

J - IDENTIFICATION ET CARACTÉRISATION DES POTENTIELS DE DANGER

J1 - 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 une base majorante, en ne considérant que des éoliennes de 150 m de haut, de 130 m de diamètre de rotor, et un moyeu à 85 m (cas de l'éolienne de type SIEMENS SWT 3,6 - 130 ; cf "B2.3 - Description détaillée des éoliennes utilisées" page 48).

J2 - POTENTIELS DE DANGERS LIÉS AUX PRODUITS

J2.1 - POTENTIELS DE DANGER LIÉS AUX PRODUITS

La production d'énergie électrique par les éoliennes ne consomme pas de matière première. Le bon fonctionnement des éoliennes impose la présence d'huiles de lubrification dans les machines et l'utilisation d'autres produits chimiques lors de la maintenance. On notera parmi les principaux éléments chimiques présents (voir le tableau en page suivante) :

- le liquide de refroidissement (eau glycolée),
- les huiles de lubrification pour la boîte de vitesse (Voir chapitre "B2.3.3 - Les éléments de production"),
- les huiles pour le système hydraulique,
- les graisses pour la lubrification des roulements.

Les huiles, les graisses et l'eau glycolée ne sont pas des produits inflammables. Ce 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. Mais conformément à l'Art. 16. de l'arrêté du 26 août 2011 modifié relatif aux installations 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 une éolienne avec boîte de vitesse à partir de la Fiche de Données de Sécurité (FDS)* de chacun d'entre eux, car les quantités de produits présents sont plus élevées dans ce type de modèle.

Appellation du produit	Fonction	Quantité	Principaux danger	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 SHCXPMP 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

* 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).

J2.2 - DANGERS LIÉS AU CÂBLAGE ÉLECTRIQUE INTERNE ET À SA MISE EN PLACE

Ce chapitre justifie de la conformité des liaisons électriques intérieures avec la réglementation en vigueur, conformément à l'article 6 du décret du 2 mai 2014.

Rappelons que la liaison électrique inter éolienne représentera environ 3260 m de câbles enterrés. Cette liaison se composera d'un câblage composé d'un câble HTA de 150 ou 240 mm² (en alu ou en cuivre), d'une liaison de télécommunication interne et d'une liaison équipotentielle.

Cette liaison se fera en plein champ, le long de la RD136E2 et de la voie communale de St-Josse à Mouriez.

La liaison inter-éolienne en plein champ (mise en place par tranchée ouverte) se fera par câbles enterrés à 1 mètre de profondeur à minima. Un grillage avertisseur sera présent dans le remblai à une profondeur minimale de 80 cm.

La liaison inter-éoliennes sous accotement se fera à moins d'1 m de la chaussée et à une profondeur minimale de 65 cm de profondeur. Un grillage avertisseur sera présent à 35 cm de profondeur.

En application des dispositions des articles L .554-1 à L.554-4 et R.554-1 et suivants du code de l'environnement qui sont relatives à la sécurité des réseaux souterrains, aériens, subaquatiques de transport ou de distribution en lien avec l'AT2001, le demandeur s'engage à transmettre à l'INERIS avant la réalisation des travaux le tracé de détail {1/10000e ou 1/5000e) des canalisations électriques et l'emplacement des autres ouvrages projetés prévue par l'article R323-27 du code de l'énergie ;

Notons également qu'au regard de ses obligations au titre du code de l'énergie, le demandeur diligentera un contrôle technique des travaux en application de l'article 13 du décret et de l'arrêté d'application du 14 janvier 2013 par le biais soit :

- d'un organisme diagnostiqueur ;
- d'une structure interne indépendante de la maîtrise d'ouvrage et de l'exploitation ;
- d'un gestionnaire de réseau public et d'électricité.

Le demandeur transmettra également, conformément à l'article R323-29 du code de l'énergie, au gestionnaire de réseau public de distribution et d'électricité, les informations permettant à ce dernier d'enregistrer la présence des lignes privées dans son SIG des ouvrages ;

Étant donné les dispositions prises et l'absence de risque notable, le raccordement électrique n'aura pas d'impact sur la sécurité des personnes fréquentant le site

J3 - 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...).

J3.1 - IDENTIFICATION DES POTENTIELS DE DANGERS LIÉS AUX CONDITIONS D'EXPLOITATION

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

Équipement / Installation	Phase opératoire	Principaux phénomènes dangereux associés
Mât : - Tour - Équipements électriques	Éolienne en fonctionnement	Chute du mât
	Éolienne en phase d'arrêt	Pliage du mât
	Éolienne à l'arrêt	Incendie en pied de mât
Nacelle : - Présence d'huiles et graisses - Équipements électriques et mécaniques	Éolienne en fonctionnement	Chute de la nacelle
	Éolienne en phase d'arrêt	Incendie de la nacelle - Risque de dévissage
	Éolienne à l'arrêt	
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 pale / 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

J3.2 - POTENTIELS DE DANGERS LIÉS AUX PERTES D'UTILITÉ

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

Utilité	Fonction	Type de défaillance	Événement redouté
Électricité*	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		Perte des systèmes informatiques	Non-fonctionnement d'équipements d'exploitation
			Dysfonctionnements latents d'équipements de sécurité
		Perte du système SCADA (Supervisory Control Data and Acquisition)	Perte du transfert des informations et défauts

J4 - POTENTIELS DE DANGERS LIÉS AUX ÉVÉNEMENTS EXTERNES AUX PROCÉDÉS

Potentiel de dangers		Description des dangers
Conditions climatiques exceptionnelles	Température	<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. 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 glace 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>
	Pluie	<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.</p> <p>Notons que ce risque est plutôt limité dans la zone du projet (pas d'éléments permanents du réseau hydrographique, pas de zone inondable).</p>
	Neige et glace	<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>Le risque d'accumulation de neige est limité compte tenu de l'architecture d'une éolienne et du secteur concerné.</p>
	Vents violents	<p>Selon METEO-FRANCE (station METEOFRANCE de RADINGHEM, données de 1989 à 2001), la vitesse moyenne des vents dans le secteur du projet est de 4,2 m/s et le record est de 42 m/s. 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. Aussi, 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>
	Foudre	<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 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, et/ou 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>De 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 des dégâts.</p> <p>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 du projet présente une exposition relativement faible au risque de foudre avec une densité de foudroiement inférieure à la moyenne nationale. En effet, la moyenne du nombre de jours d'orage (Nk) en France est de 11,54 et la densité de foudroiement (Ng) est de 0,88 alors que la densité de foudroiement est de 0,69 à Mouriez et de 0,58 à Tortefontaine. Le nombre de jours d'orage est de 4 sur les deux communes.</p>

Potentiel de dangers		Description des dangers
Mouvements de terrain	Séisme	<p>Les séismes sont caractérisés par deux grandeurs : la magnitude et l'intensité.</p> <p>La magnitude est une mesure logarithmique de la puissance du séisme (énergie dégagée sous forme d'ondes élastiques au sol). Cette notion a été définie par Richter en 1935. C'est une grandeur continue. L'énergie est multipliée par 30 quand la magnitude croît de 1. La magnitude seule ne permet pas de caractériser les dégâts causés à la surface du séisme. En effet, ceux-ci dépendent aussi de la nature et des mouvements du sol, du contenu fréquentiel et de la durée du phénomène.</p> <p>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 XX^{ème} siècle.</p> <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 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, - 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 : <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>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.</p> <p>Les éoliennes doivent être dimensionnées conformément à la réglementation française en vigueur.</p> <p>Le parc éolien du projet est localisé dans la zone de sismicité 1 (risque très faible) et ne nécessite pas de construction spécifique par rapport aux séismes.</p>
	Mouvement de terrain hors séisme	<p>Un mouvement de terrain pourrait être à l'origine d'une chute d'éolienne.</p> <p>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 à la vue de la géologie du site d'implantation, ceci afin d'écartier le risque de mouvement de terrain hors séisme.</p>

Potentiel de dangers		Description des dangers
Proximité de la mer	Atmosphère saline	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. Le parc en projet n'est pas concerné car il est situé relativement loin de la mer (plus de 20 km).
	Marées, vagues	Des marées ou des vagues de forte amplitude présentent 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. Le parc en projet n'est pas concerné car il est situé relativement loin de la mer (plus de 20 km).
	Tsunami	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. 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. Ainsi, les études menées par les autorités françaises sur le risque de tsunamis concernent essentiellement le littoral méditerranéen. Le parc en projet n'est pas concerné car il est situé relativement loin de la mer (plus de 20 km).
Incendie de végétation		Un incendie de la végétation présente sur le site et aux alentours serait susceptible de se propager aux installations. Rappelons que les éoliennes sont situées dans les champs, qui constituent une zone de faible risque incendie.
Dangers externes d'origine non naturelle	Activités industrielles voisines	Un accident sur les installations industrielles voisines (incendie, explosion, projection) pourrait être à l'origine de dégradations des éoliennes. 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. L'installation classée la plus proche, hors éolienne, est un silo agricole (silo UNEAL) situé à Mouriez à 2 km environ de l'éolienne 1.
	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 transport de fluides inflammables n'est située dans le secteur.
	Voies de communication Voies ferroviaires, routières et transport aérien	Un accident routier/ferroviaire/maritime peut aggraver les installations en raison d'un impact/choc de véhicule sur le mât d'une éolienne et d'un accident sur des camions/wagons de matières dangereuses (incendie, explosion, ...). Le projet est situé à l'écart des grands axes, seules des routes départementales sont présentes. La plus proche est la RD138E1 située à 330 m de l'éolienne 5. Sous réserve que les éoliennes soient implantées à une distance supérieure à 2 km des aéroports, le site n'est pas considéré comme se trouvant dans la zone de proximité d'un aéroport, 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. Aucun aéroport n'est présent à moins de 2 km (aéroport du Touquet à plus de 25 km, aéroport privé de Mouriez à plus de 3 km). 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.
	Réseau électrique	Une perte du réseau électrique est étudiée au chapitre "Analyse préliminaire des risques".
	Malveillance	Les installations peuvent faire l'objet de tentatives éventuelles d'intrusions ou d'actes de malveillance (vols de 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 seront pas considérés comme événements initiateurs potentiels dans l'analyse des risques présentée au chapitre "Analyse préliminaire des risques".
Maintenance et extension du parc éolien		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. Ces activités sont considérées comme des événements initiateurs potentiels dans l'analyse des risques présentée au chapitre "Analyse préliminaire des risques".

J5 - RÉDUCTION DES POTENTIELS DE DANGERS

J5.1 - OBJECTIFS

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.

J5.2 - 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 minimale de 500 m par rapport aux zones urbanisées et urbanisables (plus de 800 m dans le cas présent),
- éloignement des routes à fort trafic. La RD 939 (ex RN39 - 7800 véhicules par jour) est à plus de 2 km de l'éolienne la plus proche (éolienne 1). La RD138E1 (< 500 véh/j) est à 330 m de l'éolienne 5,
- éloignement des canalisations de gaz ou d'hydrocarbures (pas de réseau à proximité),
- éloignement des lignes électriques aériennes très haute tension (l'éolienne 5, la plus proche, est à 2 km environ de la ligne THT passant au Nord et à plus de 2,5 km de la ligne THT passant à l'Ouest).

J5.3 - 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 (boîte de vitesse, système hydraulique, générateur...) permettant de détecter les éventuelles fuites d'huile et d'arrêter l'éolienne en cas d'urgence.

Les éoliennes ENERCON et SIEMENS ne possèdent pas de système d'engrenage principal : le rotor est directement couplé à un générateur annulaire. La vitesse de rotation n'a pas besoin d'être échelonnée. Par conséquent, la quantité d'huile d'engrenage habituellement disponible sur les éoliennes classiques (> 200 litres) n'est pas nécessaire.

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.

J6 - 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. Rappelons 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.

J6.1 - INVENTAIRE DES ACCIDENTS ET INCIDENTS EN FRANCE

J6.1.1 - 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 bases de données mises en place par des associations :

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

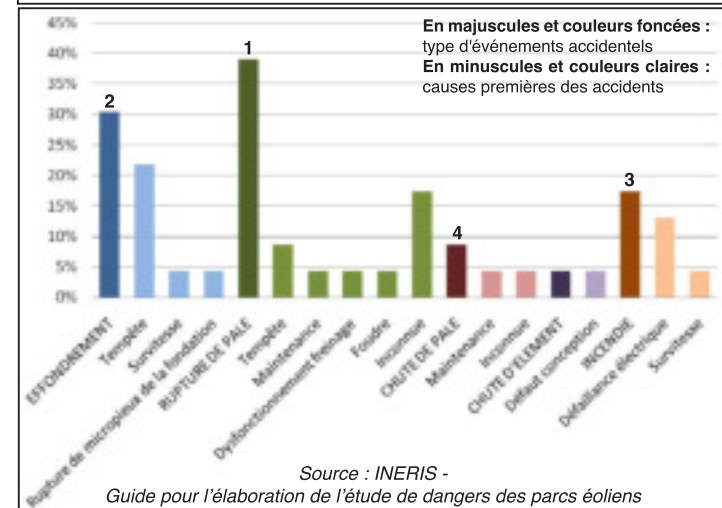
Dans le cadre de ce recensement, il n'a pas été réalisé d'enquête exhaustive directe auprès des exploitants de parcs éoliens français. Cette démarche pourrait augmenter le nombre d'incidents recensés, mais cela concernerait essentiellement les incidents les moins graves.

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.

J6.1.2 - Inventaire des accidents/incidents en France

Sur la période 2000 - fin 2012, un total de 42 incidents a pu être recensé dans le cadre de l'étude menée par l'INERIS sur les risques liés à l'éolien. Le détail des événements répertoriés est présenté dans le tableau en page suivante, auxquels nous avons ajouté les derniers accidents connus jusqu'en 2015. Il apparaît dans ce recensement que les aérogénérateurs accidentés sont principalement des modèles anciens ne bénéficiant généralement pas des dernières avancées technologiques. Le graphique ci-contre (Figure 116) 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 116 : TYPE D'ÉVÉNEMENTS ACCIDENTELS ET CAUSES PREMIÈRES SUR LE PARC D'AÉROGÉNÉRATEURS FRANÇAIS ENTRE 2000 ET 2011



* : La base ARIA (Analyse, Recherche et Information sur les Accidents) du BARPI (Bureau d'Analyse des Risques et Pollutions Industrielles – Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, 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.

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 les principales causes 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) 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) (Windmaster WM43/750)	x							Non connues
01/02/2002 59 - WORMHOUT	SER - FEE	Bris d'hélice et mât plié (Turbowinds T400-34)	x	x						Tempête
01/07/2002 11 - PORT LA NOUVELLE	SER - FEE	Grave électrisation avec brûlures d'un technicien (éolienne : Gamesa G47)							x	Lors de mesures pour caractériser la partie haute d'un transformateur 690V/20kV en tension, le mètre utilisé par la victime, déroulé sur 1,46 m, s'est soudainement 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 suite au dysfonctionnement du système de freinage		x						Tempête + dysfonctionnement du système de freinage
25/02/2002 11 - SALLELES LIMOUSIS	SER - FEE	Bris de pale en bois (avec inserts) sur une éolienne bipale (Windmaster WM43/750)	x							Tempête
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, parmi les 4 aérogénératrices hautes de 60 m de la ferme éolienne du Portel inaugurée en mai 2002, se brise durant la nuit en entraînant la chute de sa génératrice et des pales du rotor. Les aérogénératrices représentent chacune une puissance de 3 mégawatts. Le projet a coûté 3 millions d'euros. Les 3 hélices de 25 m sont retrouvées sur la plage. Un défaut de serrage des boulons servant à relier 2 tronçons du mât (défaillance d'entretien) est sans doute à l'origine de l'incident. Selon le concepteur et gérant de cette ferme éolienne, le montant des dommages s'élèverait à plus de 450 000 euros.	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 (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)	x							Tempête + problème d'allongement des pales et retrait de sécurité (débridage)
2004 11 - ESCALES CONILHAC	SER - FEE	Bris de trois pales (Jeumont J48/750)								Non connues

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)
22/12/2004 26 - MONTJOYER	BARPI N°29385	Bris des trois pales et début d'incendie sur une éolienne (Jeumont J48/750 - survitesse de plus de 60 tr/min). A la suite d'un dysfonctionnement du dispositif de freinage d'une éolienne, de la fumée et un bruit inhabituel sont perceptibles. Les pompiers envoient 2 fourgons pompes sur les lieux et installent un périmètre de sécurité. Ils constatent que les 3 pales de l'éolienne se sont brisées, 2 sont tombées au sol désintégrées et la 3 ^{ème} qui est cassée pend. La mise en sécurité est effective après l'arrêt de toutes les éoliennes par l'exploitant ; il n'y a aucune victime sur les lieux. En matière de sécurité une règle locale prévoit de respecter une distance de sécurité entre les voies de circulation et les installations d'éoliennes. Chaque éolienne développe 750 kW et est connectée au réseau 20 000 V.	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)	x							Non connues
08/10/2006 29 - PLEYBER CHRIST Site du Télégraphe	SER - FEE	Chute d'une pale de 20 m pesant 3 tonnes (Windmaster WM28/300)	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 pieds de mât qui s'est propagé jusqu'à la nacelle.				x				Acte de malveillance / incendie criminel
03/12/2006 59 - BONDUES	SER - FEE	Sectionnement du mât puis effondrement d'une éolienne 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 (GE 1.5sl)	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)	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 - Eolienne : Siemens SWT 1.3)			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	L'une des 4 éoliennes (Windmaster WM28/300) installées depuis les années 2000 sur les hauteurs de Dinéault devient incontrôlable. Des coupures de courant dues à des vents de tempête soufflant à plus 100 km/h ont effectivement endommagé le dispositif d'arrêt automatique des pales prévu en cas de vents trop violents. Un bruit assourdissant est relevé, mais toute intervention humaine se révèle trop risquée tant que la tempête ne s'est pas calmée. En accord avec les services préfectoraux et la gendarmerie, la municipalité prend un arrêté pour établir un large périmètre de sécurité autour de l'installation et interdire les accès piéton et la circulation, aucune habitation n'étant implantée à proximité immédiate de ce site de production d'électricité. Chaque pale mesure 12,50 m, le risque redouté étant que l'une d'entre elles se détache et soit projetée au loin sous les bourrasques de vent. L'une de ces pales avait d'ailleurs commencé à se plier, risquant de frotter contre le mat.						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 Beechcraft (liaison Ouessan-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 pour inspection (Enercon E66/2000).						x		Mauvaise météo, conditions de vol difficiles 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)	x							Foudre + défaut de pale
28/08/2008 80 - VAUVILLERS	SER - FEE	Incendie de la nacelle (Vestas V80/2000)				x				Problème au niveau d'éléments électroniques

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)
26/12/2008 55 - RAIVAL	SER - FEE	Chute de pale (Gamesa G90)	x							Non connues
26/01/2009 02 - CLASTRES	BARPI N°35814	Deux techniciens sont électrisés vers 19 h lors de la maintenance de compteurs électriques implantés au 1 ^{er} niveau d'une éolienne (Neg-Micon NM92). Gravement brûlés au 3 ^{ème} degré et sur plus de 50 % du corps, ils sont transportés à l'hôpital en ambulance escortée par la gendarmerie, l'hélicoptère des secours ne pouvant décoller en raison des conditions météorologiques. Les 2 employés portaient leur harnais de sécurité et les compteurs étaient accessibles par un escalier extérieur. Une enquête est effectuée pour déterminer les conditions de l'accident.							x	Accident électrique (explosion d'un convertisseur)
08/06/2009 84 - BOLLENE	SER - FEE	Bout de pale d'une éolienne ouvert						x		Coup de foudre sur la pale
21/10/2009 85 - FROIDFOND	SER - FEE	Incendie de la nacelle (Gamesa G80/2000)				x				Probablement un court-circuit dans transformateur sec embarqué en nacelle
30/10/2009 07 - FREYSSINET	BARPI N°37601	Un feu se déclare vers 18h20 au sommet du rotor d'une éolienne (Vestas V80/2000) de 70 m de haut, mise en service en 2005. Les secours n'engagent pas de moyens d'extinction mais mettent en place un périmètre de sécurité de 250 m et surveillent l'évolution du sinistre. Le matériel, en fibre de carbone et de verre, fond sous l'effet de la chaleur en dégageant de la fumée et en générant des nuisances olfactives perceptibles dans la vallée de l'Ouvèze. Devant le risque de détachement des pales, le lieu est sécurisé et la circulation interrompue sur la route proche pendant une semaine. Le réseau électrique de l'ensemble du parc éolien (5 aérogénérateurs) est coupé, empêchant le fonctionnement des signaux lumineux préventifs pour les aéronefs. Selon l'exploitant, un court-circuit faisant suite à une opération de maintenance serait à l'origine du sinistre.				x				Probablement un court-circuit faisant suite à une opération de maintenance
20/04/2010 FRANCE 59 - TOUFFLERS	Article de presse (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)		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 et incendie des nacelles (Jeumont J48/750)				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	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

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)
03/01/2012	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
04/01/2012 62 - WIDEHEM	BARPI N°41578	Alors que le vent souffle en rafales à plus de 100 km/h, les 6 éoliennes d'un parc se mettent en arrêt de sécurité vers 20 H 50. Sur l'une d'elles, une pale se disloque, percute le mât puis une seconde pale. Des débris sont projetés à 160° jusqu'à 380 m de distance sur une surface de 4,3 ha. La force publique met en place un périmètre de sécurité. La vitesse sur l'autoroute est localement réduite à 90 km/h. Un arrêté préfectoral impose le maintien à l'arrêt des installations dans l'attente d'une réparation et d'essais confirmant leur sécurité. Les pertes matérielles sont estimées à 800 k€. Juste avant l'accident, une perte d'alimentation sur le réseau 20 kV pendant 300 ms a provoqué l'indisponibilité prolongée du poste source alimentant le site. Cette coupure électrique a déclenché la mise en sécurité passive des éoliennes (ouverture des électrovannes commandant le circuit hydraulique de freinage). Selon l'exploitant, les violentes rafales instantanées (150 km/h) enregistrées le 3/01 ont pu endommager la pale en générant des efforts excédant les valeurs admissibles. Les fortes contraintes mécaniques lors de l'arrêt brutal de la rotation auraient alors déclenché sa dislocation. L'éolienne détruite était la seule du parc dépourvue de dispositif de ralentissement aérodynamique en bout de pale actionné par la force centrifuge. Suite à l'accident, la vitesse de bridage des éoliennes est par ailleurs temporairement abaissée de 25 à 19 m/s.	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 de 100 m de hauteur, un arc électrique (690 V) blesse deux sous-traitants, l'un gravement (brûlures aux mains et au visage) et l'autre légèrement (brûlures aux mains). 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	Opération de maintenance
11/04/2012 11 - SIGEAN	BARPI N°43841	Une éolienne se met en arrêt automatique suite à l'apparition d'un défaut à 10 H. Des agents de maintenance la réarment à 12 H 14. Un défaut de vibration apparaît 11 minutes plus tard. Sur place les techniciens constatent la présence d'un impact sur le mât et la projection à 20 m d'un débris de pale long de 15 m. Un périmètre de sécurité de 100 m est mis en place et l'éolienne est mise en sécurité (pales en drapeau). Au moment de l'accident, la vitesse du vent était de 10 à 12 m/s. L'expertise d'assurance attribue l'accident à un impact de foudre sur l'éolienne. Un an plus tard, celle-ci est toujours arrêtée.	x							Foudre
18/05/2012 28 - FRESNAY-L'EVEQUE	BARPI N°42919	Dans un parc de 26 éoliennes de 2 MW mis en service en 2008, la détection vers 3 h par le système de supervision d'une oscillation anormale d'un aérogénérateur provoque sa mise à l'arrêt. L'équipe de maintenance d'astreinte constate à 8 h la chute d'une pale (9 tonnes, 46 m) au pied de l'installation et la rupture du roulement qui raccordait la pale au hub. Le pied de mat se situe à 190 m de la D389 et à 400 m de l'A10. L'analyse des relevés des capteurs et des compte-rendus d'entretien ne révèle aucune anomalie ni signe précurseur (contraintes anormales qui auraient pu endommager le roulement, vibration suspecte avant la rupture, différence d'orientation des pales, défaut d'aspect visuel lors des contrôles...). Des traces de corrosion sont détectées dans les trous d'alésages traversant une des bagues du roulement reliant pale et hub. Selon le fabricant, cette corrosion proviendrait des conditions de production et de stockage des pièces constitutives du roulement. L'exploitant met en place une détection visuelle de la corrosion dans les alésages, qu'il prévoit de remplacer à terme par un procédé instrumenté conçu spécifiquement.	x							Corrosion résultante 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 400 g 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	Un feu se déclare sur une éolienne de 660 kW au sein d'un parc éolien. Des projections incandescentes enflamment 80 m² de garrigue environnante. Le feu s'est déclaré en partie basse de l'éolienne (transformateur ou armoire basse tension). Les flammes ont ensuite atteint la nacelle, sans doute en se propageant le long des câbles électriques (non résistants au feu) à l'intérieur du mât. 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. Cet accident met en lumière la nécessaire tenue au feu des câbles, les possibilités de suraccident (propagation de l'incendie à la végétation environnante, chute de pale).				x				Dysfonctionnement transformateur ou armoire basse tension
06/03/2013 11 - CONILHAC-DE-LA-MONTAGNE	BARPI N°43576	A la suite d'un défaut de vibration, une éolienne se met automatiquement à l'arrêt. Sur place le lendemain, des techniciens du constructeur trouvent au sol l'une des 3 pales qui s'est décrochée avant de percuter le mât. L'éolienne est mise en sécurité (2 pales restantes mises en drapeau, blocage du rotor, inspection du moyeu). L'une des pales de cette éolienne avait déjà connu un problème de fixation en novembre 2011. Les fixations de cette pale au moyeu avaient été remplacées et le serrage des vis des 2 autres avait été contrôlé en avril 2012. La veille du défaut de vibration, la machine s'était arrêtée après la détection d'un échauffement du frein et d'une vitesse de rotation excessive de la génératrice. Un technicien l'avait remise en service le matin même de l'accident sans avoir constaté de défaut.	x							Défaut de vibration
17/03/2013 51 - EUVY	BARPI N°43630	L'exploitant arrête 7 des 18 aérogénérateurs du parc suite au signalement d'un feu dans la nacelle d'une éolienne. Un périmètre de sécurité de 150 m est mis en place. Le sinistre émet une importante fumée. 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. La gendarmerie évoque une défaillance électrique après avoir écarté la malveillance. Le parc, mis en service en 2011, avait déjà connu un incendie quelques mois plus tôt selon la presse. Les 18 machines sont inspectées.	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. Alors qu'il vient de faire l'appoint en gaz d'un cylindre sous pression faisant partie du dispositif d'arrêt d'urgence des pâles d'une éolienne, un technicien de maintenance démonte l'embout d'alimentation vissable. Une partie de la visserie de la vanne de fermeture reste solidaire de l'embout et se dévisse avec lui. L'ensemble démonté est projeté au visage de l'opérateur et lui brise le nez et plusieurs dents. Le jet de gaz affecte ses voies respiratoires. Descendue de la nacelle de l'éolienne avec l'assistance de son collègue, la victime est hospitalisée. La gendarmerie place l'accumulateur de gaz sous scellé pour être expertisé. Afin d'éviter de tels accidents, la visserie de la vanne présentait une petite perforation destinée à alerter l'opérateur : un sifflement et une formation de glace liée à la détente du gaz se produisent 4 tours et demi avant le dévissage total. La survenue de l'accident malgré ce dispositif amène l'exploitant à repenser la procédure d'alimentation de l'accumulateur de gaz dans la configuration exigüe de la nacelle d'éolienne : 8 000 machines sont potentiellement concernées. Dans l'attente des résultats d'expertise, les accumulateurs seront remplis en usine après démontage.							x	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)
03/08/2013 56 - MOREAC	BARPI N°44197	Une nacelle élévatrice utilisée pour une intervention de maintenance sur une éolienne perd 270 l d'huile hydraulique. Le produit pollue le sol sur 80 m². 25 t de terres polluées sont excavées et envoyées en filière spécialisée.							x	Fuite
09/01/2014 08 - ANTHENY	SDIS Ardennes BARPI N°44831	Vers 19h le CTA CODIS reçoit un appel pour signaler un feu sur une de cinq éoliennes du parc. A leur arrivée sur place les soldats du feu sont confrontés à un feu situé dans la nacelle de l'éolienne. Ils ont mis en place un périmètre de 300 m autour du sinistre, et la machine a été mise en sécurité par les responsables du site. Les éoliennes (NORDEX N100 - 2,5 MW) avaient été installées en août 2013.				x				
20/01/2014 11 - SIGEAN	BARPI N°44870	Une éolienne s'arrête automatiquement à 3h09 à la suite d'un défaut "vibration". A 9 H 30, une pale de 20 m est retrouvée au pied du mât. Les 2 autres pales sont toujours en place. Un périmètre de sécurité de 100 m est établi autour de l'éolienne et surveillé par une société de gardiennage. L'ensemble des machines du parc est mis à l'arrêt pour inspection puis redémarré, à l'exception de l'éolienne endommagée dont la pale sera remplacée. Le morceau de pale détaché est évacué du site en vue d'une expertise. Lors de l'accident le vent soufflait entre 18 m/s et 22 m/s.	x							
14/11/2014 07 - SAINT-CIRGUES-EN- MONTAGNE	BARPI N°45960	Lors d'un orage, la pale d'une éolienne chute à son pied, mais certains débris sont projetés à 150 m. Des rafales de vent atteignent les 130 km/h. L'exploitant sécurise la pale endommagée et bloque la rotation de la nacelle. L'installation est expertisée et les 8 autres éoliennes du parc sont inspectées.	x							Orage?
05/12/2014 11 - FITOU	BARPI N°46030	Des techniciens de maintenance constatent que l'extrémité d'une pale d'une éolienne est au sol. Cette partie de l'aérofrein de la pale, en fibre de verre, mesurant 3 m de long est retrouvée à 80 m du mât. La seconde partie de l'aérofrein constituant sa partie mécanique interne, est encore en place sur la pale. L'éolienne est arrêtée et mise en sécurité, la pale endommagée vers le bas. En première approche, l'exploitant attribue l'incident à une défaillance matérielle ou à un décollage sur les plaques en fibre de verre. Les morceaux récupérés au sol sont envoyés au centre de maintenance de l'exploitant pour expertise.						x		Défaillance matérielle?
29/01/2015 02 - REMIGNY	BARPI N°46304	A 6 H 25 un feu se déclare dans une éolienne. Celle-ci est automatiquement mise à l'arrêt sur alarme du détecteur de fumée. Sur place à 7 H 30, des employés constatent la présence de flammes et de fumée. Ils alertent les pompiers. A cause des fumées, ces derniers ne parviennent pas à approcher de la source de l'incendie. Ils doivent attendre leur dissipation. A 9 H 20 ils réussissent à progresser dans l'éolienne et éteignent l'incendie. Les dommages matériels sont estimés à 150 k€. Les 1 500 l d'eau utilisés pour le nettoyage sont pompés. Un défaut d'isolation au niveau des connexions des conducteurs de puissance serait à l'origine du sinistre. Le câble mis en cause assure la jonction entre la base et le haut de la tour. Ce défaut aurait provoqué un arc électrique entre 2 phases ce qui aurait initié l'incendie. L'éolienne n'était pas encore en exploitation, mais en phase de test. L'exploitant prévoit de tester la qualité de l'isolation de tous les câbles de puissance avant la mise en service. Il prévoit également de réaliser des mesures thermiques sur tous les câbles de puissance à 80% de leur charge nominale.				X				Défaillance matérielle
06/02/2015 79 - LUSSEY	BARPI N°46237	Vers 15 H 30, un feu se déclare 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				
10/11/2015 55 - MÉNIL-la-HORGNE	Interne exploitant	Trois pales et un rotor d'une éolienne de type SENVION MD77 chutent de leur mât de 85 m de haut pour une raison inconnue (enquête en cours)	x		x					
18/08/2016 60 - DARGIES	Presse	Un début d'incendie est constaté dans une nacelle des machines du parc de DARGIES (80 m de hauteur). Celle-ci est mise rapidement en sécurité par les services techniques d'ENERCON et les services de secours.				x				

