

La production d'énergie électrique par les éoliennes ne consomme pas de matière première.

Le bon fonctionnement des éoliennes impose toutefois la présence d'huiles de lubrification dans les machines et l'utilisation d'autres produits chimiques lors de la maintenance. On note parmi les principaux éléments chimiques présents (voir le tableau en page suivante) :

- le liquide de refroidissement (eau glycolée),
- les huiles pour le système hydraulique,
- les graisses pour la lubrification des roulements,
- l'huile isolante pour le transformateur.

Les huiles, les graisses et l'eau glycolée ne sont pas des produits inflammables. Les huiles et les graisses sont néanmoins des produits combustibles qui, sous l'effet d'une flamme ou d'un point chaud intense, peuvent développer et entretenir un incendie. Ces produits sont ainsi impliqués dans les incendies d'éoliennes.

Les huiles et graisses, même si elles ne sont pas classées comme dangereuses pour l'environnement, peuvent en cas de déversement au sol ou dans les eaux entraîner une pollution du milieu.

D'autres produits chimiques présentant une certaine toxicité sont utilisés lors des diverses opérations de maintenance, comme :

- de la peinture et des solvants pour l'entretien des pales ou de la tour,
- de la résine époxy, du mastic et de la colle pour la réparation des pales,
- de la graisse, de la cire et des solvants pour la lubrification occasionnelle ou la protection anticorrosion.

Certains de ces produits de maintenance peuvent être inflammables. Cependant, conformément à l'article 16. de l'arrêté du 26 août 2011 relatif aux installations d'éoliennes soumises à autorisation, aucun produit inflammable ou combustible n'est stocké dans les aérogénérateurs ou le poste de livraison, ils ne sont amenés dans l'éolienne que pour les interventions et le surplus est repris en fin d'opération.

Le tableau ci-dessous synthétise les dangers liés aux produits présents dans les machines à partir de la fiche de données de sécurité* de chacun d'entre-eux. Ces dangers dépendent de 3 facteurs :

- la nature du produit lui-même et ses caractéristiques dangereuses (traduites par sa classification au sens de l'arrêté du 20 avril 1994 modifié),
- la quantité de produit stockée ou utilisée,
- les conditions de stockage ou de mise en œuvre.

Produits	Fonction	Quantités maximales stockées ou utilisées	Principaux dangers	Indications particulières	Point éclair (°C)	Code déchet
Hexafluorure de soufre (SF ₆)	Gaz utilisé comme milieu isolant pour les cellules de protection électrique	Varie entre 1,5 kg et 2,15 kg suivant le nombre de caissons composant la cellule	-	le SF ₆ possède un potentiel de réchauffement global (gaz à effet de serre) très important, mais les quantités présentes sont très limitées (seulement 1 à 2 kg de gaz dans les cellules de protection).		
Eau glycolée Havoline XLC	Système de refroidissement	120 L	Nocif (Xn)	R22 : nocif en cas d'ingestion, S 2 : conserver hors de la portée des enfants, S 46 : en cas d'ingestion, consulter immédiatement un médecin et lui montrer l'emballage ou l'étiquette, S 36/37 : porter un vêtement de protection et des gants appropriés.		16 01 14
Huile hydraulique Texaco Rando WM32	Circuit haute pression	315 L	non classé	R10 : inflammable, R65 : nocif (peut provoquer une atteinte des poumons en cas d'ingestion) R66 : l'exposition répétée peut provoquer le dessèchement ou des gerçures de la peau.	150	13 01 10
Huile Mobil Gear SHCXMP 320	Lubrification du multiplicateur	Environ 300 à 400 L	non classé		205	13 02 06
Graisse SKF LGWM1	Lubrification : - vérins des pales, - roulements principaux, - boulons du rotor.	5 g/vérin 1200 g/1304 cm ³ 2 x 25 g	non classé	S24/25 : éviter le contact avec la peau et les yeux		12 01 12
Graisse Shell Rhodina BBZ	Lubrification des roulements des pales	1600 g/1814 cm ³	Nocif (Xn)			
Graisse Klüberplex BEM 41-132	Lubrification du générateur	450 g	non classé		250	
Graisse Mobilgear 630	Lubrification du palan interne	Faible (non défini précisément)	non classé		255	13 02 05
Graisse White Oil Farmaceutical 240, 29 934	Lubrification de la chaîne du palan interne	Faible (non défini précisément)	non classé			
Huile Shell Tivela S 320	Huile du moteur d'orientation de la nacelle	Faible (non défini précisément)	non classé		286	
Graisse Klüberplex AG11-462	Lubrification du système de rotation de la nacelle	100 g	non classé			
Graisse Shell Stamina HDS 2	Lubrification du système d'orientation de la nacelle	200 g	non classé	R52/53 : nocif pour les organismes aquatiques, peut entraîner des effets néfastes à long terme sur l'environnement aquatique.	> 200	12 01 12

Source : Fiches de données de sécurité. D'autres produits peuvent être utilisés lors des phases de maintenance : lubrifiants, décapants, produits de nettoyage, mais toujours en faibles quantités : quelques litres au plus.

En conclusion, il ressort que les produits ne présentent pas de réel danger, si ce n'est lorsqu'ils sont soumis à un incendie, où ils entretiennent et alimentent cet incendie, ou s'ils sont déversés dans l'environnement générant un risque de pollution des sols ou des eaux.

➔ Risque de feu de flaque / feu de nappe

Lorsque de l'huile se répand sur le sol ou sur une surface, il forme une nappe qui s'évapore plus ou moins vite selon les caractéristiques du milieu sur lequel elle s'étend. Étant donné le point éclair élevé de ces huiles, elles s'enflamment difficilement. Cependant, un feu de nappe ou un feu de flaque ne peut être écarté.

* : Ce formulaire contient des données relatives aux propriétés d'une substance chimique. La conception des FDS est régie par le règlement européen REACH1 (n°1907/2006).

C - POTENTIELS DE DANGERS LIÉS AUX PROCÉDÉS

Les tableaux suivants synthétisent les dangers liés aux procédés, tant en conditions nominales que pendant les phases transitoires (mise en service, maintenance...).

Pour rappel, l'étude porte sur les installations durant leur phase d'exploitation (excluant les phases de construction, transport, maintenance lourde...).

C1 - POTENTIELS DE DANGERS LIÉS AUX CONDITIONS D'EXPLOITATION

Les potentiels de dangers liés aux conditions d'exploitation sont identifiés dans le tableau suivant.

Équipement / Installation	Phase opératoire	Principaux phénomènes dangereux associés
Mât : - Tour - Équipements électriques situés dans le mât	Éolienne en fonctionnement Éolienne en phase d'arrêt Éolienne à l'arrêt	Chute du mât Pliage du mât Incendie en pied de mât
Nacelle : - Présence d'huiles et graisses - Équipements électriques et mécaniques	Éolienne en fonctionnement Éolienne en phase d'arrêt Éolienne à l'arrêt	Chute de la nacelle Incendie de la nacelle
Pales / rotor	Éolienne à l'arrêt	Chute de pales / fragments de pale Chute de blocs de glace Incendie au niveau des pales
Pales / rotor	Éolienne en fonctionnement Éolienne en phase d'arrêt	Projection de pales / fragments de pale Projection de blocs de glace Incendie au niveau des pales / projection de débris enflammés
Fondations	Éolienne en fonctionnement Éolienne en phase d'arrêt Éolienne à l'arrêt	Chute du mât
Câbles enterrés	Éolienne en fonctionnement Éolienne en phase d'arrêt Éolienne à l'arrêt	Électrocution
Poste de livraison	Éolienne en fonctionnement Éolienne en phase d'arrêt Éolienne à l'arrêt	Incendie du poste

C2 - POTENTIELS DE DANGERS LIÉS AUX PERTES D'UTILITÉS

Les répercussions sur le site des défaillances de servitudes communes sont examinées dans le tableau suivant.

Les scénarios d'accidents associés aux pertes d'utilités sont ensuite décrits au niveau de l'Analyse Préliminaire des Risques.

Utilité	Fonction	Type de défaillance	Événement redouté
Électricité Notons que l'ensemble du raccordement électrique inter-éoliennes réalisé conformément à l'article 24 du décret 2011-1697 et à l'arrêté interministériel du 17 mai 2001, modifié par les normes en vigueur, n'aura pas d'impact sur la sécurité ou la santé des personnes fréquentant le site et dossier de demande d'approbation A323-40.	Alimentation des équipements d'exploitation	Perte totale de l'alimentation électrique	Perte d'exploitation
	Alimentation des équipements de sécurité	Perte totale de l'alimentation électrique	Perte des fonctions de sécurité
Systèmes informatiques	Contrôle des équipements	Perte des systèmes informatiques	Non-fonctionnement d'équipements d'exploitation Dysfonctionnements latents d'équipements de sécurité
	Transmis-sion des données	Perte du système SCADA (Supervisory control data and acquisition)	Perte du transfert des informations et défauts

D - POTENTIELS DE DANGERS LIÉS AUX ÉVÉNEMENTS EXTERNES AUX PROCÉDÉS

Potentiel de dangers	Description des dangers
Conditions climatiques exceptionnelles	<p>Température</p> <p>Les températures peuvent altérer, de façon temporaire ou définitive, le fonctionnement du matériel en modifiant les propriétés physiques ou les dimensions des matériaux qui le composent.</p> <p>L'environnement est généralement soumis à des cycles de température. Ils accroissent souvent les effets des variations de température et peuvent conduire à une fatigue mécanique précoce. L'application rapide de contraintes, de chocs thermiques, risque de rendre cassants certains matériaux et de provoquer une rupture pour une contrainte de fatigue nettement inférieure à celle qui serait nécessaire dans les conditions stables.</p> <p>Les défauts de fonctionnement, le plus fréquemment, rencontrés sur les installations sont les dysfonctionnements de composants électroniques dus à des décompositions et des ruptures de diélectriques, provoquées par de trop hautes températures.</p> <p>La combinaison de températures froides avec un taux d'humidité élevé peut conduire à la formation de glaces sur les pales des éoliennes. Dans ces conditions climatiques extrêmes ("icing conditions"), des gouttes d'eau surfondues heurtent les pales froides et gèlent. Des blocs de glace peuvent alors se former sur les pales de l'éolienne et être projetés sous l'effet du vent ou de la rotation des pales.</p>
	<p>Pluie</p> <p>Les précipitations sont l'une des sources d'humidité qui constituent un facteur essentiel dans la plupart des types de corrosion. L'impact des gouttes de pluie risque d'engendrer une érosion de nombreux matériaux et de revêtements de protection.</p> <p>À l'extérieur, les pales du rotor sont protégées des intempéries par un revêtement de surface. Ce revêtement à base de polyuréthane est robuste et très résistant.</p> <p>De fortes précipitations peuvent conduire à une inondation ayant pour conséquence la dégradation des installations et une éventuelle chute du mât des éoliennes. Ce risque est limité dans le secteur.</p>
	<p>Neige et glace</p> <p>La neige est une précipitation de cristaux de glace. Son accumulation sur des surfaces horizontales occasionne des charges importantes. Les défauts les plus souvent rencontrés sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> - rupture des structures, due à une charge trop importante, - courts-circuits par dépôts de neige, - perte de visibilité des pales. <p>Par les surcharges qu'il apporte aux toitures, l'enneigement peut provoquer leur effondrement si elles ne sont pas suffisamment dimensionnées.</p> <p>En raison de la forme aérodynamique de la nacelle, le risque d'accumulation de neige est limité.</p> <p>Risque d'accumulation de neige sur les pales.</p>

Potentiel de dangers	Description des dangers
Conditions climatiques exceptionnelles	<p>Vents violents</p> <p>Les vents violents peuvent être la cause de détériorations de structures, de chute / pliage de mât, de survitesse des pales et de projection de pales.</p> <p>Les vents violents sont pris en compte dans le dimensionnement des éoliennes. Les cas de charge sont décrits dans la norme IEC 61400. Cette dernière intitulée "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.</p>
	<p>Foudre</p> <p>La foudre est un phénomène électrique de très courte durée, véhiculant des courants de forte intensité, 20 kA en moyenne avec des maxima de l'ordre de 100 kA, se propageant avec des fronts de montée extrêmement raides entre deux masses nuageuses ou entre une masse nuageuse et le sol.</p> <p>Les dangers liés à la foudre sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> - les effets thermiques pouvant être à l'origine : <ul style="list-style-type: none"> - d'un incendie ou d'une explosion, soit au point d'impact, soit par l'énergie véhiculée par les courants de circulation conduits ou induits, - de dommages aux structures et construction, - les perturbations électromagnétiques qui entraînent la formation de courants induits pouvant endommager les équipements électroniques, en particulier les équipements de contrôle commande et / ou de sécurité, - les effets électriques pouvant induire des différences de potentiel. <p>Par leur taille, les éoliennes sont particulièrement vulnérables au risque foudre. L'éolienne est équipée d'un système parafoudre fiable afin d'éviter que l'éolienne ne subisse de dégâts. Les éoliennes doivent également répondre aux exigences de l'arrêté du 15 janvier 2008 relatif à la protection contre la foudre de certaines installations classées :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Article 1, deuxième alinéa : "En outre, les dispositions du présent arrêté peuvent être rendues applicables par le préfet aux installations classées soumises à autorisation non visées par l'annexe du présent arrêté dès lors qu'une agression par la foudre sur certaines installations classées pourrait être à l'origine d'événements susceptibles de porter atteinte, directement ou indirectement, aux intérêts visés à l'article L.511-1 du Code de l'Environnement." - L'article 3 de cet arrêté précise que la définition des mesures de prévention et des dispositifs de protection doit être réalisée dans une étude technique, distincte de l'Analyse du Risque Foudre, qui définira également les modalités de leur vérification et de leur maintenance. <p>Le secteur étudié présente une exposition faible au risque foudre avec une densité de foudroiement de l'ordre de 0,5 impact par an par km².</p>

Potentiel de dangers	Description des dangers
Mouvements de terrain	<p>Les séismes sont caractérisés par deux grandeurs : la magnitude et l'intensité :</p> <ul style="list-style-type: none"> - La magnitude est une mesure de la puissance du séisme (échelle de Richter) : l'énergie est multipliée par 30 quand la magnitude croît de 1. - L'intensité macrosismique permet de caractériser les effets destructeurs observés des séismes. C'est une quantité empirique, basée sur des observations. C'est la seule quantité qui puisse être utilisée pour décrire l'importance des séismes historiques qui ont eu lieu avant l'ère instrumentale, c'est-à-dire avant les premiers réseaux d'observation sismologique du début du siècle. <p>La prévention du risque sismique est notamment régie par :</p> <ul style="list-style-type: none"> - le Code de l'Environnement, au travers des articles R563-1 à R563-8 relatifs à la prévention du risque sismique, - l'arrêté du 22 octobre 2010 relatif à la classification et aux règles de construction parasismique applicables aux bâtiments de la classe dite "à risque normal", - le décret n°2010-1255 du 22/10/10 portant délimitation des zones de sismicité du territoire français - le décret n°2010-1254 du 22/10/10 relatif à la prévention du risque sismique - la circulaire n°2000-77 du 31/10/00 relative au contrôle technique des constructions pour la prévention du risque sismique - l'arrêté du 10 mai 1993 fixant les règles parasismiques applicables aux installations soumises à la législation sur les installations classées - la circulaire DPPR/SEI du 27 mai 1994 relative à l'arrêté du 10 mai 1993 fixant les règles parasismiques applicables aux installations classées pour la protection de l'environnement. <p>Les articles R563-1 à 8 et D563-8-1 du Code de l'Environnement définissent :</p> <ul style="list-style-type: none"> - le risque "normal", - le risque "spécial", - les Plans de Prévention des Risques naturels prévisibles, <p>Pour l'application des mesures de prévention du risque sismique aux bâtiments, équipements et installations de la classe dite "à risque normal", le territoire national est divisé en cinq zones de sismicité croissante :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Zone de sismicité 1 (très faible), - Zone de sismicité 2 (faible), - Zone de sismicité 3 (modérée), - Zone de sismicité 4 (moyenne), - Zone de sismicité 5 (forte). <p>Rappelons que le parc éolien du Bois Madame est localisé dans une zone de sismicité 1 et ne nécessite donc pas de mesure spécifique.</p> <p>Toutefois, la présence d'une grande partie de la masse en haut de la tour rend les éoliennes particulièrement vulnérables aux séismes. Un séisme pourrait conduire à la chute du mât. Les éoliennes doivent être dimensionnées conformément à la réglementation française en vigueur.</p>

Potentiel de dangers	Description des dangers
Mouvements de terrain	<p>Mouvement de terrain hors séisme</p> <p>Un mouvement de terrain pourrait être à l'origine d'une chute d'éolienne. Le risque de mouvement de terrain hors séisme doit faire l'objet d'une étude géotechnique. Son but est de garantir un bon dimensionnement des installations en fonction de la géologie du site d'implantation.</p>
Proximité de la mer le projet est situé à plus de 100 km de la mer	<p>Atmosphère saline</p> <p>L'atmosphère en bordure de mer peut conduire à une détérioration accélérée d'équipements ou d'ouvrages à cause des phénomènes de corrosion, accentués par le taux de salinité de l'air qui est souvent plus élevé qu'à l'intérieur des terres. Cette source de dangers est prise en compte dans la conception des éoliennes, principalement par un choix de matériaux adaptés à l'environnement dans lequel ils se trouveront.</p>
	<p>Marées, vagues</p> <p>Des marées ou des vagues de forte amplitude génèrent un risque de submersion des installations. Les dangers liés à ces événements de nature exceptionnelle sont l'endommagement des installations et la chute d'éolienne.</p>
	<p>Tsunami</p> <p>Un tsunami est une onde provoquée par un mouvement rapide d'un grand volume d'eau. Ce mouvement est en général dû à un séisme, une éruption volcanique sous-marine de type explosive ou bien un glissement sous-marin de grande ampleur. L'onde générée se propage ensuite : ce phénomène ondulatoire est caractérisé par une grande longueur d'onde (plusieurs centaines de kilomètres) et une grande période (de l'ordre de plusieurs dizaines de minutes). L'onde associée au tsunami est en général à peine perceptible en haute-mer en raison de sa faible amplitude (généralement inférieure à 1 m). En revanche, lorsque l'onde parvient à des zones de hauts fonds, son amplitude augmente : les vagues résultantes peuvent ainsi atteindre plusieurs mètres et pénétrer à l'intérieur des terres.</p> <p>La partie du littoral français principalement concernée par le risque de tsunamis est la côte méditerranéenne : l'activité tectonique méditerranéenne est en effet la plus susceptible de générer des tsunamis. D'ailleurs, les études menées par les autorités françaises sur le risque de tsunamis concernent essentiellement ce littoral méditerranéen.</p>
Incendie de végétation	<p>Un incendie de la végétation présente dans le site et aux alentours serait susceptible de se propager aux installations. Rappelons que les éoliennes sont situées dans les champs, où le risque d'incendie est faible.</p>

Potentiel de dangers		Description des dangers
Dangers externes d'origine non naturelle	Activités industrielles voisines	<p>Un accident sur les installations industrielles voisines (incendie, explosion, projection) pourrait être à l'origine de dégradations des éoliennes.</p> <p>Des projections ou des surpressions peuvent impacter une éolienne et causer des dégradations majeures (chute du mât, rupture de pales ou de fragments de pales). Des effets thermiques peuvent également endommager significativement les installations.</p> <p>Les éoliennes existantes de l'ensemble éolien de Roye sont les installations classées les plus proches du projet.</p>
	Activités humaines	Parachute, parapente,... Un choc sur les pales des éoliennes pourrait causer un endommagement de ces dernières.
	Réseau de canalisations de gaz / autres produits	Un accident sur les canalisations de transport de fluides inflammables peut conduire à des phénomènes dangereux de type explosion, incendie (feu torche, feu de nappe). Par effet domino, les éoliennes peuvent être significativement endommagées. Aucune canalisation de ce type ne passe à proximité du projet.
	Voies de communication : voies ferroviaires, routières et transport maritime	<p>Un accident routier / ferroviaire / maritime peut aggraver les installations en raison d'un impact ou choc de véhicule sur le mât d'une éolienne et d'un accident sur des camions / wagons de matières dangereuses (incendie, explosion,...).</p> <p>L'axe routier le plus fréquenté à proximité du projet est la RD 160, distante de près de 80 m de l'éolienne E4.</p> <p>Transport aérien : Sous réserve que les éoliennes soient implantées à une distance supérieure à 2 km des aérodromes, le site n'est pas considéré comme se trouvant dans la zone de proximité d'un aérodrome, selon la lettre au Préfet de la Sarthe du 5 février 2007 (relative à la prise en compte de l'événement initiateur "chute d'avion" dans les Études de Dangers et dans la Maîtrise de l'Urbanisation et définition de la zone de proximité d'un aéroport).</p> <p>Par conséquent, selon l'Annexe IV de l'arrêté du 10 mai 2000 relatif à la prévention des accidents majeurs, l'événement initiateur "chute d'aéronef" n'a pas à être pris en compte dans l'analyse des risques.</p> <p>Les 5 éoliennes du projet sont éloignées de plus de 2 km des aérodromes.</p>

Potentiel de dangers		Description des dangers
Dangers externes d'origine naturelle	Réseau électrique	Une perte du réseau électrique est étudiée au chapitre "G - Analyse préliminaire des risques", page 19.
	Malveillance	Les installations peuvent faire l'objet de tentatives éventuelles d'intrusions ou d'actes de malveillance : vols (cuivre), sabotage, etc., pouvant provoquer des incidents mineurs sur les installations (porte dégradée,...) et des risques d'électrocution. Conformément à l'Annexe IV de l'arrêté du 10 mai 2000 relatif à la prévention des accidents majeurs, les actes de malveillance ne sont pas considérés comme événements initiateurs potentiels dans l'analyse des risques présentée au chapitre "G - Analyse préliminaire des risques", page 19.
Maintenance et extension du parc éolien		<p>Les activités d'extension du parc éolien ou de maintenance lourde peuvent être à l'origine de dommages sur les installations existantes en raison notamment de la présence de grues et de véhicules de maintenance.</p> <p>Ces activités sont considérées comme des événements initiateurs potentiels dans l'analyse des risques présentée au chapitre "G - Analyse préliminaire des risques", page 19.</p>

E - RÉDUCTION DES POTENTIELS DE DANGERS

L'étude de la réduction des potentiels de dangers vise à analyser les possibilités de :

- Suppression des procédés et des produits dangereux, c'est-à-dire des éléments porteurs de dangers,
- Remplacement de ceux-ci par des procédés et des produits présentant un danger moindre,
- Réduction des quantités de produits dangereux mises en œuvre sur le site.

E1 - RÉDUCTION DES POTENTIELS DE DANGERS PAR LE CHOIX D'IMPLANTATION

Lors du choix de l'emplacement des éoliennes, plusieurs enjeux ont été pris en compte afin de limiter les risques :

- respect d'une distance d'au moins 500 m par rapport aux zones urbanisées (600 m dans notre cas) et urbanisables,
- éloignement des routes à fort trafic et des lignes électriques haute tension (aucune à proximité).

E2 - SUPPRESSION ET RÉDUCTION DES POTENTIELS DE DANGERS LIÉS AUX PRODUITS

Les produits présents dans l'éolienne ne peuvent pas être supprimés car ils sont nécessaires au bon fonctionnement du procédé (lubrification). De plus, ils ne présentent pas de caractère dangereux marqué et les quantités mises en œuvre sont adaptées aux volumes des équipements. Les produits de maintenance (peinture, mastic...) signalés comme "dangereux" sont utilisés beaucoup plus ponctuellement que les graisses et huiles, ils ne peuvent pas non plus être éliminés.

Les éoliennes sont équipées de nombreux détecteurs de niveau d'huile (système hydraulique, générateur...) permettant de détecter les éventuelles fuites d'huile et d'arrêter l'éolienne en cas d'urgence.

Pour les éoliennes à boîte de vitesse, les opérations de vifange sont effectuées de manière rigoureuse et font l'objet de procédures spécifiques. Plusieurs situations de vidange peuvent se présenter allant d'une vidange simple sans rinçage de la boîte de vitesse (remplacement d'huile par une huile identique) à la vidange impliquant un nettoyage de la boîte de vitesse (remplacement d'une huile par une autre huile incompatible). Dans tous les cas, le transfert des huiles s'effectue de manière sécurisée via un système de tuyauterie et de pompes directement entre la boîte de vitesse et le camion de vidange.

En cas de fuite, les véhicules de maintenance sont équipés de kits de dépollution composés de grandes feuilles absorbantes. Ces kits d'intervention d'urgence permettent :

- 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.

Si ces kits de dépollution s'avèrent insuffisants, le maintenancier se charge de faire intervenir une société spécialisée qui récupérera et traitera la terre souillée via les filières adéquates.

Il n'existe pas à ce jour de Meilleures Techniques Disponibles (MTD) publiées pour les éoliennes, en revanche une norme internationale existe, CEI 61400-1. Ces prescriptions concernent la conception, la fabrication, l'installation et la maintenance de l'éolienne. Elles sont prises en compte par les constructeurs pour leurs éoliennes.

F - ANALYSE DE L'ACCIDENTOLOGIE

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...). Ces bases de données sont cependant très différentes tant en termes de structuration des données qu'en termes de détail de l'information.

Précisons que l'objectif de l'analyse de l'accidentologie n'est pas de dresser une liste exhaustive de tous les accidents ou incidents survenus, ni d'en tirer des données statistiques. Il s'agit, avant tout, de rechercher les types de sinistres les plus fréquents, leurs causes et leurs effets, ainsi que les mesures prises pour limiter leur occurrence ou leurs conséquences.

F1 - INVENTAIRE DES ACCIDENTS ET INCIDENTS EN FRANCE

F1.1 - BASES DE DONNÉES CONSULTÉES

Plusieurs sources ont été utilisées pour effectuer le recensement des accidents et incidents au niveau français (INERIS - Guide pour l'élaboration de l'étude de dangers des parcs éoliens). Il s'agit à la fois de sources officielles, d'articles de la presse locale ou de base 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. Néanmoins, une telle démarche pourra être entreprise en complément.

Le groupe de travail composé du Syndicat des Énergies Renouvelables et de l'INERIS a élaboré une base de données qui apparaît aujourd'hui 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.

* : La base ARIA (Analyse, Recherche et Information sur les Accidents) du BARPI (Bureau d'Analyse des Risques et Pollutions Industrielles – Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire) recense et analyse les accidents et incidents, survenus en France, depuis le 1^{er} janvier 1992 (date de création du BARPI). Les événements les plus graves qui ont pu se produire avant 1992 sont également répertoriés (6 % des accidents français ou étrangers recensés dans ARIA sont antérieurs à 1988).

F1.2 - INVENTAIRE

Sur la période 2000 - début 2012, un total de 40 incidents relatifs à l'éolien ont été recensés par l'Ineris en France. À ce recensement, nous avons ajouté les derniers événements connus jusqu'en 2021 (tableau en pages suivantes).