J6.1.3 - Inventaire des accidents survenus sur les sites de l'exploitant

Aucun accident n'est survenu jusqu'à présent sur les sites de Web Energie du Vent.

J6.2 - INVENTAIRE DES ACCIDENTS ET INCIDENTS À L'INTERNATIONAL

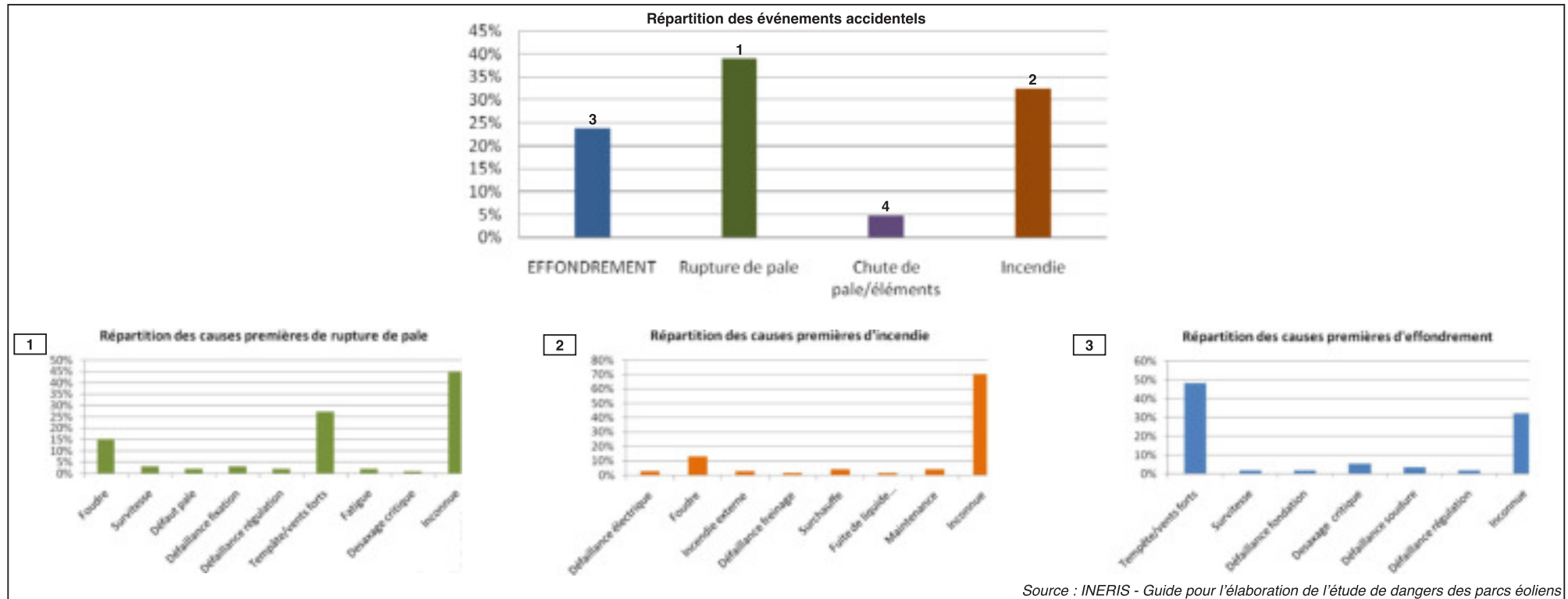
Un inventaire des incidents et accidents à l'international a également été réalisé. Il se base sur le retour d'expérience de la filière éolienne fin 2010. La synthèse ci-dessous provient de l'analyse de la base de données réalisée par l'association Caithness Wind Information Forum (CWIF).

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 (...), ils ne sont 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 (Figure 117). Le constat est assez semblable à l'échelle française et internationale.

La rupture de pale est également 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.

FIGURE 117 : RÉPARTITION DES ÉVÉNEMENTS ACCIDENTELS ET DE LEURS CAUSES PREMIÈRES SUR LE PARC D'AÉROGÉNÉRATEURS MONDIAL ENTRE 2000 ET 2011



Source : INERIS - Guide pour l'élaboration de l'étude de dangers des parcs éoliens

J6.3 - SYNTHÈSES DES PHÉNOMÈNES DANGEREUX REDOUTÉS ISSUS DU RETOUR D'EXPÉRIENCE

J6.3.1 - 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 pale,
- chutes de pale et d'éléments de l'éolienne,
- incendie.

J6.3.2 - Analyse de l'évolution des incidents en France

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

La Figure 118 montre cette évolution. Il apparaît clairement que le nombre d'incidents n'augmente pas proportionnellement au nombre d'éoliennes installées.

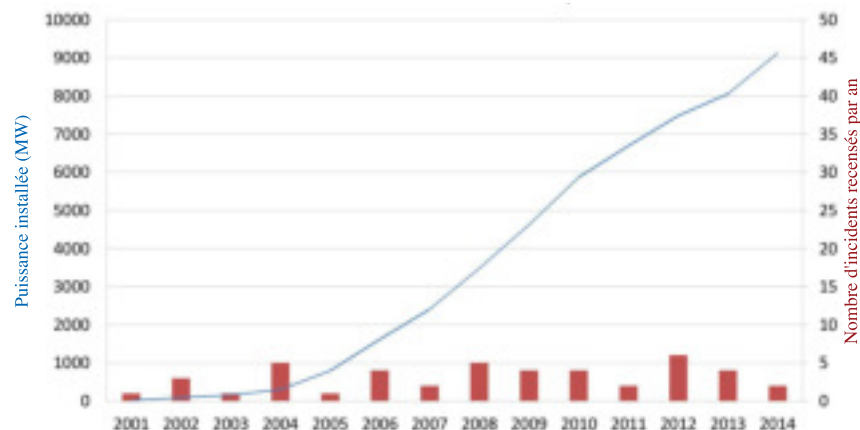
Depuis 2005, l'énergie éolienne s'est en effet fortement développée en France, mais le nombre d'incidents par an reste relativement constant. Cette tendance s'explique principalement par un parc éolien français assez récent, qui utilise majoritairement des éoliennes de nouvelle génération, équipées de technologies plus fiables et plus sûres.

J6.3.3 - 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.

FIGURE 118 : MISE EN PARALLÈLE DE L'ÉVOLUTION DU PARC ÉOLIEN FRANÇAIS ET ÉVOLUTION DU NOMBRE D'INCIDENTS RECENSÉS CHAQUE ANNÉE



J7 - 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 au chapitre "Évaluation Détaillée des Risques".

J7.1 - RECENSEMENT DES ÉVÉNEMENTS INITIATEURS EXCLUS DE L'ANALYSE DES RISQUES

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

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

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

J7.2 - 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.

J7.2.1 - Agressions externes liées aux activités humaines

Les activités humaines susceptibles de constituer un agresseur potentiel, selon l'INERIS sont les suivantes :

- les aérodromes lorsqu'ils sont implantés dans un rayon de 2 km,
- les autres aérogénérateurs présents dans un rayon de 500 mètres,
- les autres activités humaines dans un rayon de 200 m.

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

Exception faite des aérodromes, les activités ne peuvent pas constituer un agresseur potentiel au delà de 500 m. Par ailleurs, le rayon de la zone d'effet des scénarios de l'étude détaillée des risques ne dépasse pas 500 m à partir de chaque aérogénérateur. Une estimation des distances minimales séparant l'aérogénérateur de la source de l'agression potentielle est donc fournie lorsque celle-ci est située dans ce périmètre.

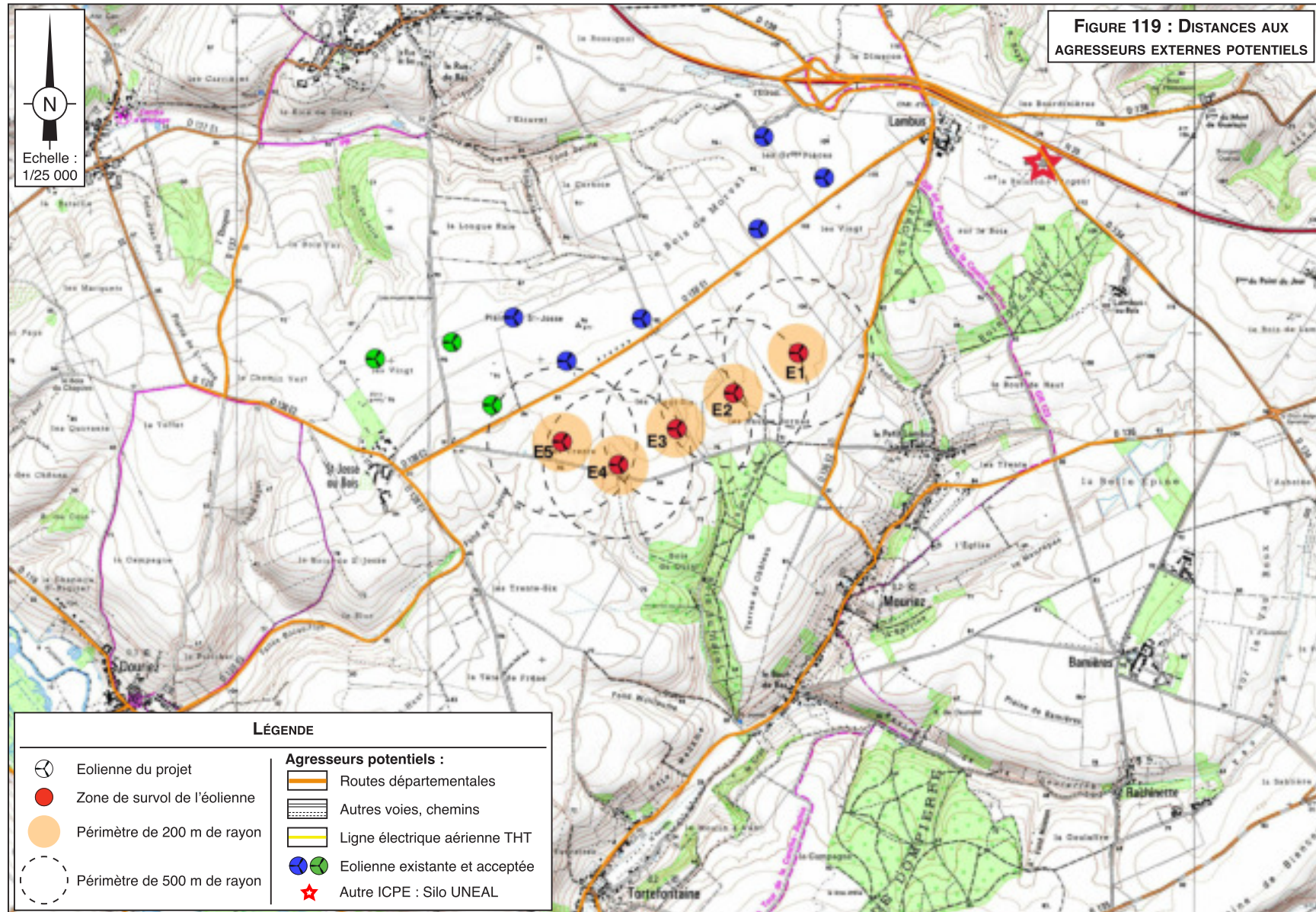
Lorsque les conditions pour constituer un agresseur potentiel sont remplies, la case du tableau est orange. La couleur verte est utilisée le cas échéant, lorsque l'infrastructure est trop éloignée pour être un agresseur potentiel.

Un périmètre de 200 m de rayon est matérialisé à partir de chaque éolienne sur la , de même que la zone des 500 m, afin de visualiser les agresseurs externes potentiels liés aux activités humaines.

Infrastructure	Volume de trafic (véhicules/jour)	Fonction	Evènement redouté	Danger potentiel	Conditions pour constituer un agresseur potentiel selon l'INERIS	Eoliennes du projet					
						1	2	3	4	5	
RD939	7800	Transport routier	Accident entraînant la sortie de voie d'un ou plusieurs véhicule(s)	Energie cinétique des véhicules et flux thermiques	< 200 m	> 200 m	> 200 m	> 200 m	> 200 m	> 200 m	
RD138E2	< 2000	Transport routier			< 200 m	> 200 m	> 200 m	> 200 m	> 200 m	> 200 m	
RD136E2	< 2000	Transport routier			< 200 m	> 200 m	> 200 m	> 200 m	> 200 m	> 200 m	
Voie communale de St-Josse au Petit-Lambus	< 500	Transport routier			< 200 m	> 200 m	> 200 m	> 200 m	< 200 m (mais trafic très faible)	< 200 m (mais trafic très faible)	
Aérodrome	NC	Transport aérien	Chute d'aéronef	Energie cinétique de l'aéronef et flux thermiques	< 2 km	Pas d'aérodrome à moins de 2 km					
Ligne THT	NC	Transport d'électricité	Rupture de câble	Arc électrique, surtensions	< 200 m	> 200 m	> 200 m	> 200 m	> 200 m	> 200 m	
Canalisation d'hydrocarbures	NC	Transport d'hydrocarbures	Fuite d'hydrocarbures, explosion	Flux thermiques	< 200 m	> 200 m	> 200 m	> 200 m	> 200 m	> 200 m	
Canalisation de gaz	NC	Transport de gaz	Fuite de gaz, explosion	Flux thermiques	< 200 m	> 200 m	> 200 m	> 200 m	> 200 m	> 200 m	
ICPE (Silo UNEAL)	NC	Stockage céréales	Incendie, explosion	Flux thermique	< 500 m	> 500 m	> 500 m	> 500 m	> 500 m	> 500 m	
Autre aérogénérateur	NC	Production d'électricité	Projection d'éléments	Energie cinétique des éléments projetés	< 500 m	> 500 m	> 500 m	> 500 m	> 500 m	< 500 m (rotor uniquement)	
PROJET	E1	NC	Production d'électricité	Accident générant des projections d'éléments	Énergie cinétique des éléments projetés	< 500 m		< 500 m	> 500 m	> 500 m	> 500 m
	E2						> 500 m		< 500 m	> 500 m	> 500 m
	E3						> 500 m	< 500 m		< 500 m	> 500 m
	E4						> 500 m	> 500 m	< 500 m		< 500 m
	E5						> 500 m	> 500 m	> 500 m	< 500 m	

D'après la définition de l'INERIS, les installations susceptibles de constituer des agresseurs potentiels sont les éoliennes du projet entre elles, ainsi qu'avec celles des parcs voisins. La route de Saint-Josse au Petit Lambus, en raison de son très faible trafic, n'est pas considérée comme agresseur potentiel.

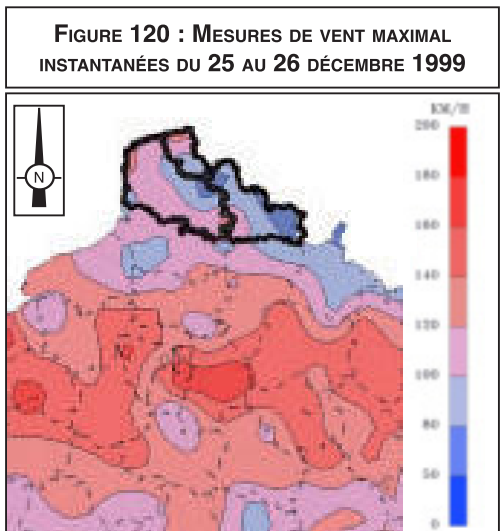
Comme on peut le constater sur Figure 119, seule la voie communale de St-Josse à Lambus constitue un agresseur externe potentiel. Cependant compte tenu de ses caractéristiques (notamment volume de trafic faible...), elle n'est pas considérée comme tel. Notons également que des engins agricoles sont ponctuellement présents sur les parcelles cultivées. Ainsi il n'existe pas de véritables agresseurs potentiels pour les aérogénérateurs du projet si ce n'est d'autres aérogénérateurs.



J7.2.2 - 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 à 5 jours/an) au droit de la zone d'implantation. Météo France a établi une carte des vitesses de vents enregistrées lors de la tempête de 1999, présentée ci-contre. Rappelons que cette dernière a induit la reconnaissance de catastrophe naturelle sur les communes des départements du Nord et du Pas-de-Calais, où les vents ont atteint jusqu'à 140 km/h. Au droit de la zone d'implantation, les vents étaient compris entre 100 et 120 km/h (Figure 120).
Foudre	La densité de foudroiement dans l'Artois est inférieure à la moyenne nationale. Le risque orageux dans le secteur du projet, peut donc être considéré comme relativement faible.
Glissement de sols et affaissement minier	Aucun mouvement de terrain n'a été recensé sur le territoire des communes concernées.



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.

Rappelons que 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.

* Lorsque les données sont disponibles.

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

J7.3 - SCÉNARIOS ÉTUDIÉS DANS L'ANALYSE PRÉLIMINAIRE DES RISQUES

A 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	Conditions climatiques favorables à la formation de glace	Dépôt de glace sur les pales	Projection de glace lorsque les éoliennes sont en mouvement	Détecter la formation de glace et prévenir la projection de glace (N°1)	Impact de glace sur les enjeux	2
I01	Humidité / Gel	Court-circuit	Incendie de tout ou partie de l'éolienne	Prévenir les courts-circuits (N°5)	Chute/projection d'éléments enflammés Propagation de l'incendie	2
I02	Dysfonctionnement électrique	Court-circuit	Incendie de tout ou partie de l'éolienne	Prévenir les courts-circuits (N°5)	Chute/projection d'éléments enflammés Propagation de l'incendie	2
I03	Survitesse	Échauffement des parties mécaniques et inflammation	Incendie de tout ou partie de l'éolienne	Prévenir l'échauffement significatif des pièces mécaniques (N°3) Prévenir la survitesse (N°4)	Chute/projection d'éléments enflammés Propagation de l'incendie	2
I04	Désaxage de la génératrice / Pièce défectueuse / Défaut de lubrification	Échauffement des parties mécaniques et inflammation	Incendie de tout ou partie de l'éolienne	Prévenir l'échauffement significatif des pièces mécaniques (N°3)	Chute/projection d'éléments enflammés Propagation de l'incendie	2
I05	Conditions climatiques humides	Surtension	Court-circuit	Prévenir les courts-circuits (N°5) Protection et intervention incendie (N°7)	Incendie poste de livraison (flux thermiques + fumées toxiques SF6) Propagation de l'incendie	2
I06	Rongeur	Surtension	Court-circuit	Prévenir les courts-circuits (N°5) Protection et intervention incendie (N°7)	Incendie poste de livraison (flux thermiques + fumées toxiques SF6) Propagation de l'incendie	2
I07	Défaut d'étanchéité	Perte de confinement	Fuites d'huile isolante	Prévention et rétention des fuites (N°8)	Incendie au poste de transformation Propagation de l'incendie	2
F01	Fuite système de lubrification - convertisseur - 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	Infiltration d'huile dans le sol	Prévention et rétention des fuites (N°8)	Pollution environnement	1
C01	Défaut de fixation	Chute de trappe	Chute d'élément de l'éolienne	Prévenir les erreurs de maintenance (N°10)	Impact sur cible	1

N°	Événement initiateur / cause	Événement intermédiaire	Événement redouté central	Fonction de sécurité	Phénomène dangereux	Intensité
C02	Défaillance fixation anémomètre	Chute anémomètre	Chute d'élément de l'éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N°9)	Impact sur cible	1
C03	Défaut fixation nacelle – pivot central – mât	Chute nacelle	Chute d'élément de l'éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N°9)	Impact sur cible	1
P01	Survitesse	Contraintes trop importantes sur les pales	Projection de tout ou partie de pale	Prévenir la survitesse (N°4)	Impact sur cible	2
P02	Fatigue Corrosion	Chute de fragment de pale	Projection de tout ou partie de pale	Prévenir la dégradation de l'état des équipements (N°11)	Impact sur cible	2
P03	Serrage inapproprié Erreur maintenance – desserrage	Chute de fragment de pale	Projection de tout ou partie de pale	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N°9) Prévenir les erreurs de maintenance (N°10)	Impact sur cible	2
E01	Effets dominos autres installations	Agression externe et fragilisation structure	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N°9)	Projection/chute fragments et chute mât	2
E02	Glissement de sol	Agression externe et fragilisation structure	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N°9)	Projection/chute fragments et chute mât	2
E05	Crash d'aéronef	Agression externe et fragilisation structure	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N°9)	Projection/chute fragments et chute mât	2
E07	Effondrement engin de levage travaux	Agression externe et fragilisation structure	Effondrement éolienne	Prévenir les erreurs de maintenance (N°10)	Chute fragments et chute mât	2
E08	Vents forts	Défaillance fondation	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N°9) Prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de vent fort (N°11)	Projection/chute fragments et chute mât	2
E09	Fatigue	Défaillance mât	Effondrement éolienne	Prévenir la dégradation de l'état des équipements (N°11)	Projection/chute fragments et chute mât	2
E10	Désaxage critique du rotor	Impact pale – mât	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N°9) Prévenir les erreurs de maintenance (N°10)	Projection/chute fragments et chute mât	2

J7.4 - 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 en pages suivantes 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 seront détaillés sont les suivants :

- **Fonction de sécurité** : un tableau par fonction de sécurité est proposé. 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 assignée. 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 fonctions de sécurité, certains de ces critères peuvent ne pas être applicables. Il convient alors de renseigner le critère correspondant avec l'acronyme "NA" (Non Applicable).

Fonction de sécurité	Détecter la formation de glace et prévenir la projection de glace	Numéro de la fonction de sécurité
Mesure de sécurité	Système de détection du givre/glace Procédure adéquate 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>	
Indépendance	Non	
Temps de réponse	Quelques minutes (< 60 min.) conformément à l'article 25 de l'arrêté du 26 août 2011 modifié	
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 modifié 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	<p>Mise en place de panneaux informant de la possible formation de glace, en pied de machines (conformément à l'article 14 de l'arrêté du 26 août 2011 modifié).</p>	
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	<p>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</p>	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 modifié. 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 °/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 les systèmes de réglage de pale alimentés par des batteries de secours. La charge des batteries est assurée par un chargeur automatique.</p>	
Indépendance	Oui	
Temps de réponse	<p>Temps de détection < 1 minute</p> <p>L'exploitant ou l'opérateur désigné est 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 modifié.</p>	
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 modifié.	
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 modifié (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 de 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'acquiescement 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 intégrés dans la plupart des mesures de maintenance préventives mises en oeuvre.</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 modifié.</p> <p>Maintenance de 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	Immédiat	
Efficacité	100%	
Test	NA	
Maintenance	<p>Contrôle visuel des pales et des éléments susceptibles d'être impactés par la foudre inclus dans les opérations de maintenance, conformément à l'article 9 de l'arrêté du 26 août 2011 modifié</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 secours. 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	< 1 minute pour les détecteurs et l'enclenchement de l'alarme L'exploitant ou l'opérateur désigné sera en mesure de transmettre l'alerte aux services d'urgence compétents dans un délai de 15 minutes suivant l'entrée en fonctionnement anormal de l'aérogénérateur. Le temps d'intervention des services de secours est quant à lui dépendant de la zone géographique.	
Efficacité	100%	
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 modifié. 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	<p>Détecteurs de niveau d'huiles</p> <p>Procédure d'urgence</p> <p>Kits antipollution</p>	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 :</p> <ul style="list-style-type: none"> - de contenir et arrêter la propagation de la pollution, - d'absorber jusqu'à 20 litres de déversements accidentels de liquides (huile, eau, alcools ...) et produits chimiques (acides, bases, solvants...), - de récupérer les déchets absorbés. <p>Si ces kits de dépollution s'avèrent insuffisants, une société spécialisée récupérera et traitera le gravier souillé via les filières adéquates, puis le remplacera par un nouveau revêtement.</p>	
Indépendance	Oui	
Temps de réponse	Dépendant du débit de fuite	
Efficacité	100%	
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	Numéro de la fonction de sécurité
Mesure de sécurité	Contrôles réguliers des fondations et des différentes pièces d'assemblages (ex : 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 d'orientation de la nacelle, 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 modifié.	

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 align="center">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	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".	
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 modifié.	
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 modifié (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.	

J7.5 - 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 (EDR), en ne retenant que les séquences accidentelles dont l'intensité est telle qu'il peut y 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 :

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

Zone EDR

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

Scénario non étudié	Argumentaire
<p align="center">Incendie de l'éolienne (effets thermiques)</p>	<p>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/m² 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 modifié 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.</p>
<p align="center">Incendie du poste de livraison ou du transformateur</p>	<p>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 modifié impose le respect des normes NFC 15-100, NFC 13-100 et NFC 13-200).</p>
<p align="center">Infiltration d'huile dans le sol</p>	<p align="center">En cas d'infiltration d'huiles dans le sol, les volumes de substances libérés dans le sol restent mineurs.</p>

A 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 toute ou partie de pale,
- chute de glace,
- projection de glace.

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

J8 - 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'EDR 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,
- Evaluer 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 barrière de sécurité.

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.

J8.1 - RAPPEL DES DÉFINITIONS

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

J8.1.1 - 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.

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 une phase pré-accidentelle et une phase post-accidentelle :

- **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 2 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 étudiés ont une cinétique rapide. Ce paramètre étant invariant, il ne sera plus détaillé dans les phénomènes redoutés analysés par la suite.

J8.1.2 - Intensité

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

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** : seuils 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 %

J8.1.3 - 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.

Ainsi dans chaque zone d'effet, les cibles humaines potentielles sont identifiées. Le nombre de personnes exposées est évalué en fonction de la nature et de l'occupation du terrain suivant les hypothèses suivantes :

	Descriptif	Équivalents personnes
Type de terrain	terrains non aménagés et très peu fréquentés (champs, prairies, forêts, friches, marais...)	1 personne/100 ha
	terrains aménagés mais peu fréquentés (voie de circulation non structurante, chemins agricoles, vignes, jardins...)	1 personne/10 ha
	terrains aménagés et potentiellement fréquentés ou très fréquentés (parkings, parcs et jardins publics...)	à minima 10 personnes/ha
Voie de circulation	voie de circulation non structurante (<2000 véhicules/jour)	Considéré dans le type de terrain
	voie de circulation structurante (>2000 véhicules/jour)	0,4 personne/km par tranche de 100 véhicules/jour

Les surfaces appartenant à chaque catégorie de terrain et les linéaires de voies structurantes sont donc comptabilisés. Le nombre de personnes exposées par secteur est ensuite obtenu selon les règles de conversion définies précédemment.

Ces différents résultats sont enfin additionnés pour avoir le nombre d'équivalents personnes présentes sur la globalité de la zone d'effet.

* : Personnes exposées à l'extérieur des limites du site, en tenant compte le cas échéant des mesures constructives visant à protéger les personnes contre certains effets et la possibilité de mise à l'abri des personnes en cas d'occurrence d'un phénomène dangereux si la cinétique de ce dernier et de la propagation de ses effets le permettent

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

Gravité \ Intensité	Zone d'effet d'un événement accidentel engendrant une exposition très forte	Zone d'effet d'un événement accidentel engendrant une exposition forte	Zone d'effet d'un événement accidentel engendrant une exposition modérée
H5. Désastreux	Plus de 10 personnes exposées	Plus de 100 personnes exposées	Plus de 1000 personnes exposées
H4. Catastrophique	Moins de 10 personnes exposées	Entre 10 et 100 personnes exposées	Entre 100 et 1000 personnes exposées
H3. Important	Au plus 1 personne exposée	Entre 1 et 10 personnes exposées	Entre 10 et 100 personnes exposées
H2. Sérieux	Aucune personne exposée	Au plus 1 personne exposée	Moins de 10 personnes exposées
H1. Modéré	Pas de zone de létalité hors établissement		Présence humaine exposée à des effets irréversibles inférieure à "une personne"

J8.1.4 - Probabilité

L'annexe I de l'arrêté du 29 septembre 2005 définit les classes de probabilité qui doivent être utilisées dans les études de danger pour caractériser les scénarios d'accident majeur (tableau ci-dessous)

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.

Niveau de fréquence	E	D	C	B	A
Échelle qualitative	Possible mais extrêmement peu probable	Très improbable	Improbable	Probable	Courant
Échelle ½ quantitative	N'est pas impossible au vu des connaissances actuelles mais non rencontré au niveau mondial sur un très grand nombre d'années d'installations	S'est déjà produit dans ce secteur d'activité mais a fait l'objet de mesures correctives réduisant significativement sa probabilité	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	S'est déjà produit et/ou peut se reproduire pendant la durée de vie de l'installation	S'est produit sur le site considéré et/ou peut se produire à plusieurs reprises pendant la durée de vie de l'installation malgré d'éventuelles mesures correctrices
Échelle quantitative (par unité et par an)	$F < 10^{-5}$	$10^{-4} > F > 10^{-5}$	$10^{-3} > F > 10^{-4}$	$10^{-2} > F > 10^{-3}$	$F > 10^{-2}$

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.

J8.1.5 - Acceptabilité du risque

A l'issue de l'analyse des risques, l'ensemble des phénomènes dangereux identifiés et des accidents correspondants sont positionnés 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".

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

Elle définit 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 et orange "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, le nombre est porté à deux en zone orange,
- **zone en vert** : zone de risque moindre, les accidents entrant dans cette catégorie ne nécessitent pas de mesures de réduction du risque supplémentaires.

L'INERIS suggère l'utilisation de cette grille avec quelques adaptations dans son Guide technique pour l'élaboration de l'étude de dangers dans le cadre des parcs éoliens. Les zones jaunes et oranges sont réunies dans une seule et même classe jaune. L'INERIS a ainsi établi les correspondances suivantes :

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

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 s'applique 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 du lecteur.

J8.2 - CARACTÉRISATION DES SCÉNARIOS RETENUS

J8.2.1 - Effondrement de l'aérogénérateur

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

J8.2.1.1 - Analyse des événements initiateurs

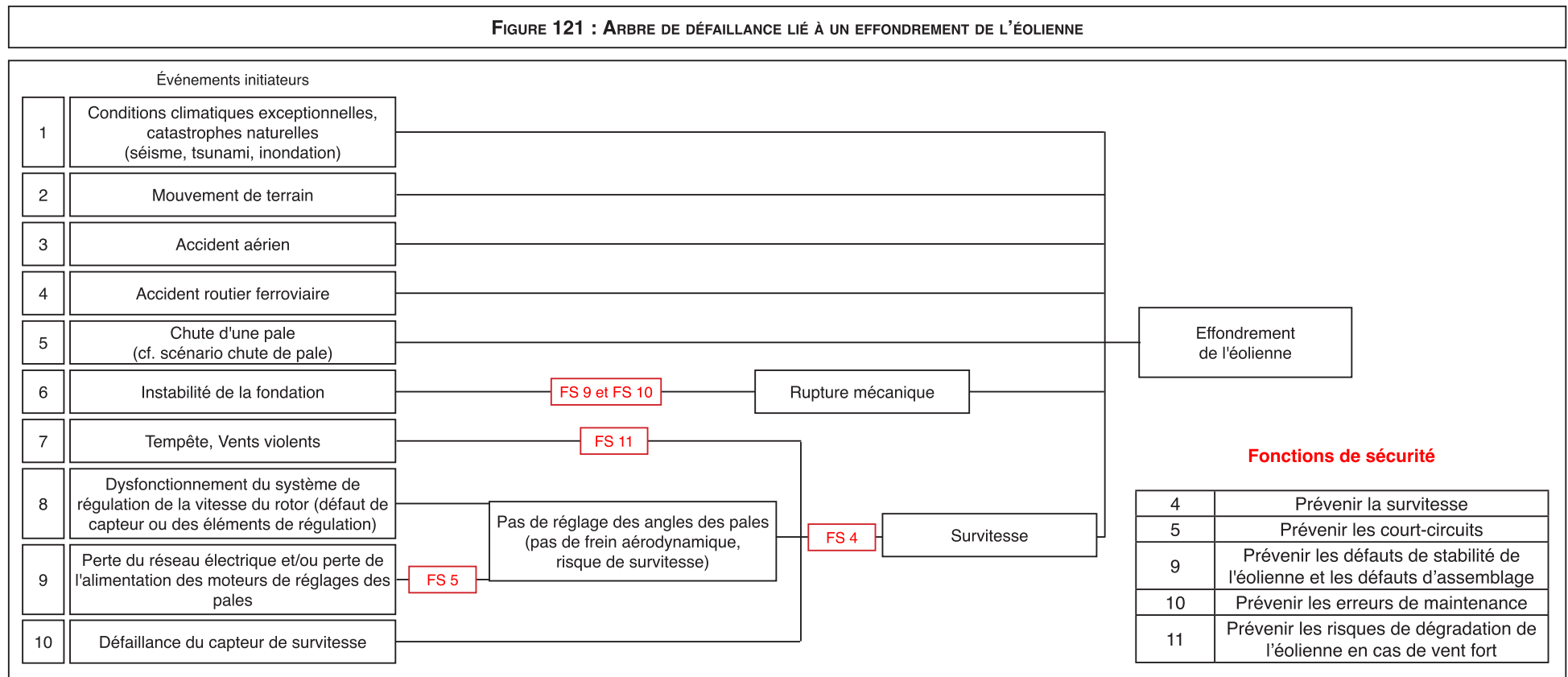
Les causes potentielles identifiées menant à l'événement redouté central sont présentées dans le tableau ci-après, à lire conjointement avec l'arbre de défaillance.

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, retraits/gonflements 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 du choix du site - 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 sur batteries en cas de perte du réseau électrique (autonomie 12h - DGAC prévenue) - Couleur éolienne : blanche - Éoliennes indiquées sur les plans de vol 	
4	Accident routier/ ferroviaire	Effondrement de l'éolienne		Éloignement des voies de communication	
5	Chute d'une pale sur le mat	Effondrement de l'éolienne	(cf scénario chute de pale)	(cf scénario chute de pale)	(cf. scénario chute de pale)
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 du 26 août 2011 modifié : 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 cinématique - 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 moteurs 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'onduleur sur les équipements de sécurité (balisage lumineux, système de commande) - Accumulateurs hydropneumatiques de secours situés dans la partie Rotor 	<p>Fonction de sécurité 4 Prévenir la survitesse</p> <p>Fonction de sécurité 5 Prévenir les court-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 cinématique 	<p>Fonction de sécurité 4 Prévenir la survitesse</p>

J8.2.1.2 - Représentation sous forme d'arbre de défaillance et analyse des fonctions de sécurité

Les scénarios d'accident liés à un effondrement de l'aérogénérateur peuvent être représentés sous la forme de l'arbre de défaillance suivant (Figure 121).



Cinq fonctions de sécurité sont identifiées sur cet arbre de défaillance.

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

J8.2.1.3 - Caractérisation du risque

→ Zone d'effet

La zone d'effet de l'effondrement d'une éolienne correspond à une surface circulaire de rayon égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale, soit 150 m au maximum dans le cas du parc projeté (Figure 122).

→ Intensité

Pour le phénomène d'effondrement de l'éolienne, le degré d'exposition correspond au ratio entre la zone d'impact, correspondant à la surface des pales et du mât, et la superficie de la zone d'effet du phénomène qui correspond à la zone où l'éolienne est susceptible de tomber (Figure 122).

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

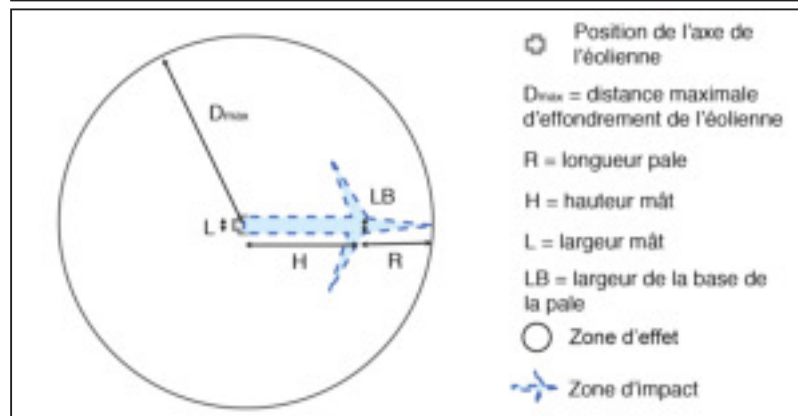
Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène d'effondrement de l'éolienne dans le cas du parc éolien projeté.

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	
1 180	70 686	1,67	Forte

Éléments de la formule littérale :

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

FIGURE 122 : SCHÉMATISATION DU SCÉNARIO EFFONDREMENT DE L'ÉOLIENNE



→ 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) on identifie les cibles humaines potentielles. Au delà de la zone d'effet les personnes présentes ne sont pas considérées comme exposées. 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 deça du seuil des voies structurantes (2000 véhicules/jour).

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

Éolienne	Occupation de la zone d'effet	Hypothèse(s) de calcul retenue(s)	Nombre de personnes permanentes	Gravité	
1	Champs	Terrains non aménagés et très peu fréquentés (champs, prairies, forêts, friches, marais, ...)	1 personne/100 ha	0,07	Sérieux
2	Champs	Terrains non aménagés et très peu fréquentés (champs, prairies, forêts, friches, marais, ...)	1 personne/100 ha	0,07	
3	Champs, chemin agricole	Terrains aménagés mais peu fréquentés (voies de circulation non structurantes, chemins agricoles, vignes...)	1 personne/10 ha	0,7	
4	Champs, chemin, route communale	Terrains aménagés mais peu fréquentés (voies de circulation non structurantes, chemins agricoles, vignes...)	1 personne/10 ha	0,7	
5	Champs, route communale	Terrains aménagés mais peu fréquentés (voies de circulation non structurantes, chemins agricoles, vignes...)	1 personne/10 ha	0,7	

Rappel des correspondances Nombre de personnes exposées / Gravité pour une intensité forte					
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
Gravité	"Désastreux"	"Catastrophique"	"Important"	"Sérieux"	"Modéré"

Aucune des voies de circulation présentes dans les zones d'effet n'est structurante, leur trafic étant inférieur à 2000 véhicules/jour.

→ 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) et 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	$4,5 \times 10^{-4}$	C - Retour d'expérience
Specification of minimum distances, Dr-ing. Veenker ingenieurgesellschaft, 2004	$1,8 \times 10^{-4}$ (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.

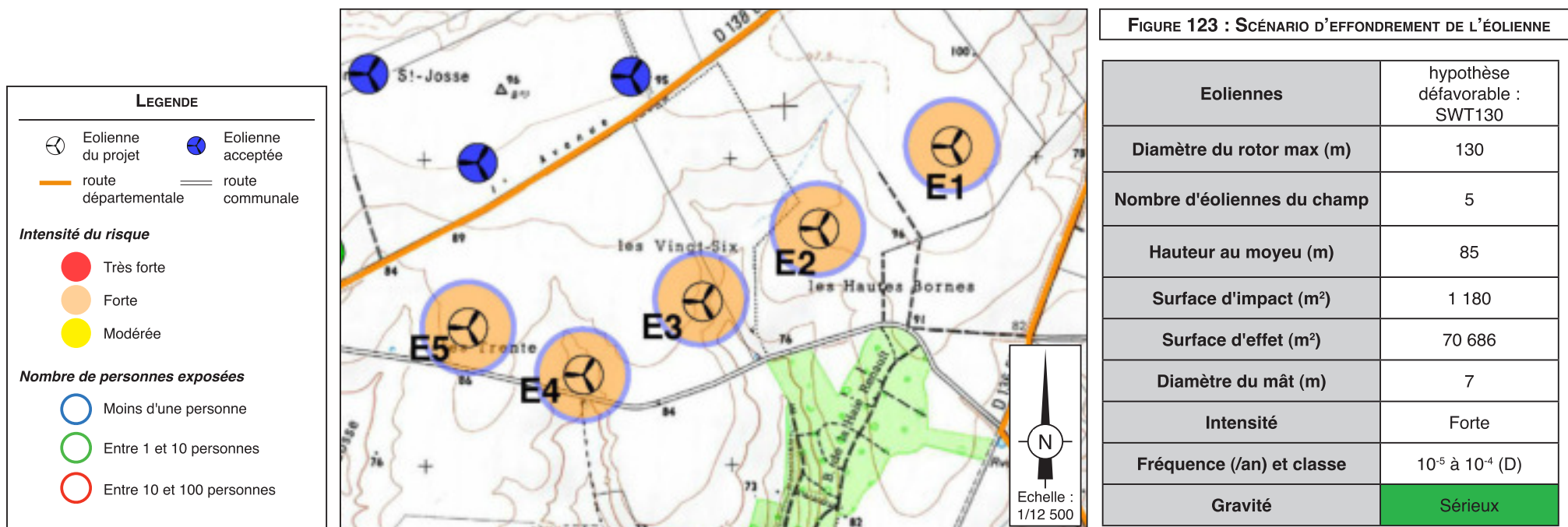
De manière générale, le respect des prescriptions de l'arrêté du 26 août 2011 modifié relatif aux installations éoliennes soumises à autorisation permet de s'assurer que les éoliennes font l'objet de mesures réduisant significativement la probabilité d'effondrement.

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 de l'éolienne sont présentés ici. Ils sont basés sur les règles de comptage et sur les modélisations présentées précédemment.



Les accidents "chute de mât" 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 à E5			
1. Modéré					

Légende de la matrice :
 en vert : niveau de risque très faible (Acceptable) ; en jaune : niveau de risque faible (Acceptable) ; en rouge : risque important (Non acceptable).

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 ici le cas.

En effet, le croisement de la probabilité avec la gravité du phénomène démontre que le risque est très faible et en conséquent acceptable (tableau ci-contre).

J8.2.2 - Chute et projection de glace

L'événement redouté central est la formation de blocs de glace sur les pales du rotor.

J8.2.2.1 - 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°C 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 vont s'unir pour former des gouttes de surface. Ces gouttes vont croître et se solidifier partiellement. Elles vont s'unir et ruisseler 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.

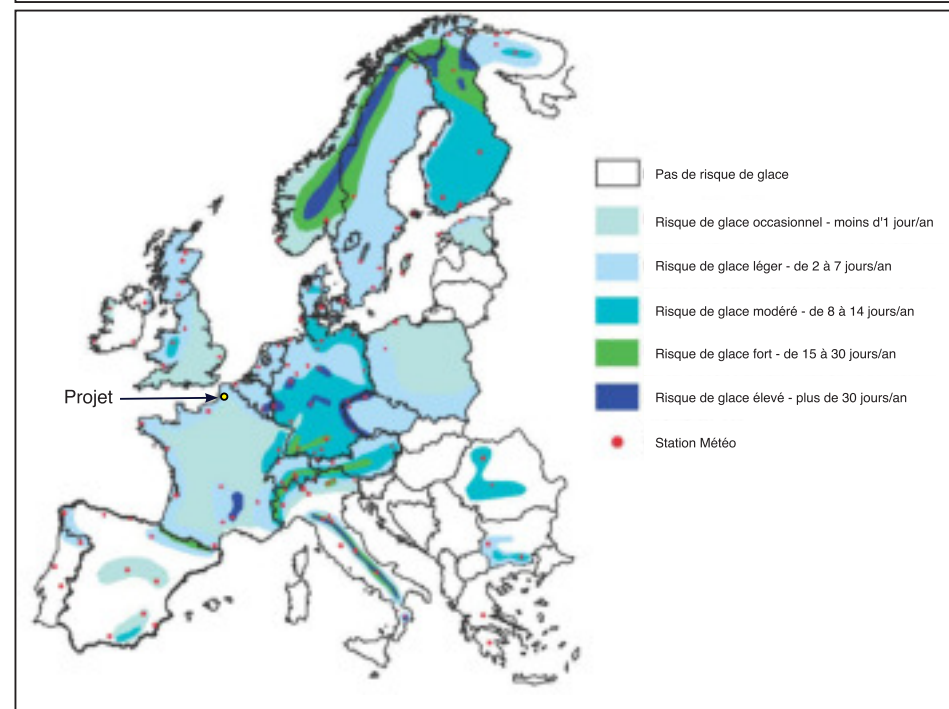
L'étude WECO** présente une carte d'Europe qui indique le nombre moyen de jours conduisant à la formation de givre par an (Figure 124). Le projet est localisé dans une zone à risque de formation de glace "léger" (de 2 à 7 jours/an).

J8.2.2.2 - 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 le voisinage de l'éolienne. Ce type de chute de glace est similaire à ce qu'on observe sur d'autres bâtiments et infrastructures.

FIGURE 124 : LOCALISATION DES ZONES À RISQUE DE GLACE



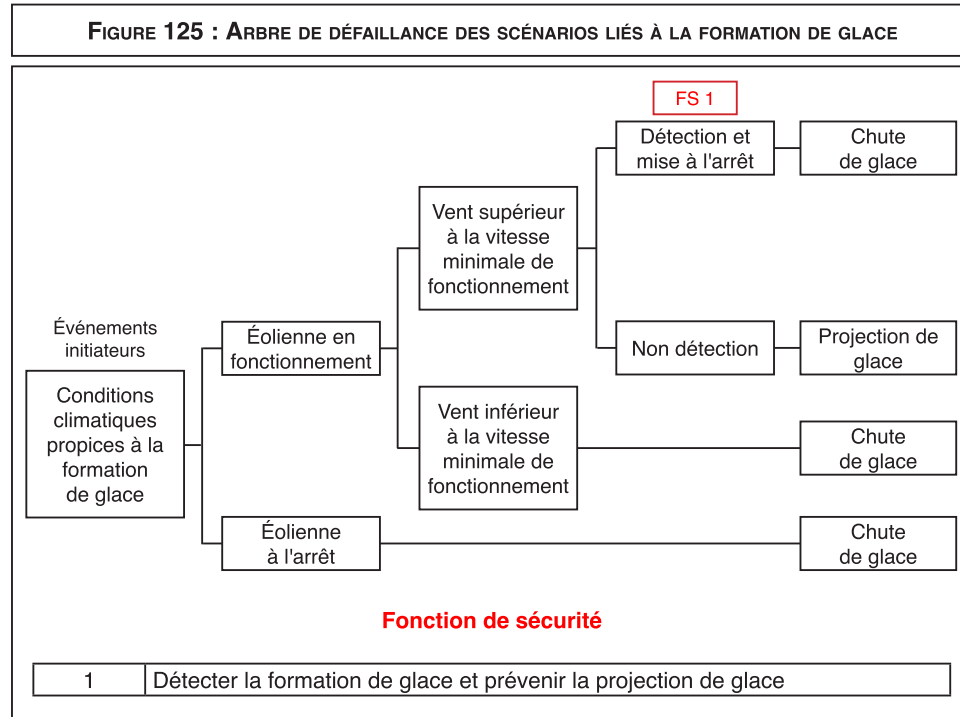
Repère	Événement initiateur de base	Événement redouté intermédiaire	Description de l'événement initiateur	Mesures contribuant à réduire la probabilité de l'événement initiateur	Fonction de sécurité associée
1	Conditions climatiques propice à la formation de la glace	Chute et/ou projection de glace	Température basse et degré d'hygrométrie élevé	- Choix d'implantation du site - Présence d'un détecteur de vibration qui détecte les balourds engendrés par la présence de glace sur les pales	Fonction de sécurité 1 Détecter la formation de glace et prévenir la projection de glace Fonction de sécurité 2 Prévenir l'atteinte des personnes par la chute de glace (panneaux de signalisation)

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

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

J8.2.2.3 - Représentation sous forme d'arbre de défaillance et analyse des fonctions de sécurité

Les scénarios d'accident liés à la formation de glace peuvent être représentés sous la forme de l'arbre de défaillance suivant (Figure 125).



Une fonction de sécurité est identifiée sur l'arbre de défaillance.

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).

J8.2.2.4 - Scénario de chute de glace

L'événement redouté central est le détachement de glace lorsque l'éolienne est à l'arrêt.

→ 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 126). Pour le parc projeté, la zone d'effet a donc un rayon de 65 mètres.

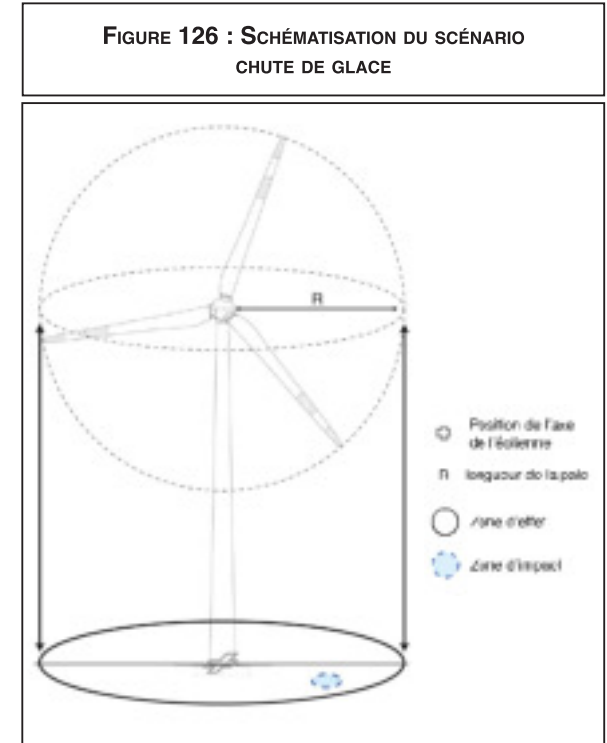
Cependant, il convient de noter que, lorsque l'éolienne est à l'arrêt, les pales n'occupent qu'une faible partie de cette zone.

→ Intensité

Pour le phénomène de chute de glace, le degré d'exposition correspond au ratio entre la surface d'un morceau de glace (cas majorant d'1 m²) et la superficie de la zone d'effet du phénomène, soit la zone de survol (Figure 126).

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

Le tableau qui suit permet d'évaluer l'intensité du phénomène de chute de glace.



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	
1	13 273	0,008	Modérée

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

→ Gravité

Dans la surface d'effet de chaque éolienne (zone de survol), on identifie les cibles humaines potentielles.

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.

Le tableau suivant indique, pour chaque aérogénérateur :

- les hypothèses de calcul retenues,
- le nombre de personnes exposées ainsi calculé,
- la gravité résultant de ce dernier paramètre.