Le graphique suivant (Figure 1) montre la répartition des événements accidentels et de leurs causes premières sur le parc d'aérogénérateurs 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.

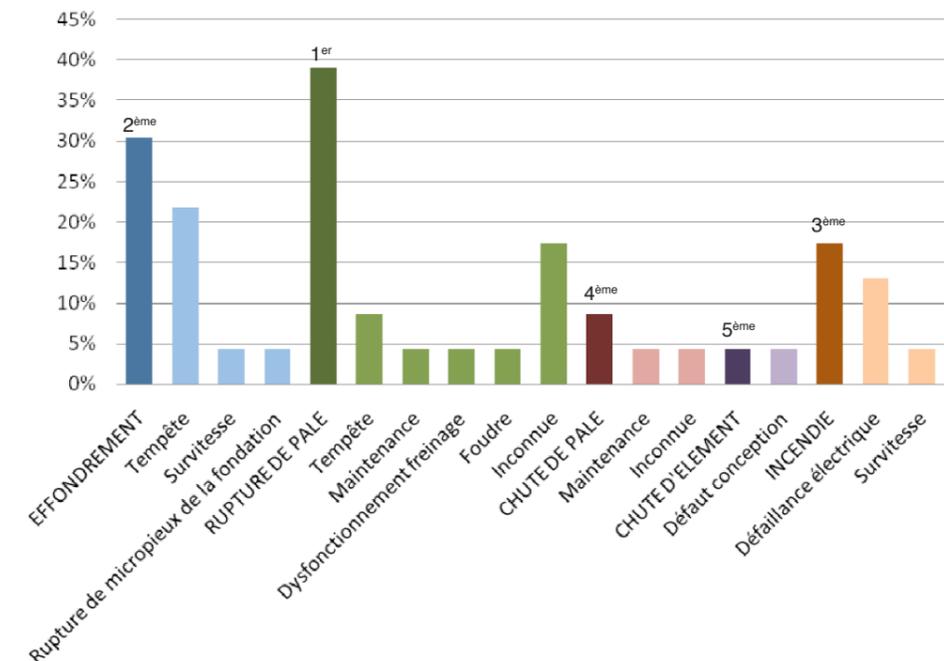


FIGURE 1 : RÉPARTITION DES ÉVÉNEMENTS ACCIDENTELS (EN MAJUSCULE ET COULEUR FONCÉES) ET DE LEURS CAUSES PREMIÈRES (EN MINUSCULE ET COULEUR CLAIRES) SUR LE PARC D'AÉROGÉNÉRATEURS FRANÇAIS ENTRE 2000 ET 2011

Par ordre d'importance, les accidents les plus recensés sont :

- 1. les ruptures (projection) de pale,
- 2. les effondrements,
- 3. les incendies,
- 4. les chutes de pale,
- 5. les chutes des autres éléments de l'éolienne.

Les tempêtes sont la principale cause de ces accidents. Le détail des événements répertoriés est présenté dans le tableau ci-après.

Date et lieu	Référence	Détail de l'accident	Projection / chute de pales	Chute / pliage du mât	Chute nacelle / rotor	Incendie	Projection de glace	Dégât sur les pales	Autre	Cause(s)
11/2000 11 - PORT LA NOUVELLE	SER - FEE	Le mât d'une éolienne (Vestas V39) mise en service en 1993 s'est plié lors d'une tempête suite à la perte d'une pale (coupure courant prolongée pendant 4 jours suite à la tempête).		x						Tempête avec foudre répétée.
2001 11 - SALLELES-LIMOUSIS	SER - FEE	Bris de pales en bois (avec inserts) d'une éolienne (Windmaster WM43/750) installée en 1998.	x							Non connues.
01/02/2002 59 - WORMHOUT	SER - FEE	Bris d'hélice et mât plié (Turbowinds T400-34, mise en service en 1997).	x	x						Tempête.
25/02/2002 11 - SALLELES-LIMOUSIS	SER - FEE	Bris de pale en bois (avec inserts) sur une éolienne bipale (Windmaster WM43/750) montée en 1998.	x							Tempête.
01/07/2002 11 - PORT LA NOUVELLE	SER - FEE	Grave électrisation avec brûlures d'un technicien sur un parc (éolienne : Gamesa G47) datant de 2000 (ne concerne pas directement l'étude de dangers).							x	Lors de mesures pour caractériser un transformateur en tension, le mètre utilisé par la victime s'est plié et est entré dans la zone du transformateur, créant un arc électrique.
28/12/2002 11 - NEVIAN GRANDE GARRIGUE	SER - FEE	Effondrement d'une éolienne (2002) suite au dysfonctionnement du système de freinage.		x						Tempête + dysfonctionnement du système de freinage.
05/11/2003 11 - SALLELES-LIMOUSIS	SER - FEE	Bris de pales en bois (avec inserts) sur trois éoliennes (Windmaster WM43/750). Morceaux de pales disséminés sur 100 m.	x							Dysfonctionnement du système de freinage.
01/01/2004 62 - LE PORTEL	BARPI N°26119	Une éolienne haute de 60 m, inaugurée en mai 2002, se brise durant la nuit en entraînant la chute de sa génératrice et des pales du rotor. Les pales de 25 m sont retrouvées sur la plage.	x	x	x					Défaut de serrage des boulons servant à relier 2 tronçons du mât (défaillance d'entretien) et tempête.
20/03/2004 59 - DUNKERQUE	BARPI N°29388	Le vent abat une des 9 éoliennes en service depuis 1996 (Windmaster 300 kW) suite à l'arrachement de la fondation.		x						Rupture de 3 des 4 micro-pieux de la fondation, erreur de calcul (facteur de 10).
22/06/2004 et 08/07/2004 29 - PLEYBER CHRIST Site du Télégraphe	SER - FEE	Survitesse puis éjection de bouts de pales de 1,5 et 2,5 m à 50 m, mât intact (Windmaster WM28/300, mise en service en 2001).	x							Tempête + problème d'allongement des pales et retrait de sécurité (débridage).
2004 11 - ESCALES CONILHAC	SER - FEE	Bris de trois pales d'une éolienne (Jeumont J48/750) montée en 2003.	x							Non connues.
22/12/2004 26 - MONTJOYER	BARPI N°29385	Bris des trois pales et début d'incendie sur une éolienne de 750 kW (Jeumont J48/750) mise en service en 2004 (survitesse de plus de 60 tr/min).	x			x				Survitesse due à une maintenance en cours, problème de régulation, et dysfonctionnement du dispositif de freinage.
2005 59 - WORMHOUT	SER - FEE	Bris de pale (Turbowinds T400-34, mise en service en 1997).	x							Non connues.
08/10/2006 29 - PLEYBER CHRIST Site du Télégraphe	SER - FEE	Chute d'une pale de 20 m pesant 3 tonnes d'une éolienne (Windmaster WM28/300) datant de 2004.	x							Allongement des pales et retrait de sécurité (débridage), pas de retour d'expérience suite aux précédents accidents sur le même parc.
18/11/2006 11 - ROQUETAILLADE	SER - FEE	Acte de malveillance : explosion de bonbonne de gaz au pied de 2 éoliennes (Gamesa G47). L'une d'entre elles a mis le feu en pied de mât qui s'est propagé jusqu'à la nacelle.				x				Acte de malveillance / incendie criminel.

Date et lieu	Référence	Détail de l'accident	Projection / chute de pales	Chute / pliage du mât	Chute nacelle / rotor	Incendie	Projection de glace	Dégât sur les pales	Autre	Cause(s)
03/12/2006 59 - BONDUES	SER - FEE	Sectionnement du mât, puis effondrement d'une éolienne installée en 2005 dans une zone industrielle (Lagerwey LW80-18)		x						Tempête (vents mesurés à 137 km/h).
31/12/2006 43 - ALLY	SER - FEE	Chute de pale lors d'un chantier de maintenance visant à remplacer les rotors d'éoliennes mises en service en 2005.	x							Accident faisant suite à une opération de maintenance.
03/2007 50 - CLITOURPS	SER - FEE	Rupture d'un morceau de pale de 4 m et éjection à plus de 200 m de distance dans un champ (Vestas V47/660, mise en service en 2005).	x							Non connues.
11/10/2007 29- PLOUVIEN	SER - FEE	Chute d'un élément de la nacelle (trappe de visite de 50 cm de diamètre) d'une éolienne (Siemens SWT 1.3) montée en 2007.			x					Défaut au niveau des charnières de la trappe de visite. Correctif appliqué et retrofit des boulons de charnières effectué sur toutes les machines en exploitation.
10/03/2008 29 - DINEAULT	BARPI N°34340	Une éolienne (Windmaster WM28/300) installée en 2002 devient incontrôlable. Un arrêté est pris par la municipalité pour établir un large périmètre de sécurité autour de l'installation et interdire les accès piéton et la circulation. L'une des pales de 12,5 m de long a commencé à se plier, risquant de frotter contre le mât.						x		Endommagement du dispositif d'arrêt automatique des pales suite à des coupures de courant dues à des vents de tempête.
04/2008 29 - PLOUGUIN	SER - FEE	Léger choc entre l'aile d'un bimoteur Beechcraftch (liaison Ouessant-Brest) et une pale d'éolienne à l'arrêt. Perte d'une pièce de protection au bout d'aile. Mise à l'arrêt de la machine (Enercon E66/2000) pour inspection.						x		Mauvaise météo, conditions de vol difficiles (sous le plafond des 1000 mètres imposé pour le survol de la zone) et faute de pilotage (altitude trop basse).
19/07/2008 55 – ERIZE LA BRULEE	SER - FEE	Chute de pale et projection de morceaux de pale suite à un coup de foudre (Gamesa G90, installée en 2007).	x							Foudre + défaut de pale.
28/08/2008 80 - VAUVILLERS	SER - FEE	Incendie de la nacelle d'une éolienne (Vestas V80/2000) montée en 2006.				x				Problème au niveau d'éléments électroniques.
26/12/2008 55 - RAIVAL	SER - FEE	Chute de pale (Gamesa G90, mise en service en 2007).	x							Non connues.
26/01/2009 02 - CLASTRES	BARPI N°35814	Deux techniciens sont électrisés et gravement brûlés lors de la maintenance de compteurs électriques implantés au 1 ^{er} niveau d'une éolienne (Neg-Micon NM92). Les 2 employés portaient leur harnais de sécurité et les compteurs étaient accessibles par un escalier extérieur (ne concerne pas directement l'étude de dangers).							x	Accident électrique (explosion d'un convertisseur).
08/06/2009 84 - BOLLENE	SER - FEE	Bout de pale, d'une éolienne mise en service en 2009, ouvert.						x		Coup de foudre sur la pale.
21/10/2009 85 - FROIDFOND	SER - FEE	Incendie de la nacelle d'une éolienne (Gamesa G80/2000) installée en 2006.				x				Probablement un court-circuit dans transformateur sec embarqué en nacelle.
30/10/2009 07 - FREYSSINET	BARPI N°37601	Feu au sommet du rotor d'une éolienne (Vestas V80/2000) mise en service en 2005. Le matériel fond sous l'effet de la chaleur en dégageant de la fumée et en générant des nuisances olfactives perceptibles de loin. Le lieu est sécurisé et la circulation interrompue sur la route proche pendant une semaine. Le réseau électrique des 7 éoliennes du parc est coupé, empêchant le fonctionnement des signaux lumineux préventifs pour les aéronefs.				x				Probablement un court-circuit faisant suite à une opération de maintenance.

Date et lieu	Référence	Détail de l'accident	Projection / chute de pales	Chute / pliage du mât	Chute nacelle / rotor	Incendie	Projection de glace	Dégât sur les pales	Autre	Cause(s)
20/04/2010 59 - TOUFFLERS	Voix du Nord, 20/04/10	Décès d'un technicien au cours d'une opération de maintenance (ne concerne pas directement l'étude de dangers).							x	Crise cardiaque.
30/05/2010 11 - PORT LA NOUVELLE	SER - FEE	Effondrement d'une éolienne (Vestas V25) installée en 1991.		x						Le rotor avait été endommagé par l'effet d'une survitesse. La dernière pale (entière) a pris le vent créant un balourd. Le sommet de la tour a plié et est venu buter contre la base entraînant la chute de l'ensemble.
19/09/2010 26 - MONTJOYER	SER - FEE	Emballement de deux éoliennes (Jeumont J48/750) mises en service en 2004 et incendie des nacelles.				x				Maintenance en cours, problème de régulation, freinage impossible, évacuation du personnel, survitesse d'environ 60 tours par minute.
15/12/2010 44 - POUILLE-LES-COTEAUX	SER - FEE	Chute de 3 m d'un technicien de maintenance à l'intérieur de l'éolienne. Il a été secouru par le GRIMP de Nantes. Aucune fracture et blessure grave (ne concerne pas directement l'étude de dangers).							x	Non connues.
31/05/2011 71 - MESVRES	Article de presse (Le Bien Public, 01/06/11)	Collision entre un train régional et un convoi exceptionnel transportant une pale d'éolienne, sur un passage à niveau. Aucun blessé n'est à déplorer (ne concerne pas directement l'étude de dangers).							x	
14/12/2011 FRANCE	Interne exploitant	Pale endommagée par la foudre sur une éolienne mise en service en 2003. Fragments retrouvés par l'exploitant agricole à une distance n'excédant pas 300 m.	x							Foudre.
03/01/2012 FRANCE	Interne exploitant	Départ de feu en pied de tour. Acte de vandalisme : la porte de l'éolienne a été découpée pour y introduire des pneus et de l'huile que l'on a essayé d'incendier. Le feu ne s'est pas propagé, dégâts très limités et restreints au pied de la tour.				x				Malveillance.
05/01/2012 62 - WIDEHEM	Article de presse (Voix du Nord, 06/01/12)	Des fragments et bris de pale d'une éolienne, mise en service en 2000, ont été projetés jusqu'à 380 m. Aucun blessé et aucun dégât matériel en dehors de l'éolienne.	x							Tempête et panne électrique.
06/02/2012 02 - LEHAUCOURT	BARPI N°41628	Au cours d'une opération de maintenance dans la nacelle d'une éolienne, un arc électrique blesse deux sous-traitants, l'un gravement et l'autre légèrement. Les deux victimes descendent par leurs propres moyens. Les pompiers hospitalisent l'employé le plus gravement atteint et s'assurent qu'il n'y a plus de risque dans la nacelle. Les victimes portaient leurs EPI lors des faits. Un accident similaire s'était produit en 2009 - ARIA N°35814.							x	
11/04/2012 11 - SIGEAN	BARPI N°43841	Impact sur le mât et projection à 20 m d'un débris de pale long de 15 m.	x							Foudre
18/05/2012 28 - FRESNAY-L'ÉVÊQUE	BARPI N°42919	Oscillation anormale d'un aérogénérateur de 2 MW installé en 2008, provoquant sa mise à l'arrêt. Une pale (9 tonnes, 46 m) est retrouvée au pied de l'installation (rupture du roulement qui raccordait la pale au hub).	x							Corrosion résultant des conditions de production et de stockage des pièces constitutives du roulement

Date et lieu	Référence	Détail de l'accident	Projection / chute de pales	Chute / pliage du mât	Chute nacelle / rotor	Incendie	Projection de glace	Dégât sur les pales	Autre	Cause(s)
30/05/2012 11 - PORT LA NOUVELLE	BARPI N°43110	Les rafales de vent à 130 km/h observées durant la nuit ont provoqué l'effondrement de la tour en treillis de 30 m de haut. Construit en 1991, l'aérogénérateur de 200 kW faisait partie des premières installations de ce type en France. Il était à l'arrêt pour réparations au moment des faits.		x						Rafales de vent à 130 km/h
01/11/2012 15 - VIEILLESPESE	BARPI N°43120	Un élément de 400g constitutif d'une pale d'éolienne est projeté à 70 m du mât, à l'intérieur de la parcelle clôturée du parc de 4 aérogénérateurs de 2,5 MW mis en service en 2011.	x							
05/11/2012 11 - SIGEAN	BARPI N°43228	Feu sur une éolienne de 660 kW, déclaré en partie basse et propagé à la nacelle via les câbles électriques. Des projections incandescentes enflamment 80 m² de garrigue environnante. Un dysfonctionnement du frein de l'éolienne à la suite de la perte des dispositifs de pilotage résultant de l'incendie en pied pourrait avoir agi comme circonstance aggravante.				x				Dysfonctionnement transformateur ou armoire basse tension Mauvaise tenue au feu des câbles
06/03/2013 11 - CONILHAC-DE-LA-MONTAGNE	BARPI N°43576	À la suite d'un défaut de vibration, une éolienne se met automatiquement à l'arrêt. Une pale qui a percuté le mât est retrouvée au sol.	x							Défaut de fixation
17/03/2013 51 - EUVY	BARPI N°43630	Feu dans la nacelle d'une éolienne. Une des pales tombe au sol, une autre menace de tomber. 450 l d'huile de boîte de vitesse s'écoulent, conduisant l'exploitant à faire réaliser une étude de pollution des sols. Au moment du départ de feu, le vent soufflait à 11 m/s. La puissance de l'éolienne était proche de sa puissance nominale.	x			x			x	Possible défaillance électrique
01/07/2013 34 - CAMBON-ET-SALVERGUE	BARPI N°44150	Un opérateur remplissant un réservoir d'azote sous pression dans une éolienne est blessé par la projection d'un équipement. La survenue de l'accident malgré un dispositif d'alerte amène l'exploitant à repenser la procédure d'alimentation de l'accumulateur de gaz dans la configuration exigüe de la nacelle d'éolienne.							x	
03/08/2013 56 - MOREAC	BARPI N°44197	Fuite de 270 l d'huile hydraulique lors d'une intervention de maintenance 80 m² de sol pollué, 25 t de terres sont excavées.							x	Fuite
09/01/2014 08 - ANTHENY	BARPI N°44831	Feu dans la nacelle d'une éolienne du parc de 5 machines. Mise en place d'un périmètre de 300 m autour du sinistre, mise en sécurité de la machine par les responsables du site. Les éoliennes (NORDEX N100 - 2,5 MW) avaient été installées en août 2013. L'éolienne est démantelée le 17/06 par basculement à l'explosif.				X				
20/02/2014 11 - SIGEAN	BARPI N°44870	Chute d'une pale de 20 m. Un périmètre de sécurité de 100 m est établi autour de l'éolienne. Les autres machines du parc sont inspectées puis redémarrées. La pale endommagée sera remplacée.	X							Défaillance matérielle de l'anneau de jonction des pales aux rotors
14/11/2014 07 - SAINT-CIRGUES-EN-MONTAGNE	BARPI N°45960	Chute d'une pale et projection de débris à 150 m lors d'un orage avec des rafales de vent atteignant les 130 km/h.	X							Orage
05/12/2014 11 - FITOU	BARPI N°46030	Chute à 80 m d'une extrémité de 3 mètres d'une pale. Incident probablement dû à une défaillance matérielle ou à un décollement sur les plaques en fibre de verre.						X		Défaillance matérielle

Date et lieu	Référence	Détail de l'accident	Projection / chute de pales	Chute / pliage du mât	Chute nacelle / rotor	Incendie	Projection de glace	Dégât sur les pales	Autre	Cause(s)
29/01/2015 02 - REMIGNY	BARPI N°46304	Feu dans une éolienne en phase de test. Un défaut d'isolation au niveau des connexions des conducteurs de puissance serait à l'origine du sinistre.				X				Défaillance matérielle
06/02/2015 79 - LUSSERAY	BARPI N°46237	Feu dans une éolienne, au niveau d'une armoire électrique où interviennent 2 techniciens. Ces derniers éteignent l'incendie avec 2 extincteurs. L'éolienne est hors service le temps des réparations.				X				
24/08/2015 28 - SANTILLY	BARPI N°47062	Feu sur le moteur d'une éolienne situé à 90 m de hauteur. La nacelle étant trop haute pour la grande échelle des pompiers, ces derniers décident de laisser brûler le foyer sous surveillance.				X				
10/11/2015 55 - MÉNIL-LA-HORGNE	BARPI N°47377	Chute du rotor d'une éolienne (Senvion MD 77, en service depuis 2007), écrasant le transformateur.	X		X					Défaut de fabrication arbre lent
07/02/2016 11 - CONILHAC-CORBIÈRES	BARPI N°47675	Rupture d'aérofrein	X							Défaillance matérielle
08/02/2016 29 - DINEAULT	BARPI N°47680	Une éolienne installée en juin 1999 perd deux pales lors d'une tempête. Une des pales s'est retrouvée en lambeaux avec des projections sur plusieurs dizaines de mètres.	X							Tempête
07/03/2016 22 - CALANHEL	BARPI N°47763	La pale d'une éolienne d'un parc de 11 machines se détache et s'écrase au sol.	X							Défaillance matérielle
18/08/2016 60 - DARGIES	BARPI N°48471	De la fumée s'échappe de la nacelle. Une défaillance électrique serait à l'origine de l'incendie (l'armoire électrique ou le pupitre de commande en serait le point de départ).				X				Défaillance électrique
12/01/2017 11 - TUCHAN	BARPI N°49104	Au cours d'un épisode de vents violents, les 3 pales d'une éolienne chutent au sol. Les morceaux de fibre de carbone sont répartis sur une surface de 40 m autour de l'éolienne. L'éolienne de 600 kW était à l'arrêt suite à la casse de son arbre lent quelques jours avant. Malgré la mise en position de sécurité, les vents à 25 m/s ont provoqué la rupture des pales à cause d'une vitesse de rotation excessive.	X							Casse de l'arbre lent, ce qui a eu pour effet le désaccouplement du rotor avec le multiplicateur, et donc de rendre inopérant le frein mécanique.
18/01/2017 80 - NURLU	BARPI N°49151	Chute de pale suite à une tempête. Les 2/3 de la pale sont brisés, mais son armature est toujours en place. L'essentiel des débris se situe à moins de 90 m du mât. Les débris les plus lourds sont à moins de 27 m.	X							Tempête
27/02/2017 55 - LAVALLÉE	BARPI N°49359	Rupture de pale (rayon concerné : 200 m) après détection de vent fort et détection de vibrations						X		Orage, rafale de vent extrême
27/02/2017 79 - TRAYES	BARPI N°49374	Chute d'un fragment de pale ; projection de fragments jusqu'à 150 m	X							Défaillance matérielle (fabrication)
06/06/2017 28 - ALLONNES	BARPI N°49746	Feu dans la nacelle d'une éolienne. La nacelle et le rotor sont totalement calcinés. L'éolienne est démantelée le 17/06/2017.				X				Défaut des condensateurs du boîtier électrique, situé dans la nacelle

Date et lieu	Référence	Détail de l'accident	Projection / chute de pales	Chute / pliage du mât	Chute nacelle / rotor	Incendie	Projection de glace	Dégât sur les pales	Autre	Cause(s)
08/06/2017 16 - AUSSAC-VADALLE	BARPI N°49768	Une partie d'une pale d'une éolienne chute au sol. Les débris sont tombés dans une zone de 50 à 100 m du mât.	X							Un impact de foudre est à l'origine de la rupture de la pale. Il a entraîné la rupture du bord de fuite, puis une déchirure du fragment.
24/06/2017 62 - CONCHY-SUR-CANCHE	BARPI N°49902	Chute d'une pale sans cause extérieure connue (rayon concerné : 20 m)	X							Défaillance matérielle
17/07/2017 76 - FECAMP	BARPI N°50291	Un aérofrein se détache d'une pale d'éolienne.	X							Défaillance matérielle (la chute de l'aérofrein est due au desserrage d'une vis anti-rotation)
05/08/2017 02 - PRIEZ	BARPI N°50148	Une pale d'éolienne se brise en son milieu et tombe au sol.	X							
08/11/2017 27 - ROMAN	BARPI N°50694	Le carénage de la pointe de la nacelle d'une éolienne est tombé au sol.							X	La chute du carénage est due à un défaut d'assemblage de ses boulonnages
01/01/2018 85 - BOUIN	BARPI N°50913	Chute d'une éolienne de 80 m de mât, sectionnée à 5 m de hauteur lors du passage de la tempête Carmen		X						Conjonction de différents éléments : - conditions météorologiques (tempête avec tornade sur place), - décision de pilotage à distance inadaptée (suite à cela les pales seraient parties en survitesse et auraient heurté le mât), - dysfonctionnements techniques (mise en drapeau de l'éolienne puis pannes successives des blocs de frein du système d'orientation des pales).
04/01/2018 55 - NIXEVILLE-BLERCOURT	BARPI N°50905	L'extrémité d'une pale de 2 MW se rompt. Un morceau de 20 m chute au sol. Les morceaux les plus éloignés sont ramassés à 200 m.	X							Orage, rafale de vent extrême
06/02/2018 11 - CONILHAC-CORBIERES	BARPI N°51122	Rupture d'aérofrein	X							Défaillance matérielle
05/06/2018 34 - AUMELAS	BARPI N°51681	Feu dans la nacelle d'une éolienne. La nacelle est presque totalement détruite. L'exploitant découple à distance le parc éolien du réseau électrique environ 10 minutes après le début de l'incendie.				X				Dysfonctionnement électrique
06/11/2018 45 - GUIGNEVILLE	BARPI N°52558	Chute d'une éolienne dans un parc de 2 machines. Le mât s'est arraché de sa base en béton (filetage des boulons de fixation du mât arasés, et écrous arrachés).		X						
18/11/2018 11-CONILHAC-CORBIERES	BARPI N°52653	Chute au sol des 3 aérofreins situés en extrémité des pales d'une éolienne. Les débris sont contenus dans un rayon de 150 m au pied du mât.						X		Rupture des parties en fibre de verre ainsi que de l'axe en carbone de fixation de l'aérofrein
19/11/2018 02 - OLLEZY	BARPI N°52638	Chute d'une pale, un morceau de 40 m est au sol à environ 60 m de l'éolienne.	X							L'imprégnation insuffisante de la fibre biaxiale moulée a pu occasionner une perte d'adhérence entre les couches de carbone

Date et lieu	Référence	Détail de l'accident	Projection / chute de pales	Chute / pliage du mât	Chute nacelle / rotor	Incendie	Projection de glace	Dégât sur les pales	Autre	Cause(s)
03/01/2019 44 - LA LIMOUZINIÈRE	BARPI N°52838	Incendie sur une éolienne				X				Avarie de la génératrice
17/01/2019 57 - BAMBIDERSTROFF	BARPI N°52967	Chute d'un bout de pale d'éolienne, deux morceaux chutent (5 m et 28 m). L'un des deux est projeté à 100 m de l'éolienne.	X							Défaut d'adhérence dû à un manque de matière entre la coque en fibre de verre et le cœur de la pale
20/01/2019 26 - ROUSSAS	BARPI N°52993	Incendies criminels dans un parc éolien				X				Acte criminel
23/01/2019 60 - BOUTAVENT	BARPI N°53010	Rupture du mât d'une éolienne		X						Chute de tension au niveau des batteries
30/01/2019 11 - ROQUETAILLADE ET CONILHAC	BARPI N°53139	Chute d'une pale d'éolienne	X							Défaillance matérielle
18/06/2019 80 - QUESNOY-SUR-AIRAINES	BARPI N°53857	Incendie sur une éolienne				X				Court-circuit sur un condensateur
25/06/2019 56 - AMBON	BARPI N°53860	Feu de moteur d'éolienne				X				Procédure de sécurité lors de la maintenance de l'éolienne non respectée par les techniciens
27/06/2019 02 - CHARLY-SUR-MARNE	BARPI N°53894	Chute d'un bout de pale d'une éolienne (une face à 15 m, l'autre face à 100 m)	X							Contact inadéquat de la coque extradados et des bords de l'adhésif du longeron
04/09/2019 11 - ESCALES	BARPI N°54407	Chute d'aérofreins en bout de pale d'une éolienne. Deux aérofreins se détachent suite à un arrêt anormalement brutal. L'un est retrouvé à 5 m de l'éolienne, et l'autre à 65 m.						X		
28/11/2019 80 - HANGETS-EN-SANTERRE	BARPI N°54761	Chute du capot de la nacelle d'une éolienne							X	
09/12/2019 16 - LA-FORÊT-DE-TE SSE	BARPI N°54810	Chute d'une partie de la pale d'une éolienne	X							Rupture liée à un défaut interne de la pale
17/12/2019 52 - AMBONVILLE	BARPI N°54820	Incendie sur une éolienne				X				Défaillance électrique
22/01/2020 21 - SAINT-SEINE-L'ABBAYE	BARPI N°55331	Chute d'un joint de pale d'une éolienne							X	Défaillance du colier de serrage
09/02/2020 02 - BEAUREVOIR	BARPI N°55055	Rupture d'une pale d'éolienne lors du passage d'une tempête	X							Conditions météorologiques (tempête Ciara)

Date et lieu	Référence	Détail de l'accident	Projection / chute de pales	Chute / pliage du mât	Chute nacelle / rotor	Incendie	Projection de glace	Dégât sur les pales	Autre	Cause(s)
09/02/2020 62 - WANCOURT	BARPI N°55227	Endommagement d'une nacelle d'éolienne lors d'une tempête							X	Conditions météorologiques (tempête Ciara)
26/02/2020 16 - THEIL-RABIER	BARPI N°55311	Rupture d'une pale sur une éolienne	X							Rupture liée à un défaut interne de la pale
29/02/2020 80 - BOISBERGUES	BARPI N°55133	Incendie sur une éolienne				X				Fuite d'huile
24/03/2020 12 - FLAVIN	BARPI N°55294	Incendie d'une nacelle et du rotor d'une éolienne				X				
30/04/2020 29 - PLOUARZEL	BARPI N°55641	Pliure d'une pale d'éolienne, un morceau est tombé au sol suite à des chocs sur le mât.	X							Coups de vents à répétition dont la vitesse serait supérieure à celle à l'origine du dimensionnement de l'éolienne
27/06/2020 22 - PLEMET	BARPI N°55650	Chute au sol d'une pale complète d'éolienne	X							Vent fort, défaillance matérielle
12/01/2021 36 - SAINT-GEORGES-SUR-ARNON	BARPI N°56597	Rupture d'une pale d'éolienne, les deux autres pales et la nacelle sont endommagées	X							Vent fort, défaillance matérielle, erreur de programmation
12/02/2021 02 - PRIEZ	BARPI N°56765	Casse d'une pale d'éolienne	X							Défaut de réparation au niveau du bord de fuite
13/02/2021 45 - PATAY	BARPI N°56753	Chute d'une pale d'éolienne	X							Défaillance matérielle
20/10/2021 85 - AUCHAY-SUR-VENDÉE	Ouest France	Casse d'une pale d'éolienne	X							
03/12/2021 23 - SAINT-AGNANT-DE-VERSILLAT	France Info	Chute d'une pale d'éolienne	X							

F2 - 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).