Éolienne	Occupation de la zone d'effet	Hypothèse(s) de calcul retenue(s)		Nombre de personnes permanentes	Gravité
E1	Champs	Terrains non aménagés et très peu fréquentés (champs, prairies...)	1 personne/100 ha	0,013	Modéré
E2					
E3					
E4					
E5					

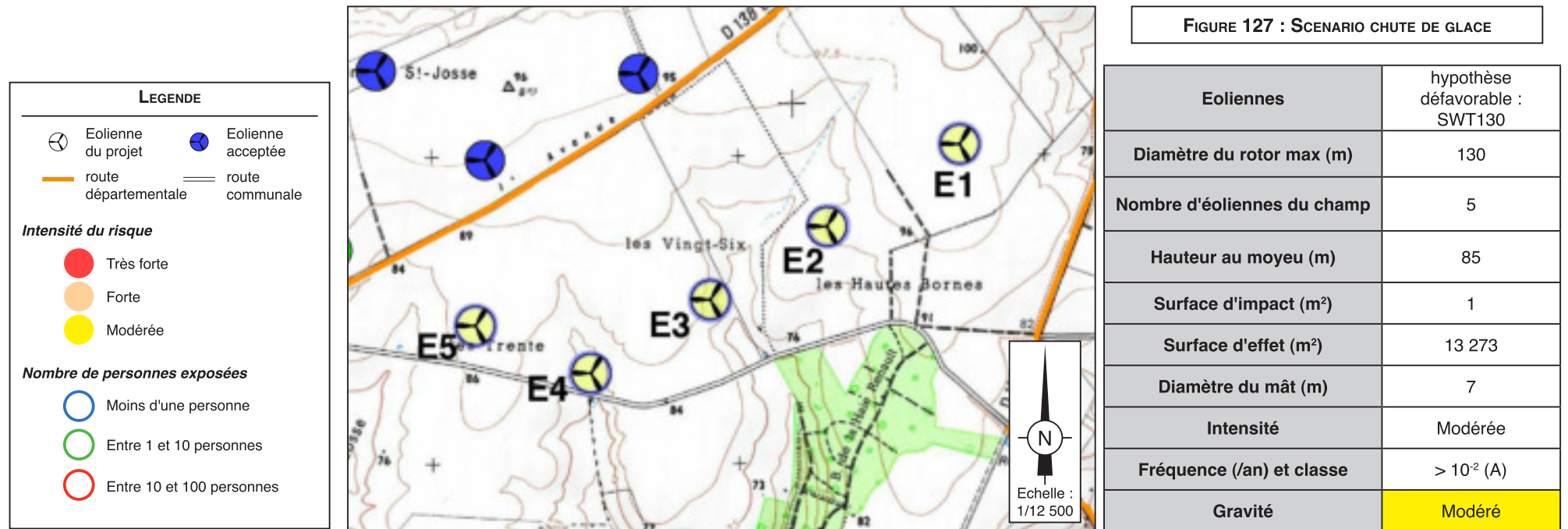
Rappel des correspondances					
Nombre de personnes exposées / Gravité pour une intensité modérée					
Nombre de personnes exposées	Plus de 1000 personnes exposées	Entre 100 et 1000 personnes exposées	Entre 10 et 100 personnes exposées	Moins de 10 personnes exposées	Présence humaine exposée inférieure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

→ 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 résumés ci-dessous.



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 à E5

Légende de la matrice :

en vert : niveau de risque très faible (Acceptable) ; en jaune : niveau de risque faible (Acceptable) ; en rouge : risque important (Non acceptable).

Le phénomène de chute de glace des éoliennes constitue un risque acceptable pour les personnes.

Il convient par ailleurs de rappeler que, conformément à l'article 14 de l'arrêté du 26 août 2011 modifié 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.

J8.2.2.5 - Scénario de projection de glace

L'événement redouté central est le détachement de glace lorsque l'éolienne fonctionne.

→ 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 **1,5 x (hauteur de moyeu + diamètre de rotor), soit 322,5 m pour les éoliennes du parc projeté.**

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).

A défaut de données fiables, il est proposé de considérer cette formule pour le calcul de la distance d'effet pour les projections de glace.

→ Intensité

Pour le phénomène de projection de glace, le degré d'exposition correspond au ratio entre la surface d'un morceau de glace (cas majorant de 1 m²) et la superficie de la zone d'effet du phénomène (Figure 128).

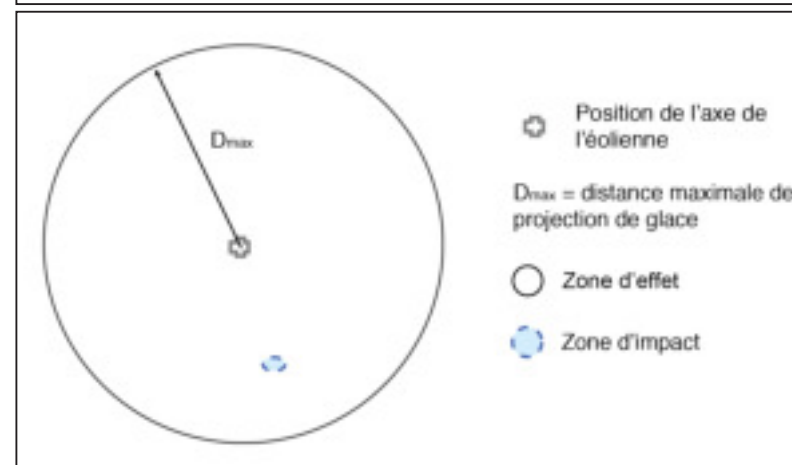
L'intensité du phénomène de projection de glace est nulle au delà de sa zone d'effet.

Le tableau qui suit permet d'évaluer l'intensité du phénomène de projection de glace dans le cas du parc éolien projeté.

Zone d'impact (en m ²)	Zone d'effet du phénomène étudié (en m ²)	Degré d'exposition du phénomène étudié (en %)	Intensité
SG	$\pi \times (1,5 \times (H + 2R))^2$	Zone d'impact/ Zone d'effet du phénomène	
1	326 745	3×10^{-4}	Modérée

Éléments de la formule littérale :
H : hauteur au moyeu, R : longueur de la pale, SG : surface du morceau de glace majorant (1 m²)

FIGURE 128 : SCHEMATISATION DU SCENARIO PROJECTION DE GLACE



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

→ Gravité

Dans la surface d'effet de chaque éolienne, on identifie les cibles humaines potentielles.

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. Les hypothèses de calcul, le nombre de personnes exposées et la gravité associée sont synthétisés ci-dessous.

Éolienne	Occupation de la zone d'effet	Hypothèse(s) de calcul retenue(s)		Nombre de personnes permanentes	Gravité
E1	Champs, chemins agricoles	Terrains aménagés mais peu fréquentés (voies de circulation non structurantes, chemins agricoles, vignes...)	1 personne/10 ha	3,27	Sérieux
E2	Champs, chemins agricoles				
E3	Champs, voie communale				
E4	Champs, voie communale				
E5	Champs, voie communale, RD138E1				

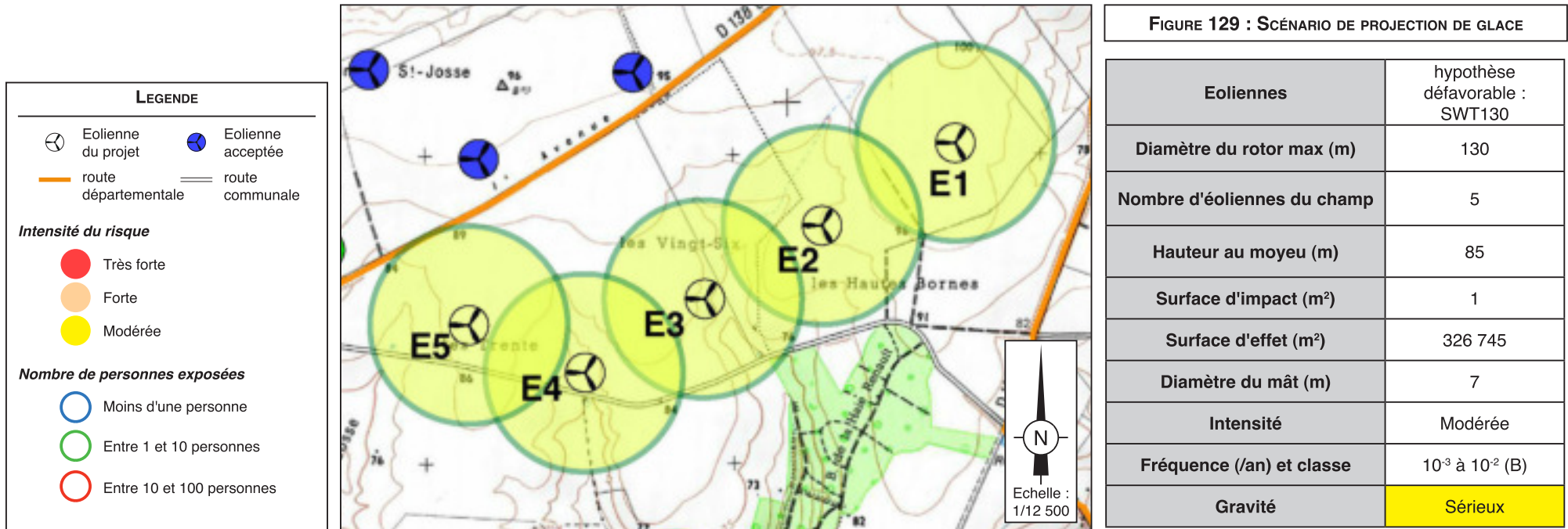
Rappel des correspondances Nombre de personnes exposées / Gravité pour une intensité modérée					
Nombre de personnes exposées	Plus de 1000 personnes exposées	Entre 100 et 1000 personnes exposées	Entre 10 et 100 personnes exposées	Moins de 10 personnes exposées	Présence humaine exposée inférieure à "une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

→ Probabilité

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

→ Évaluation des risques - Acceptabilité

La figure qui suit synthétise les éléments nécessaires à l'estimation de l'acceptabilité du risque :



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 à E5	
1. Modéré					

Légende de la matrice :

en vert : niveau de risque très faible (Acceptable) ; en jaune : niveau de risque faible (Acceptable) ; en rouge : risque important (Non acceptable).

Le risque de projection pour chaque aérogénérateur est évalué comme acceptable dans le cas d'un niveau de gravité "sérieux". **Cela correspond, pour cet événement, à un nombre équivalent de personnes permanentes inférieur à 10 dans la zone d'effet, ce qui est observé sur le parc projeté.**

J8.2.3 - Chute et projection d'éléments de l'éolienne

L'événement redouté central 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.

J8.2.3.1 - Analyse des événements initiateurs

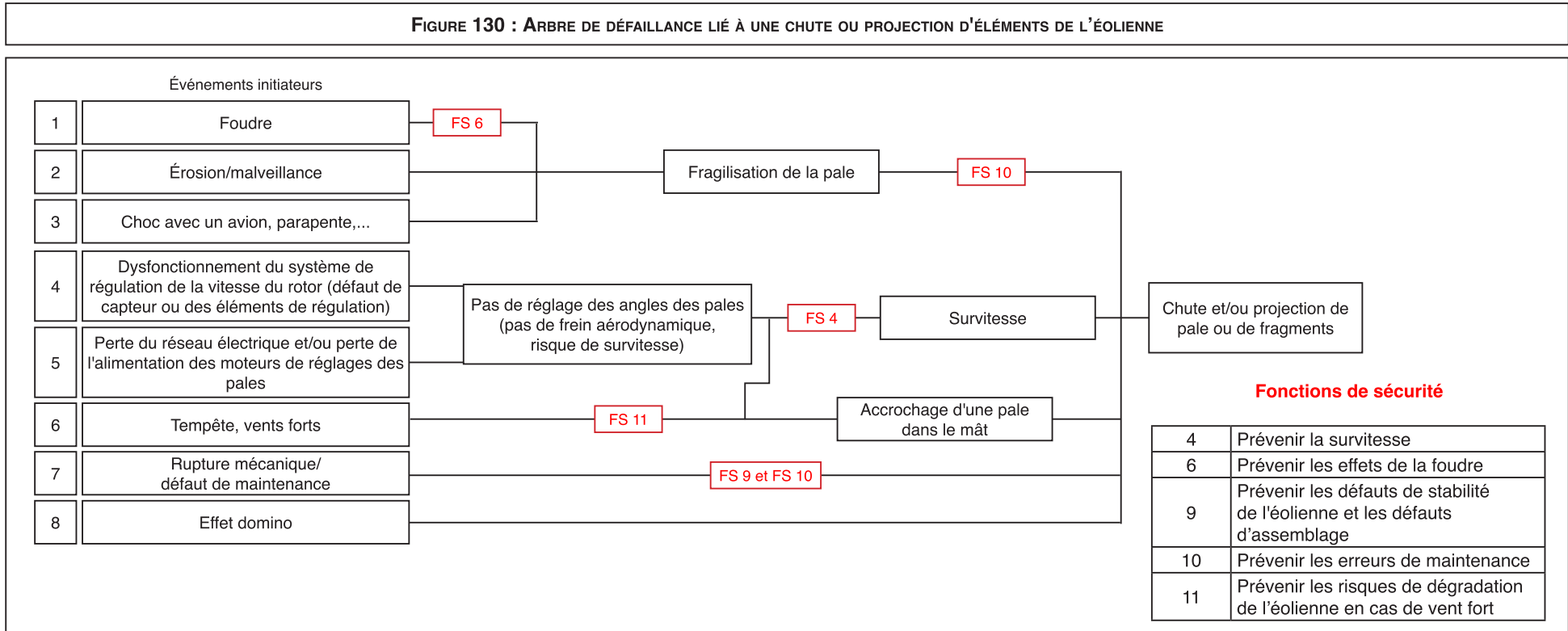
Les causes potentielles identifiées menant à l'événement redouté central sont présentées dans le tableau ci-dessous, à lire conjointement avec l'arbre de défaillance.

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 du 26 août 2011 modifié) 	<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 du 26 août 2011 modifié - Respect des normes européennes 	<p>Fonction de sécurité 10 Prévenir les erreurs de maintenance</p>
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 du choix du site - 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>Fonction de sécurité 10 Prévenir les erreurs de maintenance</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)
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>Fonction de sécurité 4 Prévenir la survitesse</p>
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 situés 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 du 26 août 2011 modifié 	<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 	

J8.2.3.2 - 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 peuvent être représentés sous la forme de l'arbre de défaillance suivant (Figure 130) : Cinq fonctions de sécurité sont identifiées sur l'arbre de défaillance.



J8.2.3.3 - Scénario de chute d'éléments de l'éolienne

→ Zone d'effet

Le risque de chute d'éléments est cantonné à la zone de survol des pales (Figure 131), c'est-à-dire une zone d'effet correspondant à un disque de rayon égal à un demi-diamètre de rotor (65 m dans le cadre du présent projet).

→ 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, soit la zone de survol (Figure 131).

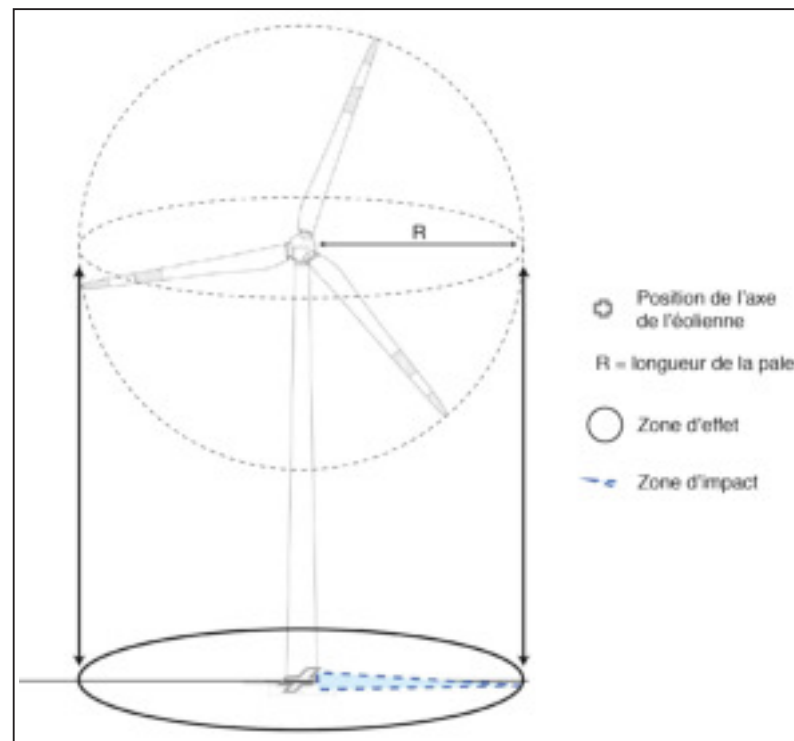
L'intensité en dehors de la zone de survol est nulle.

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène de chute d'éléments d'éolienne du parc.

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	
195	13 273	1,47	Forte

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

FIGURE 131 : SCHÉMATISATION DU SCÉNARIO CHUTE D'ÉLÉMENTS D'ÉOLIENNE



→ Gravité

Dans la surface d'effet de chaque éolienne (zone de survol), on identifie les cibles humaines potentielles.

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.

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 :

Éolienne	Occupation de la zone d'effet	Hypothèse(s) de calcul retenue(s)		Nombre de personnes permanentes	Gravité
E1	Champs	Terrains non aménagés et très peu fréquentés (champs, prairies...)	1 personne/100 ha	0,013	Sérieux
E2					
E3					
E4					
E5					

Rappel des correspondances Nombre de personnes exposées / Gravité pour une intensité forte					
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
Gravité	"Désastreux"	"Catastrophique"	"Important"	"Sérieux"	"Modéré"

→ 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 français montre que ces événements ont une classe de probabilité "C" (2 chutes et 5 incendies pour 15 667 années d'expérience, soit 4.47×10^{-4} événement par éolienne et par an).

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

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

→ Évaluation des risques - Acceptabilité

Les différents éléments d'évaluation des accidents associés à une chute d'éléments de l'éolienne sont présentés ici. Ils sont basés sur les règles de comptage et sur les modélisations présentées précédemment.

LEGENDE	
	Eolienne acceptée (roue bleue)
	Route communale (grise)
Intensité du risque	
	Très forte
	Forte
	Modérée
Nombre de personnes exposées	
	Moins d'une personne
	Entre 1 et 10 personnes
	Entre 10 et 100 personnes

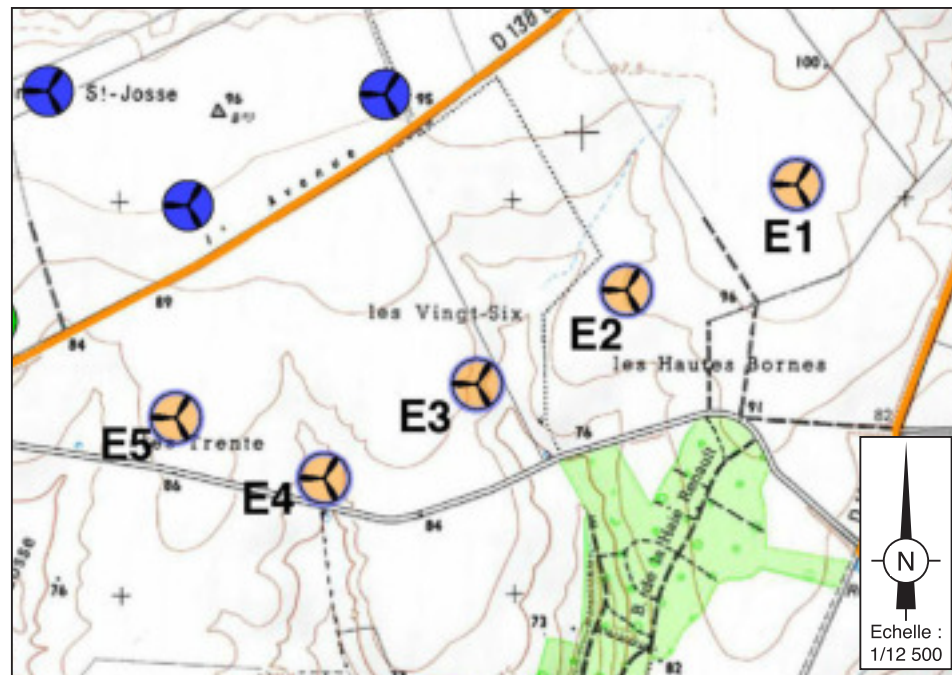


FIGURE 132 : SCÉNARIO DE CHUTE D'ÉLÉMENTS	
Eoliennes	hypothèse défavorable : SWT130
Diamètre du rotor max (m)	130
Nombre d'éoliennes du champ	5
Hauteur au moyeu (m)	85
Surface d'impact (m²)	195
Surface d'effet (m²)	13 273
Diamètre du mât (m)	7
Intensité	Forte
Fréquence (/an) et classe	10 ⁻⁴ à 10 ⁻³ (C)
Gravité	Sérieux

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	Jaune	Rouge	Rouge	Rouge	Rouge
4. Catastrophique	Jaune	Jaune	Rouge	Rouge	Rouge
3. Important	Jaune	Jaune	Jaune	Rouge	Rouge
2. Sérieux	Vert	Vert	E1 à E5	Jaune	Rouge
1. Modéré	Vert	Vert	Vert	Vert	Jaune

Légende de la matrice :

en vert : niveau de risque très faible (Acceptable) ; en jaune : niveau de risque faible (Acceptable) ; en rouge : risque important (Non acceptable).

Avec une classe de probabilité "C", le risque de chute d'éléments pour chaque aérogénérateur est évalué comme acceptable, par l'INERIS, dans le cas d'un nombre de personnes permanentes (ou équivalent) inférieur à 10 dans la zone d'effet.

Ainsi, pour le parc éolien, le phénomène de chute de pale ou de fragments de pale de l'éolienne constitue un risque acceptable pour les personnes.

J8.2.3.4 - 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.

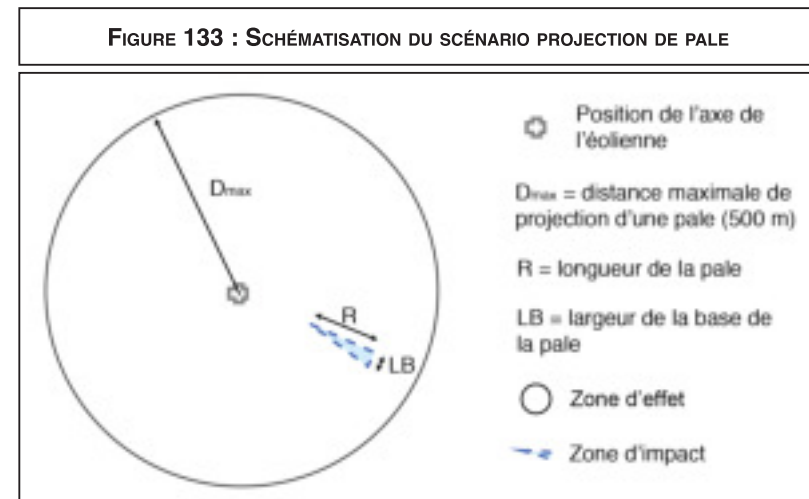
Pour autant, des études de risques déjà réalisées dans le monde ont utilisé une distance de 500 mètres, en particulier les études :

- 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 (Figure 133). 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 de rayon 500 m (Figure 133).



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

Zone d'impact (en m ²)	Zone d'effet du phénomène étudié (en m ²)	Degré d'exposition du phénomène étudié (en %)	Intensité
$R \times LB/2$	$\pi \times RZE^2$	Zone d'impact/ Zone d'effet du phénomène	
195	785 398	0,025	Modérée

Éléments de la formule littérale :
R : longueur de la pale, LB : largeur de la base de la pale, RZE : rayon de la zone d'effet (500 m)

→ Gravité

Dans la surface d'effet de chaque éolienne (disque centré sur l'axe de l'éolienne dont le rayon est égal à 500 m), on identifie les cibles humaines potentielles.

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.

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

Éolienne	Occupation de la zone d'effet	Hypothèse(s) de calcul retenue(s)		Nombre de personnes permanentes	Gravité
E1	Champs, chemins agricoles, RD 136E2, bois	Terrains aménagés mais peu fréquentés (voies de circulation non structurantes, chemins agricoles, vignes...)	1 personne/10 ha	7,854	Sérieux
E2	Champs, chemins agricoles, voie communale, bois, éolienne 3				
E3	Champs, chemins agricoles, voie communale, bois, éoliennes 2 et 4				
E4	Champs, chemins agricoles, voie communale, éoliennes 3 et 5				
E5	Champs, chemins agricoles, voie communale, RD 138E1, éolienne 4				

Rappel des correspondances					
Nombre de personnes exposées / Gravité pour une intensité modérée					
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"
Gravité	"Désastreux"	"Catastrophique"	"Important"	"Sérieux"	"Modéré"

→ Probabilité

Les valeurs 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 Specific Hazard Assessment for a wind farm project – Case study – Germanischer Lloyd, Windtest Kaiser-Wilhelm-Koog GmbH, 2010/08/24	1×10^{-6}	E	Respect de l'Eurocode EN 1990 - Basis of structural design
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	$1,1 \times 10^{-3}$	B	Retour d'expérience au Danemark (1984-1992) et en Allemagne (1989-2001)
Specification of minimum distances, Dr-ing. Veenker ingenieurgesellschaft, 2004	$6,1 \times 10^{-4}$	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 $7,66 \times 10^{-4}$ événement par éolienne et par an). Ces événements correspondent également à la définition qualitative de l'arrêté du 29 septembre 2005 d'une probabilité "C" : "Événement similaire déjà rencontré dans le secteur d'activité ou dans ce type d'organisation au niveau mondial, sans que les éventuelles corrections intervenues depuis apportent une garantie de réduction significative de sa probabilité".

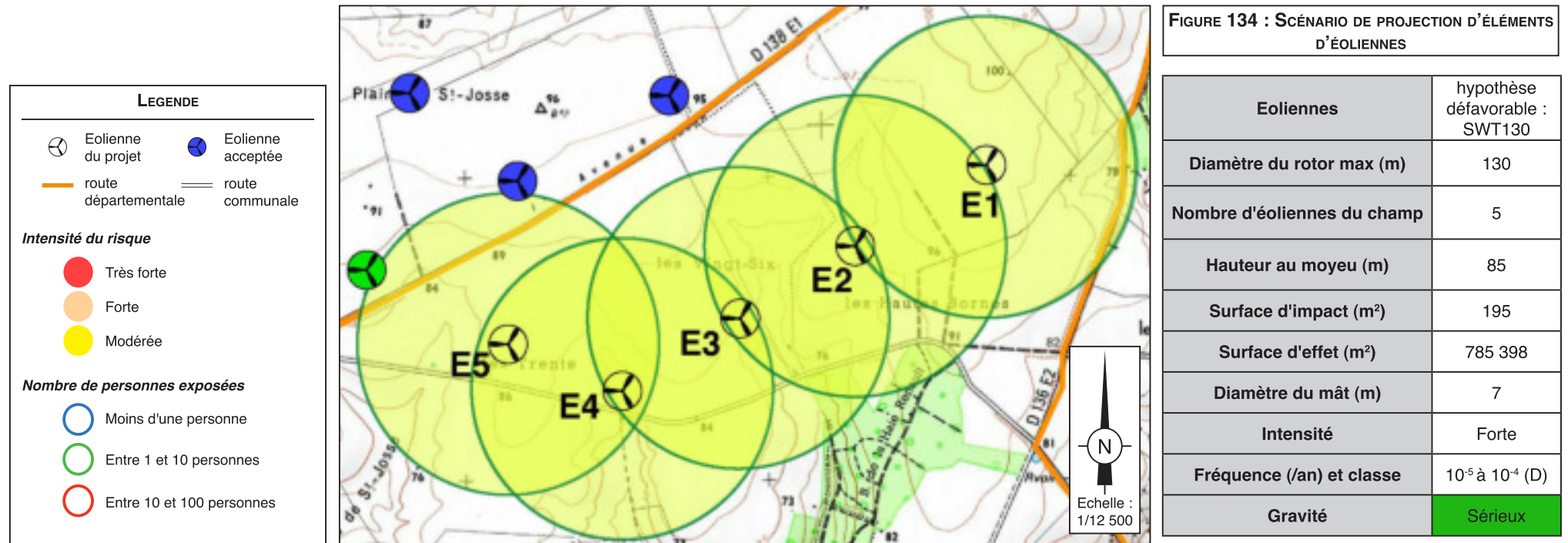
Les dispositions constructives des éoliennes ayant fortement évolué, le niveau de fiabilité est aujourd'hui bien meilleur. Des mesures de maîtrise des risques supplémentaires ont été mises en place notamment :

- 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 modifié 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 d'éléments. **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".**

→ Évaluation des risques - Acceptabilité

Les différents éléments d'évaluation des accidents associés à une projection d'éléments de l'éolienne sont présentés ici. Ils sont basés sur les règles de comptage et sur les modélisations présentées précédemment.