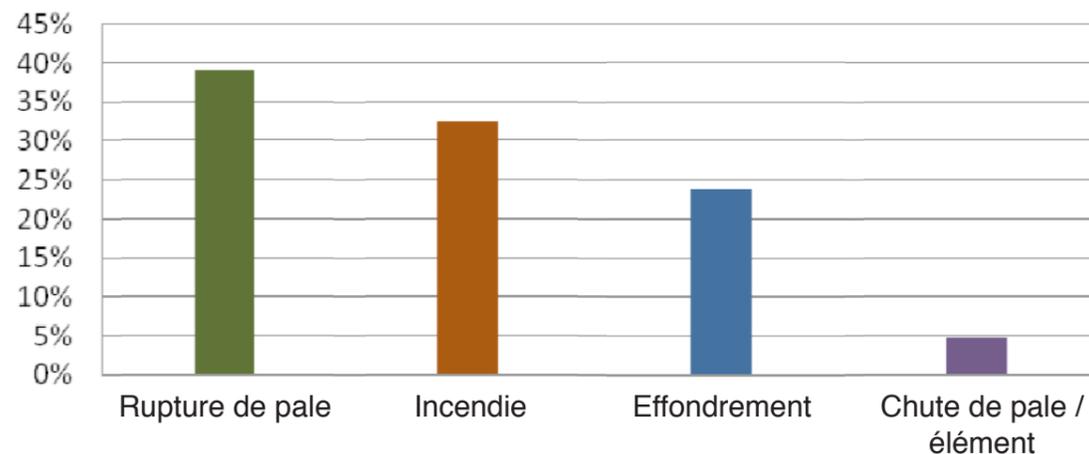
Sur les 994 accidents décrits dans la base de données au moment de sa consultation, seuls 236 sont considérés comme des « accidents majeurs ». Les autres concernant plutôt des accidents du travail, des presque-accidents, des incidents (...) ne sont donc pas pris en compte dans l'analyse suivante.

Les graphiques suivants (source : INERIS) montrent d'une part la répartition des événements accidentels par rapport à la totalité des accidents analysés et d'autre part les causes des trois principaux événements accidentels, à savoir l'effondrement, la rupture de pale et l'incendie.

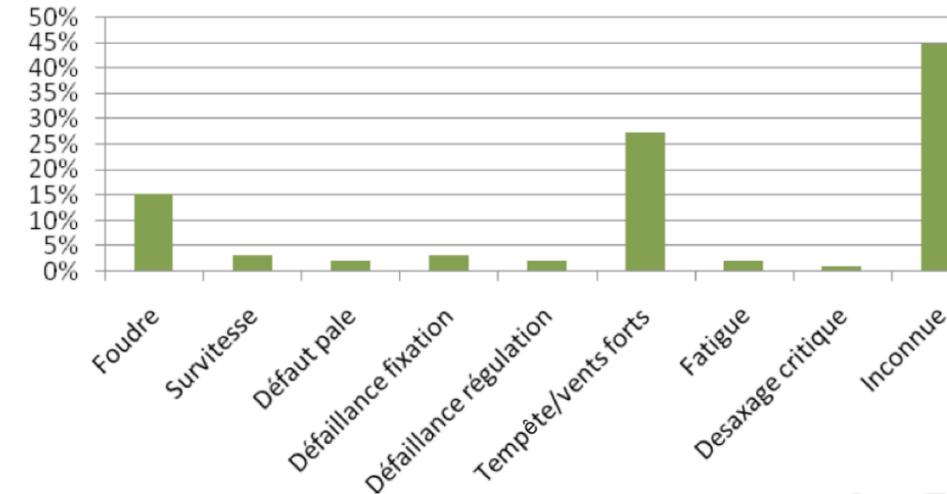
Le constat est assez semblable à l'échelle française et internationale. La rupture de pale est l'événement accidentel le plus répandu. L'incendie est le deuxième événement accidentel tandis que l'effondrement est le troisième (inversion par rapport à la France).

Concernant les causes, ce retour d'expérience montre l'importance des causes "tempêtes et vents forts" dans les accidents. Il souligne également le rôle de la foudre.

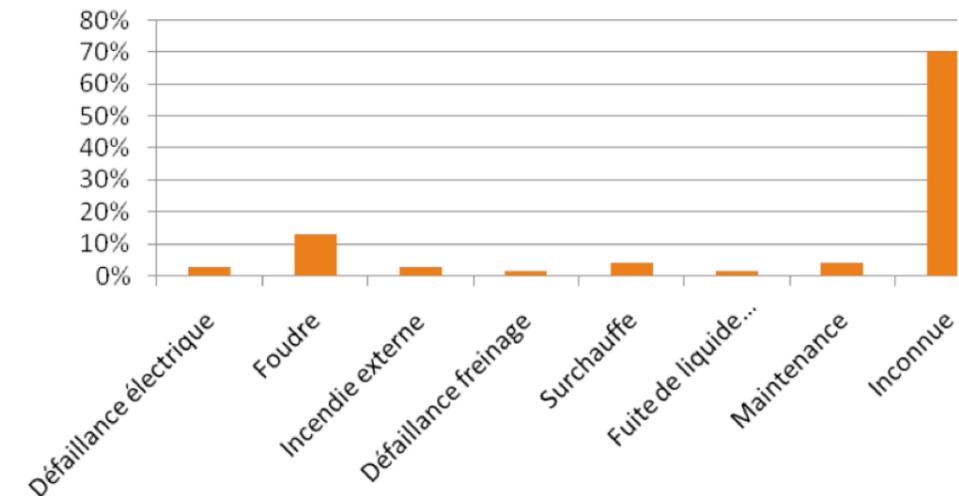
Répartition des événements accidentels dans le monde entre 2000 et 2011



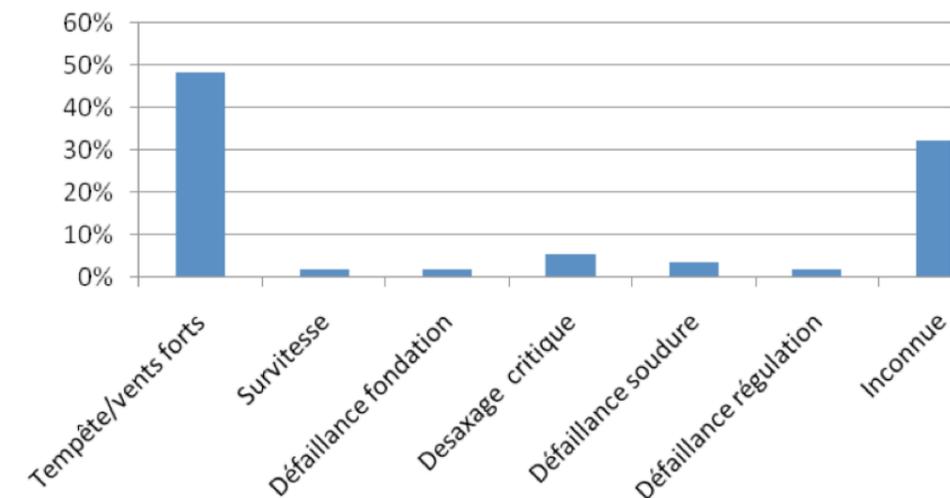
Répartition des causes premières de rupture de pale



Répartition des causes premières d'incendie



Répartition des causes premières d'effondrement



F3 - SYNTHÈSES DES PHÉNOMÈNES DANGEREUX REDOUTÉS ISSUS DU RETOUR D'EXPÉRIENCE

F3.1 - ANALYSE DES TYPOLOGIES D'ACCIDENTS LES PLUS FRÉQUENTS

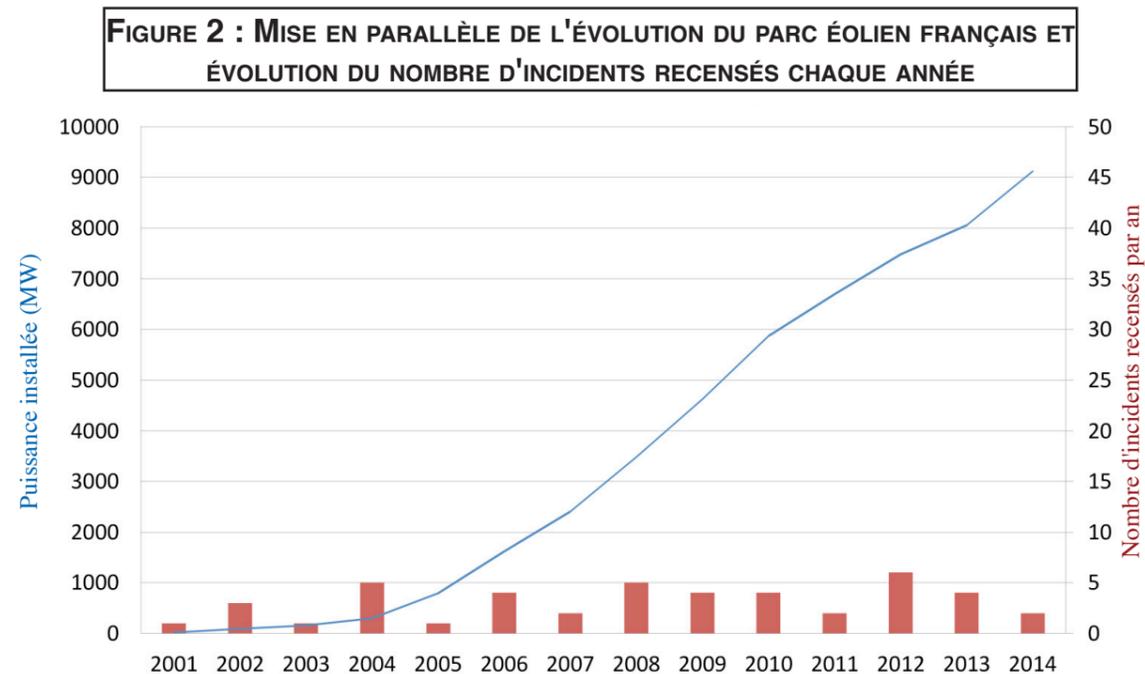
Le retour d'expérience de la filière éolienne française et internationale permet d'identifier les principaux événements redoutés suivants :

- effondrements,
- ruptures de pales,
- chutes de pales et d'éléments de l'éolienne,
- incendie.

F3.2 - ANALYSE DE L'ÉVOLUTION DES ACCIDENTS EN FRANCE

À 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 (Figure 2).

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.

F3.3 - LIMITES D'UTILISATION DE L'ACCIDENTOLOGIE

Ces retours d'expérience permettent de dégager de grandes tendances mais 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.

G - ANALYSE PRÉLIMINAIRE DES RISQUES

L'Analyse Préliminaire des Risques a pour objet d'identifier les causes et les conséquences potentielles découlant de situations dangereuses provoquées par des dysfonctionnements des installations étudiées. Elle permet de caractériser le niveau de risque de ces événements redoutés, selon une méthodologie décrite ci-dessous, et d'identifier les accidents majeurs, qui seront étudiés de manière détaillée dans ce dossier.

G1 - RECENSEMENT DES ÉVÈNEMENTS 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 sur-accident lié à l'éolienne est considéré comme négligeable dans le cas des 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.

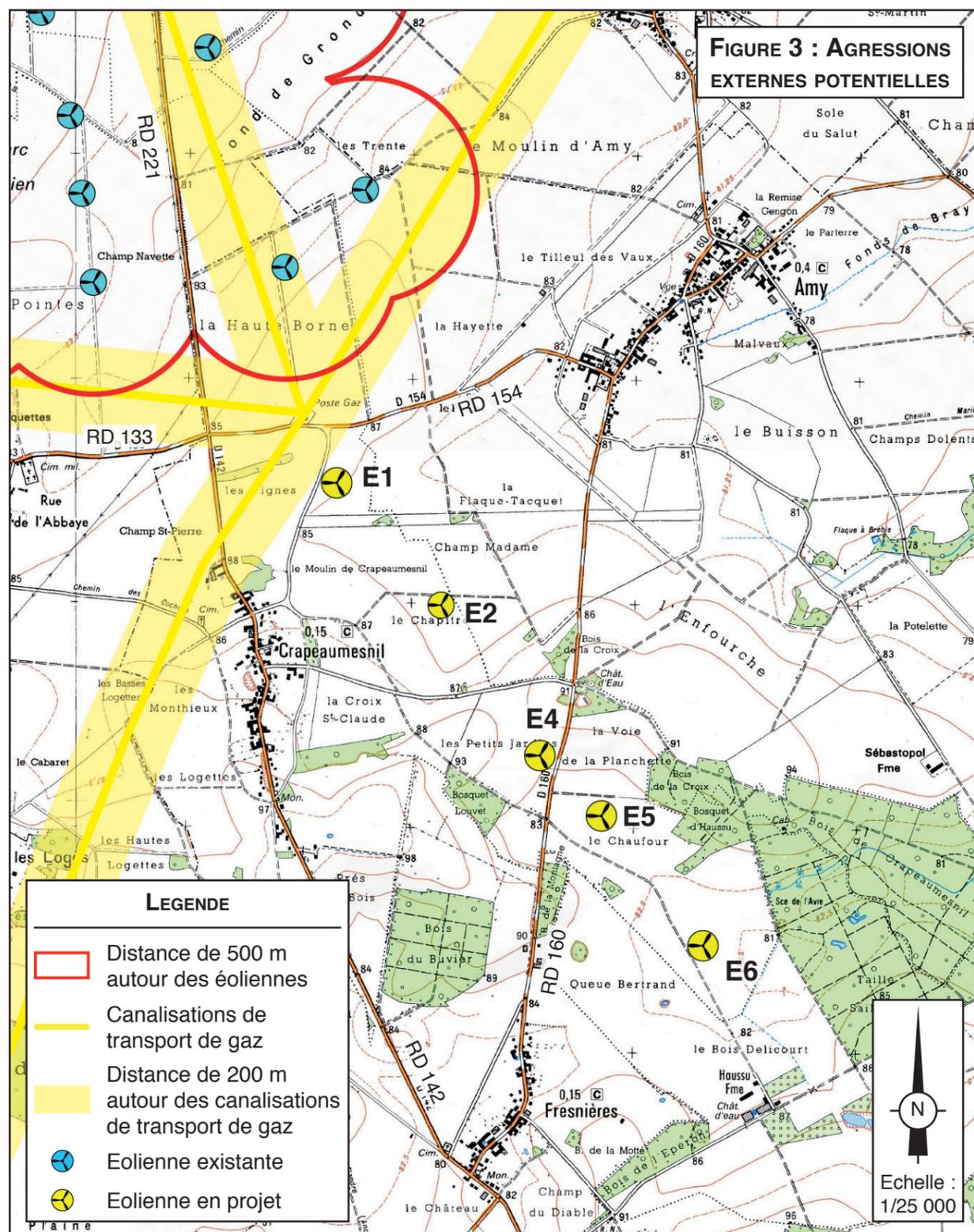
G2 - RECENSEMENT DES AGRESSIONS EXTERNES POTENTIELLES

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.

G2.1 - AGRESSIONS EXTERNES LIÉES AUX ACTIVITÉS HUMAINES

Les activités humaines sont susceptibles de constituer un agresseur potentiel dans les conditions suivantes, selon l'INERIS (Figure 3) :

- les aérodromes lorsqu'ils sont implantés dans un rayon de 2 km
 - aucun aérodrome ne se trouve dans ce rayon de 2 km
- les autres aérogénérateurs présents dans un rayon de 500 mètres
 - aucune autre éolienne dans ce rayon de 500 mètres
- les autres activités humaines (dont gazoducs, lignes électriques à très haute tension, voies ferrées...) dans un rayon de 200 m
 - dans un rayon de 200 m, on trouve des espaces cultivés, des chemins agricoles, des chemins.



Le tableau suivant synthétise les principales agressions externes potentielles liées aux activités humaines.

Dans une moindre mesure, les activités agricoles peuvent aussi constituer des agresseurs potentiels.

Infrastructure	Distance minimale par rapport au mât de l'éolienne (m)				
	E1	E2	E4	E5	E6
Voies de circulation	> 200 m	75 m	> 200 m	> 200 m	> 200 m
Voie ferrée	> 200 m				
Aérodrome	> 2 km				
Ligne THT	> 200 m				
Autres éoliennes	> 500 m				
Eoliennes du projet	E1	> 500 m	> 500 m	> 500 m	> 500 m
	E2	> 500 m	> 500 m	> 500 m	> 500 m
	E4	> 500 m	> 500 m	385 m	> 500 m
	E5	> 500 m	> 500 m	385 m	> 500 m
	E6	> 500 m	> 500 m	> 500 m	> 500 m

D'après la définition de l'INERIS, les installations susceptibles de constituer des agresseurs potentiels sont donc :

- la RD 160 située à moins de 200 m de l'éolienne E4,
- des éoliennes du projet entre elles.

G2.2 - AGRESSIONS EXTERNES LIÉES AUX PHÉNOMÈNES NATURELS

Le tableau ci-dessous synthétise et indique l'intensité* des principales agressions externes liées aux phénomènes naturels auxquelles l'aérogénérateur est soumis.

Agression externe	Intensité
Vents et tempêtes	Les rafales supérieures à 100 km/h sont peu fréquentes (4 jours par an) dans le secteur de la zone d'étude.
Foudre	Dans l'Oise, la densité de foudroiement est de l'ordre de 1,5 impact par an par km ² , tandis que la moyenne nationale est d'environ 1,8. Le risque orageux dans le secteur du projet, peut donc être considéré comme modéré.
Instabilité du sous-sol	Le projet fera l'objet d'une étude géotechnique pour lever tout risque lié aux mouvements de terrain.

Concernant le vent, les éoliennes respectent la norme IEC adaptée aux conditions de vent du site.

Rappelons que les agressions externes liées à des inondations, à des incendies de forêt ou de cultures ou à des séismes ne sont pas considérées dans ce tableau dans le sens où les dangers qu'elles pourraient entraîner sont largement inférieurs aux dommages causés par le phénomène naturel lui-même.

Concernant la foudre, l'INERIS considère que le respect des normes IEC 61 400-24 (juin 2010) ou la norme EN 62 305-3 (décembre 2006) 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. Il n'est donc pas traité en tant que tel dans l'analyse des risques et dans l'Étude Détaillée des Risques. 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.

La protection foudre des éoliennes qui seront installées répond au standard IEC61400-24 et aux standards non spécifiques aux éoliennes comme IEC62305-1, IEC62305-3 et IEC62305-4. Le contrôle du système de protection contre la foudre fait partie de la maintenance normale des machines. Elle inclut une vérification des dommages mécaniques dus à la foudre sur la pale si le système parafoudre n'a pas fonctionné.

* : Lorsque les données sont disponibles.

** : Guide Technique Élaboration de l'étude de dangers dans le cadre des parcs éoliens - INERIS, SER, FEE - Mai 2012

G3 - SCÉNARIOS ÉTUDIÉS DANS L'ANALYSE PRÉLIMINAIRE DES RISQUES

À l'issue du recensement des potentiels de danger des installations, qu'ils soient constitués par des substances dangereuses ou des équipements dangereux, l'APR identifie l'ensemble des séquences accidentelles et phénomènes dangereux associés pouvant déclencher la libération du danger.

Le tableau qui suit permet l'analyse générique des risques en définissant les éléments suivants :

- description de la succession des événements (événements initiateurs et événements intermédiaires),
- description des événements redoutés centraux qui marquent la partie incontrôlée de la séquence d'accident,
- description des fonctions de sécurité permettant de prévenir l'événement redouté central ou de limiter les effets du phénomène dangereux,
- description des phénomènes dangereux dont les effets sur les personnes sont à l'origine d'un accident,
- évaluation qualitative de l'intensité de ces événements, afin de prendre en compte la spécificité des éoliennes, 2 classes ont été établies :
 - "1" : 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 du groupe de travail mixte Syndicat des Énergies Renouvelables et INERIS :

- "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°	Événement initiateur / cause	Événement intermédiaire	Événement redouté central	Fonction de sécurité	Phénomène dangereux	Intensité
G01	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
G02		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)		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					2
I03	Survitesse	Échauffement des parties mécaniques et inflammation		Prévenir l'échauffement significatif des pièces mécaniques (N°3) Prévenir la survitesse (N°4)		2
I04	Désaxage de la génératrice / Pièce défectueuse / Défaut de lubrification			Prévenir l'échauffement significatif des pièces mécaniques (N°3)		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					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, fuite transformateur	Écoulement hors de la nacelle et le long du mât, puis sur le sol avec infiltration	Infiltration d'huile dans le sol	Prévention et rétention des fuites (N°8)	Pollution environnement	1
F02	Renversement de fluides lors des opérations de maintenance	Écoulement				1

N°	Événement initiateur / cause	Événement intermédiaire	Événement redouté central	Fonction de sécurité	Phénomène dangereux	Intensité	
C01	Défaut de fixation	Chute de trappe	Chute d'élément de l'éolienne	Prévenir les erreurs de maintenance (N°10)	Impact sur cible	1	
C02	Défaillance fixation anémomètre	Chute anémomètre		Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N°9)		1	
C03	Défaut fixation nacelle – pivot central – mât	Chute nacelle				1	
P01	Survitesse	Contraintes trop importantes sur les pales	Projection de tout ou partie de pale	Prévenir la survitesse (N°4)	Impact sur cible	2	
P02	Fatigue Corrosion	Chute de fragment de pale		Prévenir la dégradation de l'état des équipements (N°11)		2	
P03	Serrage inapproprié Erreur maintenance – desserrage			Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N°9) Prévenir les erreurs de maintenance (N°10)		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					2	
E05	Crash d'aéronef					2	
E07	Effondrement engin de levage travaux			Prévenir les erreurs de maintenance (N°10)		2	
E08	Vents forts			Défaillance fondation		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 cas de vent fort (N°11)	2
E09	Fatigue			Défaillance mât		Prévenir la dégradation de l'état des équipements (N°11)	2
E10	Désaxage critique du rotor	Impact pale – mât	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N°9) Prévenir les erreurs de maintenance (N°10)	2			

G4 - MISE EN PLACE DES MESURES DE SÉCURITÉ

La troisième étape de l'Analyse Préliminaire des Risques consiste à identifier les systèmes de sécurité installés sur les aérogénérateurs qui interviennent dans la prévention et / ou la limitation des phénomènes dangereux listés dans le tableau APR et de leurs conséquences.

Les tableaux suivants ont pour objectif de synthétiser les fonctions de sécurité identifiées sur les éoliennes. Certaines fonctions ne remplissent pas les critères "efficacité" ou "indépendance" : elles ont une fiabilité trop faible pour être considérées comme Mesure de Maîtrise des Risques, elles sont néanmoins décrites dans la mesure où elles concourent à une meilleure sécurité sur le site d'exploitation.

Un principe clé du processus d'élaboration d'une étude de dangers est qu'elle doit être proportionnelle au niveau de risques engendrés par les éoliennes sur leur environnement. Ainsi dans le cadre de l'étude de dangers des parcs éoliens, les aspects relatifs aux fonctions de sécurité qui sont détaillés sont les 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 d'"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 seront 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, pour permettre à l'inspection de comprendre leur fonctionnement.
- **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"). Dans le cadre des études de dangers éoliennes, cette indépendance est mesurée à travers les questions suivantes :
 - Est-ce que la mesure de sécurité décrite a pour unique but d'agir pour la sécurité ? Il s'agit en effet ici de distinguer ces dernières de celles qui ont un rôle dans la sécurité mais aussi dans l'exploitation de l'aérogénérateur.
 - Cette mesure est-elle indépendante des autres mesures intervenant sur le scénario ?