Les accidents "projection 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 à E5			
1. Modéré					

Légende de la matrice :

en vert : niveau de risque très faible (Acceptable) ; en jaune : niveau de risque faible (Acceptable) ; en rouge : risque important (Non acceptable).

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 projeté, 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, 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.

Ainsi, pour le parc éolien, ce phénomène constitue un risque acceptable pour les personnes.

J8.3 - EFFETS DOMINOS

J8.3.1 - Définition et méthode

On entend par effet domino la possibilité pour un phénomène dangereux donné de générer, par effet de proximité, d'autres phénomènes dangereux à l'intérieur de l'installation étudiée ou bien sur les établissements voisins, conduisant à une aggravation des effets du premier phénomène (cf. glossaire technique des risques technologiques de la circulaire du 07 octobre 2005).

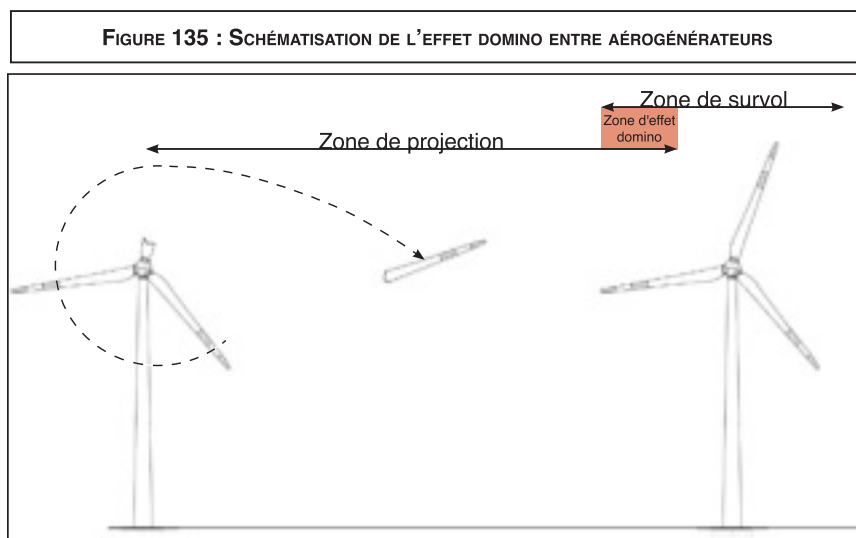
L'objectif de ce chapitre est donc d'étudier les effets dominos internes et externes spécifiques au champ d'éoliennes étudié.

La méthodologie d'étude consiste à :

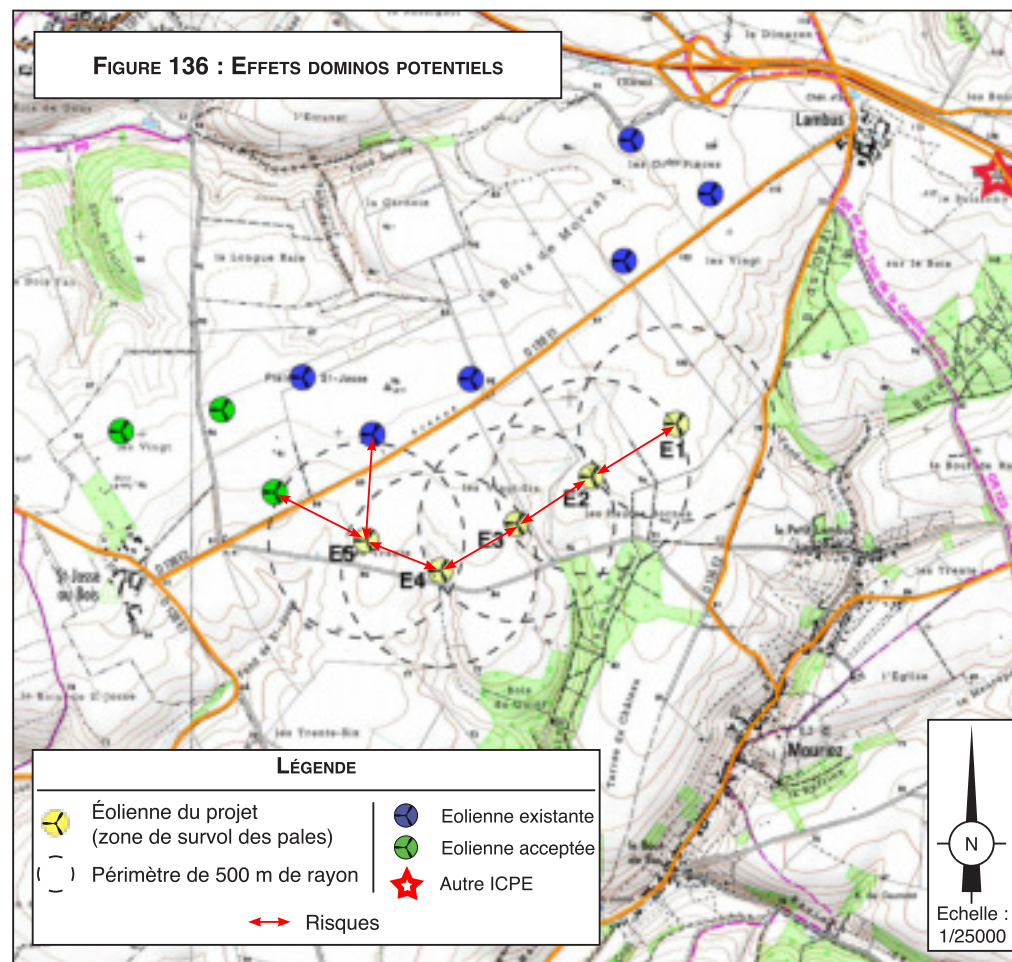
- faire l'inventaire des systèmes inscrits dans les rayons des effets dominos possibles,
- évaluer les nouveaux phénomènes dangereux induits (possibilité de "sur-accidents").

J8.3.2 - Analyse des effets dominos

L'effet domino concerne généralement le risque de projection de fragments ou de pale entière (Figure 135), la zone d'effet associée à ce risque étant la plus vaste (ici 500 m).



Dans ce rayon d'action, autour de chaque éolienne du projet, on trouve uniquement d'autres éoliennes. (voir Figure 136).



Le risque d'effet domino d'une éolienne sur une autre est ici très peu probable ($< 10^{-6}$). De plus, en cas d'effet domino, la seule conséquence possible sera uniquement matérielle (destruction d'éoliennes). **Le risque apparaît donc acceptable.**

J8.4 - MOYENS D'INTERVENTION ET DE LIMITATION DES CONSÉQUENCES

J8.4.1 - 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 et le constructeur retenu.

La société d'exploitation délègue la maîtrise d'ouvrage et l'exploitation du site 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 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 : éoliennes, 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, Enedis, 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 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,
 - Etudes ornithologiques et acoustiques complémentaires,
 - Gestion des baux, loyers et indemnités.
- 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).

J8.4.2 - 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 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 de plusieurs extincteurs, bien visibles et facilement accessibles. Ces extincteurs ont pour vocation d'être utilisés en cas de problème lors d'opérations de maintenance (présence d'un opérateur sur site).

Le cheminement d'alerte provenant des éoliennes est assuré par un 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 l'exploitant 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 le découplage du parc au réseau est assurée par l'automate du poste de livraison qui envoie des SMS d'alertes et de situation.

La société exploitante 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 distance.

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.

La détection des accidents peut également être faite par des personnes externes (détection visuelle d'un incendie ou de la chute d'une partie de pale par des personnes du public par exemple), le constructeur en est le plus souvent informé par l'intermédiaire du propriétaire du parc.

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

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

J8.5 - SYNTHÈSE DE L'ÉTUDE DÉTAILLÉE DES RISQUES

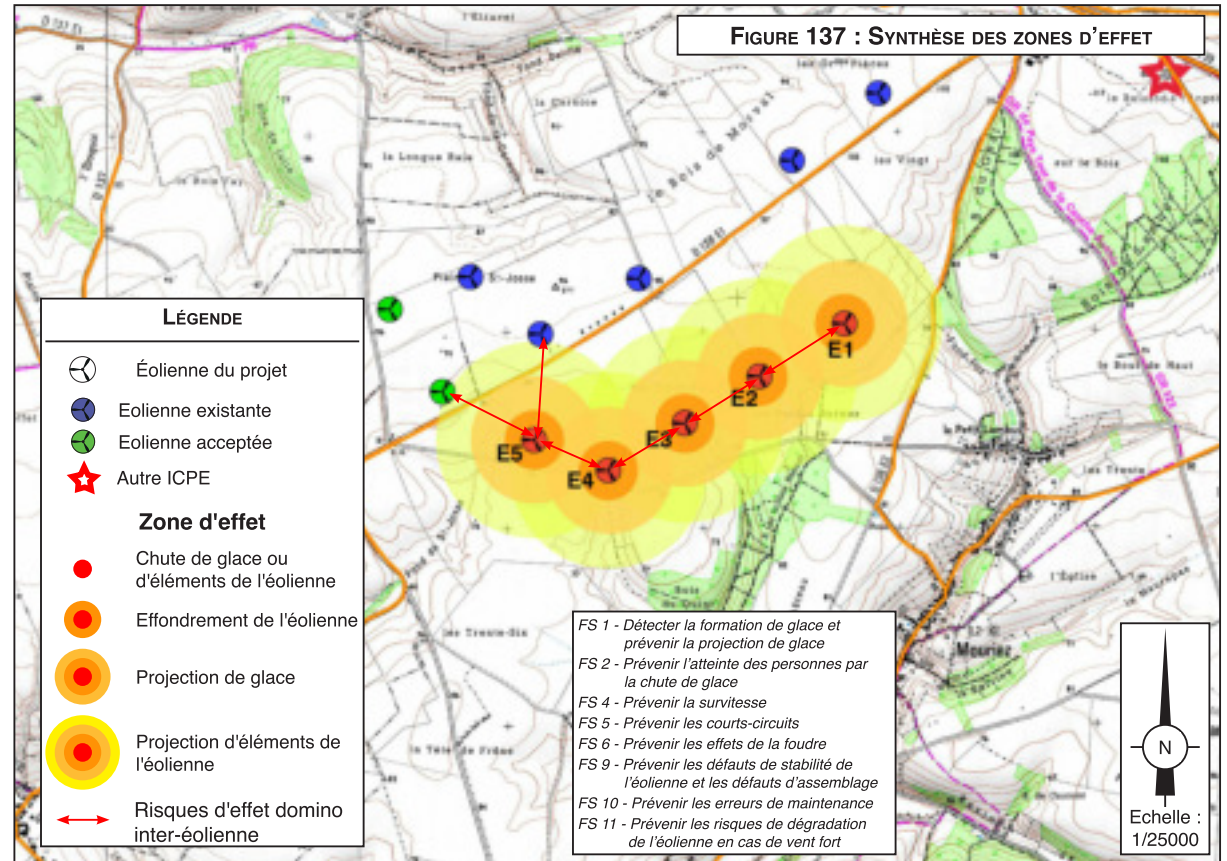
Le parc éolien projeté est situé en plein champ (openfields) ce qui induit globalement une faible présence humaine, seuls quelques chemins, voies communales et routes départementales (non structurantes) sont présents à proximité. Huit personnes sont recensées au maximum dans les zones d'effet. Pour les scénarios d'effondrement et de chute, dont la zone d'effet est la plus restreinte, le nombre de personnes exposées est inférieur à 1, tandis qu'il est compris entre 3 et 8 pour les scénarios de projection de glace et d'éléments de l'éolienne.

L'intensité des scénarios (ratio zone d'impact/zone d'effet) varie de modérée à forte dans le cas présent.

La gravité du phénomène, résultante de l'intensité et du nombre de personnes exposées, va de modéré à sérieux sur le parc de la voie de Cambrai avec une majorité de sérieux. 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.

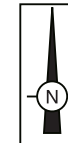
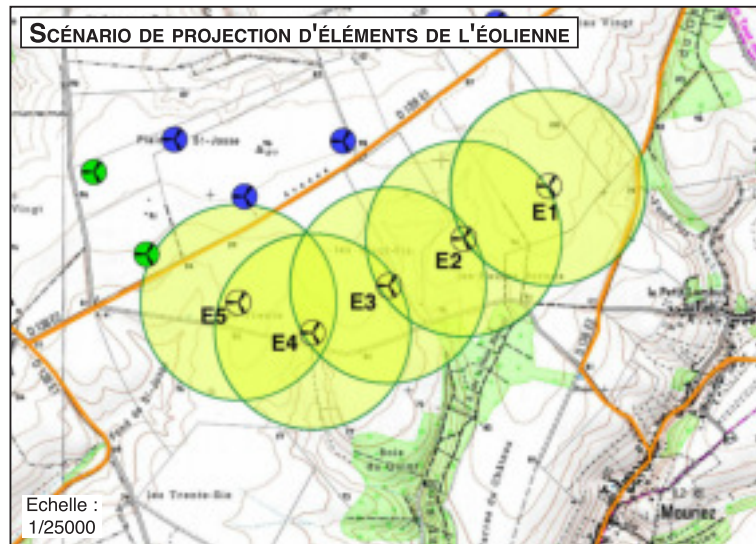
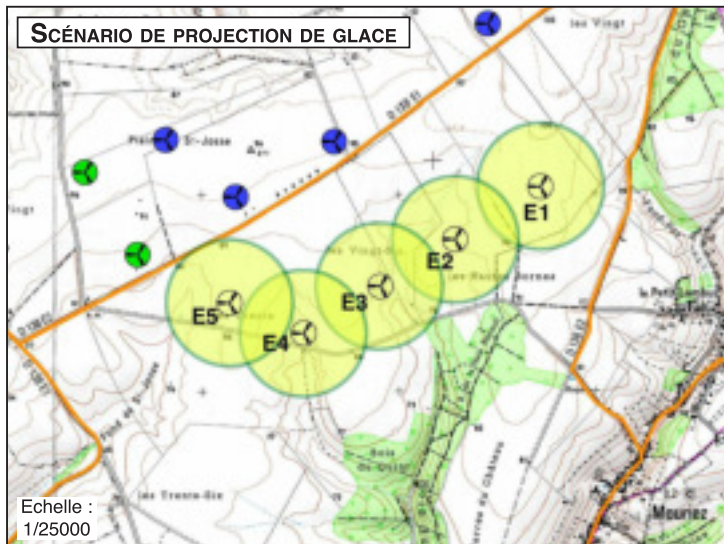
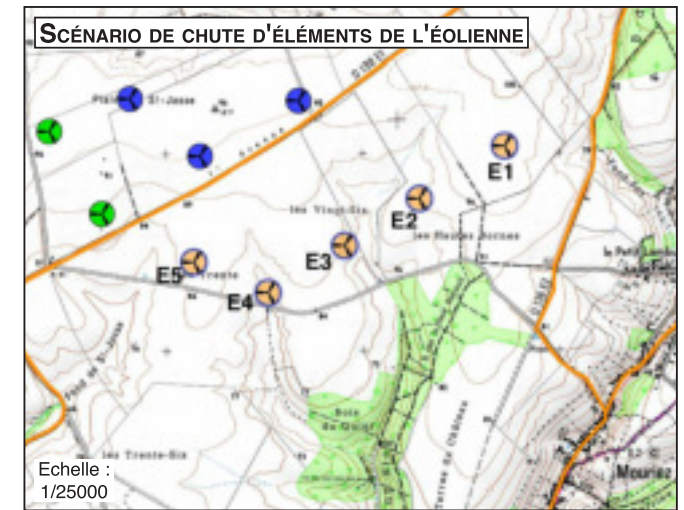
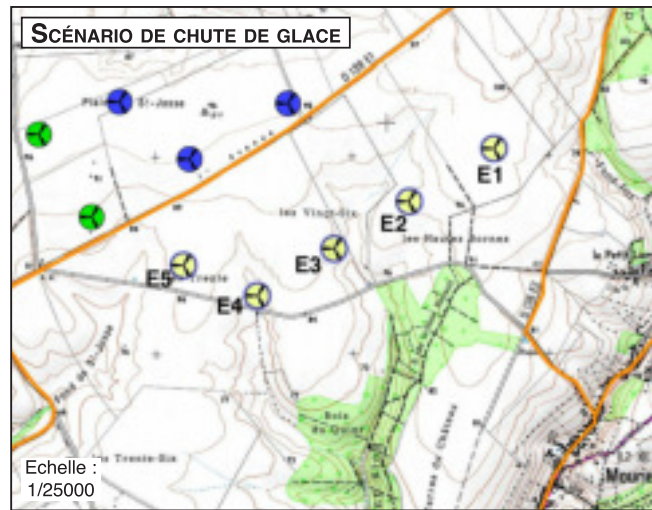
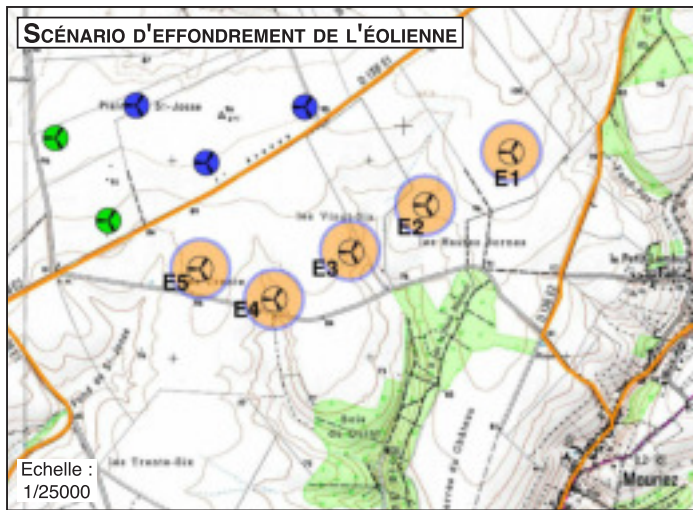
Le tableau récapitule, l'ensemble des scénarios étudiés et les paramètres de cinétique, intensité, gravité, probabilité qui leur sont associés. Il rappelle également les fonctions de sécurité présentes et conclut sur le niveau de risque et son acceptabilité. Des cartes (Figure 138) sont également présentées pour illustrer ces éléments.

La numérotation des Fonctions de Sécurité (FS) est celle établie dans l'Analyse Préliminaire des Risques. Rappelons également les fonctions de sécurité suivantes qui ne peuvent pas 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 et FS8 - Prévention et rétention des fuites.



Ensemble des éoliennes du projet								
Scénario	Zone d'effet	Cinétique	Intensité	Nombre maximal de personnes exposées	Gravité	Probabilité	Fonction de sécurité concernées	Niveau de risque - Acceptabilité
Effondrement de l'éolienne	Disque dont le rayon correspond à une hauteur totale de la machine en bout de pale	Rapide	Forte	0,7	Sérieux	D	FS 4, FS 5, FS 9, FS 10, FS 11	Risque très faible - Acceptable
Chute de glace	Zone de survol	Rapide	Modérée	0,013	Modéré	A	FS 2	Risque faible - Acceptable
Projection de glace	1,5 x (H+ 2R) autour de l'éolienne	Rapide	Modérée	3,27	Sérieux	B	FS 1, FS 2	Risque faible - Acceptable
Chute d'élément de l'éolienne	Zone de survol	Rapide	Forte	0,013	Sérieux	C	FS 4, FS 6, FS 9, FS 10, FS 11	Risque faible - Acceptable
Projection de pale ou de fragments de pale	500 m autour de l'éolienne	Rapide	Modérée	7,854	Sérieux	D	FS 1, FS 4, FS 6, FS 9, FS 10, FS 11	Risque très faible - Acceptable

FIGURE 138 : SYNTHÈSE DES RISQUES



Gravité	Probabilité (sens croissant de E vers A)				
	E	D	C	B	A
5. Désastreux	Yellow	Red	Red	Red	Red
4. Catastrophique	Yellow	Yellow	Red	Red	Red
3. Important	Yellow	Yellow	Yellow	Red	Red
2. Sérieux	Green	Effondrement Projection éléments	Chute éléments	Projection glace	Red
1. Modéré	Green	Green	Green	Green	Chute glace

Légende de la matrice :
 en vert : niveau de risque très faible (Acceptable) ; en jaune : niveau de risque faible (Acceptable) ; en rouge : risque important (Non acceptable).

LÉGENDE

- Eolienne du projet
- Eolienne existante
- Eolienne acceptée
- Intensité du risque**
- Modérée
- Forte
- Très forte
- Nombre de personnes exposées**
- < 1 personne
- 1 - 10 personnes
- 10 - 100 personnes

K - MÉTHODES UTILISÉES ET DIFFICULTÉS RENCONTRÉES

L'objectif de ce chapitre est, d'une part, de préciser les méthodes utilisées pour établir l'état initial et évaluer les effets du projet sur l'environnement ainsi que les raisons ayant amené au choix de la méthode utilisée et, d'autre part, de décrire les éventuelles difficultés techniques ou scientifiques rencontrées.

K1 - MÉTHODOLOGIE EMPLOYÉE LORS DE LA RÉALISATION DE L'ÉTAT INITIAL

Pour la réalisation de l'état initial, les contraintes du site ont été étudiées d'après les données existantes (géologie, climatologie,...). Ces recherches ont été complétées par la réalisation d'études spécifiques sur l'avifaune et les chiroptères notamment. Ces études ont été reprises et approfondies dans le cadre de l'étude d'impact pour aboutir à la réalisation d'une implantation raisonnée et la prise de décision concernant le choix de mesures compensatoires et d'accompagnement les plus pertinentes.

K1.1 - RECENSEMENT DES DONNÉES

L'évaluation des impacts nécessite une bonne connaissance de l'état initial.

Le recensement des contraintes a tout d'abord été réalisé par EQS à partir de données bibliographiques et d'informations recueillies auprès de divers organismes, collectivités et responsables qualifiés en la matière :

- le Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) - cartes géologiques et hydrogéologiques,
- MétéoFrance - données climatologiques,
- l'Agence Régionale de la Santé (ARS) - captages,
- la Direction Départementale des Territoires et de la Mer (DDTM) - Service de l'Environnement (données sur les risques naturels),
- RTE, France Télécom, EDF, ANFR - données sur les réseaux,
- la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement des Hauts de France - milieux aquatiques, milieux naturels, paysages...,
- l'Agence de l'eau Artois-Picardie - données hydrologiques sur les cours d'eau, données sur le SDAGE,
- l'Institut Géographique National (IGN) - carte topographique,
- la Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt (DDAF) et Agreste - données sur les activités agricoles,
- les Directions des Affaires Culturelles du Nord-Pas-de-Calais et de Picardie, services de l'Archéologie et des Monuments Historiques, le Comité Régional du tourisme - données sur le patrimoine culturel,
- AtmoNord-Pas-de-Calais,
- l'INSEE - Inventaires communaux,
- la Communauté des Sept Vallées,
- les communes de Tortefontaine, Mouriez et Duriez.

K1.2 - VOLET ÉCOLOGIQUE

Rappelons que le volet écologique de cette étude a été réalisé par le bureau d'étude BIOTOPE. Le rapport complet, y compris la méthodologie, est présenté en Partie 7. Il convient de s'y reporter pour plus de précisions. Voici les principaux éléments :

La constitution d'une équipe pluridisciplinaire a été nécessaire dans le cadre de cette étude :

Domaines d'intervention	Agents
Chefs de projet	François HUCHEN, Iris PRUDHOMME et Guillaume LEFRERE
Botanistes phytosociologues	Grégoire WASILEWSKI, Xavier CUCHERAT, Sabrina LANGIN et Carine BOSSARD
Ornithologues	Lucien BASQUE, François CAVALIER, Mickaël DEHAYE
Chiroptérologue	Sébastien DEVOS, Matthieu LAGEARD, Paul GILLOT
Cartographie	Paul GILLOT, Iris PRUDHOMME, François HUCHEN
Contrôleur qualité de l'étude	Arnaud GOVAREE

Quatre structures ressources ont par ailleurs été consultées afin d'affiner l'expertise sur cette mission :

Structure / Nom du contact	Nature des informations sollicitées	Date de fourniture des données
GON (Groupe Ornithologique et Naturaliste) du Nord - Pas-de-Calais	Consultation via SRF - observations faunistiques à l'échelle de la commune	Téléchargement des données en avril 2016
CMNF (Coordination mammalogique du Nord de la France)	Consultation via le BAH - synthèse chiroptérologique sur le territoire du Nord - Pas-de-Calais	Echanges de 2010 à 2015 Données fournies en Août 2016 via une extraction de données payante et la rédaction d'une synthèse associée
Picardie Nature	Consultation directe - synthèses ornithologique et chiroptérologique sur le territoire de la Picardie	Téléchargement des données en Août 2016 Données fournies en Août 2016 via une extraction de données payante et la rédaction d'une synthèse associée
Conservatoire Botanique National de Saillat	Consultation via le BAH - pas d'observation disponible	Envoi d'un formulaire au CBN Réponse négative reçue en Avril 2016

Les tableaux ci-dessous présentent les dates et les conditions météorologiques des prospections de terrain "flore" et "avifaune" réalisées entre 2010 et 2017.

Prospections de terrain dédiées à la flore et aux végétations		
Dates	Conditions météorologiques	Commentaire
08/07/2010	Favorables	PE des Rosignols - 1 ^{er} passage
05/08/2010	Favorables	PE des Rosignols - 2 ^{ème} passage
29/05/2015	Favorables	Compléments sur PE des Rosignols
26/04/2016	Favorables	PE des Vallées - 1 ^{er} passage
16/04/2016	Favorables	PE des Vallées - 2 ^{ème} passage
06/07/2016	Favorables	PE des Vallées - 3 ^{ème} passage

Prospections de terrain dédiées à l'avifaune						
Dates	Conditions météorologiques	Commentaire	Printemps	Hivernage	Postprintemps	Hivernege
8 mai 2010	Ciel couvert ; vent nul	Avifaune richeuse Points d'écoute et prospection	(X)	X		
3 juin 2010	Ciel dégagé ; vent faible de nord	Avifaune richeuse Points d'écoute et prospection		X		
18 septembre 2010	Ensoleillé, vent léger à modéré d'ouest	Avifaune migratrice Observations et prospection			X	
18 septembre 2010	Variable (ensoleillé à couvert avec des averses), vent léger nord-ouest puis nord-est	Avifaune migratrice Observations et prospection			X	
25 octobre 2010	Ensoleillé à couvert, vent léger nord-ouest	Avifaune migratrice Observations et prospection			X	
04 novembre 2010	Ensoleillé à couvert, vent léger nord-ouest	Avifaune migratrice Observations et prospection			X	
26 novembre 2010	Moment avec précipitations de neige, vent modéré nord-est	Avifaune migratrice Observations et prospection			X	
31 novembre 2010	Couvert avec averses, vent léger sud-est	Avifaune hivernante Observations et prospection				X
07 janvier 2011	Thaéger à mitigé, vent modéré sud-ouest	Avifaune hivernante Observations et prospection				X
11 mars 2011	Ensoleillé, vent faible sud-ouest	Avifaune migratrice Observations et prospection	X			
06 avril 2011	Ensoleillé, légère brume le matin, vent faible à modéré est-nord-est	Avifaune migratrice Observations et prospection	X			
18 avril 2011	Ensoleillé, vent léger à modéré N	Avifaune migratrice Observations et prospection	X			
27 mai 2015	Brouillard jusqu'à 10h, pas de vent	Avifaune richeuse Transect d'écoute		X		

Prospections de terrain dédiées à l'avifaune						
20 juin 2015	Ensoleillé, pas de vent	Avifaune richeuse Transect d'écoute		X		
25 septembre 2015	Ciel dégagé ; vent nul à faible de nord-ouest	Avifaune migratrice Observations et prospection				X
7 octobre 2015	Ciel couvert et courtes averses ; vent modéré de sud-ouest	Avifaune migratrice Observations et prospection				X
29 octobre 2015	Brume ; vent faible de sud-ouest	Avifaune migratrice Observations et prospection				X
9 décembre 2015	Ciel couvert ; vent faible de sud-ouest	Avifaune hivernante Observations et prospection				X
5 février 2016	Ciel couvert ; vent faible de sud-ouest	Avifaune hivernante Observations et prospection				X
22 mars 2016	Ciel dégagé ; vent nul à faible de sud	Avifaune migratrice Observations et prospection			X	
12 avril 2016	Ciel dégagé ; vent faible de sud	Avifaune migratrice Observations et prospection			X	(X)
6 mai 2016	Ciel dégagé ; vent faible de sud-est	Avifaune richeuse Points d'écoute et prospection			(X)	X
4 juin 2016	Ciel dégagé ; vent modéré de nord-ouest	Avifaune richeuse Points d'écoute et prospection				X
28 juin 2016	Ciel dégagé ; vent modéré de sud-ouest	Avifaune richeuse Prospections Isurats				X
8 avril 2017	Ciel dégagé ; vent faible de sud-est	Avifaune migratrice Observations et prospection			X	
29 avril 2017	Légère brume se dissipant puis ciel dégagé ; vent modéré de sud-est	Avifaune richeuse Points d'écoute et prospection Isurats				X
22 mai 2017	Ciel dégagé ; vent faible d'est	Avifaune richeuse Points d'écoute et prospection Isurats				X
Automne 2017	A vent	Avifaune migratrice Observations et prospection				X
Automne 2017	A vent	Avifaune migratrice Observations et prospection				X

Le tableau ci-dessous présente les dates et les conditions météorologiques des prospections de terrain "chiroptères"

Prospections de terrain dédiées aux chiroptères

Dates	Conditions météorologiques	Commentaire	Migration printanière	Parturition	Migration d'automne Swarming
Nuit du 25 au 26 juillet 2010	Couvert avec un plafond relativement bas, vent de 10 à 15 km/h et température de 15 à 20°C	Période estivale - mbe bas et élevage des jeunes		X	
Nuit du 05 au 06 septembre 2010	Couvert avec un léger voile d'altitude, vent de 15 à 20 km/h et température proche de 10 à 12 °C	Migration d'automne sur les aires d'étude immédiate et rapprochée			X
Nuit du 09 au 10 mai 2011	Quelques nuages épars, vent inférieur à 5 km/h et température d'environ 15°C	Migration de printemps sur les aires d'étude immédiate et rapprochée	X		
Nuit du 26 mai 2015	Huages, vent de 10 à 15 km/h, température d'environ 10°C	Période estivale - mbe bas et élevage des jeunes	(X)	X	
Nuit du 24 juin 2015	Ciel dégagé, pas de vent, température d'environ 13°C	Période estivale - mbe bas et élevage des jeunes		X	
Nuit du 27 août 2015	Temps sec ; vent modéré de sud ; 13°C	Migration d'automne sur les aires d'étude immédiate et rapprochée			X
Nuit du 23 septembre 2015	Temps sec ; vent modéré de sud-ouest ; 12°C	Migration d'automne sur les aires d'étude immédiate et rapprochée			X
Nuit du 10 mai 2016	Quelques ondées ; vent faible de sud ; 15°C	Migration de printemps sur les aires d'étude immédiate et rapprochée	X		
Nuit du 5 juin 2016	Temps sec ; Vent faible de nord ; 16°C	Migration de printemps sur les aires d'étude immédiate et rapprochée	X	(X)	
Nuit du 28 juin 2016	Temps sec ; Vent faible de sud-ouest ; 15°C	Période estivale - mbe bas et élevage des jeunes		X	
Nuit du 31 juillet 2016	Temps sec ; Vent modéré d'est ; 14°C	Période estivale - mbe bas et élevage des jeunes		X	
Nuit du 27 mars 2017	Temps sec ; Vent 5 à 10 km/h d'est ; 12°C	Migration de printemps sur les aires d'étude immédiate et rapprochée	X		
Nuit du 5 avril 2017	Temps sec ; Vent 10 à 20 km/h de nord ; 10°C	Migration de printemps sur les aires d'étude immédiate et rapprochée	X		
Nuit du 13 avril 2017	Temps sec ; Vent 5 à 10 km/h de nord-ouest ; 10°C	Migration de printemps sur les aires d'étude immédiate et rapprochée	X		
Nuit du 14 avril 2017	Temps sec ; Vent 10 à 15 km/h d'ouest ; 9°C	Migration de printemps sur les aires d'étude immédiate et rapprochée	X		
Nuit du 19 avril 2017	Temps sec ; Vent 10 à 15 km/h de nord-est ; 8°C	Migration de printemps sur les aires d'étude immédiate et rapprochée	X		

Dates	Conditions météorologiques	Commentaire	Migration printanière	Parturition	Migration d'automne Swarming
Nuit du 24 avril 2017	Temps sec ; Vent 10 à 20 km/h d'est ; 10°C	Migration de printemps sur les aires d'étude immédiate et rapprochée	X		
Nuit du 28 avril 2017	Temps sec ; Vent 5 à 10 km/h de nord-ouest ; 10°C	Migration de printemps sur les aires d'étude immédiate et rapprochée	X		
Nuit du 5 mai 2017	Temps sec ; Vent 20 km/h de nord-est ; 10°C	Migration de printemps sur les aires d'étude immédiate et rapprochée	X		
Nuit du 21 mai 2017	Temps sec ; Vent 10 à 15 km/h d'est ; 15°C	Période estivale - mbe bas et élevage des jeunes		X	
Nuit du 21 juillet 2017	Temps sec ; Vent 10 à 15 km/h de sud ; 20°C	Période estivale - mbe bas et élevage des jeunes		X	
Automne 2017	A venir	Migration d'automne sur les aires d'étude immédiate et rapprochée			X
Automne 2017	A venir	Migration d'automne sur les aires d'étude immédiate et rapprochée			X

Au total, entre 2010 et 2017, 27 passages ont été consacrés aux oiseaux, 8 permettant d'étudier la migration prénuptiale, 10 pour la nidification, 8 pour la migration postnuptiale et 4 pour l'hivernage. De même, 22 nuits ont été consacrées à l'étude des chauves-souris au sol soit plus de 840 heures d'enregistrement environ (91 boîtiers posés sur une nuit complète et 1 transect réalisé à chaque session), 13 nuits permettant d'étudier la migration printanière, 9 pour la parturition/élevage des jeunes et 5 pour la migration d'automne/swarming. A cela s'ajoutent des écoutes en continu d'avril à octobre 2016, réalisées sur le mât de mesure de vent avec un micro à 5 mètres et un micro à 45 mètres de haut, permettant ainsi de comparer l'activité au-dessus et en dessous d'une hauteur médiane d'environ 25 mètres. Précisons que, lors des inventaires, une attention a été portée aux autres groupes d'espèces (herpétofaune, entomofaune, etc., groupes a priori non sensibles à l'exploitation d'un parc éolien et pour lesquels ce secteur de cultures présente peu de potentialités d'accueil) pour évaluer la nécessité de réaliser des passages dédiés. Au lancement de ces études faune flore sur les projets éoliens des Vallées et de l'extension des Rossignols, la pression d'échantillonnage de chacune d'entre elles était conforme aux exigences connues de la DREAL Nord - Pas-de-Calais à la période concernée. Leur mutualisation finale permet d'atteindre la pression d'échantillonnage demandée en 2017 par la DREAL Hauts de France, voire de la dépasser pour certains groupes.

Méthodes d'inventaires

- Flore et végétations

Nomenclature : La nomenclature des plantes à fleurs et des fougères utilisée dans cette étude est celle de la Base de Données Nomenclaturale de la Flore de France (BDNFF, consultable et actualisée en ligne sur le site www.tela-botanica.org).

Pour les végétations, la nomenclature utilisée est celle de CORINE BIOTOPES, référentiel de l'ensemble des habitats présents en France et en Europe. Dans ce document, un code et un nom sont attribués à chaque habitat décrit.

Méthodologie de terrain et de cartographie : Sur le terrain, la végétation (par son caractère intégrateur synthétisant les conditions de milieux et le fonctionnement de l'écosystème) est considérée comme le meilleur indicateur de tel habitat naturel et permet donc de l'identifier.

Une reconnaissance floristique des structures de végétation homogènes a ainsi été menée sur l'aire d'étude immédiate afin de les rattacher à la typologie CORINE BIOTOPES à l'aide des espèces végétales caractéristiques de chaque groupement végétal.

L'expertise de terrain a eu pour but de cartographier les habitats à enjeu présents sur le site selon la typologie CORINE BIOTOPES. Un relevé phytocœnotique (= liste d'espèces végétales) a été réalisé par milieu cartographié.

Les espèces végétales protégées et patrimoniales ont été prospectées dans le même temps que l'expertise des végétations.

- Avifaune en période de migration

La méthode a ici consisté à parcourir les aires d'étude immédiate et rapprochée, durant les passages migratoires, et à noter chaque observation en précisant, sur une carte, le sens de déplacement des individus, leur nombre et les rassemblements d'oiseaux en halte migratoire.

- Avifaune en période de reproduction

L'inventaire des oiseaux nicheurs a été réalisé à l'aide d'une méthode basée sur des points d'écoute dite Indice Ponctuel d'Abondance (IPA) (Blondel & al., 1973). Ces points ont été disposés au sein de l'aire d'étude rapprochée. Afin de respecter le protocole, les IPA ont été réalisés en deux passages successifs autour du 20 mai (date charnière).

La méthode de recensement à partir d'IPA consiste, en se positionnant au niveau des points d'écoute, à noter sur un plan l'ensemble des contacts durant une période de dix minutes.

Ces contacts avec l'avifaune sont d'ordre visuel mais plus fréquemment sonore, en particulier pour les IPA localisés en forêt. C'est essentiellement grâce à leurs chants ou comportements territoriaux qu'ils sont repérés.

Dans le but d'estimer l'intérêt avifaunistique, une analyse des IPA a été réalisée.

Lors de cette analyse, trois critères patrimoniaux ont été choisis :

- La richesse spécifique (S), qui correspond au nombre d'espèces différentes observées sur chaque point ;
- La densité (D), qui représente le nombre total de couples nicheurs par point toutes espèces confondues (une espèce seule compte ainsi pour 0,5)
- L'indice de diversité de Shannon (H') (voir ci-dessous).

La description la plus complète d'une communauté animale nécessite de connaître sa richesse (nombre et identité des espèces) et sa structure (abondance et arrangement des espèces les unes par rapport aux autres).

À cette fin, le recours à un indice de diversité, comme celui de Shannon, permet de décrire en une seule valeur synthétique la diversité biologique associée à un peuplement donné ou un écosystème (voir méthode de calcul ci-dessous).

Méthode de calcul de l'indice de diversité de Shannon H'
(formule de Pielou)

$$H' = \frac{\sum (p_i \ln p_i) - (S-1) + (1 - \sum p_i - 1) + \sum (p_i - 1 - p_i - 2)}{H \cdot 12 H^2 \cdot 12 H^3} \quad (\text{formule 1})$$

La formule approchée la plus utilisée est la suivante :

$$H' = \sum (p_i \ln p_i) \quad (\text{formule 2})$$

Avec p_i =abondance proportionnelle ou pourcentage d'importance de l'espèce ; $p_i = n_i / H$;

S = nombre total d'espèces ;

n_i = nombre d'individus d'une espèce dans l'échantillon ;

H = nombre total d'individus de toutes les espèces dans l'échantillon.

La formule 2 a été utilisée pour le calcul de l'indice de diversité.

On peut considérer que la diversité d'un peuplement est le nombre moyen de contacts qu'un individu quelconque arrivant dans le milieu aura avec un individu d'une autre espèce, avant de rencontrer un individu de la sienne.

C'est donc une mesure des niches écologiques occupées auxquelles il se heurte. Ainsi, plus H' est élevé, plus la compétition interspécifique potentielle est forte, et donc plus l'écosystème est diversifié et stable.

À partir de cette analyse, il a donc été possible de réaliser une carte synthétique de l'intérêt des IPA, qui représente les trois critères précédemment cités. Pour chacun de ces critères (S, D et H') des seuils ont été établis (par la méthode des seuils de Jenks) afin de caractériser les niveaux d'intérêt.

Ces seuils figurent sous forme de tableau dans la partie avifaune nicheuse de la présente expertise.

L'intérêt principal de l'utilisation d'une méthode standardisée, en l'occurrence les IPA, réside dans le fait que les données récoltées pourront servir d'état initial dans le cadre d'un éventuel suivi biologique de l'avifaune. Une telle mesure permettrait d'estimer, à plus ou moins long terme, l'impact du projet sur les communautés aviaires.

Les points IPA ont été disposés de façon à avoir une couverture homogène sur l'ensemble du projet et de couvrir les différents milieux concernés par le projet.

Parallèlement à ce recensement IPA, les observations concernant les espèces patrimoniales ont été consignées par exemple lors des trajets entre deux points IPA ou lors des prospections pour les autres groupes.

Une troisième journée de prospection, dédiée aux espèces à grands territoires (busards) et crépusculaires (Oedicnème criard) a également été réalisée.

- Avifaune en période d'hivernage

Les populations d'oiseaux en hivernage ont été appréhendées par une méthode similaire à celle employée pour les migrateurs. Elle a, en effet, consisté à rechercher les aires de stationnement des oiseaux au sein de l'aire d'étude rapprochée.

- Chiroptères au sol

L'expertise est axée sur la détection des individus en vol et sur la recherche des sites de concentration d'individus dans les aires d'étude immédiate et rapprochée (gîtes, zones de chasse ou de transit).

Une approche basée sur l'écologie du paysage permet d'identifier les axes de déplacement potentiels des animaux, à la même échelle, et ainsi mieux comprendre comment les chauves-souris utilisent le territoire pour, au final, organiser les itinéraires de prospection nocturne pour la détection des chauves-souris.

Schématiquement, en été, les chauves-souris se répartissent selon deux modes : les femelles se rassemblent en colonie pour la mise-bas et l'élevage des jeunes, et les mâles vivent isolement ou par petits groupes dans des gîtes séparés. Les gîtes fréquentés sont de nature diverse en fonction des espèces, des disponibilités et de la phase du cycle biologique. Trois grands types de sites sont susceptibles d'accueillir des animaux : les arbres (creux, fissurés ...), les bâtiments (combles, caves, fissures de murs, ponts ...) et le milieu rocheux (failles dans les falaises, grottes ...). Certains sites anthropiques, comme les fortifications militaires, jouent un rôle de substitution au milieu cavernicole.

La prospection consiste en une recherche active, de jour, des chauves-souris dans des sites a priori favorables. L'identification se fait alors par observation visuelle directe des animaux ou par recherche des indices de présence (guano, reliefs de repas ...).

- Matériel utilisé pour la détection des Chauves-souris

Les inventaires nocturnes ont été réalisés à partir de points d'écoute et de parcours pédestres nocturnes. La localisation des points d'écoute et des parcours ont été choisis de manière à couvrir l'ensemble des milieux favorables aux chauves-souris au sein de l'aire d'étude rapprochée. L'objectif était de :

- Réaliser un inventaire des espèces fréquentant le site sur plusieurs sessions et nuits prolongées d'écoute, permettant d'avoir une vision globale de la fonctionnalité du site ;

- Quantifier l'importance de l'utilisation (ou non) du site par des espèces patrimoniales ;

- Mettre en évidence la présence d'éventuels corridors de déplacement au sein de la zone d'étude.

Des détecteurs SM2BAT (Wildlife Acoustics) ont été utilisés pour inventorier et mesurer l'activité des chauves-souris présentes sur le site. Ces boîtiers enregistrent les ultrasons émis par les chauves-souris sur une large bande de fréquences (jusqu'à 192kHz) et offrent une autonomie de plus de 8 nuits. Les enregistrements sont stockés sur des cartes mémoires et analysés a posteriori. Conformément au protocole couramment utilisé en France, l'enregistrement est déclenché de manière automatique une demi-heure avant le coucher du soleil et arrêté une demi-heure après le lever du soleil.

De la même manière, les transects à pied sont réalisés à l'aide d'un détecteur portable Echo Meter EM3 (Wildlife Acoustics) qui permet une identification en temps réel et un archivage des sons sur carte mémoire. Chaque enregistrement est géoréférencé grâce à un GPS intégré. Les transects sont parcourus à vitesse constante (~5km/h).

Grâce à ces deux méthodes, 29 des 34 espèces françaises sont identifiables dans de bonnes conditions d'enregistrement. Néanmoins, les cris sonar de certaines espèces sont parfois très proches, voire identiques dans certaines circonstances de vol, c'est pourquoi les déterminations litigieuses sont rassemblées en groupes d'espèces

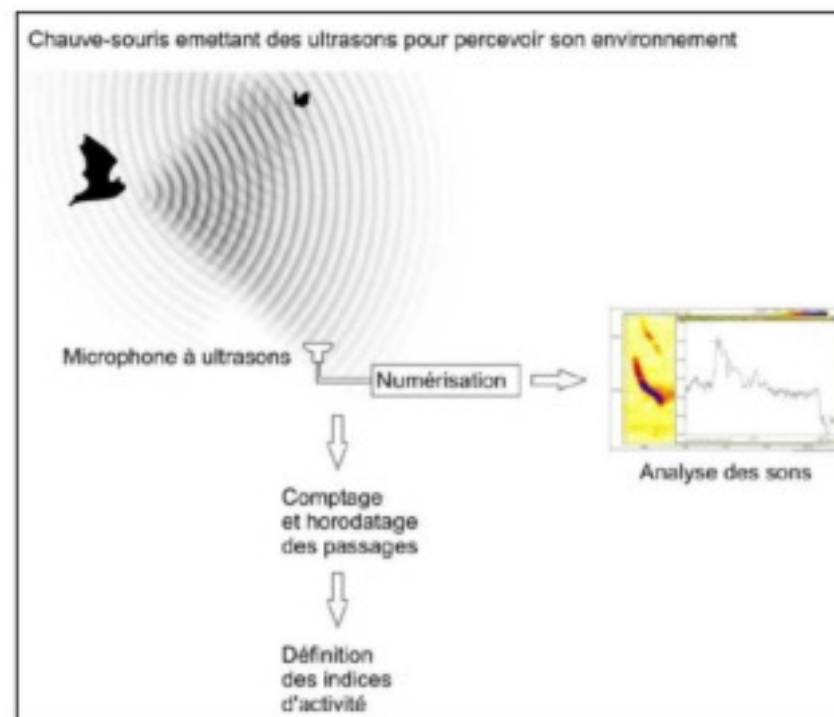
Méthode : dans la majorité des études qui se sont pratiquées jusqu'à maintenant, que ce soit avec un détecteur à main ou un enregistreur automatique en point fixe, les résultats des écoutes sont tous exprimés par une mesure de l'activité en nombre de contacts par unité de temps, en général l'heure. Selon les opérateurs et l'appareillage, la définition d'un contact n'est pas très claire, mais correspond à une durée de séquence que l'on pense être proche d'un passage d'un chiroptère, soit de 5 secondes dans le cas des détecteurs à main ou SM2BAT.

Ainsi, pour pallier aux nombreux facteurs de variations de dénombrements liés au matériel (sensibilité du micro, trigger, seuils de déclenchements, paramétrages de séquençage des fichiers, etc.) l'unité la plus pratique de dénombrement correspond à la « minute positive ». Une minute est dite « positive » quand au moins un chiroptère est enregistré au cours de celle-ci. Le nombre de minutes positives peut être considéré globalement ou décliné par espèce. Des tests statistiques, menés par A. Haquart / Biotope, ont montré que les variations liées au matériel étaient moins fortes avec cette unité de dénombrement. Le dénombrement des « minutes positives » évite des écarts de 1 à 10 en cas de forte activité. En cas de faible activité, les résultats de dénombrement de minutes positives ou de fichiers d'enregistrements sont sensiblement les mêmes.

Ce type de dénombrement tend à mesurer une régularité de présence d'une espèce sur un site d'enregistrement et peut donc être formulé en occurrence par heure ou par rapport au nombre de minutes positives sur la durée totale d'écoute en minute pouvant être exprimé en pourcentage, pour obtenir un indice d'activité.

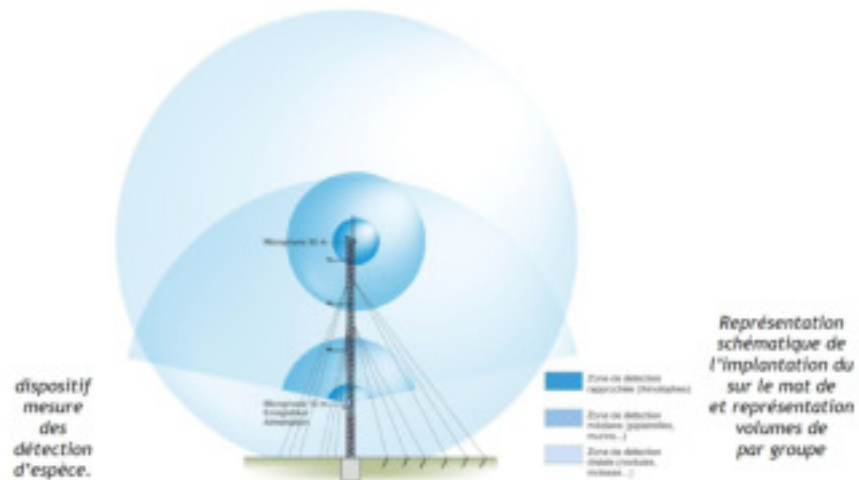
- Chiroptères en altitude

La méthode utilisée est basée sur des écoutes automatiques en continu en altitude depuis un mât de mesure situé au coeur de l'aire d'étude immédiate à l'aide d'un enregistreur automatique de type SM2BAT. Le suivi a pris place entre mars 2016 et novembre 2016, soit pendant un cycle complet d'activité des chiroptères.



Représentation schématique de la méthode d'analyse appliquée

Deux micros ont été reliés à ce dispositif, l'un à 10m de haut et l'autre à 50m, permettant ainsi de comparer l'activité au dessus et en dessous d'une hauteur médiane d'environ 30 mètres.



L'estimation des hauteurs de vol est réalisée grâce au logiciel SonoChiro© développé par Biotope.

2 classes de hauteur peuvent donc être mises en évidence, la première au-dessus de la hauteur médiane entre les 2 micros, et la seconde, en-dessous.

- Autre faune

A chaque passage, les observations opportunistes concernant des groupes non ciblés initialement sont notées pour être intégrées dans la synthèse des données.

Pour les mammifères, les traces et indices de présence sur l'aire d'étude immédiate ont été relevés. Les acteurs locaux sont également interrogés à ce sujet.

Pour les amphibiens, les quelques individus observés hors de sites de reproduction ont conduit à la réalisation d'une simple carte des observations.

Les reptiles n'ont pas été recherchés car aucune observation incidente n'a été faite et que les potentialités d'accueil sont faibles.

De même, les insectes observés et les habitats en présence n'ont pas nécessité la réalisation de prospections dédiées.

K1.3 - VOLET ACOUSTIQUE

Rappelons que le volet acoustique de cette étude a été réalisé par le bureau d'étude Gamba ACOUSTIQUE et plus particulièrement par Véronique FRAYSSE et Luc LONGATTE, responsables acousticiens. Le rapport complet, y compris la méthodologie, est présenté en Partie 7. Il convient de s'y reporter pour plus de précisions. Voici les principaux éléments :

Généralités méthodologiques :

Pour toutes les analyses, la méthodologie s'efforce à présenter les émergences sonores en fonction des vitesses de vent. Cela implique, pour l'état initial, la caractérisation des niveaux sonores résiduels par vitesse de vent en dB(A). Cette caractérisation s'est faite suivant les spécifications du projet de norme de mesurage NFS 31-114. Les mesures ont ainsi été effectuées à l'extérieur des habitations au niveau des terrasses par exemple ou sous les fenêtres des pièces principales d'habitation. Les niveaux globaux en dB(A) sont enregistrés. En parallèle des mesures acoustiques, les vitesses et orientations du vent sont enregistrées sur le site par la station météorologique de Gamba (relevés à 10m) ou, quand il est présent, par le mât de mesure installé par le développeur (relevés à plusieurs hauteurs).

Dans tous les cas, les données de vent sont ramenées à 10 m au dessus du sol pour les analyses.

L'analyse simultanée des mesures acoustiques et de vent permet de donner l'évolution des niveaux résiduels en fonction des vitesses de vent sous forme de nuages de points. Les valeurs les plus probables pour chaque classe de vitesse de vent sont relevées à l'aide de la médiane obtenue en considérant les échantillons à l'intérieur de chaque classe de vitesse de vent. Ces analyses sont effectuées de jour et de nuit pour les valeurs en dB(A).

Matériel utilisé :

- 6 sonomètres Leqmètre stockeur de classe 1, de type SOLO de ACOEM
- 1 mât télescopique de 10 m de hauteur de Clark Mast
- 1 station météorologique LeNET de Logic Energy
- logiciel de dépouillement et d'analyse dBTrait version 32 bits de ACOEM
- 1 calibre de classe 1 de type AKSUD 5117 de ACOEM

Les sonomètres ont été réglés avec une durée d'intégration de 1 seconde

Les mesures sur site

Les mesures se sont déroulées du 19 mai au 20 juin 2016, soit une durée d'environ 1 mois. Elles ont consisté à placer un sonomètre au niveau des habitations entourant le projet éolien et d'enregistrer, en continu et en simultané, les niveaux de bruit résiduel (niveaux globaux en dB(A)) et les vitesses de vent.

Le choix des points de mesurage dépend essentiellement de la proximité des habitations au projet, de la topographie du site et de la végétation. Ici, le choix s'est porté sur 6 points (voir "Figure 67 : Localisation des points de mesures acoustiques", page 187) :

- Point 1 : Saint Jossé au Bois
- Point 2 : Lambus
- Point 3 : Ferme du Hasard
- Point 4 : Douriez
- Point 5 : Bout de Bas
- Point 6 : Petit Lambus

La campagne de mesure a été réalisée en présence de vent, majoritairement obtenu pour les secteurs dominants, à savoir des vents de secteur Sud-Ouest (SO) et Nord-Est (NE). Les conditions météorologiques étaient les suivantes :

Par vent de Sud-Ouest	Nuit	Jour
Direction du vent	225°	
Température	15°C	22°C
Humidité	90.00%	-
Couverture nuageuse	nuageux	
Rayonnement		faible
Rugosité	0.05m	0.3m
Par vent de Nord-Est	Nuit	Jour
Direction du vent	45°	
Température	12°C	18°C
Humidité	80.00%	-
Couverture nuageuse	dégagé	
Rayonnement		Moyen à fort
Rugosité	0.05m	0.5m

K2 - MÉTHODE D'ÉVALUATION DES EFFETS SUR L'ENVIRONNEMENT

K2.1 - IMPACTS PAYSAGERS

➔ Analyse des enjeux et étude des variantes

Le volet paysager a été réalisé par le bureau d'études Environnement Qualité Service (EQS) et en particulier par Frédéric PILLOT et Thibaut DELAPORTE, chargé d'études, chargés respectivement de l'analyse paysagère et de la réalisation des photosimulations.