- **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. Il s'agit ici de vérifier que la mesure de maîtrise des risques agira "à temps" pour prévenir ou pour limiter les accidents majeurs. Dans le cadre d'une étude de dangers éolienne, l'estimation de ce temps de réponse peut être simplifiée et se contenter d'une estimation d'un temps de réponse maximum qui doit être atteint. Néanmoins, et pour rappel, la réglementation impose les temps de réponse suivants :

- une mesure de maîtrise des risques remplissant la fonction de sécurité "limiter les conséquences d'un incendie" doit permettre de détecter un incendie et de transmettre l'alerte aux services d'urgence compétents dans un délai de 15 minutes,
- une seconde mesure maîtrise des risques remplissant la fonction de sécurité "limiter les conséquences d'un incendie" doit permettre de détecter un incendie et de mettre en œuvre une procédure d'arrêt d'urgence dans un délai de 60 minutes,
- une mesure de maîtrise des risques remplissant la fonction de sécurité "limiter les conséquences d'une survitesse" doit permettre de détecter une survitesse et de transmettre l'alerte aux services d'urgence compétents dans un délai de 15 minutes,
- si applicable, une mesure de maîtrise des risques remplissant la fonction de sécurité "Prévenir les projections de glace" doit permettre de détecter la formation importante de glace sur les pales et de mettre en œuvre une procédure d'arrêt d'urgence dans un délai de 60 minutes.

- **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. Il s'agit de vérifier qu'une mesure de sécurité est bien dimensionnée pour remplir la fonction qui lui a été assigné. En cas de doute sur une mesure de maîtrise des risques, une note de calcul de dimensionnement peut être produite.

- **Test** (fréquence) : il s'agit ici de reporter les tests / essais qui seront réalisés sur les mesures de maîtrise des risques. Pour rappel, la réglementation demande qu'à minima un essai d'arrêt, d'arrêt d'urgence et d'arrêt à partir d'une situation de survitesse doivent être 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) : il s'agit ici de fournir 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.

Pour qu'une mesure de maîtrise des risques remplissant une fonction de sécurité puisse être retenue comme barrière de sécurité, il convient qu'elle vérifie les critères préliminaires suivants, pour un scénario d'accident donné :

- la barrière doit être de **concept éprouvé**.
- la barrière doit être **indépendante du procédé**. Ce critère est un principe général. Une étude approfondie des modes de défaillance peut permettre de s'en affranchir.
- la barrière doit être **indépendante des autres barrières évaluées** (cas où plusieurs barrières sont mises en œuvre pour le même scénario d'accident).

Si la barrière peut être considérée comme une barrière de sécurité, il conviendra de s'assurer de son aptitude à remplir efficacement la fonction de sécurité qui lui est attribuée. Pour cela, trois critères sont pris en compte :

- **l'efficacité**, elle doit être efficace à 100 % par rapport à sa fonction de sécurité.
- **le temps de réponse**, son temps de réponse doit être en adéquation avec la cinétique du phénomène qu'elle doit maîtriser.
- **le niveau de confiance**, il dépend de la nature de la barrière et intègre la probabilité moyenne de défaillance.

Remarque : pour certaines mesures de maîtrise des risques, certains de ces critères peuvent ne pas être applicables. Le critère correspondant est renseigné avec l'acronyme "NA" (Non Applicable)

Fonction de sécurité	Prévenir la mise en mouvement de l'éolienne lors de la formation de glace	Numéro de la fonction de sécurité
Mesure de sécurité	Système de détection du givre / glace Procédure adéquate d'arrêt et de redémarrage	FS 1
Description	<p>La formation de glace se traduit par un balourd du rotor.</p> <p>L'éolienne est donc équipée d'un capteur de vibration qui, en cas de détection (le seuil de détection dépend du type de machine, du type de mât et de la hauteur de la machine), entraîne un réglage rapide des pales de l'éolienne en position drapeau, ce qui induit un arrêt de la rotation des pales de l'éolienne (freinage aérodynamique de l'éolienne). Il suffit qu'une seule pale soit mise en drapeau pour freiner l'éolienne.</p> <p>Le capteur de vibration est un capteur dédié à la sécurité. Le signal du capteur est traité par microprocesseur au sein des armoires de commandes situé dans la nacelle. Si ce microprocesseur tombe en panne la machine s'arrête pour défaut de communication. De plus, les 3 systèmes de régulation des angles des pales sont indépendants.</p> <p>En fonction de la machine concernée et du système ayant détecté le problème, le redémarrage peut se faire :</p> <ul style="list-style-type: none"> • automatiquement après disparition des conditions de givre (lorsque le système de détection conclut à l'absence de glace : température supérieure à + 2°C de manière permanente par exemple), • et/ou manuellement sur site, avant la reprise automatique lorsque le système de détection conclut à l'absence de glace ou suite à un arrêt d'urgence, Pour ce faire, une inspection visuelle concluant à l'absence de glace sur l'aérogénérateur est nécessaire. 	
Indépendance	Non	
Temps de réponse	Quelques minutes (< 60 min.) conformément à l'article 25 de l'arrêté du 26 août 2011	
Efficacité	100 %	
Test	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 contrôle annuel conformément à l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2011 et maintenance de remplacement en cas de dysfonctionnement de l'équipement	

Fonction de sécurité	Prévenir l'atteinte des personnes par la chute de glace	Numéro de la fonction de sécurité
Mesure de sécurité	Panneautage en pied de machine Éloignement des zones habitées et fréquentées	FS 2
Description	Mise en place de panneaux en pied de machines informant de la possible formation de glace (conformément à l'article 14 de l'arrêté du 26 août 2011).	
Indépendance	Oui	
Temps de réponse	NA	
Efficacité	100 %	
Test	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	Numéro de la fonction de sécurité
Mesure de sécurité	Capteurs de température des pièces mécaniques Définition de seuils critiques de t° pour chaque type de composant avec alarmes Mise à l'arrêt ou bridage jusqu'à refroidissement	FS 3
Description	<p>Une température trop élevée peut limiter l'efficacité des systèmes de refroidissement (mauvaise évacuation des énergies) ou affecter le fonctionnement de certains composants.</p> <p>Ainsi, des capteurs sont mis en place pour mesurer les températures ambiantes. Un capteur, situé sous la nacelle, contrôle la température externe et conduit à l'arrêt de l'éolienne (mise en pause) pour une température supérieure à 40 °C. L'arrêt est également activé lorsque la température interne de la nacelle dépasse 40 °C.</p> <p>Des capteurs de température sont mis en place sur certains équipements (paliers et roulements des machines tournantes, enroulements du générateur et du transformateur, circuit d'huile, circuit d'eau). Ces capteurs ont des seuils hauts qui, une fois dépassés, conduisent à une alarme et à une mise à l'arrêt du rotor.</p>	
Indépendance	Oui	
Temps de réponse	NA	
Efficacité	100 %	
Test	NA	
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 dysfonctionnement de l'équipement.	

Fonction de sécurité	Prévenir la survitesse	Numéro de la fonction de sécurité
Mesure de sécurité	Détection de survitesse et système de freinage	FS 4
Description	<p>L'éolienne est mise à l'arrêt si la vitesse de vent mesurée dépasse la vitesse maximale, fonction du modèle. Cet arrêt est réalisé par le frein aérodynamique de l'éolienne avec mise en drapeau des pales (positionnement des pales à un angle de 85 à 90 ° pour un minimum de prise au vent). Cette mise en drapeau est effectuée par le système d'orientation des pales "Pitch System". L'éolienne s'arrête également si l'angle maximal des pales admis est dépassé.</p> <p>Chaque pale possède son propre système de régulation de l'angle des pales. Ces trois systèmes sont indépendants. La mise en drapeau d'une seule pale suffit à freiner l'éolienne.</p> <p>En cas de coupure de courant, l'éolienne est automatiquement stoppée par un système de réglage de pale alimenté par une batterie de secours. La charge des batterie est assurée par un chargeur automatique.</p>	
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 %	
Test	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	Numéro de la fonction de sécurité
Mesure de sécurité	Coupure de la transmission électrique en cas de fonctionnement anormal d'un composant électrique	FS 5
Description	<p>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 électrique et à la transmission d'un signal d'alerte vers l'exploitant qui prend alors les mesures appropriées.</p> <p>Le fonctionnement du détecteur commande le déclenchement de la cellule HT située en pied de mât, conduisant ainsi à la mise hors tension de la machine. La remise sous tension puis le recouplage de la machine ne peuvent être faits qu'après inspection visuelle des éléments HT de la nacelle, puis du réarmement du détecteur d'arc et de l'acquittement manuel du défaut.</p>	
Indépendance	Oui	
Temps de réponse	De l'ordre de la seconde	
Efficacité	100 %	
Test	NA	
Maintenance	<p>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 préventives mises en œuvre.</p> <p>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.</p> <p>Remplacement en cas de dysfonctionnement de l'équipement.</p>	

Fonction de sécurité	Prévenir les effets de la foudre	Numéro de la fonction de sécurité
Mesure de sécurité	Mise à la terre et protection des éléments de l'aérogénérateur	FS 6
Description	<p>Respect de la norme IEC 61 400 - 24 (juin 2010)</p> <p>Les pales sont équipées de dispositifs de capture. Un dispositif métallique flexible assure la continuité électrique entre la pale et le châssis métallique de la nacelle. Ce châssis est relié électriquement à la tour, elle-même reliée au réseau de terre disposé en fond de fouille (ensemble de prises de terre individuelles, intégrées dans les fondations puis connectées sur une barre de terre située en pied de mât) En cas de coup de foudre sur une pale, le courant de foudre est ainsi évacué.</p> <p>Certains équipements présents dans la nacelle notamment le générateur, le châssis du transformateur et la sortie basse tension du transformateur sont reliées au châssis de la nacelle mis à la terre. Le multiplicateur, lorsqu'il est présent, est isolé électriquement du générateur,</p> <p>Les circuits électriques sont blindés contre les champs électriques et magnétiques et équipés de para-surtenseurs afin de protéger les équipements des surtensions et des surintensités,</p> <p>Les capteurs de vents disposés sur le toit de la nacelle, de même que les dispositifs de balisage lumineux sont protégés contre les coups de foudre directs (dispositifs de capture reliés à la structure métallique de la nacelle, elle-même mise à la terre).</p>	
Indépendance	Oui	
Temps de réponse	Instantané	
Efficacité	100 %	
Test	NA	
Maintenance	<p>Conformément à l'article 9 de l'arrêté du 26 août 2011 :</p> <p>Inspection visuelle du système foudre 3 fois par an et une mesure annuelle</p> <p>Contrôle périodique tous les 4 ans de la mise à la terre (mesure)</p>	

Fonction de sécurité	Protection et intervention incendie	Numéro de la fonction de sécurité
Mesure de sécurité	<p>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</p> <p>Système de détection incendie relié à une alarme transmise à un poste de contrôle</p> <p>Intervention des services de secours</p>	FS 7
Description	<p>Le système de détection incendie est alimenté par le réseau secouru. La nacelle est équipée d'un détecteur de fumée, disposé à proximité des armoires électriques. Un deuxième détecteur est implanté en pied de tour, également au dessus des armoires électriques. Le détecteur de fumée de la nacelle est, d'un point de vue de la détection incendie, redondant avec la détection de température haute.</p> <p>Le déclenchement de ces détecteurs de fumée génère une alarme locale (sirène dans la nacelle et dans le tour) et une information vers le système de contrôle (arrêt de l'éolienne et isolement électrique par ouverture de la cellule en pied de mât). De façon concomitante un message d'alarme est envoyé au centre de télésurveillance via le système de contrôle commande.</p> <p>Plusieurs extincteurs (dans la nacelle et en pied de tour) sont utilisables par le personnel sur un départ de feu.</p>	
Indépendance	Oui	
Temps de réponse	<p>< 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. Le centre de secours le plus proche étant celui de Solesmes, ce délai d'intervention est de près de 10 mn.</p>	
Efficacité	100 %	
Test	NA	
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. 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	Prévention et rétention des fuites	Numéro de la fonction de sécurité
Mesure de sécurité	Détecteurs de niveau d'huiles Procédure d'urgence Kit antipollution	FS 8
Description	<p>De nombreux détecteurs de niveau d'huile et de liquide de refroidissement permettent de détecter les éventuelles fuites 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 : 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> <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 %	
Test	NA	
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)	Numéro de la fonction de sécurité
Mesure de sécurité	Contrôles réguliers des fondations et des différentes pièces d'assemblages (brides, joints, etc.) Procédures qualité	FS 9
Description	<p>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.</p> <p>Ainsi la nacelle, le nez, les fondations et la tour répondent au standard IEC 61 400-1.</p> <p>Les pales respectent le standard IEC 61 400-1 ; 12 ; 23.</p> <p>Les éoliennes sont protégées contre la corrosion due à l'humidité de l'air, selon la norme ISO 9223.</p>	
Indépendance	Oui	
Temps de réponse	NA	
Efficacité	100 %	
Test	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	Numéro de la fonction de sécurité
Mesure de sécurité	Procédure maintenance et formation	FS 10
Description	<p>Le personnel intervenant sur les installations (monteurs, personnel affecté à la maintenance) est formé et encadré.</p> <p>Les opérations réalisées tant dans le cadre du montage, de la mise en service que des opérations de maintenance périodique sont effectuées suivant des procédures qui définissent les tâches à réaliser, les équipements d'intervention à utiliser et les mesures à mettre en place pour limiter les risques d'accident.</p> <p>Des check-lists sont établies afin d'assurer la traçabilité des opérations effectuées.</p>	
Indépendance	Oui	
Temps de réponse	NA	
Efficacité	100 %	
Test	NA	
Maintenance	NA	

Fonction de sécurité	Prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de vent fort	Numéro de la fonction de sécurité
Mesure de sécurité	<p>Classe d'éolienne adaptée au site et au régime de vents.</p> <p>Détection et prévention des vents forts et tempêtes</p> <p>Arrêt automatique et diminution de la prise au vent de l'éolienne (mise en drapeau progressive des pales) par le système de conduite</p> <p>Surveillance des vibrations et turbulences</p>	FS 11
Description	<p>L'éolienne est mise à l'arrêt si la vitesse de vent mesurée dépasse la vitesse maximale (fonction du modèle). Cet arrêt est réalisé par le frein aérodynamique de l'éolienne avec mise en drapeau des pales. Cette mise en drapeau est effectuée par le système d'orientation des pales "Pitch System".</p>	
Indépendance	Oui	
Temps de réponse	< 1 minute	
Efficacité	100 %	
Test	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.	

G5 - CONCLUSION DE L'ANALYSE PRÉLIMINAIRE DES RISQUES

Rappelons que l'Analyse Préliminaire des Risques permet de sélectionner les accidents étudiés dans l'Étude Détaillée des Risques, en ne retenant que les séquences accidentelles dont l'intensité est telle qu'il peut avoir des effets significatifs sur la vie humaine.

Les accidents étudiés au cours de cette analyse sont ceux pour lesquels l'estimation de la criticité potentielle conduit à les placer dans la zone "EDR" de la matrice de sélection présentée ci-dessous (zone hachurée) :

Gravité	Probabilité (sens croissant de E vers A)				
	E	D	C	B	A
5. Désastreux					
4. Catastrophique					
3. Important					
2. Sérieux					
1. Modéré					

Les trois catégories de scénario ci-après sont exclues de l'étude détaillée, en raison de leur faible intensité :

Scénario non étudié	Argumentaire
Incendie de l'éolienne (effets thermiques)	En cas d'incendie de nacelle, et en raison de la hauteur des nacelles, les effets thermiques ressentis au sol seront mineurs. Par exemple, dans le cas d'un incendie de nacelle située à 50 mètres de hauteur, la valeur seuil de 3 kW/m ² n'est pas atteinte au sol. 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. 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.
Incendie du poste de livraison ou du transformateur	En cas d'incendie de ces éléments, les effets ressentis à l'extérieur des bâtiments (poste de livraison) seront mineurs ou inexistant du fait notamment de la structure en béton. De plus, la réglementation encadre déjà largement la sécurité de ces installations (l'arrêté du 26 août 2011 impose le respect des normes NFC 15-100, NFC 13-100 et NFC 13-200)
Infiltration d'huile dans le sol	En cas d'infiltration d'huiles dans le sol, les volumes de substances libérés dans le sol restent modérés.

À l'inverse, les cinq catégories de scénario étudiées dans l'Étude Détaillée des Risques sont les suivantes :

- effondrement de l'éolienne,
- chute d'éléments de l'éolienne,
- projection de tout ou une partie de pale,
- 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.

H - ÉTUDE DÉTAILLÉE DES RISQUES

L'Étude Détaillée des Risques (EDR) poursuit et complète l'Analyse Préliminaire des Risques (APR) pour les accidents considérés comme étant potentiellement les plus importants.

Les objectifs de l'Étude Détaillée des Risques sont les suivants :

- Identifier et étudier les combinaisons de causes conduisant aux situations dangereuses,
- Identifier les mesures de maîtrise des risques pouvant intervenir dans le déroulement des scénarios d'accident,
- Évaluer de manière quantitative la probabilité d'occurrence des différents événements, de la situation dangereuse et des différents phénomènes dangereux dont elle peut être à l'origine, en tenant compte de la fiabilité des mesures de maîtrise des risques,
- Modéliser les effets des différents phénomènes physiques causés par la situation dangereuse et analyser l'exposition des éléments vulnérables présents dans les zones d'aléa,
- Évaluer la probabilité d'occurrence des différents dommages possibles,
- Proposer des mesures d'amélioration complémentaires si besoin est, afin de réduire le risque résiduel,
- Identifier et caractériser les mesures de maîtrise des risques qui seront retenues comme MMR.

Pour apprécier les risques liés à une installation industrielle, il convient d'évaluer, pour chaque accident consécutif aux phénomènes dangereux susceptibles d'impacter l'homme ou l'environnement :

- un niveau de gravité, qui représente la sévérité des conséquences de l'accident en cas d'occurrence du phénomène dangereux,
- un niveau de fréquence, qui correspond à la probabilité pour que le phénomène identifié se réalise avec les effets déterminés.

Le couple gravité - fréquence donne le niveau de criticité, ou niveau de risque, de l'accident considéré. Ce dernier est également caractérisé par un troisième paramètre : la cinétique.

Les échelles retenues pour les cotations sont celles définies par l'arrêté ministériel 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", dit PCIG. Ces échelles sont présentées ci-après.

H1 - RAPPEL DES DÉFINITIONS

Cette première partie de l'Étude Détaillée des Risques consiste à rappeler les définitions de chacun de ces paramètres, en lien avec les références correspondantes.

H1.1 - CINÉTIQUE

La cinétique d'un scénario d'accident correspond à la vitesse d'enchaînement des différents événements constitutifs du scénario, depuis l'événement initiateur jusqu'aux conséquences sur les éléments vulnérables.

L'arrêté du 29 septembre 2005 ne précise pas les critères d'appréciation de la cinétique.

Les éléments qui suivent sont issus d'un document projet du MEDD, datant de juillet 2004, intitulé "Éléments relatifs à la cinétique des scénarios d'accident".

La cinétique d'un scénario d'accident est caractérisée par 2 phases :

- Phase pré-accidentelle : phase entre l'événement initiateur et la libération du potentiel de danger.
- Phase post-accidentelle : phase postérieure à la libération du potentiel de danger.

Elle se décompose en quatre phases :

- délai d'occurrence,
- délai de montée en puissance du phénomène jusqu'à son état stationnaire,
- délai nécessaire à l'atteinte de cibles,
- durée d'exposition des cibles.

On définit deux niveaux de cinétique d'événements accidentels :

- Cinétique lente : le développement du scénario d'accident, à partir de sa détection, est suffisamment lent (cinétique pré-accidentelle + cinétique post-accidentelle > 30 minutes) pour permettre de protéger les populations exposées avant qu'elles ne soient atteintes (ex : feu de bâtiment, feu d'entrepôt).
- Cinétique rapide : cinétique pré-accidentelle + cinétique post-accidentelle ≤ 30 minutes (ex : projection de pale, dispersion de produits ou de fumées toxiques),

L'estimation de la cinétique d'un scénario d'accident permet de valider l'adéquation des mesures de détection et de protection prises ou envisagées.

Dans le cadre d'une étude de dangers pour des aérogénérateurs, il est considéré, de manière prudente, que l'intégralité des accidents considérés ont une cinétique rapide. Ce paramètre étant invariant, il ne sera plus détaillé dans les phénomènes redoutés étudiés par la suite.

H1.2 - 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).

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 caractérisent des phénomènes dangereux dont l'intensité s'exerce dans toutes les directions autour de l'origine du phénomène, et décroît en fonction de la distance (par exemple un incendie ou une explosion). Ces seuils ne sont donc pas adaptés aux accidents causés 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".

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. 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 : seuil des effets très importants,
- 1 % d'exposition : seuil des effets importants.

Ces deux valeurs induisent trois catégories d'exposition :

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

H1.3 - GRAVITÉ

L'intensité et le nombre de personnes exposées dans les limites d'étendue des seuils d'effets définissent le niveau de gravité.

La détermination du nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes) présentes dans chacune des zones d'effet est effectuée à l'aide de la méthode basée sur la fiche n°1 de la circulaire du 10 mai 2010 relative aux règles méthodologiques applicables aux études de dangers*. Cette fiche permet de compter aussi simplement que possible, selon des règles forfaitaires, le nombre de personnes exposées :

Descriptif	Équivalent personnes
Terrains non aménagés et très peu fréquentés : champs, prairies, forêts, friches, marais...	1 personne pour 100 ha.
Terrains aménagés mais peu fréquentés : voie de circulation non structurante (< 2000 véhicules par jour), chemins agricoles, vignes, jardins...	1 personne pour 10 ha.
Terrains aménagés et potentiellement fréquentés ou très fréquentés : parkings, parcs et jardins publics...	≥ 10 personnes par ha.
Voies de circulation : ≥ 2000 véhicules par jour	0,4 personne par km et par tranche de 100 véhicules par jour

L'échelle de gravité des conséquences sur l'homme définie dans l'arrêté PCIG du 29 septembre 2005 est la suivante :

Gravité \ Intensité	Exposition très forte	Exposition forte	Exposition modérée
5. "Désastreux"	Plus de 10 personnes exposées	Plus de 100 personnes exposées	Plus de 1000 personnes exposées
4. "Catastrophique"	Moins de 10 personnes exposées	Entre 10 et 100 personnes exposées	Entre 100 et 1000 personnes exposées
3. "Important"	Au plus 1 personne exposée	Entre 1 et 10 personnes exposées	Entre 10 et 100 personnes exposées
2. "Sérieux"	Aucune personne exposée	Au plus 1 personne exposée	Moins de 10 personnes exposées
1. "Modéré"	Pas de zone de létalité hors établissement		Moins d'une personne exposée

* : Circulaire du 10 mai 2010, fiche n°1 du Ministère de l'Environnement et du Développement Durable (MEDD) issue de la circulaire du 28 décembre 2006 "Éléments pour la détermination de la gravité des accidents".

H1.4 - 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 :

Niveau de fréquence	Échelle qualitative	Échelle semi-quantitative	Échelle quantitative : par unité et par an
E	Possible mais extrêmement peu probable	N'est pas impossible au vu des connaissances actuelles mais non rencontré au niveau mondial sur un très grand nombre d'années d'installations	$P < 10^{-5}$
D	Très improbable	S'est déjà produit dans ce secteur d'activité mais a fait l'objet de mesures correctives réduisant significativement sa probabilité	$10^{-4} > P > 10^{-5}$
C	Improbable	S'est déjà produit dans ce 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	$10^{-3} > P > 10^{-4}$
B	Probable	S'est déjà produit et / ou peut se reproduire pendant la durée de vie de l'installation	$10^{-2} > P > 10^{-3}$
A	Courant	S'est produit sur site considéré et / ou peut se produire à plusieurs reprises pendant la durée de vie de l'installation malgré d'éventuelles mesures correctrices	$P > 10^{-2}$

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, 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 étant le produit de plusieurs probabilités :

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

Avec :

- 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, et conformément aux préconisations de l'INERIS, une approche majorante assimilant la probabilité d'accident (P_{accident}) à la probabilité de l'événement redouté central (P_{ERC}) a été retenue.

H1.5 - ACCEPTABILITÉ DU RISQUE

À l'issue de l'analyse des risques, l'ensemble des phénomènes dangereux identifiés et des accidents correspondants est positionné dans une matrice de risque, ou grille de criticité.

La grille de criticité retenue est celle définie dans la circulaire du 29 septembre 2005 "relative aux critères d'appréciation de la démarche de maîtrise des risques d'accidents susceptibles de survenir dans les établissements dits "SEVESO", visés par l'arrêté du 10 mai 2000 modifié". Il est à noter que cette grille non obligatoire dans le cas des éoliennes est ajoutée dans le dossier afin d'en faciliter la lecture.

Gravité	Probabilité (sens croissant de E vers A)				
	E	D	C	B	A
5. Désastreux	Jaune	Rouge	Rouge	Rouge	Rouge
4. Catastrophique	Jaune	Jaune	Rouge	Rouge	Rouge
3. Important	Jaune	Jaune	Jaune	Rouge	Rouge
2. Sérieux	Vert	Vert	Jaune	Jaune	Rouge
1. Modéré	Vert	Vert	Vert	Vert	Jaune

La grille de criticité définit ainsi trois types de zones :

- **Zone en rouge "NON"** : zone de risque élevé associée aux accidents "inacceptables" susceptibles d'engendrer des dommages sévères à l'intérieur et hors des limites du site,
- **Zone en jaune "MMR"** : zone de Mesures de Maîtrise des Risques. Les accidents situés dans cette zone doivent faire l'objet d'une démarche d'amélioration continue en vue 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 (zone ALARP : As Low As Reasonably Practicable). Dans la zone jaune une MMR est demandée.
- **Zone en vert** : zone de risque moindre, les accidents entrant dans cette catégorie ne nécessitent pas de mesures de réduction du risque supplémentaires.

Le positionnement des phénomènes dangereux identifiés et des accidents correspondants dans cette grille de criticité permet de les hiérarchiser et d'identifier les accidents majeurs.

Pour rappel, d'après l'arrêté du 10 mai 2000 modifié relatif à la prévention des accidents majeurs, un accident majeur est défini comme "un événement tel qu'une émission, un incendie ou une explosion d'importance majeure résultant de développements incontrôlés survenus au cours de l'exploitation, entraînant, pour les intérêts visés au L.511-1 du Code de l'Environnement, des conséquences graves, immédiates ou différées et faisant intervenir une ou plusieurs substances ou des préparations dangereuses."

Si des accidents majeurs caractérisés par un risque résiduel "inacceptable" sont identifiés, alors des mesures complémentaires ou des recommandations sont émises afin qu'à l'issue de l'analyse des risques, aucun accident ne se situe dans la zone rouge "NON".

* : Cette méthodologie est applicable aux installations SEVESO, mais il est possible de s'inspirer de cette grille pour d'autres installations comme les éoliennes, afin de faciliter la compréhension par le lecteur.

H2 - CARACTÉRISATION DES SCÉNARIOS RETENUS

Rappelons que l'ensemble des scénarios a été étudié pour l'implantation de 5 éoliennes dont les dimensions considérées sont les plus défavorables, c'est-à-dire des machines hautes de 180 m, dont le diamètre de rotor est de 136 m (E1, E4, E5 et E6) ou 117 m (E2) et dont la hauteur au moyeu est de 112 m (E1, E4, E5 et E6) ou 121,5 m (E2).

H2.1 - EFFONDREMENT DE L'AÉROGÉNÉRATEUR

L'événement redouté central de ce scénario est un effondrement de l'éolienne.

H2.1.1 - Analyse des événements initiateurs

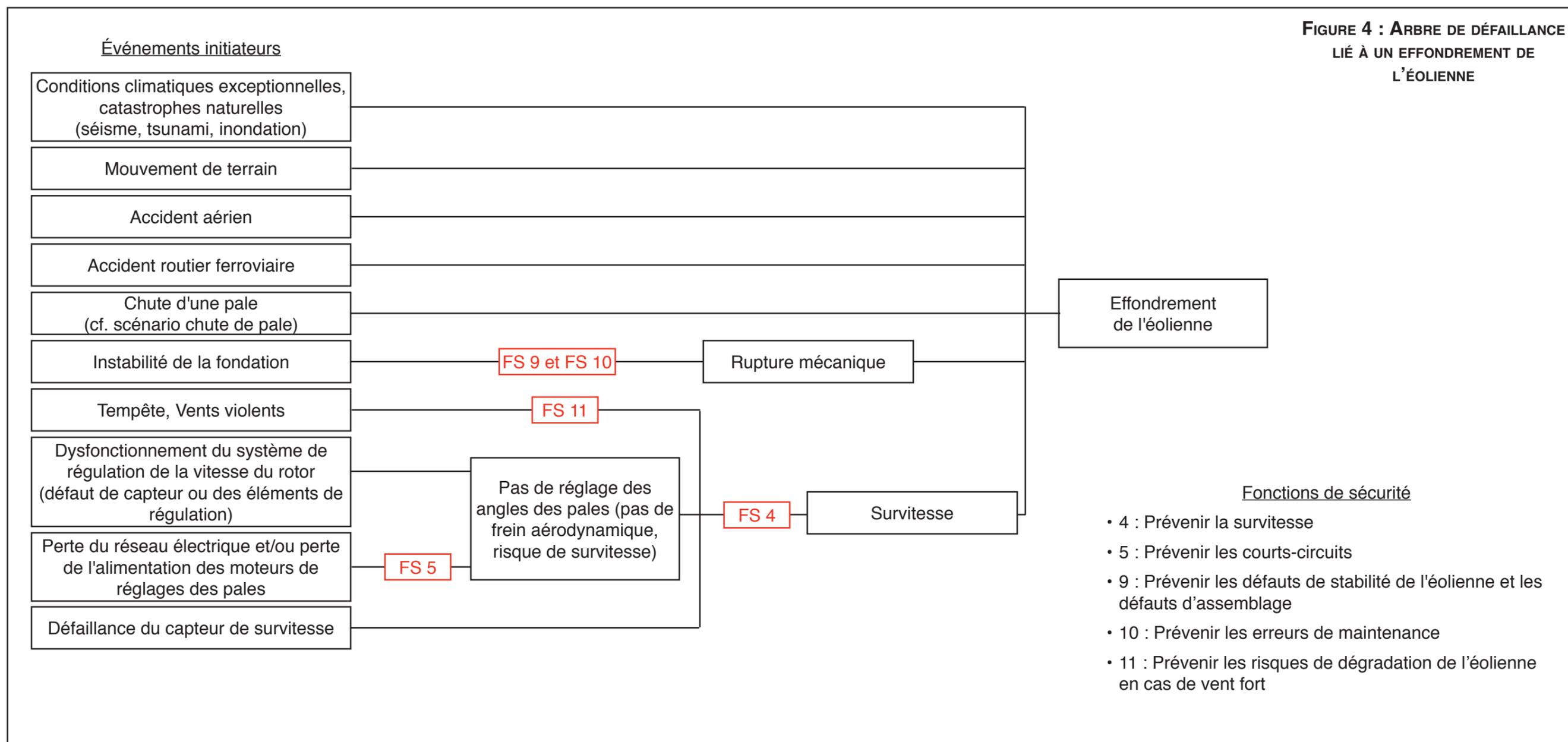
Les causes potentielles identifiées menant à l'événement redouté central sont présentées dans les tableaux suivants, à lire conjointement avec le nœud papillon (arbre des défaillances et d'évènements).

Repère	Événement initiateur	Événement redouté intermédiaire	Description de l'événement initiateur	Mesures contribuant à réduire la probabilité de l'événement initiateur	Fonction de sécurité associée (FS)
1	Conditions climatiques exceptionnelles, catastrophes naturelles	Effondrement de l'éolienne	Avalanche, inondation, tsunami, séisme	<ul style="list-style-type: none"> Choix d'implantation du site Dimensionnement des fondations 	
2	Mouvements de terrain	Effondrement de l'éolienne	Cavités, retrait-gonflement des argiles	<ul style="list-style-type: none"> Choix d'implantation du site Étude de sol et design en conséquence 	
3	Accident aérien	Effondrement de l'éolienne	Choc avec un aéronef pouvant conduire à une chute / pliage de mât	<ul style="list-style-type: none"> Consultation préalable de l'armée lors de l'élaboration du projet Implantation éloignée des aéroports Respect de l'arrêté du 13 novembre 2009 relatif à la réalisation du balisage des éoliennes situées en dehors des zones grevées de servitudes aéronautiques Balisage : 2 balises par éolienne : flash rouge la nuit type B MI (2000 cd) / flash blanc le jour type A MI (20 000 cd) Balisage sur batteries en cas de perte du réseau électrique (autonomie 12 h - DGAC prévenue) Couleur éolienne : gris-blanc Éoliennes indiquées sur les plans de vol 	
4	Accident routier / ferroviaire	Effondrement de l'éolienne		<ul style="list-style-type: none"> Éloignement des voies de communication 	
5	Chute d'une pale sur le mât	Effondrement de l'éolienne	<i>voir le scénario chute de pale</i>		
6	Défaut de construction, de conception (mauvais dimensionnement des fondations), de montage, de maintenance	Instabilité de la fondation	Rupture mécanique lié à un défaut de construction ou de maintenance pouvant conduire à l'effondrement de l'éolienne	<ul style="list-style-type: none"> Étude de sol et design en conséquence Opérations de maintenance définies par l'arrêté de 26 août 2011 : lors de ces contrôles, si des pièces défectueuses ou usées sont détectées, elles sont remplacées. Certaines pièces ou consommables sont par défaut remplacés périodiquement. La première maintenance après la mise en service a lieu au bout de 3 mois de fonctionnement. Par la suite des contrôles ont lieu tous les 6 mois, 1 an et 4 an en fonction de l'élément considéré. 	<p>Fonction de sécurité 9 Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage</p> <p>Fonction de sécurité 10 Prévenir les erreurs de maintenance</p>

Repère	Événement initiateur	Événement redouté intermédiaire	Description de l'événement initiateur	Mesures contribuant à réduire la probabilité de l'événement initiateur	Fonction de sécurité associée (FS)
7	Vents violents, tempêtes	Survitesse		<ul style="list-style-type: none"> Études de vent - design des éoliennes selon la norme IEC 61400 Conception : distance minimale entre la tour et la pale Arrêt en cas de vents forts Mesure constante des vitesses de rotation de la chaîne cinétique Présence d'un frein hydraulique indépendant du frein aérodynamique Signal d'alerte SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) en cas de déclenchement d'un capteur de sécurité 	<p>Fonction de sécurité 11 Prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de vent fort</p>
8	Dysfonctionnement du système de régulation de la vitesse du rotor	Survitesse	Le défaut de régulation de la vitesse du rotor entraîne l'impossibilité d'adapter l'angle des pales en fonction des conditions de vents, ce qui peut entraîner une survitesse	<ul style="list-style-type: none"> Signal d'alerte SCADA en cas de déclenchement d'un capteur de sécurité Dès qu'il y a un écart sur l'angle des pitch des 3 pales la machine s'arrête Indépendance des systèmes d'inclinaison des pales (une pale en drapeau suffit pour freiner la machine) Système de sécurité indépendant contre la survitesse avec la présence d'un frein hydraulique indépendant du frein aérodynamique Arrêt de la machine en cas d'incohérence des valeurs mesurées (angles des pales, vitesse de rotation du rotor et de l'arbre lent,...) ou de défaillance du système de contrôle Mesure redondante des vitesses de rotation, arrêt en cas d'incohérence des mesures 	<p>Fonction de sécurité 11 Prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de vent fort</p> <p>Fonction de sécurité 4 Prévenir la survitesse</p>
9	Perte du réseau électrique et / ou de l'alimentation des moteur de réglage de l'angle des pales	Survitesse	Le réglage des angles des pales n'est plus possible, ce qui peut conduire à une survitesse	<ul style="list-style-type: none"> Batteries de secours situées dans la partie rotor Arrêt de l'éolienne en cas de coupure de l'alimentation par le réseau public Présence de batteries ou d'ondulateur sur les équipements de sécurité (balisage lumineux, système de commande) Accumulateurs hydropneumatiques de secours situées dans la partie Rotor 	<p>Fonction de sécurité 4 Prévenir la survitesse</p> <p>Fonction de sécurité 5 Prévenir les courts-circuits</p>
10	Défaillance du capteur de survitesse	Survitesse		<ul style="list-style-type: none"> Indépendance des systèmes d'inclinaison des pales Présence d'un frein hydraulique indépendant du frein aérodynamique Mesure constante des vitesses de rotation de la chaîne cinétique 	<p>Fonction de sécurité 4 Prévenir la survitesse</p>

H2.1.2 - Représentation sous forme d'arbre de défaillance et analyse des fonctions de sécurité

Les scénarios d'accident susceptibles d'induire un effondrement de l'éolienne peuvent être représentés sous la forme suivante (Figure 4) :



Cinq fonctions de sécurité sont identifiées sur le précédent arbre d'évènements.

Rappelons également que les mesures préventives consistent à réaliser une étude de sol et à définir une fondation en fonction de cette étude.

H2.1.3 - Caractérisation du risque

→ Zone d'effet

La distance maximale d'impact d'une chute d'éolienne est égale à un cercle dont le rayon est égal à la hauteur de l'éolienne en bout de pale (Figure 5), soit 180 m pour l'ensemble des éoliennes.

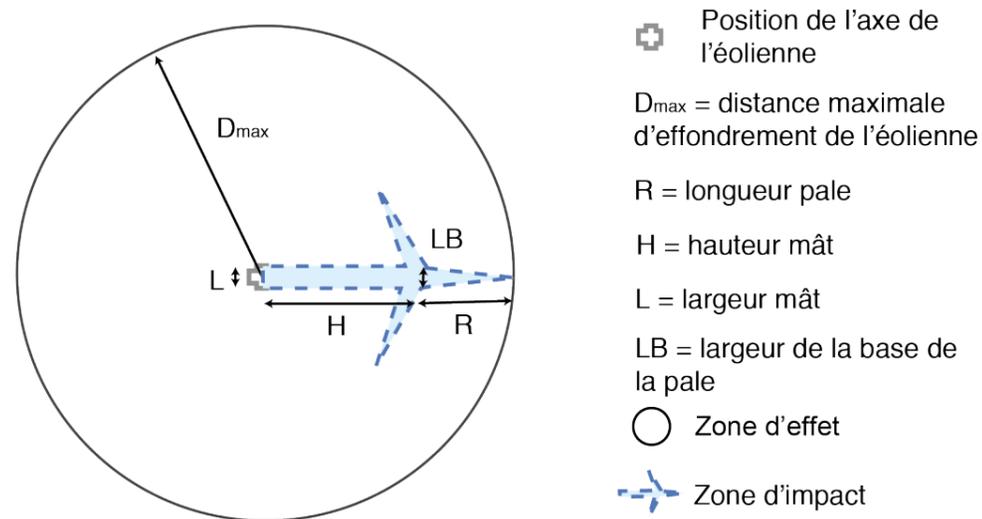


FIGURE 5 : SCHEMA DU SCENARIO EFFONDREMENT DE L'ÉOLIENNE

→ Intensité

Pour le phénomène d'effondrement de l'éolienne, le degré d'exposition correspond au ratio entre la zone d'impact (surface du 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 projeté.

Effondrement de l'éolienne				
Eoliennes concernées	Zone d'impact (en m ²)	Zone d'effet du phénomène étudié (en m ²)	Degré d'exposition du phénomène étudié (en %)	Intensité
	$H \times L + 3 \times (R \times LB/2)$	$\pi \times (R+H)^2$	Zone d'impact / Zone d'effet du phénomène	
E1, E4, E5, E6	1 396	101 788	1,37	Forte
E2	1 377	101 788	1,35	

Éléments de la formule littérale : H : hauteur au moyeu, L : largeur du mât, R : longueur de pale, LB : largeur de la base de la pale.

→ Gravité

Dans la surface d'effet de chaque éolienne (disque centré sur l'axe de l'éolienne dont le rayon est égal à la distance maximale de chute du mât (Figure 5) on identifie les cibles humaines potentielles.

Au-delà de la zone d'effet les personnes présentes ne sont pas considérées comme exposées.

Étant données les distances d'effets calculées, les chutes d'éoliennes peuvent atteindre les personnes situées dans les champs et sur des chemins. Pour le calcul du nombre de personnes permanentes ou équivalent, on se réfère au premier tableau du chapitre "H1.3 - Gravité", page 33.

Le comptage des personnes exposées s'appuie sur la fiche n° 1 de la circulaire du 10 mai 2010 relative aux règles méthodologiques applicables aux études de dangers.

L'approche adoptée consiste à assimiler l'ensemble de la zone d'effet à du terrain aménagé mais peu fréquenté, dès lors qu'une voie de circulation non structurante est incluse dans la zone d'effet (chemin de terre, voie communale, route départementale ou autre du moment que le trafic journalier reste inférieur à 2000 véhicules). Cette méthode a volontairement été retenue pour son caractère majorant.

En effet, le linéaire ou la surface de la voirie ne sont pas considérés dans le calcul, le ratio le plus défavorable étant reporté sur l'ensemble de la zone d'effet. Ainsi qu'il y ait quelques mètres de voies de circulation non structurantes ou que la zone d'effet en soit totalement quadrillée, le résultat sera similaire. Il en sera de même entre une zone d'effet contenant quelques chemins de terres où le passage est très limité (< de 10 véhicules/jour) et celle comprenant une départementale pour laquelle le trafic peut par exemple atteindre plusieurs centaines de véhicules quotidiennement tout en restant en deçà du seuil des voies structurantes (2000 véhicules/jour)

Le tableau suivant indique ainsi, pour chaque aérogénérateur, d'après un calcul majorant, le nombre de personnes exposées dans la zone d'effet du phénomène d'effondrement et la gravité associée.

Effondrement de l'éolienne				
Éoliennes	Nombre de personnes permanentes ou équivalent et hypothèses retenues		Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité
E1	Terrains aménagés mais peu fréquentés 1 personne / 10 Ha		1,018	Important
E2			1,018	
E4			1,018	
E5			1,018	
E6	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1 personne / 100 Ha	0,102	Sérieux

Aucune des voies de circulation présentes dans les zones d'effet n'est structurante, leur trafic étant inférieur à 2 000 véhicules / jour.

Le tableau suivant rappelle les correspondances entre la gravité et le nombre de personnes exposées pour une exposition forte :

Rappel des correspondances Gravité / Nombre de personnes exposées pour une intensité forte					
Gravité	"Désastreux"	"Catastrophique"	"Important"	"Sérieux"	"Modéré"
Nombre de personnes exposées	Plus de 100 personnes exposées	Entre 10 et 100 personnes exposées	Entre 1 et 10 personnes exposées	Au plus 1 personne exposée	Pas de zone de létalité en dehors de l'établissement

→ Probabilité

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

Source	Fréquence	Classe de probabilité (arrêté du 29 septembre 2005)	Justification
Guide for Risk-Based Zoning of wind Turbines, Energy research centre of the Netherlands (ECN), H. Braam, G.J. van Mulekom, R.W. Smit, 2005	$4,5 \cdot 10^{-4}$	C	Retour d'expérience
Specification of minimum distances, Dr-ing. Veenker ingenieurgesellschaft, 2004	$1,8 \cdot 10^{-4}$ (effondrement de la nacelle et de la tour)	C	Retour d'expérience

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'expérience*, soit une probabilité de $4,47 \times 10^{-4}$ 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".

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. Les principales mesures sont listées ci-dessous :

- 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.

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.

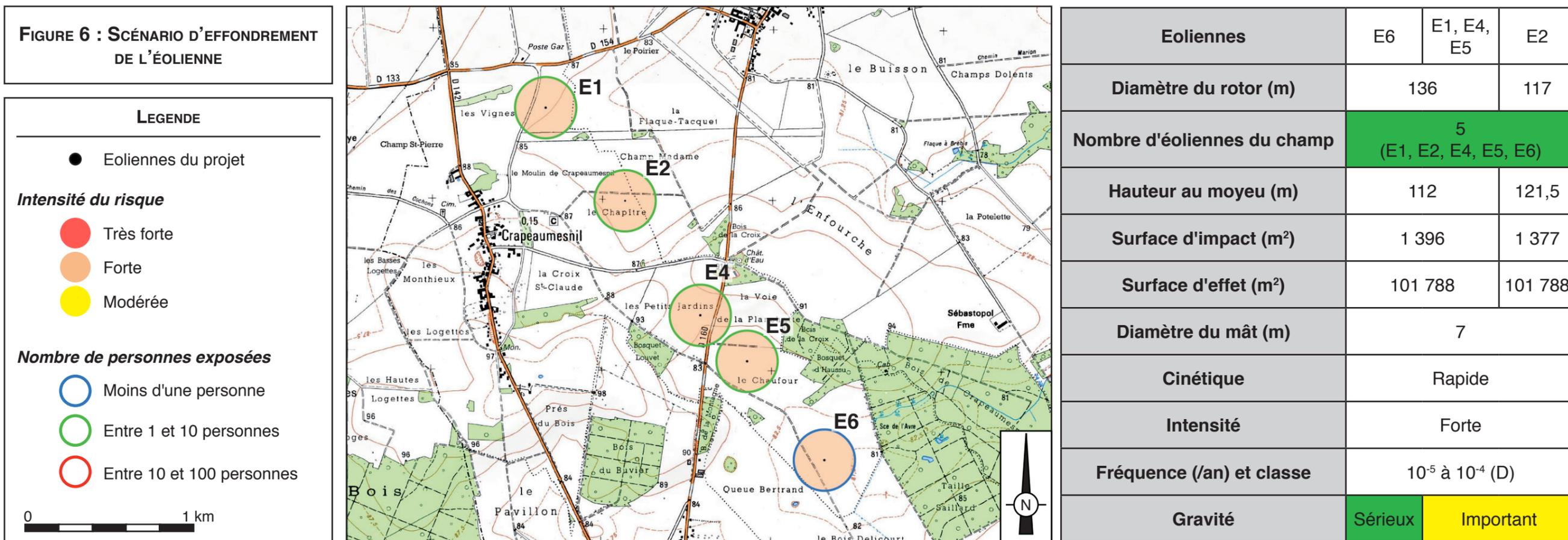
De manière générale, le respect des prescriptions de l'arrêté du 26 août 2011 relatif aux installations éoliennes soumises à autorisation permet de s'assurer que les éoliennes font l'objet de mesures réduisant significativement la probabilité d'effondrement.

Il est donc considéré, conformément aux préconisations de l'INERIS, 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".

* : Une année d'expérience correspond à une éolienne observée pendant une année. Ainsi, si on a observé une éolienne pendant 5 ans et une autre pendant 7 ans, on aura au total 12 années d'expérience.

→ **Évaluation des risques - Acceptabilité**

Les différents éléments d'évaluation des accidents associés à un effondrement d'éolienne sont présentés ci-dessous (Figure 6). Ils sont basés sur les règles de comptage et sur les modélisations présentées précédemment.



Les accidents "effondrement d'éolienne" pour chacune des éoliennes sont positionnés dans la matrice de criticité ci-dessous.

Gravité	Probabilité (sens croissant de E vers A)				
	E	D	C	B	A
5. Désastreux					
4. Catastrophique					
3. Important		E1, E2, E4, E5			
2. Sérieux		E6			
1. Modéré					

Dans le cas d'implantation d'éoliennes équipées des technologies récentes, compte tenu de la classe de probabilité d'un effondrement, l'INERIS conclut à l'acceptabilité de ce phénomène :

- si au plus une personne est concernée, ce qui est le cas ici,
- si au plus dix personnes sont concernées et que des mesures de sécurité sont associées.

Le croisement de la probabilité avec la gravité du risque d'effondrement des machines démontre donc que ce dernier est acceptable (tableau ci-contre).

H2.2 - CHUTE ET PROJECTION DE GLACE

L'événement redouté central de ces scénarios est la formation de blocs de glace sur les pales du rotor, suivi de leur chute ou de leur projection.

H2.2.1 - Analyse des événements initiateurs

Sous certaines conditions climatiques, un dépôt de glace / givre peut se former et s'accumuler sur les pales des éoliennes. Ce phénomène de givrage est caractéristique des régions au climat froid, mais il peut également être observé en France. Le givrage des pales d'éolienne se produit lorsque l'éolienne est soumise à un hydrométéore* givrant contenant des gouttelettes d'eau à l'état liquide à des températures inférieures au point de congélation (0 °C).

Ces gouttelettes d'eau surfondues se retrouvent :

- en altitude, sous forme de nuages à des températures entre 0 et - 40 °C,
- au sol, sous forme de brouillard givrant, de neige mouillée, de bruine ou de pluie verglaçante.

Lorsque les gouttelettes d'eau surfondues heurtent la surface des pales, elles peuvent geler instantanément et former, par accumulation des gouttelettes les unes sur les autres, une surface rugueuse qui épouse généralement la forme du profil (givre).

Si les gouttelettes d'eau ne gèlent pas instantanément au contact des pales, elles s'unissent pour former des gouttes de surface. Ces gouttes croissent et se solidifient partiellement. Elles s'unissent et ruissellent sur la surface du profil sous l'effet des forces aérodynamiques. La glace ainsi formée, appelée verglas, possède une surface très peu rugueuse et les formes résultantes sont très variables.

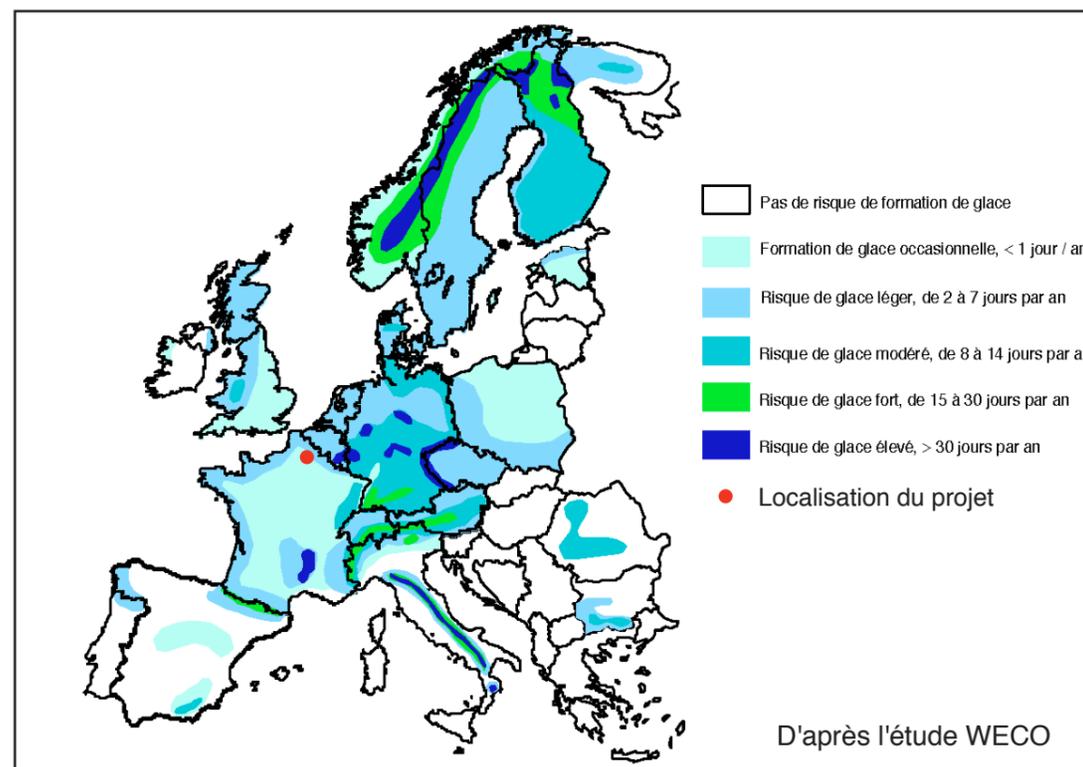
Ce type de chute de glace est similaire à ce qu'on observe sur d'autres bâtiments et infrastructures.

L'étude WECO** présente une carte d'Europe qui indique le nombre moyen de jours conduisant à la formation de givre par an (Figure 7). Le projet est localisé dans une zone "risque de glace léger" (de 2 à 7 jours par an).

* : Les hydrométéores concernent l'ensemble des phénomènes liés au comportement de l'eau dans l'atmosphère.