La démarche paysagère du projet a débuté par une évaluation des caractéristiques du site (aire d'étude immédiate) avant une investigation plus poussée sur des échelles différentes (aires d'étude intermédiaire et éloignée).

Les principaux enjeux du site et de ses abords ont ainsi pu être caractérisés, avec également pour appui les atlas paysagers du Nord-Pas-de-Calais et de Picardie ainsi que les Schémas Régionaux Eoliens.

Suite à cette analyse, des points de vue déterminants ont été choisis. EQS s'est alors chargé de réaliser les photographies (réalisation en juillet, août et septembre 2016 puis mai et juillet 2017, à la faveur de journées ensoleillées et dégagées).

Plusieurs variantes ont été imaginées. Celles-ci ont été confrontées aux principales contraintes locales du site mais aussi aux différents enjeux paysagers (recul par rapport à la vallée de l'Authie notamment - pour cela des photomontages de comparaisons de variantes ont été réalisés : voir méthode ci-après).

➔ Méthodologie ZVI

La ZVI (zone visuelle d'influence) est une carte de présentation des surfaces depuis lesquelles le parc éolien est potentiellement visible. Ce calcul est effectué à partir du module ZVI du logiciel Windpro (version 3.0) pour l'ensemble des éoliennes proposées sur le site.

Son calcul est basé sur un modèle numérique de terrain créé à partir des courbes de niveau digitalisées. Les boisements sont pris en compte comme obstacles, pas les habitations. La modélisation sera donc majorante. L'aire d'étude est divisée en carrés de surface égales (25 m X 25 m). Le logiciel effectue une coupe depuis chaque partie du quadrillage vers chacune des éoliennes du parc. Le parc est considéré comme visible depuis un point lorsque le trait de coupe atteint l'extrémité d'une des éoliennes du parc sans être interrompu par le relief.

Cet outil est un préalable à l'étude des impacts sur une vaste aire d'étude. Il permet de définir de manière efficace l'effet de la topographie sur la visibilité du parc éolien. Sa précision peut toutefois être altérée par l'existence d'une microtopographie (talus, passage en tranchée), ou tels que boisements, habitations, haies...

➔ Méthodologie photosimulations

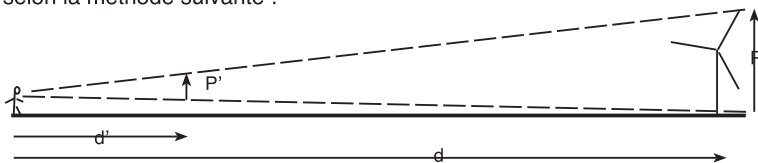
Les vues ont été effectuées avec un appareil NIKON D3200 d'une focale de 35 mm. Les photos ont ensuite été assemblées à l'aide du logiciel Photoshop pour obtenir des vues panoramiques.

Les photosimulations ont été réalisées avec le logiciel spécialisé Wind Pro 3.0.

La position des points de vue a été réalisée par GPS. Le calage des éoliennes sur logiciel s'est fait à l'aide d'éléments aisément repérables dans le paysage (clocher d'églises, châteaux d'eau, monuments, bois) et aisément repérables sur des cartes IGN.

Dans certains cas, des éléments supplémentaires ont été relevés par GPS afin d'assurer un meilleur calage des photos. Des éléments peuvent également être repérés grâce au site Géoportail.

Afin de donner un meilleur aperçu de l'impact visuel du parc éolien, nous avons réalisé des simulations montrant ce que percevra l'observateur en réalité. Ces photosimulations ont été réalisées selon la méthode suivante :



Un observateur se trouvant à une distance d d'une éolienne percevra une hauteur P . En appliquant le théorème de Thalès, on considère que l'équivalent de ce que le lecteur doit percevoir en se trouvant à une distance d' du projet est la hauteur P' . L'angle de perception est ainsi conservé. On obtient la hauteur P' par le rapport suivant : $P' = P \times d' / d$

avec : P : hauteur réelle de l'éolienne,
 P' : hauteur de l'éolienne sur la photosimulation,
 d : distance réelle entre l'observateur et l'éolienne,
 d' : distance du lecteur par rapport au dossier d'étude d'impact (40 cm).

Dans l'étude d'impact, pour les photosimulations montrant l'impact réel, la taille des images a été définie de manière à ce que la taille des éoliennes de l'image correspondent aux valeurs P' obtenues par le calcul exposé ci-dessus.

L'impact visuel de l'ensemble des éoliennes a été défini en fonction de la distance entre le point d'observation et les éoliennes. Les conditions retenues pour la visibilité des éoliennes ont toujours été les conditions de visibilité maximale, même quand les conditions de prise de vue n'étaient pas excellentes. De ce fait, l'impact visuel des éoliennes simulées est toujours plus fort que ce qu'un observateur observera à l'avenir dans des conditions réelles.

K2.2 - SIMULATION D'IMPACT SONORE

Les simulations d'impacts sonores ont été réalisées par GAMBA Acoustique pour les trois types de machines proposées grâce à l'utilisation des données acoustiques existantes pour ces machines. Ces dernières sont issues des documents de références constructeurs et transformées si besoin pour les références de vent des niveaux sonores résiduels (10m standardisé).

Les calculs prévisionnels ont été effectués à l'aide du logiciel AcouS PROPA développé par GAMBA Acoustique et Associés, selon la logique suivante :

- A partir des cartes IGN, il a été modélisé la géométrie du terrain autour du site. Ensuite, en considérant les puissances acoustiques des machines, leur implantation et dimensions, le logiciel calcule les niveaux de bruit engendrés par le fonctionnement du parc chez les riverains les plus exposés en prenant en compte la direction du vent, l'influence des gradients de vent et de température sur la courbure des rayons sonores, l'absorption atmosphérique, et les éventuels effets de sol et de relief. Une fiche de présentation du logiciel est proposée en annexe 5.

Hypothèses de calculs

- Géométrie du site : le logiciel AcouS PROPA permet de prendre en compte le relief dans le calcul de l'impact acoustique des sources sonores. Le relief a été modélisé afin de prendre en compte son éventuelle influence sur la propagation sonore des éoliennes.

- Coefficients d'absorption : le sol a été considéré d'absorption équivalente à des terres agricoles avec de la végétation.

Incertitudes : l'ensemble des résultats de calcul est à considérer avec une incertitude totale de +/- 4.3 dB(A)¹. On rappelle que les incertitudes ne sont pas à reporter sur le résultat d'émergence, mais sur les valeurs calculées de contribution des éoliennes.

K2.3 - IMPACTS SUR L'OMBRE

Pour évaluer les temps d'exposition aux ombres projetées des éoliennes, on utilise le logiciel Windpro 3.0.

Après avoir intégré les cartes, la topographie, les éoliennes (type et dimensions), leurs références géographiques, ainsi que les données statistiques d'ensoleillement et de direction du vent, nous pouvons calculer et visualiser sur des cartes, les zones exposées à ces ombres en fonction de la durée journalière et de la durée annuelle de cette exposition.

K2.4 - ÉTUDE DE DANGER

L'étude de danger a été réalisée en prenant comme base le guide technique de l'INERIS (Élaboration de l'étude de dangers dans le cadre des parcs éoliens - mai 2012).

➔ Données d'entrée

Compte tenu de l'incertitude relative au modèle d'éolienne qui seront implantées sur le site, les mesures spécifiques à chaque constructeur ont été comparées pour tous les paramètres utilisés dans l'étude de danger. Dans un souci de transparence, les données d'entrée les plus impactantes ont été retenues ("B2.3 - Description détaillée des éoliennes utilisées", page 46) :

➔ Comptage des personnes permanentes

L'approche adoptée dans l'étude de danger 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 deça du seuil des voies structurantes (2000 véhicules/jour).

K3 - DIFFICULTÉS RENCONTRÉES

➔ Description du projet

Il est quelquefois difficile de pouvoir décrire avec précision le projet lors de sa conception, notamment du fait que le modèle exact de l'éolienne n'est pas encore totalement défini et que le déroulement du chantier s'effectue différemment selon les constructeurs et les entreprises de travaux publics. Ainsi des données tels que le volume exact de béton nécessaire et le nombre d'allers-retours des engins sont difficiles à estimer précisément.

Néanmoins, nous avons fourni, soit des écarts de valeurs, soit des estimations qui permettent d'évaluer de façon satisfaisante le projet.

➔ Limites méthodologiques concernant l'inventaire des chiroptères

La méthode des points d'écoute à l'aide d'enregistreurs automatiques permet avant tout d'apprécier l'importance de l'activité des chiroptères au cours du temps à un endroit précis. L'activité est exprimée en minute positive : nombre de minutes où un contact avec l'espèce donnée a été réalisé.

Les limites de cette méthode utilisant des enregistreurs automatiques sont de deux ordres :

- l'une est due, comme toute méthode utilisant des détecteurs, à la distance de détectabilité des différentes espèces (certaines sont détectables à 100 mètres, d'autres ne le sont pas plus à plus de 5 mètres) ;

- l'autre est liée à l'absence de présence d'un observateur qui peut orienter son transect et ses écoutes en réaction au comportement des chiroptères et à ce qu'il écoute de façon à optimiser l'analyse du terrain. Les résultats et leur analyse dépendent alors en grande partie de la pertinence du choix des points par rapport aux connaissances locales et à la biologie des espèces.

Néanmoins, rappelons que la présente étude a également fait l'objet d'écoutes mobiles par transects et que l'avantage principal des points d'écoute par enregistreurs automatiques est la grande quantité d'informations, qui permet d'aller plus loin dans l'analyse des données quantitatives.

Les groupes d'espèces identifiées concernent des espèces qui, selon les conditions d'écoute des ultrasons, ne sont pas toujours différenciables.

- Le couple Séroline commune / Noctule commune / Noctule de Leisler, qui dans certaines conditions ont des signatures acoustiques identiques, qui ne permettent pas toujours la distinction;

- Le couple Murin à moustaches / d'Alcathoe / de Brandt, où la distinction est délicate en l'absence de signature acoustique connue et fiable permettant de les distinguer ;

- Les murins indéterminés, regroupant l'ensemble des « petits murins » ;

- Les oreillards indéterminés, regroupant les deux espèces d'oreillards, toujours très difficiles à séparer à l'heure actuelle à partir de certains types d'écholocations.

L'échantillonnage a été réalisé au niveau du sol, et n'est donc pas strictement représentatif de l'activité en altitude. La distance à partir de laquelle les chauves-souris sont enregistrées par les détecteurs varie très fortement en fonction de l'espèce concernée. Les noctules et sérotines émettent des cris relativement graves audibles à une centaine de mètres. A l'inverse, les cris des rhinolophes ont une très faible portée et sont inaudibles au-delà de 5 mètres. La grande majorité des chauves-souris (murins et pipistrelles) sont audibles entre 10 et 30 mètres. Les chauves-souris évoluant à plus de 30 mètres de haut ne seront probablement pas comptabilisées, dans la mesure de l'activité, or ce sont celles présentant le plus de risques vis-à-vis des éoliennes.

La distance de détectabilité est liée à la puissance d'émission du cri par la chauve-souris et à la fréquence du cri (les hautes fréquences s'atténuent plus vite dans l'espace). L'application d'un coefficient correcteur, issu des travaux de M. Barataud (2012), permet un comparatif des abondances relatives des espèces présentes afin de pouvoir caractériser le cortège (voir tableau suivant).

Coefficients correcteurs en fonction des distances de détectabilité des espèces de chiroptères							
Milieu ouvert				Sous-bois			
intensité d'émission	Espèces	distance de détection (m)	Coeff. correcteur	intensité d'émission	Espèces	distance de détection (m)	Coeff. correcteur
Faible	Rhinolophus hipposideros	5	30	Faible	Rhinolophus hipposideros	5	30
	Rhinolophus ferr/eur/meh.	10	15		Plecotus spp.	5	30
	Myotis emarginatus	10	15		Myotis emarginatus	8	18,8
	Myotis alcathoe	10	15		Myotis nattereri	8	18,8
	Myotis mystacinus	10	15		Rhinolophus ferr/eur/meh.	10	15
	Myotis brandtii	10	15		Myotis alcathoe	10	15
	Myotis capaccinii	15	10		Myotis capaccinii	10	15
	Myotis daubentoni	15	10		Myotis mystacinus	10	15
	Myotis nattereri	15	10		Myotis brandtii	10	15
	Myotis bechsteinii	15	10		Myotis daubentoni	10	15
Moyenne	Barbastella barbastellus	15	10	Myotis bechsteinii	10	15	
	Myotis myotis	20	7,5	Barbastella barbastellus	15	10	
	Pipistrellus pygmaeus	25	6	Myotis myotis	15	10	
	Pipistrellus pipistrellus	30	5	Myotis myotis	15	10	
	Pipistrellus kuhlii	30	5	Pipistrellus pygmaeus	20	7,5	
	Pipistrellus nathusii	30	5	Miniopterus schreibersii	20	7,5	
Forte	Miniopterus schreibersii	30	5	Moyenne	Pipistrellus pipistrellus	25	6
	Hypsugo savii	40	3,8		Pipistrellus kuhlii	25	6
	Pipistrellus nathusii	25	6		Pipistrellus nathusii	25	6
Très forte	Epptesicus serotinus	40	3,8	Forte	Hypsugo savii	30	5
	Plecotus spp.	40	3,8		Epptesicus serotinus	30	5
	Epptesicus nissouii	50	3		Epptesicus nissouii	50	3
	Vespertilio murinus	50	3		Vespertilio murinus	50	3
	Nyctalus leisleri	80	1,9		Nyctalus leisleri	80	1,9
	Nyctalus noctula	100	1,5		Nyctalus noctula	100	1,5
Très forte	Tadarida teniotis	150	1	Très forte	Tadarida teniotis	150	1
	Nyctalus lasiopterus	150	1		Nyctalus lasiopterus	150	1

➡ **Difficultés dans le choix des photosimulations**

La difficulté dans cette partie repose sur l'identification des différentes fenêtres de visibilité du parc et sur le choix des vues nécessitant d'être traitées dans l'étude paysagère. En effet, il faut tenter d'illustrer l'effet réel du parc éolien sur le paysage sans pour autant étudier l'ensemble des fenêtres de visibilité.

Notre choix s'est donc porté en priorité sur les vues les plus fréquentées par la population. Nous avons ainsi étudié les vues directes sur le projet depuis les communes environnantes ainsi que les vues depuis les grands axes de circulation et les principaux sites à enjeux.

➡ **Evaluation de la consommation d'énergie**

Il est demandé dans l'étude d'impact de fournir la consommation énergétique engendrée par le projet, que ce soit lors de la fabrication des différents matériaux ou lors de la phase de construction en elle-même. La consommation énergétique de l'ensemble des étapes : fabrication, transport, chantier, démantèlement doit être indiquée.

Nous ne disposons pas toujours des informations nécessaires à l'estimation de la consommation énergétique précise. ENERCON fournit par exemple une analyse du cycle de vie de ses éoliennes et VESTAS un bilan carbone. Cela nous permet de comparer les différentes phases de l'implantation et d'obtenir un ordre de grandeur, mais ne nous permet pas d'estimer une consommation précise d'énergie.

Cependant, les résultats obtenus permettent de confirmer que la consommation énergétique correspondant à la fabrication et à l'installation d'une éolienne est compensée durant la première année d'exploitation.

L - NOTICE D'HYGIÈNE ET DE SÉCURITÉ

Les éoliennes sont des installations particulières du fait de leur mode de fonctionnement et de leur hauteur importante. Dans notre cas la nacelle se situera entre 91 et 93 m de haut (Voir chapitre "B2.3 - Description détaillée des éoliennes utilisées", page 46).

De plus, les éoliennes sont situées dans des environnements ruraux souvent éloignés des zones urbaines.

Enfin, les éoliennes fonctionnent en mode automatique, sans intervention de l'Homme, sauf :

- lors de la construction du parc (montage),
- lors des opérations de maintenance.

Pour ce projet, le montage et la maintenance des installations seront assurés par le constructeur des machines. Trois constructeurs potentiels sont actuellement en lice : ENERCON, VESTAS et SIEMENS.

Aussi, après une présentation succincte du marché éolien et des différents constructeurs, nous exposerons les conditions de réalisation du parc puis celles de la maintenance.

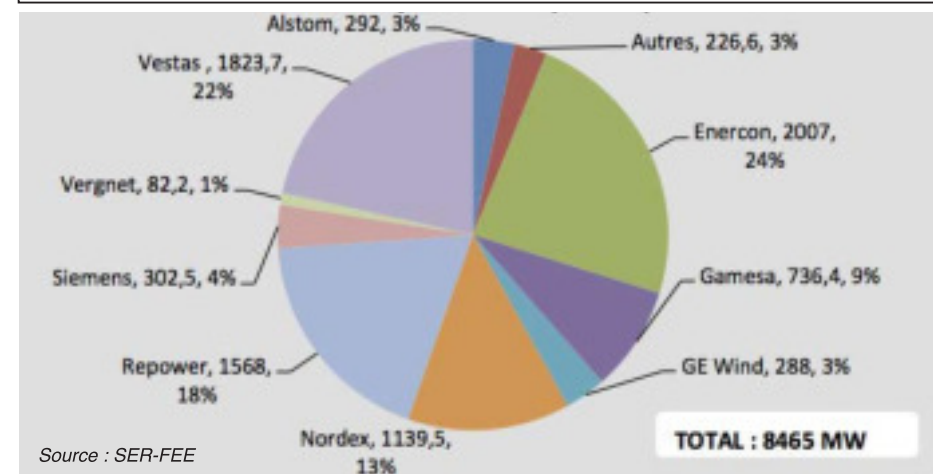
A noter toutefois que lors de la phase de construction, d'autres entreprises interviendront, par exemple pour la réalisation des voiries et des fondations.

L1 - PRÉSENTATION DU MARCHÉ ÉOLIEN ET DES CONSTRUCTEURS

Début 2014, ENERCON, VESTAS et SIEMENS se partagent près de la moitié de la puissance totale raccordée en France.

Ces trois constructeurs représentent également près de 50 % de la puissance raccordée sur l'année 2014 en France. Ils confirment ainsi leurs places de leaders.

FIGURE 139 : RÉPARTITION DE LA PUISSANCE INSTALLÉE EN FRANCE PAR CONSTRUCTEUR



L2 - LA CONSTRUCTION DU PARC

L2.1 - ORGANISATION GÉNÉRALE

La phase de construction du parc va durer plusieurs mois. Les différentes phases du chantier sont :

- création des plates-formes des éoliennes,
- creusement des fondations,
- coulage des fondations,
- montage de la tour,
- montage de la nacelle,
- montage du rotor,
- raccordement électrique.

Ces nombreuses étapes rendent la coordination et la planification de l'ensemble des tâches indispensables. Une visite du site de l'ensemble des partenaires est un préalable à l'organisation des travaux. Les réunions de pré-chantier qui s'en suivent permettent une hiérarchisation des phases d'intervention.

Les articles L.4531-1 et suivants du Code du Travail visent à assurer la sécurité de toutes les personnes qui interviennent sur le chantier. Ils imposent la mise en oeuvre de principes généraux de prévention à toutes les étapes du projet (de la phase de conception à la réalisation de l'ouvrage).

Conformément à la réglementation qui exige que la coordination soit assurée à tous les stades d'un projet d'une certaine importance, un coordinateur Sécurité et Protection de la Santé (SPS) est désigné. Ses missions consistent à établir et compléter régulièrement un dossier rassemblant toutes les données de nature à faciliter la prévention des risques professionnels.

Le chantier, étant soumis à coordination SPS, fait l'objet d'un Plan Général de Coordination et chaque entreprise intervenant sur le chantier est tenue de mettre en place un Plan Particulier de Sécurité et de Protection de la Santé (PPSPS). Ce document a vocation d'évaluer les risques professionnels liés à la co-activité et d'adapter les modes opératoires.

Les personnels des entreprises, y compris les salariés intérimaires, doivent recevoir, le jour de leur arrivée sur le chantier, une formation pratique et appropriée en sécurité. Cette formation, qui sera assurée par les chefs de chantier et les chefs d'équipe des entreprises, porte sur :

- les conditions de circulation des personnes sur le chantier,
- la sécurité pendant l'exécution du travail,
- les dispositions à prendre en cas d'incident, d'accident et d'incendie,
- la situation et le contenu de la trousse de premier secours.

Chaque entreprise devra tenir à jour sur le chantier une liste de tous ses salariés. Ceux-ci devront pouvoir être facilement identifiables (autocollant sur le casque ou vêtement de travail au nom de l'entreprise).

Le chantier comprendra une base de vie. Elle sera implantée sur une zone à faible enjeu environnemental, elle prend ainsi généralement place sur l'une des plates-formes de montage des éoliennes. Cette base de vie comprend :

- un réfectoire,
- des sanitaires,
- des vestiaires,
- le bureau du chantier (réunion),
- du matériel de premier secours (trousses, couvertures de survie...).

L2.2 - LES RISQUES SPÉCIFIQUES

A chaque phase du chantier des risques spécifiques existent. Chacune de ces phases fait l'objet de mesures préventives adaptées.

Avant chaque séquence, une réunion de coordination est réalisée (15 minutes au début de la réunion de chantier).

Au cours de cette réunion, une analyse de la co-activité et la réalisation des inspections communes sont réalisées. Les entreprises et leurs sous-traitants devant intervenir dans la séquence suivante doivent donc obligatoirement être présents.

Le tableau suivant résume :

- les risques en fonction des phases de chantier,
- les mesures générales à mettre en oeuvre,
- la répartition des responsabilités.

Séquences	Interventions		Analyse de risque	Mesures à prendre	Qui ?
A	Voiries Plates-formes Terrassement,		Activités agricoles Sortie sur voies Chute dans les fouilles	Concertation / agriculteurs Signalisation routière Protection périphérique	VRD
B	Génie Civil : Ferrailage, Béton,		Chute dans les fouilles Aménagement des descentes Circulation	Respect des modes opératoires Protections collectives Signalisation routière	Génie Civil Elec
C	Montage des éoliennes,		Travaux de hauteur Présence de public	Accès en hauteur Respect des modes opératoires Stabilité du terrain Balisage et affichage Signalisation routière	Fabricant Monteur
D	Réseaux de raccordement Raccordement, Mise en service		Co-activité importante Effectif important	Nettoyage, ordre, Balisage Signalisation routière	T.C.E. Electricien

Les mesures spécifiques aux différents points particuliers sont détaillées dans les tableaux ci-après :

→ Terrassements - VRD

POINTS PARTICULIERS	RISQUES IDENTIFIES	MESURES A PRENDRE
Fouilles	<ul style="list-style-type: none"> • éboulement • chute de personnes 	<ul style="list-style-type: none"> • si hauteur > 1.30 et si hauteur > 2/3 largeur blindage et / ou talutage • balisage et protection anti-chutes
Rotation des engins	<ul style="list-style-type: none"> • collisions • heurt avec personnel à pied 	<ul style="list-style-type: none"> • matériel conforme à la norme NF E 58050 et suivantes • respect des règles de circulation et du plan de circulation • éloignement du personnel pendant les manœuvres

→ Génie civil

POINTS PARTICULIERS	RISQUES IDENTIFIES	MESURES A PRENDRE
Fondations	<ul style="list-style-type: none"> • évolutions engins • acier en attente têtes de pieux • chute dans fouilles 	<ul style="list-style-type: none"> • engins conformes • mise en place périmètre de sécurité • protection des aciers • protection des fouilles • limiter l'accès des personnes autour du matériel
Aciers en attente	<ul style="list-style-type: none"> • liés à la circulation du personnel de chantier 	<ul style="list-style-type: none"> • protection des aciers en attente : têtes crossées ou bouchons
Bétonnage	<ul style="list-style-type: none"> • liés à l'évolution d'engins 	<ul style="list-style-type: none"> • engins conformes • respect du plan et des règles de circulation

→ Levage des tronçons de la tour

POINTS PARTICULIERS	RISQUES IDENTIFIES	MESURES A PRENDRE
Travaux à grande hauteur	<ul style="list-style-type: none"> • chutes du personnel 	<ul style="list-style-type: none"> • aptitude, instruction et information du personnel d'exécution. • Disposer de la certification de la qualification et des aptitudes physiques du personnel • instruction et information du personnel interdisant toute possibilité d'interprétation erronée des plans et documents de montage • réduction maximale des travaux en hauteur, en procédant, à l'équipement du mât au sol • échelles, planchers de travail, système anti-chute à câble ou à rail installés à l'assemblage du mât. • précautions à prendre en cas de conditions atmosphériques ou climatiques défavorables (vent – neige et verglas) pour des vitesses de vents > à 15 m/s arrêter les travaux • une plaque indiquant les limites d'emploi de la grue en fonction de la vitesse du vent doit être apposée en permanence auprès du conducteur (art. 19 et 27 - décret du 08-01- 65 et suivants)

POINTS PARTICULIERS	RISQUES IDENTIFIES	MESURES A PRENDRE
Levage de personne avec nacelle suspendue	<ul style="list-style-type: none"> • Arrêté du 2 décembre 1998 	<ul style="list-style-type: none"> • respect des articles 2 à 14 de cet arrêté
Montage, levage	<ul style="list-style-type: none"> • heurt, coincement ou cisaillement • renversement ou retombée de la charge (écrasement du personnel) 	<ul style="list-style-type: none"> • sous la responsabilité d'un chef de manœuvre • balisage au sol de la zone de montage, seul le personnel d'exécution y aura accès • colisage et repérage des pièces • définition de l'assemblage et du montage dans le P.P.S.P.S. • fournir au coordonnateur sécurité le plan méthode montage, en particulier les consignes au personnel chargé d'assembler le tronçon de mât supérieur • appareil de levage et de manutention en parfait état. Le registre des vérifications faites par un organisme agréé devra être en permanence sur le chantier (art. 22 à 24 - décret du 08-01-65 et suivants)
Montage, levage	<ul style="list-style-type: none"> • chutes d'objet • renversement engin de levage 	<ul style="list-style-type: none"> • protections collectives et individuelles • clefs de montage attachées au baudrier • s'assurer de la stabilité du terrain, de l'assise de l'engin de levage • moyens de décrochage des élingues à distance
Résistance des appuis	<ul style="list-style-type: none"> • renversement du tronçon inférieur de la tour 	<ul style="list-style-type: none"> • l'entreprise devra vérifier la qualité du béton in situ avant scellement des ancrages
Mise en place du tronçon supérieur du mât	<ul style="list-style-type: none"> • cisaillement, heurt 	<ul style="list-style-type: none"> • les opérateurs chargés de l'assemblage seront en liaison radio avec le chef de manœuvre.
Mise en place de la machine et des pales	<ul style="list-style-type: none"> • renversement ou retombée de la charge (écrasement du personnel) 	<ul style="list-style-type: none"> • pour des vitesses de vents > à 15 m/s arrêter les travaux • plate-forme de travail équipée de garde-corps

→ Toute entreprise assurant une livraison de matériaux conséquente

POINTS PARTICULIERS	RISQUES IDENTIFIES	MESURES A PRENDRE
Approvisionnement	<ul style="list-style-type: none"> • risque à la manutention 	<ul style="list-style-type: none"> • définition zone de protection moyens de livraison • moyens de levage • s'assurer de la stabilité du terrain
Transport et stockage	<ul style="list-style-type: none"> • encombrement 	<ul style="list-style-type: none"> • stabilité des éléments sur véhicule et au sol (arrimage) • si empiètement sur voie publique, nécessité d'une signalisation adaptée

→ Raccordement HT inter-éolien

POINTS PARTICULIERS	RISQUES IDENTIFIES	MESURES A PRENDRE
Déchargement des tourets de câble	<ul style="list-style-type: none"> • heurt, coincement ou cisaillement 	<ul style="list-style-type: none"> • sous responsabilité d'un chef de manœuvre manutention mécanique • balisage au sol de la zone de déchargement. Seul le personnel d'exécution y aura accès • utilisation d'un dérouleur adapté posé sur une surface d'appui stable
Pose des câbles	<ul style="list-style-type: none"> • chutes du personnel 	<ul style="list-style-type: none"> • utilisation des équipements de sécurité mis en place avant levage, à chaque niveau d'intervention plate-forme de travail équipée de garde-corps, système de levage mécanique des colis, permettant leur réception en conservant les protections collectives. • l'entreprise devra indiquer dans son P.P.S.P.S. les dispositions qu'elle compte prendre pour l'ancrage du câble d'élévation et pour celui du stop-chutes et fournir la fiche technique du matériel

L3 - LA MAINTENANCE

Une fois le chantier réalisé, la présence de personnel sur le site sera très ponctuelle. De ce fait, le site ne dispose pas d'installation spécifique pour l'accueillir.