** : Wind energy in cold climate (WECO), Final report - Bengt Tammelin et al. - Finnish Meteorological Institute, Helsinki - 2000

FIGURE 7 : LOCALISATION DES ZONES À RISQUE DE GLACE



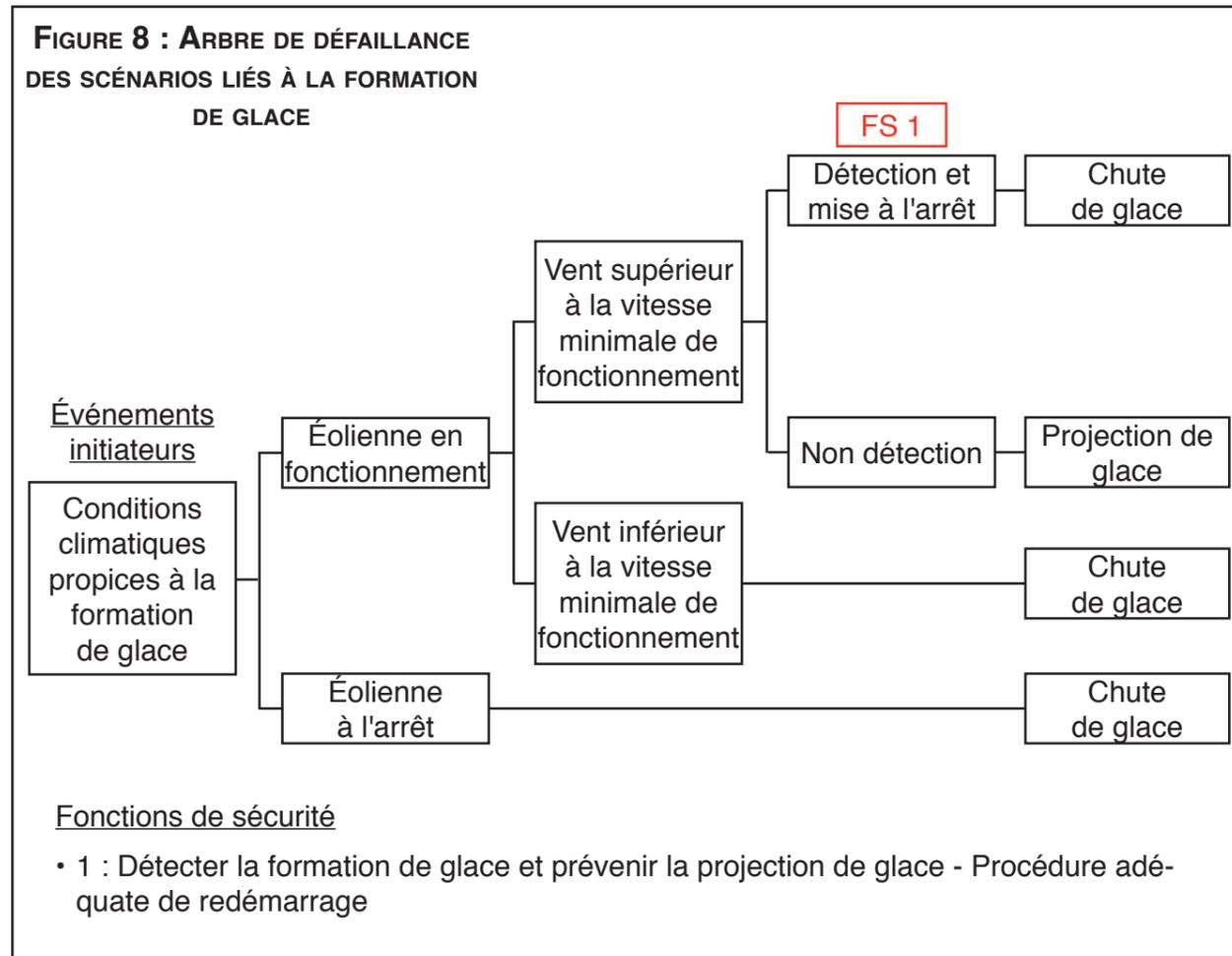
H2.2.2 - Analyse des conséquences

Le givre et le verglas diminuent les performances aérodynamiques en provoquant des pertes de puissance et par conséquent des pertes énergétiques (non étudié dans ce rapport). Par ailleurs, la couche de glace formée sur les trois pales de l'éolienne peut être irrégulière, ce qui engendre un déséquilibre du rotor et provoque des oscillations indésirables.

La formation de glace sur les pales est dangereuse car d'épais blocs de glace peuvent se détacher de l'éolienne et atteindre des cibles situées dans son voisinage.

H2.2.3 - Représentation sous forme d'arbre de défaillance et analyse des fonctions de sécurité

Les scénarios d'accident liés à la formation de glace sont schématisés sur la Figure 8 :



Une fonction de sécurité est identifiée sur cette figure.

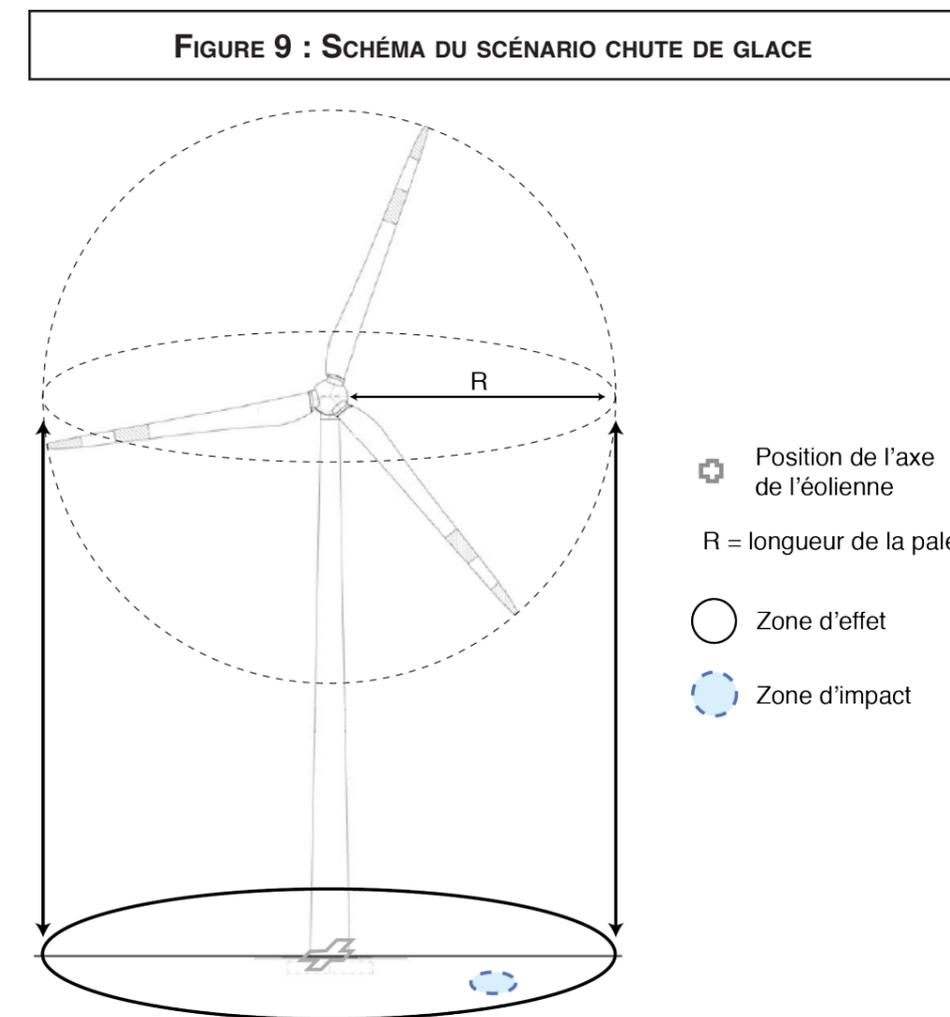
De plus, chaque chemin d'accès aux éoliennes est équipé d'un panneau annonçant le risque de chute de glace (fonction de sécurité 2 : prévenir l'atteinte des personnes par la chute de glace).

H2.2.4 - Scénario de chute de glace

→ 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 (Figure 9). Pour les éoliennes du projet, la zone d'effet a donc un rayon de 68 mètres (éoliennes E1, E4, E5 et E6) ou 58,5 mètres (éolienne E2).

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 qui suit permet d'évaluer l'intensité du phénomène de chute de glace. L'intensité est nulle hors de la zone de survol.

Effondrement de l'éolienne				
Eoliennes concernées	Zone d'impact (en m ²)	Zone d'effet du phénomène étudié (en m ²)	Degré d'exposition du phénomène étudié (en %)	Intensité
	SG	$\pi \times R^2$	Zone d'impact / Zone d'effet du phénomène	
E1, E4, E5, E6	1	14 527	0,007	Modérée
E2	1	10 751	0,009	

Eléments de la formule littérale : R : longueur de pale, SG : surface du morceau de glace majorant (SG = 1 m²).

→ **Gravité**

On identifie les cibles humaines potentielles dans la surface d'effet de chaque éolienne. Aucune personne exposée n'est comptabilisée au-delà de cette zone d'impact.

Étant données les distances d'effets calculées, les chutes de glace peuvent atteindre les personnes situées dans les champs et sur les chemins autour du site. Pour le calcul du nombre de personnes permanentes ou équivalent, on se réfère au premier tableau du chapitre "H1.3 - Gravité", page 33.

Le tableau suivant rappelle les correspondances entre la gravité et le nombre de personnes exposées pour une exposition modérée :

Rappel des correspondances Gravité / Nombre de personnes exposées pour une intensité modérée					
Gravité	"Désastreux"	"Catastrophique"	"Important"	"Sérieux"	"Modéré"
Nombre de personnes exposées	Plus de 1000 personnes exposées	Entre 100 et 1000 personnes exposées	Entre 10 et 100 personnes exposées	Moins de 10 personnes exposées	Présence humaine exposée inférieure à "une personne"

Le tableau suivant indique ainsi, pour chaque aérogénérateur, d'après un calcul majorant, le nombre de personnes exposées dans la zone d'effet du phénomène de chute de glace et la gravité associée :

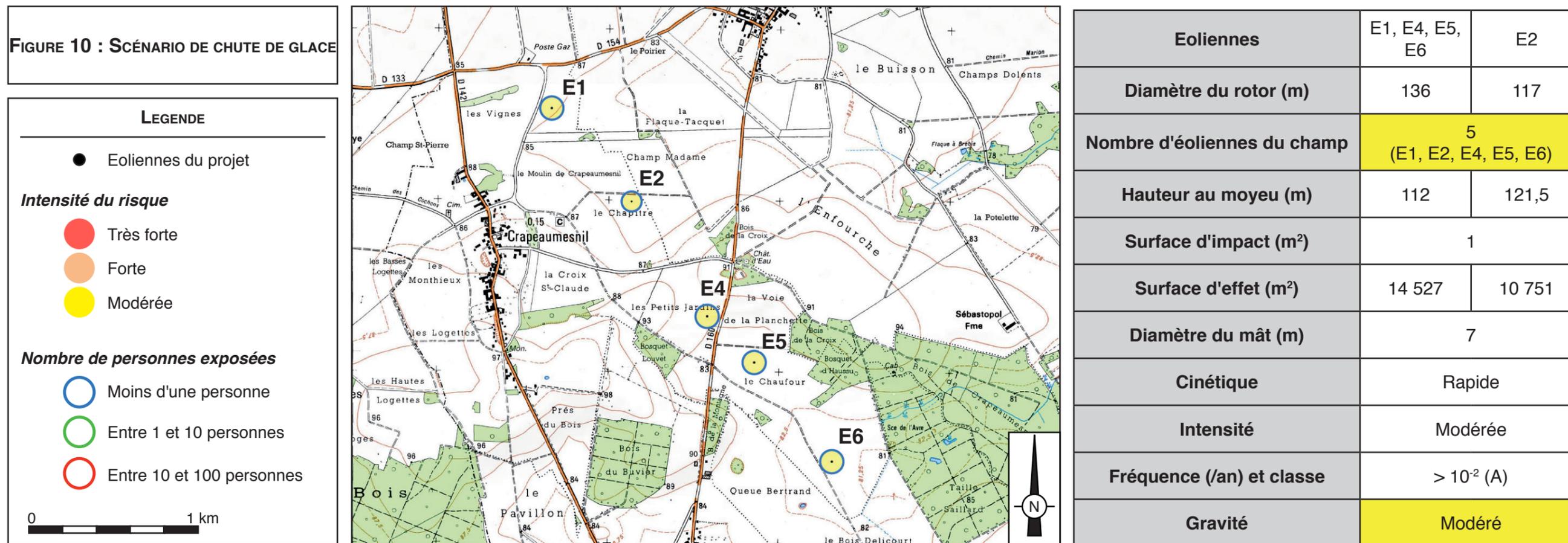
Chute de glace				
Éoliennes	Nombre de personnes permanentes ou équivalent et hypothèses retenues		Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité
E1	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1 personne / 100 Ha	0,014	Modéré
E2			0,011	
E4			0,014	
E5			0,014	
E6			0,014	

→ **Probabilité**

De façon conservatrice, l'INERIS considère que la probabilité est de classe "A", c'est-à-dire une probabilité supérieure à 10⁻².

→ **Évaluation des risques - Acceptabilité**

Les différents éléments d'évaluation des accidents associés à une chute de glace sont présentés ci-dessous (Figure 10). Ils sont basés sur les règles de comptage et sur les modélisations présentées précédemment.



Les accidents "chute de glace" pour chacune des éoliennes sont positionnés dans la matrice de criticité ci-dessous.

Gravité	Probabilité (sens croissant de E vers A)				
	E	D	C	B	A
5. Désastreux					
4. Catastrophique					
3. Important					
2. Sérieux					
1. Modéré					E1, E2, E4, E5, E6

On détermine que le phénomène de chute de glace des éoliennes constitue un risque acceptable pour les personnes (tableau ci-contre).

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.

H2.2.5 - Scénario de projection de glace

→ Zone d'effet

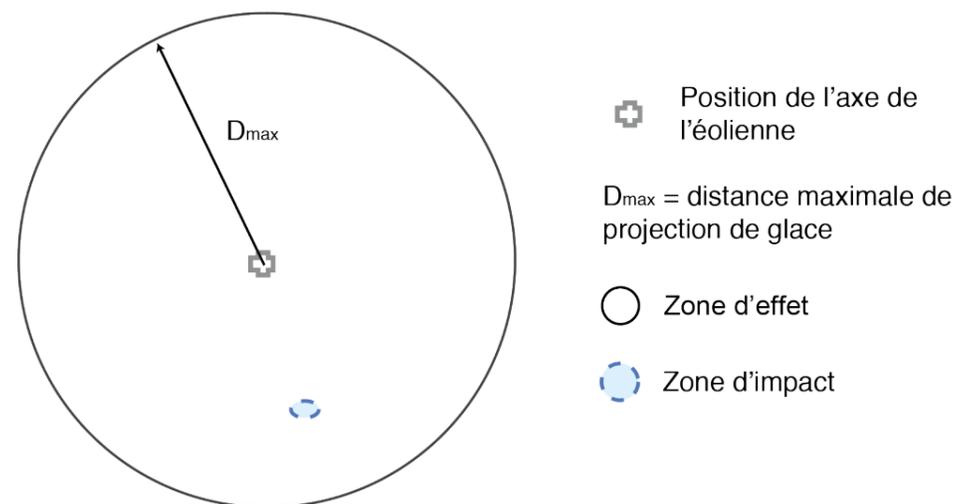
L'accidentologie rapporte quelques cas de projection de glace. Ce phénomène est connu et possible, mais reste difficilement observable et n'a jamais occasionné de dommage sur les personnes ou les biens.

La modélisation de la projection de blocs de glace depuis les pales d'une éolienne est complexe. Elle dépend étroitement du mode de formation de la glace (givre, glace), de la taille des blocs, du profil d'aile, de la vitesse de rotation de la pale, de l'utilisation d'un système de dégivrage, etc.

Plusieurs études ont été menées afin d'étudier ce phénomène de givrage. La projection de glace a fait l'objet de développement de plusieurs modèles théoriques et de collecte de données expérimentales. L'étude WECO recommande, au regard des modèles théoriques développés et des données expérimentales recueillies, de maintenir une distance de sécurité (pour les sites présentant un niveau de risque de formation de givre / glace élevé), entre l'éolienne et les cibles les plus proches égale à (Figure 11) :

$1,5 \times [\text{hauteur de moyeu} + \text{diamètre de rotor}]$,
soit 372 m pour les éoliennes E1, E4, E5, E6 et 357,75 m pour l'éolienne E2.

FIGURE 11 : SCHÉMA DU SCÉNARIO PROJECTION DE GLACE



Cette distance de projection est jugée conservatrice dans des études postérieures (Risk analysis of ice throw from wind turbines, Seifert H., Westerhellweg A., Kröning J. - DEWI, avril 2003). À 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 m^2) et la superficie de la zone d'effet du phénomène.

Le tableau suivant permet d'évaluer l'intensité du phénomène de projection de glace dans le cas du parc éolien du projet.

Projection de morceaux de glace				
Eoliennes concernées	Zone d'impact (en m^2)	Zone d'effet du phénomène étudié (en m^2)	Degré d'exposition du phénomène étudié (en %)	Intensité
	$SG = 1 \text{ m}^2$	$\pi \times \{1,5 \times (H + 2R)^2\}$	Zone d'impact / Zone d'effet du phénomène	
E1, E4, E5, E6	1	434 746	0,0002	Modérée
E2	1	402 077	0,0002	

Eléments de la formule littérale : H : hauteur au moyeu, R : longueur de pale, SG : surface du morceau de glace majorant ($SG = 1 \text{ m}^2$).

→ **Gravité**

On identifie les cibles humaines potentielles dans la surface d'effet de chaque éolienne.

Étant données les distances d'effets calculées, les projections de morceaux de glace peuvent atteindre les personnes situées dans les champs et sur les chemins autour du site, ainsi que sur une partie de la RD 34 près de l'éolienne E4. Pour le calcul du nombre de personnes permanentes ou équivalent, on se réfère au premier tableau du chapitre "H1.3 - Gravité", page 33.

Le tableau suivant rappelle les correspondances entre la gravité et le nombre de personnes exposées pour une exposition d'intensité modérée :

Rappel des correspondances Gravité / Nombre de personnes exposées pour une intensité modérée					
Gravité	"Désastreux"	"Catastrophique"	"Important"	"Sérieux"	"Modéré"
Nombre de personnes exposées	Plus de 1000 personnes exposées	Entre 100 et 1000 personnes exposées	Entre 10 et 100 personnes exposées	Moins de 10 personnes exposées	Présence humaine exposée inférieure à "une personne"

L'INERIS a observé dans la littérature disponible 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.

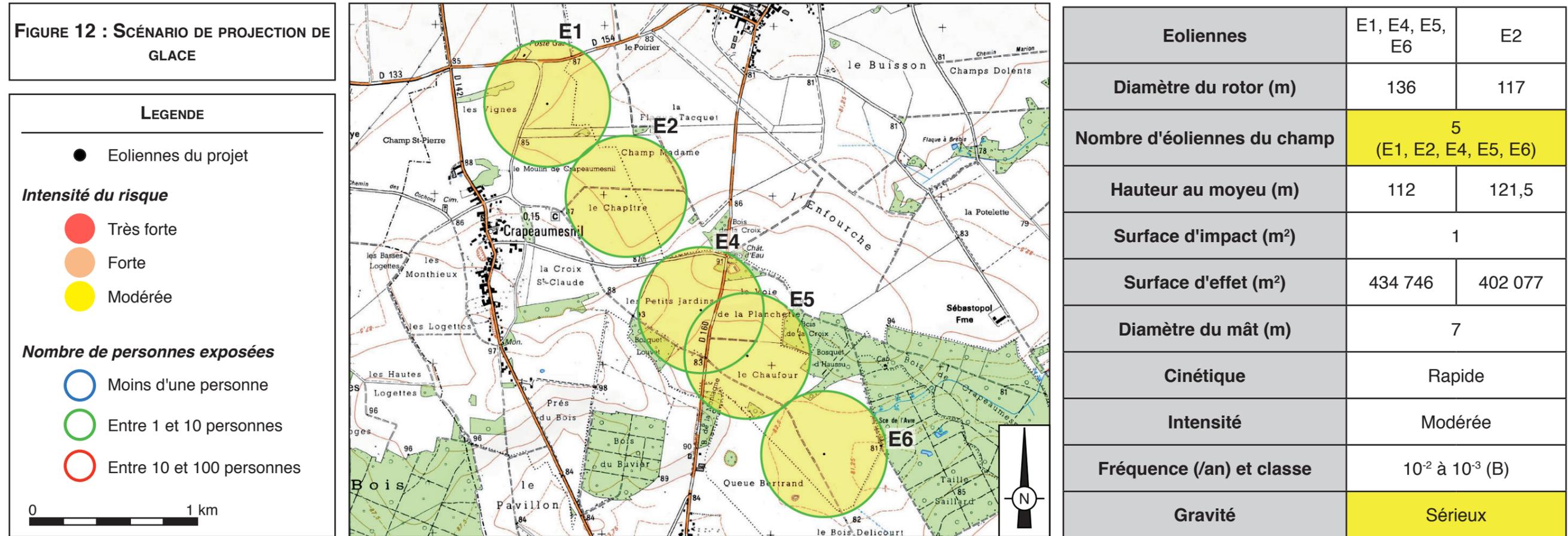
Projection de glace				
Éoliennes	Nombre de personnes permanentes ou équivalent et hypothèses retenues		Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité
E1	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1 personne / 10 Ha	4,347	Sérieux
E2			4,021	
E4			4,347	
E5			4,347	
E6			4,347	

→ **Probabilité**

De façon conservatrice, l'INERIS considère que la probabilité est de classe "B", c'est-à-dire une probabilité comprise entre 10^{-3} et 10^{-2} .

→ **Evaluation des risques - Acceptabilité**

Les différents éléments d'évaluation des accidents associés à une projection de glace sont présentés ci-dessous (Figure 12). Ils sont basés sur les règles de comptage et sur les modélisations présentées précédemment.



Les accidents "projection de glace" pour chacune des éoliennes sont positionnés dans la matrice de criticité ci-dessous :

Gravité	Probabilité (sens croissant de E vers A)				
	E	D	C	B	A
5. Désastreux					
4. Catastrophique					
3. Important					
2. Sérieux				E1, E2, E4, E5, E6	
1. Modéré					

Rappelons que l'INERIS a retenu la probabilité de classe B de façon conservatrice.

Pour les aérogénérateurs munis de système permettant de détecter ou de déduire la formation de glace sur les pales de l'aérogénérateur, pour lesquels, en cas de formation importante de glace, la mise à l'arrêt de la machine est effectuée dans un délai maximal de soixante minutes et ayant la procédure de redémarrage en cas d'arrêt automatique lié à la présence de glace sur les pales, le risque est jugé acceptable par l'INERIS pour les niveaux de gravité "Modéré" et "Sérieux".

Or, les éoliennes envisagées disposent de capteurs de vibrations qui entraînent un réglage rapide des pales de l'éolienne en position drapeau, se traduisant par un arrêt de la rotation.

Par ailleurs, il a été observé dans la littérature disponible 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 pourraient ne pas être prises en compte dans le calcul de la gravité.

Pour le projet, le phénomène de projection de glace constitue donc un risque acceptable pour les personnes.

H2.3 - CHUTE ET PROJECTION D'ÉLÉMENTS DE L'ÉOLIENNE

L'événement redouté central de ce scénario est une rupture d'une pale ou d'un fragment de cette dernière.

En cas de détachement d'une pale du rotor pendant la rotation, la pale sera projetée dans la direction qui prolonge la surface du rotor.

H2.3.1 - Analyse des événements initiateurs

Les causes potentielles identifiées menant à l'événement redouté central sont présentées dans le tableau ci-dessous, à lire conjointement avec l'arbre d'évènement.

N°	Événement initiateur	Événement redouté intermédiaire	Description de l'événement initiateur	Mesures contribuant à réduire la probabilité de l'événement initiateur	Fonction de sécurité associée (FS)
1	Orage, foudre	Fragilisation d'une pale pouvant conduire à la rupture	Coup de foudre sur l'aérogénérateur	<ul style="list-style-type: none"> - Système de protection foudre de l'éolienne qui prévient toute dégradation de l'éolienne - Contrôle périodique tous les 4 ans de la mise à la terre et inspection visuelle du système foudre 3 fois par an (opérations de maintenance définies par l'arrêté de 26 août 2011) 	<p>Fonction de sécurité 6 Prévenir les effets de la foudre</p> <p>Fonction de sécurité 10 Prévenir les erreurs de maintenance</p>
2	Érosion, tirs de chasse, malveillance	Fragilisation d'une pale pouvant conduire à la rupture	La fragilisation du bord de fuite peut entraîner la rupture d'une pale	<ul style="list-style-type: none"> - Opération de maintenance définie par l'arrêté de 26 août 2011 - Respect des normes européennes 	<p>Fonction de sécurité 9 Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage</p> <p>Fonction de sécurité 10 Prévenir les erreurs de maintenance</p> <p>Fonction de sécurité 11 Prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de vent fort</p>

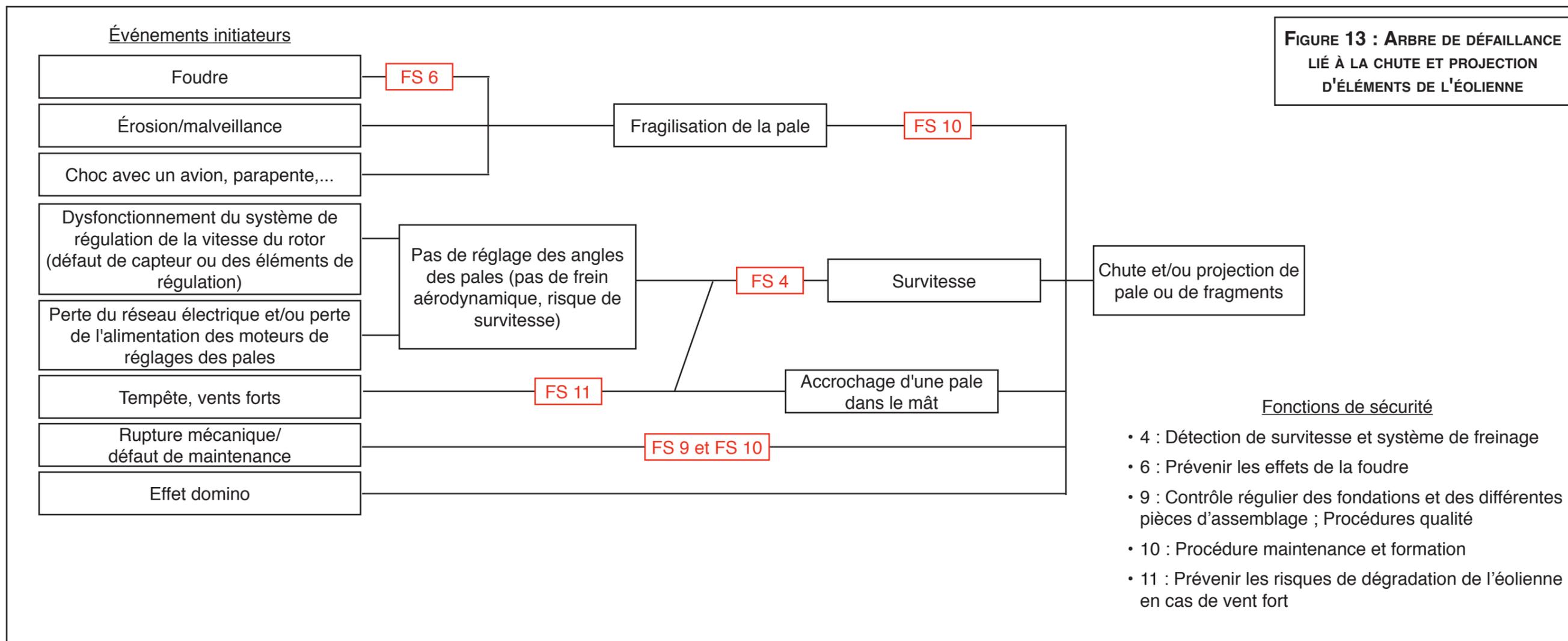
N°	Événement initiateur	Événement redouté intermédiaire	Description de l'événement initiateur	Mesures contribuant à réduire la probabilité de l'événement initiateur	Fonction de sécurité associée (FS)
3	Choc avec un aéronef/ parachute/ parapente/ modélisme	Rupture d'une pale ou d'un fragment de pale		<ul style="list-style-type: none"> - Consultation préalable de l'armée lors de l'élaboration du projet - Implantation éloignée des aéroports - Respect de l'arrêté du 13 novembre 2009 relatif à la réalisation du balisage des éoliennes situées en dehors des zones grevées de servitudes aéronautiques - Balisage : 2 balises par éolienne : flash rouge la nuit type B MI (2000cd) / flash blanc le jour type A MI (20000cd) - Balisage intermédiaire pour les hauteurs > 150 m en bout de pale (sur le fût du mât) - Balisage sur batteries en cas de perte du réseau électrique (autonomie 12 h - DGAC prévenue) - Couleur éolienne : blanche - Éoliennes indiquées sur les plans de vol 	<p align="center">Fonction de sécurité 10 Prévenir les erreurs de maintenance</p>
4	Dysfonctionnement du système de contrôle de la vitesse du rotor	Survitesse entraînant la rupture d'une pale	Plusieurs causes peuvent entraîner ce dysfonctionnement : défaillance d'un capteur de mesure (vitesse de vent, vitesse du rotor, ...), du système d'inclinaison des pales (pitch),...	<ul style="list-style-type: none"> - Signal d'alerte SCADA en cas de déclenchement d'un capteur de sécurité - Dès qu'il y a un écart sur l'angle des pitch des 3 pales la machine s'arrête - Indépendance des systèmes d'inclinaison des pales (une pale en drapeau suffit pour freiner la machine) - Système de sécurité indépendant contre la survitesse avec la présence d'un frein hydraulique indépendant du frein aérodynamique - Arrêt de la machine en cas d'incohérence des valeurs mesurées (angles des pales, vitesse de rotation du rotor et de l'arbre lent,...) ou de défaillance du système de contrôle - Mesure redondante des vitesses de rotation, arrêt en cas d'incohérence des mesures 	<p align="center">Fonction de sécurité 4 Prévenir la survitesse</p>

N°	Événement initiateur	Événement redouté intermédiaire	Description de l'événement initiateur	Mesures contribuant à réduire la probabilité de l'événement initiateur	Fonction de sécurité associée (FS)
5	Défaut d'alimentation du système d'inclinaison des pales et/ou perte du réseau électrique	Survitesse entraînant la rupture d'une pale	Perte de l'alimentation du système de réglage des pales ne permettant pas l'arrêt de l'éolienne	<ul style="list-style-type: none"> - Batteries de secours situées dans la partie Rotor - Arrêt de l'éolienne en cas de coupure de l'alimentation par le réseau public - Présence de batteries ou d'onduleur sur les équipements de sécurité (balisage lumineux, système de commande) - Accumulateurs hydropneumatiques de secours situées dans la partie Rotor 	<p>Fonction de sécurité 4 Prévenir la survitesse</p>
6	Vent fort, tempête	Pliage d'une pale et contact avec le mât	Des vents violents pourraient entraîner une déformation / pliage des pales. En cas de contact de la pale avec le mât, la pale pourrait se rompre et être projetée.	<ul style="list-style-type: none"> - Études de vent - Design des éoliennes selon la norme IEC 61400. - En cas de vents violents, mise en position de la machine pour minimiser les contraintes (position face au vent, position des pales en drapeau) - Conception distance minimale entre la tour et la pale - Contrôle continu de la courbe de puissance 	<p>Fonction de sécurité 4 Prévenir la survitesse</p> <p>Fonction de sécurité 11 Prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de vent fort</p>
7	Défaut de construction / de montage	Rupture mécanique (fixation main carrier / châssis...) conduisant à la chute ou projection	Un défaut de construction, conception, montage (boulons...), d'entretien, le vieillissement ou la corrosion peuvent être à l'origine d'une rupture / détachement de la pale et d'une projection de celle-ci.	<ul style="list-style-type: none"> - Étude de sol - Opérations de maintenance définies par l'arrêté de 26 août 2011 	<p>Fonction de sécurité 9 Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage</p> <p>Fonction de sécurité 10 Prévenir les erreurs de maintenance</p>
8	Projection d'une pale d'une éolienne voisine	Rupture d'une pale par effet domino	Une projection de pale d'une éolienne du champ peut venir heurter une éolienne voisine et occasionner des dommages sérieux sur l'éolienne touchée comme une rupture de pale.	<ul style="list-style-type: none"> - Respect des distances d'éloignement préconisées par le constructeur 	

H2.3.2 - Représentation sous forme d'arbre de défaillance et analyse des fonctions de sécurité

Les scénarios d'accident liés à une rupture et une projection d'une pale sont représentés sur la Figure 13.

Cinq fonctions de sécurité sont identifiées :

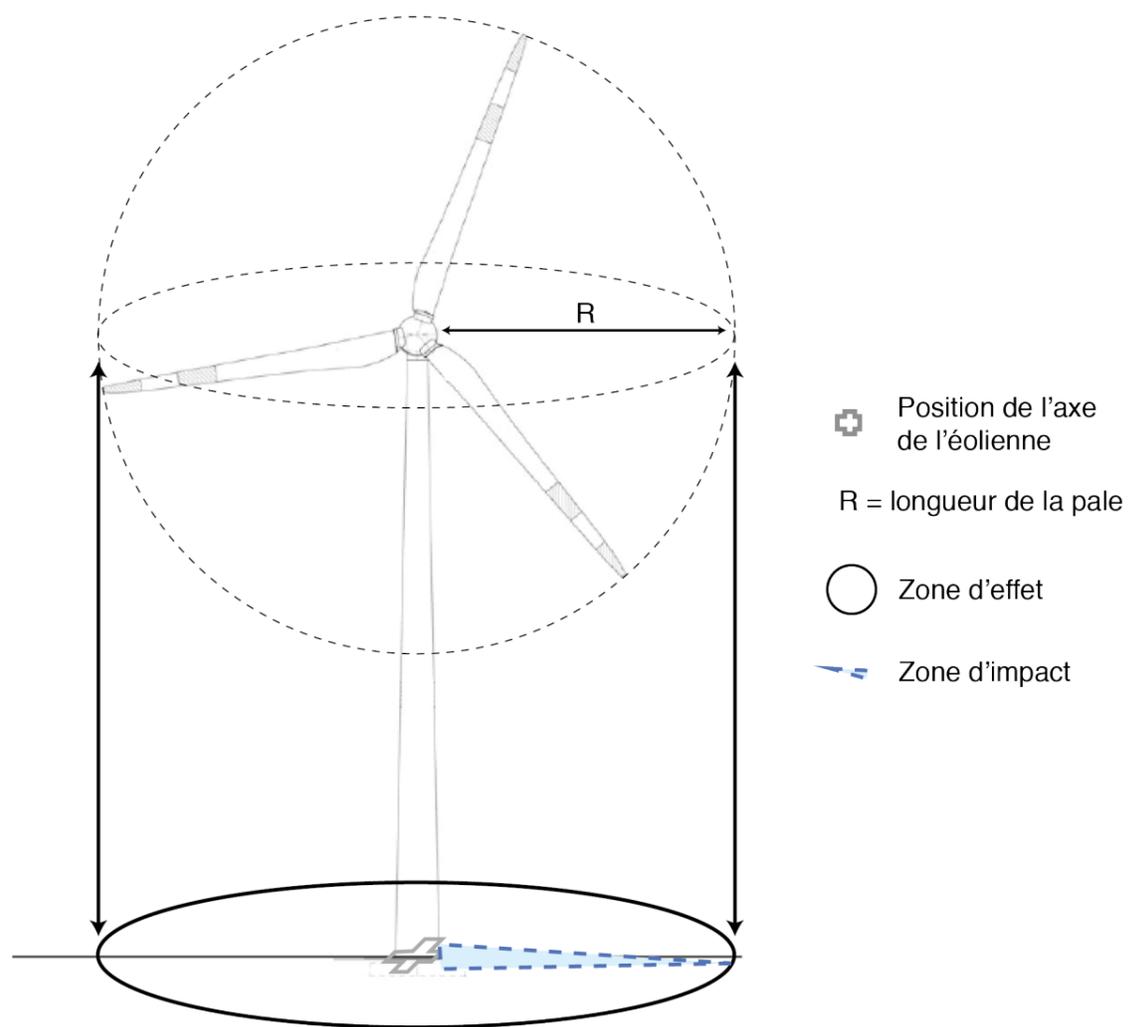


H2.3.3 - Scénario de Chute d'éléments de l'éolienne

→ Zone d'effet

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 (Figure 14).

FIGURE 14 : SCHEMA DU SCENARIO CHUTE D'ÉLÉMENT DE L'ÉOLIENNE



→ 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, figure ci-contre).

Le tableau suivant permet d'évaluer l'intensité du phénomène de chute d'éléments d'une éolienne du projet :

Chute d'éléments de l'éolienne				
Eoliennes concernées	Zone d'impact (en m ²)	Zone d'effet du phénomène étudié (en m ²)	Degré d'exposition du phénomène étudié (en %)	Intensité
	$R \times LB / 2$	$\pi \times R^2$	Zone d'impact / Zone d'effet du phénomène	
E1, E4, E5, E6	204	14 527	1,404	Forte
E2	175,5	10 751	1,632	

Eléments de la formule littérale : R : longueur de pale, LB : largeur de la base de la pale

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

→ **Gravité**

On identifie les cibles humaines potentielles dans la surface d'effet de chaque éolienne.

Étant données les distances d'effets calculées, la chute d'éléments d'éoliennes peut atteindre les personnes situées dans les champs et sur les chemins autour du site. Pour le calcul du nombre de personnes permanentes ou équivalent, on se réfère au premier tableau du chapitre "H1.3 - Gravité", page 33.

Le tableau suivant rappelle les correspondances entre la gravité et le nombre de personnes exposées pour une exposition d'intensité forte :

Rappel des correspondances Gravité / Nombre de personnes exposées pour une intensité forte					
Gravité	"Désastreux"	"Catastrophique"	"Important"	"Sérieux"	"Modéré"
Nombre de personnes exposées	Plus de 100 personnes exposées	Entre 10 et 100 personnes exposées	Entre 1 et 10 personnes exposées	Au plus 1 personne exposée	Pas de zone de létalité en dehors de l'établissement

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

Chute d'éléments de l'éolienne				
Éoliennes	Nombre de personnes permanentes ou équivalent et hypothèses retenues		Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité
E1	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1 personne / 100 Ha	0,014	Sérieux
E2			0,011	
E4			0,014	
E5			0,014	
E6			0,014	

→ **Probabilité**

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

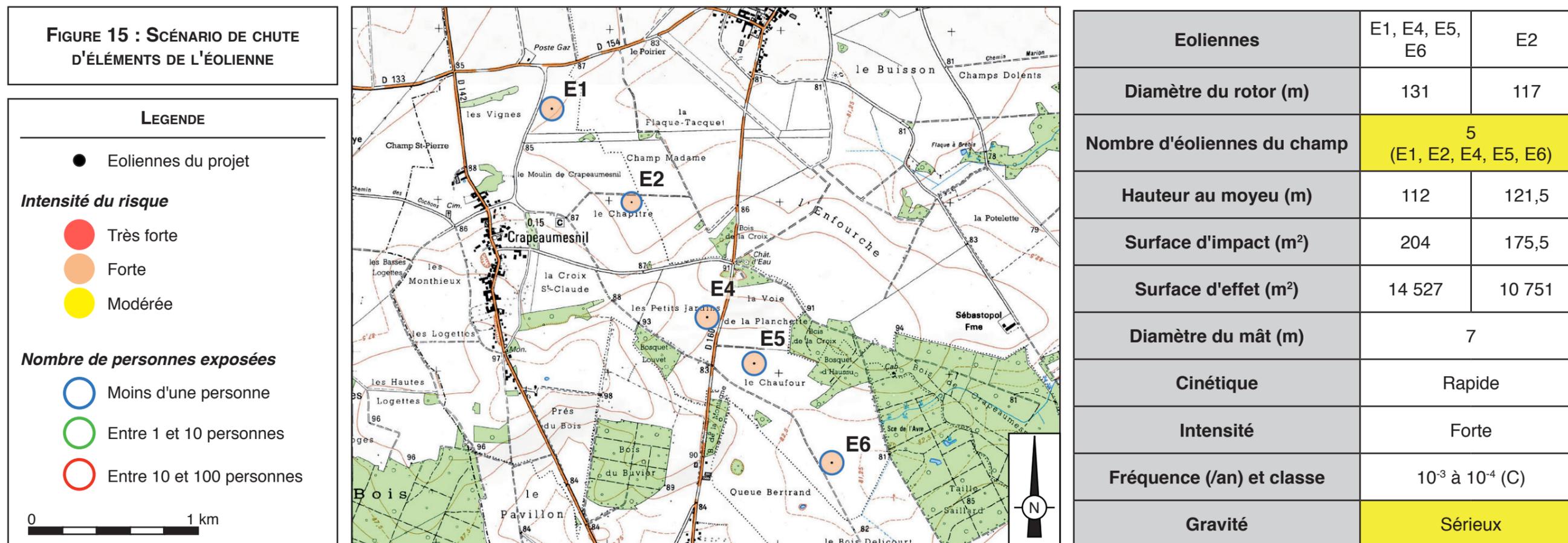
Le retour d'expérience connu en France montre que ces événements ont une classe de probabilité "C" : 2 chutes et 5 incendies pour 15 667 éoliennes x années d'expérience, soit $4,47.10^{-4}$ événement par éolienne et par an.

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.

→ **Evaluation des risques - Acceptabilité**

Les différents éléments d'évaluation des accidents associés à une chute d'éléments de l'éolienne sont présentés ci-dessous (Figure 15). Ils sont basés sur les règles de comptage et sur les modélisations présentées précédemment.



Les accidents "chute d'éléments de l'éolienne" pour chacune des éoliennes sont positionnés dans la matrice de criticité ci-dessous :

Gravité	Probabilité (sens croissant de E vers A)				
	E	D	C	B	A
5. Désastreux					
4. Catastrophique					
3. Important					
2. Sérieux			E1, E2, E4, E5, E6		
1. Modéré					

Avec une classe de probabilité "C", le risque de chute d'éléments pour chaque aérogénérateur est évalué comme nécessitant la mise en œuvre de mesures de sécurité.

Or, nous avons vu que cinq fonctions de sécurité sont impliquées dans la maîtrise de ce risque (Figure 13, page 53).

Ainsi, pour les éoliennes du projet, le phénomène de chute d'éléments de l'éolienne constitue un risque acceptable pour les personnes.

H2.3.4 - Scénario de projection de pales ou de fragments de pales

→ Zone d'effet

Dans l'accidentologie française, la distance maximale relevée et vérifiée 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 (Wind Turbine Accident data to 31 March 2011, Caithness Windfarm Information Forum). L'analyse de ce recueil d'accidents indique une distance maximale de projection de l'ordre de 500 mètres à deux exceptions près :

- 1300 m rapporté pour un accident à Hundhammerfjellet en Norvège le 20/01/2006,
- 1000 m rapporté pour un accident à Burgos en Espagne le 09/12/2000.

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.

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.

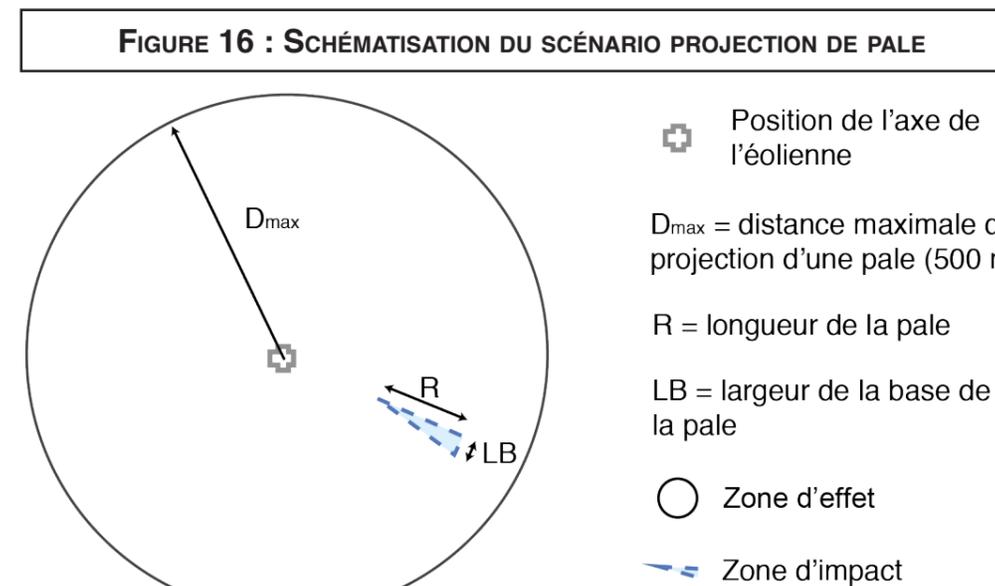
Pour autant, des études de risques déjà réalisées dans le monde ont utilisé une distance de 500 mètres, en particulier les études :

- *Guide for Risk-Based Zoning of wind Turbines, Energy research centre of the Netherlands (ECN), H. Braam, G.J. van Mulekom, R.W. Smit, 2005,*
- *Specification of minimum distances, Dr-ing. Veenker ingenieurgesellschaft, 2004.*

Sur la base de ces éléments et de façon conservatrice, l'INERIS considère une distance d'effet de 500 mètres. Cette distance paraît 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 - Figure 16).



Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène de chute d'éléments de l'éolienne dans le cas du projet.

Projection de fragment de pale				
Eoliennes concernées	Zone d'impact (en m ²)	Zone d'effet du phénomène étudié (en m ²)	Degré d'exposition du phénomène étudié (en %)	Intensité
	$R \times LB / 2$	$\pi \times D_{max}$	Zone d'impact / Zone d'effet du phénomène	
E1, E4, E5, E6	204	785 398	0,026	Modérée
E2	175,5		0,022	

Éléments de la formule littérale : D_{max} : 500 m, LB : largeur de la base de la pale

→ **Gravité**

On identifie les cibles humaines potentielles dans la surface d'effet de chaque éolienne.

Étant données les distances d'effets calculées, la projection d'éléments d'éoliennes peut atteindre les personnes situées dans les champs, sur les chemins, et sur une portion de la RD 154 pour l'éolienne E1, et sur la RD 160 pour les éoliennes E4 et E5. Pour le calcul du nombre de personnes permanentes ou équivalent, on se réfère au premier tableau du "H1.3 - Gravité", page 33.

Le tableau suivant rappelle les correspondances entre la gravité et le nombre de personnes exposées pour une exposition d'intensité modérée :

Rappel des correspondances Gravité / Nombre de personnes exposées pour une intensité modérée					
Gravité	"Désastreux"	"Catastrophique"	"Important"	"Sérieux"	"Modéré"
Nombre de personnes exposées	Plus de 1000 personnes exposées	Entre 100 et 1000 personnes exposées	Entre 10 et 100 personnes exposées	Moins de 10 personnes exposées	Présence humaine exposée inférieure à "une personne"

On suppose que le centre de gravité de la pale est situé au 1/3 de sa longueur. On fait l'hypothèse que le point d'impact du centre de gravité d'une pale d'éolienne est uniformément distribué à l'intérieur de la surface de projection de la pale (surface d'effet).

Les personnes exposées au seuil des effets létaux significatifs sont situées dans la zone d'impact : disque centré sur le point d'impact du centre de gravité de la pale et de rayon égal aux 2/3 de la longueur de la pale.

Projection de fragment de pale			
Éoliennes	Nombre de personnes permanentes ou équivalent et hypothèses retenues		Gravité
E1	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1 personne / 10 Ha	7,854
E2			
E4			
E5			
E6			

→ **Probabilité**

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

Source	Fréquence	Classe de probabilité	Justification
Site <i>Specific Hazard Assessment for a wind farm project – Case study – Germanischer Lloyd, Windtest Kaiser-Wilhelm-Koog GmbH, 2010/08/24</i>	1 x 10 ⁻⁶	E	Respect de l'Eurocode EN 1990 – Basis of structural design
<i>Guide for Risk-Based Zoning of wind Turbines, Energy research centre of the Netherlands (ECN), H. Braam, G.J. van Mulekom, R.W. Smit, 2005</i>	1,1x10 ⁻³	B	Retour d'expérience au Danemark (1984-1992) et en Allemagne (1989-2001)
<i>Specification of minimum distances, Dr-ing. Veenker ingenieurgesellschaft, 2004</i>	6,1 x 10 ⁻⁴	C	Recherche Internet des accidents entre 1996 et 2003

Le retour d'expérience français montre également une classe de probabilité "C" (12 événements pour 15 667 années d'expérience, soit 7,66 x 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.

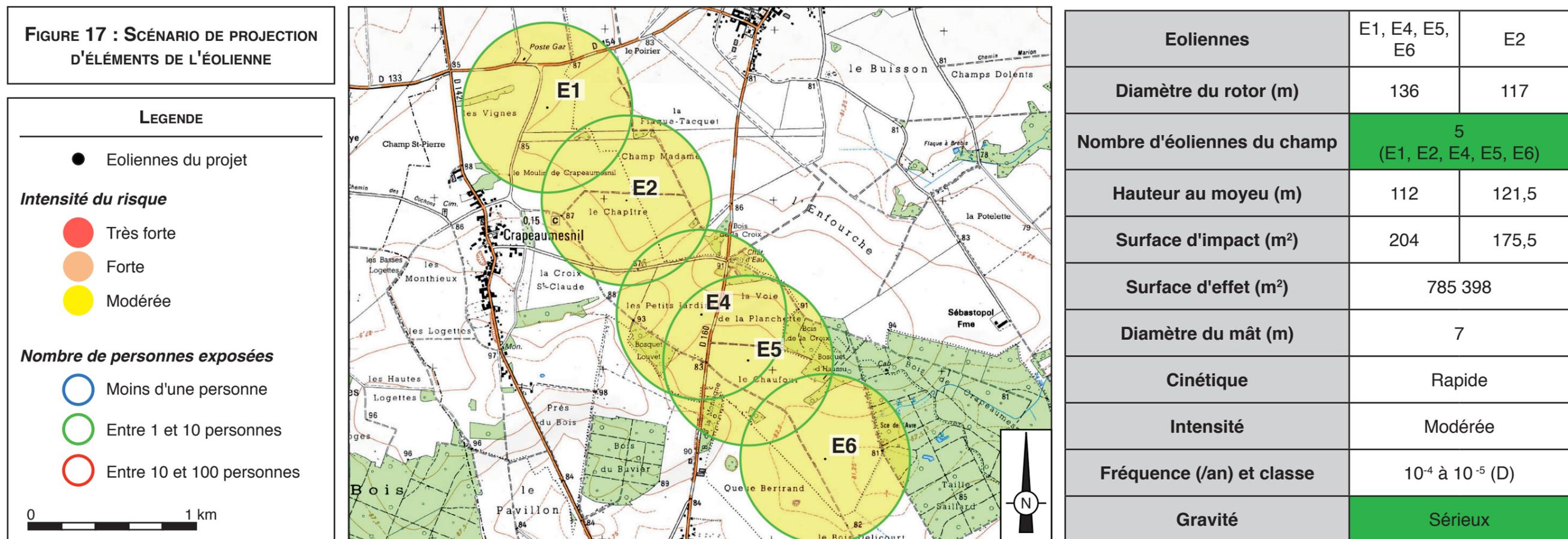
Néanmoins, les dispositions constructives des éoliennes ayant fortement évolué, le niveau de fiabilité est aujourd'hui bien meilleur. Des mesures de maîtrise des risques supplémentaires ont été mises en place notamment :

- 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,
- 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 donc 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."**

→ **Evaluation des risques - Acceptabilité**

Les différents éléments d'évaluation des accidents associés à une projection d'éléments de l'éolienne sont présentés ci-dessous (Figure 17). Ils sont basés sur les règles de comptage et sur les modélisations présentées précédemment.



Les accidents "projection de glace" pour chacune des éoliennes la sont positionnés dans la matrice de criticité ci-dessous :

Avec une classe de probabilité de "D", le risque de projection de tout ou partie de pale pour chaque aérogénérateur est évalué comme acceptable par l'INERIS dans le cas d'un nombre équivalent de personnes permanentes inférieur à 1000 dans la zone d'effet.

Ainsi, pour le parc éolien en projet, le phénomène de projection de tout ou partie de pale des éoliennes constitue un risque acceptable pour les personnes. A noter que même si la classe de probabilité C avait été retenue, ce risque restait acceptable.

Même si le dispositif d'arrêt de l'éolienne par la mise en drapeau des pales ne répond pas aux critères d'une MMR (Mesure de Maîtrise des Risques), il est important de s'assurer de la fiabilité de ce dispositif de sécurité au travers d'études spécifiques (par exemple : études SIL, AMDEC). Il convient notamment d'identifier et d'analyser les modes communs de défaillance avec le système de régulation de la vitesse du rotor et la vitesse du vent, un dysfonctionnement du système de régulation pouvant conduire à une impossibilité d'arrêter l'éolienne.

Gravité	Probabilité (sens croissant de E vers A)				
	E	D	C	B	A
5. Désastreux					
4. Catastrophique					
3. Important					
2. Sérieux		E1, E2, E4, E5, E6			
1. Modéré					

H3 - EFFETS DOMINOS

Aucune autre installation ICPE ne se situe dans un rayon de 100 m autour des éoliennes du projet. De ce fait, l'étude des effets domino n'est pas nécessaire dans le cas du projet.

H4 - MOYENS D'INTERVENTION ET DE LIMITATION DES CONSÉQUENCES

H4.1 - RÔLE DES DIFFÉRENTES PARTIES

Pour bien comprendre le fonctionnement des moyens d'intervention et de surveillance, il est nécessaire d'expliquer la répartition des rôles entre la société d'exploitation, Energieteam et le constructeur.

La société d'exploitation délègue la maîtrise d'ouvrage et l'exploitation du site à Energieteam exploitation via des contrats d'assistance à maîtrise d'ouvrage, de gestion technique et d'exploitation.

Le constructeur des éoliennes, garantit les performances des machines durant la durée d'exploitation (production, performances acoustiques, maintenance préventive et contrôle visuel des éléments vitaux des machines).

Tous les constructeurs disposent d'un centre de supervision des éoliennes à partir duquel l'arrêt à distance des machines est possible ainsi que des équipes de techniciens d'astreintes 24h/24, 7j/7.