Les éoliennes sont équipées de multiples capteurs en relation avec un système de pilotage à distance. Ce dernier permet le diagnostic et l'analyse de la performance en permanence, ainsi que certaines actions à distance.

En cas d'arrêt de l'éolienne suite au déclenchement de capteurs de sécurité (survitesse, arc ou incendie...), une intervention humaine sur place est nécessaire afin d'examiner l'installation et supprimer les causes du dysfonctionnement.

Les constructeurs éoliens se sont dotés de centres de maintenance de proximité en parallèle de la construction des parcs afin d'en assurer une maintenance optimale.

La maintenance est généralement composée d'une ou plusieurs équipes de deux personnes compétentes dans un rayon d'action qui n'excède pas la centaine de kilomètres. Cette organisation permet une intervention sur site rapide à tout moment :

Une maintenance préventive est réalisée sur les machines. Celle-ci consiste à changer les composants de la machine suivant leur cycle de vie. Le changement des pièces défectueuses constitue le second type de maintenance : la maintenance curative.

L3.1 - DISPOSITIONS GÉNÉRALES

Conformément à l'Art. 22. de l'arrêté du 26 août 2011, les consignes de sécurité sont établies et portées à la connaissance du personnel en charge de l'exploitation.

Ces consignes indiquent :

- les procédures d'arrêt d'urgence et de mise en sécurité de l'installation,
- les limites de sécurité de fonctionnement et d'arrêt,
- les précautions à prendre avec l'emploi et le stockage de produits incompatibles,
- les procédures d'alertes avec les numéros de téléphone du responsable d'intervention de l'établissement, des services d'incendie et de secours.

Les consignes de sécurité indiquent également les mesures à mettre en oeuvre afin de maintenir les installations en sécurité dans les situations suivantes : survitesse, conditions de gel, orages, tremblements de terre, haubans rompus ou relâchés, défaillance des freins, balourd du rotor, fixations détendues, défauts de lubrification, tempêtes de sable, incendies ou inondations.

Tous les techniciens possèdent une habilitation aux premiers secours. Cette dernière est renouvelée tous les deux ans. Signalons également que les interventions s'effectuent toujours en équipe. Par ailleurs, des formations spécifiques à l'usage du système d'évacuation sont dispensées tous les deux ans en interne par des formateurs habilités.

L3.2 - CIRCULATION DES VÉHICULES ET DU PERSONNEL SUR LE SITE

L3.2.1 - Sur site

Les risques d'accident de circulation sur le site sont faibles :

- la vitesse de circulation est limitée sur les chemins d'exploitation du parc et le personnel est tenu de respecter ces limitations ainsi que le code de la route,
- les chemins d'exploitation font l'objet d'un entretien régulier (entretien à la charge de l'exploitant),
- il y a peu de circulation du personnel sur le site : ces déplacements sont spécifiques à des interventions sur une ou plusieurs machines et ne nécessitent pas de va-et-vient sur le site,
- hormis la circulation des engins agricoles, il y a peu de circulation supplémentaire à celle du personnel, le risque d'accident avec des tiers est ainsi très limité,
- l'aire de circulation est très faible.

Rappelons que le port du casque et de chaussures de sécurité est obligatoire pour tout le personnel.

L3.2.2 - Du site vers la base de maintenance

Le risque d'accident de circulation entre le site et la base de maintenance est similaire à celui des individus prenant régulièrement la route.

Le personnel est tenu de respecter les limitations de vitesse ainsi que le code de la route.

La société de maintenance veille particulièrement au respect de ces règles par son personnel. De plus, chaque véhicule dispose d'un système de géolocalisation, en cas de problème.

L3.3 - LES ÉQUIPEMENTS DE PROTECTION INDIVIDUELLE

L'appellation EPI (Equipement de Protection Individuelle) s'applique à tout dispositif ou moyen destiné à être porté ou tenu par une personne en vue de la protéger contre un ou plusieurs risques susceptibles de menacer sa santé ainsi que sa sécurité.

Selon la directive 89/656/CEE, du 30 novembre 1989 : l'employeur se doit de fournir un EPI conforme aux dispositions communautaires relatives à la conception et à la construction en matière de sécurité et de santé le concernant. Dans tous les cas, un EPI doit :

- être approprié par rapport aux risques à prévenir, sans induire lui-même un risque accru,
- répondre aux conditions du lieu de travail,
- tenir compte des exigences ergonomiques et de santé du travailleur,
- convenir au porteur, après tout ajustement nécessaire.

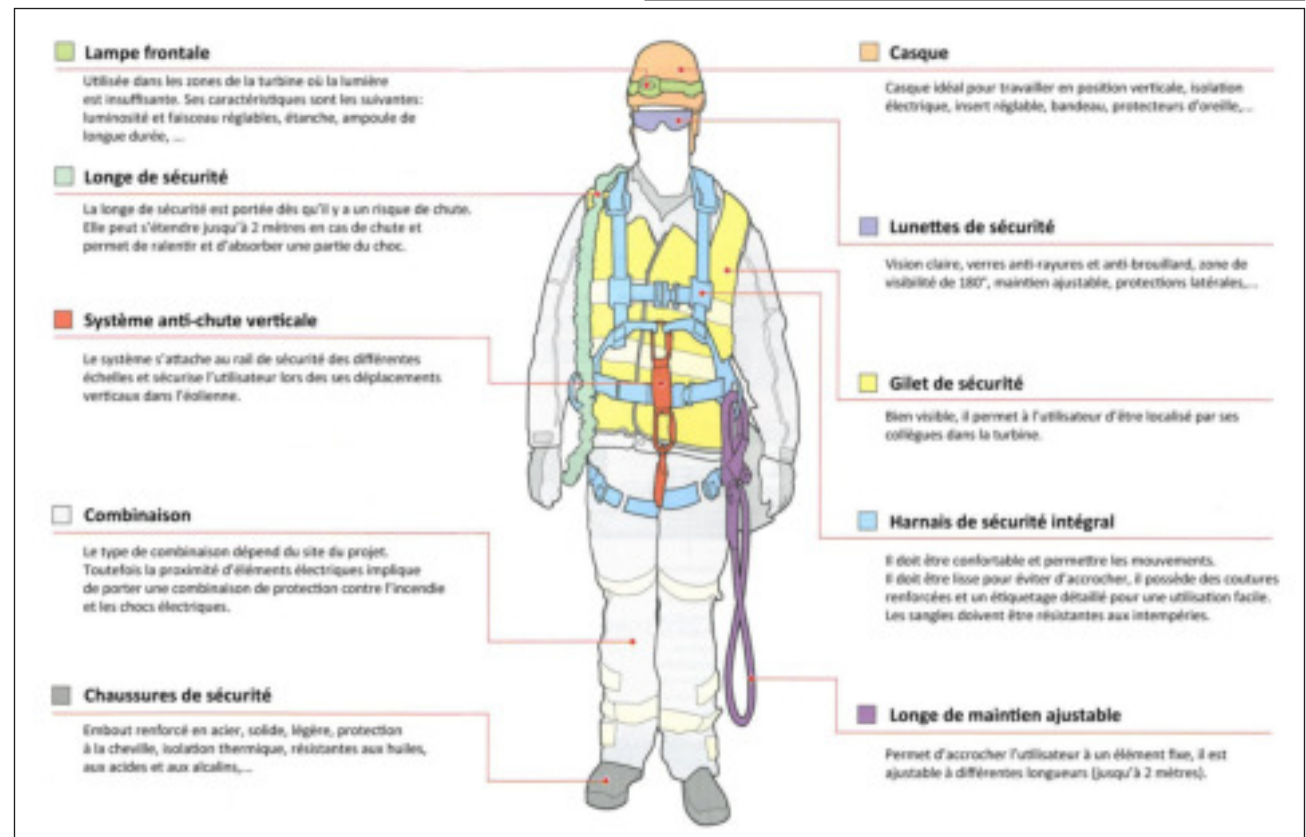
Les EPI sont fournis gratuitement par l'employeur, qui assume les charges liées au maintien de leur fonctionnement (entretien, réparation, remplacement).

Les travailleurs sont informés des risques contre lesquels le port de l'EPI les protège. Une formation et des entraînements peuvent être organisés afin que les divers EPI soient correctement utilisés.

Les consignes relatives au port des protections sont affichées en pied de machine et dans les lieux où les EPI doivent être portés.

La Figure 140 qui suit expose les différents EPI (caractéristiques et fonctions) utilisés dans le cadre de la maintenance éolienne.

FIGURE 140 : LES DIFFÉRENTS EPI POUR LA MAINTENANCE ÉOLIENNE



L3.3.1 - Protections sonores autour des sources de bruit

Le bruit le plus important est généré quand l'éolienne est en fonctionnement, à l'intérieur de la nacelle.

Certains constructeurs interdisent toute présence humaine dans la nacelle lorsque l'éolienne fonctionne. La maintenance avec l'éolienne en fonctionnement représente ainsi une part très limitée du temps de travail, de l'ordre de 1 %.

La maintenance a donc principalement lieu quand l'éolienne est arrêtée, avec un niveau de bruit équivalent à celui du bruit ambiant (le ventilateur et le transformateur étant coupés). Lorsque ces équipements restent en fonctionnement le niveau sonore est de l'ordre de 80 dB.

Les appareils, conformes aux dispositions légales, ne constituent pas, pour le technicien au poste de travail, un risque pour sa santé. Il dispose, de plus, d'équipements de protection contre le bruit (bouchon antibruit, casque), utilisés à l'intérieur de l'éolienne en fonctionnement mais également lors de l'utilisation d'outils générant un bruit important.

En outre, le personnel suit des visites médicales, qui comprennent entre autre, un contrôle de l'ouïe.

L3.3.2 - Protections contre la chute

Les chutes peuvent se produire :

- dans le mât,
- de la nacelle, vers l'intérieur (dans le mât) ou vers l'extérieur,
- du moyeu du rotor vers l'extérieur.

Les techniciens intervenant dans les éoliennes sont systématiquement équipés de harnais spécifiques au travail en hauteur et de deux dégaines leur permettant de s'assurer continuellement sur les différentes lignes de vie dont dispose l'installation. Une procédure spécifique à chaque intervention à risque doit être suivie.

Les techniciens ont tous une habilitation pour le travail en hauteur qui est renouvelée tous les deux ans, permettant ainsi de vérifier l'aptitude et la compétence du personnel.

La nacelle de l'éolienne est équipée d'un dispositif de sauvetage conforme à la norme EN 341. Le dispositif de sauvetage sert pour le sauvetage de personnes incapables d'utiliser l'EPI contre la chute, ainsi que pour l'évacuation dans toutes les situations d'urgence, quand l'éolienne ne peut être quittée sans danger via l'échelle. Ce matériel, ainsi que les lignes de vies et garde-corps sont contrôlés tous les ans, en interne.

L3.3.2.1 - Dans le mât

La circulation à l'intérieur du mât, que ce soit pour la montée ou pour la descente s'effectue par le monte-charge qui dispose d'une cage anti-chute. Plusieurs plates-formes intermédiaires forment des étages à l'intérieur du mât. Le matériel peut être acheminé par ce monte-charge ou le cas échéant, par un treuil, pour les éléments les plus lourds ou les plus grands.

En cas de nécessité (panne, évacuation d'urgence...) une échelle permet de monter et descendre dans l'éolienne. Cette échelle dispose d'un garde-corps ainsi que d'une ligne de vie. Elle s'arrête sur chaque plate-forme.

L3.3.2.2 - Dans la nacelle

Dès lors que les techniciens ont à intervenir depuis la nacelle vers l'extérieur (toit, utilisation du treuil...), ils se mettent en sécurité via la ligne de vie. Notons toutefois, qu'à l'intérieur même de la nacelle, la mise en place de ligne de vie n'est pas possible (contrainte technique).

L3.3.2.3 - Dans le moyeu du rotor

Dès lors que les techniciens ont à intervenir dans le moyeu, ils travaillent toujours les pieds à terre et à la verticale. Aucun réseau de ligne de vie n'est possible dans cet espace.

L3.4 - PROTECTIONS CONTRE LES RISQUES LIÉS AUX MOYENS DE LEVAGE

L3.4.1 - Les principaux risques

Les principaux risques sont :

- déplacements sur échelle et marchepied et chutes de hauteur,
- exposition aux intempéries (chaleur, froid, vent, givre, pluie),
- exposition au bruit du chantier,
- contraintes posturales dans un espace réduit,
- chute en gravissant ou en descendant de l'échelle de montée,
- lombalgies d'effort (manutention du matériel de calage et d'arrimage),
- risque d'accident vis-à-vis des tiers en cas de mauvaise manoeuvre avec heurt du personnel du chantier avec la charge,
- électrisation (contact de la grue avec un conducteur aérien sous tension),
- chute de la charge ou des moyens de levage.

L3.4.2 - L'engin de levage

Différents appareils permettent de garantir la stabilité du moyen de levage :

- grue équipée d'un anémomètre avec alarme et pré-alarme,
- limiteur de charge et limiteur de couple,
- translations de grue contrôlées (butées, socle),
- systèmes d'aide automatique à la conduite appropriés,
- sécurisation de l'accès de la cabine : échelle à crinoline avec palier de repos, ascenseur,
- siège et poste de commande ergonomiques,
- cabine climatisée ou chauffée et ventilée,
- bonne liaison grutier-responsable des travaux (radio, pupitre, téléphone).

L3.4.3 - L'entretien de l'engin de levage

Les appareils de levage sont munis d'un carnet de maintenance. L'arrêté du 2 mars 2004 en application depuis le 1^{er} avril 2005 impose l'existence d'un carnet de maintenance tenu à jour pour chaque appareil de levage.

Avant et après leur utilisation, les engins de levage doivent faire l'objet de vérifications et d'opérations de maintenance.

Quatre chapitres du Code du Travail définissent les règles applicables :

- vérifications lors de la mise en service prescrites par l'article R.4323-22,
- vérifications générales périodiques prescrites par l'article R.4323-23 à R.4323-27,
- vérifications lors de la remise en service prescrites par l'article R.4323-28,
- tenue d'un carnet de maintenance prescrite par l'article R.4323-20 et R.4323-21.

L'inobservation de ces règles engage la responsabilité pénale personnelle du responsable.

La maintenance comporte un examen approfondi des éléments essentiels tous les 5 ans si la maintenance prescrite par le constructeur dans la notice d'instructions n'a pas été réalisée.

L3.4.4 - L'installation sur le site du chantier

Dans des conditions venteuses sévères ou géologiques douteuses, une étude préalable des risques de renversement des grues à tour sous l'effet du vent ou d'une défaillance du sol sous les stabilisateurs est réalisée pour évaluer les effets de site liés au vent et obtenir un avis sur le sol et les fondations. Un cahier des charges est transmis à l'exploitant pour être mis en forme lors de la maintenance.

Il convient de s'assurer que la grue est placée sur un sol sain et compacté afin d'éviter tout mouvement de sol. Le système de calage doit être de taille significative par rapport aux vérins pour pouvoir jouer pleinement son rôle de stabilisateur.

Il est impératif de s'assurer que les préposés utilisateurs de la grue connaissent et appliquent les règles de sécurité inhérentes à ce type de matériel : verrouillage du système de freinage, flèche en girouette...

L3.5 - PROTECTION CONTRE LE RISQUE INCENDIE

Chaque machine est dotée de moyens de lutte contre l'incendie appropriés aux risques et conformes aux normes en vigueur.

L3.5.1 - Risque présenté

Les opérations de maintenance, la défaillance d'un appareil, une surtension peuvent amener un départ de feu dans la nacelle en présence de personnel. Rappelons que la maintenance n'est pas autorisée en période d'orage.

En dehors du personnel, la foudre ou une surchauffe liée à l'emballement de la machine peut entraîner un incendie. Par conséquent, ce dernier peut conduire à la chute de bris de pale ou / et la ruine de l'éolienne.

L3.5.2 - Moyens de prévention

L3.5.2.1 - Pour le personnel

Le déclenchement des détecteurs de fumée génère une sirène dans la nacelle et dans la tour et avertit ainsi le personnel présent.

L'éolienne dispose de plusieurs extincteurs, bien visibles et facilement accessibles, à l'arrière de la nacelle et à l'entrée de l'éolienne. Ils font l'objet d'un contrôle annuel par une société extérieure.

Les employés de maintenance seront formés aux différentes méthodes d'évacuation comme l'utilisation du système d'évacuation d'urgence depuis l'intérieur de la nacelle.

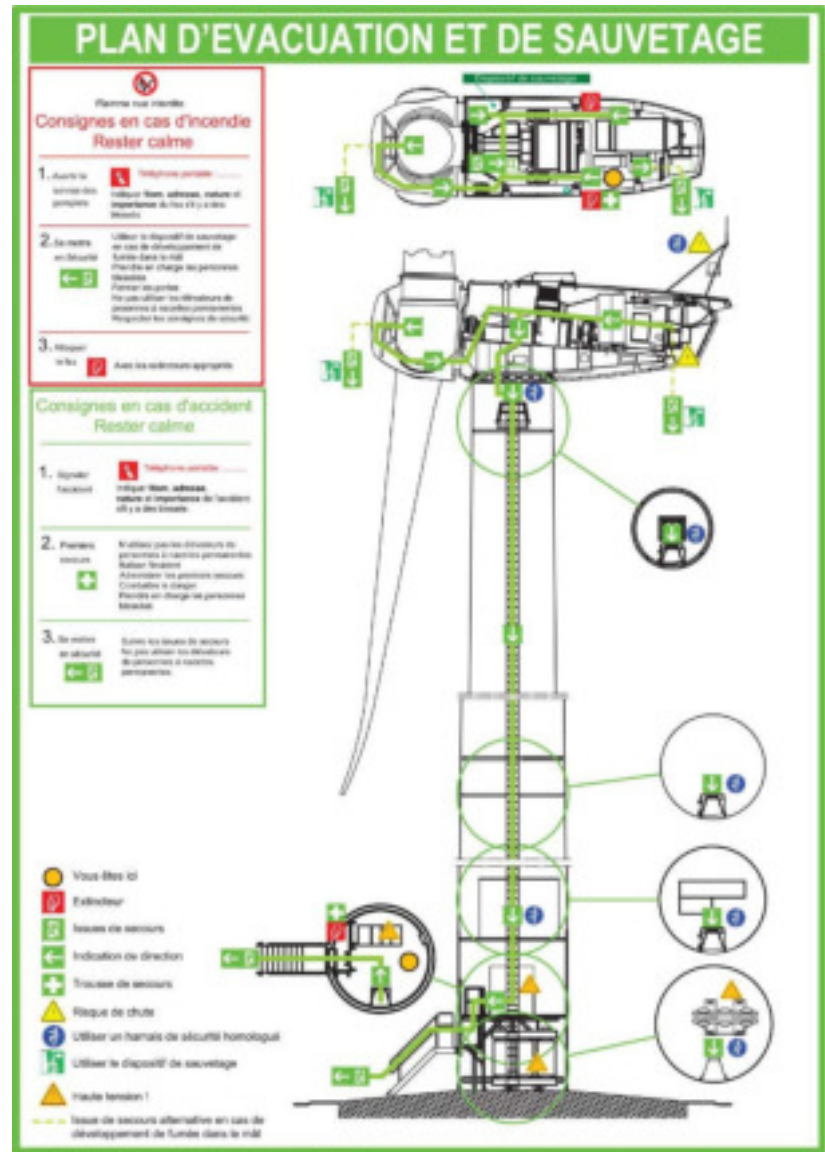
Le plan d'évacuation (exemple en Figure 141) permet au personnel d'évacuer l'éolienne. De plus, une couverture anti-feu est présente pour tous les travaux par points chauds et permis de feu. Les techniciens de maintenance disposent toujours de kits de premiers secours avec eux.

L3.5.2.2 - En l'absence de personnel

Un système d'alarme est couplé avec le système de détection qui informe le centre de télésurveillance en temps réel d'un fonctionnement anormal. Ce dernier est alors en mesure de contacter les secours dans un délai de 15 min à compter de l'entrée en fonctionnement anormal de la machine, conformément à l'Art. 23 de l'arrêté du 26 août 2011 modifié. Les secours mettront en place un périmètre de sécurité dès leur arrivée.

Le déclenchement des détecteurs de fumée induit également l'arrêt de l'éolienne et son isolement électrique par ouverture de la cellule en pied de mât. La procédure d'arrêt est ainsi mise en oeuvre en moins de 60 min, conformément à l'Art. 24 de l'arrêté du 26 août 2011 modifié.

FIGURE 141 : EXEMPLE DE PLAN D'ÉVACUATION DE L'ÉOLIENNE



L3.6 - PROTECTION CONTRE LES PIÈCES MÉCANIQUES

L3.6.1 - Risque présenté

Les pièces mécaniques, par leur rotation, peuvent engendrer des blessures corporelles plus ou moins graves, pouvant aller jusqu'au décès de la personne. La nacelle comporte toutefois peu de pièces en mouvement.

L3.6.2 - Moyens de prévention

Toutes les pièces mécaniques en mouvement (accouplements, arbres, chaînes, etc.) sont protégées par des carters.

Des boutons "coup de poing" d'arrêt d'urgence permettent l'arrêt de l'installation. Ils sont situés à l'entrée de l'éolienne et au niveau de la nacelle. Le déclenchement de ces boutons conduit à l'arrêt de l'éolienne (mise en drapeau des pales, déclenchement du frein hydraulique, coupure de la haute tension puis arrêt des systèmes hydrauliques). L'électricité est maintenue pour l'éclairage et les dispositifs de contrôle.

Bouton d'arrêt d'urgence sur la boîte de contrôle de la nacelle



Bouton d'arrêt d'urgence

L3.7 - RISQUE ÉLECTRIQUE

Les installations électriques sont conformes aux normes UTE C18-510.

Ces installations sont entretenues en bon état et sont contrôlées à une fréquence annuelle, après leur installation ou leur modification par une personne compétente. La périodicité, l'objet et l'étendue des vérifications des installations électriques ainsi que le contenu des rapports relatifs aux dites vérifications sont fixés par l'arrêté du 10 octobre 2000.

L3.7.1 - Risque présenté

L'éolienne présente toujours une basse ou une moyenne tension. La maintenance s'effectue donc avec la présence du courant électrique dans l'installation, ce qui peut engendrer pour le personnel des risques d'électrocution et de brûlures. Les causes ou les processus conduisant à ces risques sont essentiellement :

- le contact direct avec les conducteurs nus sous tension,
- le contact par l'intermédiaire d'une masse métallique mise accidentellement sous tension,
- les arcs électriques.

L3.7.2 - Moyens de prévention

La protection du personnel contre les contacts directs est réalisée soit par l'isolement des parties actives des matériels électriques, soit par la mise sous gaine. Les armoires électriques ainsi que les coffrets de liaison des machines et matériels sont maintenus fermés.

La protection contre les contacts indirects est assurée par un dispositif permanent d'isolement du premier défaut, les protections contre les surintensités (disjoncteur, fusibles, HPC : Haut Pouvoir de Coupure) assurant la coupure du deuxième défaut.

Le personnel de maintenance possède une habilitation électrique pour intervenir sur ces installations. Cette dernière est renouvelée tous les 2 ou 3 ans permettant de vérifier ainsi l'aptitude et les connaissances du personnel dans ce domaine.

Dans le cadre du décret N°88-1056 du 14 novembre 1988 (protection des travailleurs dans les établissements qui mettent en oeuvre des courants électriques), les installations électriques font l'objet de vérifications annuelles par un organisme agréé haute tension (HT).

Pour la basse tension (BT), les vérifications sont réalisées, en interne, par des équipes dédiées à cette tâche et habilitées par un organisme extérieur.

L3.8 - PROTECTION CONTRE LES PRODUITS UTILISÉS

L'entreposage à l'intérieur et aux abords de l'éolienne de matériaux combustibles ou inflammables est interdit (art. 16 de l'arrêté du 26 août 2011 modifié).

L3.8.1 - Inventaire

Les principales catégories de produits mis en oeuvre dans l'éolienne sont des dégrissants, des freins filets, des graisses, des huiles, des nettoyants, de la peinture, du silicone...

L3.8.2 - Risques chimiques

Les produits chimiques sont dangereux en raison de :

- leur activité vis-à-vis d'autres substances ou produits (incompatibilité),
- leur activité propre (toxicité, inflammabilité, température d'emploi).

Les risques inhérents à ces aspects sont pour le personnel :

- les brûlures chimiques occasionnées par des projections de produits caustiques,
- les brûlures thermiques en cas d'inflammation de produits combustibles, ou de contact avec des points chauds ou froids,
- l'intoxication aiguë ou chronique,
- vapeur (lié au confinement de la nacelle).

L3.8.3 - Moyens de prévention

Tous les récipients contenant des matières premières sont étiquetés conformément à la législation en vigueur.

Une formation orale ainsi qu'une sensibilisation est apportée au personnel concerné sur les points suivants :

- les dangers présentés par les produits,
- les opérations de manipulation de produits,
- le comportement à tenir en cas d'incident ou d'accident.

Les fiches de données de sécurité des produits sont portées à la connaissance des personnes les manipulant.

L3.8.4 - Moyens de traitement

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 les 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, la société de maintenance se charge de faire intervenir une société spécialisée qui récupérera et traitera la terre souillée via les filières adéquates.

L3.9 - PROTECTION CONTRE LE POIDS

Les pièces mécaniques des éoliennes peuvent être très lourdes (plusieurs tonnes).

L'ascenseur est utilisé pour le petit matériel. Pour toutes les pièces volumineuses, un treuil peut être utilisé. Si la charge est très importante, une grue est mise en place.

M - CONCLUSION

Le site du projet est un plateau ne présentant pas de contrainte majeure, et se prêtant bien à l'implantation d'un parc éolien.

La ressource en vent y est importante et permet de maximiser la production d'électricité par machine.

Le Schéma Régional Eolien a en outre identifié ce site comme favorable à l'éolien.

L'analyse des impacts du projet, réalisée notamment au travers de diverses études spécifiques, montre des impacts globalement faibles.

Les mesures d'évitement, de réduction, de compensation et d'accompagnement qui accompagnent le projet permettent de limiter encore ces impacts.

Considérant la volonté nationale de développement des énergies renouvelables et de réduction des gaz à effet de serre, ce projet apparaît donc tout-à-fait compatible avec l'environnement.