→ Les missions d'Energieteam Exploitation en tant qu'assistance à Maîtrise d'ouvrage :

- La sélection des intervenants nécessaires à la construction.
- La négociation et conclusion des contrats de réalisation des travaux (Lots : Eoliennes, Génie civil, lot électrique, voirie, divers).
- La préparation technique et la commande des diverses missions de contrôles à des sociétés spécialisées :
 - Etude géotechnique,
 - Coordination Sécurité Protection Santé,
 - Contrôles techniques : Génie civil et électrique,
 - Mise en place des bases vies du chantier,
 - Plans généraux de coordination et de contrôles.
- Le contrôle des obligations contractuelles et réglementaires des intervenants.
- L'organisation régulière de réunions de chantiers et la diffusion des comptes rendus.
- La réalisation des constats ou procédures préventives destinées à sauvegarder les intérêts du Maître d'Ouvrage :
- La relation avec les tiers (autorités, services de l'État, EDF obligation d'achat, ERDF, FT, propriétaires, riverains, ...),
 - Choix des assurances,
 - Réception des travaux,
 - Etablissement des dossiers relatifs aux travaux exécutés,
 - Elaboration et suivi du budget et établissement du prix définitif du parc,
 - Contrôle et visa de dépenses engagées par le MO, contrôle des situations de travaux, signature des décomptes généraux définitifs,
 - Missions juridiques.

→ **Les missions d'Energieteam exploitation en tant que gestionnaire technique et exploitant du site :**

• Gestion technique :

- Mise en place des plans de prévention,
- Gestion des sous-traitants (maintenance et autres),
- Contrôle des accès aux équipements,
- Suivi des contrôles réglementaires,
- Suivi des maintenances,
- Suivi de la mise en place de nouveaux systèmes nécessaires à l'exploitation du site (dispositifs d'échanges d'informations d'exploitations, monitoring postes, systèmes anti-intrusion, matériel de supervision),
- Inspections légales,
- Contrôle des habilitations du personnel et des sous-traitants intervenant sur site,
- Réalisation des suivis réglementaires prescrits par l'arrêté préfectoral,
- Consignation et dé-consignation des installations.

• Supervision des éoliennes :

- Supervision à distance (fonctionnement),
- Suivi des levées de réserve,
- Visites de contrôle des abords et contrôle visuel des machines et du poste de livraison,
- Participation aux dossiers d'audits,
- Suivis des interventions sur sites (maintenances, dépannages, contrôles sécurité...),
- Reporting au maître d'ouvrage.

• Le suivi des contacts avec la conduite du réseau :

- Autorisation et manœuvres d'exploitation (couplage),
- Gestion de la facturation de l'électricité produite.

• Analyses d'exploitation :

- Archivage des données commerciales, contractuelles, de production, d'exploitation,
- Analyses de production et réglage des machines,
- Contrôle des performances (courbes de puissance, comparaison aux données constructeur, contrôle des compteurs, calcul de perte, etc...),
- Réglages acoustiques (vérifications du respect des paramétrages, conformité acoustique du site).

• Le suivi local :

- Relations avec les riverains, les élus, et l'administration,
- Réponses aux demandes de renseignements extérieures (DT et DICT),
- Suivi des mesures compensatoires,
- Suivi des mesures de rétablissement de la réception hertzienne,
- Études ornithologiques et acoustiques complémentaires,
- Gestion des baux, loyers et indemnisations.

• Astreintes et sécurité :

- Consigner ou faire consigner les installations,
- Présence de personnel habilité pour exploiter, manœuvrer et consigner les postes
- Astreinte d'exploitation 24h/24, 7j/7,
- Coordonner les actions sur site, les risques et mise en place des Plans de Préventions et de l'affichage réglementaire,
- Donner l'alerte aux services de secours et autres organismes concernés en cas d'incident grave sur le parc,
- Autorisation et manœuvres d'exploitation (demande de découplage des installations).

H4.2 - CHAÎNE D'ALERTE ET MOYENS D'INTERVENTION

Les éoliennes fonctionnent de manière autonome, sans personnel sur site en permanence. Il est donc nécessaire de disposer d'un dispositif de télésurveillance et de gestion fiable.

L'accident principal nécessitant une action rapide et immédiate est avant tout l'incendie en nacelle ou en pied de mât. Vis-à-vis de ce risque, l'installation est équipée de détecteurs d'incendie, de détecteurs de fumée (un dans la tour et un dans la nacelle) qui, lors de leur déclenchement, conduisent à la mise à l'arrêt de la machine et au découplage du réseau électrique.

Chaque éolienne est en outre dotée d'extincteurs, bien visibles et facilement accessibles, dans la nacelle et à la base du mât. Ces extincteurs ont pour vocation d'être utilisés en cas de problème lors d'opérations de maintenance (présence d'un opérateur sur site).

Les principaux paramètres de températures et de vitesses de rotation sont surveillés dans les différents organes de la machine. En cas d'anomalie, les détecteurs de température disposés dans la nacelle conduisent à des actions similaires aux détecteurs de fumée.

Le cheminement d'alerte provenant des éoliennes est assuré par le système SCADA de surveillance des machines. Les principaux paramètres de températures et de vitesses de rotation sont surveillés dans les différents organes de la machine. Les messages d'alertes sont acheminés jusqu'au centre de surveillance où ils sont automatiquement ré-adressés à Energieteam Exploitation par courriel et par SMS. En cas d'anomalie de fonctionnement grave, l'éolienne se met d'elle-même en arrêt et ne reprend son activité qu'après visite des techniciens de maintenance.

La transmission des informations concernant le couplage et de découplages du parc au réseau sont assurées par l'automate du poste de livraison qui envoie des SMS d'alertes et de situation à Energieteam exploitation.

Energieteam exploitation dispose d'un service d'astreinte, 24h/24, 7j/7. Une personne d'astreinte dispose d'un téléphone dédié à l'exploitation où arrivent tous les messages, ainsi qu'à un accès au système SCADA pour pouvoir superviser l'ensemble des parcs éoliens à distances.

Ce dispositif permet de déclencher les interventions sur site (normalement de maintenance). En cas d'incident grave sur le parc, la personne d'astreinte peut prévenir si besoin les autorités compétentes et les services de secours.

Le centre de secours le plus proche est celui de Roye. Les secours peuvent donc être sur les lieux en moins d'une vingtaine de minutes.

Enfin les enseignements retirés des anomalies ou des accidents constatés sont pris en compte pour éviter le renouvellement de ces dysfonctionnements.

H5 - SYNTHÈSE DE L'ÉTUDE DÉTAILLÉE DES RISQUES

Le projet est composé de 5 éoliennes dans un espace de cultures.

La situation des éoliennes en pleins champs induit une faible présence humaine. Ainsi, pour les scénarios d'effondrement et de chute d'éléments de l'éolienne ou de glace, moins d'une personne est exposée au risque. Pour les scénarios de projection, dont la zone d'effet est plus étendue, entre 1 et 8 personnes sont concernées (l'INERIS place la limite d'acceptabilité du risque à 1000 personnes).

Les intensités variant en fonction du ratio zone d'impact / zone d'effet, les scénarios effondrement de la machine et chute d'un élément (cas majorant de la pale) ont des intensités fortes tandis que pour les autres scénarios l'intensité est modérée.

La gravité du phénomène, résultant de l'intensité et du nombre de personnes exposées, n'est jamais plus que "modérée" ou "sérieuse".

La gravité du phénomène comparée à sa probabilité d'occurrence renseigne sur son acceptabilité. Ainsi le niveau de risque est jugé acceptable pour tous les scénarios.

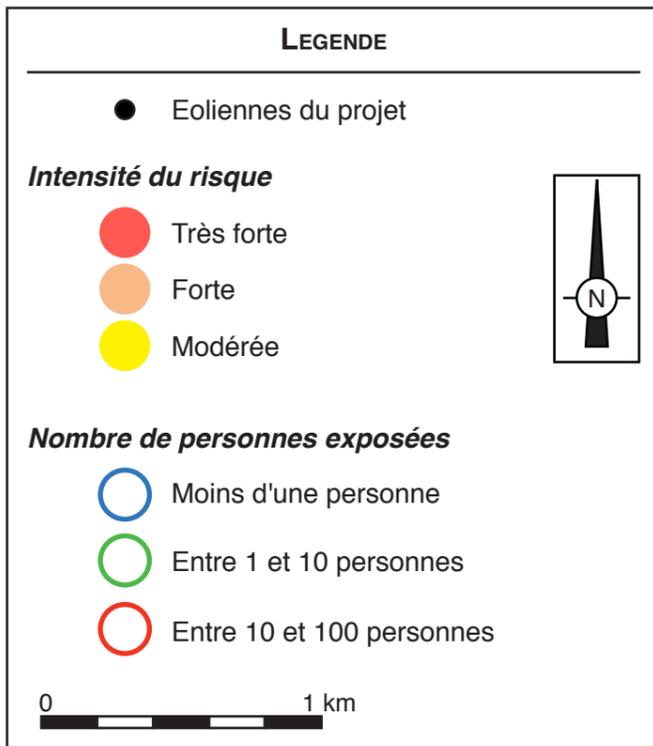
Les tableaux présentés aux pages suivantes récapitulent, pour chaque aérogénérateur, l'ensemble des scénarios étudiés et les paramètres de cinétique, intensité, probabilité et gravité qui leur sont associés. Ils rappellent également les fonctions de sécurité présentes et concluent sur le niveau de risque et son acceptabilité. Des cartes sont également présentées pour illustrer ces éléments (Figure 18). La matrice de criticité pour l'ensemble des scénarios est indiquée ci-dessous.

La numérotation des fonctions de sécurité est celle établie dans l'Analyse Préliminaire des Risques. Rappelons également les fonctions de sécurité suivantes qui ne peuvent être directement reliées à un scénario, mais qui contribuent à la sécurité de l'installation :

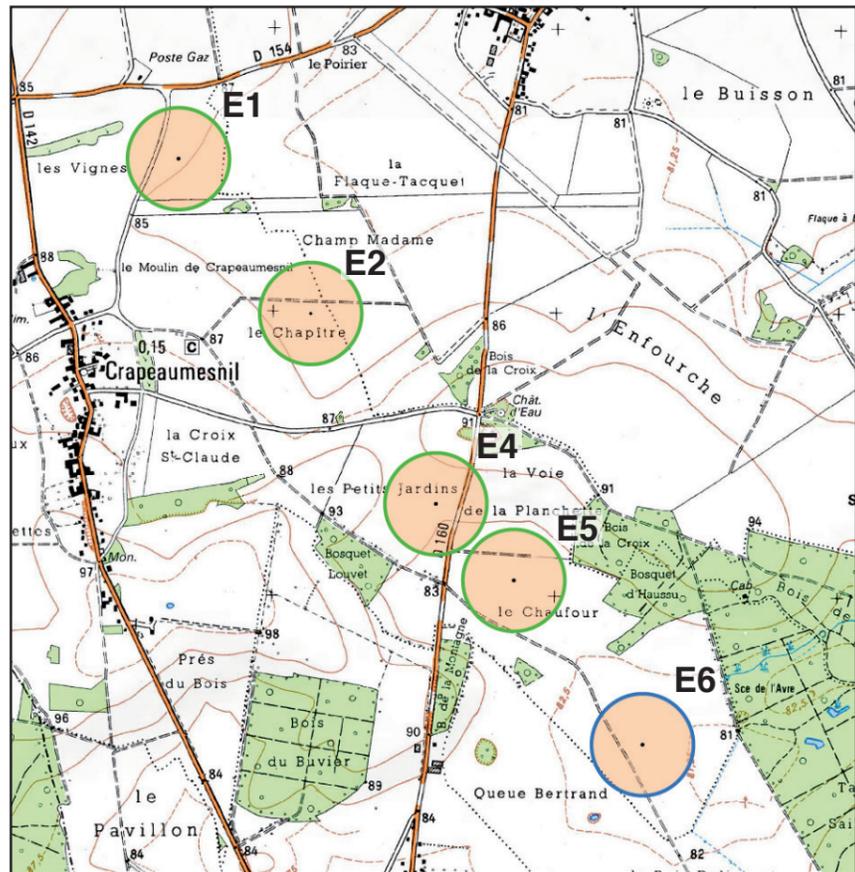
- FS3 : Prévenir l'échauffement significatif des pièces,
- FS7 : Protection et intervention incendie,
- FS8 : Prévention et rétention des fuites.

Gravité	Probabilité (sens croissant de E vers A)				
	E	D	C	B	A
5. Désastreux					
4. Catastrophique					
3. Important		Effondrement : E1, E2, E4, E5			
2. Sérieux		Effondrement : E6 Projection d'éléments : E1, E2, E4, E5, E6	Chute d'éléments : E1, E2, E4, E5, E6	Projection de glace : E1, E2, E4, E5, E6	
1. Modéré					Chute de glace : E1, E2, E4, E5, E6

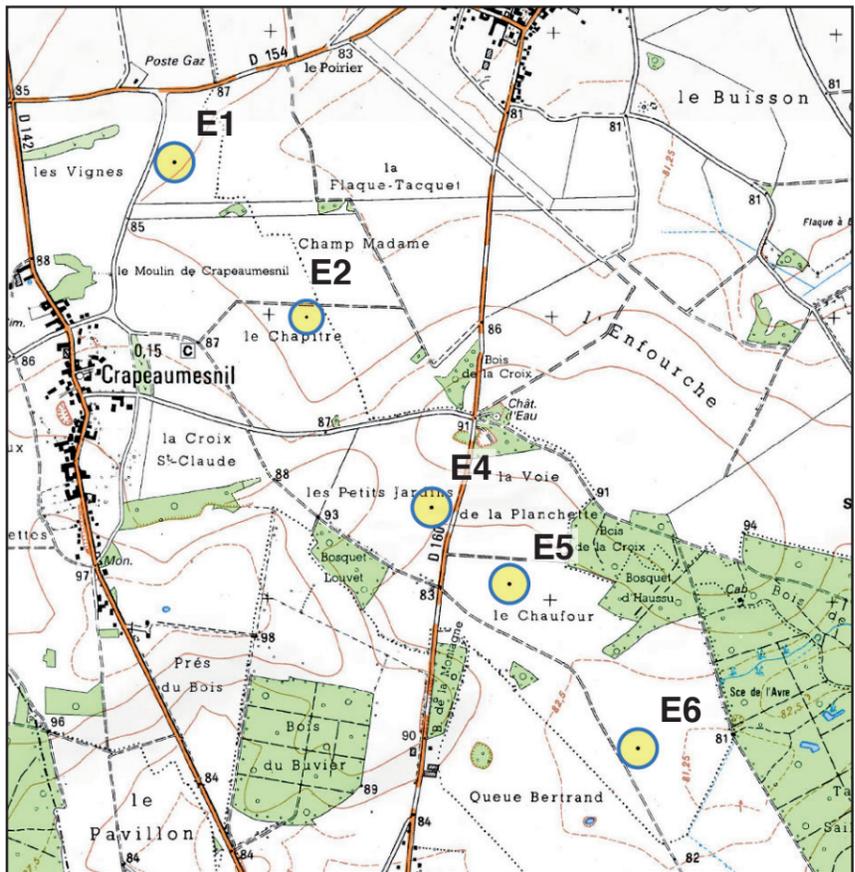
FIGURE 18 : RISQUES LIÉS AUX SCÉNARIOS DE L'ÉTUDE DÉTAILLÉE DES RISQUES ET LEURS ZONES D'EFFET SPÉCIFIQUES



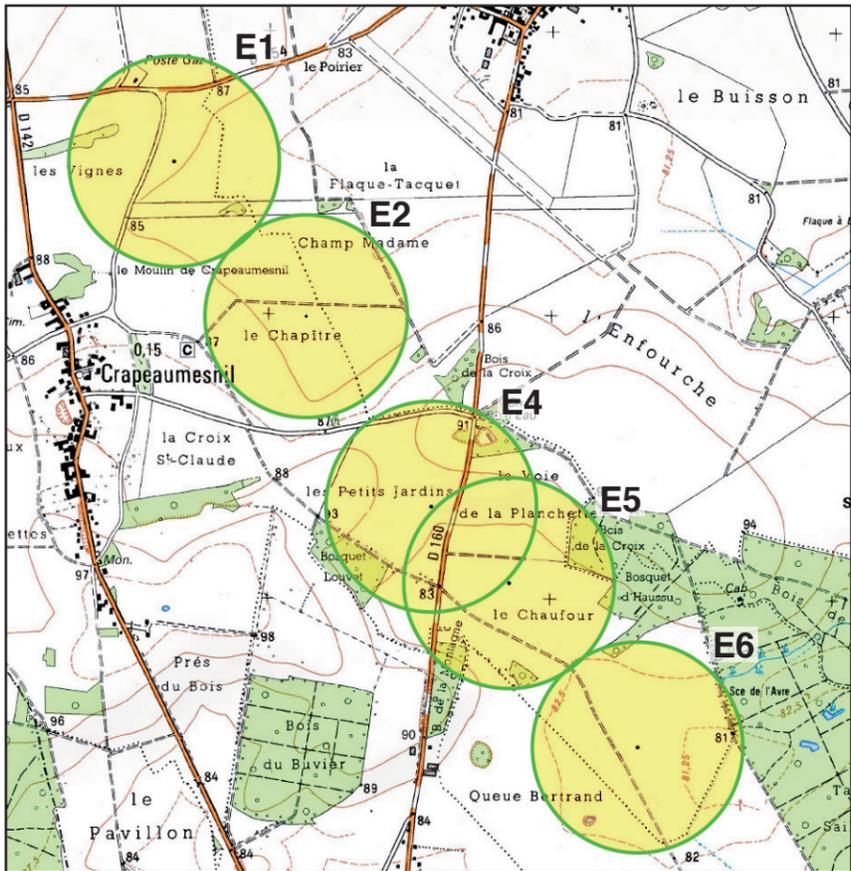
Scénario effondrement de l'éolienne



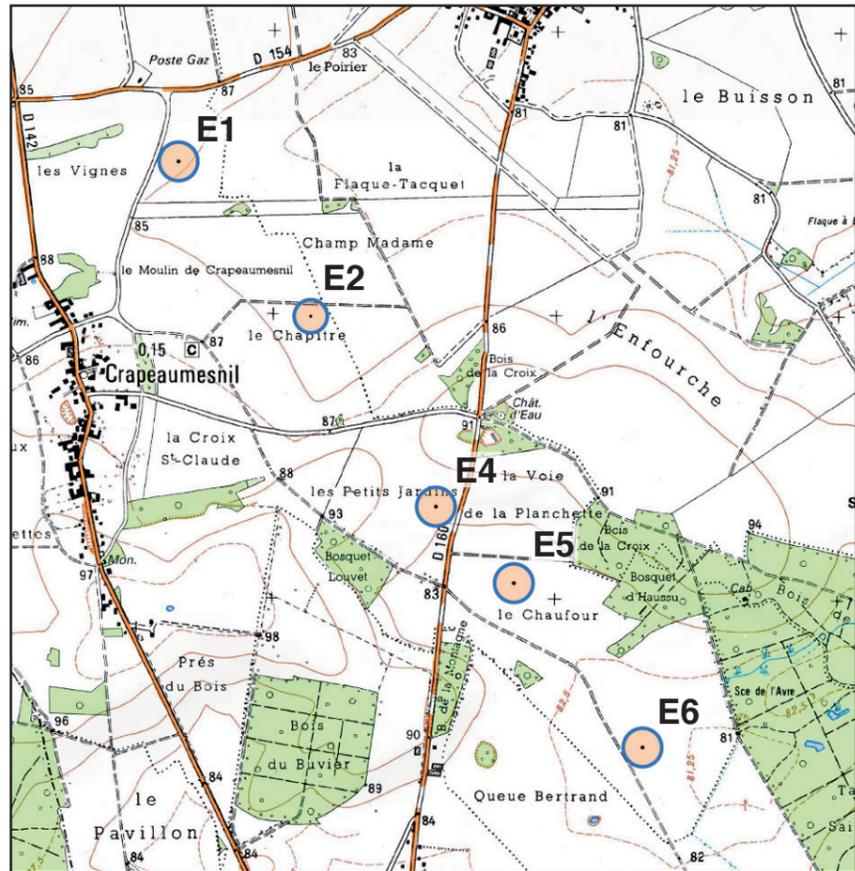
Scénario chute de glace



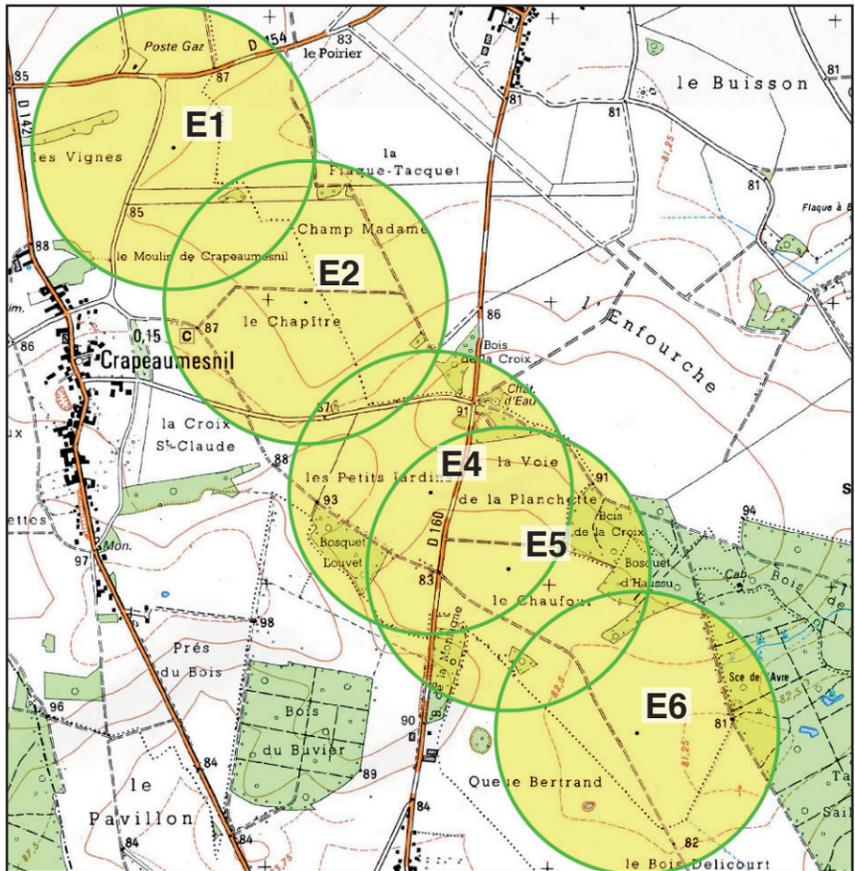
Scénario projection de glace



Scénario chute d'éléments de l'éolienne



Scénario projection d'éléments de l'éolienne



Eoliennes E1, E4, E5								
Scénario	Zone d'effet	Cinétique	Intensité	Nombre de personnes exposées	Gravité	Probabilité	Fonctions de sécurité concernées	Niveau de risque - Acceptabilité
Effondrement de l'éolienne	Disque dont le rayon correspond à la hauteur totale de la machine en bout de pale (180 m)	Rapide	Forte	1,018	Important	D	FS4 ; FS5 ; FS9 ; FS10 ; FS11	Risque faible - Acceptable
Chute de glace	Zone de survol (68 m)	Rapide	Modérée	0,014	Modéré	A	FS2	Risque faible - Acceptable
Projection de glace	1,5*(H+2R) autour de l'éolienne (372 m)	Rapide	Modérée	4,347	Sérieux	B	FS1 ; FS2	Risque faible - Acceptable
Chute d'élément de l'éolienne	Zone de survol (68 m)	Rapide	Forte	0,014	Sérieux	C	FS4 ; FS6 ; FS9 ; FS10 ; FS11	Risque faible - Acceptable
Projection de pale ou de fragment de pale	500 m autour de l'éolienne	Rapide	Modérée	7,854	Sérieux	D	FS1 ; FS4 ; FS6 ; FS9 ; FS10 ; FS11	Risque très faible - Acceptable

Eolienne E2								
Scénario	Zone d'effet	Cinétique	Intensité	Nombre de personnes exposées	Gravité	Probabilité	Fonctions de sécurité concernées	Niveau de risque - Acceptabilité
Effondrement de l'éolienne	Disque dont le rayon correspond à la hauteur totale de la machine en bout de pale (180 m)	Rapide	Forte	0,102	Important	D	FS4 ; FS5 ; FS9 ; FS10 ; FS11	Risque faible - Acceptable
Chute de glace	Zone de survol (58,5 m)	Rapide	Modérée	0,011	Modéré	A	FS2	Risque faible - Acceptable
Projection de glace	1,5*(H+2R) autour de l'éolienne (357,75 m)	Rapide	Modérée	4,021	Sérieux	B	FS1 ; FS2	Risque faible - Acceptable
Chute d'élément de l'éolienne	Zone de survol (58,5 m)	Rapide	Forte	0,011	Sérieux	C	FS4 ; FS6 ; FS9 ; FS10 ; FS11	Risque faible - Acceptable
Projection de pale ou de fragment de pale	500 m autour de l'éolienne	Rapide	Modérée	7,854	Sérieux	D	FS1 ; FS4 ; FS6 ; FS9 ; FS10 ; FS11	Risque très faible - Acceptable

Eoliennes E6								
Scénario	Zone d'effet	Cinétique	Intensité	Nombre de personnes exposées	Gravité	Probabilité	Fonctions de sécurité concernées	Niveau de risque - Acceptabilité
Effondrement de l'éolienne	Disque dont le rayon correspond à la hauteur totale de la machine en bout de pale (180 m)	Rapide	Forte	1,018	Sérieux	D	FS4 ; FS5 ; FS9 ; FS10 ; FS11	Risque très faible - Acceptable
Chute de glace	Zone de survol (68 m)	Rapide	Modérée	0,014	Modéré	A	FS2	Risque faible - Acceptable
Projection de glace	1,5*(H+2R) autour de l'éolienne (372 m)	Rapide	Modérée	4,347	Sérieux	B	FS1 ; FS2	Risque faible - Acceptable
Chute d'élément de l'éolienne	Zone de survol (68 m)	Rapide	Forte	0,014	Sérieux	C	FS4 ; FS6 ; FS9 ; FS10 ; FS11	Risque faible - Acceptable
Projection de pale ou de fragment de pale	500 m autour de l'éolienne	Rapide	Modérée	7,854	Sérieux	D	FS1 ; FS4 ; FS6 ; FS9 ; FS10 ; FS11	Risque très faible - Acceptable

La carte ci-contre (Figure 19) présente les zones d'effets des 5 scénarios retenus pour les 5 éoliennes du projet.

Pour rappel, les distances d'effet pour chacune des 6 machines sont les suivantes :

	Distance d'effet par rapport au centre de l'éolienne	
	E1, E4, E5, E6	E2
Effondrement	180 m	180 m
Chute de glace	68 m	58,5 m
Projection de glace	372 m	357,75 m
Chute d'éléments	68 m	58,5 m
Projection d'éléments	500 m	

